



ΠΡΑΚΤΙΚΑ

19ου Πανελλήνιου Δασολογικού Συνεδρίου

**"Η συμβολή των δασικών οικοσυστημάτων στην ορεινή οικονομία
και στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος"**

**Επιμέλεια Έκδοσης: Νικόλαος Γρηγοριάδης, Θεοχάρης Ζάγκας,
Ιωάννης Σπανός, Διονύσιος Γαϊτάνης, Ιωάννης Τζατζάνης,
Στέφανος Τσιάρας**

Λιτόχωρο Πιερίας, 29 Σεπτεμβρίου-2 Οκτωβρίου 2019

ΔΙΟΡΓΑΝΩΤΗΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΑΣΟΛΟΓΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ

ΑΙΓΙΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΣΥΝΔΙΟΡΓΑΝΩΤΕΣ

ΦΟΡΕΑΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΥΜΟΥ ΟΛΥΜΠΙΟΥ

ΔΗΜΟΣ ΔΙΟΥ-ΟΛΥΜΠΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (ΑΠΘ)

ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ (ΙΔΕ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΙΜΔΟ ΑΘΗΝΩΝ)

ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ-ΘΡΑΚΗΣ

(ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΔΑΣΩΝ ΠΙΕΡΙΑΣ)

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ (Π.Ε. ΠΙΕΡΙΑΣ)

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ (ΓΕΩΤΕΕ)

ΧΟΡΗΓΟΣ

ΕΝΩΣΗ ΕΛΛΗΝΩΝ ΔΑΣΟΚΤΗΜΟΝΩΝ

ISBN: 978-618-84551-0-8

Θεματική Ενότητα: Προστασία Δασών

**Ο ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΑΣΙΚΩΝ
ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ LFDI ΤΗΣ ΝΟΤΙΟΥ ΑΦΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΑ
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

**Γκουβάς, Μάρκος¹; Ηλιόπουλος, Νικόλαος¹;
Παπαδόπουλος, Αριστοτέλης¹; Ντάσιον, Ζησούλα¹**

¹Ενιαίο Συντονιστικό Κέντρο Επιχειρήσεων (Ε.Σ.Κ.Ε.), Ριζαρείου και Μικράς Ασίας, 15233 Χαλάνδρι, Αθήνα, markosgk1@gmail.com

Περίληψη

Η ανάγκη υιοθέτησης από τη χώρα μας ενός εθνικού συστήματος κινδύνου δασικών πυρκαγιών (National Fire Danger Rating System) που να συνδυάζει ευκολία και αντικειμενικότητα, μας ώθησε στην τεκμηρίωση, για μία ακόμα φορά, της καταλληλότητας του μετεωρολογικού δείκτη Lowveld Fire Danger Index (LFDI) για τις ελληνικές συνθήκες. Αποδεικνύεται ότι ο LFDI έχει ως βάση του τον σουηδικό δείκτη Angstrom και είναι δομημένος πάνω στο σχήμα του Canadian Forest Fire Weather Index. Συσχετίζεται με την ταχύτητα εξάπλωσης των ελληνικών δασικών πυρκαγιών. Οι μέγιστες ημερήσιες τιμές του χρησιμεύουν ως μέτρο της μέγιστης δυνατής καιόμενης έκτασης ανά πυρκαγιά, ενώ οι 5 κλάσεις επικινδυνότητας αυτού ως μέτρο της μέσης καιόμενης έκτασης ανά πυρκαγιά. Χάρη δε στη μαθηματική του δομή, επιδέχεται τροποποιήσεις για μια ακόμα καλύτερη προσαρμογή του στις ελληνικές συνθήκες.

Λέξεις κλειδιά: Δείκτης κινδύνου, Lowveld, ταχύτητα εξάπλωσης.

Εισαγωγή

Ο Lowveld Fire Danger Index (LFDI ή απλά FDI) είναι ο Δείκτης Κινδύνου Πυρκαγιάς που εφαρμόζεται στην Νότια Αφρική και με καθημερινή πρόγνωσή του από την Μετεωρολογική της Υπηρεσία (South African Weather Service, <http://www.weathersa.co.za/home/fire-index>) υπολογίζει τον κίνδυνο έναρξης και εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών βάσει μόνο μετεωρολογικών συνθηκών, κατατάσσοντάς τον σε 5 κατηγορίες. Αναπτύχθηκε αρχικά στη Ζιμπάμπουε (Ροδεσία) το 1968 από έναν επιστήμονα, που ονομάζεται Michael Laing και υιοθετήθηκε αργότερα από τους τοπικούς μετεωρολογικούς σταθμούς της Mpumalanga και άλλων βορειοανατολικών επαρχιών χαμηλού υψομέτρου (<500m) της Νοτίου Αφρικής (περιοχές επονομαζόμενες Lowveld), πολύ πριν εφαρμοστεί σε εθνικό επίπεδο. Ο δείκτης LFDI αποτελεί πλέον το επίσημο National Fire Danger Rating System της Ν. Αφρικής (Madula 2013, Oxford 2017), έπειτα από αξιολόγηση και επιλογή του ανάμεσα σε 7 διαφορετικά συστήματα που χρησιμοποιούνται επιχειρησιακά σε άλλες χώρες, μεταξύ των οποίων οι περισσότεροι εξελιγμένοι δείκτες Canadian Fire Weather Index και Australian McArthur Forest Fire Danger Index (Willis κ.α. 2001, Steenkamp κ.α. 2012). Βάσει δε των τιμών του ίδιου δείκτη λαμβάνονται και οι αποφάσεις περί της καταλληλότητας των συνθηκών προς εφαρμογή προδιαγραμμένου καψίματος στην σαβάνα (Trollope κ.α. 2007). Είναι ιδιαίτερα εύχρηστος. Με ένα μόνο φυλλάδιο μεγέθους A4 του «Department of Water Affairs and Forestry» Νοτίου Αφρικής (<http://landworksnpa.com/resource-centre/>) μπορεί άμεσα να υπολογιστεί ακόμα και από τους επιχειρούντες κατάσβεση στον τόπο του συμβάντος, μέσω ενός νομογραφήματος και δύο πινάκων στη μία όψη του φυλλαδίου, αρκεί να έχουν στη διάθεσή τους τοπικές μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας αέρα, ταχύτητας ανέμου, ύψους τελευταίας βροχόπτωσης και ημερομηνία εκδήλωσής της. Ο υπολογισμός του LFDI αυτόματα παραπέμπει σε μια εκ των 5 κλάσεων επικινδυνότητάς του και εν συνεχεία, με τη βοήθεια πινάκων στην άλλη όψη του φυλλαδίου, σε πληροφορίες σχετικά με την αναμενόμενη συμπεριφορά της πυρκαγιάς (μέση ταχύτητα εξάπλωσης, μήκος φλόγας κλπ) και τα ενδεικνύμενα κατασταλτικά μέτρα (Madula 2013).

Τα προαναφερόμενα αποτέλεσαν αφορμή πριν 9 χρόνια για μια πρώτη διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής του LFDI στην Ελλάδα για την εκάστοτε αντιτυρική περίοδο (1η Μαΐου-31

Οκτωβρίου). Πραγματοποιήθηκε σύγκριση του δείκτη LFDI (αν εφαρμόζοταν στον ελλαδικό χώρο) και του δείκτη επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών που εκδίδεται από την Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας κατά τις ημέρες εκδήλωσης μεγάλων δασικών πυρκαγιών στην ευρύτερη περιοχή 10 αντιπροσωπευτικών μετεωρολογικών σταθμών της EMY και μελετήθηκε η συσχέτιση των ίδιων δεικτών με τον ημερήσιο αριθμό αγροτοδασικών πυρκαγιών όλης της χώρας για τις αντιπυρικές περιόδους 2007 και 2008, αναδεικνύοντας τον δείκτη LFDI εφαρμόσιμο και αποτελεσματικό για τις συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα (Ηλιόπουλος κ.α. 2010). Η παρούσα εργασία προχωρά ένα βήμα παραπέρα, διερευνώντας τη σχέση του δείκτη με τις μέσες ταχύτητες εξάπλωσης των πυρκαγιών και το μέγεθος των καμένων εκτάσεων στην Ελλάδα, τη δυνατότητα τροποποίησής του για ισχύ και εκτός αντιπυρικής περιόδου, αλλά και αποκαλύπτοντας χρήσιμες πληροφορίες που υποκρύπτονται σε αυτόν τον εύχρηστο δείκτη.

Υλικά και Μέθοδοι

Υπολογίστηκαν οι τιμές LFDI από τα ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα (μέγιστη θερμοκρασία και ελάχιστη σχετική υγρασία αέρα, μέση ταχύτητα ανέμου, ύψος βροχόπτωσης) 31 μετεωρολογικών σταθμών της EMY για την 3ετία: 1/1/2014 - 31/12/2016. Για την ίδια περίοδο και από τα αρχεία .xls των «Ανοιχτών Δεδομένων» Δασικών Πυρκαγιών της επίσημης ιστοσελίδας του Πυροσβεστικού Σώματος (ΠΣ) (https://www.fireservice.gr/el_GR/synola-dedomenon) επιλέχθηκαν όλες οι αγροτοδασικές πυρκαγιές με συνολική καμένη επιφάνεια δασών, δασικών και χορτολιβαδικών εκτάσεων τουλάχιστον 10 Ha (100 στρεμμάτων), πλην εκείνων του νομού Αττικής (για ελαχιστοποίηση της πιθανότητας επίδρασης της ταχύτατης κινητοποίησης πολύ μεγάλου αριθμού επίγειων κι εναέριων μέσων στην Αττική επί των αποτελεσμάτων της εργασίας). Με αυτό το κριτήριο, η επιλογή απέδωσε 390 πυρκαγιές από όλη την Ελλάδα, για κάθε μια από τις οποίες ο πλησιέστερος εκ των 31 μετεωρολογικών σταθμών της EMY θεωρήθηκε αντιπροσωπευτικός. Για 311 από αυτές τις πυρκαγιές, οι οποίες εκδηλώθηκαν εντός των αντιπυρικών περιόδων 2014-2016 και μέσω της ιστοσελίδας <https://www.civilprotection.gr/el/daily-fire-prediction-map> (αρχείο «Ημερήσιων Χαρτών Πρόβλεψης Κινδύνου Πυρκαγιάς») ελήφθη ο δείκτης επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών της ευρύτερης περιοχής εκδήλωσής τους, που εκδίδεται από την Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας (ΓΓΠΠ).

Οι μέσες ταχύτητες εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, προέρχονται από το βιβλίο δασικών πυρκαγιών του Καϊλίδη (1990), από τις εργασίες των Xanthopoulos (2002) και Αθανασίου (2008), καθώς και από λιγιστές (μόλις 7) περιπτώσεις σχετικά πρόσφατων (μετά το 2014) πυρκαγιών, οι ταχύτητες των οποίων υπολογίστηκαν με τη βοήθεια των «hot spots» που ανιχνεύθηκαν από τους δορυφορικούς αισθητήρες MODIS και VIIRS της NASA. Εξετάσθηκε η σχέση της ταχύτητας εξάπλωσης (Rate Of Spread ή ROS σε km/h) των δασικών πυρκαγιών με τους δείκτες LFDI, FFDI (McArthur), F index και Fosberg και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των σχέσεων αυτών. Η συγκριτική αυτή ανάλυση περιορίστηκε στους εν λόγω δείκτες, εξαιτίας του σχετικά εύκολου υπολογισμού τους από μετεωρολογικά δεδομένα, όπως διαπιστώνει κανείς στην εργασία των Sharples κ.α. (2009). Επιπροσθέτως, η γνώση της τιμής του δείκτη σε μια δεδομένη πυρκαγιά, οποιαδήποτε ώρα της ημέρας, θα μπορούσε να βοηθήσει τον επί τόπου συντονιστή στην πρόβλεψη της αναμενόμενης συμπεριφοράς, σε σύγκριση με τη δική του εμπειρία, σε αντίθεση με τον Αμερικάνικο και Καναδικό Δείκτη, που δύνανται να υπολογισθούν μόνο μια φορά την ημέρα (Goodrick 2002, Oxford 2017).

Η παράθεση διαγραμμάτων διασποράς περιορίστηκε στην απολύτως αναγκαία, η δε συγκριτική ανάλυση μεταξύ των διαφόρων εξεταζόμενων περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε μέσω του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και όποτε ήταν αναγκαίο, μέσω του τυπικού σφάλματος εκτίμησης (S) των εξισώσεων, που προέκυψαν δια της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων.

Όπως είναι ευνόητο, ο όγκος των απαιτούμενων υπολογισμών του δείκτη LFDI για την παρούσα εργασία, δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μόνο με το διατιθέμενο νομογράφημα και τους συνοδευτικούς του πίνακες (Madula 2013) που είχαν παρατεθεί και στην εργασία του Ηλιόπουλου κ.α. (2010). Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η γνώση των εξισώσεων του. Ο δείκτης λοιπόν LFDI υπολογίζεται αναλυτικά ως εξής:

$$\text{LFDI} = (\text{BI} + \text{WF}) * \text{RCF} \quad (1)$$

Όπου:

$$BI = \text{Burning Index} = \{(T-35)-((35-T)/30)+((100-RH)*0.37)+30\} \quad (2)$$

με T = θερμοκρασία αέρα ($^{\circ}\text{C}$) και RH = σχετική υγρασία αέρα (%)

$$WF = \text{Wind Factor} = -0.0000227*WS^4+0.0026348*WS^3-0.09087*WS^2+1.65*WS+0.2 \quad (3)$$

με WS = Ταχύτητα ανέμου (km/h)

$RCF = \text{Rain Correction Factor} =$

$$=0.62-0.0342*P+0.000609*P^2-0.000004*P^3+0.1761*D-0.01141*D^2+0.000279*D^3 \quad (4)$$

P = Ύψος τελευταίας βροχόπτωσης (mm)

D = Αριθμός ημερών από την τελευταία βροχόπτωση

Η εξίσωση (2) αποτελεί τον ακριβή τρόπο υπολογισμού του Burning Index (Madula 2013). Οι εξισώσεις (3) και (4) έχουν προκύψει από τους πίνακες υπολογισμού του LFDI (Madula 2013) με τη βοήθεια της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, πετυχαίνοντας πολύ μεγάλης ακρίβειας εκτιμήσεις των τιμών WF ($R^2 = 0.99$, $S=1.2$) και RCF ($R^2 = 0.97$, $S=0.05$) που παρατίθενται στους ίδιους πίνακες.

Όπως είναι ευνόητο, οι τιμές του LFDI μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας, εξαιτίας της μεταβολής των μετεωρολογικών παραμέτρων (Trollope κ.α. 2007). Οπότε η μέγιστη ημερήσια τιμή του, που συνήθως παρατηρείται κατά τις μεταμεσημβρινές ώρες, είναι εκείνη που καθορίζει το επίπεδο επικινδυνότητας εκάστης ημέρας (Madula 2013). Για το λόγο αυτό, αλλά και για να υπάρξει δυνατότητα σύγκρισης με το δείκτη της ΓΤΠΠ, χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστες τιμές θερμοκρασίας και ελάχιστες τιμές σχετικής υγρασίας αέρα εκάστης των ημερών εκδήλωσης των 390 πυρκαγιών, όπως προαναφέρθηκε κι όχι οι τιμές τους κατά την ώρα έναρξης των πυρκαγιών.

Αποτελέσματα

Λέγεται (Willis κ.α. 2001) ότι η διαδικασία ανάπτυξης του δείκτη LFDI και οι υποθέσεις, στις οποίες βασίστηκε, ποτέ δεν δημοσιεύθηκαν από τον δημιουργό του, Michael Laing, καθιστώντας αδύνατη την κρίση εγκυρότητας του συστήματος, δεδομένης, μάλιστα, της ύπαρξης άλλων, καλά τεκμηριωμένων συστημάτων κινδύνου πυρκαγιάς (Καναδικού Δείκτη κ.α.). Για τους λόγους αυτούς, έως το 2001 υπήρχαν αντιρρήσεις για χρήση του δείκτη σε εθνικό επίπεδο στην Νότια Αφρική (Willis κ.α. 2001). Παρατηρώντας, ωστόσο, προσεκτικά την εξίσωση (2), διακρίνονται ομοιότητες με εκείνη του σουηδικού δείκτη Angstrom, ενός δείκτη που, παρά την παλαιότητά του, παραμένει ένα από τα πιο ευαίσθητα μέτρα πρόβλεψης κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς (Skvarenina κ.α. 2003, Lukic κ.α. 2017), μετά την πάροδο κάποιων ημερών από το τελευταίο επεισόδιο βροχής. Με τη βοήθεια δε της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, εύκολα αποδεικνύεται ότι η σχέση που συνδέει τους δύο δείκτες (BI και Angstrom) είναι:

$$BI = -9*(\text{Angstrom Index}) + 62 \quad (R^2 = 0.99 \text{ και } S = 2) \quad (5)$$

Βάσει της ανωτέρω εξίσωσης, η τιμή 4 του δείκτη Angstrom (υπεράνω της οποίας δεν είναι δυνατή η έναρξη δασικής πυρκαγιάς) αντιστοιχεί στην τιμή 26 του Burning Index, ενώ η τιμή 2 του δείκτη Angstrom (κάτω της οποίας έχουμε συνθήκες πυρκαγιάς πολύ ευνοϊκές, σύμφωνα με τον Καϊλίδη 1990) αντιστοιχεί στην τιμή 44 του Burning Index. Υπενθυμίζεται ότι χωρίς άνεμο, με τιμή < 20 του Burning Index (οπότε και $LFDI < 20$) δεν είναι πιθανή η έναρξη πυρκαγιών, αλλά αν τούτο συμβεί, τότε πιθανότατα να σβήσουν χωρίς ενέργειες πυρόσβεσης, ενώ για $\text{Burning Index} > 45$ οι πυρκαγιές εκδηλώνονται εύκολα και εξαπλώνονται γρήγορα (Madula 2013).

Επομένως, ο Burning Index του LFDI δεν είναι τίποτε άλλο, παρά ο δείκτης Angstrom σε άλλη κλίμακα. Έτσι, για τα μετεωρολογικά δεδομένα 6 περιπτώσεων πειραματικής καύσης βελονοτάπητα χωρίς άνεμο, που παρατίθενται στον πίνακα σελ. 137 του βιβλίου του Καϊλίδη (1990), προκύπτει η παρακάτω εξίσωση που συνδέει τη ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς (ROS) σε km/h ως συνάρτηση του Burning Index (BI):

$$ROS = 0.0003*BI + 0.0026 \quad (R^2 = 0.45) \quad (6)$$

Για τις υπόλοιπες, ωστόσο, 9 περιπτώσεις καύσης βελονοτάπητα του ίδιου πίνακα του Καϊλίδη (1990) υπό πνοή ανέμου, έχουμε:

$$ROS = 0.0020*BI + 0.0152 \quad (R^2 = 0.51) \quad (7)$$

$$ROS = 0.0022*LFDI + 0.0388 \quad (R^2 = 0.66) \quad (8)$$

Η προσθήκη, κατά συνέπεια, του Wind Factor (WF) υπό μορφής αθροίσματος στον BI για σχηματισμό του LFDI, πρέπει να θεωρείται επιτυχημένη, αφού αυξάνει κατά 15% την υπό της εξίσωσης (7) επεξηγούμενη διακύμανση τιμών της ROS στη δεύτερη περίπτωση.

Επιπλέον, ο Burning Index (όπως και ο Angstrom) αποτελεί μέτρο της επί % (κατά βάρος) περιεκτικότητας των νεκρών καυσίμων σε υγρασία (υπολογισμένης σύμφωνα με τις εξισώσεις του Simard, 1968) για περιορισμένα εύρη θερμοκρασιών (π.χ. $EMC = -24.36 \cdot \ln(BI) + 103.45$, με $R^2 = 0.94$ για θερμοκρασίες 30-35°C), υπό την προϋπόθεση ότι έχει εξατμισθεί όλη η περίσσεια ύδατος που προέρχεται από βροχοπτώσεις. Έτσι, πολλαπλασιάζοντας τον BI με τον παράγοντα Rain Correction Factor (RCF) επιχειρείται διόρθωση (μείωση) του LFDI, αυξανόμενου του ύψους βροχής και μειωμένου του αριθμού ημερών που έχει παρέλθει από την τελευταία βροχόπτωση. Όταν $RCF=1$, τότε έχει αποβληθεί κάθε περίσσεια ύδατος από βροχοπτώσεις και τα λεπτά νεκρά καύσιμα απορροφούν ή προσροφούν υγρασία από την ατμόσφαιρα αναλόγως των αυξομειώσεων κυρίως της σχετικής υγρασίας του αέρα (Johnson και Miyanishi 2001). Καλή συσχέτιση μεταξύ Angstrom Index και νεκρής δασικής καύσιμης ύλης διαπιστώθηκε και από Ganatsas κ.α. (2011).

Βάσει των ανωτέρω, μπορεί να ειπωθεί ότι ο LFDI είναι δομημένος πάνω στο σχήμα (κατά De Groot 1987) του Canadian Forest Fire Weather Index (CFFWI), αντιστοιχώντας ο μεν LFDI στον Initial Spread Index (ISI) του CFFWI, το δε γινόμενο $BI \cdot RCF$ στον Fine Fuel Moisture Code (FFMC) του CFFWI.

Όσον αφορά τη σχέση μεταξύ του LFDI και της ταχύτητας εξάπλωσης (ROS, σε km/h) 48 περιπτώσεων ελληνικών δασικών πυρκαγιών, αυτή βρέθηκε να είναι (Σχ. 1):

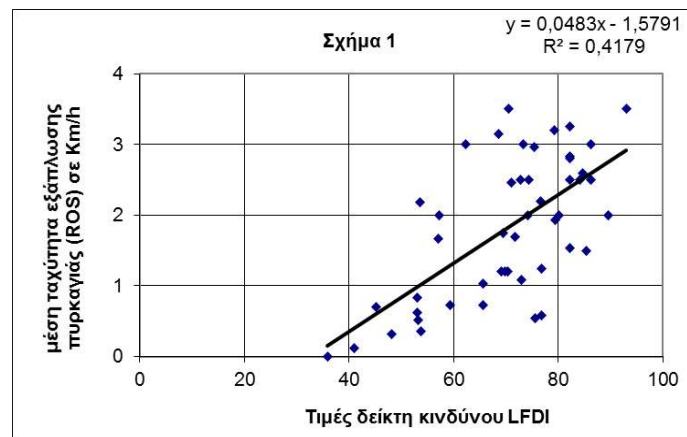
$$ROS = 0.048 \cdot LFDI - 1.58 \quad (R^2 = 0.42 \text{ και } S = 0.77) \quad (9)$$

Για τις ίδιες 48 περιπτώσεις, αλλά με ανεξάρτητη μεταβλητή τους δείκτες FFDI (Forest Fire Danger Index) του McArthur (Σχ. 2), F index και Fosberg αντίστοιχα, η σχέση είναι:

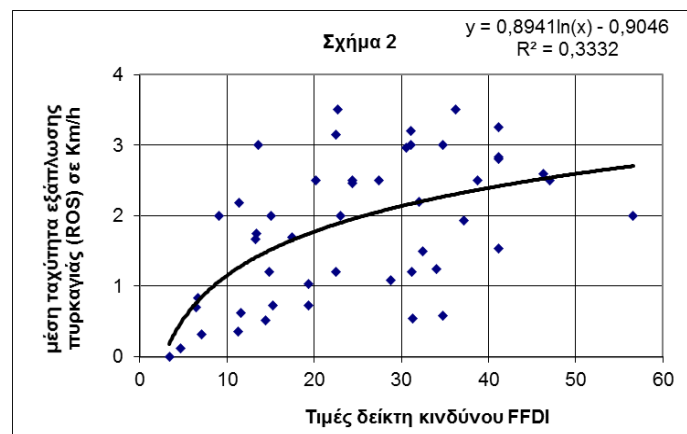
$$ROS = 0.89 \cdot \ln(FFDI) - 0.90 \quad (R^2 = 0.33 \text{ και } S = 0.82) \quad (10)$$

$$ROS = 0.52 \cdot \ln(F \text{ index}) + 1.56 \quad (R^2 = 0.45 \text{ και } S = 0.75) \quad (11)$$

$$ROS = 0.56 \cdot \ln(\text{Fosberg}) - 0.09 \quad (R^2 = 0.46 \text{ και } S = 0.74) \quad (12)$$



Σχήμα 1. Σχέση της μέσης ταχύτητας εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών (ROS) με τις τιμές του δείκτη LFDI.
Figure 1. Relationship of the mean forest fire Rate Of Spread (ROS) with the LFDI values.



Σχήμα 2. Σχέση της μέσης ταχύτητας εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών (ROS) με τις τιμές του δείκτη FFDI του McArthur.
Figure 2. Relationship of the mean forest fire Rate Of Spread (ROS) with McArthur's FFDI values.

Σημειωτέον ότι και οι 48 περιπτώσεις μετρήσεων ταχύτητας πυρκαγιών είχαν διάρκεια παρατήρησης μεγαλύτερη της 1 ώρας, οπότε αφορούν μέσες ταχύτητες εξάπλωσης των πυρκαγιών αυτών κι όχι στιγμιαίες τιμές τους, που μπορεί να είναι κατά πολύ μεγαλύτερες (έως 12 km/h κατά Αθανασίου 2008). Αν από όλες αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιηθούν μόνο οι 24 μετρήσεις του Αθανασίου (2008), ως εχόντων αντιπροσωπευτικότερες μετρήσεις μετεωρολογικών παραμέτρων (μετρήσεις πολύ κοντά στο μέτωπο, αλλά και ταχύτητα ανέμου στο μέσο ύψος της φλόγας), οι παραπάνω εξισώσεις (No9-No12) γίνονται:

$$ROS = 0.053 * LFDI - 1.92 \quad (R^2 = 0.28 \text{ και } S = 0.91) \quad (13)$$

$$ROS = 1.05 * \ln(FFDI) - 1.55 \quad (R^2 = 0.21 \text{ και } S = 0.96) \quad (14)$$

$$ROS = 0.55 * \ln(F \text{ index}) + 1.54 \quad (R^2 = 0.32 \text{ και } S = 0.89) \quad (15)$$

$$ROS = 0.68 * \ln(\text{Fosberg}) - 0.41 \quad (R^2 = 0.35 \text{ και } S = 0.87) \quad (16)$$

Παρατηρούμε μείωση του R^2 κατά 10-15% και στις 4 εξισώσεις.

Δουλεύοντας κατά τον ίδιο τρόπο τις 28 ολιγόλεπτες (έως 15 min) παρατηρήσεις του Αθανασίου (2008), αποδεικνύεται ότι στα ίδια περίπου επίπεδα (25%-30%) κυμαίνεται το R^2 στις εξισώσεις και των 4 δεικτών, μόνο που οι συντελεστές παλινδρόμησης των ανεξάρτητων μεταβλητών (κλίσεις των ευθειών) παρουσιάζονται μεγαλύτεροι (για τον εξεταζόμενο δείκτη λαμβάνουμε: $ROS = 0.17 * LFDI - 7$ με $R^2 = 0.25$ και $S = 3.12$). Αν όμως το δείγμα μας συμπεριλάβει όλες, δηλαδή και τις 76 συνολικά, περιπτώσεις του Αθανασίου (2008) με διάρκεια παρατήρησης μικρότερη της 1 ώρας, τότε το R^2 και των 4 εξισώσεων πέφτει στα επίπεδα του 12-16% (14% για τον LFDI).

Εκ της ανωτέρω συνοπτικής αναλύσεως προκύπτει ότι ο LFDI είναι ένας ικανοποιητικά αποτελεσματικός δείκτης σε συσχέτιση με άλλους μετεωρολογικούς δείκτες κινδύνου πυρκαγιάς, η δημιουργία των οποίων έχει στηριχθεί σε δεδομένα ταχύτητας εξάπλωσης πυρκαγιών των χωρών, όπου επί δεκαετίες αυτοί χρησιμοποιούνται επιχειρησιακά (Willis κ.α. 2001, Goodrick 2002, Sharples κ.α. 2009), σε ό,τι αφορά την ικανότητα εκτίμησης της μέσης ταχύτητας εξάπλωσης και της συμπεριφοράς δασικών πυρκαγιών γενικότερα. Η δε γραμμική του σχέση με τη ROS, σε αντίθεση της λογαριθμικής τοιαύτης των άλλων δεικτών, τον αναδεικνύει σε πιο εύχρηστο. Ποσοστό επεξηγούμενης διακύμανσης του δείγματος τιμών της ROS 28%-42%, ανάλογα με την εξίσωση, δεν πρέπει να θεωρείται διόλου ευκαταφρόνητο, δεδομένου ότι δεν λαμβάνονται υπόψη σύνθεση και δομή της βλάστησης (μοντέλα καύσιμης ύλης), κλίση εδάφους και γενικότερη τοπογραφική διαμόρφωση της περιοχής, παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την ταχύτητα εξάπλωσης μιας δασικής πυρκαγιάς. Ας μην ξεχνάμε, όμως, ότι ακόμα και στην περίπτωση των συστημάτων προσομοίωσης δασικών πυρκαγιών (πχ Behave Plus), όπου οι εν λόγω παράγοντες εμπεριέχονται, υπάρχει πάντοτε κάποιο ποσοστό μη επεξηγούμενης διακύμανσης των τιμών της ROS (π.χ. ένα 7% στην εργασία των Αθανασίου και Ξανθόπουλου 2009).

Είναι σημαντικό επίσης να σημειωθεί ότι στο φυλλάδιο χρήσης, καθώς και στα σχετικά άρθρα (Willis κ.α. 2001, Madula 2013) περί του δείκτη LFDI δίδονται ενδεικτικές τιμές ταχύτητας εξάπλωσης πυρκαγιών για κάθε μια εκ των 5 κλάσεων επικινδυνότητάς του στη Ν. Αφρική ως εξής:

- < 0.3 km/h για μικρή επικινδυνότητα ($20 < LFDI < 45$),
- 0.3-1.5 km/h για μέτρια επικινδυνότητα ($45 < LFDI < 60$),
- 1.5-2 km/h για μεγάλη επικινδυνότητα ($60 < LFDI < 75$) και
- > 2 km/h για την ακραία ($LFDI > 75$).

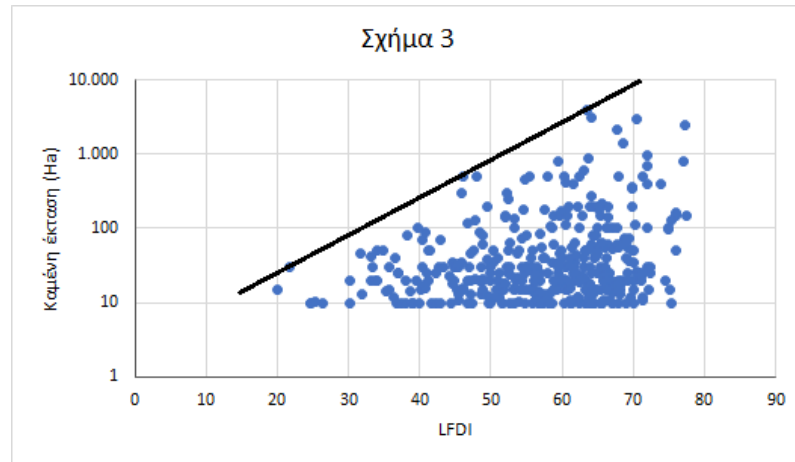
Έτσι, αν οι τιμές ROS των 0 km/h, 0.3 km/h, 1.5 km/h και 2 km/h αντιστοιχηθούν στις τιμές 20, 45, 60 και 75 του LFDI, προκύπτει η εξίσωση:

$$ROS = 0.0385 * LFDI - 0.97 \quad (17)$$

οι υπολογιζόμενες τιμές ROS της οποίας ελάχιστα διαφέρουν εκείνων από τις εξισώσεις που προέκυψαν από τα δεδομένα ελληνικών πυρκαγιών που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

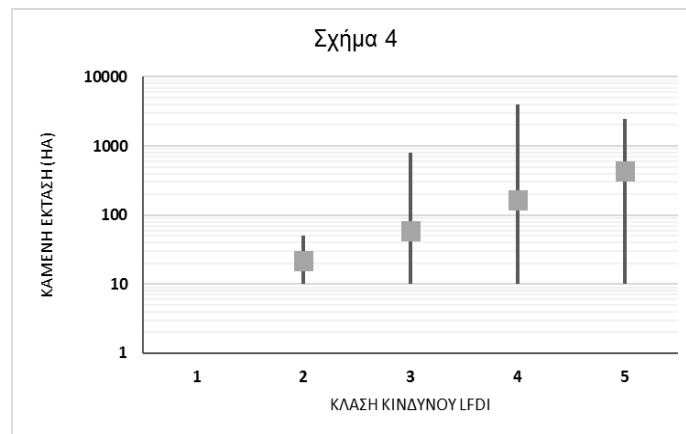
Από τη στιγμή που ο δείκτης LFDI σχετίζεται με τις ταχύτητες εξάπλωσης των πυρκαγιών, είναι βέβαιο ότι θα σχετίζεται και με τις καμένες εκτάσεις. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται το στικτό διάγραμμα των 390 πυρκαγιών από όλη την Ελλάδα (πλην Αττικής), που κατά την 3ετία 2014-16 έκαψαν τουλάχιστον 10 Ha δασών, δασικών και χορτολιβαδικών εκτάσεων η κάθε μία, σε σχέση με τον LFDI. Αναγκαστικά ο κάθετος άξονας αποδίδεται σε λογαριθμική κλίμακα. Από τις 390 παραπάνω πυρκαγιές, οι 311 εκδηλώθηκαν εντός των αντιπυρικών περιόδων της ίδιας 3ετίας, των οποίων η μέση καμένη έκταση ανά πυρκαγιά αποδίδεται με τετράγωνα για κάθε μια από τις κλάσεις επικινδυνότητας των δεικτών LFDI και ΓΤΠΠ στα Σχήματα 4 και 5. Στα ίδια σχήματα, με μπάρες

εκατέρωθεν των τετραγώνων αποδίδονται οι περιπτώσεις των μέγιστων και ελάχιστων καμένων εκτάσεων κάθε μιας από τις κλάσεις επικινδυνότητας. Από το Σχήμα 4 προκύπτει ότι οι πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν κατά τις ημέρες με επίπεδο επικινδυνότητας 2 του LFDI (μέγιστη ημερήσια τιμή LFDI μεταξύ 20 και 45) έκαigan κατά μέσο όρο 22 Ha (φτάνοντας το πολύ τα 50 Ha), ενώ κατά τις ημέρες με επίπεδο επικινδυνότητας 5 (μέγιστη ημερήσια τιμή LFDI>75) η μέση καιόμενη επιφάνεια ανά πυρκαγιά είναι 441 Ha (φτάνοντας έως 2500 Ha). Αντίθετα, καμία πυρκαγιά της 3ετίας 2014-16 δεν ξεπέρασε τα 10 Ha κατά τις ημέρες με επίπεδο επικινδυνότητας 1 του LFDI.



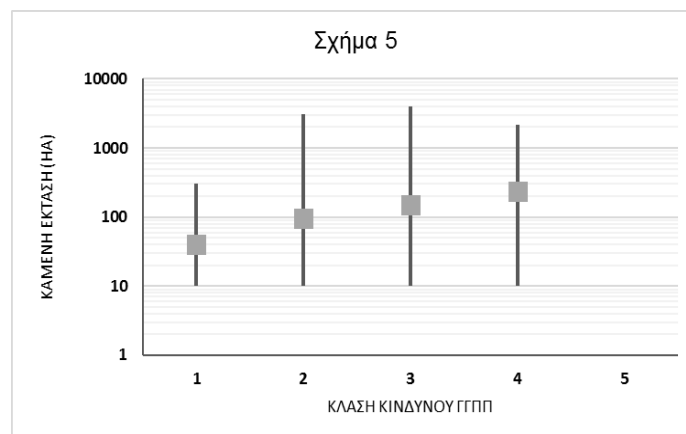
Σχήμα 3. Σχέση της καμένης επιφάνειας των 390 δασικών πυρκαγιών άνω των 10 Ha της 3ετίας 2014-16 με τις τιμές του δείκτη LFDI.

Figure 3. Relationship between the highest daily LFDI values and the size of 390 forest fires (>10 Ha) in Greece during 3 years (2014-2016).



Σχήμα 4. Σχέση της μέσης καμένης επιφάνειας των 311 δασικών πυρκαγιών άνω των 10 Ha των αντιπυρικών περιόδων 3ετίας 2014-16 με τις κλάσεις επικινδυνότητας του δείκτη LFDI.

Figure 4. Relationship between the LFDI 's fire danger classes and the mean size of 311 forest fires (>10 Ha) in Greece during the May-October periods of 3 years (2014-2016).



Σχήμα 5. Σχέση της μέσης καμένης επιφάνειας των 311 δασικών πυρκαγιών άνω των 10 Ha των αντιπυρικών περιόδων 3ετίας 2014-16 με τις κλάσεις επικινδυνότητας του δείκτη ΓΤΠΠ.

Figure 5. Relationship between the General Secretariat for Civil Protection (GSCP) 's fire danger classes and the mean size of 311 forest fires (>10 Ha) in Greece during the May-October periods of 3 years (2014-2016).

Στο αντίστοιχο διάγραμμα των 311 πυρκαγιών σε σχέση με το δείκτη επικινδυνότητας της ΓΤΠΠ (Σχήμα 5), διαπιστώνεται αυξητική μεν, αλλά λιγότερο έντονη, τάση της μέσης καίόμενης επιφάνειας ανά πυρκαγιά, αυξανόμενου του επιπέδου επικινδυνότητας. Η σύγκριση των Σχημάτων 4 και 5 αναδεικνύει και την ασφάλεια που εξασφαλίζει η αδειοδότηση ελεγχόμενων καύσεων κατά τις ημέρες 1^{ου} και 2^{ου} επιπέδου επικινδυνότητας του LFDI, σε σχέση με τα ίδια επίπεδα επικινδυνότητας του δείκτη ΓΤΠΠ.

Επανερχόμενοι στο διάγραμμα του Σχήματος 3, παρατηρούμε ότι για το σύνολο των 390 αυτών πυρκαγιών δεν υφίσταται στατιστική σχέση μεταξύ της καμένης τους έκτασης και του LFDI, λόγω μεγαλύτερης συγκέντρωσης των σημείων του διαγράμματος στην περιοχή που ορίζεται από τις τιμές 10 και 100 του κατακόρυφου άξονα. Όποια μαθηματική συνάρτηση κι αν χρησιμοποιηθεί με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) δεν υπερβαίνει το 7%. Η αποκτηθείσα εμπειρία από την πολυετή παρακολούθηση της εξέλιξης των δασικών πυρκαγιών της χώρας μας στο ΕΣΚΕ, μπορεί να αποδώσει τη μείωση της δυνητικά καίόμενης επιφάνειας στις περιπτώσεις των περιπτώσεων, μεταξύ άλλων:

1. Σε τυχόν ταχεία επέμβαση με πολλά μέσα (επίγεια και εναέρια).
2. Στις ευνοϊκότερες, για τη δασοπυρόσβεση, συνθήκες κατά τη διάρκεια της νύχτας (μικρότερες τιμές LFDI).
3. Σε ασυνέχειες της δασικής καύσιμης ύλης, εξαιτίας της ύπαρξης αγροτικών περιοχών, οικισμών, βραχωδών εκτάσεων, θαλασσιών ακτών κλπ κατά την πορεία του μετώπου των πυρκαγιών.
4. Σε μειωμένη ευφλεκτότητα των ζωντανών καυσίμων στις αρχές, στα τέλη και εκτός αντιπυρικής περιόδου, κάτι που θα συζητηθεί παρακάτω.

Έτσι, σε ένα τέτοιο διάγραμμα ενδιαφέρον παρουσιάζουν, βασικά, οι πυρκαγιές με τις μεγαλύτερες καμένες εκτάσεις για κάθε συγκεκριμένη τιμή του δείκτη, δηλαδή οι πυρκαγιές εκείνες που δεν μπόρεσαν εγκαίρως να ελεγχθούν και επεκτείνονταν ανεξέλεγκτα, όσο οι συνθήκες του καιρού, της βλάστησης και της τοπογραφίας επέτρεπαν. Πρόκειται για τις πυρκαγιές, οι οποίες φαίνεται να σχηματίζουν την παχιά ευθεία γραμμή στο ημιλογαριθμικό διάγραμμα του Σχήματος 3, η οποία στην πραγματικότητα δίνεται από την εξίσωση εκθετικής μορφής:

$$\text{Καμένη έκταση (Ha)} = 2.7573 \cdot \exp(0.1106 \cdot \text{LFDI}) \quad (18)$$

Με χρήση, λοιπόν, της ανωτέρω εξίσωσης, προκύπτει πως κατά τις ημέρες με μέγιστη τιμή LFDI ίση με 20, 45, 60 και 75, ανεξέλεγκτες δασικές πυρκαγιές δύνανται να αποτεφρώσουν εκτάσεις των 25, 400, 2101 και 11040 Ha αντίστοιχα, υπό την προϋπόθεση ότι:

1. Τα ποώδη φυτά διέρχονται το φαινολογικό στάδιο παντελούς έλλειψης χλωρών φύλλων (fully cured), σύμφωνα με Austin (2008), ώστε να συμπεριφέρονται ως νεκρά καύσιμα, με την περιεχόμενη υγρασία τους να είναι συνάρτηση μόνο της ατμοσφαιρικής υγρασίας και θερμοκρασίας (Johnson και Miyaniishi, 2001). Όταν τούτο δεν συμβαίνει, όταν δηλαδή στις αρχές, στα τέλη και εκτός αντιπυρικής περιόδου, τα ποώδη φυτά είναι ολικώς ή μερικώς πράσινα, η ευφλεκτότητά τους μειώνεται από την - υπό του εδάφους προσληφθείσα - υγρασία (δείκτη της

οποίας αποτελεί το ποσοστό ξήρανσής τους, σύμφωνα με Allan κ.α. 2003), με αποτέλεσμα μικρότερης έντασης και έκτασης πυρκαγιές για δεδομένες τιμές LFDI. Σε τέτοια περίπτωση για τη Νότια Αφρική, προτείνεται από τον Trollope κ.α. (2007) οι εκάστοτε υπολογισμένες τιμές του LFDI να μειώνονται μέσω πολλαπλασιασμού τους με τον λεγόμενο «Grass Curing Factor», ένα κλάσμα που λαμβάνει τιμή 1 όταν τα ποώδη φυτά είναι τελείως ξερά, 0 όταν είναι τελείως χλωρά και όλες τις ενδιάμεσες τιμές αναλόγως του ποσοστού ξήρανσής τους (curing). Για τη χώρα μας, βέβαια, ο Grass Curing Factor για λίγες μέρες, κυρίως τον Απρίλιο και το Μάιο (ανάλογα με την περιοχή) και μόνο κατά τόπους δύναται να λάβει την τιμή 0, διότι η Ελλάδα αφενός μεν δεν διαθέτει τις τεράστιες εκτάσεις ποολίβαδων της Νοτίου Αφρικής, αφετέρου δε οι χορτολιβαδικές της εκτάσεις συνιστούν συνήθως ένα μωσαϊκό ποωδών και ξυλωδών φυτών διαφόρου βαθμού εδαφοκάλυψης, εκ των οποίων κάποια είδη φρυγάνων και θάμνων (η αφάνα, η αστοιβίδα, το ρέικι κ.α., όπως από πολλά συμβάντα πυρκαγιών έχει διαπιστωθεί) καθίστανται εύφλεκτα ακόμα και το χειμώνα κατά τη διάρκεια περιόδων ανομβρίας άνω των 10-20 ημερών (Γκουβάς κ.α, 2008). Έτσι, κατά τις ημέρες με $LFDI > 45$ σε περιοχή ή εποχή με χλωρά ποώδη φυτά, πρέπει η πραγματική τιμή LFDI να θεωρείται μικρότερη από την υπολογισθείσα, απαιτείται, ωστόσο, περαιτέρω έρευνα σχετικά με το κλάσμα Grass Curing Factor με το οποίο, κατά περίπτωση, πρέπει αυτή να πολλαπλασιάζεται. Επιπλέον, ο Grass Curing Factor δεν μπορεί να υποκαταστήσει τον Rain Correction Factor, όπως προτείνεται από Trollope κ.α. (2007) για την Νότια Αφρική, για δύο λόγους: α) Διότι, σε αντίθεση με την αφρικανική σαβάνα, ακόμα και μικρού ύψους θερινές βροχοπτώσεις (< 5 mm) φαίνεται ότι μεταβάλλουν το υδατικό δυναμικό, επομένως και την ευφλεκτότητα, των ξυλωδών φυτών (Xanthopoulos κ.α. 2006), που αποτελούν την κυρίαρχη μορφή ζωντανής δασικής καύσιμης ύλης στα ελληνικά οικοσυστήματα. β) Επειδή δυνατές και μεγάλης διάρκειας βροχές διαβρέχουν καλά την εύφλεκτη δασική ύλη (βελονοτάπητα, φυλλοτάπητα και ξυλώδη υπολείμματα στον υπόροφο πυκνών δασών και θαμνώνων), κάνοντάς την ανθεκτική στην έναρξη και επέκταση των πυρκαγιών, όπως εύστοχα παρατηρεί και παραστατικότατα (με διαγράμματα) αποδίδει τη σχέση βροχής και πορείας περιεχόμενης υγρασίας βελονοτάπητα τραχείας πεύκης ο Καϊλίδης (1990). Εις το αυτό συνηγορεί και η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του Rain Correction Factor (RCF) και του Drought Factor (DF), βασικού όρου στην εξίσωση υπολογισμού του Australian McArthur Forest Fire Danger Index (Willis κ.α. 2001), εκ της οποίας προκύπτει ισχυρότατη συσχέτιση μεταξύ τους ($RCF = 0.09 * DF + 0.1$ με $R^2 = 0.95$ για $KBDI > 50$ mm).

2. Τα ξυλώδη φυτά (δέντρα, θάμνοι, φρύγανα) είναι πολύ εύφλεκτα, εξαιτίας ελλειμματικών ποσοτήτων περιεχόμενης υγρασίας. Μέτρο της ευφλεκτότητας ζωντανών δέντρων και θάμνων (έστω προσεγγιστικά εκεί όπου είναι ανέφικτες οι απαιτούμενες μετρήσεις) έχει αποδειχθεί ότι είναι ο Keetch-Byram Drought Index (KBDI), επειδή σχετίζεται με το υδατικό δυναμικό τους (Xanthopoulos κ.α. 2006), που με τη σειρά του σχετίζεται ισχυρά με το υδατικό τους έλλειμμα (Ραδόγλου, 1987). Τα πρώτα αποτελέσματα της - υπό εξέλιξη - προσπάθειας εξεύρεσης ενός νέου παράγοντα (γινόμενου) διόρθωσης του LFDI ως συνάρτηση του δείκτη KBDI, είναι ενθαρρυντικά. Με την εν λόγω διόρθωση, στην οποία εξ ανάγκης δεν θα επεκταθούμε, έχει επιτευχθεί αύξηση της, υπό του LFDI, επεξηγούμενης μεταβλητότητας των καμένων εκτάσεων στο Σχήμα 3 από 7% σε 10%, ποσοστό διόλου ευκαταφρόνητο, δεδομένου των άλλων προαναφερόμενων παραγόντων μείωσης των δυνητικά καιόμενων εκτάσεων. Να σημειωθεί τέλος, ότι διερευνάται και η δυνατότητα χρήσης του δορυφορικού δείκτη NDVI αντί του μετεωρολογικού KBDI προς το σκοπό τούτο, εξαιτίας της σχέσης του με την περιεχόμενη υγρασία των ζωντανών καυσίμων (Chuvieco κ.α. 2004), αλλά και της σχέσης του με τον Grass Curing Factor (Allan κ.α. 2003, Chaivaranont κ.α. 2018).

Συζήτηση – Συμπεράσματα

Διά της ανωτέρω αναλύσεως συμπληρώνεται η προ δεκαετίας αναπτυχθείσα επιχειρηματολογία περί της καταλληλότητας του μετεωρολογικού δείκτη κινδύνου δασικών πυρκαγιών της Νοτίου Αφρικής, LFDI, για τον ελλαδικό χώρο. Ένας δείκτης απλούστερος, διόλου αυθαίρετος στην ανάπτυξη, ικανοποιητικά αποτελεσματικός, σε σχέση με άλλους γνωστούς μετεωρολογικούς δείκτες που επιχειρησιακά χρησιμοποιούνται σε άλλες χώρες. Η βελτιστοποίηση και η υιοθέτηση τουλάχιστον από το Πυροσβεστικό Σώμα, ενός εύχρηστου δείκτη, αντικειμενικά υπολογισμένου για κάθε σημείο

της χώρας μας, θα ήταν εξαιρετικά χρήσιμη ώστε να μπορεί κάποιος να κατανοεί το γιατί σε μια περιοχή λαμβάνει ο δείκτης μια συγκεκριμένη τιμή και διαφορετική σε άλλες. Αποδεικνύεται λοιπόν ότι ο LFDI (Lowveld Fire Danger Index):

1. Έχει ως βάση του το δείκτη Angstrom, οπότε, για μηδενική ταχύτητα ανέμου, οι τιμές του εκφράζουν την πιθανότητα έναρξης πυρκαγιάς.
2. Σχετίζεται με την ταχύτητα επέκτασης των δασικών πυρκαγιών και στα ελληνικά οικοσυστήματα.
3. Οι μέγιστες ημερήσιες τιμές του χρησιμεύουν ως μέτρο της μέγιστης δυνατής καιόμενης έκτασης, ενώ οι 5 κλάσεις επικινδυνότητάς του ως μέτρο της μέσης καιόμενης έκτασης ανά πυρκαγιά.

Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την ευκολία υπολογισμού του LFDI μέσω διαγραμμάτων και πινάκων ενός μόνο φυλλαδίου ακόμα και στον τόπο του συμβάντος, αλλά και τη δυνατότητα πρόγνωσης του για τις επόμενες ώρες ή και ημέρες, τον καθιστούν χρησιμότερο εργαλείο στη λήψη αποφάσεων. Η εκτίμηση, για παράδειγμα, μέσω ενός δείκτη των συνθηκών, αναφορικά με τη δασοπυρόσβεση, κατά τη διάρκεια της νύχτας, οι οποίες μπορεί να είναι από πολύ ευνοϊκές (η πυρκαγιά να σβήσει από μόνη της) έως πολύ αντίξοες, είναι τεράστιας σημασίας για τη διαχείριση μέσων και προσωπικού.

4. Είναι δυνατόν να αποτελέσει εργαλείο έτοιμο για επιχειρησιακή χρήση και στη χώρα μας κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου, χάρη δε στη μαθηματική του δομή είναι εύκολη η τροποποίησή του, με προσθήκη όρων υπό μορφή γινομένου, για προσαρμογή (μείωση) των τιμών του και εκτός αντιπυρικής. Οποσδήποτε πρέπει οι τιμές του να πολλαπλασιάζονται με τον Grass Curing Factor, ένα κλάσμα που για τη χώρα μας δεν μπορεί να ταυτίζεται με το ποσοστό ξήρανσης των ποωδών φυτών, όπως ισχύει για την Αφρικανική σαβάνα. Το θέμα είναι υπό διερεύνηση, όπως υπό διερεύνηση είναι και η χρήση ενός ακόμα συντελεστή, δείκτη της ευφλεκτότητας των ξυλωδών φυτών ως συνάρτηση του δείκτη KBDI ή του NDVI.
5. Χάρη στη μαθηματική του δομή, είναι εύκολη η εξεύρεση και αντικατάσταση των εξισώσεων των Wind Factor και Rain Correction Factor με άλλους, ενδεχομένως πιο καλά προσαρμοσμένους στην ελληνικές συνθήκες παράγοντες, αν και στην περίπτωση του Rain Correction Factor αυτό δεν φαίνεται αναγκαίο, εξαιτίας της ισχυρής του συσχέτισης με τον Drought Factor του Αυστραλιανού Δείκτη, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.
6. Μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί στα διάφορα αριθμητικά μοντέλα καιρού και να έχουμε λεπτομερή πρόγνωση των τιμών του για 2 ή περισσότερες μέρες στον ελλαδικό χώρο.

Να σημειωθεί, τέλος, ότι υφίσταται η ευελιξία, οι οριακές τιμές των 5 επιπέδων (κλάσεων) επικινδυνότητας του LFDI να αποκλίνουν από τις προτεινόμενες για τη Νότια Αφρική και να διαφέρουν μεταξύ των ελληνικών περιοχών, αναλόγως του φορτίου, της σύνθεσης και δομής της κυρίαρχης δασικής καύσιμης ύλης. Είναι ευνόητο ότι λόγω της έκτασής τους, μόνο στα πλαίσια μιας Τεχνικής Έκθεσης δύνανται λεπτομερειακά να αναπτυχθούν και να παρουσιασθούν όλες οι προαναφερόμενες βελτιώσεις. Τέλος, εφόσον επιχειρησιακά εφαρμοστεί ο δείκτης LFDI, επιβάλλεται και η - μέσω επιτόπου παρατηρήσεων - περαιτέρω διερεύνηση των σχέσεων του δείκτη με την ταχύτητα εξάπλωσης των πυρκαγιών, εξαιτίας των προβληματισμών που εγείρουν οι παρατηρούμενες μη ισχυρές συσχετίσεις από τα μάλλον μικρά και ετερογενή (αναφορικά με τη χρονική διάρκεια, την ένταση, την καύσιμη ύλη κλπ) χρησιμοποιούμενα δείγματα πυρκαγιών της πτωχής, μέχρι σήμερα, σχετικής ελληνικής βιβλιογραφίας.

Abstract

The necessity for our country to adopt a National Fire Danger Rating System that combines convenience and objectivity was the reason to document once again the suitability of the Lowveld Fire Danger Index (LFDI) for the Greek physical conditions. This work proved that LFDI is based on the Swedish Angstrom Index and it is structured on the Canadian Forest Fire Index. LFDI is related to Rate Of Spread of the Greek forest fires, its maximum daily values serve as a measure of the maximum possible burned area, while the 5 risk classes as a measure of the average burned area per fire. Due to its mathematical structure, modifications are possible for an even better adaptation to Greek physical conditions.

Βιβλιογραφία

- Αθανασίου, Μ., 2008. Συμπεριφορά Δασικών Πυρκαγιών στην Ελλάδα: Χαρακτηριστικά και Πρόγνωση. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης. Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών 'Πρόληψη και Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών', Τμήμα Γεωλογίας Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπ. Αθηνών και Τμήμα Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας Τ.Ε.Ι. Σερρών, σελ. 140.
- Αθανασίου, Μ., Ξανθόπουλος, Γ., 2009. Η συμπεριφορά των μεγάλων δασικών πυρκαγιών του 2007 στην Ελλάδα. Πρακτικά 14ου Πανελλήνιου Δασολογικού Συνεδρίου, 1-4 Νοεμβρίου 2009, Πάτρα. Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, σελ. 591-602.
- Allan, G., Johnson, A.F., Cridland, S., Fitzgerald, N., 2003. Application of NDVI for predicting fuel curing at landscape scales in northern Australia: can remotely sensed data help schedule fire management operations? *Int. J. Wildland. Fire.* 12: 299-308.
- Austin, C., de Bruno, 2008. Operational FDR in South Africa: Lowveld FDR. Report on the Int. Workshop on Adv. in Operational Weather Systems for Fire Danger Rating, Canada, 14-16 July 2008, Ανακτήθηκε από http://www.wamis.org/agm/meetings/wofire08/S2-deBruno-Austin_SAF.pdf.
- Γκουβάς, Μ., Παπαδόπουλος, Α., Ηλιόπουλος, Ν., 2008. Ένας εύχρηστος μετεωρολογικός δείκτης κινδύνου δασικών πυρκαγιών. Πρακτικά 9ου Συνεδρίου Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, 28-31 Μαΐου 2008, σελ. 855-862.
- Chaivaranont, W., Evans, J.P., Liu, Y.Y., Sharples, J.J., 2018. Estimating grassland curing with remotely sensed data, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 18: 1535-1554.
- Chuvieco, E., Cocero, D., Riano, D., et al., 2004. Combining NDVI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating. *Remote. Sens. Environ.* 92 (3): 322-331.
- Ganatsas, P., Mantzavelas, A., Tsakalidimi, M., 2011. Development of an adapted empirical drought index to the Mediterranean conditions for use in forestry. *Agr. Forest. Meteorol.* 151: 241-250.
- Goodrick, S.L., 2002. Modification of the Fosberg fire weather index to include drought. *Int. J. Wildland. Fire.* 11: 205-211.
- De Groot, W.J., 1987 Interpreting the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System. In: Hirsch KG (ed.), *Proceedings of the Fourth Central Region Fire Weather Committee Scientific and Technical Seminar*. Can For Serv, Edmonton, Alberta, Study NOR-36-03-1, File Rep 3, pp 3-14.
- Ηλιόπουλος, Ν., Παπαδόπουλος, Α., Γκουβάς, Μ., Ντάσιου, Ζ., 2010. Μελέτη του δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς FDI (Fire Danger Index) και δυνατότητα εφαρμογής του στον ελληνικό χώρο. Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Πάτρα, 25-28 Μαΐου 2010, σελ. 329-336.
- Johnson, E.A., Miyanishi, K., 2001. *Forest fires. Behavior and ecological effects*. Academic Press, San Diego.
- Καϊλίδης, Δ., 1990. Δασικές Πυρκαγιές. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσ/νίκη. Σελ. 510.
- Lukić, T., et al., 2017. Forest fire analysis and classification based on a Serbian case study. *Acta geographica Slovenica.* 57 (1): 51-63.
- Madula, A.R., 2013. Publication of the fire danger rating system for general information in terms of section 9 (1) on the national veld and forest fire act, 1998. *National Government Gazettes No.* 37014, 15 November 2013, Vol. 581, notice 1099 of 2013.
- Oxford, A., 2017. Wildfires Versus Big Data: How South Africa's 49-year-old fire warning system has stood the test of time. Ανακτήθηκε από <https://htxt.co.za/2017/02/02/wildfires-versus-big-data-how-south-africas-49-year-old-fire-warning-system-has-stood-the-test-of-time-but-is-slowly-being-replaced/>.
- Ραδόγλου, Κ.Μ., 1987. Τροποποιητικές προσαρμογές υδατικών παραμέτρων σε συνθήκες καταπίεσης (stress) ξηρασίας στην τραχεία πεύκη. Πρακτικά Επιστημ. Συνάντησης, Δάση Χαλεπίου και Τραχείας Πεύκης, Χαλκίδα, 30 Σεπ. - 2 Οκτ. 1987. Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, 43-59.
- Sharples, J.J., McRae, R.H.D., Weber, R.O., Gill, A.M., 2009. A simple index for assessing fire danger rating. *Environ. Modell. Softw.* 24: 764-774.
- Simard, A.J., 1968. The moisture content of forest fuels I; A review of the basic concepts. Canada, Dept. of Forestry and Rural Development. Information Report FF-X-14 .
- Skvarenina, J., Mindas, J., Holec, J., Tucek, J., 2003. Analysis of the natural and meteorological conditions during two largest forest fire events in the Slovak paradise national park. In: *Forest fire in the wildland-urban interface and rural areas in Europe: an integral planning and management challenge*. Athens, Greece 15-16 May 2003, pp. 29-36.

Steenkamp, K.C., Wessels, K.J., Bergh, F.V., et al., 2012. Quantitative comparison of fire danger index performance using fire activity. 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 3375-3378.

Trollope, W., Govender, N., Austin, C., et al., 2007. Effect of point vs. perimeter ignitions on fire mosaics in the Kruger National Park. Technical Report, Savanna Fire Ignition Research Experiment (SavFIRE) Project, 29 p.

Willis, C., van Wilgen, B., Tolhurst, K., et al., 2001. The development of a national fire danger rating system for South Africa. Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria, South Africa.

Xanthopoulos, G., 2002. The forest fires of 1995 and 1998 on Penteli mountain. Pp 85-94. In proceedings of the International Workshop on "Improving Dispatching for Forest Fire Control". December 6-8, 2001. Chania, Crete, Greece. G. Xanthopoulos, editor. Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Chania, Crete, Greece. 162 p.

Xanthopoulos, G., Maheras, G., Gouma, V., Gouvas, M., 2006. Is the Keetch-Byram drought index (KBDI) directly related to plant water stress? Forest. Ecol. Manag. 234 (1): S27.