

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΎΛΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΛΑΔΑΝΙΑ (*CISTUS SPP.*) ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Αθανασίου Μιλτιάδης¹, Ξανθόπουλος Γαβριήλ², Μαρτίνης Αριστοτέλης³,
Φούκης Θεόδωρος³, Γαϊτάνη Σταυρούλα³

¹Γραφείο Περιβαλλοντικών Μελετών – “Μ. Αθανασίου”,

Θωμά Παλαιολόγου 8, 13673 Αχαρνές, e-mail: info@m-athanasiou.gr

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

³Τ.Ε.Ι. Ιονίων Νήσων, Τμήμα Τεχνολόγων Περιβάλλοντος,

Μαριέτας Γιαννοπούλου Μινώτου, Παναγούλα, 29100, Ζάκυνθος e-mail: amartinis@teiion.gr

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά στη δημιουργία ενός Μοντέλου Καύσιμης Ύλης (Μ.Κ.Υ.) για περιοχές που καλύπτονται από λαδανιές (*Cistus spp.*) στην Ελλάδα. Στόχος είναι αυτό το Μ.Κ.Υ. να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δεδομένο εισόδου για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς δασικών πυρκαγιών μέσω ειδικού λογισμικού (BehavePlus, FARSITE, κλπ.). Για τη δημιουργία του Μ.Κ.Υ. έγινε δειγματοληψία σε 30 δειγματοληπτικές επιφάνειες σε φρυγανότοπους κυριαρχούμενους από λαδανιές στην Ζάκυνθο. Το Μ.Κ.Υ., που αποτελείται από μέσες τιμές συγκεκριμένων παραμέτρων της βλάστησης, βασίστηκε εκτός από τις μετρήσεις πεδίου και σε προϋπάρχουσες δημοσιευμένες τιμές παραμέτρων για τη λαδανιά. Το Μ.Κ.Υ. της λαδανιάς βρίσκεται στη μέση, όσον αφορά τη συνολική βιομάζα, δύο προϋπαρχόντων Μ.Κ.Υ. για φρυγανότοπους αστοιβίδας (*Sarcopoterium spinosum*) και ασφάκας (*Phlomis fruticosa*). Επόμενο βήμα για την υιοθέτησή του νέου Μ.Κ.Υ., είναι ο έλεγχος της αξιοπιστίας του, με καταγραφή παρατηρήσεων συμπεριφοράς πραγματικών πυρκαγιών σε λαδανιές και σύγκρισή τους με προβλέψεις που θα προκύψουν από το BehavePlus, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισόδου το Μ.Κ.Υ. και τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Αέξεις κλειδιά: Μοντέλο Καύσιμης Ύλης, Λαδανιά, *Cistus creticus*, *Cistus parviflorus*, *Cistus salvifolius*

Εισαγωγή

Η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών, κυρίως της ταχύτητας εξάπλωσής τους (ROS, km/h), της έντασής τους (I, kW/m) και του μήκους της φλόγας (FL, m) που οπτικοποιεί και αποδίδει με παραστατικό τρόπο τα επίπεδα της έντασης της φωτιάς (I) (Rothermel 1991), μπορεί να αξιοποιηθεί ως ένα ιδιαίτερα σημαντικό εργαλείο στα πλαίσια της πρόληψης και της καταστολής τους. Η πρόβλεψη αυτή, που στο παρελθόν βασιζόταν μόνο στην εμπειρία των διαχειριστών των πυρκαγιών και περισσότερο συνιστούσε μία γενική εκτίμηση, μπορεί, στις περιπτώσεις που τεκμηριώνεται πως κάτι τέτοιο έχει νόημα, να γίνεται και μέσω μοντέλων που περιλαμβάνονται σε λογισμικό ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο μοντέλο διεθνώς, είναι το μαθηματικό μοντέλο πρόβλεψης της ταχύτητας εξάπλωσης δασικής πυρκαγιάς του Rothermel (1972). Το μοντέλο αυτό, που αφορά την εξάπλωση πυρκαγιών επιφανείας, έχει ενσωματωθεί σε συστήματα πρόβλεψης της συμπεριφοράς τους, με πιο γνωστό το BehavePlus (Andrews et al. 2005) της Δασικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ καθώς και σε συστήματα χωρικής προσομοίωσης της εξάπλωσής τους, όπως τα FARSITE (Finney 1998), FlamMap (Finney 2006), FLogA (Bogdos and Manolakos, 2013) κ.α.

Η μεγάλη αποδοχή και επιχειρησιακή χρήση των παραπάνω συστημάτων οφείλεται στο ότι βασίζονται σε πλήρως τεκμηριωμένα ερευνητικά ευρήματα, έχουν δοκιμαστεί ευρύτατα στην πράξη σε πολλά μέρη του κόσμου και διαφορετικά περιβάλλοντα και οι προβλέψεις τους έχουν αξιολογηθεί και, όπου χρειάστηκε, προσαρμοστεί ανάλογα από πολλούς ανεξάρτητους ερευνητές

(π.χ. Athanasiou and Xanthopoulos 2014, Αθανασίου και Ξανθόπουλος 2015). Επίσης είναι σημαντικό ότι είναι διαθέσιμα τελείως δωρεάν. Ποιο σημαντικό όμως από όλα είναι το γεγονός ότι οι εξισώσεις του μοντέλου του Rothermel χρησιμοποιούν τα χαρακτηριστικά της δασικής καύσιμης ύλης σαν ανεξάρτητες παραμέτρους. Δηλαδή η καύσιμη ύλη δεν αποτελεί μέρος του μοντέλου αλλά δεδομένο προς εισαγωγή (input). Μάλιστα η περιγραφή κάθε τύπου καύσιμης ύλης γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο: αποτελείται από 11 συγκεκριμένες μέσες τιμές παραμέτρων που συνιστούν το Μοντέλο Καύσιμης Ύλης (M.K.Y.) (fuel model). Έτσι, δημιουργώντας τυπικά M.K.Y. για έναν δασικό τύπο, με βάση μέσες τιμές, ή για μια συγκεκριμένη περιοχή (site specific fuel models), είναι δυνατή η χρήση των συστημάτων που είναι βασισμένα στο μοντέλο του Rothermel για την πρόβλεψη συμπεριφοράς πυρκαγιάς στο αντίστοιχο δασικό οικοσύστημα, οπουδήποτε.

Η πρόταση για αξιοποίηση της ανωτέρω δυνατότητας πρόβλεψης συμπεριφοράς των πυρκαγιών έχει γίνει στη χώρα μας από το 1990 (Ξανθόπουλος 1990). Με δεδομένο ότι για τον σκοπό αυτό αποτελεί προϋπόθεση η ύπαρξη μοντέλων καύσιμης ύλης, έχουν από τότε δημιουργηθεί αρκετά μοντέλα ειδικά για τη χώρα μας (Δημητρακόπουλος κ.α. 2001, Dimitrakopoulos 2002, Ξανθόπουλος κ.α. 2009). Σχετικά πρόσφατα έχει γίνει και δοκιμή αυτών των μοντέλων στην πράξη, με βάση παρατηρήσεις σε σημαντικές δασικές πυρκαγιές, και όπου χρειάστηκε προτάθηκαν κάποιες προσαρμογές (π.χ. Athanasiou and Xanthopoulos 2014, Αθανασίου 2015). Όμως, προφανώς, τα υπάρχοντα μοντέλα δεν καλύπτουν όλα τα σημαντικά δασικά οικοσυστήματα. Ένα από αυτά τα οικοσυστήματα είναι εκείνα της λαδανιάς (*Cistus spp.*). Οι λαδανιές είναι φρυγανικά είδη υποχρεωτικώς σπερμοαναγεννώμενα, που ευνοούνται για την αναπαραγωγή τους από την εμφάνιση πυρκαγιάς (Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη και Καζάνης 2012).

Τα διαθέσιμα μοντέλα καύσιμης ύλης που καλύπτουν την φρυγανική βλάστηση στην Ελλάδα σήμερα (Δημητρακόπουλος κ.α. 2001, Dimitrakopoulos 2002) αφορούν κυρίως τους τύπους της αστοιβίδας (*Sarcopoterium spinosum*) και της ασφάκας (*Phlomis fruticosa*). Η οπτική εικόνα των δύο αυτών τύπων φρυγάνων είναι πολύ διαφορετική από την εικόνα που παρουσιάζουν οι περιοχές που καλύπτονται λαδανιές. Η διαφορετική εικόνα και η διαφορετική σύνθεση ειδών, δεν συνεπάγονται αναγκαστικά την ανάγκη για διαφορετικό μοντέλο καύσιμης ύλης για τον τύπο βλάστησης “λαδανιά”, όμως αυτό οφείλει να εξετασθεί. Επίσης, με δεδομένο ότι η λαδανιά, ιδίως σε περιοχές της δυτικής Ελλάδας όπως τα νησιά του Ιονίου, φθάνει σε αρκετά μεγάλες διαστάσεις, αποτελεί ερωτηματικό αν ένα μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς πυρκαγιάς για όλες τις ενδεχόμενες καταστάσεις αυτού του τύπου βλάστησης.

Η παρούσα εργασία είναι το πρώτο βήμα για την απάντηση των παραπάνω ερωτημάτων, την περιγραφή του τύπου βλάστησης της λαδανιάς και την, εν τέλει, δημιουργία των κατάλληλων M.K.Y. τα οποία, θα μπορούν στη συνέχεια να αξιοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου στο BehavePlus (Andrews et al. 2005) για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς πυρκαγιών επιφανείας σε φρυγανότοπους όπου κυριαρχεί η λαδανιά.

Υλικά και Μέθοδοι

Για να αποκτηθούν στοιχεία σχετικά με τις τιμές παραμέτρων της λαδανιάς που απαιτούνται για την περιγραφή της καθώς και για τη δημιουργία M.K.Y., εφαρμόστηκε η μέθοδος της καταστροφικής δειγματοληψίας, δηλαδή η κοπή και μέτρηση φυτών λαδανιάς. Η δειγματοληψία έγινε στη Ζάκυνθο κατά την περίοδο Ιουνίου-Αυγούστου 2016, ακολουθώντας τη μεθοδολογία που περιγράφεται στις εργασίες των Brown (1974), Brown et al. (1982) και έχει αξιοποιηθεί στο παρελθόν από τους Xanthopoulos and Manasi (2002) και Ξανθόπουλος κ.α. (2009).

Για την επίτευξη ομοιογένειας και αντιπροσωπευτικότητας αρχικά έγινε στρωμάτωση με τη βοήθεια δορυφορικών εικόνων του Google Earth (<http://earth.google.com/>) που ακολουθήθηκε από αυτοψίες στο πεδίο για επιβεβαίωση. Μέσω αυτών επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικές περιοχές ως προς το ύψος, τη δομή και την πυκνότητα της βλάστησης. Για την αποφυγή συστηματικού σφάλματος (bias) κατά τη δειγματοληψία, σε κάθε περιοχή επιλεγόταν ένα αρχικό σημείο εντός αντιπροσωπευτικής και κατά το δυνατόν ομοιογενούς βλάστησης λαδανιάς. Στη συνέχεια

γινόταν κλήρωση για την επιλογή αζιμούθιου προς το οποίο τελικά οριζόταν το Σημείο Δειγματοληψίας (Σ.Δ.), σε απόσταση 30 m από το αρχικό σημείο, με τη βοήθεια μετροταινίας. Μετά από την τοποθέτηση δίμετρου κονταριού στο Σ.Δ., ακολουθούσε η τοποθέτηση φωτογραφικής μηχανής σε τρίποδα ύψους 1,6 m, σε απόσταση 6 m από το κοντάρι επί της μετροταινίας και λαμβάνονταν φωτογραφίες της βλάστησης προς το κοντάρι, με και χωρίς την μετροταινία και με φακούς εστιακής απόστασης 28 mm (ευρυγώνιο) και 50 mm (κανονικό). Στη συνέχεια, για τη μέτρηση, σε κάθε Σ.Δ., οριοθετούνταν τρεις τετραγωνικές δειγματοληπτικές επιφάνειες (Δ.Ε. ή plots) ενός τετραγωνικού μέτρου ($1\text{ m} \times 1\text{ m} = 1\text{ m}^2$), ανά δεύτερο μέτρο δεξιά της μετροταινίας όπου και μετρούνταν η κάλυψη (SHRCOV), το ύψος (SHRHGT) και η ξηρή βιομάζα των θάμνων. Οι μετρήσεις του ύψους των θάμνων γίνονταν σε 5 θέσεις κατά μήκος 5 παράλληλων γραμμών που απείχαν 20 cm μεταξύ τους, μέσα στην τετραγωνική επιφάνεια 1 m^2 (plot). Από τις συνολικά 25 αυτές μετρήσεις ύψους υπολογίστηκε το μέσο ύψος (SHRHGT) των θάμνων και με δεδομένο ότι καταγραφόταν ως 0 το ύψος σε κάθε σημείο όπου δεν υπήρχε κάλυψη θάμνων, προέκυψε και η μετρημένη κάλυψη των θάμνων (SHRCOV). Σχετικά με την μέτρηση των κλάσεων μεγέθους (διαμέτρου) της βιομάζας, μέσα στη δειγματοληπτική επιφάνεια, αυτές συλλέγονταν και διαχωρίζονταν με την χρήση διαχωριστικού διαμέτρου (gono-go gauge) (Brown 1974). Η πρώτη κλάση της ζωντανής βλάστησης περιελάμβανε το φύλλωμα και τους κλαδίσκους διαμέτρου έως 0,63 cm, η δεύτερη κλάση τα κλαδιά διαμέτρου από 0,64 μέχρι 2,54 cm ενώ, λόγω του τύπου της βλάστησης, απουσίαζε η τρίτη κλάση δηλαδή τα κλαδιά διαμέτρου από 2,54 μέχρι 7,62 cm. Ακολουθούσε ζύγιση ανά κατηγορία με φορητό ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας 0,1 g. Μετά την απομάκρυνση της ζωντανής καύσιμης ύλης από τη Δ.Ε. ακολουθούσε η συλλογή των κατηγοριών της νεκρής ξυλώδους καύσιμης ύλης, και στη συνέχεια η ζύγισή τους. Η πρώτη κλάση της νεκρής βλάστησης περιελάμβανε τα καύσιμα της 1 ώρας (1-hr), δηλαδή (κλαδίσκους διαμέτρου έως 0,63 cm, φυλλοστρωμνή (ξηροφυλλοτάπητα) και χόρτα (στις λίγες περιπτώσεις όπου αυτά υπήρχαν). Η δεύτερη κλάση περιελάμβανε τα νεκρά ξυλώδη καύσιμα των 10 ωρών (10-hr) (διαμέτρου 0,64-2,54 cm) και η τρίτη κλάση τα καύσιμα των 100 ωρών (100-hr) (2,54-7,62 cm). Η τελευταία αυτή κλάση βρέθηκε σε μία μόνο Δ.Ε. και ήταν ένα κλαδί φιλλυρέας (*Phillyrea latifolia*).

Η ζύγιση της καύσιμης ύλης στο πεδίο αφορούσε προφανώς μετρήσεις υγρού βάρους. Για να γίνει η απαραίτητη αναγωγή σε βάρος ξερής καύσιμης ύλης, κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας συλλέγονταν 2 δείγματα για κάθε κατηγορία καύσιμης ύλης, τα οποία τοποθετούνταν σε κουτιά με κάλυμμα για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας στο εργαστήριο. Αρχικά ζυγίζονταν στο πεδίο (υγρό βάρος), ακολουθούσε ξήρανση σε κλίβανο στους 105 °C για 48 ώρες και μέτρηση του ξηρού βάρους (g) για τον υπολογισμό της υγρασίας των δειγμάτων. Με βάση τον μέσο όρο των δύο μετρήσεων υγρασίας γινόταν η αναγωγή των μετρήσεων υγρού βάρους του πεδίου σε τιμές ξηρού βάρους.

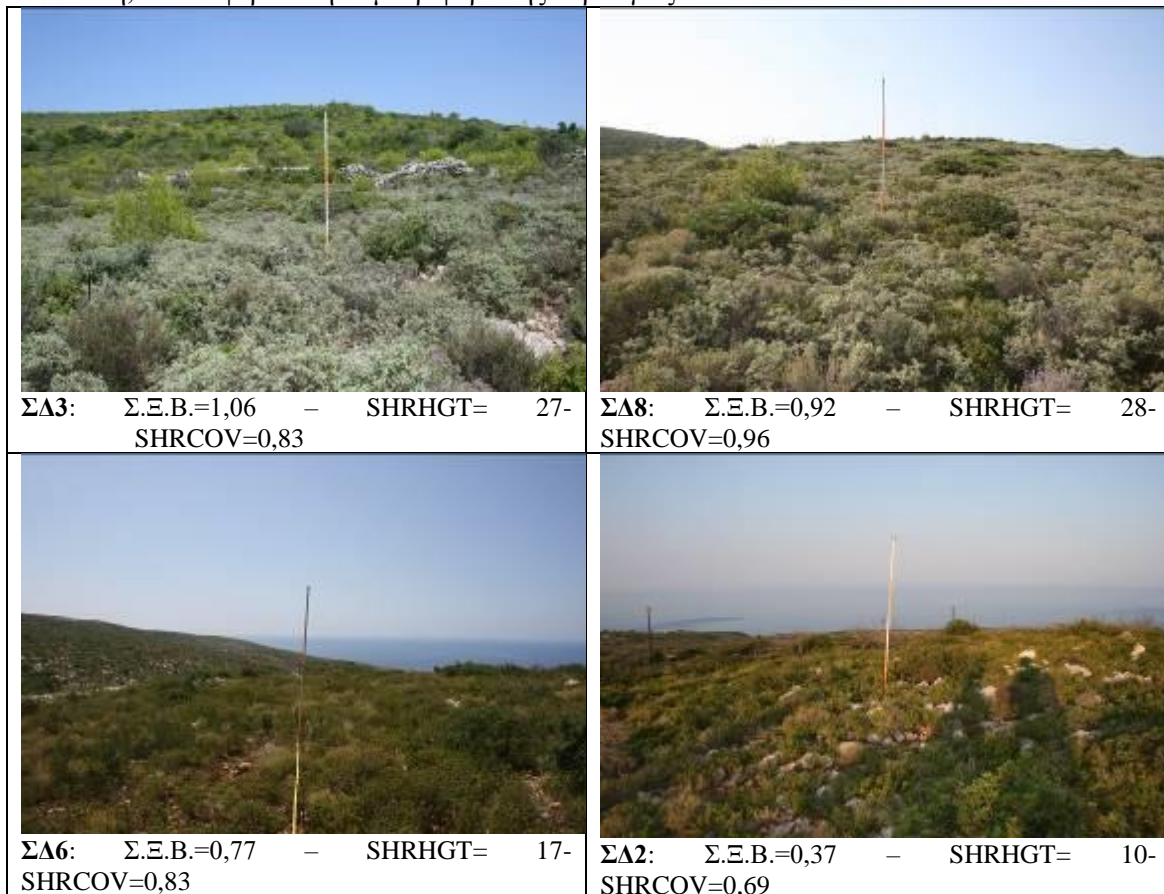
Αποτελέσματα

Ο συνολικός αριθμός των Σ.Δ. ανήλθε στα 10 οπότε ο συνολικός αριθμός των δειγματοληπτικών επιφανειών του 1 m^2 ήταν 30 (10x3). Το κυρίαρχο είδος βλάστησης στις Δ.Ε. ήταν οι λαδανιές (Εικόνα 1). Συγκεκριμένα, με βάση τον μέσο όρο της οπτικά εκτιμηθείσας φυτικής κάλυψης στις 30 Δ.Ε., η κάλυψη του *Cistus creticus* ανήλθε στο 35%, του *Cistus parviflorus* στο 29% και του *Cistus salvifolius* σε 9%. Σχετικά αξιόλογη παρουσία είχε και το θυμάρι (*Coridothymus capitatus*) με κάλυψη 7%. Τα βασικά στατιστικά στοιχεία που προέκυψαν από τις μετρήσεις σε αυτά τα 30 Σ.Δ. παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Η διακύμανση (variance) της συνολικής ξερής βιομάζας (Σ.Ξ.Β.) ήταν ίση με 0,155. Με τον μέσο όρο της Σ.Ξ.Β. ίσο με 0,74 kg/m², για μέγιστη αποδεκτή απόκλιση ίση με το 10% του μέσου όρου (0,074 kg/m²), και για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($z=1,96$) ο υπολογιζόμενος απαιτούμενος αριθμός Δ.Ε. είναι $n=108$. Με τα ίδια δεδομένα δείγματος αλλά με μέγιστη αποδεκτή απόκλιση ίση με το 20% του μέσου όρου, ο υπολογιζόμενος απαιτούμενος αριθμός Δ.Ε. είναι $n=27$, δηλαδή αριθμός μικρότερος από τον αριθμό των Δ.Ε. που μετρήθηκαν.

Με βάση τον πίνακα 1 προχώρησε η δημιουργία ενός μοντέλου καύσιμης ύλης για τον τύπο της λαδανιάς. Αρχικά, η ζωντανή καύσιμη ύλη στην κατηγορία διαμέτρου 0,64 - 2,54 cm προστέθηκε στην κατηγορία έως 0,63. Αυτό έγινε γιατί:

- Το ποσοστό της βιομάζας στην κατηγορία διαμέτρου 0,64 - 2,54 cm είναι μικρότερο από το 15% της βιομάζας στην κλάση ως 0,63 cm.
- Κατά τη δειγματοληψία με το go-no-go gauge παρατηρήθηκε ότι και η λίγη βιομάζα της παχύτερης κατηγορίας ήταν κοντά στο όριο των 0,64 cm.
- Στα μοντέλα καύσιμης ύλης που δημιουργούνται για χρήση με το μοντέλο του Rothermel (BehavePlus κλπ.) δεν περιλαμβάνεται η ζωντανή βιομάζα που έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 0,64 cm, ενώ στην Ελληνική πραγματικότητα από παρατηρήσεις των συγγραφέων σε πυρκαγιές περιοχών με λαδανιές που κάηκαν, προκύπτει ότι τα φυτά κατά κανόνα καίγονται ολοσχερώς, επομένως και αυτή η μεγαλύτερων διαστάσεων ζωντανή καύσιμη ύλη, συνεισφέρει στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς.



Εικόνα 1. Τέσσερα από τα Σ.Δ. σε χαρακτηριστικές περιοχές φρυγανότοπων λαδανιάς και οι μέσες τιμές του φορτίου της βιομάζας (Σ.Ξ.Β.) (kg/m^2), του ύψους (SHRHGT, cm) και της κάλυψής (SHRCOV) τους σε αυτά.

Fig. 1. Four of the Sampling Points (ΣΔ) in characteristic phryganic sites of *Cistus spp.*, and the values of the average dry biomass load (Σ.Ξ.Β.) (kg/m^2), the shrub height (SHRHGT, cm) and the cover (SHRCOV) in them

Για το μοντέλο καύσιμης ύλης, εκτός από τη βιομάζα ανά κατηγορία, απαιτούνται ο λόγος επιφάνειας προς όγκο (S/V ratio) της λεπτής νεκρής καύσιμης ύλης, της ποώδους βλάστησης και της λεπτής κατηγορίας της καύσιμης ύλης των ξυλωδών φυτών, η περιεχόμενη θερμική ενέργεια, το βάθος του στρώματος της καύσιμης ύλης, και τέλος η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας της νεκρής καύσιμης ύλης στην οποία παύει η εξάπλωση της πυρκαγιάς (moisture of extinction, M_x) (Burgan and Rothermel 1984).

	Ζωντανά (έως 0,63 cm)	Ζωντανά (0,64 - 2,54 cm)	Νεκρά 1-hr	Νεκρά 10-hr	Σ.Ξ.Β.	Μέσο ύψος θάμνων	Κάλυψη θάμνων
	Kg/m ²					cm	(%)
Μέση τιμή	0,27	0,04	0,39	0,04	0,74	21	80
Διάμεσος	0,25	0,02	0,34	0,02	0,68	21	80
Τυπική απόκλιση	0,16	0,05	0,26	0,05	0,39	8	12
Ελάχιστη τιμή	0,05	0	0,09	0	0,17	6	44
Μέγιστη τιμή	0,79	0,18	1,00	0,20	1,56	37	100

Πίνακας 1. Βασικά περιγραφικά στατιστικά στοιχεία: α) του φορτίου (ξηρό βάρος ανά μονάδα επιφανείας) των κατηγοριών ζωντανής και νεκρής βλάστησης και της συνολικής βιομάζας (Σ.Ξ.Β.), β) του μέσου ύψους και γ) της κάλυψης των θάμνων
 Table 1. Descriptive statistics for the data of a) biomass (dry load per unit area) of the live and dead fuel classes and the total dry load (Σ.Ξ.Β.), b) the height and the c) the cover of shrubs

Όσον αφορά τον λόγο επιφάνειας προς όγκο για τη ζωντανή ξυλώδη βλάστηση, υιοθετήθηκε η τιμή των 30 cm²/cm³, ως κατά προσέγγιση ζυγισμένος μέσος όρος της τιμής των 44,49 cm²/cm³ που μέτρησαν οι Dimitrakopoulos and Panov (2001) για τα φύλλα του *Cistus salvifolius*, των 23,01 cm²/cm³ για τα ζωντανά κλαδάκια διαμέτρου <0,64 cm, και των 8,09 cm²/cm³ για τα ζωντανά κλαδάκια διαμέτρου 0,64-2,54 cm. Η ζωντανή λεπτή ποώδης βλάστηση βρέθηκε από τη δειγματοληψία ότι είναι αμελητέα σε ποσότητα και επομένως δεν απαιτείται μια διαφορετική τιμή S/V. Για τη νεκρή λεπτή καύσιμη ύλη υιοθετήθηκε η τιμή 23,46 cm²/cm³ που μετρήθηκε από τους Dimitrakopoulos and Panov (2001) για τα λεπτά νεκρά κλαδάκια του *Cistus salvifolius*. Επίσης, όσον αφορά την περιεχόμενη ενέργεια υιοθετήθηκε η τιμή 19.046 kJ/kg που αναφέρεται από τους Dimitrakopoulos and Panov (2001) για το *Cistus salvifolius*.

Με βάση τα παραπάνω και χρησιμοποιώντας το υποσύστημα NEWMDL του BEHAVE (Burgan and Rothermel 1984) δημιουργήθηκε το μοντέλο καύσιμης ύλης για τη λαδανιά που παρουσιάζεται στον πίνακα 2. Μέσω του συστήματος υπολογίστηκε μία ζυγισμένη τιμή του βάθους του στρώματος της καύσιμης ύλης καθώς και μία τιμή για την M_x η οποία είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί στην πράξη.

Κατηγορία Καύσιμης ύλης	Φορτίο (tn/ha)	Λόγος επιφάνειας προς όγκο (cm ² /cm ³)	Άλλο	Τιμή
Νεκρή 1-hr	3,95	23,46	Βάθος (cm)	9,44
Νεκρή 10-hr	0,38	3,57 (από BEHAVE)	Ενέργεια (kJ/kg)	19.046
Νεκρή 100-hr	0,01	0,98 (από BEHAVE)	M _x (%)	46
Ζωντανή ποώδης	0,00	-		
Ζωντανή ξυλώδης	3,10	30,00		

Πίνακας 2. Οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου καύσιμης ύλης (M.K.Y.) για τους φρυγανότοπους της λαδανιάς
 Table 2. The values of the parameters of the fuel model for *Cistus* sp. dominated phrygana sites

Συζήτηση – Συμπεράσματα

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο καύσιμης ύλης για το τύπο «λαδανιά». Το μοντέλο αυτό έχει συνολική βιομάζα 7,44 tn/ha από την οποία το 58% ανήκει στην κατηγορία της νεκρής καύσιμης ύλης. Συγκριτικά, με τα δύο μοντέλα φρυγάνων των Δημητρακόπουλου κ.α. (2001), το μοντέλο αυτό βρίσκεται στη μέση ως προς τη συνολική βιομάζα και διαφοροποιείται αρκετά σχετικά με το ποσοστό της νεκρής καύσιμης ύλης. Συγκεκριμένα, το μοντέλο IV που αφορά περιοχές κυριαρχούμενες από ασφάκα (*Phlomis fruticosa*) έχει συνολική βιομάζα 9,9 tn/ha με το 74% να ανήκει στην κατηγορία της νεκρής καύσιμης ύλης. Στην άλλη άκρη, το μοντέλο V που αφορά περιοχές με αστοιβίδα (*Sarcopoterium spinosum*) έχει μόνο 5,65 tn/ha με το 85% αυτής της βιομάζας να είναι νεκρή.

Το ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι αν απαιτείται ένα ξεχωριστό μοντέλο καύσιμης ύλης ειδικά για τις λαδανιές. Ένας τρόπος ελέγχου θα μπορούσε να είναι η δοκιμή και σύγκριση της συμπεριφοράς των τριών μοντέλων με χρήση του BEHAVE ώστε να αξιολογηθεί αν οι προβλεπόμενες μέσω του συστήματος διαφορές συμπεριφοράς πυρκαγιάς, κάτω από διάφορα σενάρια μετεωρολογικών συνθηκών και τοπογραφίας, είναι διαφορετικές σε σχέση με κριτήρια της δασοπυροσβεστικής πράξης (π.χ. ταχύτητα εξάπλωσης πυρκαγιάς και μήκος φλόγας). Όμως, σε προηγούμενη εργασία των Αθανασίου και Ξανθόπουλος (2015) βρέθηκε ότι οι προβλέψεις του BEHAVE για συμπεριφορά πυρκαγιάς σε περιοχές με αστοιβίδα με βάση το μοντέλο V παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις, ιδίως ως προς το μήκος φλόγας, από τιμές που παρατηρήθηκαν σε πραγματικές πυρκαγιές.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, για να ολοκληρωθεί η προσπάθεια και να είναι δυνατή εφαρμογή στην πράξη, πρέπει να γίνει έλεγχος της αξιοπιστίας του νέου Μ.Κ.Υ., με καταγραφή παρατηρήσεων συμπεριφοράς πραγματικών πυρκαγιών σε λαδανιές και σύγκρισή τους με προβλέψεις που θα προκύψουν από το BehavePlus, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισόδου το Μ.Κ.Υ. και τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε τους Κωνσταντίνα Παπαδοπούλου, Αλέξανδρο Νάκο, Ιωάννα Κορίττα, Γεώργιο Δολμέ, Στέφανο Προβατά και Διονύσιο Βυθούλκα, σπουδαστές του Τμήματος Τεχνολόγων Περιβάλλοντος του Τ.Ε.Ι. Ιονίων Νήσων, για τη συμβολή τους κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Η συμβολή του Δρ. Γαβριήλ Ξανθόπουλου έγινε στο πλαίσιο του έργου “MedWildFireLab” (2014-2017), που συγχρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Διεύθυνση Ανάπτυξης και Προστασίας Δασών και Αγροπεριβάλλοντος του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, ως ένα από τα έργα του Ευρωπαϊκού προγράμματος ERA-NET FP7 με τον τίτλο “FORESTERRA”.

DEVELOPMENT OF A FUEL MODEL FOR *CISTUS SPP.* IN GREECE

Miltiadis Athanasiou¹, Gavriil Xanthopoulos², Martinis Aristotelis³, Foukis Theodoros³, Gaitani Stavroula³

¹ “Environmental Impact Assessment Studies”

8 Thoma Paleologou st., 13673 Acharnes, Greece, e-mail: info@m-athanasiou.gr

²Hellenic Agricultural Organization “DEMETER”, Institute of Mediterranean Forest Ecosystems Terma Alkmanos, 11528, Athens, Greece, e-mail: gxnrtc@fria.gr

³Technological Educational Institution of Ionian Islands, Department of Environmental Technologies

Marietas Giannopoulou-Minotou, Panagoula, 29100, Zakynthos, email: amartinis@teiiion.gr

Abstract

This paper presents the development of a fuel model for areas covered by *Cistus spp.* in Greece. This fuel model is intended to be used as input for fire behavior prediction systems such as BehavePlus, FARSITE, etc.. Thirty plots, 1 m² each, were sampled destructively in phryganic areas dominated by *Cistus* species, namely *Cistus creticus*, *Cistus parviflorus*, and *Cistus salvifolius*, on Zakynthos island, for obtaining the necessary fuel data. The fuel model, consisting of average values of specific vegetation parameters, is based, in addition to the field measurements, on pre-existing published parameter values for *Cistus salvifolius*. The *Cistus* fuel model, in regard to total dry biomass, lies between two pre-existing fuel models for Greece, namely the fuel models for phryganic vegetation of *Sarcopoterium spinosum* and for *Phlomis*

fruticosa. The next step for adopting it, is to test its performance by comparing fire behavior prediction through modeling with fire behavior observations.

Keywords: *Fuel model, Cistus creticus, Cistus parviflorus, Cistus salvifolius*

Βιβλιογραφία

Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη, Μ., Καζάνης, Δ., 2012. Ο οικολογικός ρόλος της φωτιάς στα χερσαία οικοσυστήματα της Ελλάδας. Σελ 103-116 στο βιβλίο «Το Δάσος – Μία ολοκληρωμένη προσέγγιση». Παπαγεωργίου Α. Κ., Καρέτσος, Γ., Κατσαδωράκης Γ. (επιμέλεια). WWF Ελλάς. 265 σελ.

Athanasίου, Μ., Xanthopoulos, G., 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. 99, full text on CD.

Αθανασίου Μ., Ξανθόπουλος, Γ., 2015. Δασικές πυρκαγιές σε Μεσογειακούς θαμνώνες, φρύγανα και χορτολίβαδα στην Ελλάδα: Σύγκριση της παρατηρηθείσας συμπεριφοράς πυρκαγιάς με τις προβλέψεις του BehavePlus. Σελ. 175-183. Στα πρακτικά του 17ου Πανελλήνιου Δασολογικού Συνεδρίου, 4-7 Οκτωβρίου 2015, Αργοστόλι, Κεφαλονιά. Ελληνική Δασολογική Εταιρεία & Φορέας Διαχείρισης Εθνικού Δρυμού Αίνου. 979 σελ.

Αθανασίου, Μ., 2015. Συμβολή στην επιλογή της καλύτερης μεθόδου πρόβλεψης της συμπεριφοράς δασικών πυρκαγιών για την Ελλάδα. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ 383.

Andrews, P.L., Bevins, C.D., Seli, R.C., 2005. BehavePlus fire modeling system, Version 3.0: User's Guide. General Technical Report RMRS-GTR-106WWW revised. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 132 p.

Bogdos N., Manolakos, E. S., 2013. A tool for simulation and geo-animation of wildfires with fuel editing and hotspot monitoring capabilities, *Environmental Modelling & Software* 46 (2013): 182-195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.03.009>.

Brown, J.K., 1974. Handbook for inventorying downed woody material. Gen. Tech. Rep. INT-16. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 23 p.

Brown, J. K., Oberheu, R. D., Johnston, C. M., 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Gen. Tech. Rep. INT- 129. Ogden, Utah. 48p.

Burgan, R.E., Rothermel, R.C., 1984. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modelling system—FUEL subsystem. Gen. Tech. Rep. INT-167. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 126 p.

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

Dimitrakopoulos, A. P., Panov, P. I., 2001. Pyric properties of some dominant Mediterranean vegetation species. *International Journal of Wildland Fire*, 10(1), 23-27.

Dimitrakopoulos, A.P., 2002. 'Mediterranean fuel models and potential fire behaviour in Greece', *International Journal of Wildland Fire* 11(2) 127 – 130.

Finney, M.A., 1998. FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, Ogden, UT: USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.

Finney, M. A., 2006. An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In: *Fuels management—how to measure success: conference proceedings*. 2006 March 28-30; Portland, Oregon. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 213-220. (647 KB; 13 pages)

Rothermel, R.C., 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p.

Rothermel, R.C., 1991. Crown fire analysis and interpretation, pp.253-263. In: Andrews P.I., Potts D.F., (eds.), Proceedings of the 11th Conference on Fire and Forest Meteorology. Society of American Foresters, Missoula, Montana, USA.

Ξανθόπουλος, Γ., 1990. Δυνατότητες πρόβλεψης συμπεριφοράς της πυρκαγιάς στα δάση της Ελλάδας. Σελ. 199-203. Στα πρακτικά του Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Δασολογικής Εταιρείας, με θέμα "Δασοπονία και Περιφερειακή Ανάπτυξη", 7-9 Νοεμβρίου 1990, Καρπενήσι. 417 σελ.

Ξανθόπουλος, Γ., Μανασή Μ., 2001. Μεθοδολογία δημιουργίας μοντέλων καύσιμης ύλης για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών. Σελ 541-551. Στα: Πρακτικά του 9ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου «Προστασία Δασικού Περιβάλλοντος και Αποκατάσταση Διαταραγμένων Περιοχών», της Ελληνικής Δασολογικής Εταιρείας, Κοζάνη, 17-20 Οκτωβρίου 2000. 736 σελ.

Ξανθόπουλος Γ., Δόσης, Σ., Καρπή, Α., Παναγιωτίδου, Ε., Σουφλής, Δ., 2009. Αντιπροσωπευτικά μοντέλα δασικής καύσιμης ύλης για την περιφέρεια της Αττικής: Δημιουργία και λογισμικό αξιοποίησης. Σελ. 615-626. Στα πρακτικά του 14ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, 1-4 Νοεμβρίου 2009, Πάτρα. Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, Θεσσαλονίκη. 1101 σελ.