



ΠΡΑΚΤΙΚΑ

22ου Πανελλήνιου Δασολογικού Συνεδρίου

«Αειφόρος και αξιοβίωτη ανάπτυξη ορεινών περιοχών-Προστασία φυσικού Περιβάλλοντος»

**Επιμέλεια Έκδοσης: Καραμαριά Αφροδίτη, Μαρίνα Χαβενετίδου,
Θεοχάρης Ζάγκας, Ιωάννης Σπανός,
Διονύσιος Γαϊτάνης, Ουρούζη Αγγελική**

**Ιωάννινα
28 Σεπτεμβρίου – 1 Οκτωβρίου 2025**

ISBN: 978-618-84551-4-6

ΔΙΟΡΓΑΝΩΤΗΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΑΣΟΛΟΓΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ

ΑΙΓΙΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΣΥΝΔΙΟΡΓΑΝΩΤΕΣ

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΑΣΩΝ - ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΔΑΣΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

ΗΠΕΙΡΟΥ – ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ (ΓΕΩΤΕΕ)

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΧΟΡΗΓΟΙ

ΠΡΑΣΙΝΟ ΤΑΜΕΙΟ

SPARROW QUARRIES

ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ ΟΛΥΜΠΙΟΣ

ΒΙΚΟΣ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ (ΓΕΩΤΕΕ)

ΠΙΝΔΟΣ ΔΑΣΟΤΕΧΝΙΚΗ

ΑΛΣΟΣ ΙΚΕ

ΑΣΤΑΕΟΝΙΚΙ

ΑΚΡΙΤΑΣ

ΣΤ' ΚΥΝΗΓΕΤΙΚΗ ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ-ΘΡΑΚΗΣ (ΚΟΜΑΘ)

ΕΝΩΣΗ ΔΑΣΙΚΗΣ ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Ε' ΚΥΝΗΓΕΤΙΚΗ ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΔΗΜΟΣ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΟΥΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

Ξόφης, Παντελεήμων¹; Ποϊραζίδης, Κωνσταντίνος²; Αθανασίου, Μιλτιάδης³; Ζαφειρόπουλος, Βασίλειος⁴; Καψάλης, Ελευθέριος⁴; Αθανασάκης, Γεώργιος⁵; Τζηρίτης, Ηλίας⁵; Δούρος, Αντώνιος⁵; Γεωργιάδης, Νικόλαος⁵

¹Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Φυσικού Περιβάλλοντος και Κλιματικής Ανθεκτικότητας, Δράμα, 1ο χλμ Δράμας-Μικροχωρίου, Τ.Κ. 66131, pxofis@neclir.duth.gr

²Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Περιβάλλοντος, Ζάκυνθος, Τ.Κ. 29100 Παναγούλα, kpoiraz@ionio.gr

³ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων, Αθήνα, Τέρμα Αλκμάνος, Τ.Κ. 11528; m.athanasiou@elgo.gr

⁴Εταιρία Προστασίας Βιοποικιλότητας Θράκης, Δαδιά Σουφλίου, Τ.Κ. 68400, v.zafeiropoulos@spbt.gr (Z.B), e.kapsalis@spbt.gr (K.E)

⁵WWF-Ελλάς, Αθήνα, Χαριλάου Τρικούπη 119-121, Τ.Κ.11473, george84athanasakis@gmail.com (Α.Γ.); e.tziritis@wwf.gr (Τ.Η); a.douros@wwf.gr (Δ.Α.); n.georgiadis@wwf.gr (Γ.Ν.).

Περίληψη

Η δριμύτητα καύσης αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους συμπεριφοράς μιας δασικής πυρκαγιάς, καθορίζοντας σε σημαντικό βαθμό τις συνθήκες του μεταπυρικού περιβάλλοντος. Η εκτίμηση της στο πεδίο παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες και για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι εκτίμησης με την χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται εικόνες Planet με χωρική ανάλυση 3μ, εικόνες Sentinel-2 με χωρική ανάλυση 20μ και ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων πεδίου προκειμένου να εκτιμηθεί η δριμύτητα καύσης της πυρκαγιάς του 2023 στην περιοχή του Έβρου. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως η συνδυαστική χρήση αυτών των εικόνων σε ένα περιβάλλον αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης προσφέρει υψηλής ακρίβειας εκτίμηση της δριμύτητας καύσης που φτάνει το 91%. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό περιοχών χαμηλού δυναμικού μεταπυρικής αποκατάστασης.

Λέξεις κλειδιά: Μεγάλης έντασης πυρκαγιές, Planet, Sentinel-2, OBIA, Εθνικό Δασικό Πάρκο Δαδιάς-Λευκίμης-Σουφλίου.

Εισαγωγή

Η δασική πυρκαγιά δεν έχει την ίδια συμπεριφορά στο σύνολο της έκτασης την οποία επηρεάζει. Σε κάποιες θέσεις μπορεί να εμφανίζει μια ήπια συμπεριφορά επηρεάζοντας, για παράδειγμα, μόνο την παρεδαφιαία βλάστηση, όπως συμβαίνει στις έρπουσες πυρκαγιές. Αντίθετα σε άλλες θέσεις μπορεί να επηρεάζει να νεκρώνει και να καίει τη διαθέσιμη καύσιμη ύλη σε όλους τους ορόφους που εμφανίζονται στη δομή ενός δάσους, προκαλώντας τη συνολική νέκρωση της βλάστησης. Η ένταση της πυρκαγιάς εκφράζεται με το φυσικό μέγεθος της θερμικής ακτινοβολίας ανά μέτρο μετώπου (kW/m). Το οικολογικό αποτέλεσμα μιας πυρκαγιάς στον χώρο, και ο βαθμός στον οποίο έχει επηρεαστεί το οικοσύστημα εκφράζεται από την έννοια της δριμύτητας της πυρκαγιάς που συχνά αποκαλείται και σφοδρότητα της πυρκαγιάς, ενώ ο αντίστοιχος αγγλικός όρος είναι Fire Severity (Keeley 2009). Οι δύο αυτές έννοιες είναι συνήθως, αλλά όχι πάντα ανάλογες, με υψηλής έντασης πυρκαγιές να είναι συγχρόνως και υψηλής δριμύτητας. Ωστόσο μπορεί και μια χαμηλής έντασης πυρκαγιά να έχει ιδιαίτερα δριμύς οικολογικές συνέπειες ενώ αντίθετα μπορεί μια υψηλής έντασης πυρκαγιά σε προσαρμοσμένα στην πυρκαγιά οικοσύστημα να έχει μικρές επιπτώσεις, ιδιαίτερα μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα.

Η σημασία της εκτίμησης της δριμύτητας πυρκαγιάς είναι τεράστια καθώς αυτή καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το μεταπυρικό περιβάλλον και τη δυναμική της φυσικής αποκατάστασης ενός οικοσυστήματος Xofis κ.α. (2021). Μια πυρκαγιά κόμης, υψηλής δριμύτητας μπορεί να νεκρώσει το σύνολο των σπόρων

που βρίσκονται σε κλειστούς ώριμους κώνους, όπως συμβαίνει στα θερμόβια Μεσογειακά πεύκα Χαλέπιο και Τραχεία. Αντίθετα μια μέτριας δριμύτητας πυρκαγιά μπορεί να νεκρώσει μεν το άτομο, ωστόσο επειδή δεν εκλύεται υψηλή ποσότητα θερμικής ενέργειας δεν αναπτύσσονται ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες εντός του κώνου με αποτέλεσμα να μην επηρεάζεται η σποροτράπεζα του ατόμου στην κόμη. Εξίσου σημαντική είναι η δριμύτητα της πυρκαγιάς και για τα πρεμνοβλαστώνοντα είδη, αφού μια υψηλής δριμύτητας πυρκαγιά μπορεί να προκαλέσει τη νέκρωση των κοιμώμενων οφθαλμών που βρίσκονται στο ριζικό σύστημα (δρύες κ.α) ή στον ριζικό όγκο (κουμαριά, ερείκη κ.α.), με αποτέλεσμα την περιορισμένη παραβλάστηση μετά την πυρκαγιά. Οι Lloret και Lopez-Soria (1993) πρότειναν ότι η ένταση της φωτιάς είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την επιβίωση των φυτών μετά την πυρκαγιά, καθώς οι υψηλής δριμύτητας πυρκαγιές μπορούν να καταστρέψουν τους μεριστοματικούς ιστούς από τους οποίους θα προέκυπταν κανονικά οι νέοι βλαστοί. Υψηλότερη θνησιμότητα των φυτών με ικανότητα παραβλάστησης σε περιπτώσεις πυρκαγιών υψηλής δριμύτητας αναφέρθηκε επίσης από τους Moreno και Oechel (1991) και Moreno και Oechel (1994), οι οποίοι βρήκαν επίσης ότι σε τέτοιες περιπτώσεις τα φυτά εμφανίζουν χρονική καθυστέρηση στην παραβλάστηση. Τα φυτά που παραβλαστώνουν μετά από πυρκαγιά υψηλής δριμύτητας έχουν λιγότερα παραβλαστήματα, τα οποία μπορεί να μην είναι αρκετά για να παρέχουν την απαραίτητη φωτοσυνθετική επιφάνεια για να παραγάγουν επαρκείς υδατάνθρακες, ώστε να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του υπόγειου τμήματος του φυτού μετά την αρχική εκμετάλλευση των αποθηκευμένων υδατανθράκων, με αποτέλεσμα την αύξηση της μεταπυρικής θνησιμότητας. Η εκτίμηση επομένως της δριμύτητας της πυρκαγιάς για το σύνολο της έκτασης αποτελεί το πρώτο και πολύ σημαντικό βήμα για τον καθορισμό των μέτρων και παρεμβάσεων, που τελικώς θα επιλεγούν για την αποτελεσματική προστασία και ανάκαμψη των οικοσυστημάτων της περιοχής.

Στην παρούσα μελέτη, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ευρύτερης μελέτης που χρηματοδοτήθηκε από το WWF-Ελλάς, χρησιμοποιούνται συνδυαστικά εικόνες από δυο ομάδες δορυφόρων σε ένα περιβάλλον αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης προκειμένου να εκτιμηθεί η δριμύτητα καύσης. Χρησιμοποιείτε επίσης ένα μεγάλος αριθμός δεδομένων πεδίου τόσο για την εκπαίδευση του ταξινομητή όσο και για την επαλήθευση τα αποτελέσματός. Σκοπός είναι να εντοπιστούν περιοχές που επηρεάστηκαν με υψηλή δριμύτητα και ενδεχομένως να έχουν χαμηλό ρυθμό φυσικής αποκατάστασης και πιθανόν να χρειαστεί ανθρώπινη παρέμβαση για την αποκατάσταση του οικοσυστήματος.

Υλικά και Μέθοδοι

Για την εκτίμηση της δριμύτητας έγινε χρήση δεδομένων και μεθόδων τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τη λήψη δεδομένων πεδίου. Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης, παρέχοντας πληροφορίες για φασματικά κανάλια πέρα από το ορατό εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος έχουν αποδειχθεί πολύτιμα για την εκτίμηση της δριμύτητας πυρκαγιάς στο μεταπυρικό περιβάλλον. Διάφοροι φασματικοί δείκτες έχουν δοκιμαστεί και ελεγχθεί για την ακρίβεια με την οποία μπορούν να εκτιμήσουν την δριμύτητα της φωτιάς. Αυτός που φαίνεται να έχει την μεγαλύτερη ακρίβεια είναι ο δείκτης ΔNBR (Epting κ.α, 2005), που βασίζεται στη διαφορά του κανονικοποιημένου δείκτη καύσης (Normalised Burn Ratio: NBR) πριν την πυρκαγιά και μετά την πυρκαγιά. Ο δείκτης NBR υπολογίζεται από την παρακάτω φόρμουλα:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Όπου: NIR= Αντανάκλαση στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

SWIR= Αντανάκλαση στο μέσο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Ο δείκτης ΔNBR υπολογίζεται στην συνέχεια από την φόρμουλα :

ΔNBR=NBR (πριν την πυρκαγιά)- NBR (μετά την πυρκαγιά)

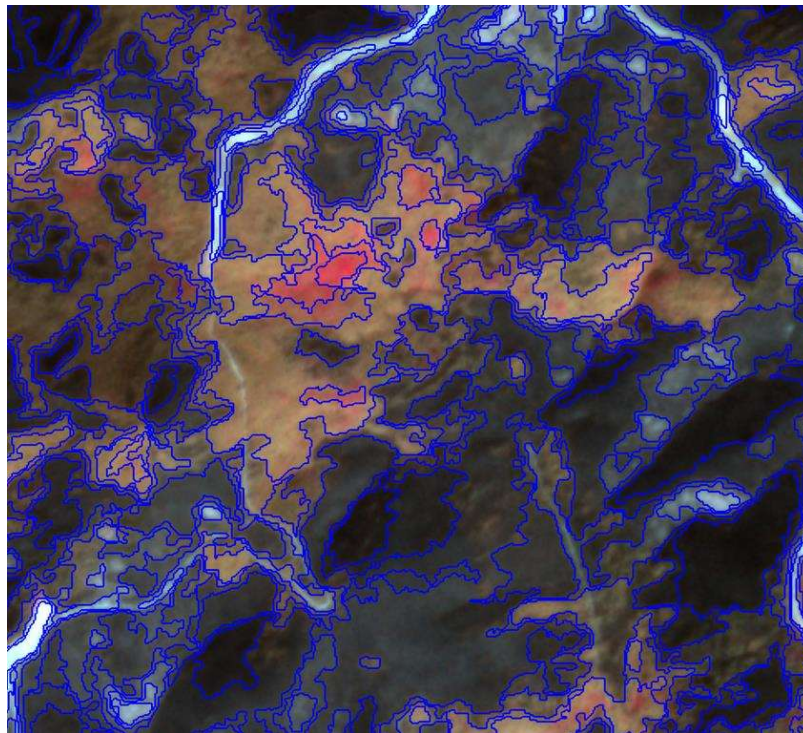
Για την εκτίμηση του δείκτη ΔNBR και για την χαρτογραφική αποτύπωση της δριμύτητας της πυρκαγιάς για το σύνολο της έκτασης έγινε συνδυαστική χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel 2 και εικόνων Planet σε περιβάλλον αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης.

Η αποστολή Sentinel-2 αποτελείται από δύο δορυφόρους σε πολική τροχιά που εκτοξεύθηκαν από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA), οι οποίοι φέρουν τον αισθητήρα Multispectral Instrument (MSI) και παρέχουν δεδομένα σε χωρικές αναλύσεις μεταξύ 10 και 60 μέτρων, καλύπτοντας

ένα ευρύ μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από οπτικό έως υπέρυθρο και χρονική ανάλυση πέντε ημερών. Οι εικόνες είχαν προ επεξεργαστεί στο επίπεδο 2A, επομένως είχαν ήδη διορθωθεί γεωμετρικά και ατμοσφαιρικά στην ανάκλαση του κάτω μέρους της ατμόσφαιρας (BoA). Για τον υπολογισμό του NBR πριν και μετά την πυρκαγιά χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα φασματικά κανάλια 8A και 12. Χρησιμοποιήθηκαν δύο μωσαϊκά δύο εικόνων, το καθένα με ημερομηνία λήψης 24/6/2023 και 12/09/2023 αντίστοιχα καθώς δεν καλύπτεται το σύνολο της περιοχής από μία μόνο εικόνα.

Οι εικόνες PLANET προέρχονται από ένα σμήνος μικροδορυφόρων (dove satellites) που ξεπερνά τους 400 και έχει τη δυνατότητα καθημερινής αποτύπωσης της ίδιας θέσης. Η χωρική τους ανάλυση είναι 3μ και η φασματική τους περιλαμβάνει το ορατό και εγγύς υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού σφάλματος με συνολικά 12 κανάλια. Η ημερομηνία λήψης ήταν η 13/10/2023.

Η ανάλυση έγινε στο λογισμικό ecognition. Η εικόνα Planet δεν διαθέτει κανάλια στα όρια του μέσου υπέρυθρου, επομένως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ΔNBR. Ωστόσο έχει πολύ υψηλότερη χωρική ανάλυση (3μ) σε σχέση με τον Sentinel 2, που για τον συγκεκριμένο δείκτη έχει ανάλυση 20μ. Για τον λόγο αυτό η εικόνα Planet χρησιμοποιήθηκε για την κατάτμηση και τη δημιουργία των αντικειμένων που αποτελούν την μονάδα ταξινόμησης στην αντικειμενοστραφή ταξινόμηση (Εικόνα 1). Η αντικειμενοστραφή ταξινόμηση πλεονεκτεί έναντι των κυψελοστραφών προσεγγίσεων καθώς μπορεί να συνδυάσει εικόνες με διαφορετικές χωρικές αναλύσεις ενώ μειώνει σημαντικά τον θόρυβο (salt and pepper) στο αποτέλεσμα της ταξινόμησης (Bock κ.α. 2005). Ο συνδυασμός εικόνων διαφορετικής χωρικής και φασματικής ανάλυσης και η ανάλυση τους σε περιβάλλον αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης έχει εφαρμοστεί σε πολλές περιπτώσεις και έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να βελτιώσει σημαντικά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης. Η περιοχή του Εθνικού Πάρκου Δαδιάς-Λευκίμης-Σουφλίου έχει ταξινομηθεί σε δυο χρονοστιγμές στο παρελθόν χρησιμοποιώντας αυτή την προσέγγιση και συνδυάζοντας εικόνες διαφορετικής χωρικής και φασματικής ανάλυσης (Xofis και Poirazidis 2018).



Εικόνα 1. Κατατημένη εικόνα PLANET
Picture 1. Segmented PLANET image

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μια αρχική ταξινόμηση των αντικειμένων σε τέσσερις κλάσεις δριμύτητας πυρκαγιάς: Υψηλή, Μεσαία, Χαμηλή, Άκαντο, που βασίστηκε στα όρια δείκτη ΔNBR που προτείνονται από τους Mallinis κ.α. (2018) για εικόνες Sentinel 2 και αμιγές δάσος τραχείας πεύκης (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Τιμές ΔNBR που χρησιμοποιήθηκαν για την αρχική ταξινόμηση
Table 1. DNBR values used for initial classification

Κατηγορία Δριμύτητας	Τιμές ΔNBR
Υψηλή	>0,56
Μεσαία	0,403-0,559
Χαμηλή	0,215-0,402
Άκαυτο	<0,214

Με βάση αυτή την ταξινόμηση έγινε στρωματοποιημένη τυχαία επιλογή 100 σημείων για επιτόπια δειγματοληψία ακολουθώντας μια προσαρμοσμένη μεθοδολογία του δείκτη Composite Burn Index (CBI) που είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης εκτίμησης της δριμύτητας στο πεδίο (Key και Benson 2006). Το μέγεθος της επιφάνειας δειγματοληψίας ορίστηκε στα 900 τ.μ. . Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στο σύνολο της καμένης έκτασης και δεν περιορίστηκε μόνο στα όρια του εθνικού πάρκου. Πραγματοποιήθηκε σε εκτάσεις που καλύπτονταν από δενδρώδη δασική βλάστηση πριν την πυρκαγιά και πιο συγκεκριμένα από αμιγή ή μικτά οικοσυστήματα των ειδών τραχεία πεύκη, μαύρη πεύκη και ειδών δρυός. Το πρωτόκολλο που ακολουθήθηκε αποτυπώνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Κριτήρια αρχικής αναγνώρισης κλάσεων δριμύτητας για τις εργασίες πεδίου
Table 2. Criteria for initial identification of severity classes for field work

Δριμύτητα	Έδαφος	Θαμνώδης βλάστηση με ύψος έως 3 m	Δενδρώδης βλάστηση με ύψος μεγαλύτερο των 3 m
Υψηλή (High) 3	Έχει καεί όλος ο ξηροτάπητας και όλος ο χούμος. Έχει μείνει μόνο το ανόργανο έδαφος	Έχει καεί ολοσχερώς ή έχει απομείνει μόνο το κεντρικό στέλεχος	Έχει καεί όλο το φύλλωμα στις κόμες
Μέση (Moderate) 2	Έχει καεί όλο το επάνω στρώμα του τάπητα. Γενικά, δεν έχει καεί ο χούμος. Ίσως κατά τόπους έχει επηρεαστεί ή έχουν καεί πολύ μικρές ποσότητες. Ίσως έχει καεί μικρό μέρος του στρώματος του τάπητα που βρίσκεται ανάμεσα στο πάνω στρώμα που κάηκε και στον χούμο. Ίσως έχουν μείνει κάποια άκαυτα τμήματα χαμηλής βλάστησης, βρύα και λειχήνες.	Δεν έχει καεί έως το 40% των πλαϊνών κλαδιών	Έχει νεκρωθεί όλη η κόμη αλλά δεν έχει καεί. Έχουν νεκρωθεί αλλά δεν έχουν καεί τα φύλλα έως 40%.
Χαμηλή (Low) 1	Έχει καεί όλο το επάνω στρώμα του τάπητα ή τμήμα αυτού. Δεν έχει καεί ο χούμος. Δεν έχει καεί επίσης το στρώμα του τάπητα που βρίσκεται ανάμεσα στο πάνω στρώμα που κάηκε και στον χούμο. Έχουν μείνει άκαυτα μεγάλα τμήματα χαμηλής βλάστησης, βρύα και λειχήνες	Δεν έχουν καεί τα πλαϊνά κλαδιά. Επιπλέον, δεν έχει καεί το 40% των λεπτών ζωντανών κλαδιών (διαμέτρου έως 6,3 mm). Ίσως υπάρχουν κάποια φύλλα που έχουν μεν νεκρωθεί αλλά δεν έχουν καεί.	Είναι πράσινο το 40% της κόμης. Το υπόλοιπο έχει νεκρωθεί ή καεί
Μηδενική (Unburned) 0	Δεν έχει καεί ούτε επηρεαστεί ο ξηροτάπητας	Δεν έχει καεί ούτε επηρεαστεί η θαμνώδης βλάστηση	Δεν έχει καεί ούτε επηρεαστεί η δενδρώδης βλάστηση

Από τα 100 σημεία δεν ήταν προσβάσιμα τα πέντε και έτσι το τελικό δείγμα αποτελείται από 95 επιφάνειες. Στις παρακάτω έξι εικόνες αποτυπώνονται οι διάφορες καταστάσεις δριμύτητας όπως εκτιμήθηκαν στο πεδίο. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε το διάστημα 1-15 Δεκεμβρίου 2023.

Μετά την ταξινόμηση των επιφανειών στις τέσσερις κλάσεις δριμύτητας με βάση την τιμή του CBI υπολογίστηκαν οι διάμεσες τιμές του ΔNBR για τις τέσσερις κλάσεις και με βάση αυτή την τιμή και τη διάφορα, υπολογίστηκαν τα νέα όρια του δείκτη ΔNBR με βάση τα οποία έγινε η τελική ταξινόμηση και αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Κλάσεις δριμύτητας και εύρος τιμών CBI και ΔNBR
Table 3. Severity classes and range of CBI and DNBR values

Κλάση Δριμύτητας	Εύρος CBI	Διάμεση τιμή DNBR	Εύρος DNBR
Υψηλή	>2.33	0.602	>0.503
Μεσαία	1.33-2.33	0.404	0.322-0.503
Χαμηλή	0.1-1.33	0.240	0.151-0.322
Άκαυτη	<0.1	0.061	< 0.151

Μετά την εφαρμογή των επικαιροποιημένων τιμών του δείκτη ΔNBR και την εκ νέου ταξινόμηση της περιοχής σε τέσσερις κλάσεις δριμύτητας έγινε νέα επιλογή 100 στρωματοποιημένα τυχαίων σημείων, στα οποία έγινε η επιτόπια εκτίμηση της σφοδρότητας κατά την περίοδο του Ιανουαρίου 2024 χρησιμοποιώντας το ίδιο πρωτόκολλο που περιγράφεται στον Πίνακα 2. Τα σημεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης με την μέθοδο του πίνακα σφαλμάτων (Error Matrix). Να σημειωθεί ότι η εκτίμηση ακρίβειας έγινε σε δασικές εκτάσεις με κάλυψη από δενδρώδη βλάστηση πριν την πυρκαγιά, παρά το γεγονός ότι ο δείκτης και η χαρτογράφηση δριμύτητας έγινε για το σύνολο της έκτασης που περιλαμβάνει και αγροτικές εκτάσεις όπως και θαμώνες.

Τέλος, προκειμένου να εκτιμηθεί η δυνατότητα εποικισμού και να εντοπιστούν οι θέσεις με τη μεγαλύτερη απόσταση από ζωντανά άτομα έγινε μια ανάλυση απόστασης από τέτοιες θέσεις καθώς και από την περίμετρο της καμένης έκτασης. Τα δεδομένα αυτά αναλύθηκαν περεταίρω συνδυαστικά, τόσο με την δριμύτητα της πυρκαγιάς αλλά και με την βλάστηση που υπήρχε πριν από την πυρκαγιά. Η συνδυαστική αυτή ανάλυση αποσκοπεί στον εντοπισμό των θέσεων με κάλυψη κωνοφόρων, που καήκανε με υψηλή δριμύτητα και απέχουν σημαντικά από θέσεις με ζωντανά άτομα.

Αποτελέσματα-Συζήτηση

Η ακρίβεια ταξινόμησης της έκτασης σε κλάσεις δριμύτητας με την μεθοδολογία που υιοθετήθηκε ξεπερνά το 90% όπως αποτυπώνεται στον Πίνακα 4, και είναι ιδιαίτερα υψηλό. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαφορά στα όρια των κλάσεων του δείκτη ΔNBR της παρούσας μελέτης σε σχέση με αυτά των Mallinis κ.α. (2018), οφείλετε σε σημαντικό βαθμό και στο ότι στην παρούσα περιλαμβάνονται διάφοροι τύποι βλάστησης και όχι μόνο αμιγή οικοσυστήματα τραχείας πεύκης.

Πίνακας 4. Πίνακας σφαλμάτων (error matrix) ταξινόμησης και εκτίμηση ακρίβειας
Table 4. Classification error matrix and accuracy assessment

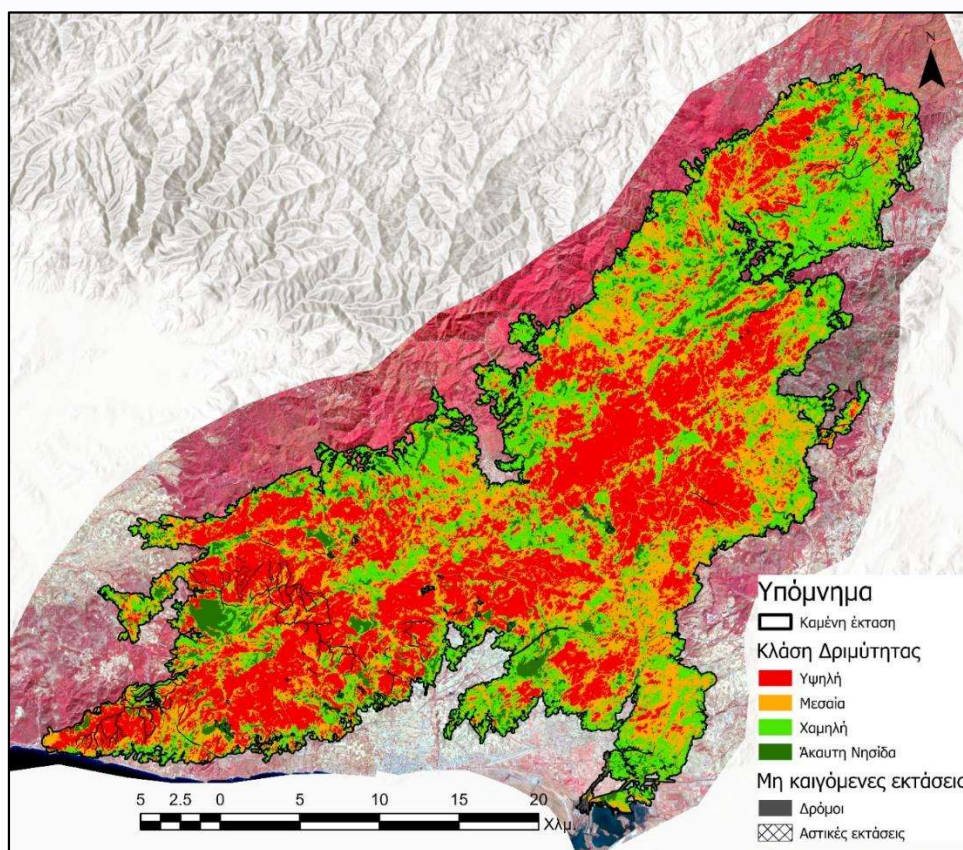
Κλάση δριμύτητας σύμφωνα με την ταξινόμηση		Κλάση δριμύτητας σύμφωνα με τα δεδομένα επαλήθευσης					
		Άκαυτη	Χαμηλή	Μεσαία	Υψηλή	Σύνολο γραμμής	User's Accuracy
	Άκαυτη	12	1	0	0	13	0.92
	Χαμηλή	1	26	3	0	30	0.87
	Μεσαία	0	2	11	2	15	0.73
	Υψηλή	0	0	0	42	42	1.00
	Σύνολο στήλης	13	29	14	44	100	
	Producer's accuracy	0.92	0.90	0.79	0.95		
	Συνολική Ακρίβεια ταξινόμησης						91 (%)
	Δείκτης K						0,87

Όπως αποτυπώνει ο Πίνακας 5 και η Εικόνα 2 ένα σημαντικό μέρος της καμένης έκτασης (34.570 εκτάρια) κάηκε με υψηλή δριμύτητα. Αυτό σημαίνει ότι ενδεχομένως να έχει επηρεαστεί δραματικά και η υπέργεια σποροστράπεζα της τραχείας πεύκης. Παράλληλα, η σχεδόν καθολική απώλεια χούμου και η έκθεση του ανόργανου εδάφους στην δύναμη της βροχής, ενδέχεται να οδηγήσει σε αυξημένη επιφανειακή απορροή και απώλεια επιφανειακού εδάφους λόγω διάβρωσης. Οι εκτάσεις αυτές θα πρέπει να παρακολουθηθούν για τα επόμενα δυο χρόνια τουλάχιστον και ίσως απαιτηθεί ανθρώπινη παρέμβαση

για την αποκατάσταση μέρους αυτών. Το άθροισμα των εκτάσεων μεσαίας και χαμηλής δριμύτητας πυρκαγιάς αντιστοιχούν σε λίγο κάτω από το 60% της καμένης έκτασης. Στις εκτάσεις αυτές παρά τη νέκρωση του μεγαλύτερου ποσοστού των δέντρων φαίνεται ότι η ένταση της πυρκαγιάς στην κόμη δεν ήταν ιδιαίτερα υψηλή, αφού τα φύλλα (βελόνες και πλατύφυλλα) παρέμειναν άκαυτα (αν και νεκρά) και οι κώνοι φαίνεται να μην έχουν καεί. Στις εκτάσεις χαμηλής δριμύτητας πυρκαγιάς ένα μέρος της κόμης παραμένει ζωντανό και δημιουργεί τις προϋποθέσεις για ευκολότερη φυσική αποκατάσταση. Η απόθεση των νεκρών βελονών στο έδαφος δημιουργεί έναν προστατευτικό στρώμα για το ανόργανο έδαφος έναντι της διάβρωσης. Παράλληλα προστατεύει το έδαφος από την απώλεια υγρασίας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, προστατεύοντας και ευνοώντας με τον τρόπο αυτό την ανάπτυξη των αρτιφύτρων. Για το λόγο αυτό οι εκτάσεις αυτές κρίθηκε ότι δεν θα πρέπει να διαταραχθούν περαιτέρω με υλοτομίες.

Πίνακας 5. Εκτάσεις ανά κλάση δριμύτητας
Table 5. Areas per severity class

Κλάση Δριμύτητας	Έκταση (Ha)	Ποσοστό (%)
Υψηλή	34570.29	36.68
Μεσαία	27534.05	29.21
Χαμηλή	26555.03	28.18
Άκαυτη	5590.66	5.93
Σύνολο	94250.04	100

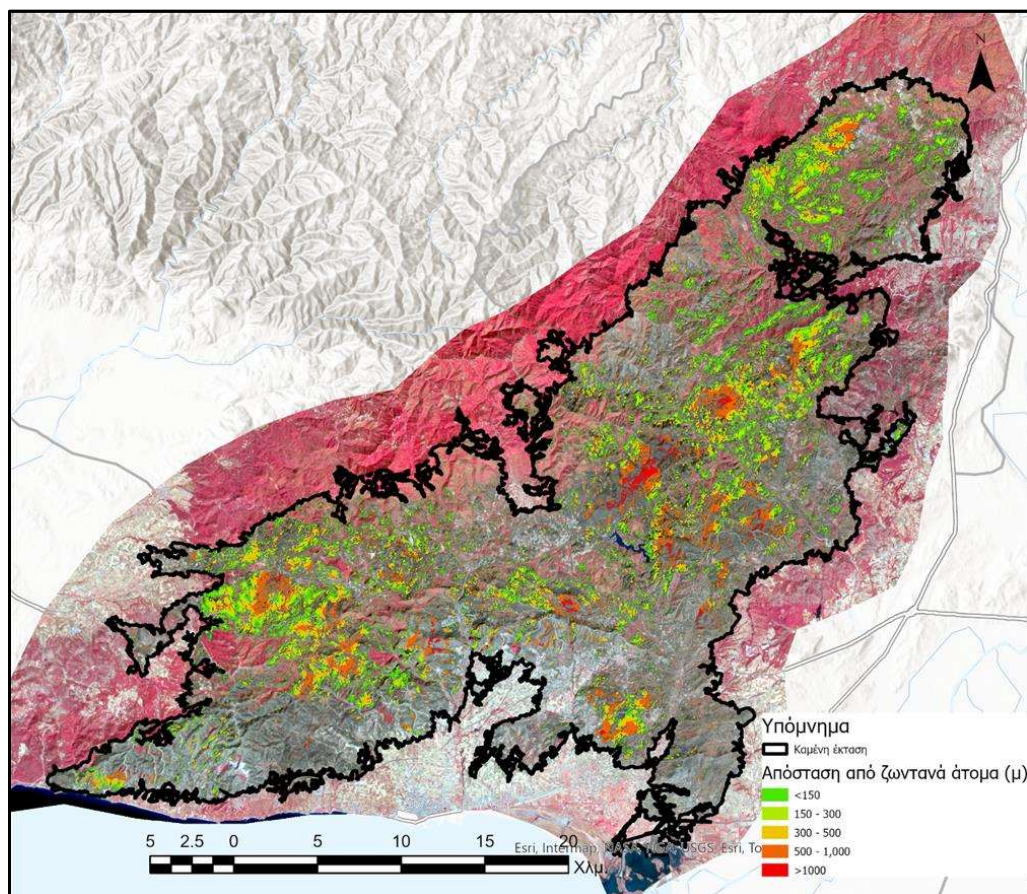


Εικόνα 2. Αποτύπωση της καμένης έκτασης σε κλάσεις δριμύτητας
Picture 2. Mapping of the burned area into severity classes

Η μεταπυρική αποκατάσταση ενός οικοσυστήματος μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Είτε με παραβλάστηση των πλατυφύλλων ειδών είτε με σπερμοβλαστήματα από άκαυτους σπόρους που περιέχονται μέσα στους κώνους των κωνοφόρων ειδών. Στην περιοχή του Έβρου τα κυρίαρχα κωνοφόρα είναι η Τραχεία και η Μαύρη Πεύκη. Η πρώτη είναι ένα από τα δύο είδη Πεύκης με το χαρακτηριστικό της βραδυσπορίας στην Μεσόγειο. Τη δυνατότητα δηλαδή διατήρησης στην κόμη της ώριμων κώνων με φυτρώσιμους σπόρους για διάστημα που μπορεί να φτάσει και τα 15 χρόνια, και την απελευθέρωση

τους μετά από πυρκαγιά (Eshel κ.α. 2000, Nathan κ.α. 1999, Naveh, 1975). Εν τούτοις, η υψηλή σφοδρότητα της συγκεκριμένης πυρκαγιάς ενδεχομένως να έχει οδηγήσει σε νέκρωση ένα σημαντικό μέρος της υπέργειας σποροτράπεζας. Σε αυτή την περίπτωση η αποκατάσταση των οικοσυστημάτων Τραχείας πεύκης θα πρέπει σε μεγάλο βαθμό να βασιστεί στον εποικισμό από γειτονικές εκτάσεις που είτε δεν έχουν πληγεί από την πυρκαγιά, είτε έχουν διατηρήσει ζωντανά άτομα. Στον εποικισμό από γειτονικές εκτάσεις θα πρέπει να βασιστεί αποκλειστικά η αποκατάσταση της Μαύρης πεύκης που δεν έχει το χαρακτηριστικό της βραδυσπορίας.

Από τη ανάλυση απόστασης από ζωντανή βλάστηση που πραγματοποιήθηκε προέκυψε το αποτέλεσμα που αποτυπώνεται στην Εικόνα 3. Οι εκτάσεις αυτές αποτελούν τις εκτάσεις που πιθανότατα θα αντιμετωπίσουν τις σημαντικότερες δυσκολίες στην οικολογική τους αποκατάσταση.



Εικόνα 3. Απόσταση από νησίδες με ζωντανά άτομα, εκτάσεων που καλύπτονταν από κωνοφόρα και καίγανε με υψηλή δριμύτητα

Picture 3. Distance from islands with living individuals, areas covered by conifers and burned with high intensity

Συμπεράσματα

Η πυρκαγιά του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου 2023 είναι, σύμφωνα με τα στοιχεία του Ευρωπαϊκού Πληροφοριακού Κέντρου για της Δασικές Πυρκαγιές (EFFIS) η μεγαλύτερη που έχει βιώσει η Ευρώπη. Μια πυρκαγιά που πέρα από την έκταση την οποία επηρέασε φαίνεται να έδρασε με μια δριμύτητα, ίσως πρωτόγνωρη για τα Ελληνικά δεδομένα. Πάνω από το ένα τρίτο της καμένης έκτασης έχει καεί με υψηλή δριμύτητα, γεγονός που ίσως θέσει σε αμφισβήτηση αυτά που μέχρι τώρα έχει αναδείξει η διεθνής βιβλιογραφία σχετικά με την ικανότητα μεταπυρικής αποκατάστασης των ειδών που κυριαρχούσαν στην περιοχή. Τα πρεμνοβλαστώνοντα είδη θα αντιμετωπίσουν πιθανόν μικρότερη δυσκολία στην αποκατάσταση τους αν και η δριμύτητα της πυρκαγιάς ήταν τέτοια που ίσως επηρεάσει και αυτά. Η Μαύρη πεύκη δεν διαθέτει κάποιον μηχανισμό αντίδρασης μετά την πυρκαγιά και η ανάκαμψη της θα στηριχθεί στον εποικισμό από γειτονικές άκαυτες εκτάσεις ή στην ανθρώπινη παρέμβαση. Η Τραχεία πεύκη πιθανόν δεν θα αντιμετωπίσει πρόβλημα αναγέννησης σε εκτάσεις με μεσαία και χαμηλή δριμύτητα, είναι όμως άγνωστο το τι θα συμβεί σε αυτές με υψηλή δριμύτητα. Στα πλαίσια της παρούσας

μελέτης εντοπίστηκαν θέσεις όπου πριν την πυρκαγιά κυριαρχούσαν κωνοφόρα, κάηκαν με υψηλή δριμύτητα και έχουν μεγάλη απόσταση από ζωντανά άτομα. Οι εκτάσεις αυτές σε συνδυασμό με τις εκτάσεις που έχουν καεί περισσότερες από μια φορά τα τελευταία χρόνια θα πρέπει να αποτελούν την προτεραιότητα τόσο για συνεχή παρακολούθηση όσο πιθανόν και για ανθρώπινη παρέμβαση και υποβοήθηση της οικολογικής αποκατάστασης.

Abstract

Fire severity is one of the most important parameters of forest fire behaviour, determining to a great extent the conditions of the post-fire environment. Its assessment in the field presents significant difficulties and for this reason estimation using remote sensing data and methods have been developed. In this work, Planet images with a spatial resolution of 3m, Sentinel-2 images with a spatial resolution of 20m and a large number of field data are employed in order to estimate the fire severity of the 2023 megafire in the Evros region. The results show that the combined use of these images in an Object-Oriented Image Analysis (OBIA) environment offers a highly accurate estimation of fire severity that reaches 91%. The results can be used to identify areas of low post-fire natural recovery potential.

Βιβλιογραφία

- Bock, M., Xofis, P., Rossner, G., Wissen, M., Mitchley, J., 2005. Object oriented method for habitat mapping in multiple scales: case studies from Northern Germany and North Downs, GB. *J. Nat. Con.* 13: 75–89.
- Epting, J., D. Verbyla, and B. Sorbel., 2005. Evaluation of Remotely Sensed Indices for Assessing Burn Severity in Interior Alaska Using Landsat TM and ETM+. *Remote Sens Envir.* 96: 328–339.
- Eshel, A., Henig-Sever, N., & Ne'eman, G., 2000. Spatial variation of seedling distribution in an east Mediterranean pine woodland at the beginning of post-fire succession. *Plant Ecology*, 148, 175-182.
- Lloret, F.; Lopez-Soria, L., 1993. Resprouting of *Erica multiflora* after experimental fire treatments. *J. Veg. Sci.* 4: 367-374.
- Keeley, J. E., 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *Int. J. Wildland Fire.* 18: 116–126.
- Key, C. H., Benson, N., 2006. Landscape Assessment (LA) Sampling and Analysis Methods. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD.
- Mallinis, G., Mitsopoulos, I., Chrysafi, I., 2018. Evaluating and comparing Sentinel 2A and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece, *GISci. Remote Sens.* 55: 1-18.
- Moreno, J.M.; Oechel, W.C., 1994. Fire intensity as a determinant factor of postfire plant recovery in Southern California chaparral. In *The role of fire in Mediterranean - Type ecosystems*, Moreno, J.M., Oechel, W.C., Eds.; Springer-Verlag. New York, 1994; pp. 26-45.
- Moreno, J.M.; Oechel, W.C., 1991. Fire Intensity and Herbivory Effects on Postfire Resprouting of *Adenostoma-Fasciculatum* in Southern California Chaparral. *Oecologia*, 85: 429-433.
- Nathan, R., Safriel, U.N., Noy-Meir, I., & Schiller, G., 1999. Seed release without fire in *Pinus halepensis*, a Mediterranean serotinous wind-dispersed tree. *J. Ecol.* 87: 659-669.
- Naveh, Z., 1975. The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. *Vegetatio*, 29: 199-208.
- Xofis, P. Buckley, P.G. Takos, I. Mitchley, J., 2021. Long Term Post-Fire Vegetation Dynamics in North-East Mediterranean Ecosystems. The Case of Mount Athos Greece. *Fire*, 4, 92.
- Xofis, P., Poirazidis, K., 2018. Combining different spatio-temporal resolution images to depict landscape dynamics and guide wildlife management. *Biol. Conserv.* 218: 10-17.