

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΦΟΔΡΟΤΗΤΑΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΧΙΟΥ

Μητσόπουλος Ιωάννης¹, Χρυσάφη Ειρήνη², Μαλλίνης Γεώργιος², Βασιλάκης Εμμανουήλ³,
Αριανούτσου Μαργαρίτα⁴, Λέκκας Ευθύμιος³

¹ Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Τμήμα Βιοποικιλότητας και Προστατευόμενων Περιοχών,
Αθήνα, Πατησίων 147, 11251, ioanmits@gmail.com

² Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικών Πόρων,
Ορεστιάδα, Πανταζίδου 193, 68200, irene.chrysafis@gmail.com, gmallin@fmenr.duth.gr

³ Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας
και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα, Πανεπιστημιούπολη, 15784, evasilak@geol.uoa.gr,
elekkas@geol.uoa.gr

⁴ Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας,
Αθήνα, Πανεπιστημιούπολη, 15784, marianou@biol.uoa.gr

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η χαρτογράφηση της σφοδρότητας μιας δασικής πυρκαγιάς που εκδηλώθηκε στη νήσο Χίο το καλοκαίρι του 2016, με τη χρήση μιας δορυφορικής εικόνας πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης του δορυφόρου WorldView-2. Η ανάπτυξη και αξιολόγηση της προσέγγισης πραγματοποιήθηκε με επίγειες μετρήσεις και τη χρήση του Σύνθετου Δείκτη Σφοδρότητας Καύσης (CBI). Η σχέση μεταξύ του φασματικού δείκτη NDVI και του CBI παρουσίασε συνολική ακρίβεια 71%, που κρίνεται ικανοποιητική για την εκτίμηση και τη χαρτογράφηση της σφοδρότητας των πυρκαγιών σε ετερογενή μεσογειακά οικοσυστήματα. Η χρήση υψηλής ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων έχει δυνατότητα παραγωγής υψηλής γεωμετρικής και θεματικής πληροφορίας για τις πληγείσες περιοχές, συμβάλλοντας στην ορθολογική μεταπυρική διαχείριση και άμβλυνση των επιπτώσεων των πυρκαγιών.

Λέξεις κλειδιά dNBR, VHR, Sentinel-2, WorldView-2, τηλεπισκόπηση, ΓΣΠ

Εισαγωγή

Η ύπαρξη λεπτομερούς και ακριβούς πληροφορίας για τις επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στα δασικά οικοσυστήματα αλλά και για την απόκριση που αυτά μπορεί να έχουν μετά την πυρκαγιά είναι σημαντική και αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική χάραξη πολιτικής και λήψης αποφάσεων στη διαχείριση των καμένων εκτάσεων (Gouevia κ.α. 2010, Chen κ.α. 2011). Ως σφοδρότητα καύσης ορίζεται το μέγεθος της οικολογικής μεταβολής που προκαλείται από μία πυρκαγιά, και η οποία σχετίζεται με τις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αλλαγές στη σύνθεση της βλάστησης και τη δομή του εδάφους (Key και Benson 2006). Η χωρική αποτίμηση της σφοδρότητας καύσης αποτελεί βασικό στοιχείο για την κατανόηση της μεταπυρικής συμπεριφοράς της βλάστησης και του εδάφους σε επίπεδο τοπίου και για τη διαχείριση των καμένων εκτάσεων με σκοπό τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων μέσω της λήψης των κατάλληλων μέτρων (Mallinis κ.α. 2009, Mitri και Gitas 2010).

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα για την αποτίμηση των επιπτώσεων των πυρκαγιών και ειδικότερα για τη χαρτογράφηση των περιμέτρων των περιοχών που επλήγησαν (Koutsias κ.α. 2013), τη μακροχρόνια παρακολούθηση της διαδοχής τους (Röder κ.α. 2008) αλλά και την αποτίμηση της σφοδρότητας καύσης (Mitri και Gitas 2008).

Το επίπεδο της σφοδρότητας καύσης σε μελέτες δορυφορικής τηλεπισκόπησης προκύπτει από δορυφορικές εικόνες κυρίως μέσω της χρήσης των φασματικών δεικτών differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) και Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Με τη μέχρι τώρα πρακτική (Chuvieco 2009), μέσης χωρικής διακριτικής ικανότητας δορυφορικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των παραπάνω δεικτών, οι οποίοι στη συνέχεια συνδέονται με τον σύνθετο δείκτη σφοδρότητας καύσης (Composite Burn Index-CBI), ο οποίος είναι

ο πλέον ευρέως διαδεδομένος δείκτης ποσοτικοποίησης της σφοδρότητας της καύσης στο πεδίο (Key και Benson 2006).

Ωστόσο, ιδιαίτερα στις Μεσογειακές χώρες, η θεματική και χωρική ακρίβεια των χαρτών σφοδρότητας καύσης από μέσης χωρικής ανάλυσης δεδομένα, δεν επαρκεί για τη μελέτη των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών σε τοπική κλίμακα, εξαιτίας περιορισμών και δυσκολιών όπως η ετερογένεια των φυσικών οικοσυστημάτων στο χώρο και η φασματική σύγχυση των καμένων εκτάσεων με αστικές περιοχές, την παράκτια ζώνη κ.α..

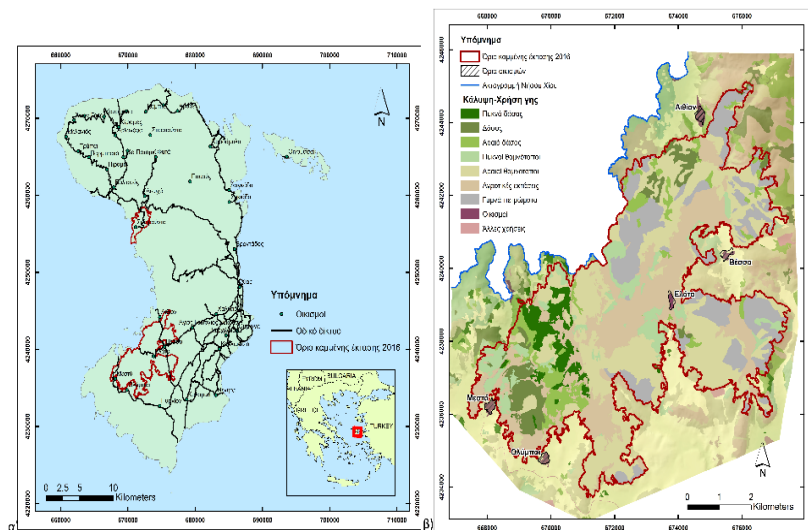
Ωστόσο, μέχρι σήμερα, λίγες σχετικά εργασίες έχουν αξιολογήσει τη χρήση πολύ υψηλής ευκρίνειας χωρικών δεδομένων για τη χαρτογράφηση της σφοδρότητας καύσης στους διάφορους τύπους οικοσυστημάτων που συναντώνται στο Μεσογειακό χώρο (Mitri και Gitas 2008, Dragozi κ.α. 2016).

Ο κύριος σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να αξιολογηθεί η χρήση του φασματικού δείκτη NDVI όπως προέκυψε από μια δορυφορική εικόνα πολύ υψηλής ανάλυσης WorldView-2 της πυρκαγιάς της 25ης Ιουλίου 2016 στη Χίο και να καθοριστούν ποσοτικά όρια του δείκτη για την ταξινόμηση και χαρτογράφηση της σφοδρότητας της πυρκαγιάς.

Υλικά και Μέθοδοι

Περιοχή μελέτης

Περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η νήσος Χίος, η οποία επλήγη από δύο μεγάλες πυρκαγιές το καλοκαίρι του 2016 (Σχήμα 1). Η περιοχή μελέτης είναι η περιοχή των Μαστιχοχωρίων όπου η πυρκαγιά εκδηλώθηκε στις 25-07-2016 και η οποία χαρακτηρίζεται πεδινή (υψόμετρο μικρότερο των 200 μέτρων) έως ημιορεινή (υψόμετρο 200-600 μέτρα). Τα μεγαλύτερα υψόμετρα της καμένης έκτασης εμφανίζονται προς τα ανατολικά όριά της.



Σχήμα 2 Περιοχή μελέτης (α). Χάρτες κάλυψης γης πριν την πυρκαγιά του 2016
Figure 1 Study area (a.) Land cover map of the study site before the 2016 fire.

Επιλογή και προ-επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων

Για τη χαρτογράφηση της σφοδρότητας πυρκαγιάς χρησιμοποιήθηκε μια εικόνα του δορυφόρου WorldView-2 (ημερ. λήψης 10/08/2016), ο οποίος διαθέτει ένα παγχρωματικό αισθητήρα με ανάλυση 0,5 μέτρα και έναν πολυφασματικό με χωρική διακριτική ικανότητα 2 μέτρων και καταγραφή φασματικής πληροφορίας σε 8 επιμέρους φασματικούς δίαυλους. Οι 8 δίαυλοι είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για εφαρμογές τηλεπισκόπησης όπως ανάλυση της βλάστησης, χαρτογράφηση υψηλής ευκρίνειας και ανίχνευση αλλαγών σε φυσικά οικοσυστήματα. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 2 εικόνες του Ευρωπαϊκού δορυφόρου Sentinel-2 πριν και μετά την πυρκαγιά (7/7/2016 και 24/9/2016 αντίστοιχα) για τον αρχικό εντοπισμό των δειγματοληπτικών περιοχών. Η ολοκληρωμένη Sentinel-2 αποστολή, περιλαμβάνει δύο όμοιους πολικής τροχιάς δορυφόρους, που κινούνται γύρω από την ίδια τροχιά και είναι τοποθετημένοι σε 180° μεταξύ τους. Το μεγάλο εύρος φασματικής κλίμακας, σε

συνδυασμό με τις απαιτήσεις παγκόσμιας και συνεχούς απόκτησης δεδομένων με πολλές επαναλήψεις, οδηγούν στην ημερήσια λήψη 1.6 Tbytes συμπιεσμένων δεδομένων σε εικόνες. Οι 13 φασματικές ζώνες εκτείνονται από το ορατό (VIS) και το εγγύς (NIR) στο κοντινό υπέρυθρο (SWIR) σε διαφορετικές χωρικές αναλύσεις στο έδαφος από 10 έως 60 m. Οι 4 ζώνες σε ανάλυση 10 m εξασφαλίζουν τη συμβατότητα με SPOT 4 και 5, καθώς πληρούν τις απαιτήσεις των χρηστών για ταξινόμηση της επιφάνειας της Γης. Η ανάλυση 20 m σε 6 ζώνες, αποτελεί προϋπόθεση για άλλες παραμέτρους. Οι ζώνες των 60 m είναι αφιερωμένες κυρίως στις ατμοσφαιρικές διορθώσεις και διαλογή σε νέφος (443 nm για ανάκτηση αερολυμάτων, 940 nm για διόρθωση υδρατμών και 1375 nm για ανίχνευση κύκλων). Η ανάλυση των 60 m θεωρείται επαρκής για να συλλάβει τη χωρική μεταβλητότητα των γεωφυσικών παραμέτρων της ατμόσφαιρας (Diakakis κ.α. 2017).

Αρχικά διενεργήθηκε η ορθοαναγωγή της εικόνας με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους χωρικής ανάλυσης 5 μέτρων. Οι συντεταγμένες των επίγειων σημείων ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν προσδιορίστηκαν από ορθοφωτοχάρτες κλίμακας 1:5.000, προβολής στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87). Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 11 σημεία ελέγχου, κατανομημένα ομοιόμορφα, στο σύνολο του τμήματος της εικόνας που καλύπτει τη περιοχή μελέτης. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της διόρθωσης (Root Mean Square error-RMS) υπολογίστηκε σε 0,6 μέτρα, ακρίβεια ιδιαίτερα ικανοποιητική για τη χωρική διακριτική ικανότητα των δεδομένων. Η ορθοαναγωγή πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Hexagon Geospatial ERDAS IMAGINE. Η διαδικασία της επαναδειγματοληψίας (resampling) πραγματοποιήθηκε με την τεχνική της πλησιέστερης γειτονίας (nearest neighborhood).

Υπολογισμός φασματικών δεικτών

Για τους σκοπούς της ερευνητικής εργασίας, υπολογίστηκαν 2 φασματικοί δείκτες και συγκεκριμένα οι dNBR και NDVI από τα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα Sentinel-2 και WorldView-2 αντίστοιχα. Ο dNBR αποτελεί τη διαφορά των επιμέρους δεικτών NBR πριν και μετά την πυρκαγιά (NBRpre και NBRpost) (Key και Benson 2006):

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

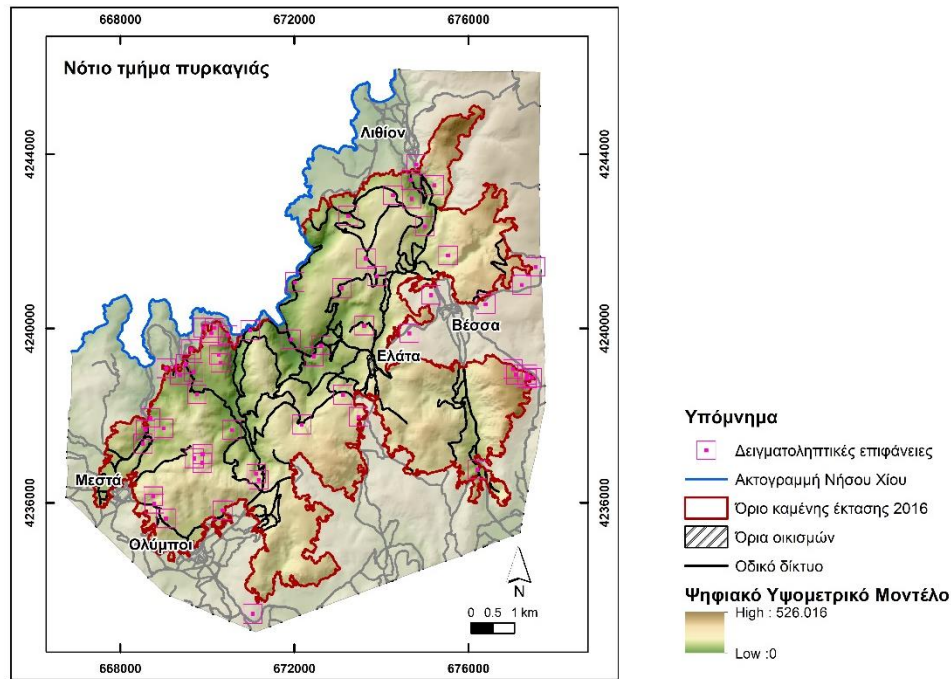
Ο NDVI υπολογίστηκε από το λόγο της διαφοράς της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο (NIR) και στο κόκκινο (Red), προς το άθροισμα αυτών. Ο δείκτης λαμβάνει τιμές από -1 (απουσία βλάστησης) μέχρι +1 (παρουσία βλάστησης) (Miller κ.α. 2009):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Δειγματοληψία υπαίθρου

Κύριος στόχος των δειγματοληψιών ήταν να μετρηθεί το εύρος της σφοδρότητας καύσης που εμφανίζεται μέσα στις καμένες περιοχές. Για να επιλεγούν οι περιοχές δειγματοληψίας έγινε μια πρώτη χαρτογράφηση της σφοδρότητας πυρκαγιάς. Αυτό επετεύχθη με τη χρήση του δείκτη dNBR ο οποίος κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε κατηγορίες σφοδρότητας: άκαυτο, χαμηλή, μέση-χαμηλή, μέση-υψηλή και υψηλή. Με τυχαία δειγματοληψία τοποθετήθηκαν σημεία σε κάθε κατηγορία.

Για την εκτίμηση της σφοδρότητας της καύσης στο πεδίο μετρήθηκαν 70 συνολικά δειγματοληπτικές επιφάνειες διαστάσεων 30x30 m στις επιλεγμένες περιοχές. Στο κέντρο της κάθε επιφάνειας ελήφθησαν οι συντεταγμένες και από 4 χαρακτηριστικές φωτογραφίες. Για να εκτιμηθεί το μέγεθος της αλλαγής στη δομή της βλάστησης, που προκλήθηκε από την πυρκαγιά, χρησιμοποιήθηκε ο CBI (Key και Benson 2006). Ειδικότερα, σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια μετρήθηκαν τέσσερις κλάσεις σφοδρότητας καύσης, χρησιμοποιώντας μια κλίμακα μέτρησης από το 0 έως το 3 (μη καμένο έως πολύ καμένο) σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα εντός των συστάδων: έδαφος και παρεδάφια βλάστηση, χαμηλή βλάστηση από ποώδη φυτά, θάμνοι και δένδρα. Στη συνέχεια υπολογίζοντας το μέσο όρο των τεσσάρων επιπέδων υπολογίστηκε η ολική τιμή του CBI, για κάθε επιφάνεια. Το Σχήμα 2 παρουσιάζει τις θέσεις δειγματοληψίας στην περιοχή μελέτης.



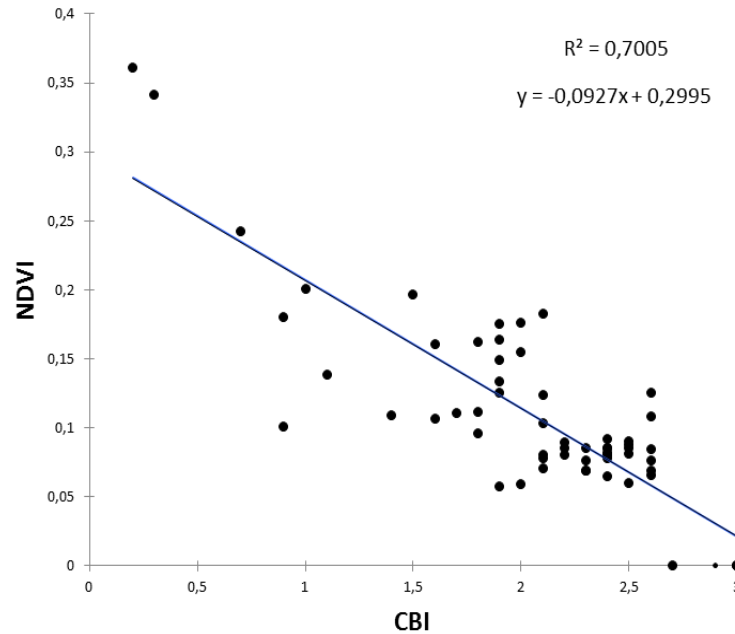
Σχήμα 2 Δειγματοληπτικές επιφάνειες για την καταγραφή της σφοδρότητας της πυρκαγιάς
Figure 2 Field plots where the CBI was recorded

Στατιστική ανάλυση

Προκειμένου να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ του CBI και του δείκτη NDVI που προέκυψε από τα δεδομένα του WorldView-2, χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης. Οι τιμές του δείκτη CBI μετατράπηκαν σε κατηγορίες σφοδρότητας της πυρκαγιάς σύμφωνα με τα όρια που προτείνονται από τους Miller κ.α. (2009): άκαυτο (0), χαμηλή (0,1 - 1,25), μέτρια (1,26 - 2,25) και υψηλή (2,26 έως 3,0), έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθούν τα τοπικά όρια από τα δεδομένα του WorldView-2. Η ακρίβεια της ταξινόμησης αξιολογήθηκε με τη δημιουργία πίνακα σφαλμάτων και τον υπολογισμό της ολικής ακρίβειας και του στατιστικού δείκτη Kappa. Ο πίνακας σφαλμάτων είναι μία τετραγωνική διάταξη ($n \times n$) όπου 'n' είναι ο αριθμός των κλάσεων που παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ δύο ομάδων μετρήσεων που λαμβάνονται από την περιοχή που έχει ταξινομηθεί. Η πρώτη ομάδα μετρήσεων αντιπροσωπεύει τα δεδομένα πεδίου, τα οποία και αποτελούν τα δεδομένα ελέγχου ενώ η δεύτερη ομάδα μετρήσεων αντιπροσωπεύει τις τιμές των δεδομένων τηλεπισκόπησης. Ένα μέτρο της εκτίμησης της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι η ολική ακρίβεια (overall accuracy), που είναι ο λόγος του αθροίσματος των καταχωρήσεων της κύριας διαγωνίου προς το συνολικό αριθμό των δειγμάτων του πίνακα σφαλμάτων και αποτελεί ένα γενικό μέτρο της εκτίμησης. Τέλος, για την εκτίμηση της ακρίβειας υπολογίστηκε ο δείκτης Kappa, ο οποίος είναι μια πολυμεταβλητή διαχωριστική τεχνική που περιλαμβάνει την τυχαία πιθανότητα συμφωνίας (chance agreement) που προέρχεται από τα αθροίσματα των σειρών και των γραμμών του πίνακα σφαλμάτων. Μεγάλες τιμές του Kappa ($>0,80$) αντιπροσωπεύουν ισχυρή συμφωνία μεταξύ των δεδομένων, τιμές Kappa μεταξύ 0,4 - 0,8 μέτρια συμφωνία, ενώ τιμές μικρότερες του 0,4 δηλώνουν ανεπάρκεια ή τυχαία συμφωνία.

Αποτελέσματα

Από τα διαγράμματα διασποράς μεταξύ των τιμών του CBI και του NDVI διαπιστώθηκε πως η σχέση των δύο μεταβλητών ήταν αρνητική και γραμμική. Στο Σχήμα 3 απεικονίζονται η γραμμή παλινδρόμησης στα διαγράμματα διασποράς των δεδομένων, η εξίσωση της παλινδρόμησης καθώς και ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2).



Σχήμα 3. Γραμμή παλινδρόμησης και δεδομένα του CBI και του NDVI για το δορυφόρο WorldView-2.
Figure 3. Regression line for CBI vs. NDVI data for WorldView-2

Στη συνέχεια, για τον υπολογισμό των τοπικών ορίων του δείκτη NDVI χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή της εξίσωσης παλινδρόμησης στα προτεινόμενα από τους Miller κ.α. (2009) όρια του CBI, έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθούν τα τοπικά όρια από τα δεδομένα των δειγματοληψιών. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τις τιμές του δείκτη NDVI για κάθε μια από τις τέσσερις κατηγορίες σφοδρότητας που προέκυψαν και για τις δύο δορυφορικές εικόνες.

Πίνακας 1. Όρια τιμών του NDVI για κάθε μια από τις τέσσερις κατηγορίες σφοδρότητας των δασικών πυρκαγιών.
Table 1. NDVI values used in thresholding fire severity in the current study.

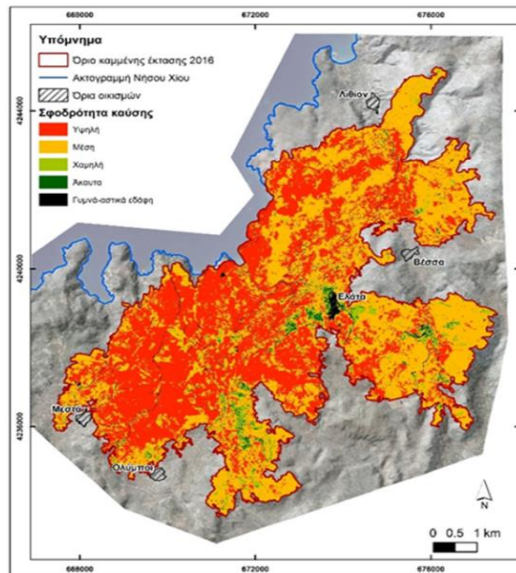
Κατηγορία σφοδρότητας πυρκαγιάς	Τιμές NDVI
Υψηλή	< 0,090
Μέση	0,090 – 0,182
Χαμηλή	0,182 – 0,290
Άκαυτο	> 0,290

Στον Πίνακα 2 παρατίθενται τα αποτελέσματα της ακρίβειας της ταξινόμησης των κατηγοριών σφοδρότητας. Η ολική ακρίβεια ανήρθε σε 71,02% και ο δείκτης Kappa υπολογίστηκε σε 0,646.

Πίνακας 2. Πίνακας ακρίβειας της ταξινόμησης των κατηγοριών σφοδρότητας του WorldView-2.
Table 2. Confusion matrix of CBI vs NDVI data for WorldView-2.

Κατηγορία Σφοδρότητας	Δεδομένα πεδίου (%)	Δεδομένα δορυφόρου (%)
Υψηλή	79,31	95,83
Χαμηλή	75,00	54,00
Μέση	60,00	50,00
Άκαυτο	69,23	90,00
Ολική ακρίβεια 71,02%	Kappa 0,646	

Το Σχήμα 4 απεικονίζει τη χαρτογράφηση της σφοδρότητας της πυρκαγιάς στη νότια Χίο λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση των δεδομένων και των κατηγοριών σφοδρότητας όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση της παρούσας έρευνας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης το 44% της καμένης έκτασης εντάσσεται στην κατηγορία υψηλής σφοδρότητας καύσης, το 51% στη μέτρια, το 4 % στη χαμηλή ενώ το 1% εντός της προσδιορίστηκε ως άκαυτο (Πίνακας 3).



Σχήμα 3 Χαρτογράφηση της σφοδρότητας της πυρκαγιάς με βάση τον δείκτη NDVI
Figure 2 Fire severity map, based on NDVI

Πίνακας 3 Καμένη έκταση ανά κατηγορία σφοδρότητας καύσης
Table 3 Area burned classified in severity classes

Κατηγορία	Σφοδρότητα καύσης	
	Εκτάσεις (στρέμματα)	Ποσοστό (%)
Υψηλή	20.166,43	44
Μέση	23.579,68	51
Χαμηλή	1.889,58	4
Άκαυτα	579,39	1
Σύνολο	46.215,09	100

Συζήτηση – Συμπεράσματα

Η παρούσα έρευνα επιχείρησε να διερευνήσει την ικανότητα του δείκτη NDVI που παράγεται από δορυφορικά δεδομένα του WorldView-2 να εκτιμήσει τη σφοδρότητα των δασικών πυρκαγιών του καλοκαιριού του 2016 στη Χίο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο NDVI παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με τις μετρήσεις πεδίου του CBI και υπολόγισε ικανοποιητικά τη σφοδρότητα των δασικών πυρκαγιών στο πεδίο. Παρόμοια αποτελέσματα παρουσιάζονται και σε άλλες περιοχές της Μεσογείου (Escuin κ.α. 2008). Αντίθετα, υπάρχουν έρευνες που αναφέρουν επίσης ικανοποιητική ακρίβεια με τους φασματικούς δείκτες dNBR, RdNBR ή/και RBR σε σύγκριση με τον NDVI (Cansler και McKenzie 2012, Miller και Thode 2007, Parks κ.α. 2014). Αυτές οι διαφορές μπορεί να συνδέονται με τους διαφορετικούς τύπους βλάστησης πριν την πυρκαγιά, με την πυκνότητα και χωρική ετερογένεια των δασικών συστάδων καθώς και με την έντονη μεταβλητότητα των συνθηκών καύσης που παρατηρείται κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών.

Σύμφωνα με την ανάλυση, η σχέση NDVI και CBI είχε μια συνολική ακρίβεια 71%. Οι κατηγορίες σφοδρότητας της πυρκαγιάς με τις υψηλότερες ακρίβειες βρέθηκαν στην υψηλή και άκαυτη κατηγορία, ενώ οι χαμηλότερες ακρίβειες για τη μέτρια και τη χαμηλή κατηγορία. Η πλειονότητα των σφαλμάτων του πίνακα λάθους είναι πιθανόν να οφείλεται στην υποεκτίμηση της μέτριας και χαμηλής κατηγορίας σφοδρότητας των πυρκαγιών, όπως έχουν ταξινομηθεί χρησιμοποιώντας το δείκτη NDVI. Αυτή η υπόθεση σημειώνεται και από τους Miller κ.α. (2009), οι οποίοι αποδίδουν τη μειωμένη ακρίβεια στις κατηγορίες χαμηλή και μέτρια στα εξαιρετικά ετερογενή και υψηλή μεταβλητότητα της σφοδρότητας κατά την εκτίμησή της στις δειγματοληψίες υπαίθρου.

Ακόμα κι αν το μοντέλο παλινδρόμησης έδειξε καλή ακρίβεια, τα προτεινόμενα όρια χρειάζονται περαιτέρω αξιολόγηση, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν επιχειρησιακά από τις δασικές υπηρεσίες της χώρας για τον χωρικό καθορισμό των έργων αποκατάστασης και αντιδιαβρωτικής και αντιπλημμυρικής προστασίας μετά από υψηλής έντασης δασικές πυρκαγιές. Οι εκτιμήσεις

σφοδρότητας των πυρκαγιών από την εξίσωση παλινδρόμησης που αναπτύχθηκε σε συνδυασμό με τα όρια που προέκυψαν από τα δεδομένα τηλεπισκόπησης υψηλής ανάλυσης μπορούν να επιτρέψουν την άμεση αξιολόγηση των μεταπυρικών επιπτώσεων σε επίπεδο τοπίου στα εύφλεκτα οικοσυστήματα της Χίου. Ειδικά τα δεδομένα του WorldView-2 τα οποία παρουσιάζουν πολύ υψηλή χωρική ανάλυση μπορούν να συμβάλουν στην ακριβέστερη αξιολόγηση των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών και να βελτιώσουν τις στρατηγικές μεταπυρικής διαχείρισης των οικοσυστημάτων αυτών.

Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης της περιμέτρου και της σφοδρότητας πυρκαγιάς, επιβεβαιώνουν τα υψηλά επίπεδα καταστροφής στη Χίο. Η υψηλή και μέτρια σφοδρότητα καύσης κυριαρχούν στο τοπίο του νησιού, καθιστώντας αναγκαία τη μελέτη, το σχεδιασμό και τη λήψη μέτρων και παρεμβάσεων για την αποτροπή περαιτέρω υποβάθμισης των οικοσυστημάτων αλλά και μείωση του κινδύνου εκδήλωσης φαινομένων όπως πλημμύρες και κατολισθήσεις.

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του έργου «Ενέργειες αποκατάστασης ζημιών από τις πυρκαγιές της 25ης Ιουλίου 2016 και της 26ης Αυγούστου στη Νήσο Χίο και εκπόνηση ολοκληρωμένου σχεδίου δράσης για την περιβαλλοντική προστασία και την πρόληψη φυσικών καταστροφών» που χρηματοδοτείται από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Βόρειο Αιγαίο» 2014 – 2020.

FIRE SEVERITY ESTIMATION USING VERY HIGH SPATIAL RESOLUTION SATELLITE IMAGERY: THE CASE OF CHIOS ISLAND

Mitsopoulos Ioannis¹, Chrysafi Irene², Mallinis Giorgos², Vassilakis Emmanuel³, Arianoutsou Margarita⁴, Lekkas Efthimios³

¹ Ministry of Environment and Energy, Department of Biodiversity and Protected Areas, Patission 147, 11251, Athens, ioanmits@gmail.com

² Democritus University of Thrace, Department of Forestry and Natural Resources Management, Orestiada, Pantazidou 193, 68200, gmallin@fmenr.duth.gr, irene.chrysafis@gmail.com,

³ National and Kapodistrian University of Athens, School of Sciences, Faculty of Geology and Geoenvironment, Panepistimiopolis, Athens 15784, evasilak@geol.uoa.gr, elekkas@geol.uoa.gr

⁴ National and Kapodistrian University of Athens, School of Sciences, Faculty of Biology, Department of Ecology and Systematics, Panepistimiopolis, Athens 15784, marianou@biol.uoa.gr

Abstract

The aim of this study is to spatially assess fire severity and to explore the relationship between the Normalized Vegetation Index (NDVI) derived from WorldView- 2 imagery and the field-based fire severity index “Composite Burn Index” (CBI) on a recent large fire that occurred on the island of Chios, Greece, in 2016. Predictive local thresholds of NDVI values have been determined for accurate thematic classification and mapping of fire severity classes. The overall classification accuracy based on NDVI from WorldView-2 was relatively high (71%), pointing to the potential of using such data for mapping forest fires in the Mediterranean as well as for assessing their severity. The application of the classification thresholds calculated in this study over other forest fire events on similar ecosystem types, could support the rapid assessment of fire severity and hence could enable the decisions needed for proper post-fire management.

Βιβλιογραφία

- Cansler, C.A. McKenzie, D., 2012. How robust are burn severity indices when applied in a new region? Evaluation of alternate field-based and remote-sensing methods. *Remote Sens.*, 4(2): 456–483.
- Chen, X., Vogelmann, J., Rollins, M., Ohlen, D., Key, C., Yang, L., Huang, C., Shi, H. 2011. Detecting post-fire burn severity and vegetation recovery using multitemporal remote sensing spectral indices and field-collected composite burn index data in a ponderosa pine forest. *Int. J. Remote Sens.* 32: 7905-7927.
- Chuvieco, E. 2009. *Earth observations of wildland fires in Mediterranean ecosystems*. Springer.
- Diakakis, M., Nikolopoulos, E., Mavroulis, S., Vassilakis, E., Korakaki, E. 2017. Observational Evidence on the Effects of Mega-Fires on the Frequency of Hydrogeomorphic Hazards. The Case of the Peloponnese Fires of 2007 in Greece. *Sci. Total Environ.* 592: 262-276.
- Dragozi E., Gitas I., Bajocco S., Stavrakoudis D. 2016. Exploring the Relationship between Burn Severity Field Data and Very High Resolution GeoEye Images: The Case of the 2011 Evros Wildfire in Greece. *Remote Sens.*, 8(7): 566
- Escuin, S., Navarro, R., Fernandez, P. 2008. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *Int. J. Remote Sens.* 29: 1053-1073.
- Gitas, I.Z., Polychronaki, A., Katagis, T., Mallinis, G. 2008. Contribution of remote sensing to disaster management activities: A case study of the large fires in the Peloponnese, Greece *International Journal of Remote Sensing* 29: 6. 1847-1853, 2008. Contribution of remote sensing to disaster management activities: A case study of the large fires in the Peloponnese, Greece *Int. J. Remote Sens.*, 29(16): 1847-1853.
- Gouveia, C., DaCamara, C., Trigo, R. 2010. Post-fire vegetation recovery in Portugal based on spot/vegetation data. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10: 673-684.
- Hoscilo, A., Tansey, K., Page, S. 2013. Post-fire vegetation response as a proxy to quantify the magnitude of burn severity in tropical peatland. *Int. J. Remote Sens.* 34: 412-433.
- Key, C., Benson, N. 2006. Landscape assessment: remote sensing of severity, the normalized burn ratio and ground measure of severity, the composite burn index. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system, Ogden, Utah.
- Koutsias, N., Pleniou, M., Mallinis, G., Nioti, F., Sifakis, N. 2013. A rule-based semi-automatic method to map burned areas: exploring the USGS historical Landsat archives to reconstruct recent fire history. *Int. J. Remote Sens.* 34: 7049-7068
- Mallinis, G., Maris, F., Kalinderis, I. and Koutsias, N., 2009. Assessment of post-fire soil erosion risk in fire-affected watersheds using remote sensing and GIS. *GISci. Remote Sens.* 46: 388-410.
- Miller, J., Knapp, C., Key, C., Skinner, C., Isbell, R., Sherlock, J. 2009. Calibration and validation of the relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) to three measures of fire severity in the Sierra Nevada and Klamath Mountains, California, USA. *Remote Sens. Environ.* 113: 645–656.
- Miller, J., Thode, A. 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sens. Environ.* 109: 66–80.
- Mitri, G. and Gitas, I., 2008. Mapping the severity of fire using object-based classification of IKONOS imagery. *Int. J. Wildland Fire* 17: 431–442
- Mitri, G.H., Gitas, I.Z., 2010. Mapping postfire vegetation recovery using EO-1 Hyperion imagery. *IEEE Trans Geosci. Remote Sens.* 48: 1613-1618.
- Moreira, F., Arianoutsou, M., Vallejo, R., de las Heras, J., Corona, P., Xanthopoulos, G., Fernandes, P., Papageorgiou, K. 2012. Setting the scene for post-fire management. In: *Post-fire management and restoration of Southern European Forests*. Moreira, F., Arianoutsou, M., Corona, P., De las Heras J. (eds), Springer, pp 1-19.
- Parks, S., Dillon, G., Miller, C. 2014. A new metric for quantifying burn severity: The relativized burn ratio. *Remote Sens.* 6: 1827–1844.
- Röder, A., Udelhoven, T., Hill, J., del Barrio, G., Tsiourlis, G. 2008. Using long time series of Landsat data to monitor fire events and post-fire dynamics and identify driving factors. A case study in the Ayora region (eastern Spain). *Rem. Sens. Environ.* 112: 259–273.
- Schepers, L., Haest, B., Veraverbeke, S., Spanhove, T., Vanden Borre, J., Goossens, R. 2014. Burned area detection and burn severity assessment of a heathland fire in Belgium using airborne imaging spectroscopy (APEX). *Rem. Sens.* 6: 1803-1826.