



ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΝΑΡΞΗΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΑΜΕΝΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ

Βασιλάκος Χρήστος^{*1}, Τσιοτσιόπουλος Ευστάθιος², Ρούσσου Όλγα¹, Παλαιολόγου

Παλαιολόγος³, Καλαμποκίδης Κώστας⁴

¹ ΕΔΙΠ, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη

² MSc Γεωπληροφορικής, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη

³ Επίκ. Καθηγητής, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Γεωπονικό
Πανεπιστήμιο Αθηνών, Καρπενήσι

⁴ Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη

* E-mail: chvas@aegean.gr

Περίληψη

Τα Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα δέχονται τις τελευταίες δεκαετίες ισχυρές πιέσεις από την επίδραση του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών, και λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων μέσω επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων αποτελεί σημαντικό βήμα στη διαχείρισή τους. Η επεξεργασία και οπτικοποίηση τηλεπισκοπικών και άλλων χωρικών δεδομένων που συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση και ανάλυση των δασικών πυρκαγιών μπορεί να πραγματοποιηθεί πλέον με τη χρήση του υπολογιστικού νέφους (Cloud Computing) το οποίο παρέχει αποτελεσματική και οικονομική πρόσβαση σε συστήματα υψηλής υπολογιστικής ισχύος και αποθήκευσης δεδομένων, ενώ δεν απαιτείται οι χρήστες να έχουν ισχυρό θεωρητικό υπόβαθρο των εφαρμοζόμενων μεθοδολογιών και τεχνολογιών. Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να παρουσιαστεί: α) η εφαρμογή μίας αυτοματοποιημένης διαδικασίας διαχρονικής χαρτογράφησης (1984-2019) των καμένων εκτάσεων των νησιών του Αιγαίου Πελάγους μέσω της πλατφόρμας Google Earth Engine (GEE), και β) η ανάπτυξη ενός διαδικτυακού συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (Web-GIS) για τη χαρτογραφική οπτικοποίηση (dashboard) των σημείων έναρξης δασικών πυρκαγιών, όπως αυτά παρέχονται από το επιχειρησιακό σύστημα Engage του Πυροσβεστικού Σώματος Ελλάδας (ΠΣ). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα τροποποιημένο ελεύθερο διαδικτυακό πρόγραμμα στο οποίο ο χρήστης εισάγει την ευρύτερη περιοχή εκδήλωσης μίας δασικής πυρκαγιάς, το χρονικό



παράθυρο μέσα στο οποίο εκδηλώθηκε η πυρκαγιά, και επιλέγει έναν τηλεπισκοπικό δέκτη για τη χαρτογράφηση της καμένης έκτασης μέσω του δείκτη Normalized Burn Ratio (NBR). Τέλος, πραγματοποιήθηκε μία ποσοτική ανάλυση για να κατανοηθεί ποια είναι η πραγματική συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών και η καμένη έκταση ανά νησί της περιοχής μελέτης. Όσον αφορά την οπτικοποίηση των σημείων έναρξης δασικών πυρκαγιών, δημιουργήθηκε ένα Web-GIS με πολλαπλές απεικονίσεις σε μία οθόνη. Ποσοτικές και ποιοτικές πληροφορίες οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στα διαθέσιμα δεδομένα των σημείων έναρξης δασικών πυρκαγιών του ΠΣ αποδίδονται με τη μορφή δυναμικών γραφημάτων. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η συνέργεια της Γεωπληροφορικής με μεθόδους και τεχνολογίες υπολογιστικού νέφους είναι αποτελεσματική στην επεξεργασία, αποθήκευση και οπτικοποίηση χωρικών δεδομένων πυρκαγιών.

Λέξεις κλειδιά: Γεωπληροφορική, Τηλεπισκόπηση, Δασικές Πυρκαγιές, Web-GIS

Εισαγωγή

Οι δασικές πυρκαγιές είναι μία από τις κυριότερες φυσικές καταστροφές με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης της βιομάζας και της βιοποικιλότητας, των αυξημένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της χαμηλότερης ποιότητας του εδάφους (Shakesby 2011). Ακόμα και αν το οικοσύστημα, κατά το πρώιμο στάδιο της αναγέννησης των δασών, ανταποκρίνεται στην πυρκαγιά με ταχεία ανάπτυξη νεαρών δέντρων, ο ρυθμός αναγέννησης της βλάστησης εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένης της σφοδρότητας της καύσης (Vasilakos *et al.* 2018). Συνεπώς η κύρια ενέργεια κατά τη φάση αποκατάστασης μετά από μία δασική πυρκαγιά είναι η χαρτογράφηση της καμένης έκτασης καθώς και της σφοδρότητας καύσης προκειμένου να αναπτυχθούν σχέδια έκτακτης αποκατάστασης και αναγέννησης, συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών, κατολισθήσεων και μείωσης του κινδύνου διάβρωσης του εδάφους.

Η τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων και της σφοδρότητας καύσης, την παρακολούθηση και την αξιολόγηση των δασικών πυρκαγιών καθώς και των συνεπειών τους (De Santis & Chuvieco 2007, Chu & Guo 2013, Parks *et al.* 2014). Τα υπολείμματα μίας πυρκαγιάς επηρεάζουν την ανακλαστικότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται έντονη μείωση της ανάκλασης στην περιοχή του κοντινού υπέρυθρου (NIR) του φάσματος λόγω της



κατεστραμμένης δομής της βλάστησης και ταυτόχρονα υπάρχει αύξηση της ανακλαστικότητας στο μικροκυματικό υπέρυθρο (SWIR) (Pereira *et al.* 1997, Miller & Thode 2007). Με βάση την παραπάνω συμπεριφορά, αναπτύχθηκε ο δείκτης Normalized Burn Ratio (NBR) ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως με επιτυχία στην οριοθέτηση μίας καμένης περιοχής καθώς και της σφοδρότητας καύσης (Key & Benson 1999, Veraverbeke *et al.* 2011).

Για την οπτικοποίηση της καμένης περιοχής και της σφοδρότητας καύσης έχουν αναπτυχθεί διάφορες Web-GIS εφαρμογές. Το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών έχει αναπτύξει το FireHUB για τη διαχρονική χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων ανά έτος και ανά δήμο για την ελληνική επικράτεια με βάση τα δεδομένα του Landsat από το 1984 (Kontoes *et al.* 2012). Η εφαρμογή επιχειρεί μία διαχρονική απογραφή των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα προσφέροντας πρόσβαση i) στις καμένες περιοχές (πυρικά πολύγωνα) ανά έτος, και ii) στις περιοχές που έχουν καεί περισσότερες φορές κατά τη διάρκεια των υπό μελέτη ετών. Μία άλλη εφαρμογή που παρέχει την καμένη περιοχή είναι η εφαρμογή Ταχείας Εκτίμησης Ζημιών (Rapid Damage Assessment - RDA) του Ευρωπαϊκού Πληροφοριακού Συστήματος Δασικών Πυρκαγιών (EFFIS) αναλύοντας ημερήσιες εικόνες MODIS σε χωρική ανάλυση 250 m με περιοχή εφαρμογής την Ευρώπη, χαρτογραφώντας πυρκαγιές με έκταση τουλάχιστον 30 εκτάρια (San-Miguel-Ayanz *et al.* 2009).

Για να έχει πρόσβαση ένας τελικός χρήστης από την Ελλάδα στα παραπάνω αποτελέσματα θα πρέπει ήδη να έχουν ενημερωθεί οι σχετικές πλατφόρμες μετά την επεξεργασία νέων δεδομένων. Για την άμεση παραγωγή των αποτελεσμάτων από τον τελικό χρήστη ανεξάρτητα από αυτές τις δύο πλατφόρμες, απαιτείται η επεξεργασία να πραγματοποιηθεί *in situ*. Η πρόσβαση, επεξεργασία και αποθήκευση τηλεπισκοπικών δεδομένων προϋποθέτει τόσο τη γνώση, επιστημονική τεκμηρίωση και εξοικείωση του χρήστη με συγκεκριμένες διαδικασίες, καθώς και σημαντική υπολογιστική ισχύ. Πλέον όμως, η Γεωπληροφορική σε συνδυασμό με τις σύγχρονες τεχνολογίες του υπολογιστικού νέφους (Cloud Computing) παρέχει αποτελεσματική και οικονομική πρόσβαση σε συστήματα υψηλής υπολογιστικής ισχύος και αποθήκευσης δεδομένων απομπλέκοντας τον χρήστη από την απαίτηση για ύπαρξη και χρήση τοπικών πόρων. Επιπλέον, η επεξεργασία και οπτικοποίηση τηλεπισκοπικών και άλλων χωρικών δεδομένων που συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση και ανάλυση των δασικών πυρκαγιών πραγματοποιείται χωρίς να



απαιτείται οι χρήστες να έχουν ισχυρό θεωρητικό υπόβαθρο των εφαρμοζόμενων μεθοδολογιών και τεχνολογιών.

Συνεκτιμώντας όλα τα παραπάνω, στην εργασία αυτή θα παρουσιαστεί: α) η εφαρμογή μίας αυτοματοποιημένης διαδικασίας διαχρονικής χαρτογράφησης (1984-2019) των καμένων εκτάσεων των νησιών του Αιγαίου Πελάγους μέσω της πλατφόρμας Google Earth Engine (GEE), και β) η ανάπτυξη ενός διαδικτυακού συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (Web-GIS) για τη χαρτογραφική οπτικοποίηση (dashboard) των σημείων έναρξη δασικών πυρκαγιών όπως αυτά παρέχονται από το επιχειρησιακό σύστημα Engage του Πυροσβεστικού Σώματος Ελλάδας (ΠΣ).

Υλικά και Μέθοδοι

Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε η καταγραφή και χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων στα νησιά του Αιγαίου Πελάγους, μη συμπεριλαμβανομένων των νησιών Κρήτη και Εύβοια για την περίοδο 1984-2019 (Σχήμα 1). Ως βάση για την αναζήτηση των περιστατικών πυρκαγιών για την περίοδο 1984-2019, χρησιμοποιήθηκαν αρχεία που παρέχει το Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας (ΠΣ) μέσω της επίσημης ιστοσελίδας του και αφορούν την περίοδο 2000-2019. Πρόκειται για καταγραφές σε μορφή πινάκων όπου για κάθε συμβάν καταγράφονται μία σειρά από περιγραφικά στοιχεία (ημερομηνία, τόπος, έκταση κτλ). Σημειώνεται ότι για την υπό μελέτη χρονική περίοδο τα στοιχεία δεν περιλαμβάνουν την ακριβή θέση έναρξης της πυρκαγιάς, αλλά μόνο τον δήμο ή την κοινότητα όπου έλαβε χώρα καθώς και το τοπωνύμιο. Από το 2020, το ΠΣ καταγράφει και τις συντεταγμένες φ,λ όπως παρέχονται από το επιχειρησιακό σύστημα Engage, συνεπώς πλέον είναι πιο εύκολος ο εντοπισμός της περιοχής. Συμπληρωματικά στα παραπάνω δεδομένα, χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα συμβάντων για την περίοδο 1984-1999 για πέντε νησιά τα οποία είναι η Λέσβος, η Χίος, η Σάμος, η Ικαρία και η Ρόδος που προέρχονται από προηγούμενες ερευνητικές δραστηριότητες του Εργαστηρίου Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

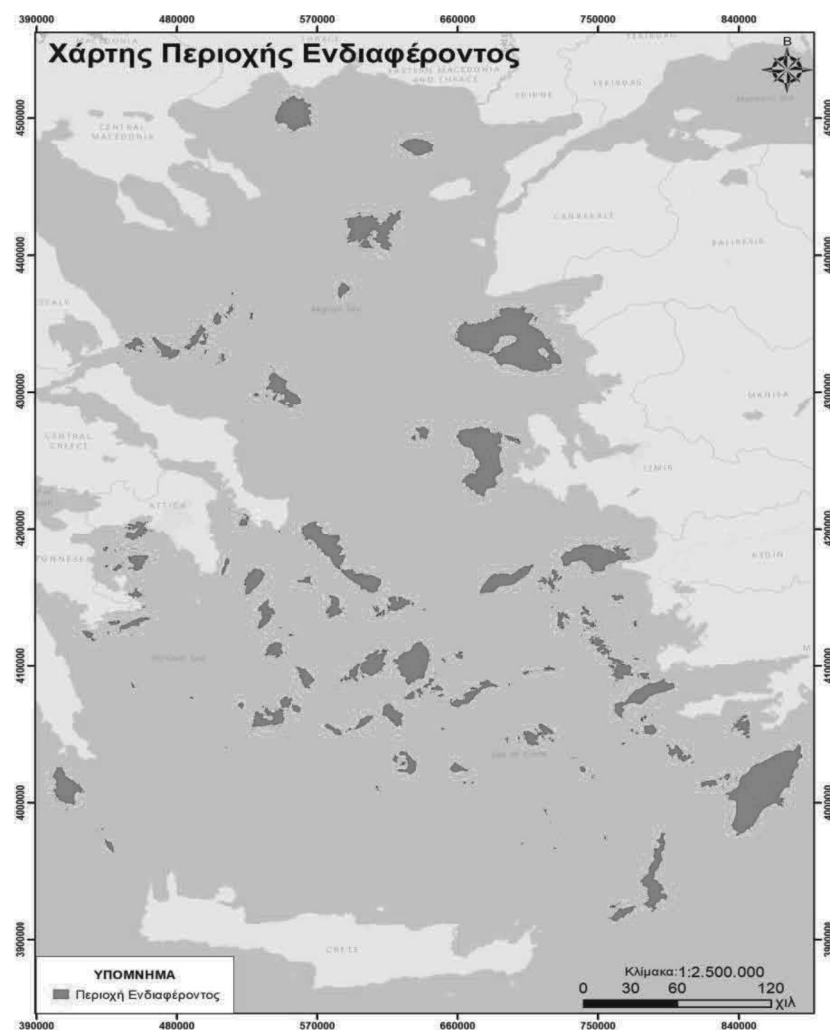
Για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων για την περίοδο 1984-2019, η επεξεργασία των δεδομένων διαχωρίζεται σε δύο βήματα:

A) Αναζήτηση δύο δορυφορικών εικόνων (μία πριν και μία μετά την πυρκαγιά) στην πλατφόρμα GEE και υπολογισμός του δείκτη dNBR για την αναγνώριση των καμένων



περιοχών και χαρτογράφηση της σφοδρότητας καύσης.

Β) Επεξεργασία των εξαγόμενων δεδομένων από το GEE σε λογισμικό GIS με σκοπό την αποτύπωση των καμένων εκτάσεων.



Σχήμα 1: Χάρτης περιοχής μελέτης

Πριν την αναζήτηση στο GEE, από την αρχική βάση δεδομένων συμβάντων απομονώθηκαν όσα αφορούν την περιοχή μελέτης, έλαβαν χώρα την αντιπυρική περίοδο κάθε έτους (1^η Μαΐου-31 Οκτωβρίου) και είχαν ως αποτέλεσμα σύμφωνα με το ΠΣ καμένη έκταση άνω των 50 στρεμμάτων.

Το GEE είναι μία διαδικτυακή πλατφόρμα που επιτρέπει την πρόσβαση και τη χρήση των πόρων (τηλεπισκοπικά δεδομένα, διανυσματικά δεδομένα, αλγόριθμοι και υπολογιστική ισχύ) που προσφέρει η Google μέσω του υπολογιστικού νέφους της (Gorelick *et al.* 2017, Mutanga & Kumar 2019). Πιο συγκεκριμένα, το GEE δημιουργήθηκε για να μπορεί να αναλύει και να χαρτογραφεί περιβαλλοντικά γεωχωρικά δεδομένα μεγέθους petabyte σε



παγκόσμια κλίμακα, προσφέροντας εργαλεία ανάπτυξης σε JavaScript ή Python και έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος μελετών σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία (Boothroyd *et al.* 2021, Zhao *et al.* 2021).

Για την αναζήτηση και επεξεργασία των εικόνων στο GEE χρησιμοποιήθηκε τροποποιημένος κώδικας από ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα του οργανισμού της UN-SPIDER³ (United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response). Για κάθε περιστατικό πυρκαγιάς από τη βάση δεδομένων του ΠΣ, και σύμφωνα με το τοπωνύμιο και την ημερομηνία της πυρκαγιάς, δημιουργείται ένα πολύγωνο της ευρύτερης περιοχής στην οποία εκτιμάται ότι έχει συμβεί η πυρκαγιά. Έπειτα, ακολουθεί ο ορισμός ενός χρονικού διαστήματος μέσα στο οποίο εκδηλώθηκε η πυρκαγιά. Μέσα σε αυτό το διάστημα πραγματοποιείται η αναζήτηση των δορυφορικών εικόνων με την εισαγωγή από τον χρήστη δύο διαφορετικών ζευγών ημερομηνιών. Ένα χρονικό διάστημα ορίζεται για να αναζητηθεί μία εικόνα πριν την έναρξη της πυρκαγιάς και το άλλο για μία εικόνα μετά την εκδήλωση της. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να έχουμε μία με δύο εικόνες μέσα σε αυτό το διάστημα, συνεπώς εξαρτάται από τη χρονική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου.

Επόμενο βήμα, είναι η επιλογή του αισθητήρα. Δίνεται η δυνατότητα ο χρήστης να επιλέξει, ανάλογα με την ημερομηνία του συμβάντος, έναν από τους Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 και Sentinel-2 για τους οποίους το GEE παρέχει ατμοσφαιρικά διορθωμένες εικόνες. Μετά την εύρεση των εικόνων, δημιουργούνται και εφαρμόζονται μάσκες νεφών με σκοπό την αποκοπή των περιοχών με νέφη για τα οποία, αν δεν αφαιρεθούν, ο αλγόριθμος θα υπολογίσει εσφαλμένο NBR. Τόσο για τα δεδομένα Landsat όσο και για τα δεδομένα Sentinel στην παραπάνω διαδικασία χρησιμοποιούνται τα κανάλια QA (Quality Assessment) τα οποία αποτελούν μετάφραση μίας δυαδικής συμβολοσειράς και τα εικονοστοιχεία αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες της επιφάνειας, της ατμόσφαιρας και του αισθητήρα (Dwyer *et al.* 2018). Σε περιπτώσεις όπου η επιλεγμένη περιοχή μελέτης δεν αποτυπώνεται σε μία εικόνα/σκηνικό τότε δημιουργείται ένα μωσαϊκό λαμβάνοντας υπόψη και τις γειτονικές εικόνες.

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο δείκτης NBR για τις επιλεγμένες εικόνες (πριν και μετά την πυρκαγιά) σύμφωνα με τη σχέση (Key & Benson 1999):

³ <https://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-burn-severity/burn-severity-earth-engine>



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

Όπου NIR το κοντινό υπέρυθρο και SWIR το μικροκυματικό υπέρυθρο. Ο δείκτης παίρνει τιμές από 1 έως -1, με τις υψηλές τιμές να προσδιορίζουν υγιή βλάστηση και τις αρνητικές γυμνό έδαφος και πρόσφατα καμένο. Η διαφορά των δύο δεικτών (preNBR-postNBR) αποτελεί τον dNBR ο οποίος καταγράφει τη σφοδρότητα της πυρκαγιάς και κατηγοριοποιείται σε πέντε τάξεις σύμφωνα με τον Πίνακα 1. Η παραγόμενη εικόνα αποθηκεύεται σε μορφή tif στον προσωπικό αποθηκευτικό χώρο (Google drive) του χρήστη. Τέλος, για κάθε περιοχή η εικόνα μετατράπηκε μετά από εξομάλυνση των ορίων της σε διανυσματική πολυγωνική μορφή η οποία αναπαριστά την περίμετρο της καμένης έκτασης. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η ροή των εργασιών για τη χαρτογράφηση της καμένης έκτασης.

Πίνακας 1: Τάξεις σφοδρότητας καύσης σύμφωνα με το εύρος τιμών του δείκτη dNBR

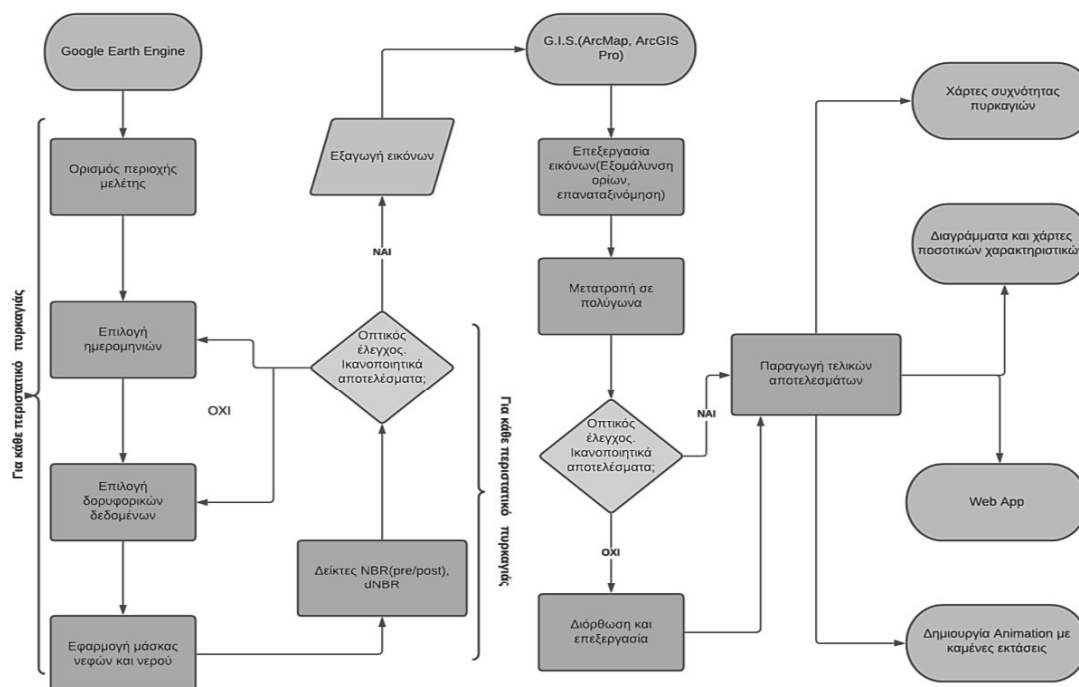
Τάξη σφοδρότητας	dNBR
Άκαυτο	<0,09
Χαμηλή	0,1-0,269
Χαμηλή-μέση	0,27-0,439
Μέση-υψηλή	0,44-0,659
Υψηλή	>0,66

Οπτικοποίηση σημείων έναρξης δασικών πυρκαγιών

Από το 2020 το ΠΣ παρέχει για κάθε συμβάν τις συντεταγμένες φ,λ του εκτιμώμενου σημείου έναρξης του όπως καταγράφονται στο επιχειρησιακό σύστημα ENGAGE επιπλέον των πληροφοριών που έδινε μέχρι τότε, δίνοντας τη δυνατότητα της ακριβούς χαρτογράφησης. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν οι πυρκαγιές του 2020 όπου μετά το φιλτράρισμα για την αφαίρεση όσων δεν είχε καταγραφεί η θέση τους, δημιουργήθηκε διανυσματικό αρχείο αποτελούμενο από 11.372 συμβάντα που έλαβαν χώρα σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια κατά το 2020. Με βάση το συγκεκριμένο αρχείο δημιουργήθηκε εφαρμογή Web-GIS σε μορφή ταμπλό (dashboard) για την οπτικοποίηση τόσο των γεωγραφικών όσο και των περιγραφικών στοιχείων με τη χρήση του ArcGIS Dashboards. Το ArcGIS Dashboards αποτελεί μέρος του Geospatial Cloud της Esri με λειτουργικότητα προσανατολισμένη στην απεικόνιση δεδομένων και στη συστηματική υπολογιστική ανάλυση αυτών για προβολή σε πραγματικό χρόνο υπηρεσιών και συμβάντων. Βασικό πλεονέκτημα είναι ότι η διαδραστικότητα, και η ενημέρωση του



εργαλείων του Dashboard με την αλλαγή των στοιχείων προσφέρει μία ολοκληρωμένη προβολή των δεδομένων που μέσα από οπτικοποιήσεις αναδεικνύονται στατιστικές σχέσεις και χωρικά πρότυπα.



Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής χαρτογράφησης καμένων εκτάσεων και σφοδρότητας καύσης

Αποτελέσματα και Συζήτηση

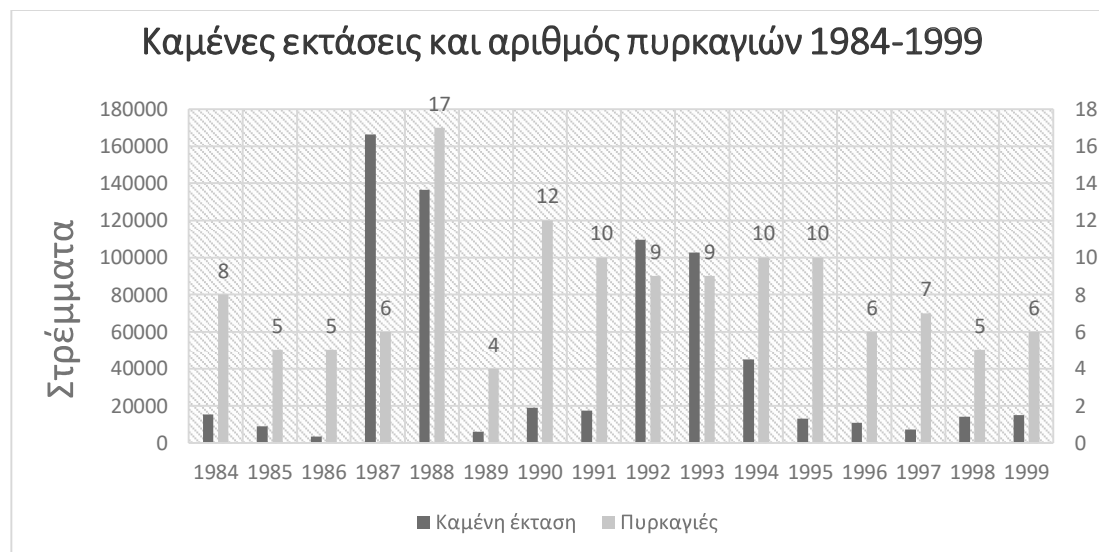
Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων

Μέσω μίας επαναληπτικής διαδικασίας εύρεσης των κατάλληλων εικόνων για κάθε συμβάν, πραγματοποιήθηκε η χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων και αποτυπώθηκαν οι περίμετροι των καμένων εκτάσεων 510 συμβάντων σε 44 νησιά τα οποία πληρούσαν τα κριτήρια της ελάχιστης καμένης έκτασης και της περιόδου εκδήλωσης τους. Το σύνολο της καμένης έκτασης κατά την περίοδο 1984-2019 ανέρχεται σε 1.722.000 στρέμματα. Για κάθε συμβάν αναζητούνταν ο βέλτιστος αισθητήρας, δηλαδή είτε ο Sentinel-2 με 10 m χωρική διακριτική ικανότητα είτε ο πιο πρόσφατος αισθητήρας Landsat. Σε περίπτωση που η καμένη έκταση επηρεαζόταν από το πρόβλημα εμφάνισης κενών γραμμών (SLC-off) του αισθητήρα Landsat-7, τότε γινόταν χρήση εναλλακτικού αισθητήρα.

Για την περίοδο 1984-1999 στα πέντε νησιά (Ικαρία, Σάμος, Λέσβος, Χίος, Ρόδος) εντοπίστηκαν 129 συμβάντα που είχαν ως αποτέλεσμα 691.000 στρέμματα καμένων εκτάσεων, εκ των οποίων τα 569.000 στρέμματα ήταν αποτέλεσμα 55 πυρκαγιών που



έλαβαν χώρα στη Χίο και στη Ρόδο. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται ανά έτος η καμένη έκταση και ο αριθμός των συμβάντων.



Σχήμα 3: Καμένες εκτάσεις και αριθμός πυρκαγιών για την περίοδο 1984-1999

Για τη χρονική περίοδο 2000-2019 αποτυπώθηκαν 381 πυρκαγιές με συνολική καμένη έκταση 1.031.000 στρέμματα. Το 2000 ήταν το έτος με το μεγαλύτερο αριθμό συμβάντων και την περισσότερη καμένη έκταση (Σχήμα 4). επίσης, ήταν το έτος με τη μεγαλύτερη πυρκαγιά για όλη τη χρονική περίοδο μελέτης, την πυρκαγιά της 6^{ης} Ιουλίου στη Σάμο για την οποία χαρτογραφήθηκε καμένη έκταση 135.000 στρεμμάτων (Σχήμα 5).

Έπειτα πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση της συχνότητας καύσης. Από τη ανάλυση προέκυψε ότι 242.000 στρέμματα καήκανε δύο φορές, 25.000 στρέμματα καήκανε 3 φορές, 1.255 στρέμματα καήκανε 4 φορές ενώ 20 στρέμματα καήκανε 5 φορές σε όλη τη χρονική περίοδο μελέτης. Ενδεικτικά στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα νησιά όπου βρέθηκαν οι μεγαλύτερες συνολικά καμένες εκτάσεις (Χίος, Ρόδος, Σάμος, Λέσβος, Ικαρία) και οι περιοχές με συχνότητα καύσης από δύο και πάνω. Το ποσοστό των καμένων εκτάσεων με συχνότητα δύο φορές καλύπτει το 16% των καμένων εκτάσεων στη Σάμο, το 9% στη Λέσβο, το 7 % στην Ικαρία, το 11% στη Ρόδο και το 23% στη Χίο. Ενώ στη Χίο και στη Σάμο ποσοστό περίπου στο 3% της συνολικά καμένης έκτασης έχει καεί τουλάχιστον τρεις φορές.

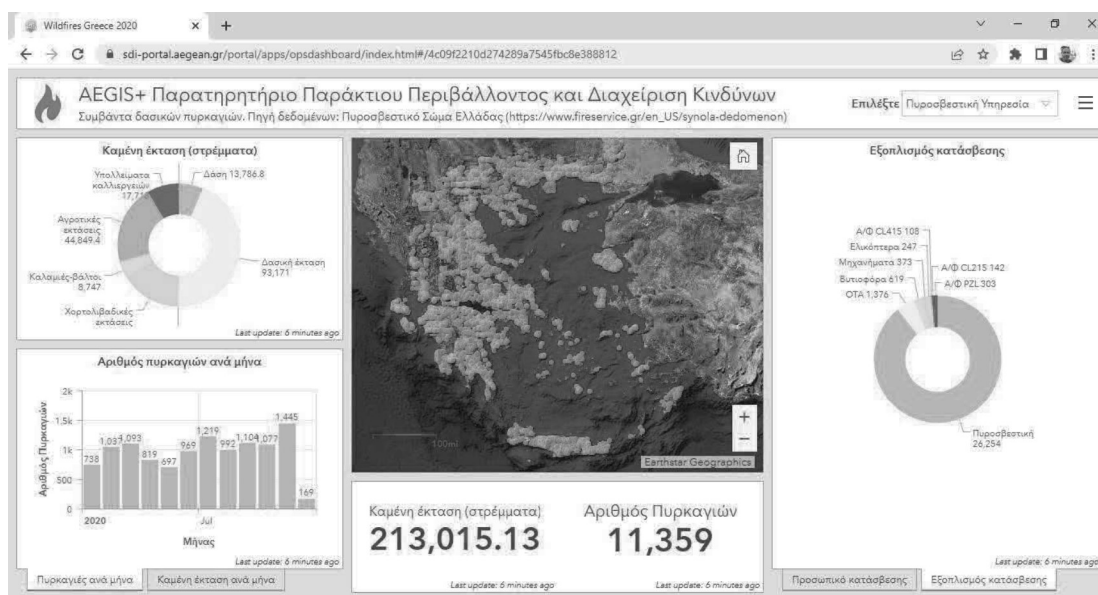




5	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8
Σύνολο	237.278	70.583	22.672	471.970	542.543

Οπτικοποίηση σημείων έναρξης δασικών πυρκαγιών

Μέσω του ArcGIS Dashboard, για το 2020 οπτικοποιήθηκαν 11.539 συμβάντα πυρκαγιών που είχαν ως αποτέλεσμα 213.015 στρέμματα καμένης έκτασης. Σε μία οθόνη ο χρήστης μπορεί να δει γραφήματα με όλες τις πληροφορίες που παρέχει το ΠΣ για κάθε συμβάν (Σχήμα 6). Όλα τα γραφήματα είναι δυναμικά και μεταβάλλονται ανάλογα με τις πυρκαγιές που βρίσκονται εντός των ορίων του γεωγραφικού χώρου που απεικονίζεται στο κεντρικό πάνελ. Επίσης, τα γραφήματα μεταβάλλονται ανάλογα και με τις επιλογές που έχει τη δυνατότητα να κάνει ο χρήστης και αφορούν τον μήνα και το υπεύθυνο κλιμάκιο του ΠΣ, ενώ όλες οι επιλογές μπορεί να είναι και συνδυαστικές. Η πρόσβαση στο Dashboard γίνεται από το link: <https://bit.ly/fireGR2020>.



Σχήμα 6: Οπτικοποίηση συμβάντων δασικών πυρκαγιών με Dashboard

Συμπεράσματα

Μέσα από τη συγκεκριμένη εργασία διαπιστώθηκε η δυνατότητα που δίνει το υπολογιστικό νέφος στην επιστήμη της Γεωπληροφορικής για την απόκτηση, επεξεργασία, αποθήκευση και οπτικοποίηση γεωγραφικών δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκε μία φιλική προς τον χρήστη υλοποίηση εφαρμογής στο περιβάλλον της πλατφόρμας Google Earth Engine για τη χαρτογράφηση της καμένη έκτασης σε πολύ σύντομο χρόνο, χωρίς να χρειάζεται α) εγκατάσταση τοπικού συγκεκριμένου λογισμικού GIS, β) εγγραφή σε βάσεις δεδομένων



δορυφορικών εικόνων, π.χ. USGS και ESA, γ) λήψη δεδομένων τοπικά, και δ) οι χρήστες να έχουν ειδική εμπειρία και εξειδίκευση στην προεπεξεργασία και ανάλυση δεδομένων τηλεπισκόπησης. Επίσης, μέσα από τη συγκεκριμένη συστηματική καταγραφή διαπιστώθηκε ότι περιστατικά πυρκαγιών τα οποία δεν ήταν καταγεγραμμένα στη βάση δεδομένων εντοπίστηκαν μέσω αυτής της διαδικασίας. Τέλος, αρκετές ήταν και οι περιπτώσεις όμως που καταγεγραμμένες πυρκαγιές στο αρχείο του ΠΣ δεν εντοπίστηκαν είτε λόγω της νεφοκάλυψης ή λανθασμένης καταχώρησης της ημερομηνίας ή του τοπωνυμίου. Συμπερασματικά, η συμβολή της Γεωπληροφορικής και του υπολογιστικού νέφους στον τομέα της διαχείρισης των φυσικών καταστροφών, και εν προκειμένω των δασικών πυρκαγιών, μπορεί να υποστηρίξει την ανάπτυξη στοχευμένων πολιτικών πρόληψης και διαχείρισης του κινδύνου.

GEOINFORMATICS APPLICATIONS FOR WILDFIRE IGNITIONS AND BURNED AREA MAPPING

Vasilakos Christos^{*1}, Tsiotsiopoulos Efstathios², Roussou Olga¹, Palaiologou Palaiologos³, Kalabokidis Kostas⁴

¹ EDIP, Department of Geography, University of the Aegean, Mytilene, Greece

² MSc Geoinformatics, Department of Geography, University of the Aegean, Mytilene, Greece

³ Assistant Professor, Department of Forestry and Natural Environment Management, Agricultural University of Athens, Karpenisi, Greece

⁴ Professor, Department of Geography, University of the Aegean, Mytilene, Greece

Abstract

Mediterranean-type of ecosystems have been under strong pressures for the last 30 years due to wildfires. Burned area mapping through remote sensing is an important step for forest management. Nowadays, processing and visualization of remote sensing and other spatial data can be accomplished using Cloud Computing that offers the access to computer power, storage, data and processing methods. The aim of this paper was to present a) the automatic mapping of burned areas for the Aegean Archipelago (1984-2019) through the use of the Google Earth Engine (GEE) platform, and b) the development of a Web-GIS dashboard for the visualization of wildfire ignition points provided by the Hellenic Fire Service. More specifically, an open access JavaScript algorithm has been applied through GEE



to derive the burned area of each wildfire based on the Normalized Burn Ratio index. Additionally, the Web-GIS dashboard presents a map with the wildfire ignitions and various chart panels showing the summarized information regarding burned area, fire resources and monthly statistics. According to the results, the synergy of Geoinformatics and cloud computing can be an advantage towards effective wildfire prevention and management.

Χρηματοδότηση

Η εργασία χρηματοδοτήθηκε εν μέρει από το έργο «**Παρατηρητήριο Παρακτίου Περιβάλλοντος και Διαχείριση Κρίσεων σε Νησιωτικές Περιοχές (AEGIS+)**» (MIS 5047038), που υλοποιείται στα πλαίσια του Ε.Π. «Ανταγωνιστικότητα Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία» (Ε.Σ.Π.Α. 2014-2020), συγχρηματοδοτούμενο από την Ελληνική Πολιτεία (Υπουργείο Ανάπτυξης και Επενδύσεων) και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης).

Βιβλιογραφία

- Boothroyd, R.J., R.D. Williams, T.B. Hoey, B. Barrett & O.A. Prasojo. 2021. Applications of Google Earth Engine in fluvial geomorphology for detecting river channel change. *WIREs Water* 8.
- Chu, T. & X. Guo. 2013. Remote Sensing Techniques in Monitoring Post-Fire Effects and Patterns of Forest Recovery in Boreal Forest Regions: A Review. *Remote Sens.* 6: 470–520.
- De Santis, A. & E. Chuvieco. 2007. Burn severity estimation from remotely sensed data: Performance of simulation versus empirical models. *Remote Sens. Environ.* 108: 422–435.
- Dwyer, J.L., D.P. Roy, B. Sauer, C.B. Jenkerson, H.K. Zhang & L. Lymburner. 2018. Analysis ready data: Enabling analysis of the landsat archive. *Remote Sens.* 10.
- Gorelick, N., M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau & R. Moore. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202: 18–27.
- Key, C.H. & N. Benson. 1999. The Normalized Burn Ratio (NBR): a Landsat TM radiometric measure of burn severity. *US Geol. Surv. North. Rocky Mt. Sci. Center.*
- Kontoes, C., I. Keramitsoglou, I. Papoutsis, T. Herekakis, D. Michail, P. Xofis, M. Koubarakis, K. Kyzirakos, M. Karpathiotakis, C. Nikolaou, M. Sioutis, G. Garbis, S. Vassos, S. Manegold, M. Kersten, H. Pirk & M. Ivanova. 2012. Operational wildfire monitoring and disaster



- management support using state-of-the-art EO and Information Technologies, p. 196–200. *In* 2012 Second International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications. IEEE.
- Miller, J.D. & A.E. Thode. 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.
- Mutanga, O. & L. Kumar. 2019. Google Earth Engine Applications. *Remote Sens.* 11: 591.
- Parks, S., G. Dillon & C. Miller. 2014. A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio. *Remote Sens.* 6: 1827–1844.
- Pereira, J.M.C., E. Chuvieco, A. Beaudoin & N. Desbois. 1997. Remote sensing of burned areas: a review. *A Rev. Remote Sens. methods study large Wildl. fires.*
- San-Miguel-Ayanz, J., J.M.C. Pereira, R. Boca, P. Strobl, J. Kucera & A. Pekkarinen. 2009. Forest Fires in the European Mediterranean Region: Mapping and Analysis of Burned Areas, p. 189–203. *In* Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Shakesby, R.A. 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Rev.* 105: 71–100.
- Vasilakos, C., G.E. Tsekouras, P. Palaiologou & K. Kalabokidis. 2018. Neural-Network Time-Series Analysis of MODIS EVI for Post-Fire Vegetation Regrowth. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 7: 420.
- Veraverbeke, S., S. Lhermitte, W.W. Verstraeten & R. Goossens. 2011. A time-integrated MODIS burn severity assessment using the multi-temporal differenced normalized burn ratio (dNBRMT). *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 13: 52–58.
- Zhao, Q., L. Yu, X. Li, D. Peng, Y. Zhang & P. Gong. 2021. Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sens.* 13: 3778.