



## ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΠΟΛΗΣ-ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΗΣ ΦΥΣΗΣ ΣΤΑ ΝΗΣΙΑ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Αναστασίου Παναγιώτης <sup>1\*</sup>, Παλαιολόγου Παλαιολόγος <sup>2</sup>, Βασιλάκος Χρήστος <sup>3</sup> και  
Καλαμποκίδης Κώστας <sup>4</sup>

<sup>1</sup> MS Γεωπληροφορικός, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη

<sup>2</sup> Επίκ. Καθηγητής, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Γεωπονικό  
Πανεπιστήμιο Αθηνών, Καρπενήσι

<sup>3</sup> ΕΔΙΠ, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη

<sup>4</sup> Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη

\* E-mail: [geom19001@geo.aegean.gr](mailto:geom19001@geo.aegean.gr)

### Περίληψη

Οι ζώνες της διεπιφάνειας πόλης-περιαστικής φύσης (Wildland-Urban Interface, WUI) είναι περιοχές όπου οι ανθρωπογενείς δομές συναντώνται ή αναμιγνύονται με δασικές εκτάσεις. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν σημαντική επέκταση κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, ιδίως σε χώρες της Μεσογειακής Ευρώπης. Ο συνδυασμός εύφλεκτων υλικών δόμησης και φυτικής καύσιμης ύλης έχει ως αποτέλεσμα τη μετάδοση δασικών πυρκαγιών εντός της διεπιφάνειας αυτής προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις τόσο στον άνθρωπο (θάνατοι και τραυματισμοί) όσο και στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον (καταστροφή περιαστικών, προστατευτικών ή αισθητικών δασών και αστικών πάρκων, απώλεια περιουσιών). Ο σχεδιασμός αποτελεσματικών πρακτικών και μέτρων πρόληψης και ανάσχεσης αυτών των πυρκαγιών πριν εισέλθουν στη διεπιφάνεια προϋποθέτει τη χαρτογράφηση των ζωνών WUI καθώς και των τύπων και των χαρακτηριστικών τους. Στην παρούσα έρευνα εφαρμόστηκαν τεχνικές Γεωπληροφορικής σε ανοικτά δεδομένα από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Copernicus για τη χαρτογράφηση τεσσάρων τύπων αστικών και περιαστικών περιοχών που συναντάμε στην Ελλάδα. Οι τύποι αυτοί είναι 1) τα αστικά κέντρα, 2) οι περιαστικές περιοχές δίχως χαρακτηριστικά WUI, και οι περιαστικές περιοχές με χαρακτηριστικά WUI, είτε 3) αναμεμιγμένες με τη δασική βλάστηση (intermix) είτε 4) σε



άμεση γειτνίαση με αυτή (interface). Για τη χαρτογράφηση των τεσσάρων τύπων απαιτήθηκε ο υπολογισμός της πυκνότητας των κατοικιών, της ποσοστιαίας κάλυψης από δασική βλάστηση και της ζώνης μεταφοράς καυτρών. Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου με εκτεταμένα συμπλέγματα δασών κωνοφόρων (Λέσβος, Σάμος και Ρόδος). Τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση της έκτασης και των ορίων κάθε τύπου αστικών και περιαστικών περιοχών με στόχο την εκτίμηση του πυρικού κινδύνου σε αυτούς, τη στοχευμένη διαχείριση της φυτικής καύσιμης ύλης, την κατανόηση της έντασης και κατανομής της τάσης οικιστικής ανάπτυξης κοντά στο φυσικό περιβάλλον, καθώς και τη συμβολή τους σε διαδικασίες υποστήριξης αποφάσεων. Επιπλέον, μπορούν να αξιοποιηθούν για την οργάνωση και τον συντονισμό των διαδικασιών εκκένωσης και για την εφαρμογή πολιτικών ενίσχυσης της πυροπροστασίας των κατοικιών στις περιοχές που έχουν τη μεγαλύτερη έκθεση στον κίνδυνο των δασικών πυρκαγιών.

**Λέξεις κλειδιά:** Γεωπληροφορική, πρόληψη δασικών πυρκαγιών, περιαστικά δάση, πυκνότητα κατοικιών

## 1. Εισαγωγή

Η καύση των κατοικιών που βρίσκονται εντός των ζωνών της διεπιφάνειας πόλης-περιαστικής φύσης (Wildland-Urban Interface, WUI) μπορεί να συμβεί γρήγορα και ταυτόχρονα μέσω μηχανισμών που αφορούν είτε την άμεση έκθεση τους στη φωτιά, είτε την έμμεση έκθεση τους στην ακτινοβολούμενη θερμότητα και στις παραγόμενες καύτρες που μεταφέρονται με τον άνεμο προκαλώντας το φαινόμενο της κηλίδωσης (Thomas and Butry 2014). Το φαινόμενο της κηλίδωσης (spotting) διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στην εξάπλωση των πυρκαγιών εντός της διεπιφάνειας αυτής (Intini et al. 2020), ιδίως σε κατασκευές με ξύλινες οροφές (Manzello and Foote 2014) με αποτέλεσμα η κατάσβεση τους να θεωρείται επιχειρησιακά δύσκολη και πολυέξοδη διαδικασία (Gowman 2013).

Για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών πρακτικών και μέτρων πρόληψης και ανάσχεσης αυτών των πυρκαγιών πριν εισέλθουν στη διεπιφάνεια, προϋπόθεση είναι η χαρτογράφηση της έκτασης και των ορίων των ζωνών WUI καθώς και των τύπων και των χαρακτηριστικών τους. Πλήθος ερευνών έχουν ασχοληθεί με τη χαρτογράφηση των ζωνών αυτών, τόσο στο



επίπεδο μικροκλίμακας όσο και σε κλίμακα τοπίου (π.χ. Radeloff et al. 2005, Theobald and Romme 2007, Lampin-Maillet et al. 2010).

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η χαρτογράφηση τεσσάρων τύπων αστικών και περιαστικών περιοχών σε νησιά του Ανατολικού Αιγαίου με εκτεταμένα συμπλέγματα δασών κωνοφόρων (Λέσβος, Σάμος και Ρόδος). Οι τύποι αυτοί είναι 1) τα αστικά κέντρα, 2) οι περιαστικές περιοχές δίχως χαρακτηριστικά WUI, 3) οι περιαστικές περιοχές με χαρακτηριστικά WUI αναμεμιγμένες με τη δασική βλάστηση (intermix) και 4) οι περιαστικές περιοχές με χαρακτηριστικά WUI σε άμεση γειτνίαση με τη δασική βλάστηση (interface). Για τη χαρτογράφηση τους εφαρμόστηκαν τεχνικές Γεωπληροφορικής για τον υπολογισμό της πυκνότητας των κατοικιών, της ποσοστιαίας κάλυψης από δασική βλάστηση και της ζώνης μεταφοράς καυτρών μέσω της επεξεργασίας ανοικτών δεδομένων από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Copernicus.

## 2. Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης συγκροτείται από τρία νησιά του Ανατολικού Αιγαίου με εκτεταμένα συμπλέγματα δασών κωνοφόρων (Λέσβος, Σάμος και Ρόδος) και πυκνή δόμηση πλησίον ή εντός δασών ή δασικών εκτάσεων (Εικόνα 1). Τα νησιά αυτά παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά σχετικά με το κλίμα και τους κυριότερους τύπους φυτικής κάλυψης γης. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης εντάσσεται στο Εύκρατο-Μεσογειακό κλίμα (CSa κατά Korpen) με χαρακτηριστικούς θερμούς και ξηρούς θερινούς μήνες και μετρίως ψυχρούς και υγρούς χειμερινούς μήνες.

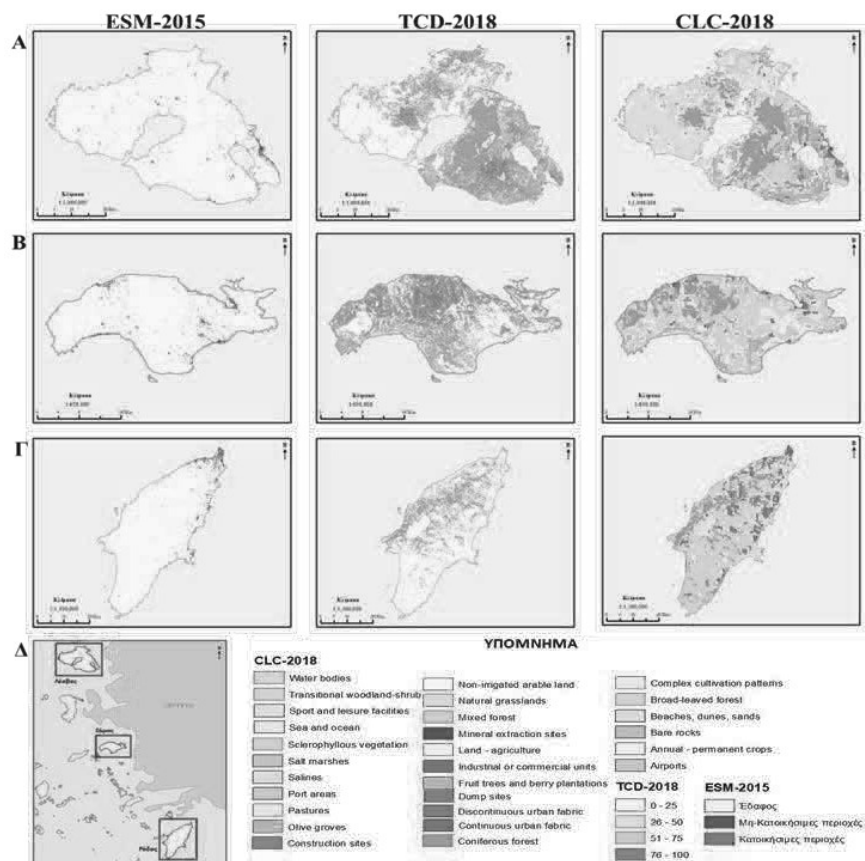
Τα ανατολικά και κεντρικά τμήματα της Λέσβου καλύπτονται κυρίως από πεύκα (*Pinus spp.*), καστανιές (*Castanea sativa*), πλάτανους (*Platanus occidentalis*) και ελαιώνες (*Olea europaea*). Γενικά, η χλωρίδα του νησιού είναι πλούσια αλλά και εύφλεκτη, περιλαμβάνοντας δασώδεις εκτάσεις με υψηλή επικινδυνότητα, χορτολιβαδικές εκτάσεις και περιοχές με κάλυψη από δρυ και πουρνάρι (*Quercus spp.*), μακία βλάστηση και φρύγανα. Στη νήσο Λέσβο παρατηρείται ένα πυκνό σύμπλεγμα δασών κωνοφόρων (*Pinus brutia*) το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως το μεγαλύτερο και πιο συνεκτικό σε όλο το νησιωτικό σύμπλεγμα του Αιγαίου (300 km<sup>2</sup>, περίπου το 20% της έκτασης της).

Οι βιότοποι που απαντώνται σε όλη τη Ρόδο είναι κυρίως αυτοί της ευμεσογειακής ζώνης



βλάστησης με αείφυλλους θάμνους, καθώς και πευκόφυτες πλαγιές καλυμμένες με *Pinus brutia*, που κατά τόπους συγκροτεί σπάνια μικτά δάση με οριζοντιόκλαδα κυπαρίσσια (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*). Στα παράλια κυριαρχούν τα κέδρα (*Juniperus* spp.) που φύονται ως και τη θάλασσα, ενώ σε ποτάμια και ρεματιές φύεται και η λικιδάμβαρη (*Liquidambar orientalis*) ή ζητιά στην οποία οφείλεται η μεγάλη συσσώρευση των πεταλούδων στη γνωστή «κοιλάδα των πεταλούδων».

Μεσογειακά δάση κωνοφόρων συναντάμε σε εκτεταμένες περιοχές της Σάμου. Η *Pinus brutia* επικρατεί στα χαμηλά και σχηματίζει μεγάλα δάση καλά ανεπτυγμένα, κυρίως στο βόρειο τμήμα και τις ορεινές περιοχές. Στο νότιο τμήμα τα δάση είναι λιγότερα, έχοντας υποστεί σοβαρές ζημιές από τις φωτιές τα τελευταία χρόνια. Στις βορειοανατολικές και τις βόρειες περιοχές του όρους Κέρκη και σε μερικές άλλες ακόμα, υπάρχουν δάση από κυπαρίσσια και από διάφορα είδη κέδρων. Σε υψόμετρα >700 m και κυρίως στην ευρύτερη περιοχή του χωριού Άμπελος, υπάρχουν εκτεταμένα δάση μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*). Οικοσυστήματα αειφύλλων-σκληροφύλλων κυριαρχούν λόγω ξηρασίας στο νότιο τμήμα και στο όρος Κέρκη, ανάμεικτα με φρύγανα και με φτωχή ως επί το πλείστον βλάστηση.





**Εικόνα 1:** Κατανομή των κατοικημένων περιοχών (αριστερή στήλη), της πυκνότητας κόμης της δενδρώδους βλάστησης (%) (κεντρική στήλη) και των τύπων εδαφοκάλυψης (δεξιά στήλη) για τα νησιά Λέσβος (**A**), Σάμος (**B**), και Ρόδος (**Γ**). Η γεωγραφική τους θέση παρουσιάζεται στον ένθετο χάρτη (**Δ**).

## 2.2 Περιγραφή Δεδομένων

Η έρευνα βασίστηκε σε ανοικτά σύνολα δεδομένων σε ψηφιδωτή μορφή (raster) από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Copernicus. Το πρώτο επίπεδο είναι το European Settlement Map (ESM) του 2015 (ESM-2015<sup>4</sup>, διαθέσιμο 2019) με χωρική ανάλυση στα 10 m (Corbane and Sabo 2019). Από το επίπεδο αυτό χρησιμοποιήθηκε μόνο η κλάση των κατοικήσιμων περιοχών (κωδικός 255) (Εικόνα 1-αριστερή στήλη).

Μέσω του ελέγχου 340.144 σημείων δειγματοληψίας σε σύγκριση με τη βάση δεδομένων στατιστικών ερευνών καλύψεων και χρήσεων γης του 2015 (LUCAS 2015) βρέθηκε ότι η ακρίβεια της απόδοσης των κατοικημένων περιοχών είναι 91%, ενώ τα σφάλματα παράλειψης και παρερμηνείας είναι 13% και 76%, αντίστοιχα (Sabo et al. 2019).

Εξ όσων γνωρίζουμε, αυτό το σετ δεδομένων χρησιμοποιείται για πρώτη φορά στη χαρτογράφηση των ζωνών μίξης δασών-οικισμών. Σε αντίστοιχες ερευνητικές προσπάθειες χρησιμοποιήθηκε είτε μία ζώνη πληροφορίας (π.χ. US Census block) (π.χ. Radeloff et al. 2005), είτε δεδομένα της τοποθεσίας των κατοικιών από διαθέσιμες γεωβάσεις (π.χ. Microsoft building database) (π.χ. Bar-Massada 2021), είτε εφαρμόστηκαν αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης και τεχνικές ψηφιοποίησης σε τηλεπισκοπικά δεδομένα (π.χ. Arganaraz et al. 2017).

Το δεύτερο επίπεδο είναι το CORINE Land Cover (CLC) του 2018 (CLC-2018)<sup>5</sup>, το οποίο παρέχει πληροφορία σε συνολικά 44 κατηγορίες καλύψεων και χρήσεων γης σε κλίμακα ηπείρου. Το CLC-2018 έχει χρησιμοποιηθεί σε παρόμοιες ερευνητικές προσπάθειες (π.χ. Modugno et al. 2016).

<sup>4</sup> <https://land.copernicus.eu/pan-european/GHSL/european-settlement-map/esm-2015-release-2019?tab=mapview>

<sup>5</sup> <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>



Το τελευταίο επίπεδο είναι το Tree Cover Density (TCD) του 2018 (TCD-2018)<sup>6</sup>, το οποίο παρέχει πληροφορία σχετικά με την πυκνότητα της δενδρώδους βλάστησης σε επίπεδο κόμης (0-100%) με χωρική ανάλυση τα 10 m (Copernicus Land Monitoring Service 2018). Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης μέσω οπτικής ερμηνείας 9.695 τυχαίων-στρωματοποιημένων σημείων δειγματοληψίας έδειξαν ότι η συνολική ακρίβεια ισούται με 96,43% με τα σφάλματα παράλειψης και παρερμηνείας για περιοχές με δασική κάλυψη να είναι ίσα με 97,40% και 92,52%, αντίστοιχα.

## 2.3 Ανάλυση

### 2.3.1 Προεπεξεργασία

Από το επίπεδο ESM-2015 χρησιμοποιήθηκαν συνολικά εννέα πλακίδια για την πλήρη κάλυψη της περιοχής μελέτης. Τα πλακίδια αυτά συνενώθηκαν και έγινε τροποποίηση του προβολικού συστήματος στο ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφορά (ΕΓΣΑ87). Η τροποποίηση του προβολικού συστήματος έγινε και για τα CLC-2018 και TCD-2018. Ωστόσο, παρά τη σχετικά υψηλή ακρίβεια του ESM-2015 παρατηρήθηκε ότι μεγάλο μέρος των εικονοστοιχείων που χαρακτηρίζονται ως κατοικημένες περιοχές αποτελούν ουσιαστικά τμήματα του οδικού δικτύου του κάθε νησιού. Έτσι, για τον καθαρισμό του αφαιρέθηκαν όλα τα σημεία που βρέθηκαν εντός αυτών. Η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων έγινε για κάθε νησί ξεχωριστά με βάση τα διοικητικά όρια σε επίπεδο δήμου σύμφωνα με το σχέδιο «Καλλικράτης».

### 2.3.2 Χαρτογράφηση των ζωνών της διεπιφάνειας πόλης-περιαστικής φύσης

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τη χαρτογράφηση της έκτασης και των ορίων καθώς και των τύπων και των χαρακτηριστικών των ζωνών της διεπιφάνειας πόλης-περιαστικής φύσης βασίστηκε στον κατακερματισμό της περιοχής μελέτης μέσω της δημιουργίας ενός κανονικοποιημένου πλέγματος (κάνναβος) πολυγωνικής γεωμετρίας με διαστάσεις 90x90 m. Η επιλογή της προσέγγισης οφείλεται στην έλλειψη της πραγματικής θέσης των κατοικιών και γενικότερα στη φύση των διαθέσιμων δεδομένων. Ο ποιοτικός χαρακτηρισμός των περιαστικών περιοχών με χαρακτηριστικά WUI προήλθε από την έκθεση του 2001 της Federal Registry (USDA and USDI 2001) κατά την οποία υπάρχει διαχωρισμός των ζωνών WUI σύμφωνα με την αλληλεπίδραση μεταξύ της δασικής

<sup>6</sup> <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests/tree-cover-density/status-maps/tree-cover-density-2018>



βλάστησης και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Η παραπάνω έκθεση διαχωρίζει τις ζώνες αυτές σε intermix όπου οι κατοικίες αναμιγνύονται με τη δασική βλάστηση και σε interface όπου οι κατοικίες βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με αυτή.

Για τη χαρτογράφηση των αστικών και περιαστικών περιοχών με χαρακτηριστικά WUI απαιτείται ο υπολογισμός της πυκνότητας των κατοικιών, της ποσοστιαίας κάλυψης από δασική βλάστηση και της ζώνης έκθεσης σε καύτρες για κάθε πλέγμα του καννάβου (Platt 2010, Giudice et al. 2021). Για τον υπολογισμό της πυκνότητας χρησιμοποιήθηκε μόνο η κλάση των κατοικημένων περιοχών. Ο υπολογισμός της πυκνότητας των κατοικιών έγινε για κάθε πλέγμα ως εκτίμηση του πλήθους σημείων προς το μέγεθος του πλέγματος. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται τα κατώφλια τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των τύπων αστικών και περιαστικών περιοχών δίχως και με χαρακτηριστικά WUI. Τα κατώφλια για την περιοχή μελέτης προέκυψαν έπειτα από οπτική ερμηνεία εικόνων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας στο Google Earth. Ωστόσο, οι τιμές αυτές δεν είναι καθολικές και αποτελούν ζήτημα τροποποιήσεων σύμφωνα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής μελέτης και νησιού (Stewart et al. 2003).

**Πίνακας 1:** Κατώφλια σχετικά με τον αριθμό και την πυκνότητα των σημείων του ESM-2015 που χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση των αστικών και περιαστικών περιοχών.

| Κλάσεις                                             | Αριθμός σημείων | Πυκνότητα        |
|-----------------------------------------------------|-----------------|------------------|
| Αστικά κέντρα                                       | ≥45             | ≥555,5           |
| Περιαστικές περιοχές<br>δίχως χαρακτηριστικά<br>WUI | ≥1 έως ≤44      | ≥12,3 έως ≤543,2 |
| Intermix                                            | 1 - 81          | 12,3 – 1.000     |
| Interface                                           | 1 - 81          | 12,3 – 1.000     |

Τα μικτά δάση (κωδικός 3.13 στο CLC), τα δάση κωνοφόρων (3.12), πλατυφύλλων (3.11), η σκληρόφυλλη βλάστηση (3.23) και οι μεταβατικές ξυλώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις (3.24) θεωρήθηκαν δασική βλάστηση (Modugno et al. 2016), ενώ εξαιρέθηκαν οι γεωργικές και



αγροτικές περιοχές (Stewart et al. 2007) (Πίνακας 2). Ο υπολογισμός της ποσοστιαίας κάλυψης από δασική βλάστηση έγινε για κάθε πλέγμα ξεχωριστά και για τη χαρτογράφηση των περιαστικών περιοχών σε μίξη με τη δασική βλάστηση (intermix) εφαρμόστηκε το κατώφλι  $\geq 50\%$  (Radeloff et al. 2005).

**Πίνακας 2:** Οι καλύψεις γης που θεωρήθηκαν δασική βλάστηση και η έκταση τους για κάθε νησί.

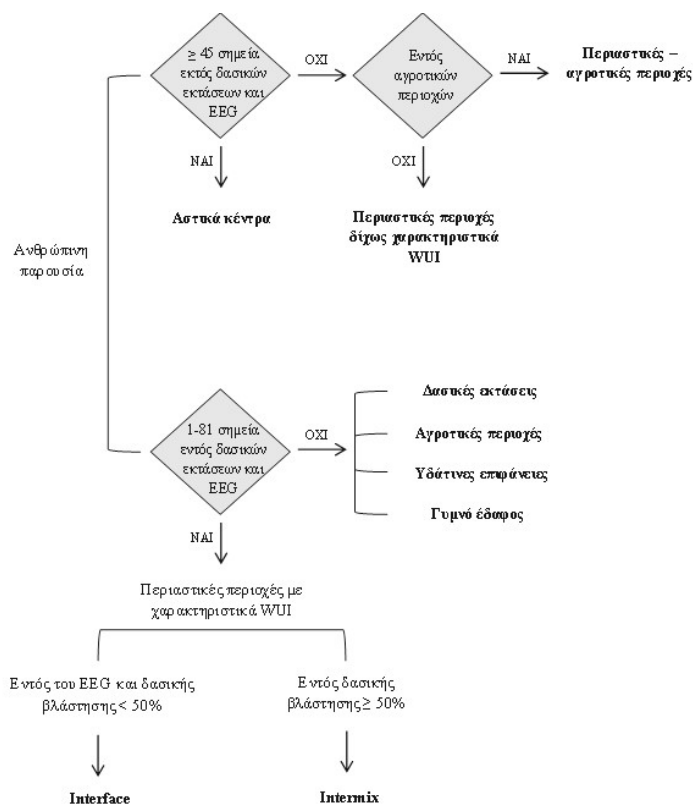
| Δασική βλάστηση                                | Έκταση (km <sup>2</sup> ) |              |              |              |
|------------------------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|
|                                                | Κωδικός                   | Λέσβος       | Σάμος        | Ρόδος        |
| Δάσος πλατυφύλλων                              | 3.11                      | 17,7         | 6,5          | 0,3          |
| Δάσος κωνοφόρων                                | 3.12                      | 229,3        | 53,2         | 150,6        |
| Μικτό δάσος                                    | 3.13                      | 25,6         | 25,9         | 0,7          |
| Σκληρόφυλλη βλάστηση                           | 3.23                      | 77,8         | 75,9         | 304          |
| Μεταβατικές ξυλώδεις και<br>θαμνώδεις εκτάσεις | 3.24                      | 129,8        | 84,1         | 302,1        |
| <b>Σύνολο</b>                                  |                           | <b>480,3</b> | <b>245,6</b> | <b>757,7</b> |

Ακόμη, η ζώνη έκθεσης σε καύτρες (Ember Exposure Grid, EEG) είναι μία παράμετρος εξαιρετικής σημασίας για την οριοθέτηση των περιοχών διεπαφής μεταξύ πολεοδομικού και αγροδασικού περιβάλλοντος παρέχοντας πληροφορία σχετικά με τον κίνδυνο ανάφλεξης από τις καύτρες που μεταφέρονται με τον άνεμο (Giudice et al. 2021). Για τη δημιουργία του EEG χρησιμοποιήθηκαν τα πλέγματα με κάλυψη από δασική βλάστηση  $\geq 50\%$ . Τα πλέγματα αυτά ομογενοποιήθηκαν και εφαρμόστηκε μία ζώνη ακτίνας 600 m (Arganaraz et al. 2017). Η ακτίνα αυτή καθορίζεται σύμφωνα με οδηγίες και πολιτικές από οργανισμούς ή πυροσβεστικές υπηρεσίες και αποτελεί μία εκτίμηση της απόστασης που οι καύτρες μεταφέρονται με τον άνεμο (Radeloff et al. 2005). Ωστόσο, στην Ελλάδα δεν υφίσταται οδηγία που να καθορίζει την απόσταση αυτή. Επιπλέον, εξαιτίας των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της εκάστοτε περιοχής δεν συνίσταται η χρήση μίας καθολικής τιμής





(Conedera et al. 2015). Η χαρτογράφηση των καλύψεων γης της περιοχής μελέτης προέκυψε έπειτα από τον συνδυασμό των παραπάνω κριτηρίων (Εικόνα 2).



**Εικόνα 2:** Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας για τη χαρτογράφηση των γενικών καλύψεων γης καθώς και των τύπων αστικών και περιαστικών περιοχών με και δίχως χαρακτηριστικά WUI (EEG: ζώνη έκθεσης σε καύτρες).

Τα πλέγματα με πλήθος σημείων από 1 έως και 81 που εντοπίζονται εντός της ζώνης έκθεσης σε καύτρες καθώς και σε δασική βλάστηση με κάλυψη <50% θεωρήθηκαν περιαστικές περιοχές που βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με δασικές εκτάσεις (interface), ενώ πλέγματα με τον αντίστοιχο αριθμό σημείων που εντοπίζονται εντός δασικών περιοχών με κάλυψη ≥50% θεωρήθηκαν περιαστικές περιοχές αναμειγμένες με τη δασική βλάστηση (intermix). Επιπλέον, για τη διάκριση των περιαστικών περιοχών με χαρακτηριστικά WUI υψηλού κινδύνου εφαρμόστηκε μία τιμή σε κατώφλι σχετικά με την πυκνότητα της δενδρώδους βλάστησης σε επίπεδο κόμης (≥50%). Ακόμη, πλέγματα με πλήθος σημείων ≥45 που βρίσκονται εκτός δασικών εκτάσεων και της ζώνης έκθεσης σε καύτρες θεωρήθηκαν αστικά κέντρα, ενώ πλέγματα με αριθμό σημείων ≤44 ταξινομήθηκαν ως περιαστικές περιοχές δίχως χαρακτηριστικά WUI. Τέλος, οι γενικές καλύψεις γης



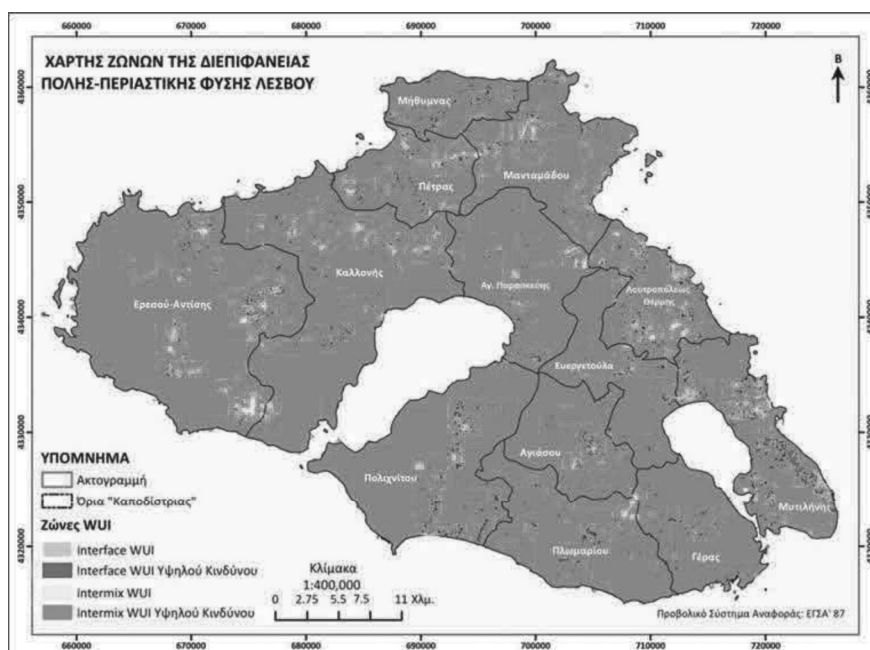
περιλαμβάνουν τις δασικές εκτάσεις καθώς και τις αγροτικές και γεωργικές περιοχές, τις υδάτινες επιφάνειες και το γυμνό έδαφος με μηδενικό πλήθος σημείων.

### 3. Αποτελέσματα – Συζήτηση

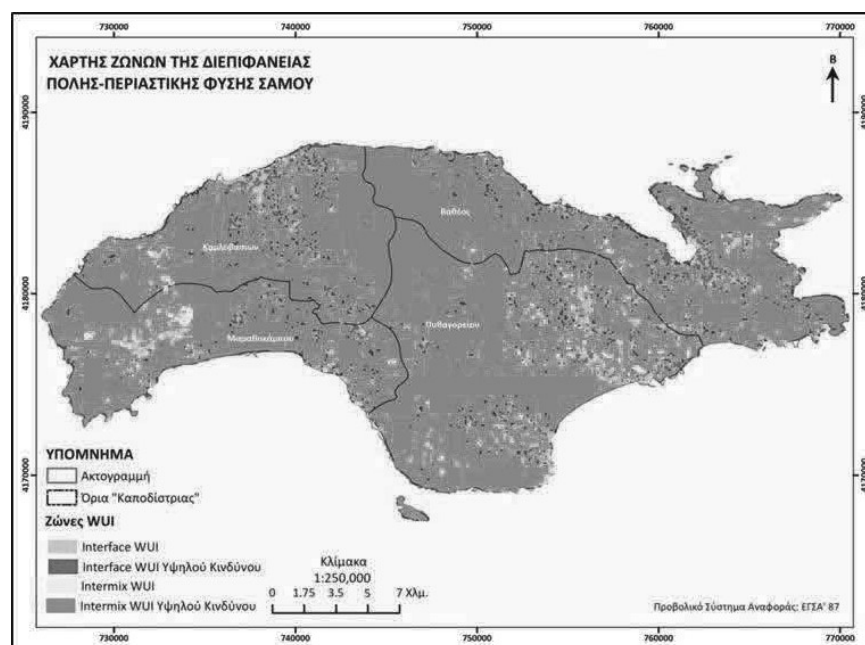
Οι ζώνες WUI στη Λέσβο καταλαμβάνουν έκταση 46,1 km<sup>2</sup> (Πίνακας 3 και Εικόνα 3). Από τη διάκριση των ζωνών αυτών, παρατηρείται ότι περίπου το 75% βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με τη δασική βλάστηση, ενώ το 25% αναμιγνύονται με αυτή (36,6 km<sup>2</sup> vs. 9,5 km<sup>2</sup>). Επιπλέον, περίπου το 1/2 των περιστατικών περιοχών με χαρακτηριστικά WUI εμφανίζουν υψηλό κίνδυνο ανάπτυξης πυρκαγιών (23,4 km<sup>2</sup>).

**Πίνακας 3:** Έκταση και ποσοστιαία κάλυψη των ζωνών της διεπιφάνειας πόλης-περιαστικής φύσης είτε αναμεμιγμένες με τη δασική βλάστηση (intermix) είτε σε άμεση γειτνίαση με αυτή (interface).

| Νησιά         | Interface WUI             |     | Intermix WUI              |     |        |
|---------------|---------------------------|-----|---------------------------|-----|--------|
|               | Έκταση (km <sup>2</sup> ) | %   | Έκταση (km <sup>2</sup> ) | %   | Σύνολο |
| Λέσβος        | 36,6                      | 2,2 | 9,5                       | 0,6 | 46,1   |
| Σάμος         | 27,0                      | 5,3 | 7,6                       | 1,5 | 34,6   |
| Ρόδος         | 60,5                      | 4,0 | 22,1                      | 1,5 | 82,6   |
| <b>Σύνολο</b> | 124,1                     |     | 39,2                      |     | 163,3  |



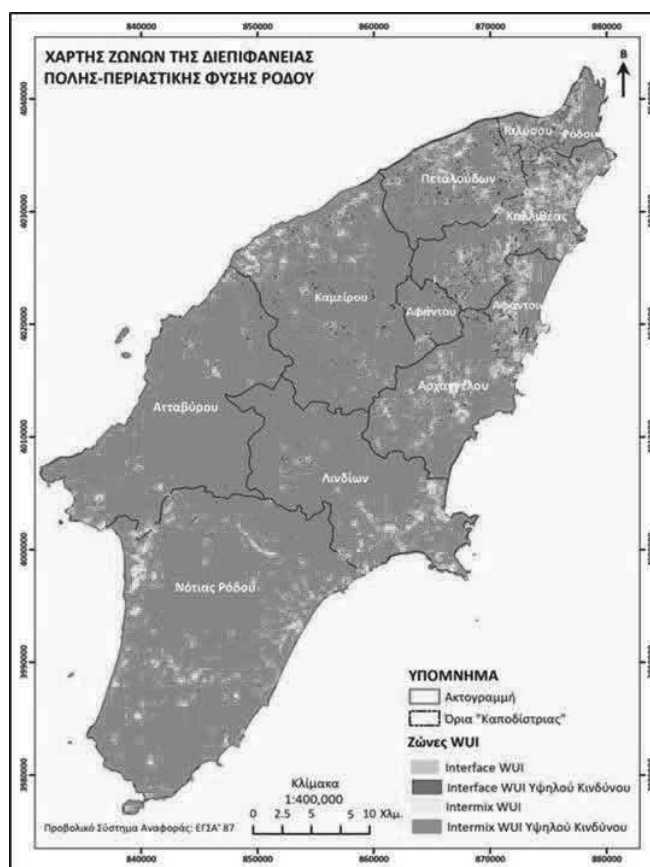
**Εικόνα 3:** Κατανομή των περιαστικών περιοχών με χαρακτηριστικά WUI (interface και intermix) στη νήσο Λέσβο.



**Εικόνα 4:** Κατανομή των περιαστικών περιοχών με χαρακτηριστικά WUI (interface και intermix) στη νήσο Σάμο.

Οι περιαστικές περιοχές με χαρακτηριστικά WUI στη Σάμο καλύπτουν έκταση 34,6 km<sup>2</sup> (Πίνακας 3 και Εικόνα 4). Επίσης, παρατηρείται ότι η έκταση των περιοχών αυτών σε μίξη με τη δασική βλάστηση είναι 7,6 km<sup>2</sup>, ενώ σε άμεση γειτνίαση με αυτή είναι 27 km<sup>2</sup>. Ακόμη,

περίπου το 1/2 των ζωνών της διεπιφάνειας πόλης-περιαστικής φύσης εμφανίζει υψηλό κίνδυνο ανάπτυξης πυρκαγιών (17,4 km<sup>2</sup>).



**Εικόνα 5:** Κατανομή των περιαστικών περιοχών με χαρακτηριστικά WUI (intermix και interface) στη νήσο Ρόδο.

Η έκταση των περιαστικών περιοχών με χαρακτηριστικά WUI στη Ρόδο είναι 82,6 km<sup>2</sup>, από όπου τα 22,1 km<sup>2</sup> αφορούν περιαστικές περιοχές που αναμιγνύονται με τη δασική βλάστηση, ενώ τα 60,5 km<sup>2</sup> αφορούν περιαστικές περιοχές που βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με αυτή (Πίνακας 3 και Εικόνα 5). Με βάση το παραπάνω, συμπεραίνεται ότι η νήσος Ρόδος αποτελείται περίπου κατά 75% από περιοχές που βρίσκονται περιμετρικά δασικών εκτάσεων, καθώς και αστικών και περιαστικών περιοχών δίχως χαρακτηριστικά WUI. Επίσης, περίπου το 1/3 των ζωνών αυτών παρουσιάζει υψηλό κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιών (26,7 km<sup>2</sup>).

Οι ζώνες της διεπιφάνειας πόλης-περιαστικής φύσης εντοπίζονται στο σύνολο των νησιών περιμετρικά των δασικών εκτάσεων καθώς και των αστικών και περιαστικών περιοχών



δίχως χαρακτηριστικά WUI. Επιπλέον, η πλειονότητα των ζωνών της διεπιφάνειας αυτής εμφανίζει υψηλό κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιών. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των παραμέτρων που επηρεάζουν την εκδήλωση και τη μετάδοση των πυρκαγιών εντός της διεπιφάνειας κρίνονται αναγκαίες στοχαστικές προσομοιώσεις της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών (stochastic wildfire simulations) μέσω της χρήσης περιβαλλοντικών και καιρικών δεδομένων για την εκτίμηση του πυρικού κινδύνου (Kalabokidis et al. 2004, Παλαιολόγου κ.α. 2021).

Η ακρίβεια και αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της κατανομής και της έκτασης των ζωνών WUI εξαρτάται από το μέγεθος του καννάβου, τα δεδομένα εισόδου και τις τιμές κατώφλια κάθε κριτηρίου. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός και η πυκνότητα των κατοικιών εμφανίζει τη μεγαλύτερη επιρροή στα αποτελέσματα (Radeloff et al. 2005, Bar-Massada 2021). Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι η χρήση της πραγματικής τοποθεσίας των κατοικιών βελτιώνει την ακρίβεια της κατανομής και έκτασης των ζωνών μίξης δασών-οικισμών (Bar-Massada 2021, Carlson et al. 2022). Επιπλέον, τα κατώφλια τιμών κάθε κριτηρίου δεν είναι καθολικά και εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης καθώς και από τις διαστάσεις του καννάβου. Έτσι, θεωρείται αναγκαία η χρήση πολλαπλών τιμών και η επιλογή των καταλληλότερων τιμών σε κατώφλια μέσω οπτικής ερμηνείας δορυφορικών εικόνων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας.

#### 4. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης του κάθε τύπου αστικών και περιαστικών περιοχών με χαρακτηριστικά WUI μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του πυρικού κινδύνου σε αυτούς (Palaiologou et al. 2018), τη στοχευμένη μείωση της καύσιμης ύλης (Palaiologou et al. 2020), την κατανόηση της έντασης και της κατανομής της τάσης οικιστικής ανάπτυξης και τον πολεοδομικό σχεδιασμό κοντά στο φυσικό περιβάλλον, καθώς και σε διαδικασίες υποστήριξης αποφάσεων πολλαπλών στόχων και χρήσεων (Palaiologou et al. 2021). Επιπλέον, μπορούν να αξιοποιηθούν για την οργάνωση και τον συντονισμό των διαδικασιών εκκένωσης σε περίπτωση πυρκαγιάς και για την εφαρμογή πολιτικών ενίσχυσης της πυροπροστασίας των κατοικιών στις περιοχές που έχουν τη μεγαλύτερη έκθεση στον κίνδυνο των δασικών πυρκαγιών υπό τις συνθήκες που δημιουργεί η κλιματική αλλαγή (Καλαμποκίδης κ.α. 2013, Kalabokidis et al. 2015).



## Ευχαριστίες

Αυτή η έρευνα χρηματοδοτήθηκε 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).



## MAPPING WILDLAND-URBAN INTERFACE OF THE AEGEAN ISLANDS FOR FOREST FIRES MANAGEMENT

Anastasiou Panagiotis <sup>1\*</sup>, Palaiologou Palaiologos <sup>2</sup>, Vasilakos Christos <sup>3</sup> and Kalabokidis Kostas <sup>4</sup>

<sup>1</sup> MS Geoinformatician, Department of Geography, University of the Aegean, Mytilene

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Forestry and Natural Environment Management, Agricultural University of Athens, Karpenisi

<sup>3</sup> Laboratory Teaching Staff, Department of Geography, University of the Aegean, Mytilene

<sup>4</sup> Professor, Department of Geography, University of the Aegean, Mytilene

\* E-mail: [geom19001@geo.aegean.gr](mailto:geom19001@geo.aegean.gr)

### Abstract

Wildland-Urban Interface (WUI) consists of areas where human developments meet or intermingle with wildland vegetation. These areas have expanded significantly in recent decades, especially in Euro-Mediterranean countries. The combination of flammable building materials and vegetation fuels results in the transmission of forest fires within the WUI zones causing serious effects on both humans (deaths and injuries) as well as the natural and anthropogenic environment (destruction of suburban, protective or aesthetic forests, and urban loss of property and values). Designing effective measures to prevent and contain these fires before they enter the interface requires among others mapping WUI zones as well as their types and characteristics. In this research, Geoinformatics techniques were applied in open data sets from the European Organization Copernicus for mapping of four types of urban and suburban areas that are found in Greece. These types are urban centers, suburban areas without WUI features, and suburban areas with WUI features, either intermingle with forests (intermix) or at an immediate vicinity of it (interface). The mapping of the four types required the calculation of the density of the structures, the



percentage coverage by forest vegetation and the heat transfer zone. The methodology was applied on the islands of the eastern Aegean Sea with extensive clusters of coniferous forests (i.e. Lesvos, Samos and Rhodes). The results were used to map the area and boundaries of each type of urban and suburban areas to assess the fire risk and fire behavior in them, to aid in forest fuel management, to understand the intensity and distribution of residential development trend close to the natural environment, as well as their contribution to decision support in fire prevention and fire management. In addition, they can be used to organize and coordinate evacuation procedures and to implement policies to strengthen the fire protection of homes in areas that are most exposed to the risk of forest fires, in conjunction with stochastic wildfire simulations.

**Keywords:** Geoinformatics, wildfires prevention, suburban forests, housing density

### Βιβλιογραφία

- Alcasena, J. F. Evers, R. C. Vega-Garcia, C. (2018): The wildland-urban interface raster dataset of Catalonia. *Data in Brief*, 17: 124-128.
- Arganaraz, J. P. Radeloff, C. V. Bar-Massada, A. Gavier-Pizarro, G. I. et al. (2017): Assessing wildfire exposure in the Wildland-Urban Interface area of the mountains of central Argentina. *Journal of Environmental Management*, 196: 499-510.
- Bar-Massada, A. (2021): A Comparative Analysis of Two Major Approaches for Mapping the Wildland-Urban Interface: A Case Study in California. *Land*, 10: 679
- Carlson, R., A., Helmers, P., D., Hawbaker, J., T., Mockrin, H., M., Radeloff, C., V. (2022): The Wildland-Urban Interface in the United States based on 125 Million Building Locations. *Ecological Applications* [in publication process].
- Cohen, D. J. (2000): Preventing Disaster: Home Ignitability in the Wildland-Urban Interface. *Journal of Forestry*, 98 (3): 15-21
- Conedera, M. Tonini, M. Oleggini, L. Orozco, V. C. Leuenberger, M. Pezzatti, B. G. (2015): Geospatial approach for defining the Wildland-Urban Interface in the Alpine environment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 52:10-20.
- Copernicus Land Monitoring Service (2021) [Πρόσβαση στις 1/9/2021]. Διαθέσιμο από: <https://land.copernicus.eu>
- Corbane, C., and Sabo, F. (2019): European Settlement Map from Copernicus Very High Resolution data for reference year 2015, Public Release 2019. European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset] doi:10.2905/8BD2B792-CC33-4C11-AFD1-B8DD60B44F3B PID: <http://data.europa.eu/89h/8bd2b792-cc33-4c11-afd1-b8dd60b44f3b>
- Giudice, D. L. Arca, B. Scarpa, C. Pellizzaro, G. Duce, P. Salis, M. (2021): The wildland-anthropic interface raster data of the Italy-France maritime cooperation area (Sardinia, Corsica, Tuscany, Liguria, and Provence-Alpes-Côte d'Azur). *Data in Brief*, 38: 107355.
- Gowman, L (2013) Wildland-urban interface fires. Frontline Express. Bulletin 65. Canadian Forest Service - Great Lakes Forestry Centre. 2 pgs. Διαθέσιμο από:



- <http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/34185.pdf> [Πρόσβαση στις: 29/10/2021].
- Intini, P. Ronchi, E. Gwynne, S. (2020): Guidance on Design and Construction of the Built Environment Against Wildland Urban Interface Fire hazard: A Review. *Fire Technology*, 56:1853-1883.
- Kalabokidis K., Palaiologou P., Finney M. (2014): Fire behavior simulation in Mediterranean forests using the Minimum Travel Time algorithm. In Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference, 18-22 Feb. 2013, Raleigh, NC, USA and 1-4 July 2013, St. Petersburg, Russia. Published by the International Association of Wildland Fire: Missoula, MT, USA. pp. 468-492.
- Kalabokidis, K., P. Palaiologou, E. Gerasopoulos, C. Giannakopoulos, E. Kostopoulou, and C. Zerefos. (2015): Effect of climate change projections on forest fire behavior and values-at-risk in southwestern Greece. *Forests* 6(6):2214-2240.
- Keeley, E. J., (2012): Fire in Mediterranean Climate – A Comparative Study. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 58: 123-135. 10.1560/IJEE.58.2-3.123
- Lampin-Maillet, C. Jappiot, M. Long, M. Bouillon, C. Morge, D. Ferrier, P. J. (2010): Mapping wildland-urban interfaces at large scales integrating housing density and vegetation aggregation for fire prevention in the South of France. *Journal of Environmental Management*, 91: 732-741.
- Manzello, L. S. and Foote, D. I. E. (2014): Characterizing Firebrand Exposure from Wildland–Urban Interface (WUI) Fires: Results from the 2007 Angora Fire. *Fire Technology*, 50:105-124.
- Modugno, S., Balzter, H., Cole, B., Borrelli, P. (2016): Mapping regional patterns of large forest fires in Wildland-Urban Interface areas in Europe. *Journal of Environmental Management*, 172: 112-126
- Palaiologou, P., Ager, A.A., Nielsen-Pincus, M., Evers, C.R., Kalabokidis, K. (2018): Using transboundary wildfire exposure assessments to improve fire management programs: a case study in Greece. *International Journal of Wildland Fire* 27(8):501-513.
- Palaiologou, P., Kalabokidis, K., Ager, A.A., Day, M.A. (2020): Development of comprehensive fuel management strategies for reducing wildfire risk in Greece. *Forests* 11(8), 789.
- Palaiologou, P., Kalabokidis, K., Ager, A.A., Galatsidas, S., Papalampros, L., Day, M.A. (2021): Spatial optimization and tradeoffs of alternative forest management scenarios in Macedonia, Greece. *Forests* 12(6), 697.
- Pellizzaro, G. Arca, B. Pintus, G. Ferrara, R. Duce, P. (2012): Wildland-urban interface dynamics during the last 50 years in North East Sardinia. In: Bacciu, V. Salis, M. Sirca, C (Eds.): *Modelling Fire Behaviour Risk*, Nuova Stampa Color, Publishers Muros: 249-254
- Platt (2010): The Wildland–Urban Interface: Evaluating the Definition Effect. *Journal of Forestry*. January/February Issue
- Radeloff, C. V. Hammer, B. R. Stewart, I. S. Fried, S. J. Holcomb, S. S. McKeefry, F. J. (2005): *Ecological Applications*. 15(3): 799-805
- Sabo, F., Corbane, C., Politis, P., Kemper, T. (2019): Update and improvement of the European Settlement map Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), Vannes, France, 2019, pp. 1-4.
- Stewart, I. S. Radeloff, C. V. Hammer, B. R. Hawbaker, J. T. (2007): Defining the Wildland–Urban Interface. *Journal of Forestry*. June Issue.
- Stewart, S. I., Radeloff, V. C., Hammer, R. B. (2004): Characteristics and location of the wildland-urban interface in the United States. 2nd International Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress; November 19, 2003. Orlando, FL (US).





- Theobald M. D. and Romme H. W. (2007): Expansion of the US wildland–urban interface. *Landscape and Urban Planning*. 83:340-354.
- Thomas, S. D. and Butry, T. D. (2014): Areas of the U.S. wildland–urban interface threatened by wildfire during the 2001–2010 decade. *Natural Hazards*, 71:1561-1585.
- USDA and USDI (2001): Urban wildland interface communities within vicinity of Federal lands that are at high risk from wildfire. Federal Register 66:751–777.
- Καλαμποκίδης Κ., Ηλιόπουλος Ν., και Γλιγλίνος Δ. (2013): Πυρο-Μετεωρολογία και Συμπεριφορά Δασικών Πυρκαγιών σε ένα Μεταβαλλόμενο Κλίμα. Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ, Αθήνα. ISBN: 978-960-508-045-7. 400 σελ.
- Παλαιολόγου, Π., Καλαμποκίδης, Κ., Day, M., Ager, A.A. (2021): Μετάδοση πυρκαγιών σε αγροδασικές περιστατικές περιοχές - Μία χωρική ανάλυση στην πυρο-επιρρεπή Πολιτεία Όρεγκον των ΗΠΑ. Σε: Κοινωνικές Επιστήμες και Γεωγραφία: Θεωρία, Μέθοδοι και Τεχνικές Χωρικής Ανάλυσης, Επιμέλεια: Καλαμποκίδης Κ., Κορρές Γ., Σουλακέλλης Ν., Φείδας Χ., Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, 53-74.