



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και

Μηχανικών Περιβάλλοντος

«Σύγκριση δορυφορικών και επίγειων
δεδομένων (Πυροσβεστικής Υπηρεσίας) στη
μελέτη καμένων εκτάσεων (Burned Area)
στον Ελλαδικό χώρο, σε επίπεδο
αντιπεριφερειών»

Διπλωματική εργασία

Του

Γιακουμάκη Γεώργιου Αλέξανδρου

Χανιά, Ιούνιος 2025

Οι διαδικασίες διανομής, ανατύπωσης και αποθήκευσης επιτρέπονται για την εξυπηρέτηση εκπαιδευτικών, μη κερδοσκοπικών ή ερευνητικών δραστηριοτήτων και με την προϋπόθεση να αναφέρεται πάντα η πηγή προέλευσης. Απαγορεύονται οι διαδικασίες διανομής, αντιγραφής και αποθήκευσης της παρούσας εκπονηθείσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικές-κερδοσκοπικές δραστηριότητες. Τα συμπεράσματα και οι απόψεις που προκύπτουν στη συγκεκριμένη εργασία εκφράζουν τον συντάκτη και δεν θα πρέπει να ληφθούν ως επίσημες αντιπροσωπευτικές-δεσμευτικές θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Περίληψη

Οι σύγχρονες κοινωνίες παρά την ταχεία πρόοδο τους και τα τεχνολογικά εργαλεία που έχουν στη διάθεση τους, ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, εξακολουθούν να βρίσκονται αντιμέτωπες με το πρόβλημα των πυρκαγιών (κυρίως δασικών). Οι επιπτώσεις τους σε περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο είναι σημαντικές και ολοένα αυξανόμενες παρά το γεγονός ότι πάντα αποτελούσαν χαρακτηριστικό των Μεσογειακών δασών και οικοσυστημάτων. Η κλιματική αλλαγή εκτιμάται ότι θα διαδραματίσει εντεινόμενο ρόλο σε αυτά τα φαινόμενα, αυξάνοντας την διακινδύνευση και τις δυσμενείς επιπτώσεις των πυρκαγιών.

Οι γενεσιουργές αιτίες εκδήλωσης πυρκαγιών μπορεί να είναι φυσικές είτε και ανθρωπογενείς. Η δραστηριότητα και συμπεριφορά των πυρκαγιών μπορούν να καθοριστούν κατά κύριο λόγο από τις μετεωρολογικές συνθήκες καθώς και τα κατά τόπους γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

Κατά την εκδήλωση και τη διαδικασία αντιμετώπισης τέτοιων φαινομένων, τις τελευταίες δεκαετίες πραγματοποιείται μια προσπάθεια από τις αρμόδιες κρατικές αρχές και υπηρεσίες ως προς την καταγραφή τους και της έκτασης τους. Αντίστοιχα σε ευρωπαϊκό επίπεδο και στον τομέα της πρωτοβουλίας για έρευνα, μια αντίστοιχη προσπάθεια πραγματοποιείται από την ευρωπαϊκή υπηρεσία διαστήματος (ESA) στα πλαίσια του προγράμματος CCI (Climate Change Initiative) με την χρήση εξειδικευμένων δορυφόρων (MODIS), μεταξύ άλλων για τον προσδιορισμό των καμένων εκτάσεων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι αρχικά η μελέτη των επιμέρους συστημάτων συλλογής πληροφοριών ως προς τα επίγεια δεδομένα, δηλαδή των καμένων εκτάσεων και η εντοπισμένη και ομαδοποιημένη παρουσίαση τους, για τον Ελληνικό χώρο σε επίπεδο αντιπεριφερειών (νομών). Στη συνέχεια γίνεται αξιολόγηση των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τη μελέτη των επιμέρους διαφορών από τα συστήματα συλλογής δεδομένων, όπως αυτές προκύπτουν και παρουσιάζονται σε χάρτες του ελληνικού χώρου όπου περιγράφεται και η ποσοστιαία διαφορά τους, καθώς επίσης και η αξιολόγηση τους ως προς τη σύγκλιση τους αξιολογώντας τους συντελεστές συσχέτισης τους. Η περίοδος μελέτης είναι η εικοσαετία 2000-2020 και πιο συγκεκριμένα καθ' όλους τους μήνες, περίοδο Μαΐου – Σεπτεμβρίου και περίοδο Ιουλίου – Αυγούστου.

Abstract

Modern societies despite their quickening progress and the technological tools at their disposal, especially during the last decades, still find themselves facing the problem of forest fires. The consequences of such fires on an environmental, social and economical level are severe and ever increasing, despite that they were always a part of Mediterranean forests and ecosystems. Climate change is estimated to highly contribute to the development of these phenomena, increasing the risk as well as the impact of forest fires.

The reasons that generate these forest fires can be either natural or human related. The activity, behavior and escalation of forest fires can be determined mainly from meteorological conditions as well as individual and geomorphological characteristics.

During the starting point and the process of addressing forest fires, there has been a coordinated effort from government authorities during the last decades, to document the number and most importantly the scale of forest fires. At the same time, in a European level and within the scope of research, there has also been a coordinated effort from the European Space Agency (ESA) under CCI – Climate Change Initiative program to determine burned areas using specialized satellites (MODIS).

The main purpose of this survey is the evaluation of these individual and distinct methods of collecting ground base data and the presentation of their results, regarding Greece and more specifically for each prefecture. By analyzing these data, results regarding their difference percentage of the methods are presented along with respective maps. At the same time an evaluation of these two respective methods is conducted, through the presentation of the correlation coefficients regarding both methods, to draw safer conclusions. The time period that is analyzed and evaluated on this survey spans between 2001 and 2020 and more specifically in three different periods.

Πρόλογος – Ευχαριστίες

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος και Χημικών Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Αντικείμενο της είναι η μελέτη και αξιολόγηση των μεθόδων συλλογής δεδομένων καμένων εκτάσεων (Ελληνικό Πυροσβεστικό Σώμα – Ευρωπαϊκή Υπηρεσία διαστήματος (FireCCI, MODI Satellite)).

Η εξέλιξη και περάτωση της συγκεκριμένης εργασίας έγινε υπό την καθοδήγηση και εποπτεία του κ. Βουλγαράκη Απόστολου, καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος και Χημικών Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης, της κας Μπολέτη Ειρήνης, Μεταδιδακτορικής Ερευνήτριας της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος και Χημικών Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης καθώς και του κ. Γρυλλάκη Εμμανουήλ, Μεταδιδακτορικού Ερευνητή της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος και Χημικών Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά αισθάνομαι ότι πρέπει να εκφράσω τις θερμές και από καρδιάς μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα μου καθηγητή κ. Βουλγαράκη Απόστολο όπου αρχικά στάθηκε αφορμή να δω πόσο ενδιαφέρουσα και εμπειριστατωμένη μελέτη πραγματοποιείται από τον ίδιο και την ομάδα του στα θέματα κλιματικής αλλαγής και πιο συγκεκριμένα στη συνεισφορά των wild fires και των συνεπειών τους στα προγνωστικά μοντέλα κλιματικής αλλαγής, γεγονός που μου κίνησε το ενδιαφέρον καθώς διαβιούμε σε ένα ιδιαίτερο περιβάλλον φυσικού κάλους με ιδιαίτερες περιβαλλοντικές προκλήσεις, μια σημαντική εκ των οποίων είναι οι πυρκαγιές με προεκτάσεις πέρα από τη συνεισφορά στη κλιματική αλλαγή, σε κοινωνία και οικονομία. Η καθοδήγηση και οι συμβουλές του σε όλα τα επίπεδα ήταν ιδιαίτερα πολύτιμες για εμένα συνολικά. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Μπολέτη Ειρήνη για την επίσης συνεισφορά της στην εξέλιξη και περάτωση της παρούσας εργασίας ακόμα και σε περίοδο όπου το πρόγραμμα της ήταν ιδιαίτερα πιασμένο. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κ. Γρυλλάκη Εμμανουήλ για την βοήθεια και συνεισφορά του στη συγκεκριμένη εργασία, ειδικά στα πρώτα στάδια της, η βοήθεια του ήταν πολύτιμη στα πρώτα βήματα και στη κατανόηση της προσέγγισης που θα ακολουθούσαμε. Τέλος να ευχαριστήσω θερμά και από καρδιάς και την οικογένεια μου, φίλους και όλους τους δικούς μου ανθρώπους για την υποστήριξη τους σε όλα τα επίπεδα και την πραγματική τους ανεπιτήδευτη αγάπη και προσμονή για την επιτυχημένη ολοκλήρωση και παρουσίαση αυτής της εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά το πέρασμα των αιώνων η ανθρώπινη δραστηριότητα ήταν άρρηκτα συνυφασμένη με την αλληλεπίδραση με δασικά οικοσυστήματα. Τα δάση αποτελούσαν μια από τις σημαντικότερες δεξαμενές πόρων, από τα οποία αντλούσαν πρώτες ύλες πάσης φύσεως, ενέργεια υπό τη μορφή καύσιμης ύλης καθώς και ποικιλία διατροφικών προμηθειών. Ως εκ τούτου και με τη διαχρονική διαδραστικότητά τους με το ανθρωπογενές περιβάλλον, τα δάση αποτελούσαν και εξακολουθούν να αποτελούν πολύτιμο φυσικό αγαθό, με σημαντική συνεισφορά στην κοινωνική, πολιτιστική και οικονομική ανάπτυξη καθώς και ζώνες οικολογικής και βιολογικής ισορροπίας. Σημαντική είναι επίσης η συνεισφορά των δασών σε δυνατότητες παροχής δημιουργικών και ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων.

Εκτός από τη διαχρονική και συστηματική ανθρωπογενή αποψίλωση, τα δάση είναι αντιμέτωπα με την πολύ σημαντική πρόκληση που ακούει στο όνομα δασικές πυρκαγιές. Οι επιπτώσεις και τα αποτελέσματα των πυρκαγιών μπορεί να είναι πολύ δυσμενείς για τα δάση και την ικανότητα τους για ανάκαμψη ή ακόμα και επιβίωση σε περιπτώσεις επαναλαμβανόμενων πυρκαγιών, καθώς και για την ανθρωπογενή δραστηριότητα γύρω ή κοντά στα δάση με σημαντικές επιπτώσεις σε κοινωνία, οικονομία και εν γένη περιβάλλον. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρ'όλα αυτά οι πυρκαγιές ανέκαθεν ήταν αναπόσπαστο τμήμα της λειτουργίας και διαδοχής των δασικών οικοσυστημάτων στο μεσογειακό χώρο. Οι γενεσιουργές αιτίες εκδήλωσης τους είναι πολύπλοκες και μπορεί να είναι φυσικές αλλά και ανθρωπογενείς, με τις ανθρωπογενείς να είναι ολοένα και αυξανόμενες. Όλα τα παραπάνω συνέτειναν στο αυξημένο επιστημονικό ενδιαφέρον για μελέτη των δασικών πυρκαγιών, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια και υπό το πρίσμα της συνεισφοράς τους στην συντελούμενη κλιματική αλλαγή, η οποία τις επηρεάζει άμεσα καθώς και τη συχνότητα εμφάνισης τους.

Για τους λόγους αυτούς καθίσταται πιο σημαντική από ποτέ η ανάγκη εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων για την συνεισφορά των πυρκαγιών στην κλιματική αλλαγή καθώς και περισσότερα εργαλεία και μεθοδολογίες ελέγχου, διαχείρισης και περιορισμού των επιπτώσεων. Σημαντική συνεισφορά στη εξέλιξη των πυρκαγιών διαδραματίζουν επίσης και οι κλιματολογικές συνθήκες καθώς και το κατά τόπους γεωμορφολογικό ανάγλυφο. Συμπερασματικά, καθίσταται αναγκαία η αξιολόγηση και ενδεχόμενη βελτιστοποίηση των μεθόδων συλλογής δεδομένων καμένων εκτάσεων από πυρκαγιές, γεγονός που θα οδηγήσει σε καλύτερη κατανόηση τους, δημιουργία καλύτερης εικόνας στο βαθμό συνεισφοράς τους στην κλιματική αλλαγή και δυνατότητα για κατάλληλη συμβουλευτική δράση ενημέρωσης του ευρύ κοινού αλλά και αρμόδιων αρχών και οργανισμών για την βέλτιστη συνολική διαχείριση τους.

ΤΟ ΔΑΣΟΣ

Η πρώτη απόπειρα αναφοράς του δάσους στη σύγχρονη ελληνική ιστορία με επίσημο χαρακτήρα συναντάται σχεδόν αμέσως μετά την ίδρυση του νέου ελληνικού κράτους, το 1836 με αρχική αναφορά στα σχετικά άρθρα «περί ιδιωτικών δασών», χωρίς να προσδιορίζεται ορισμός τους δάσους. Ο πρώτος νόμος με τον οποίο ορίζεται νομοθετικά η έννοια του δάσους ακολουθεί λίγα χρόνια αργότερα, το 1888 στο νόμο «Περί διακρίσεως και οροθεσίας των δασών» (ΜΑΡΙΑ Ε.-Α. 1998), που με τη σειρά του και έπειτα από διαδοχικές εξελίξεις στη νομολογία οδήγησε στην τρέχουσα μορφή του ορισμού του στο άρθρο 24 του ελληνικού Συντάγματος, έχοντας πλέον και επιστημονικά ερμηνευτικά χαρακτηριστικά, σύμφωνα με το οποίο:

«Ως δάσος ή δασικό οικοσύστημα νοείται το οργανικό σύνολο άγριων φυτών με ξυλώδη κορμό πάνω στην αναγκαία επιφάνεια του εδάφους, τα οποία, μαζί με την εκεί συνυπάρχουσα χλωρίδα και πανίδα, αποτελούν μέσω της αμοιβαίας αλληλεξάρτησης και αλληλοεπίδρασής τους, ιδιαίτερη βιοκοινότητα (δασοβιοκοινότητα) και ιδιαίτερο φυσικό περιβάλλον (δασογενές). Δασική έκταση υπάρχει όταν στο παραπάνω σύνολο η άγρια ξυλώδης βλάστηση, υψηλή ή θαμνώδης, είναι αραιά.»

Όλα τα παραπάνω καταδεικνύουν την αδιαμφισβήτητη και αυταπόδεικτη σημασία των δασών. Τα δάση κατείχαν ανέκαθεν σημαίνουσα θέση στις ανθρώπινες κοινωνίες και πολιτισμούς. Αποτελούσαν και αποτελούν πολύτιμη πηγή πόρων, πρώτων υλών, ενέργειας με υπό όρους αειφορικά χαρακτηριστικά, διαδραματίζοντας σημαντικότατο ρόλο στην ευημερία και ανάπτυξη των κατά τόπους ανθρώπινων κοινωνιών αλλά και στη διαφύλαξη της οικολογικής ισορροπίας. Τα δάση διαδραματίζουν ταυτόχρονα πρωταγωνιστικό και ρυθμιστικό ρόλο στη προστασία και διαφύλαξη του κλίματος του πλανήτη καθώς αποτελούν τον κύριο παραγωγό οξυγόνου στα χερσαία οικοσυστήματα, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να απορροφούν και να δεσμεύουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Άλλη μία σημαντική και ωφέλιμη συνεισφορά των δασών σε ανθρώπινο αλλά και περιβαλλοντικό επίπεδο είναι ο ρόλος τους ως βασικού κρίκου του υδρολογικού κύκλου. Συνεισφέροντας στην διατήρηση της συνοχής του εδάφους, με την ταυτόχρονη δέσμευση ποσοτήτων νερού αλλά και καθιστώντας το ταυτόχρονα και διαπερατό σε κατώτερα εδαφικά στρώματα, τα δάση διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην προστασία των οικοσυστημάτων και των εδαφών από διάβρωση από πλημμυρικά φαινόμενα που μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές περιβαλλοντικές αλλά και οικονομικές καταστροφές ακόμα και σε απώλεια ανθρώπινων ζωών αλλά και ζωικού κεφαλαίου.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι ο όρος «δασική έκταση» χαρακτηρίζει δασικά οικοσυστήματα, όπου διαφέρουν από τον συνήθη ορισμό των δασών βασικά ως προς της μειωμένη ικανότητα συγκομιδής πόρων ξυλείας ή θαμνώδους βλάστησης (Σμύρης 2012).

Δάση στον Ελληνικό Χώρο

Στον Ελληνικό χώρο υπάρχει η δυνατότητα ανάλογα με τα βιοκλιματικά χαρακτηριστικά που επικρατούν σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος, τα δάση να κατηγοριοποιηθούν σε συγκεκριμένες επιμέρους ομάδες. Στον ηπειρωτικό κορμό και σε γενικά αυξημένα υψόμετρα ευδοκιμούν εκτάσεις της παραμεσογειακής ζώνης. Σε ορεινές περιοχές με ακόμα πιο αυξημένα υψόμετρα ευδοκιμούν δάση και δασικά οικοσυστήματα της ζώνης οξιάς και ελάτης. Σε ζώνες της βόρειας Ελλάδας και κυρίως σε ορεινές περιοχές ευδοκιμούν δάση ψυχρόβιων κωνοφόρων δέντρων και πιο συγκεκριμένα, δάση φυλλοβόλας οξιάς, δρυός καθώς και άλλων πλατύφυλλων δέντρων. Σε περιοχές της νησιωτικής Ελλάδας και σε παράκτιες ζώνες ευδοκιμούν δάση και οικοσυστήματα της μεσογειακής ζώνης (Ντάφης 1973).

Η ιδιαίτερη θέση της Ελλάδας στο μεσογειακό χώρο καθώς και τα γεωμορφολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά της διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία και ανάπτυξη των δασικών οικοσυστημάτων και του βαθμού ανθεκτικότητας τους προσαρμοσμένα σε αυτά τα χαρακτηριστικά. Κύριες προκλήσεις για τα δασικά οικοσυστήματα στον Ελληνικό χώρο που συνέβαλαν στην δημιουργία της παρούσας τους μορφής και κατάστασης, αποτέλεσαν η εκτεταμένη υλοτομία, υπερβόσκηση και οι δασικές πυρκαγιές. Παρά τις συστηματικές πιέσεις που έχουν υποστεί τα δασικά οικοσυστήματα στον Ελληνικό χώρο, εξακολουθούν να κατέχουν σημαντική θέση και ποσοστό επί του Ελληνικού εδάφους καταλαμβάνοντας το 25,4% της συνολικής έκτασης, γεγονός που καθιστά την Ελλάδα τέταρτη σε δασικό πλούτο μεταξύ των Ευρωπαϊκών χωρών. Η συνολική δασοκάλυψη ανέρχεται στο ποσοστό του 64% εκ του οποίου το 25,4% απαρτίζεται από δάση, το 25% από δασικές εκτάσεις και τέλος το 13,6% που απαρτίζεται από βοσκοτόπους, χορτολιβαδικές και άλλες εκτάσεις (Πατριδογνωσία URLs).

Στον Ελληνικό και Μεσογειακό χώρο συναντώνται οι εξής κατηγορίες/ζώνες βλάστησης:

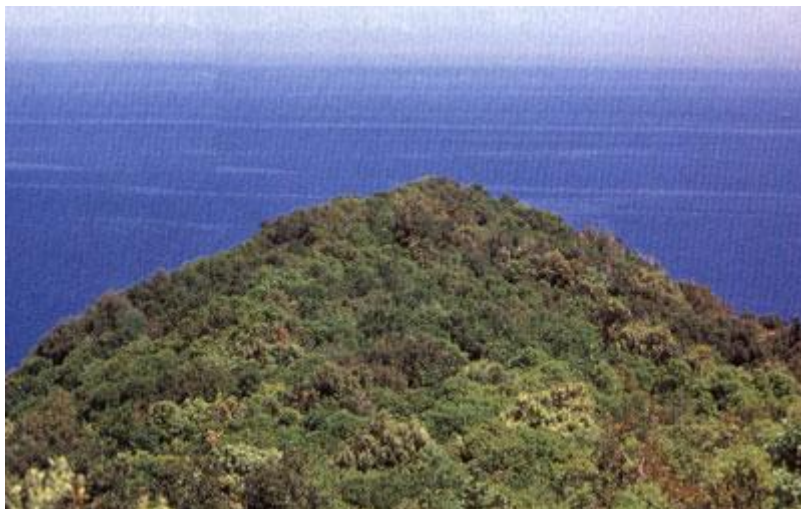
Θαμνώδεις Σχηματισμοί

Φρύγανα: Αποτελούνται από κατά τόπους αραιούς και χαμηλούς, συχνά ξυλώδεις θάμνους με μικρά φύλλα που έχουν χνουδωτή υφή, αγκαθωτά κλαδιά και ανθεκτικούς σε ξηροθερμικές συνθήκες όπως, ασφάκες, αστοιβίδες, λαδανιές, λεβάντα, ρίγανη, θυμάρι, θρούμπα κλπ.



Σχήμα 1: Φρύγανα

Βλάστηση Μακί: Αποτελούνται από θαμνώδη φυτά μεγαλύτερου ύψους μέχρι 2-2,5 μέτρα με μικρά φύλλα με δερματώδη υφή όπως, πουρνάρια, σχίνους, χαρουπιά ρείκια, μυρτιές, δάφνες, κουμαριές κλπ.



Σχήμα 2: Μακί

Δενδρώδεις σχηματισμοί: Αποτελούνται από δάση μεσογειακών κωνοφόρων δέντρων όπως, θασίτικο πεύκο, χαλέπιοπεύκη και δυσεύρετα δάση κυπαρισσιού και κέδρου.



Σχήμα 3: Θασίο πεύκο

Μικτά Δάση Φυλλοβόλων

Αποτελούνται από μικτά δάση φυλλοβόλων με κυρίαρχο είδος τη βελανιδιά (δρυς).



Σχήμα 4: Ήμερη βελανιδιά

Ορεινά δάση κωνοφόρων

Αποτελούνται από ορεινούς δασικούς σχηματισμούς με είδη κωνοφόρων που έχουν αντοχή στο ψύχος όπως η δασική πεύκη, η μαύρη πέυκη, η κεφαλληνιακή ελάτη, η υβριδογενής ελάτη και το ρόμπολο, που απαντώνται στους ορεινούς σχηματισμούς

της Βόρειας και Κεντρικής Ελλάδας καθώς και στους ορεινούς σχηματισμούς της Πελοποννήσου.



Σχήμα 5: Δασική πεύκη

Ηπειρωτικές δενδρώδεις διαπλάσεις

Παρουσιάζονται σε περιοχές με θερμοκρασίες κάτω των 0° C με ύψη βροχοπτώσεων από 600 έως 1500 χιλιοστά. Πιο συγκεκριμένα κατανέμονται σε δυο ζώνες:

Ζώνη όπου κυριαρχεί η πλατύφυλλη βελανιδιά (ενδοχώρα της Ηπείρου, Μακεδονίας, Θράκης και Θεσσαλίας) και ορισμένες φορές η καστανιά (στους βόρειους ορεινούς σχηματισμούς ανά την επικράτεια, στη Πελοπόννησο και στη Στερεά Ελλάδα). Ενδεικτικό παράδειγμα της ζώνης αυτής παρουσιάζεται στο σχήμα 6.

Ζώνη αποτελούμενη από αμιγή δάση δασικής οξιάς όπου εντοπίζονται στους ορεινούς σχηματισμούς των περιοχών της Ηπείρου, Θεσσαλίας και Μακεδονίας σε υψόμετρα από 700 έως και τα 1700 μέτρα. Επίσης από την ανατολική οξιά όπου απαντάται στην Ανατολική Μακεδονία και τον Άθω (Σχήμα 7).



Σχήμα 6: Πλατύφυλλη βελανιδιά



Σχήμα 7: Δασική οξιά

Υποαλπικά και αλπικά συστήματα

Εντοπίζονται στις κορυφές ορεινών σχηματισμών σε υψόμετρα από 1700 έως και 2900 μέτρα. Μέχρι κάποιο ύψος συναντώνται μεμονωμένα δένδρα και καθώς αυξάνεται το υψόμετρο τη θέση τους καταλαμβάνουν θαμνώδεις σχηματισμοί ξεραγκαθιάς, τετραγκαθιάς, κοινού αγριόκεδρου, σκλήθρας καθώς επίσης και αλπικά λιβάδια αποτελούμενα από ποώδη φυτά.



Σχήμα 8: Ξεραγκαθιά

Υποτροπικά συστήματα

Η υποτροπική βλάστηση συναντάται στη περιοχή της Κρήτης και πιο συγκεκριμένα κυρίως στο φοινικόδασος του Βάι αλλά και στο φοινικόδασος στο Κουρταλιώτικο Φαράγγι.



Σχήμα 9: Φοινικόδασος στη Κρήτη

Προφίλ Βλάστησης

Το είδος της βλάστησης και το πως αυτή διαμορφώνεται σχετίζεται σε σημαντικό βαθμό από τα παραπάνω χαρακτηριστικά και σύμφωνα με τη σύσταση της καθορίζεται η γέννηση, εξέλιξη αλλά και η γενικότερη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών (Καϊλίδης, 1993). Σημαντικά στοιχεία αναφορικά με την βλάστηση επίσης αποτελούν και το στάδιο κύκλου ζωής στο οποίο βρίσκεται η βλάστηση στις περιοχές ενδιαφέροντος και κατ' επέκταση η καύσιμη ύλη, καθώς και η εποχικότητα, χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν άμεσα την διαθέσιμη σχετική υγρασία και το πως τα ποσοστά της διαμορφώνονται. Σε αυτό το σημείο είναι απαραίτητη η αναφορά στην αναγκαιότητα επιλογής κατάλληλων ειδών που εμφανίζουν αυξημένη ανθεκτικότητα στην καύση, όπως χαρουπιές, για την κατάρτιση σχεδίων αποκατάστασης δασικών εκτάσεων (μέσω δενδροφυτεύσεων) που υπέστησαν σημαντικές ή ολοκληρωτικές καταστροφές από τις δασικές πυρκαγιές. Στον Ελληνικό χώρο όπου επικρατεί ξηροθερμικό κλίμα οι προκλήσεις είναι αυξημένες με την βλάστηση να μετατρέπεται με γρήγορους ρυθμούς, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες, σε καύσιμη ύλη με αυξημένη αναφλεξιμότητα αυξάνοντας την επικινδυνότητα. Γενικά πάντως σε ζώνες με πυκνή φυτοκάλυψη, κάτω από τα δέντρα επιτυγχάνονται μεγαλύτερα ποσοστά σχετικής υγρασίας με ταυτόχρονη μειωμένες ταχύτητες ανέμων και τιμές θερμοκρασίας.

Δασικές Πυρκαγιές

Πυρκαγιά ορίζεται ως καύση/φωτιά ανεξέλεγκτη κάθε είδους, επί διαφόρων καύσιμων υλών με ανεπιθύμητες και συχνά καταστρεπτικές συνέπειες και επιπτώσεις. Αποτέλεσμα της καύσης, όπου όπως περιγράφηκε ανωτέρω είναι μια συνήθως εξώθερμη οξειδοαναγωγική αντίδραση μεταξύ τουλάχιστον ενός καυσίμου και τουλάχιστο ενός οξειδωτικού μέσου όπου συνήθως είναι το οξυγόνο, είναι η φωτιά που αναπτύσσεται. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της αντίδρασης αυτής είναι η έκλυση σημαντικών ποσοτήτων θερμότητας. Παρ'όλα αυτά για την εκδήλωση φωτιάς και κατ'επέκταση πυρκαγιάς από καύση, είναι απαραίτητη η προσφορά θερμότητας από εξωτερικές πηγές καθώς δεν καθίσταται δυνατό να ξεκινήσει ενδογενώς και υπό φυσιολογικές συνθήκες. Οι εξωτερικές πηγές είναι και αυτές που ουσιαστικά αποτελούν και τις γενεσιουργούς αιτίες των πυρκαγιών. Σύμφωνα με τους παραπάνω ορισμούς γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι πυρκαγιές είναι καταστρεπτικά αλλά ταυτόχρονα και φυσικά φαινόμενα. Ως τέτοια είναι σαφές ότι έχουν άμεσο συσχετισμό με τα περιβαλλοντικά συστήματα, την εξέλιξη τους και την ισορροπία τους. Άξιο αναφοράς σε αυτό το σημείο αποτελεί το γνωστό τετράεδρο της φωτιάς όπου εκτός από την καύσιμη ύλη, τη θερμότητα και το οξυγόνο περιλαμβάνει και την συνεισφορά της αλυσιδωτής αντίδρασης.



Σχήμα 10: Το τετράεδρο της φωτιάς (Gustavb, Geraki, 2016)

Ακολούθως επεξηγούνται συνοπτικά για λόγους κατανόησης ορισμένες σχετικές βασικές έννοιες:

- **Θερμοκρασία:** Το συγκεκριμένο φυσικό μέγεθος εκφράζει τη θερμική κατάσταση των σωμάτων, είναι μετρήσιμο με ειδικά όργανα και διατάξεις τα οποία λέγονται θερμόμετρα. Είναι χαρακτηριστικό της μέσης κινητικής ενέργειας λόγω μεταφοράς, περιστροφής ή και ταλάντωσης των δομικών συστατικών των υλικών σωμάτων.

- **Θερμότητα:** Είναι μια μορφή ενέργειας όπου μεταδίδεται μεταξύ των σωμάτων όταν αυτά παρουσιάζουν διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τους. Κατά την πρόσληψη ενός σώματος αυτής της ενέργειας (θερμική ενέργεια) τότε αυτό θερμαίνεται. Αντίστοιχα κατά την απώλεια/αποβολή αυτής της ενέργειας τότε το σώμα ψύχεται. Έτσι αποτελεί και την αιτία της αίσθησης του θερμού και ψυχρού αντίστοιχα.
- **Καύση:** Ορίζεται ως η εξώθερμη χημική αντίδραση μια ουσίας ή ενός στοιχείου, παρουσία οξυγόνου ή άλλου αερίου και παρουσιάζει έκλυση θερμότητας (εξώθερμη αντίδραση), εμφάνιση φλόγας και φωτός.
- **Πυρκαγιά:** Δημιουργείται από τη μη ελεγχόμενη καύση ενός σώματος ή ομάδας σωμάτων με το οξυγόνο και ως ισχυρά εξώθερμη αντίδραση εκλύει σημαντικές ποσότητες θερμότητας και θερμικής ακτινοβολίας στη περιοχή του συμβάντος, έντονες φλόγες και οδηγεί στην καταστροφή του αναφλεγόμενου/ων υλικών.

Δασικές Πυρκαγιές στον Ελληνικό χώρο

Στις μέρες μας, μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα δασικά οικοσυστήματα είναι οι δασικές πυρκαγιές. Κύριο χαρακτηριστικό των δασικών αυτών πυρκαγιών αποτελεί το γεγονός ότι είναι ικανές να επιφέρουν σημαντικές και εκτεταμένες μεταβολές στα δασικά οικοσυστήματα με συχνά ολέθριες συνέπειες και μάλιστα σε πολύ σύντομα χρονικά διαστήματα. Ενδεικτικά τις προηγούμενες δεκαετίες και πιο συγκεκριμένα κατά τα έτη 1983-2008 συνέβησαν στον Ελληνικό χώρο 38.085 περιστατικά που έκαψαν 13.613.121 στρέμματα, με το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών (19%) να κατανέμεται στην περιοχή της Πελοποννήσου, ενώ το μικρότερο (περίπου 7%) στην περιοχή της Θεσσαλίας. Από τη συνολική καμένη έκταση, περίπου το 79% αντιστοιχούσε σε δασική, γεγονός που καταδεικνύει και την πίεση που υφίστανται τα δασικά οικοσυστήματα στη χώρα μας (Τσαγκάρη κ.ά. 2011). Πρέπει να αναφερθεί παρ' όλα αυτά ότι παρά τις ολέθριες και συχνά μη αναστρέψιμες επιπτώσεις, είναι αναπόσπαστο τμήμα του κύκλου ζωής των δασικών οικοσυστημάτων και των υποσυστημάτων τους. Αν και όπως αναφέρθηκε πριν, περί αναπόσπαστης παρουσίας των πυρκαγιών στα δασικά οικοσυστήματα, σύμφωνα με μελέτη που διεξήχθη στις Μεσογειακές χώρες κατά τα έτη 2006-2010 παρατηρήθηκε ότι το 4,7% από τις πυρκαγιές με γνωστή αιτία αποδιδόταν σε φυσική γενεσιουργή αιτία. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι το συντριπτικά μεγαλύτερο ποσοστό της τάξης του 55,8% οφειλόταν σε εσκεμμένη πράξη, δηλαδή εμπρησμό, με την επίσης ενδιαφέρουσα παρατήρηση της τάξης του 33,5% που οφειλόταν στην αμέλεια. Τέλος το ατύχημα παρατηρήθηκε

ότι ήταν υπεύθυνο για το 6,1%. Ως εκ τούτου είναι αδιάψευστο στοιχείο ότι πλέον ο ανθρώπινος παράγοντας είναι ο κύριος υπαίτιος για την πρόκληση πυρκαγιών στα δασικά οικοσυστήματα. Μάλιστα διαπιστώθηκε ότι στις Μεσογειακές χώρες το ποσοστό της ευθύνης του ανθρώπινου παράγοντα στην πρόκληση δασικών πυρκαγιών ξεπερνάει το εντυπωσιακό ποσοστό της τάξης του 90%. Τέλος να αναφερθεί ότι οι κεραυνοί κατέχουν ένα πολύ μικρότερο ποσοστό συνεισφοράς στην πρόκληση δασικών πυρκαγιών στο Μεσογειακό χώρο, που μπορεί να εξελιχθούν σε ιδιαίτερα επικίνδυνες και καταστρεπτικές λόγω της εκδήλωσης τους σε δυσπρόσιτες και δύσβατες περιοχές καθιστώντας το έργο της κατάσβεσης από πεζοπόρα και μηχανοκίνητα τμήματα ιδιαίτερα δύσκολο έως αδύνατο (Ε.Μ.Π ΜΕ.Κ.Δ.Ε.).

Παρά τα παραπάνω, αξίζει να αναφερθεί ότι οι πυρκαγιές μπορεί ορισμένες φορές να έχουν και ωφέλιμη δράση στα δασικά οικοσυστήματα. Πιο συγκεκριμένα μπορεί να έχουν ωφέλιμη δράση στην διευκόλυνση της φυσικής αναγέννησης των δασικών οικοσυστημάτων μέσω της απογύμνωσης της επιφάνειας του εδάφους μέσω της καύσης του συσσωρευμένου στρώματος πυκνής φυλλάδας που το καλύπτει.

Συμπερασματικά οι συνέπειες των δασικών πυρκαγιών και το κατά πόσο αυτές θα προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις, ακόμα και την μη αναστρέψιμη καταστροφή δασικών οικοσυστημάτων, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ανθρώπινη δραστηριότητα αλλά και συνολική διαχείριση. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι πιο καταστρεπτικές πυρκαγιές στην Ενωμένη Ευρωπαϊκή Κοινότητα καταγράφονται στον Ελληνικό χώρο.

Είδη Καύσιμης Ύλης

Μία χαρακτηριστική παράμετρος που διαδραματίζει σημαίνοντα ρόλο στην εξέλιξη και συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών είναι η καύσιμη ύλη και το είδος της. Αποτελείται από δύο βασικές κατηγορίες με την πρώτη να αποτελείται από την ύλη που συναντάται στην εδαφική επιφάνεια, όπως φρύγανα, ξερά φύλλα, τμήματα πεσμένων δέντρων καθώς και παραπροϊόντα υλοτομικής δραστηριότητας. Σημαντική είναι επίσης και η συνεισφορά της υπόγειας καύσιμης ύλης όπου αποτελείται κυρίως από οργανική ύλη σε διαδικασία αποσύνθεσης – αποδόμησης, νεκρά ριζικά συστήματα και τύρφη. Τέλος, αξιοσημείωτη είναι και η καύσιμη ύλη όπου βρίσκεται χαρακτηριστικά άνω των δύο μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους και αποτελείται από κλαδιά αλλά και φύλλα των δέντρων (Ρήγας, 2010).

Η καύσιμη ύλη παρουσιάζει επίσης την εξής κατηγοριοποίηση:

- Πράσινη καύσιμη ύλη – φύλλα καδιών: Στη κατηγορία αυτή περιέχονται τα πράσινα – ζωντανά φύλλα και για να καταστεί εφικτή η ανάφλεξη τους είναι αναγκαία η προηγούμενη γρήγορη ξήρανση τους ή το λεγόμενο στέγνωμα

τους. Έπειτα με την παρουσία φλόγας ή και καύτρας παρακείμενου δέντρου προκύπτει ανάφλεξη και καύση τους.

- Αναφλέξιμη καύσιμη ύλη: Στη κατηγορία αυτή συνήθεις είναι οι φλοιοί δέντρων, οι πευκοβελόνες καθώς και τα ξερά φύλα όπως αναφέρθηκαν και παραπάνω. Όντας ξερά αναφλέγονται άμεσα με την εξάπλωση να είναι πολύ γρήγορη, συνήθως και με την παρουσία ρετςινιού από τα δέντρα. Όταν η φωτιά εμφανίζει χαρακτηριστικά υπόγειας φωτιάς τότε είναι δυνατό να ελεγχθεί. Αντίθετα στις πυρκαγιές κόμης είναι πιο δύσκολο καθώς εξαπλώνονται με ταχύτερο ρυθμό.
- Βαρέα καύσιμη ύλη: Αυτή η κατηγορία συνήθως αναφέρεται σε κορμούς δέντρων, όπου για να καταστεί εφικτή η καύση τους πρέπει να έρθουν σε επαφή με ήδη αναφλεγμένη καύσιμη ύλη. Σε αυτήν την περίπτωση η καύση είναι αργή συγκριτικά με τις παραπάνω κατηγορίες, με την διαδικασία κατάσβεσης όμως να είναι εξίσου πιο αργή και επίπονη. Καύση τέτοιας καύσιμης ύλης εννοεί και την εξάπλωση της πυρκαγιάς έτι παραπάνω καθώς αποσπώμενοι κορμοί κατά την διαδικασία της καύσης από τα δέντρα ευνοούν την εξάπλωση της φωτιάς σε γειτονικές και παρακείμενες ζώνες.

Είδη Δασικών Πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές εντάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες σύμφωνα με τα αίτια, τον τρόπο εξάπλωσης, τις επιπτώσεις που προκαλούν και την θέση που εντοπίζεται η φωτιά (π.χ. στην εδαφική επιφάνεια) (Καϊλίδης & Καρανικόλα, 2004, Karali, 2014) ως εξής:

- Υπόγειες πυρκαγιές – πυρκαγιές εδάφους: Σε αυτήν την κατηγορία παρατηρείται καύση της οργανικής ύλης που συναντάται κάτω από την επιφάνεια του στρώματος φύλλων στο έδαφος. Συνήθως ξεκινούν από τις ρίζες και τις θαμμένες ύλες(τύρφη) οι οποίες είναι υπό αποσύνθεση(πευκοβελόνες, φύλλα) και αυτή η μεγάλη ποσότητα οργανικού υλικού συντελεί στην έναρξη τους. Ελάχιστη ποσότητα οξυγόνου είναι ικανή να τις τροφοδοτήσει με την υπόγεια εξάπλωση τους να φτάνει ακόμα και τα δύο μέτρα, με την διάδοση τους και τον ρυθμό καύσης τους να είναι μικροί. Ιδιαίτερη προσοχή σε αυτήν την κατηγορία χρειάζεται καθώς μπορεί να συμβαίνουν και ελλείψει καπνού, γεγονός που τις καθιστά δυσκολότερο να γίνουν αντιληπτές και κατ' επέκταση να αντιμετωπιστούν έγκαιρα. Οι επιπτώσεις τους, η δυσκολία στον εντοπισμό και κατάσβεσης τους και η απειλή που αντιπροσωπεύουν για τα ριζικά συστήματα των φυτών και

δέντρων τις καθιστά από τις πιο επικίνδυνες. Τέλος, να σημειωθεί ότι αυτά τα είδη πυρκαγιών δεν συναντώνται συχνά στον Ελληνικό χώρο.

- **Επιφανειακές πυρκαγιές – έρπουσες πυρκαγιές:** Στη κατηγορία αυτή παρατηρείται η έναρξη των πυρκαγιών στην επιφάνεια του εδάφους και κοντά σε αυτή έως το ύψος των δύο μέτρων. Πρόκειται πρακτικά για τη χαμηλή βλάστηση, νεκρή ύλη όπως πευκοβελόνες και κλαδάκια και ζωντανή βλάστηση όπως χόρτα και θάμνους. Αυτές οι πυρκαγιές αποτελούν το πιο συνηθισμένο είδος πυρκαγιών και εμφανίζουν υψηλή ταχύτητα μετάδοσης, όπου ανάλογα με τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες και τη διαθέσιμη καύσιμη ύλη(οι αναγκαίες ποσότητες οξυγόνου είναι σε αφθονία) μπορεί να καταστούν ιδιαίτερα επικίνδυνες με αυξημένη δυσκολία κατάσβεσης τους. Φυσικά ορισμένες φορές μπορεί να είναι και περιορισμένες σε έκταση με πιο εύκολη διαχείριση από τις αρμόδιες υπηρεσίες.
- **Πυρκαγιές κόμης – επικόρυφες πυρκαγιές:** Στη κατηγορία αυτή εντάσσονται οι πυρκαγιές που λαμβάνουν χώρα στα τμήματα των δέντρων άνω των δύο μέτρων, με καύσιμη ύλη αυτή καθ' αυτή τη κόμη των δέντρων και θάμνων. Στον Ελληνικό χώρο συναντούνται συχνά σε περιοχές φυλλοβόλων πλατύφυλλων, κωνοφόρων και τραχείας πεύκης. Χαρακτηριστικό τους αποτελεί ότι συνήθως ξεκινούν ως έρπουσες πυρκαγιές όπου στη συνέχεια διαδίδονται στις υψηλότερες ζώνες των δέντρων με τον μετέπειτα θάνατο των δέντρων να επέρχεται ως συνέπεια αυτής της καύσης. Κατά την εξέλιξη αυτού του είδους των πυρκαγιών, καίγονται και τα φύλλα των δέντρων, γεγονός όπου υπό τις κατάλληλες συνθήκες και διευθύνσεις ανέμων συντελεί στην ταχύτερη και ευρύτερη διάδοση της πυρκαγιάς από τις νέες εστίες που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της διασποράς των φλεγόμενων αυτών φύλλων. Για τους ανωτέρω λόγους απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή σε αυτό το είδος πυρκαγιών, στη αντιμετώπιση και διαχείριση τους από τις αρμόδιες υπηρεσίες καθώς πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι αποτελεί τη κατηγορία με την υψηλότερη ταχύτητα διάδοσης.
- **Σημειακές πυρκαγιές – πυρκαγιές καύτρας:** Η συγκεκριμένη κατηγορία πυρκαγιών χαρακτηρίζονται και ως απρόβλεπτες καθώς ο μηχανισμός δημιουργίας τους, όπου κάθε καύτρα με φλόγα μπορεί εύκολα να εξαπλώσει την πυρκαγιά δημιουργώντας νέες εστίες σε παρακείμενες ζώνες. Οι νέες αυτές εστίες αν και μικρές αρχικά καίνε τη διαθέσιμη καύσιμη ύλη και ταυτόχρονα εξαπλώνονται και ενοποιούνται με την αρχική εστία (Καϊλίδης&Καρανικόλα, 2004), γεγονός που τις κρίνει ιδιαίτερα επικίνδυνες με πολύ γρήγορη διάδοση καθώς και πολύ υψηλή επικινδυνότητα για τα

πεζοπόρα πυροσβεστικά τμήματα κατά την κατάσβεση καθώς αυξάνεται ο κίνδυνος περικύκλωσης τους.

- Μικτές πυρκαγιές: Τέλος αυτή η κατηγορία αποτελεί τον συνδυασμό των παραπάνω επιμέρους κατηγοριών και είναι εκ του αποτελέσματος η πιο επιδραστική, απρόβλεπτη και επικίνδυνη κατηγορία, με τις συνέπειες να είναι καταστροφικές για πάσης φύσεως μορφής ζωής, φυτικής και ζωικής, στα δάση.

Μετεωρολογικές Συνθήκες

Οι μετεωρολογικές συνθήκες (θερμοκρασία, ποσοστά υγρασίας, ταχύτητα ανέμου) βρίσκονται σε άμεση συσχέτιση μεταξύ τους και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην έναρξη – εκδήλωση, μετάδοση και ένταση της φωτιάς και κατ' επέκταση της πυρκαγιάς. Οι κυριότερες από αυτές τις συνθήκες περιγράφονται ως εξής:

- Θερμοκρασία: Η θερμοκρασία ως μετεωρολογική συνθήκη είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς επηρεάζει άμεσα και άλλες μετεωρολογικές συνθήκες όπως βροχή, χιόνι, χαλάζι (κατακρημνίσματα), επίπεδα σχετικής υγρασίας, βαρομετρικές πιέσεις και ανέμους και γενικότερα ατμοσφαιρική αστάθεια. Χαρακτηριστικές είναι οι περιπτώσεις υψηλών και ακραίων θερμοκρασιών κατά περιόδους, όπου όταν εμμένουν για μεγάλα χρονικά διαστήματα (ξηρές περίοδοι) διαμορφώνουν ιδιαίτερα επικίνδυνες συνθήκες για την εκδήλωση και μετάδοση πυρκαγιών. Με αυξημένη συχνότητα εκδηλώνονται δασικές πυρκαγιές κατά τους θερινούς μήνες και κατά την αρχή του φθινοπώρου, με τις περισσότερες επίσης να ξεκινούν κατά τις μεσημεριανές ώρες όπου οι θερμοκρασίες βρίσκονται στις μέγιστες ημερήσιες τιμές και αντίστοιχα η υγρασία στις ελάχιστες. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα (Καϊλίδης, 1988, 1990) οι πυρκαγιές κατά το 68,5% και οι καμένες εκτάσεις κατά το 66,7% σε ετήσια βάση εκδηλώνονται σε θερμοκρασιακό εύρος 21 – 30 °C. Φυσικά θερμοκρασιακές συνθήκες ανώτερες των 30 °C είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες και χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής.
- Άνεμος: Ο άνεμος αρχικά ως στοχαστικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται από απρόβλεπτη μεταβλητότητα με έντονα δυναμικό χαρακτήρα. Αποτελεί ίσως την πιο επιδραστική συνθήκη κατά την διάδοση αλλά και κατεύθυνση στις δασικές πυρκαγιές. Εκτός από την θερμοκρασία, η ένταση, διεύθυνση, σχετική υγρασία και ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά που σε συνδυασμό με τη διαθέσιμη καύσιμη ύλη και την ποσότητα της. Η θερμοκρασία του αέρα είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς

συμβάλει στην ξήρανση της καύσιμης ύλης, γεγονός που επιδρά σημαντικά στο χρόνο ανάφλεξης και στο ρυθμό καύσης. Η υγρασία επίσης είναι ιδιαίτερα σημαντική συνθήκη καθώς μικρές τιμές σχετικής υγρασίας οδηγούν σε ξηρασία στη βλάστηση με αποτέλεσμα να είναι ευνοϊκότερη η εκδήλωση αλλά και η μετάδοση πυρκαγιών. Το αντίθετο αποτέλεσμα προκύπτει σε περιπτώσεις με υψηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας. Ακόμα και στον αέρα τα ποσοστά υγρασίας είναι ιδιαίτερα σημαντικά καθώς όταν είναι ξηρός, συμβάλει στην εξάτμιση της υφιστάμενης υγρασίας και στην ταχύτερη ξήρανση της καύσιμης ύλης (Καϊλίδης&Καρανικόλα, 2015).

- Ατμοσφαιρικής υγρασία: Μια εξίσου επιδραστική μετεωρολογική συνθήκη στις δασικές πυρκαγιές είναι αυτή της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Ενδεικτικά στον Ελληνικό χώρο για ποσοστά σχετικής υγρασίας της τάξης του 31% - 60% αντιστοιχούν το 67,6% των δασικών πυρκαγιών, που αντιστοιχεί στο 66,4% της καμένης έκτασης σε ετήσια βάση. Παρ' όλα αυτά και για υψηλότερα ποσοστά σχετικής υγρασίας της τάξης του 60% - 70% αντιστοιχούν το 17,8% των δασικών πυρκαγιών με την καμένη έκταση να ανέρχεται στο 13% των καμένων εκτάσεων σε ετήσια βάση (Καϊλίδης, 1990). Τα χαμηλότερα ποσοστά δασικών πυρκαγιών στα επίπεδα υγρασίας άνω του 60% παρατηρούνται καθώς όταν η καύσιμη ύλη στα δάση που περιβάλλεται από λεπτό και νεκρό οργανικό φορτίο, συνήθως ξερά χόρτα, λεπτά κλαδιά, πευκοβελόνες, τα ποσοστά υγρασίας τους αντιδρούν και επηρεάζονται ταχύτατα και σε χρονικό διάστημα μικρότερο των 30 λεπτών (Καϊλίδης, 1993). Είναι εμφανές λοιπόν ότι τα επίπεδα υγρασίας και κατ' επέκταση η υγρασία βρίσκεται σε άμεση αλληλεπίδραση με την καύσιμη ύλη και την υγρασία της στα δασικά περιβάλλοντα. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω στην κατηγορία του ανέμου, με χαμηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής υγρασίας δεσμεύεται υγρασία από την διαθέσιμη καύσιμη ύλη από τον ξηρό ατμοσφαιρικό αέρα. Αντίστοιχα το αντίθετο αποτέλεσμα παρατηρείται όταν τα επίπεδα υγρασίας στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι μεγαλύτερα. Συνεπώς τα επίπεδα ατμοσφαιρικής υγρασίας κατέχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στο βαθμό ξηρότητας του διαθέσιμου οργανικού υλικού που είναι και η καύσιμη ύλη στα δάση, καθορίζοντας και την ευκολία με την οποία δυνητικά αναφλέγονται.
- Κατακρημνίσματα: Όπως είναι εύκολα αντιληπτό τα κατακρημνίσματα κατέχουν εξέχοντα ρόλο στην εκδήλωση και εξέλιξη των δασικών πυρκαγιών, τόσο ως προς την ποσότητα, συχνότητα αλλά και ως προς την διάρκεια τους. Ιδιαίτερα ευεργετικές ως προς την ανθεκτικότητα σε ανάφλεξη ιδιότητες προσδίδουν στα δάση οι βροχές μεγάλης διάρκειας και έντασης καθώς παρέχουν περίσσεια ποσοστά υγρασίας στην καύσιμη ύλη.

Αντίστοιχα τα αντίθετα αποτελέσματα προκύπτουν με βροχές μικρής χρονικής διάρκειας και έντασης καθώς δεν εννοείται η αύξηση της υγρασίας της καύσιμης ύλης. Επίσης σε αυτή την περίπτωση τα φύλα τείνουν να συγκρατούν τις μεγαλύτερες ποσότητες των σύντομων αυτών βροχοπτώσεων. Σημαντικό στοιχείο αποτελεί επίσης η εποχικότητα των βροχοπτώσεων καθώς και οι συνθήκες που τις ακολουθούν. Πιο συγκεκριμένα τους θερινούς μήνες όπου τα κατακρημνίσματα απουσιάζουν μακροχρόνια είναι και η περίοδος με την μεγαλύτερη επικινδυνότητα αναφορικά με τις δασικές πυρκαγιές καθώς τα δάση οδηγούνται σε σημαντική μείωση των ποσοστών υγρασίας της καύσιμης ύλης τους. Στο σημείο αυτό είναι άξιο αναφοράς ότι όπου παρατηρούνται βροχοπτώσεις μικρότερες των 20 χιλιοστών, παρουσία θερμού αέρα, εντοπίζονται και οι περισσότερες δασικές πυρκαγιές (Καϊλίδης, 1993).

- Εξάτμιση: Τέλος η εξάτμιση έχει σημαίνονται ρόλο καθώς συνδιαμορφώνεται η συνθήκες κάτω από τις οποίες εκδηλώνονται οι δασικές πυρκαγιές, μειώνοντας έτι περαιτέρω τα ποσοστά της υγρασίας της καύσιμης ύλης. Με τη συνδυαστική συνεισφορά δε παραγόντων όπως η θερμοκρασία και ταχύτητα των ανέμων το φαινόμενο εντείνεται έτι περαιτέρω αυξάνοντας την επικινδυνότητα για την εκδήλωση δασικών πυρκαγιών (Καϊλίδης, 1993).

Τοπογραφικά Χαρακτηριστικά

Εξίσου σημαντικά με όλα τα ανωτέρω χαρακτηριστικά που επιδρούν και συνδιαμορφώνουν την συνολική συμπεριφορά και εξέλιξη των δασικών πυρκαγιών αποτελεί η γεωμορφολογία της εκάστοτε περιοχής ενδιαφέροντος. Τα τοπογραφικά αυτά χαρακτηριστικά καθιστούν την εκάστοτε περιοχή μοναδική καθώς και ξεχωριστή παρά το γεγονός της ύπαρξης για παράδειγμα του ίδιου είδους βλάστησης. Έτσι σε κάθε τέτοια γεωμορφολογικά και τοπογραφικά διαφορετική ζώνη παρουσιάζεται και σημαντική διαφορά ως προς την συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών καθώς αυτές εξελίσσονται ως επί το πλείστον επί της εδαφικής επιφάνειας (Καϊλίδης, 1993). Τα βασικά αυτά γεωμορφολογικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά που επιδρούν στην συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών είναι:

- Κλίση: Η κλίση αποτελεί τη νοητή γωνία μεταξύ της υπό εξέταση περιοχής και του οριζοντίου επιπέδου και επηρεάζει σημαντικά τον ρυθμό μετάδοσης των δασικών πυρκαγιών. Κατά την διάδοση των πυρκαγιών στα ανάντη ή προς την λεγόμενη ανωφέρεια παρατηρείται μεγαλύτερη ταχύτητα καθώς οι υπερκείμενες ζώνες γειτνιάζουν με την πυρκαγιά και κατά συνέπεια

δέχονται μεγαλύτερα και πιο αποτελεσματικά τα θερμικά φορτία, με ταυτόχρονη μείωση της υπολειπόμενης υγρασίας που συμβάλλει έτι περαιτέρω στην γρηγορότερη διάδοση της πυρκαγιάς. Αντίθετα, κατά την “κίνηση” της πυρκαγιάς προς τα κατάντη ή προς τη λεγόμενη κατωφέρεια, παρατηρείται μικρότερη ταχύτητα διάδοσης, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και ταχύτερη διάδοση καθώς καύσιμη ύλη όπως κλαδιά και κορμοί μπορεί καθώς καίγονται να μεταπέσουν προς τα κατώτερα στρώματα επεκτείνοντας την πυρκαγιά. Γενικά σε ζώνες με έντονες κλίσεις αξιοσημείωτη είναι η ύπαρξη μειωμένων επιπέδων υγρασίας καθώς η επιφανειακή απορροή είναι αρκετά πιο έντονη με αποτέλεσμα τα επίπεδα αυτά να μειώνονται σημαντικά. Τέλος σε ζώνες με επίπεδη κλίση γενικά η ταχύτητα διάδοσης των πυρκαγιών είναι ακόμα χαμηλότερη.

- Υψόμετρο – Προσανατολισμός: Ιδιαίτερα σημαντική είναι η επίδραση του υψομέτρου αλλά και του προσανατολισμού στη διαμόρφωση των επιπέδων υγρασίας της διαθέσιμης καύσιμης ύλης, καθώς η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σχετίζεται άμεσα με το υψόμετρο. Ως προς τον παράγοντα του προσανατολισμού, είναι σημαντική η κατανομή της καύσιμης ύλης, καθώς σε ζώνες νότια και δυτικά παρατηρείται αυξημένος ρυθμός απώλειας σχετικής υγρασίας σε σχέση με ζώνες βόρεια και ανατολικά λόγω πάντα της σχετικής θέσης του ήλιου και άρα της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας (Καϊλίδης, 1993).
- Ανάγλυφο – Γεωμορφολογία: Η γεωμορφολογία του εδάφους σύμφωνα με τη δασική υπηρεσία κατηγοριοποιείται σε πεδινή, ημιορεινή και ορεινή ζώνη και αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό στην διάδοση των δασικών πυρκαγιών. Αυτό μπορεί να καταστεί εύκολα αντιληπτό με το παράδειγμα πυρκαγιάς σε μια πεδινή περιοχή όπου είναι πολύ πιο εύκολα διαχειρίσιμη από τις αρμόδιες υπηρεσίες σε σχέση με πυρκαγιές σε ημιορεινές – ορεινές περιοχές με πολύ πιο έντονο ανάγλυφο και αδυναμία προσέγγισης πυροσβεστικών οχημάτων και μέσων, ακόμα πολλές φορές και πεζοπόρων τμημάτων. Συνεπώς το μεγαλύτερο ενδιαφέρον αλλά και βαθμό δυσκολίας παρουσιάζουν οι ημιορεινές και ορεινές ζώνες. Σε αυτές τις ζώνες λόγω του αναγλύφου και ιδιαίτερα σε στενά περάσματα και ράχες, αναπτύσσονται ακόμα πιο ισχυροί άνεμοι με αποτέλεσμα όπως έχει αναφερθεί και σε παραπάνω ενότητα να αυξάνεται η επικινδυνότητα σημαντικά για την επέκταση των πυρκαγιών αλλά και την διαχείριση τους (Καλαμποκίδης, 2004).

Ιστορικά Στοιχεία – Πηγές Δεδομένων

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες και με τα επιπρόσθετα επιστημονικά – τεχνολογικά εργαλεία που έχουν στη διάθεση τους κυβερνητικοί οργανισμοί και υπηρεσίες και σε συνδυασμό με την ανάγκη ολοκληρωμένης κατανόησης της πολυεπίπεδης επίδρασης των δασικών πυρκαγιών στο περιβάλλον, την κλιματική αλλαγή αλλά και στην οικονομική και κοινωνική σφαίρα προέκυψε η ανάγκη καταγραφής τους. Πιο συγκεκριμένα **στον Ελληνικό χώρο** και με φορέα υλοποίησης την Ελληνική Πυροσβεστική Υπηρεσία, τις τελευταίες δεκαετίες έχει συντελεστεί μια σημαντική προσπάθεια συλλογής και καταγραφής δεδομένων καμένων εκτάσεων από δασικές πυρκαγιές σε ανοιχτή μηχαναγνώσιμη μορφή, με τα δεδομένα αυτά να είναι διαθέσιμα από το έτος 2000 και έπειτα, σε ετήσια και μηνιαία μορφή για όλους τους νομούς.

Παράλληλα **σε ευρωπαϊκό επίπεδο** και για τους ίδιους λόγους ανάγκης κατανόησης και περεταίρω μελέτης της επίδρασης των δασικών πυρκαγιών ιδιαίτερα στο κλίμα και την κλιματική αλλαγή, πραγματοποιήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες μέσω της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος η προσπάθεια καταγραφής δεδομένων καμένων εκτάσεων με τη χρήση δορυφόρων. Πιο συγκεκριμένα αυτή η προσπάθεια εντάσσεται στα πλαίσια της πρωτοβουλίας για την κλιματική αλλαγή – Climate Change Initiative (CCI) της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (ESA) με την συντομογραφία Fire CCI.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις ένα ποσοστό της τάξης του 25% - 35% των αερίων του θερμοκηπίου (Green house Gases – GHG) προέρχονται ως αποτέλεσμα της καύσης βιομάζας και συνεπώς θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας στην κλιματική αλλαγή (ESA/Fire CCI). Δεδομένα καμένων εκτάσεων σε παγκόσμια κλίμακα υπάρχουν ήδη, αλλά το πρόγραμμα Fire CCI έχει ως σκοπό την βελτίωση της συνέπειας, χρήση καλύτερων αλγορίθμων για προεπεξεργασία καθώς και ανίχνευση – εντοπισμό καμένων εκτάσεων, ενσωματώνοντας ταυτόχρονα χαρακτηρισμό σφαλμάτων στο τελικό αποτέλεσμα. Ως γενική έμφαση του προγράμματος Fire CCI μπορούν να περιγραφούν τα παρακάτω:

- Ανάλυση και συγκεκριμενοποίηση των επιστημονικών προαπαιτούμενων σχετικά με το κλίμα
- Ανάπτυξη και βελτίωση αλγορίθμων για προεπεξεργασία δεδομένων και καμένων εκτάσεων
- Εσωτερική σύγκριση και επιλογή των πλέον κατάλληλων αλγορίθμων καμένων εκτάσεων
- Δημιουργία πρωτότυπων συστημάτων και παραγωγή σετ δεδομένων καμένων εκτάσεων
- Νομιμοποίηση και αξιολόγηση των παραγόμενων αποτελεσμάτων

Μεθοδολογία

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι όπως αναφέρθηκε αρχικά η παρουσίαση και μετέπειτα σύγκριση των διαθέσιμων μεθόδων συλλογής δεδομένων καμένων εκτάσεων και πιο συγκεκριμένα, τα επίγεια δεδομένα καμένων εκτάσεων που συλλέγονται από την πυροσβεστική υπηρεσία στο πεδίο και τα δεδομένα καμένων εκτάσεων από τον δορυφόρο (MODIS) για την εικοσαετία 2001-2020. Ο δορυφόρος MODIS είναι ουσιαστικά ένα φασματοραδιόμετρο όπου συλλέγει δεδομένα σε 36 φασματικές ζώνες από το ορατό έως το υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ανήκει στα δορυφορικά προγράμματα Terra και Aqua της NASA και παρέχει παγκόσμια κάλυψη για τα δεδομένα που παρακολουθεί, διαθέτοντας μεγάλη γωνία θέασης καθώς και υψηλή ανάλυση καθώς διαθέτει δυνατότητα διακριτοποίησης 250 μέτρων, 500 μέτρων και 1 χιλιομέτρου. Στην παρούσα μελέτη τα δεδομένα παρέχονται σε ένα πλέγμα για όλο τον πλανήτη με κελιά που αντιστοιχούν σε γεωγραφικά μήκη και πλάτη και με διακριτοποίηση 0,25 μοίρες έκαστο.

Ξεκινώντας, έγινε συλλογή των δεδομένων καμένων εκτάσεων όπως αυτά είναι διαθέσιμα από τις δύο επιμέρους μεθόδους, για όλο τον Ελληνικό χώρο σε επίπεδο νομών. Αφού οργανώθηκαν σε αρχεία ανά έτος και νομό για την κάθε μέθοδο και με την επιθυμητή μορφή, προέκυψε η νέα βάση δεδομένων από την οποία έγινε και η μετέπειτα επεξεργασία. Για την ολοκληρωμένη εικόνα ως προς τα αποτελέσματα και τον μετέπειτα σχολιασμό τους, δημιουργήθηκαν χάρτες αποτύπωσης των καμένων εκτάσεων για κάθε μια μέθοδο αποτυπώνοντας τα δεδομένα αυτά για κάθε νομό για το σύνολο της εικοσαετίας και με έμφαση σε τρεις χρονικές περιόδους. Οι περίοδοι αυτοί είναι Ιούλιος – Αύγουστος, Μάιος – Σεπτέμβριος και τέλος για το σύνολο των μηνών δηλαδή για ολόκληρο το έτος. Έτσι καθίσταται δυνατό να εξαχθούν και τα πιο ορθά και αξιοποιήσιμα συμπεράσματα από τον σχολιασμό, καθώς αυτές οι χρονικές περίοδοι είναι και αυτές που εμφανίζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από άποψη έξαρσης αλλά και διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών (ιδιαίτερα Ιούλιος – Αύγουστος και Μάιος – Σεπτέμβριος).

Για την σύγκριση των επιμέρους αποτελεσμάτων τα δεδομένα παρουσιάζονται όλα σε μονάδες στρεμμάτων. Επίσης για την πιο αντιπροσωπευτική και ευανάγνωστη μορφή των χαρτών, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε απόλυτα νούμερα αλλά και σε χρωματική διαφοροποίηση με την αντίστοιχη χρωματική κλίμακα πάντοτε διαθέσιμη.

Τέλος εκτός από τους χάρτες, υπολογίζονται οι συντελεστές συσχέτισης κατά Pearson και τα average mean bias για τις περεταίρω συγκρίσεις μεταξύ των επιμέρους μεθόδων και το κατά πόσο συμπίπτουν, καθώς και συνοπτικά

διαγράμματα για κάθε ένα νομό ξεχωριστά στα οποία παρατίθενται ταυτόχρονα οι τιμές που καταγράφει η κάθε μέθοδος για κάθε έτος.

Συντελεστής συσχέτισης κατά Pearson

Σε πλήθος μελετών και εφαρμογών όπου εξετάζονται δύο συνεχείς ποσοτικές μεταβλητές, έστω x και y , ως προς τη γραμμική σχέση που έχουν μεταξύ τους, αυτή η εκτίμηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση του συντελεστή συσχέτισης Pearson. Αυτός ο συντελεστής είναι ένα μέτρο της ισχύος και της κατεύθυνσης μιας γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο συνεχών μεταβλητών και προσδιορίζει το κατά πόσο οι μελετώμενες μεταβλητές σχετίζονται γραμμικά μεταξύ τους. Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Από την χρήση της παραπάνω σχέσης το εύρος τιμών που δύναται να πάρει ο συντελεστής Pearson είναι από -1 έως +1. Στις περιπτώσεις όπου οι τιμές προσεγγίζουν στο +1 καταδεικνύεται ισχυρή θετική συσχέτιση. Για τιμές που προσεγγίζουν στο 0 καταδεικνύεται απουσία συσχέτισης και τέλος για τιμές που προσεγγίζουν στο -1 καταδεικνύεται ισχυρή αρνητική συσχέτιση. Γενικά για τιμές του συντελεστή συσχέτισης Pearson άνω του 0,8 θεωρείται ισχυρός βαθμός συσχέτισης και για τιμές του συντελεστή συσχέτισης Pearson κάτω του 0,5 θεωρείται ασθενής βαθμός συσχέτισης.

Επεξεργασία Δεδομένων Πυροσβεστικής

Τα διαθέσιμα δεδομένα καμένων εκτάσεων από το πεδίο (ground base data) όπως αναφέρθηκε σε παραπάνω ενότητα έχουν συλλεχθεί από την Πυροσβεστική υπηρεσία και είναι διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή (Excel) για το σύνολο του Ελληνικού χώρου. Η οργάνωσή τους είναι κατά έτος σε μια ενότητα από το 2000 έως και το 2012 ομαδοποιημένα μαζί και για τα επόμενα έτη παρατίθενται για κάθε έτος ξεχωριστά. Η Πυροσβεστική Υπηρεσία για λόγους καλύτερης παράθεσης τους τα έχει χωρίσει σε κατηγορίες αστικών συμβάντων και δασικών πυρκαγιών. Η επιλογή για την παρούσα μελέτη έχει προσδιοριστεί στη βάση δεδομένων των δασικών πυρκαγιών.

Πιο συγκεκριμένα για κάθε έτος τα δεδομένα καμένων εκτάσεων παρατίθενται για κάθε νομό της χώρας σε μονάδες στρεμμάτων, εμπεριέχοντας και κάποιες επιπλέον

πληροφορίες για τις τοποθεσίες, δήμους, δασαρχεία, αρμόδιες κατά τόπους πυροσβεστικές υπηρεσίες και τέλος ειδικά από το 2013 και έπειτα πληροφορίες για τους πόρους που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατάσβεση. Πιο συγκεκριμένα ανθρώπινους πόρους, οχήματα και εναέρια μέσα.

Αρχικά αυτά τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν (URL 3) και έπειτα επεξεργάστηκαν σε περιβάλλον Matlab, δημιουργώντας νέα βάση δεδομένων σε μορφή πινάκων ξανά στο Excel για τα συγκεντρωμένα δεδομένα καμένων εκτάσεων ανά έτος και νομό. Η μορφή του πίνακα που προέκυψε συνολικά για όλους τους μήνες του έτους φαίνεται ενδεικτικά στη συνέχεια:

A/A	Attiki	Lesvos, Lemnos	Icaria, Samos	Chios	Kalymnos, Karpathos, Kos, Rhodes
2001	4993.1	1464.7	3787.9	481.4	190.6
2002	2502.1	755.2	122.2	658.5	1119.1
2003	4008.1	2499.3	950.5	390.1	722.5
2004	8096	1099	128.1	750.7	10550.5
2005	11189.48	910.77	469.6	1092.28	1553.69
2006	2614.23	3019	587.55	262.75	1070.64
2007	38114.68	339	1753.1	10989.14	4016.73
2008	9608.15	5281.31	277.63	1025.28	122732.65
2009	200808.1	2749.9	334.4	760	1337.7
2010	25825.6	593.4	22675.4	1188.2	2054.1
2011	4792.7	4271	99.4	8092.9	477.4
2012	39908.1	671.4	275.8	60497.3	6462.6
2013	15326.2	715.7	1028.1	1474.6	39256.5
2014	9174.98	775.93	53	4255.34	1119.19
2015	9654.65	7587.62	1052.14	66.92	6710.54
2016	11355.12	2382.06	5783.56	47381.91	15008.13
2017	46495.26	2507.53	215.89	56.58	3907.87
2018	65572.03	264.64	1516.14	1058.67	426.75
2019	3972.78	661.89	985.14	339.54	995.87
2020	20626.08	3574.58	370.74	12269.12	1335.63

Σχήμα 11: Τμήμα πίνακα πυροσβεστικών δεδομένων με τις συνολικές καμένες εκτάσεις ανά έτος και νομό

Ομοίως δημιουργήθηκαν όμοιοι πίνακες και για τις περιόδους Ιουλίου – Αυγούστου και Μαΐου – Σεπτεμβρίου.

Επεξεργασία Δεδομένων Δορυφόρου

Τα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα όπως αναφέρθηκε και σε παραπάνω ενότητα συλλέχθηκαν από την ιστοσελίδα (URL 1) του προγράμματος Fire CCI της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος. Η μορφή στην οποία είναι αρχικά διαθέσιμα είναι σε φακέλους οργανωμένους ανά έτος με υποφακέλους που περιέχουν τα δεδομένα για κάθε μήνα ξεχωριστά.

Η μορφή των αρχείων σε αυτήν την περίπτωση είναι NetCDF αρχεία. Αυτά περιέχουν για κάθε μήνα δεδομένα καμένων εκτάσεων (burned area) σε μονάδες τετραγωνικών μέτρων. Η μορφή με την οποία είναι κατανεμημένα είναι σε μορφή δικτύου (grid) για όλο τον πλανήτη, όπου έχει διακριτοποίηση (resolution) 0,25 μοίρες για κάθε κελί του δικτύου. Στο κάθε κελί αντιστοιχούν και οι αντίστοιχες τιμές της μεταβλητής burned area για την εκάστοτε θέση στο δίκτυο.

Αρχικό μέριμνα ήταν η επεξεργασία των δεδομένων αυτών σε περιβάλλον Matlab για να οργανωθούν και να αθροιστούν συγκεκριμένα για τον Ελληνικό χώρο, σε επίπεδο νομών και για τις χρονικές περιόδους ενδιαφέροντος. Έτσι θα καταστεί δυνατή και η περαιτέρω επεξεργασία για εξαγωγή συμπερασμάτων.

Για να καταστεί εφικτός ο εντοπισμός των δεδομένων που μας ενδιαφέρουν μόνο για τον Ελληνικό χώρο χρησιμοποιήθηκε επίσης η βάση δεδομένων ENUTS. Το ENUTS ή αλλιώς The Nomenclature of Territorial Units for Statistics είναι ένα διοικητικό τμήμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Ζώνης και ορισμένων υποψηφίων προς ένταξη χωρών και αναπτύχθηκε ως ένα σύστημα για την καταγραφή των γεωγραφικών ορίων των κρατών μελών. Έτσι τα γεωγραφικά όρια που χρησιμοποιήθηκαν για να περιχαρακώσουν τον Ελληνικό χώρο σε επίπεδο νομών λήφθηκε συγκεκριμένα από το αρχείο ENUTS3 όπου είναι και το πιο πρόσφατο διαθέσιμο στην version 2013. Η μορφή με την οποία είναι διαθέσιμο είναι ως shapefile.

Με τα παραπάνω πλέον στην διάθεση μας και με τις κατάλληλες ενέργειες σε περιβάλλον Matlab αρχικά επεξεργάστηκαν τα δορυφορικά δεδομένα καμένων εκτάσεων και με την χρήση των ορίων για κάθε νομό από το ENUTS3, δημιουργήθηκαν στο Excel πίνακες δεδομένων καμένων εκτάσεων για κάθε έτος και κάθε νομό με όμοιο τρόπο όπως και για την περίπτωση των δεδομένων της πυροσβεστικής υπηρεσίας. Σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι έγινε και η κατάλληλη προσαρμογή των δεδομένων στο κατάλληλο grid size λαμβάνοντας υπόψη το βαθμό διακριτοποίησης των δορυφορικών δεδομένων.

A/A	Attiki	Lesvos, Lemnos	Icaria, Samos	Chios	Kalymnos, Karpathos, Kos, Rhodes
2001	268.322998	10679.26758	0	0	0
2002	0	0	0	0	24685.74414
2003	1287.951965	24685.74414	2468.573975	0	13308.83398
2004	9605.974121	8854.666992	0	0	12772.18945
2005	14328.46423	0	0	0	13416.16406
2006	3863.854004	0	0	0	52001.0625
2007	97455.0332	0	0	3434.538	27046.98828
2008	37672.59119	10410.94238	0	2629.568	140064.7813
2009	223352.3459	536.6459961	0	0	11537.90234
2010	25651.7085	2629.568115	12503.86719	0	4400.500977
2011	751.3049927	19802.25977	0	1878.263	697.6400146
2012	43629.37531	3380.873047	0	46097.95	10303.61328
2013	14918.77466	3488.202881	0	53.664	59406.78516
2014	536.6459961	429.3169861	0	0	15401.75879
2015	61499.70898	5849.446777	0	0	7781.375977
2016	16743.37451	3702.861084	0	44810	33647.74219
2017	16421.38721	0	0	0	10142.62109
2018	21304.87061	0	0	0	1180.621948
2019	4239.50824	0	0	0	16475.05273
2020	7727.711182	3488.200928	1073.292969	0	2039.256958

Σχήμα 12: Τμήμα πίνακα δορυφορικών δεδομένων συνολικών καμένων εκτάσεων ανά έτος και νομό (στρέμματα)

Ομοίως και με τις κατάλληλες εντολές δημιουργήθηκαν και οι αντίστοιχοι πίνακες για τα δορυφορικά δεδομένα για τις χρονικές περιόδους Ιουλίου – Αυγούστου και Μαΐου – Σεπτεμβρίου.

Έπειτα δημιουργήθηκαν χάρτες για όλο τον ελληνικό χώρο στους οποίους για κάθε εποχική ανάλυση, αποτυπώνονται οι συνολικές καμένες εκτάσεις για κάθε νομό σε απόλυτα νούμερα και σε μονάδες στρεμμάτων και για τα δύο σετ δεδομένων. Επίσης έχει υπολογιστεί η ποσοστιαία διαφορά τους για κάθε εποχική ανάλυση και παρουσιάζεται σε αντίστοιχους χάρτες.

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την σχέση του συντελεστή συσχέτισης κατά Pearson, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υπολογίζονται οι συντελεστές συσχέτισης για τα δορυφορικά και επίγεια δεδομένα συνολικά για κάθε νομό για το σύνολο της εικοσαετίας και αναπαριστούνται στο σχετικό διάγραμμα. Έτσι αργότερα θα μπορεί να παρατηρηθεί και να σχολιαστεί ο βαθμός συσχέτισης των επιμέρους μεθόδων και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Ακολουθεί ο υπολογισμός του average mean bias (μέσου απόλυτου σφάλματος) μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και επίγειων δεδομένων πυροσβεστικής υπηρεσίας για εξαγωγή συμπερασμάτων ομοίως.

Τέλος δημιουργούνται και διαγράμματα για κάθε νομό ξεχωριστά στα οποία εμπεριέχονται και παρουσιάζονται ταυτόχρονα οι συνολικές τιμές καμένων εκτάσεων για κάθε έτος της εικοσαετίας, πάλι σε στρέμματα, για τα δορυφορικά δεδομένα (σημεία με τη μορφή μπλε αστεριών) και τα δεδομένα της πυροσβεστικής

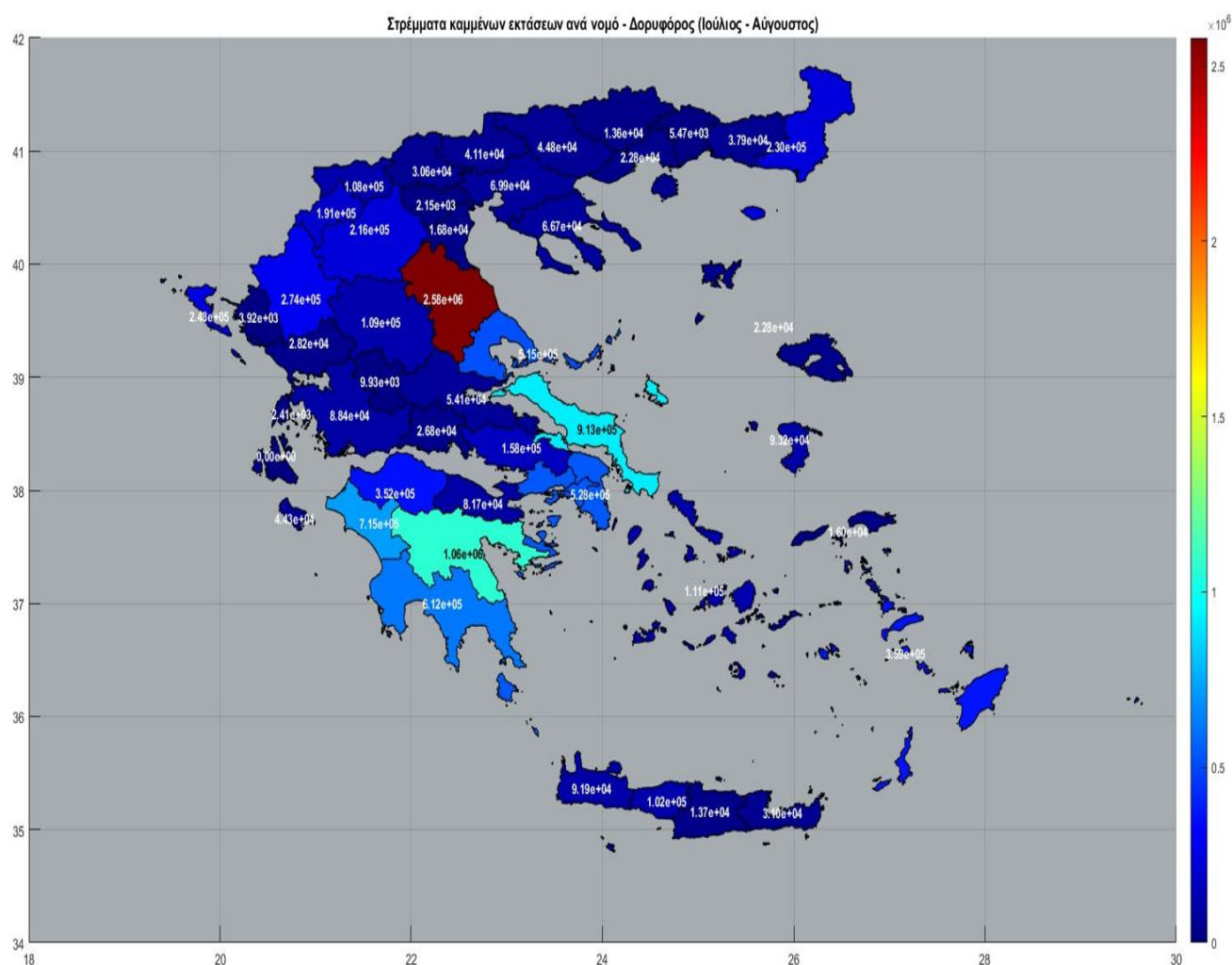
(σημεία με τη μορφή κόκκινων κύκλων). Παρατηρώντας τα ο αναγνώστης μπορεί να σχηματίσει αντιπροσωπευτική εικόνα για την συμπεριφορά κάθε μεθόδου για κάθε νομό και κάθε έτος.

Στην ενότητα των συμπερασμάτων που ακολουθεί γίνεται περιγραφή των αποτελεσμάτων, σχολιασμός και συμπεράσματα όπως αυτά προκύπτουν από τα αποτελέσματα. Επίσης για την περίπτωση των διαγραμμάτων κάθε νομού για όλη την εικοσαετία με την αναπαράσταση με σημεία για τις δύο μεθόδους και για λόγους παρουσίασης, καθώς το πλήθος τους είναι μεγάλο, θα παρατίθενται στο παράρτημα στο τέλος της εργασίας. Ενδεικτικά όμως θα πραγματοποιηθεί σχολιασμός των διαγραμμάτων, ως case study, για επιλεγμένες περιπτώσεις 4 νομών όπου παρουσιάζουν ειδικό ενδιαφέρον.

Αποτελέσματα

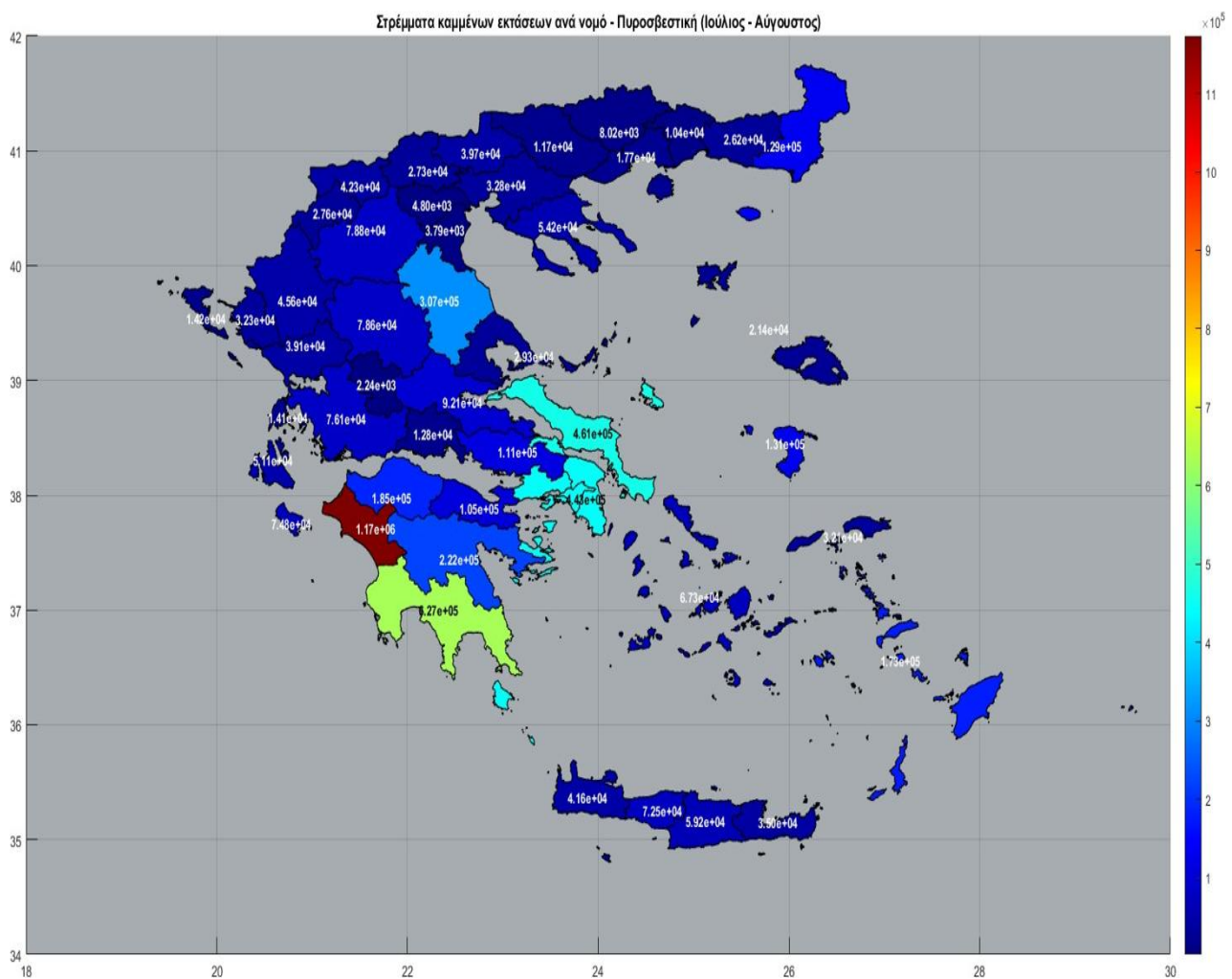
Για τη χρονική περίοδο που πραγματεύεται η παρούσα εργασία (2001-2020) και σύμφωνα με τα αποτελέσματα που εξήχθησαν θα ακολουθήσει παρουσίαση τους με έμφαση σε τρεις εποχικές αναλύσεις, εκ των οποίων δύο με ιδιαίτερη έμφαση στην περίοδο κορύφωσης των δασικών πυρκαγιών και πιο συγκεκριμένα Ιούλιο – Αύγουστο, στη συνέχεια μια διευρυμένη περίοδο εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών που εκτείνεται από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο και τέλος για το σύνολο των μηνών. Με αυτόν τον τρόπο θα καταστεί δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για τις εποχικές αναλύσεις μέσα στο ημερολογιακό έτος που παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στη παρούσα εργασία.

Για κάθε μια από τις εποχικές αναλύσεις θα παρουσιαστούν 3 χάρτες καμένων εκτάσεων ανά νομό για τα δορυφορικά δεδομένα, τα δεδομένα της πυροσβεστικής υπηρεσίας και της ποσοστιαίας διαφοράς τους. Οι μονάδες τους όπως θα αναγράφεται θα είναι σε στρέμματα καμένων εκτάσεων και η χρωματική αντιστοίχιση της τάξης μεγέθους για τις τιμές αυτές θα είναι και ορατή σε αντίστοιχες χρωματικές κλίμακες στο δεξί μέρος των χαρτών, όπως φαίνονται και στο σχήμα 13.



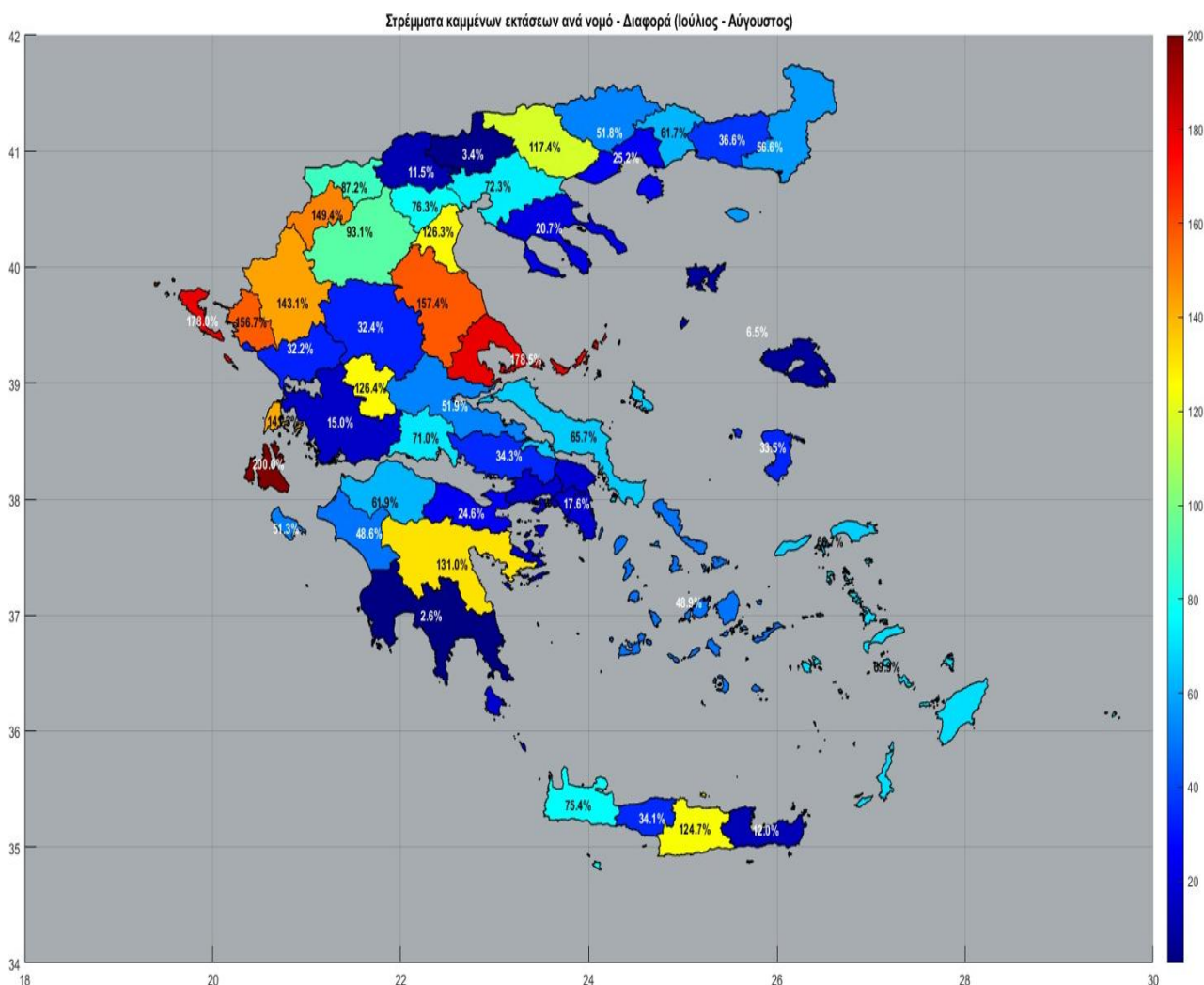
Σχήμα 13: Στρέμματα καμένων εκτάσεων από τα δορυφορικά δεδομένα για τους μήνες Ιούλιο – Αύγουστο.

Από το σχήμα 13 παρατηρείται ότι για το διάστημα Ιουλίου – Αυγούστου ο δορυφόρος εντοπίζει συγκριτικά χαμηλότερες τιμές καμένων εκτάσεων στους νομούς της Κρήτης, Κυκλάδων, Κορινθίας, Φωκίδας, Φθιώτιδας, Ευρυτανίας, Άρτας – Πρέβεζας, Θεσπρωτίας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας, Λευκάδας καθώς και τους νομούς της Μακεδονίας, Ξάνθης και Θράκης. Έπονται με σχετικά αυξημένες τιμές οι νομοί Μεσσηνίας – Λακωνίας, Αρκαδίας – Αργολίδας, Ηλείας, Αχαΐας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Αττικής, Ιωαννίνων, Γρεβενών – Κοζάνης, Καστοριάς, Δωδεκανήσων και Έβρου. Τέλος οι σημαντικά μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στο νομό Λάρισας με το έντονα κόκκινο χρώμα όπως φαίνεται και στην εικόνα.



Σχήμα 14: Στρέμματα καμένων εκτάσεων από τα δεδομένα της πυροσβεστικής για τους μήνες Ιούλιο – Αύγουστο.

Από το σχήμα 14 παρατηρείται ότι για το διάστημα Ιουλίου – Αυγούστου η πυροσβεστική υπηρεσία έχει καταγράψει συγκριτικά χαμηλότερες τιμές καμένων εκτάσεων στους νομούς της Κρήτης, Κυκλάδων, Σάμου, Λέσβου, Κορινθίας, Φωκίδας, Ευρυτανίας, Μαγνησίας, Ιονίου, Ηπείρου, Μακεδονίας, Ξάνθης και Ροδόπης. Έπονται με σχετικά αυξημένες τιμές οι νομοί Δωδεκανήσου, Αρκαδίας – Αργολίδας, Αχαΐας, Αττικής, Βοιωτίας, Φθιώτιδας, Αιτωλοακαρνανίας, Λάρισας, Καρδίτσας – Τρικάλων, Κοζάνης, Γρεβενών και Έβρου. Τέλος οι σημαντικά μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στους νομούς Μεσσηνίας – Λακωνίας και πιο έντονα στο νομό Ηλείας.



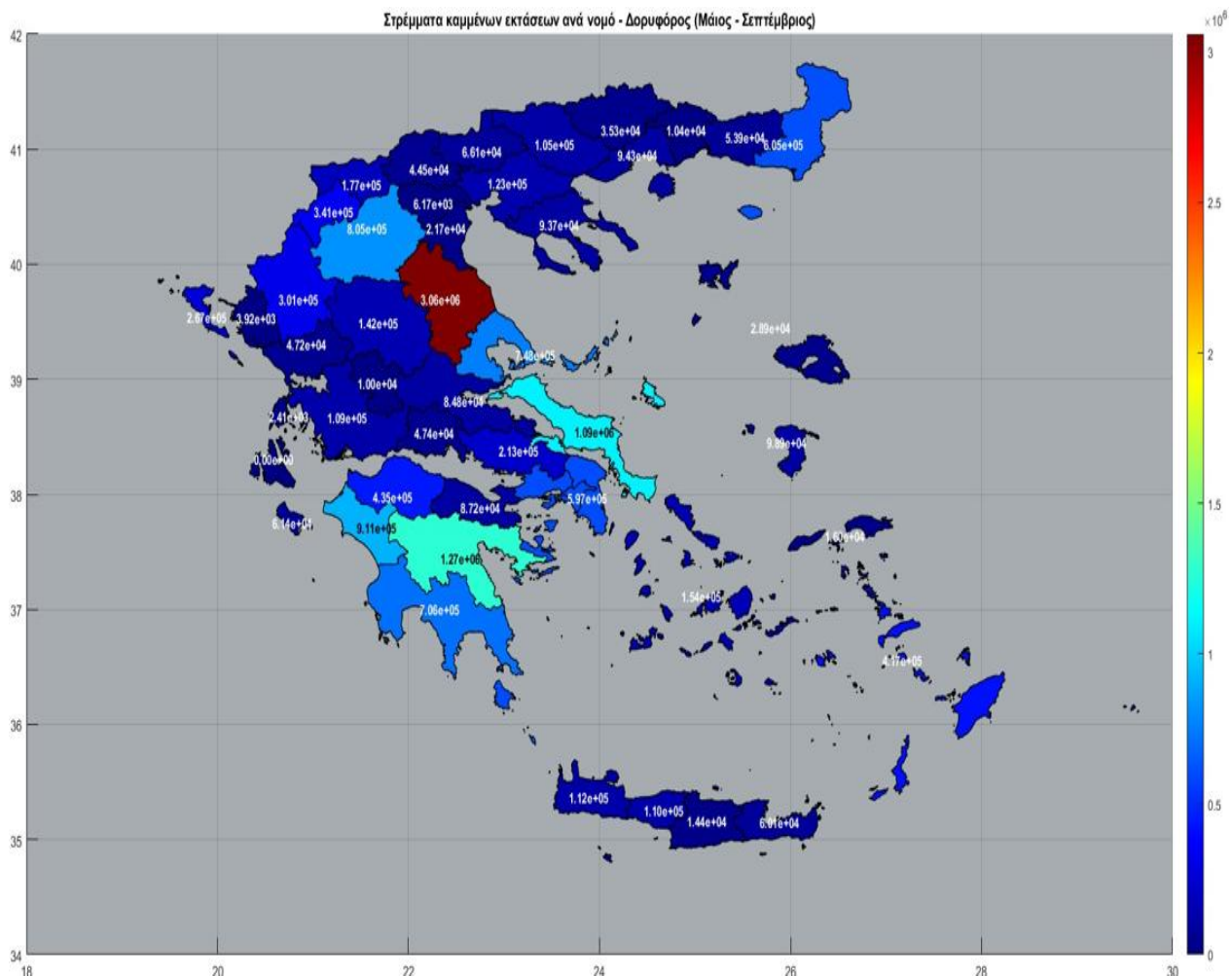
Σχήμα 15: Ποσοστιαία διαφορά καμένων εκτάσεων μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων της πυροσβεστικής για τους μήνες Ιούλιο – Αύγουστο.

Από το σχήμα 15 προκύπτει ο παρακάτω πίνακας για το διάστημα Ιουλίου – Αυγούστου. Στον πίνακα επισημαίνεται σε ποια πηγή δεδομένων παρατηρούνται οι μεγαλύτερες ποσοστιαίες διαφορές για κάθε νομό και με χρωματισμό του κάθε κελιού για τα απόλυτα ποσοστιαία μεγέθη να συνάδει με τα χρώματα των νομών στον χάρτη. Η εικόνα που διαμορφώνεται είναι ως εξής:

Πίνακας 1: Ποσοστιαίες διαφορές καμένων εκτάσεων μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων της πυροσβεστικής για τους μήνες Ιούλιο – Αύγουστο. Ποσοστά με χρωματική απεικόνιση.

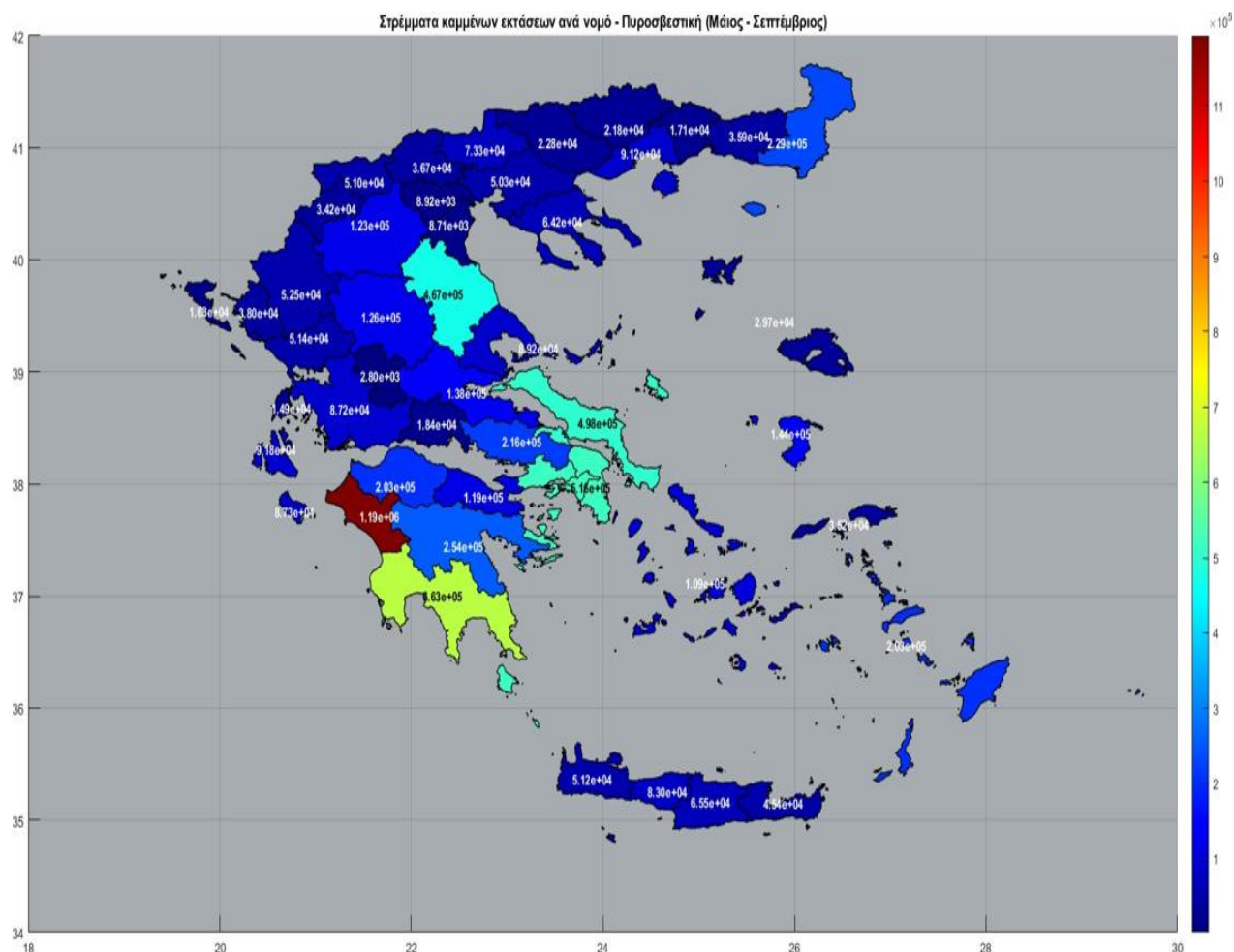
Νομός	Δορυφόρος	Πυροσβεστική
Αττική	17.6%	
Λέσβος,Λίμνος	6.5%	
Ικαρία, Σάμος		66.7%
Χίος		33.4 %
Κάλυμνος,Κάρπαθος,Κως,Ρόδος	69.9%	
Κυκλάδες	48.9%	
Ηράκλειο		124.6%
Λασιθί	12%	

Ρέθυμνο	34.1%	
Χανιά	75.3%	
Έβρος	56.6%	
Ξάνθη		61.6%
Ροδόπη	36.6%	
Δράμα	51.8%	
Θάσος,Καβάλα	25.2%	
Ιμαθία		76.3%
Θεσσαλονίκη	72.2%	
Κικλίσ	3.3%	
Πέλλα	11.4%	
Πιερία	126.3%	
Σέρρες	117.3%	
Χαλκιδική	20.6%	
Γρεβενά,Κοζάνη	93%	
Καστοριά	149.4%	
Φλώρινα	87.1%	
Άρτα, Πρέβεζα		32.2%
Θεσπρωτία		156.7%
Ιωάννινα	143%	
Καρδίτσα,Τρίκαλα	32.3%	
Λάρισα	157.4%	
Μαγνησία,Σποράδες	178.4%	
Ζάκυνθος		51.2%
Κέρκυρα	177.9%	
Ιθάκη,Κεφαλληνία		200%
Λεφκάδα		141.3%
Αιτωλωακαρνανία	14.9%	
Αχαΐα	61.8%	
Ηλεία		48.5%
Βοιωτία	34.2%	
Εύβοια	65.6%	
Εβρυτανία	126.3%	
Φθιώτιδα		51.9%
Φωκίδα	70.9%	
Αργολίδα,Αρκαδία	131%	
Κορινθία		24.5%
Λακωνία,Μεσσηνία		2.5%



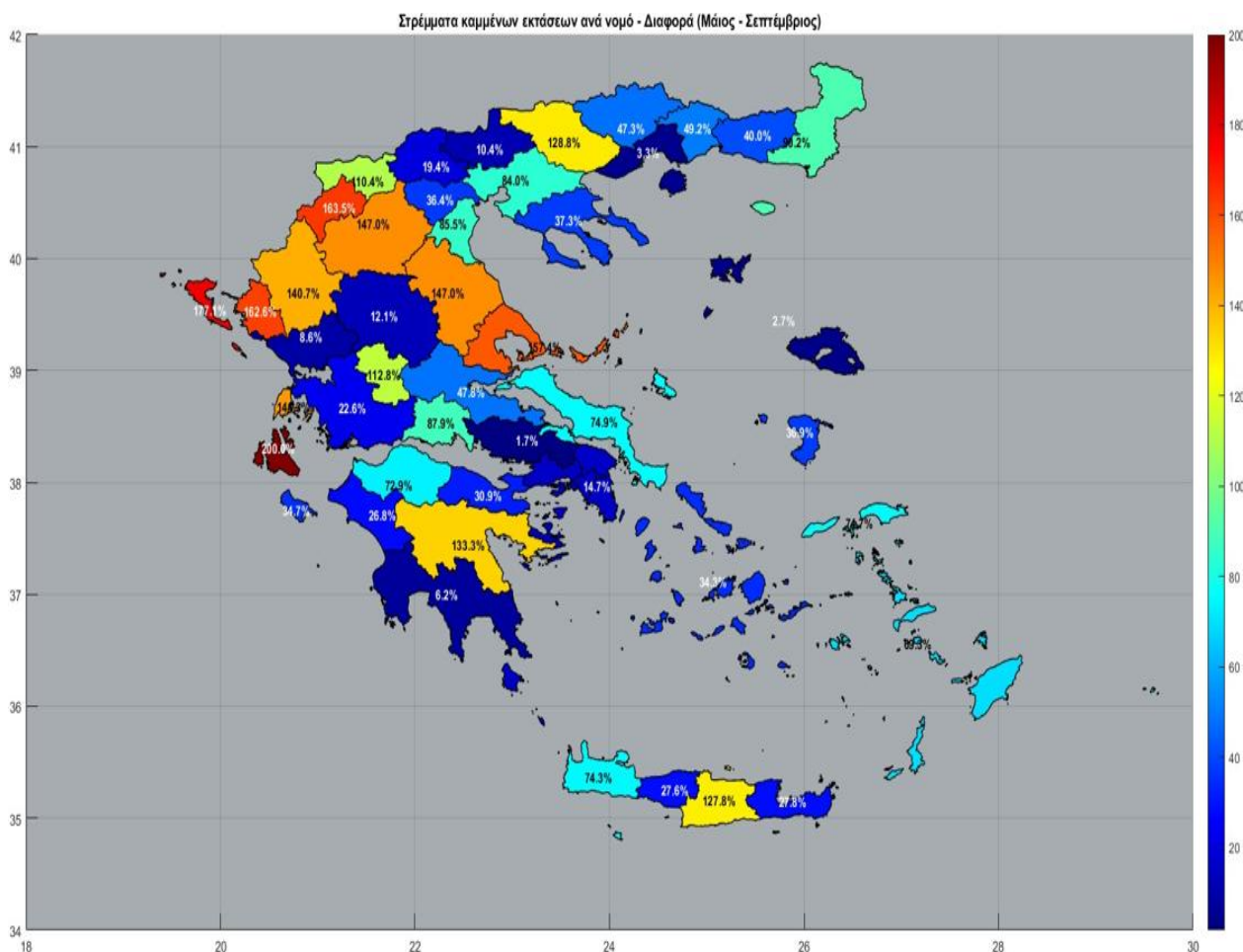
Σχήμα 16: Στρέμματα καμένων εκτάσεων από τα δορυφορικά δεδομένα για τους μήνες Μάιο - Σεπτέμβριο

Από το σχήμα 16 παρατηρείται ότι για το διάστημα Μαΐου – Σεπτεμβρίου ο δορυφόρος εντοπίζει συγκριτικά χαμηλότερες τιμές καμένων εκτάσεων στους νομούς της Κρήτης, Κυκλάδων, Κορινθίας, Φωκίδας, Φθιώτιδας, Ευρυτανίας, Άρτας – Πρέβεζας, Θεσπρωτίας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας, Λευκάδας καθώς και τους νομούς της Μακεδονίας, Ξάνθης και Θράκης. Έπονται με σχετικά αυξημένες τιμές οι νομοί Μεσσηνίας – Λακωνίας, Αρκαδίας – Αργολίδας, Ηλείας, Αχαΐας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Αττικής, Ιωαννίνων, Γρεβενών – Κοζάνης, Καστοριάς, Δωδεκανήσων και Έβρου. Τέλος οι σημαντικά μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στο νομό Λάρισας με το έντονα κόκκινο χρώμα όπως φαίνεται και στην εικόνα.



Σχήμα 17: Στρέμματα καμένων εκτάσεων από τα δεδομένα της πυροσβεστικής για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο.

Από το σχήμα 17 παρατηρείται ότι για το διάστημα Ιουλίου – Αυγούστου η πυροσβεστική υπηρεσία έχει καταγράψει συγκριτικά χαμηλότερες τιμές καμένων εκτάσεων στους νομούς της Κρήτης, Κυκλάδων, Σάμου, Λέσβου, Κορινθίας, Φωκίδας, Ευρυτανίας, Μαγνησίας, Ιονίου, Ηπείρου, Μακεδονίας, Ξάνθης και Ροδόπης. Έπονται με σχετικά αυξημένες τιμές οι νομοί Δωδεκανήσου, Αρκαδίας – Αργολίδας, Αχαΐας, Αττικής, Βοιωτίας, Φθιώτιδας, Αιτωλοακαρνανίας, Λάρισας, Καρδίτσας – Τρικάλων, Κοζάνης, Γρεβενών και Έβρου. Τέλος οι σημαντικά μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στους νομούς Μεσσηνίας – Λακωνίας και πιο έντονα στο νομό Ηλείας.



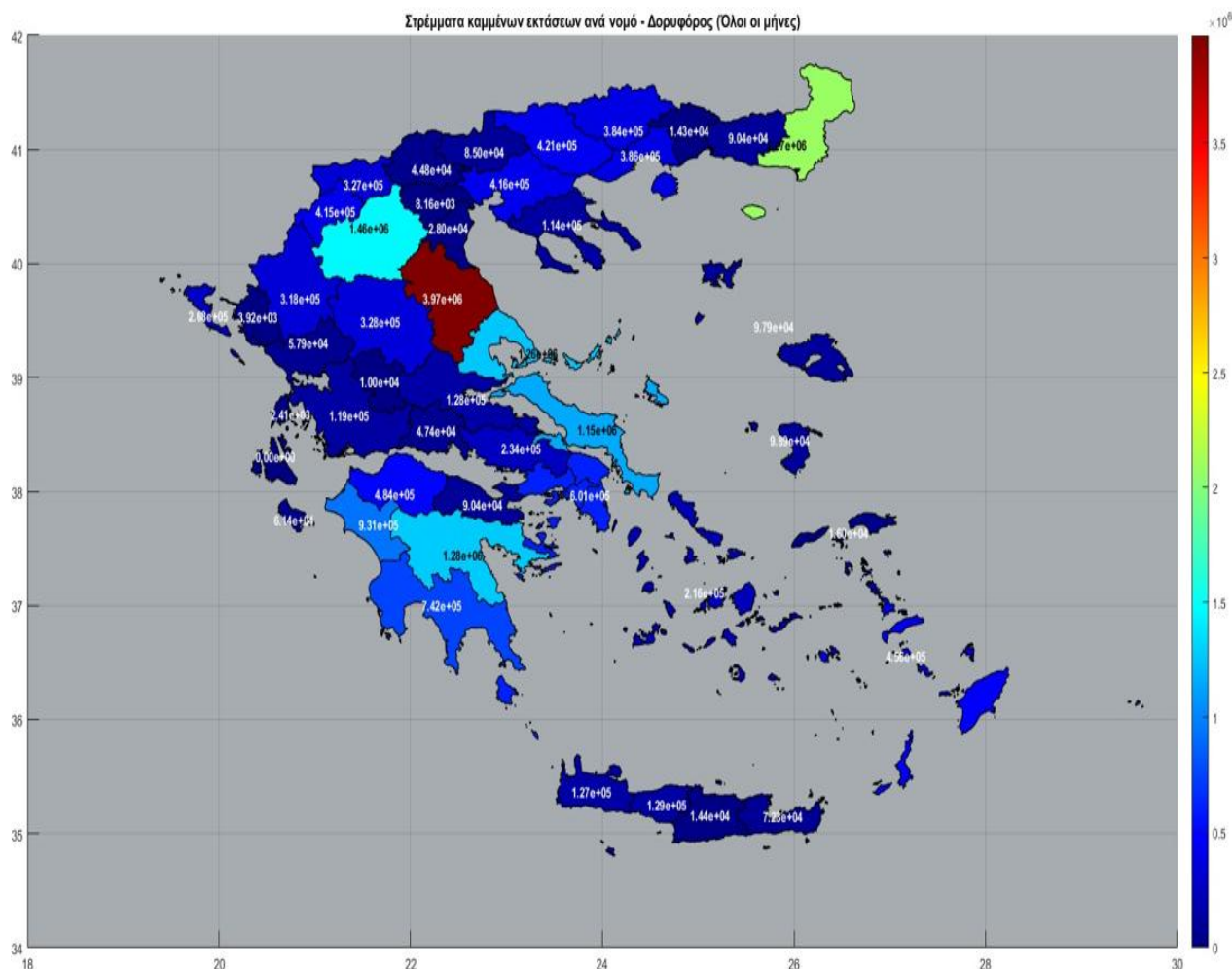
Σχήμα 18: Ποσοστιαία διαφορά καμένων εκτάσεων μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων της πυροσβεστικής για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο.

Από το σχήμα 18 προκύπτει ο παρακάτω πίνακας για το διάστημα Μαΐου – Σεπτεμβρίου. Στον πίνακα επισημαίνεται σε ποια πηγή δεδομένων παρατηρούνται οι μεγαλύτερες ποσοστιαίες διαφορές για κάθε νομό και με χρωματισμό του κάθε κελιού για τα απόλυτα ποσοστιαία μεγέθη να συνάδει με τα χρώματα των νομών στον χάρτη. Η εικόνα που διαμορφώνεται είναι ως εξής:

Πίνακας 2: Ποσοστιαίες διαφορές καμένων εκτάσεων μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων της πυροσβεστικής για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο. Ποσοστά με χρωματική απεικόνιση.

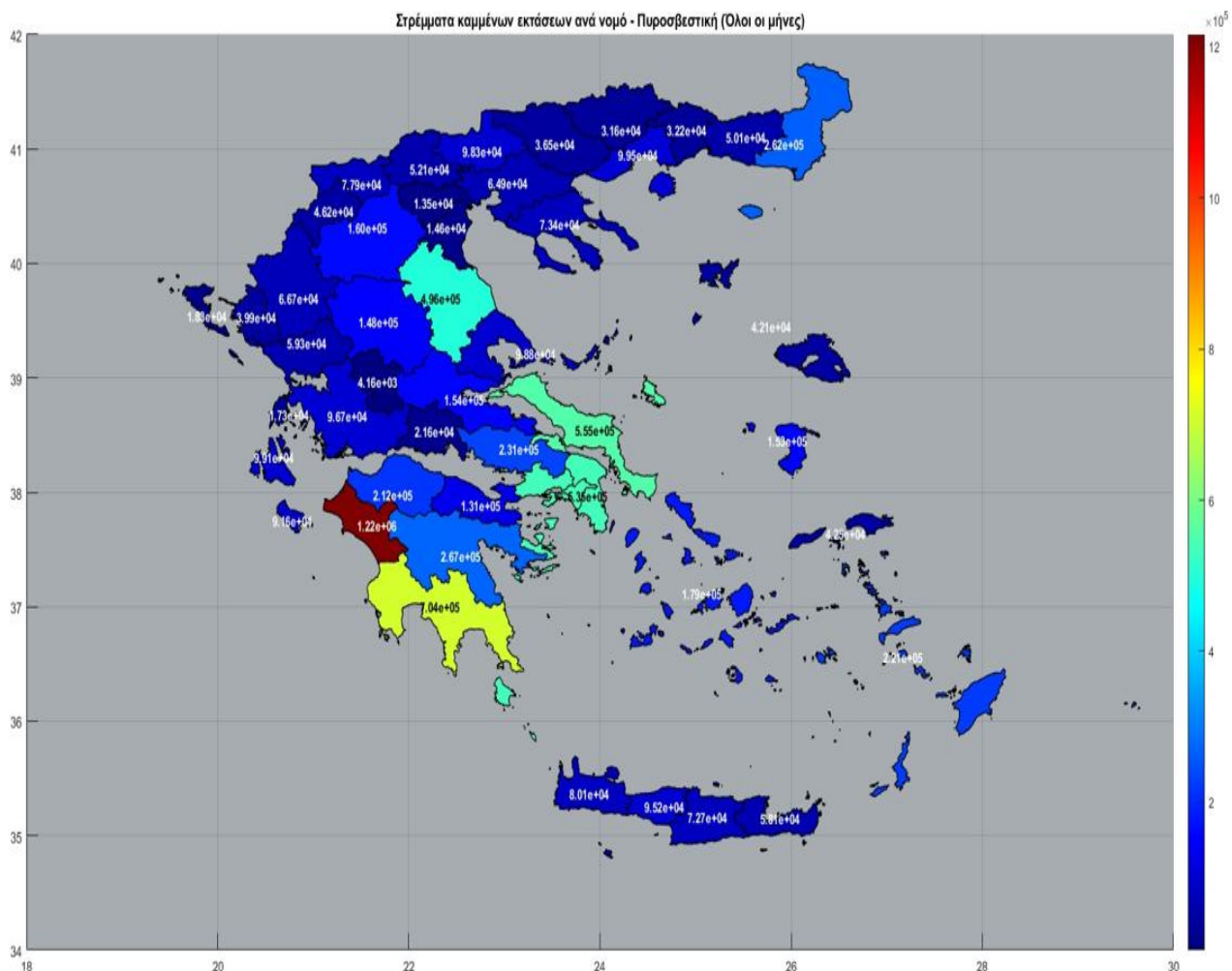
Νομός	Δορυφόρος	Πυροσβεστική
Αττική		14.6%
Λέσβος,Λίμνος		2.7%
Ικαρία, Σάμος		74.6%
Χίος		36.9%
Κάλυμνος,Κάρπαθος,Κως,Ρόδος	69.3%	
Κυκλάδες	34.2%	
Ηράκλειο		127.8%
Λασιθί	27.8%	
Ρέθυμνο	27.6%	
Χανιά	74.3%	
Έβρος	90.1%	

Ξάνθη		49.2%
Ροδόπη	40%	
Δράμα	47.3%	
Θάσος,Καβάλα	3.3%	
Ιμαθία		36.3%
Θεσσαλονίκη	84%	
Κικλίσ		10.3%
Πέλλα	19.4%	
Πιερία	85.5%	
Σέρρες	128.8%	
Χαλκιδική	37.3%	
Γρεβενά,Κοζάνη	146.9%	
Καστοριά	163.4%	
Φλώρινα	110.4%	
Άρτα, Πρέβεζα		8.5%
Θεσπρωτία		162.6%
Ιωάννινα	140.6%	
Καρδίτσα,Τρίκαλα	12%	
Λάρισα	147%	
Μαγνησία,Σποράδες	157.3%	
Ζάκυνθος		34.7%
Κέρκυρα	177%	
Ιθάκη,Κεφαλληνία		200%
Λεφκάδα		144.3%
Αιτωλακαρνανία	22.5%	
Αχαΐα	72.8%	
Ηλεία		26.8%
Βοιωτία		1.6%
Εύβοια	74.9%	
Εβρυτανία	112.7%	
Φθιώτιδα		47.8%
Φωκίδα	87.9%	
Αργολίδα,Αρκαδία	133.3%	
Κορινθία		30.9%
Λακωνία,Μεσσηνία	6.2%	



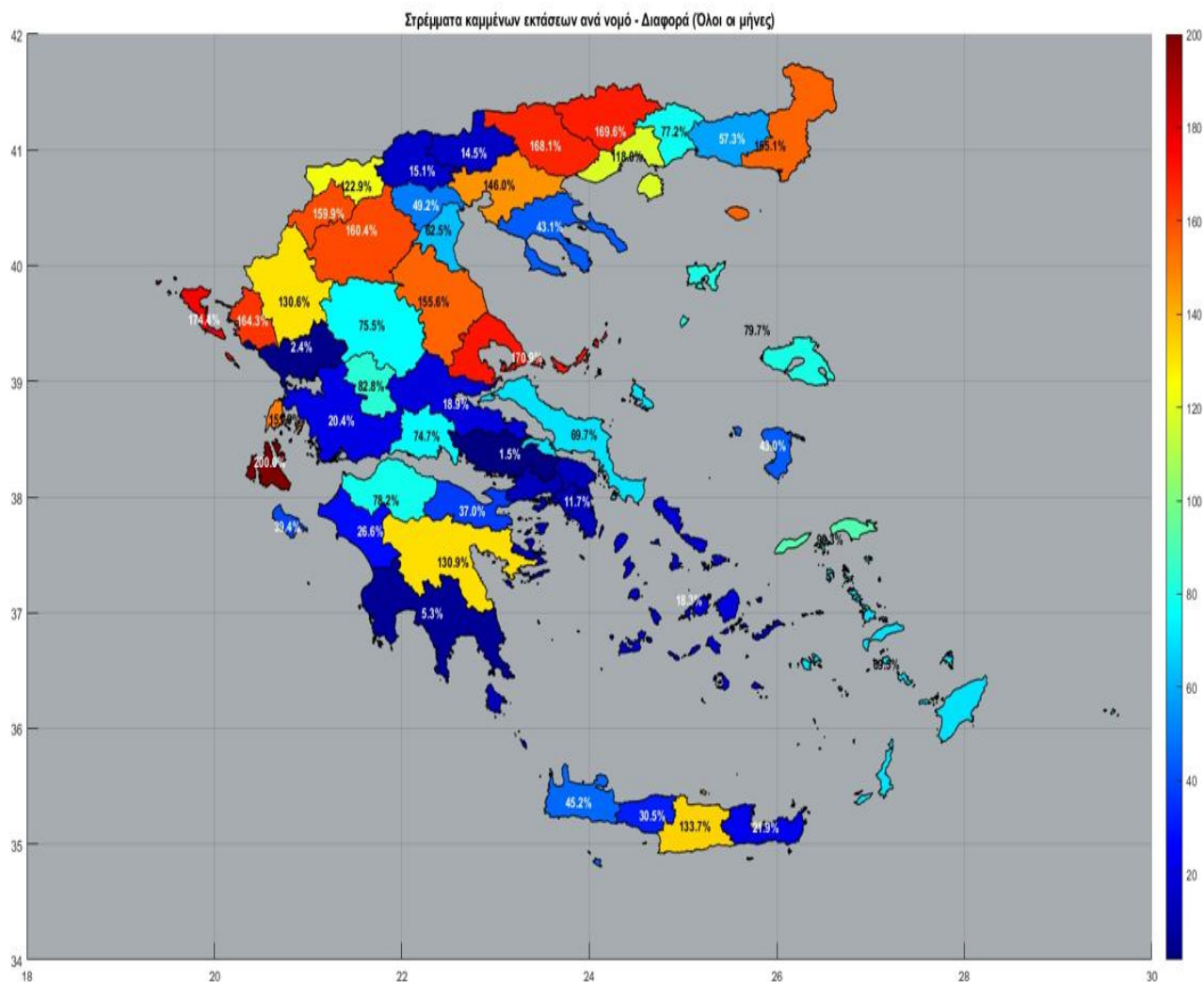
Σχήμα 19: Στρέμματα καμένων εκτάσεων από τα δορυφορικά δεδομένα για όλους τους μήνες

Από το σχήμα 19 παρατηρείται ότι για το όλων των μηνών των ετών ο δορυφόρος εντοπίζει συγκριτικά χαμηλότερες τιμές καμένων εκτάσεων στους νομούς της Κρήτης, Κυκλάδων, Κορινθίας, Φωκίδας, Φθιώτιδας, Ευρυτανίας, Άρτας – Πρέβεζας, Θεσπρωτίας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας, Λευκάδας καθώς και τους νομούς της Μακεδονίας, Ξάνθης και Θράκης. Έπονται με σχετικά αυξημένες τιμές οι νομοί Μεσσηνίας – Λακωνίας, Αρκαδίας – Αργολίδας, Ηλείας, Αχαΐας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Αττικής, Ιωαννίνων, Γρεβενών – Κοζάνης, Καστοριάς και Δωδεκανήσων. Τέλος οι σημαντικά μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στους νομούς Έβρου με πράσινο προς κίτρινο χρώμα και Λάρισας με το έντονα κόκκινο χρώμα όπως φαίνεται και στην εικόνα.



Σχήμα 20: Στρέμματα καμένων εκτάσεων από τα δεδομένα της πυροσβεστικής για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο.

Από το σχήμα 20 παρατηρείται ότι για το διάστημα όλων των μηνών των ετών η πυροσβεστική υπηρεσία έχει καταγράψει συγκριτικά χαμηλότερες τιμές καμένων εκτάσεων στους νομούς της Κρήτης, Κυκλάδων, Σάμου, Λέσβου, Κορινθίας, Φωκίδας, Ευρυτανίας, Μαγνησίας, Ιονίου, Ηπείρου, Μακεδονίας, Ξάνθης και Ροδόπης. Έπονται με σχετικά αυξημένες τιμές οι νομοί Δωδεκανήσου, Αρκαδίας – Αργολίδας, Αχαΐας, Αττικής, Βοιωτίας, Φθιώτιδας, Αιτωλοακαρνανίας, Λάρισας, Καρδίτσας – Τρικάλων, Κοζάνης, Γρεβενών και Έβρου. Τέλος οι σημαντικά μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται στους νομούς Μεσσηνίας – Λακωνίας και πιο έντονα στο νομό Ηλείας.



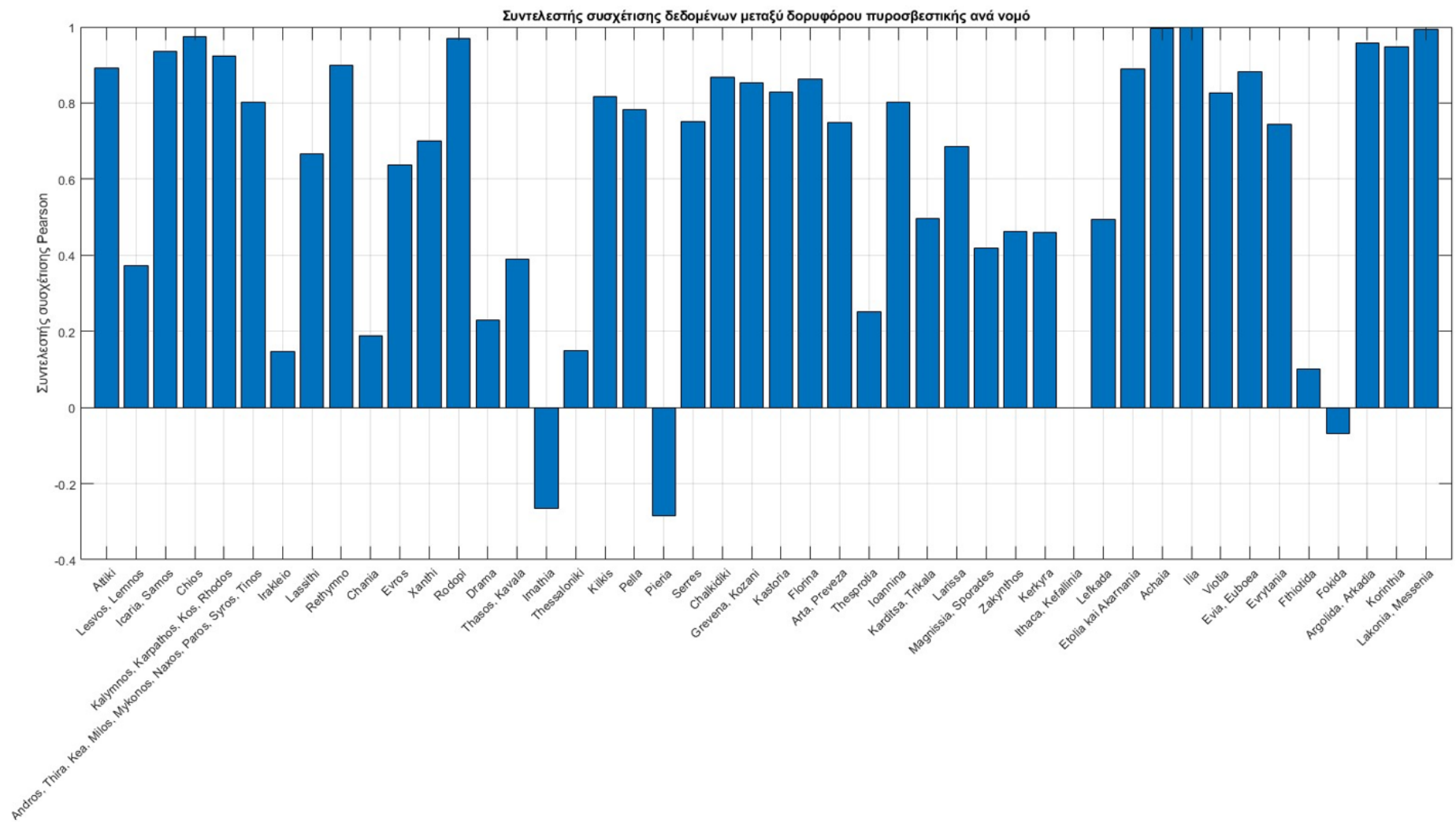
Σχήμα 21: Ποσοστιαία διαφορά καμένων εκτάσεων μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων της πυροσβεστικής για το διάστημα όλων των μηνών.

Από το σχήμα 21 προκύπτει ο παρακάτω πίνακας για το διάστημα όλων των μηνών. Στον πίνακα επισημαίνεται σε ποια πηγή δεδομένων παρατηρούνται οι μεγαλύτερες ποσοστιαίες διαφορές για κάθε νομό και με χρωματισμό του κάθε κελιού για τα απόλυτα ποσοστιαία μεγέθη να συνάδει με τα χρώματα των νομών στον χάρτη. Η εικόνα που διαμορφώνεται είναι ως εξής:

Πίνακας 3: Ποσοστιαίες διαφορές καμένων εκτάσεων μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων της πυροσβεστικής για το διάστημα όλων των μηνών. Ποσοστά με χρωματική απεικόνιση.

Νομός	Δορυφόρος	Πυροσβεστική
Αττική		11.7%
Λέσβος,Λίμνος	79.7%	
Ικαρία, Σάμος		90.3%
Χίος		43%
Κάλυμνος,Κάρπαθος,Κως,Ρόδος	69.5%	
Κυκλάδες	18.3%	
Ηράκλειο		133.7%
Λασιθί	21.9%	
Ρέθυμνο	30.5%	

Χανιά	45.2%	
Έβρος	155.1%	
Ξάνθη		77.2%
Ροδόπη	57.3%	
Δράμα	169.6%	
Θάσος,Καβάλα	118%	
Ιμαθία		49.2%
Θεσσαλονίκη	146%	
Κικλίσ		14.5%
Πέλλα		15.1%
Πιερία	62.5%	
Σέρρες	168.1%	
Χαλκιδική	43.1%	
Γρεβενά,Κοζάνη	160.4%	
Καστοριά	159.9%	
Φλώρινα	122.9%	
Άρτα, Πρέβεζα		2.4%
Θεσπρωτία		164.3%
Ιωάννινα	130.6%	
Καρδίτσα,Τρίκαλα	75.5%	
Λάρισα	155.6%	
Μαγνησία,Σποράδες	170.9%	
Ζάκυνθος		39.4%
Κέρκυρα	174.4%	
Ιθάκη,Κεφαλληνία		200%
Λεφκάδα		151%
Αιτωλακαρνανία	20.4%	
Αχαΐα	78.2%	
Ηλεία		26.6%
Βοιωτία	1.5%	
Εύβοια	69.7%	
Εβρυτανία	82.8%	
Φθιώτιδα		18.9%
Φωκίδα	74.7%	
Αργολίδα,Αρκαδία	130.9%	
Κορινθία		37%
Λακωνία,Μεσσηνία	5.3%	



Σχήμα 22: Συντελεστής συσχέτισης Pearson για τις δύο πηγές δεδομένων

Στο σχήμα 22 παρουσιάζεται η εικόνα των συντελεστών συσχέτισης κατά Pearson για τις δύο μεθόδους για όλους τους νομούς της χώρας.

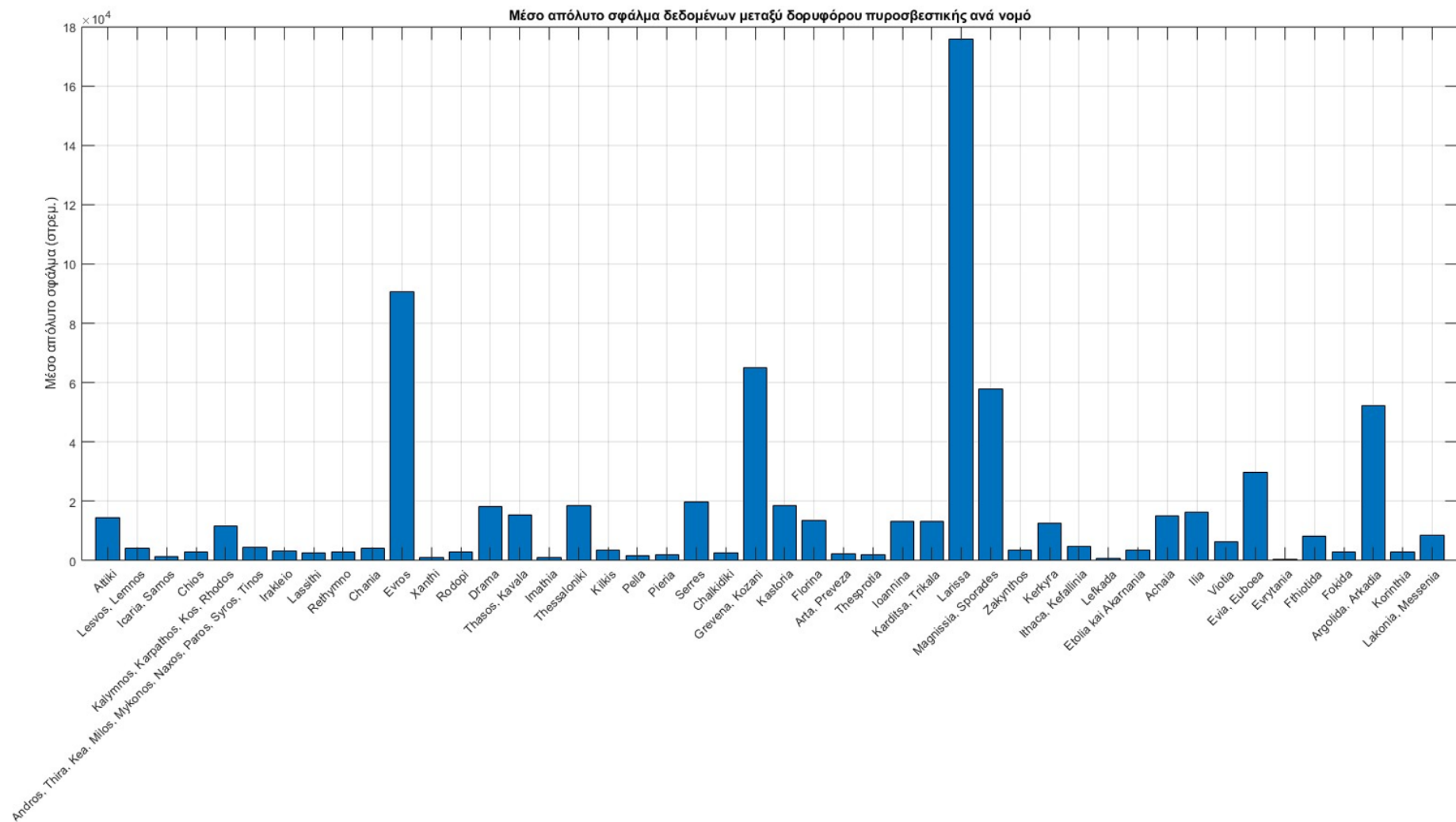
Από την παρατήρηση του προκύπτει ότι 21 νομοί παρουσιάζουν τιμές συσχέτισης άνω του 0,8. Όπως αναφέρθηκε και σε παραπάνω ενότητα σχετικά με τον συντελεστή συσχέτισης Pearson, για τιμές άνω του 0,8 έχουμε ισχυρό βαθμό συσχέτισης. Οι νομοί αυτοί συγκεκριμένα είναι οι εξής: Αττική, Σάμος-Ικαρία, Χίος, Δωδεκανήσων, Κυκλάδων, Ρέθυμνο, Ροδόπη, Κυκλίκις, Χαλκιδική, Γρεβενά-Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα, Ιωάννινα, Αιτωλοακαρνανία, Αχαΐα, Ηλεία, Βοιωτία, Εύβοια, Αργολίδα-Αρκαδία, Κορινθία, Λακωνία-Μεσσηνία.

Ακολουθώντας με ελαφρά χαμηλότερες τιμές και συνεπώς χαμηλότερο βαθμό συσχέτισης παρατηρούνται 10 νομοί με συντελεστές συσχέτισης από 0,5 έως 0,8 εκ των οποίων οι 8 είναι άνω του 0,6 και 2 είναι 0,5. Πιο συγκεκριμένα οι νομοί αυτοί είναι οι εξής: Λασιθί, Έβρος, Ξάνθη, Πέλλα, Σέρρες, Άρτα-Πρέβεζα, Καρδίτσα-Τρίκαλα, Λάρισα, Λευκάδα, Ευρυτανία.

Τέλος παρατηρούνται 11 νομοί με τιμές συντελεστή συσχέτισης κάτω του 0,5 και 3 νομοί με αρνητικές τιμές έως του -0,3. Οι νομοί αυτοί είναι οι εξής: Λέσβος-Λήμνος, Ηράκλειο, Χανιά, Δράμα, Καβάλα-Θάσος, Θεσσαλονίκη, Θεσπρωτία, Μαγνησία-Σποράδες, Ζάκυνθος, Κέρκυρα, Φθιώτιδα και Ημαθία, Πιερία και Φωκίδα αντίστοιχα για τις αρνητικές τιμές.

Από την παρατήρηση του σχήματος 23 μεταξύ δορυφορικών δεδομένων και δεδομένων πυροσβεστικής ανά νομό μπορούν να εντοπιστούν ορισμένες μόνο περιπτώσεις νομών όπου οι τιμές του σφάλματος αυτού είναι συγκριτικά υψηλότερες.

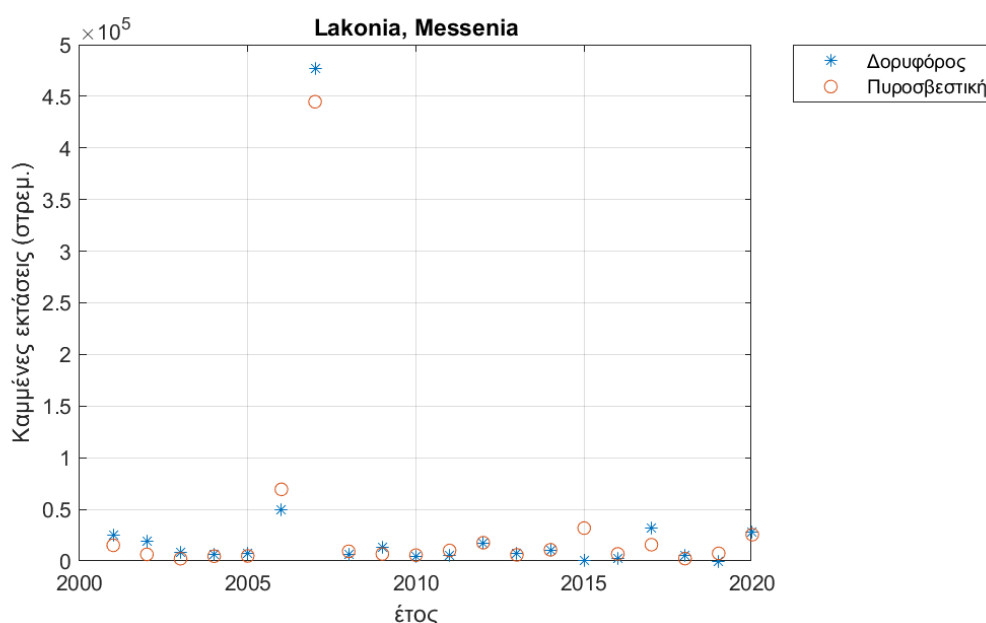
Η σημαντικά υψηλότερη τιμή μέσου απόλυτου σφάλματος παρατηρείται στον νομό Λάρισας. Με συγκριτικά χαμηλότερες τιμές ακολουθούν οι νομοί Έβρου, Γρεβενών-Κοζάνης, Μαγνησίας-Σποράδων, Εύβοιας και Αργολίδας-Αρκαδίας. Για όλους τους υπόλοιπους νομούς οι τιμές του μέσου απόλυτου σφάλματος είναι κατανοημένες αρκετά παραπλήσια μεταξύ τους, όπως είναι και εύκολα διακριτό στο εν λόγω σχήμα.



Σχήμα 23: Μέσο απόλυτο σφάλμα για τις δύο πηγές δεδομένων

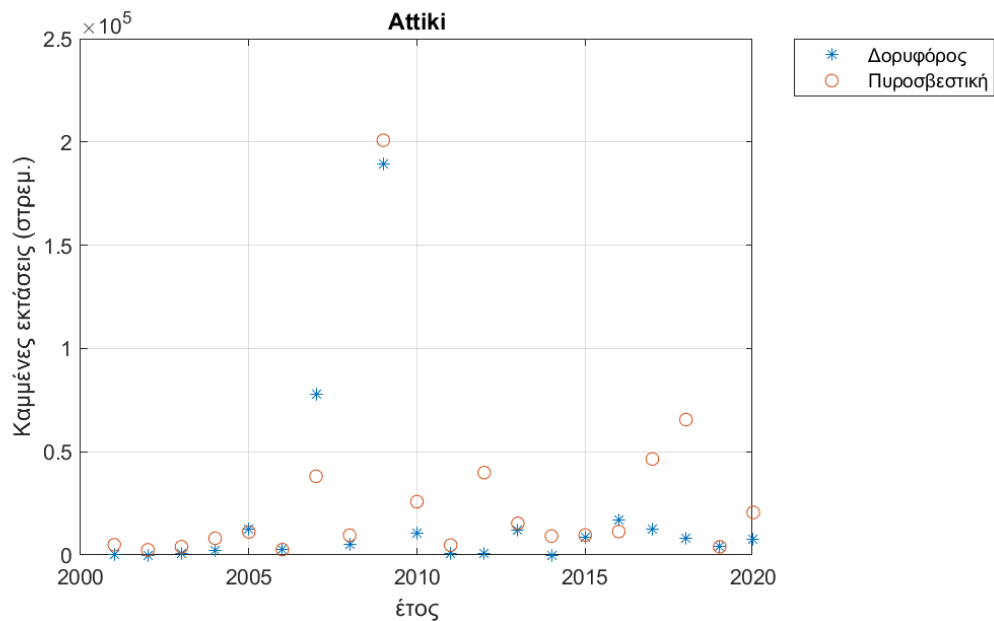
Ενδεικτικές Συγκρίσεις Νομών

Στην περίπτωση Μεσσηνίας-Λακωνίας από το σχήμα 24 που παραθέτει τις πηγές δεδομένων για όλα τα έτη ξεχωριστά, μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι τιμές των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων της πυροσβεστικής είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Ακόμα πιο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι αυτή η εικόνα παρατηρείται καθ' όλα τα έτη της μελέτης. Συνεπώς σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι δύο μέθοδοι συγκλίνουν ιδιαίτερα ικανοποιητικά. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την εικόνα του συντελεστή συσχέτισης κατά Pearson όπως έχει φανεί και στην ίδια ενότητα σε παραπάνω διάγραμμα.

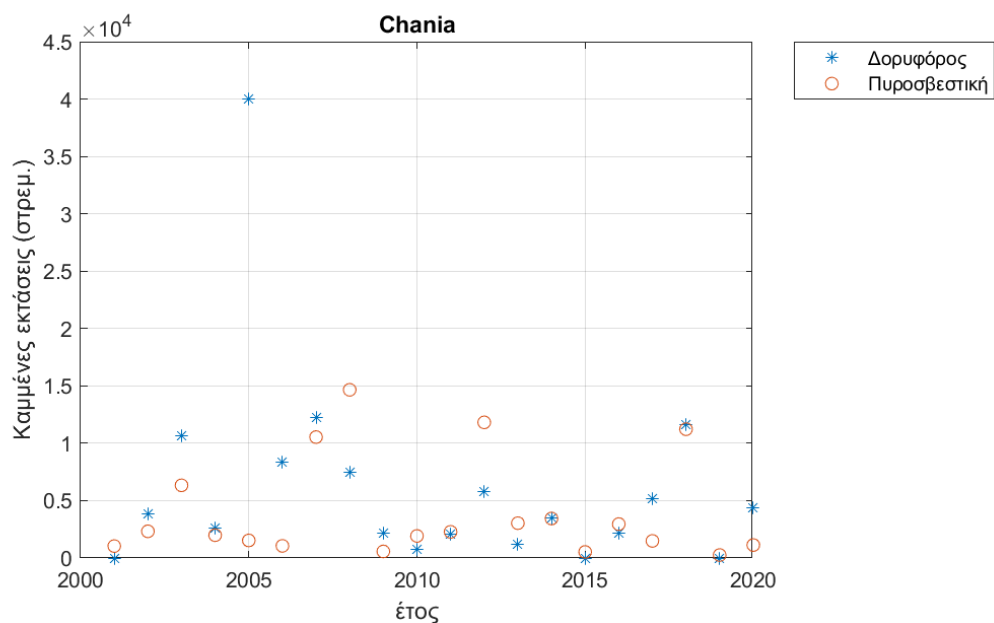


Σχήμα 24: Διάγραμμα πηγών δεδομένων για νομό Μεσσηνίας – Λακωνίας, για όλα τα έτη.

Στην περίπτωση του νομού Αττικής από το σχήμα 25 που παραθέτει τις πηγές δεδομένων για όλα τα έτη ξεχωριστά, μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι τιμές των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων της πυροσβεστικής συγκλίνουν αρκετά αρμονικά μεταξύ τους για τα περισσότερα έτη της μελέτης. Μόνο ορισμένα έτη εμφανίζουν κάποιες αποκλίσεις. Πιο συγκεκριμένα κατά τα έτη 2007, 2012, 2017 και 2018 παρατηρούνται κάποιες αποκλίσεις. Η συνολική εικόνα παρ' όλα αυτά εμφανίζει ικανοποιητική σύγκλιση και συνάδει με την πολύ υψηλή τιμή βαθμού συσχέτισης κατά Pearson, όπως φαίνεται και στο σχετικό παραπάνω διάγραμμα.



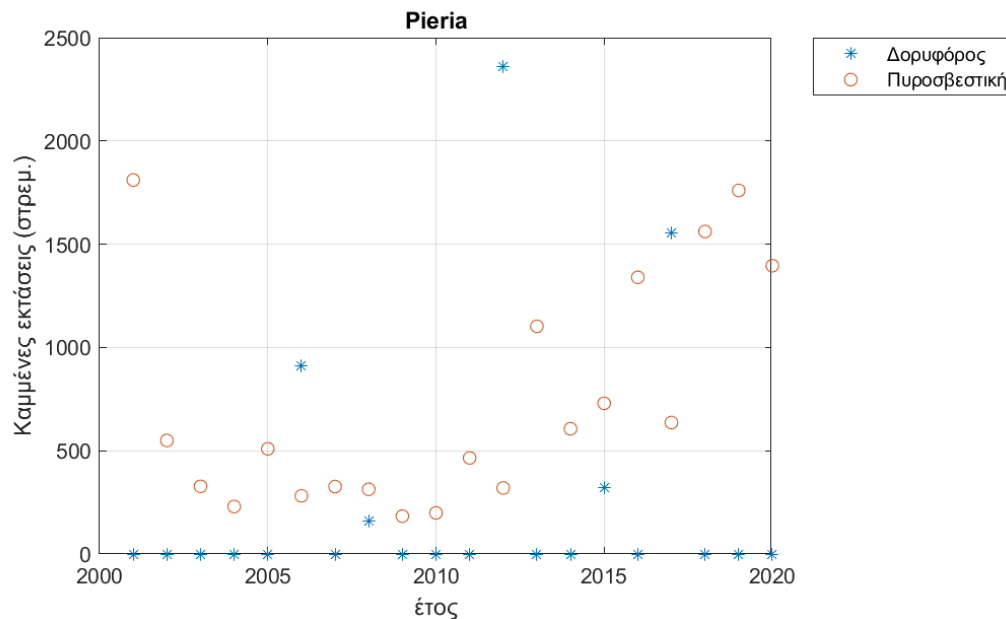
Σχήμα 25: Διάγραμμα πηγών δεδομένων για νομό Αττικής, για όλα τα έτη.



Σχήμα 26: Διάγραμμα πηγών δεδομένων για νομό Χανίων, για όλα τα έτη.

Στην περίπτωση του νομού Χανίων από το σχήμα 26 που παραθέτει τις πηγές δεδομένων για όλα τα έτη ξεχωριστά, μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι τιμές των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων της πυροσβεστικής συγκλίνουν για κάποια έτη ικανοποιητικά, εμφανίζοντας και παράλληλα κάποιες αποκλίσεις για ορισμένα έτη καθώς και πολύ υψηλή απόκλιση για ένα μεμονωμένο έτος. Πιο συγκεκριμένα τα έτη 2003, 2006, 2008, 2012 εμφανίζουν αυξημένες αποκλίσεις με το έτος 2005 να είναι το έτος με σημαντικά υψηλότερη απόκλιση. Έτσι με αυτή την εικόνα είναι εμφανές ότι για το νομό Χανίων η εικόνα είναι διαφορετική σε σχέση με τις 2 παραπάνω περιπτώσεις νομών, παρουσιάζοντας χαμηλότερο βαθμό σύγκλισης συνολικά για όλα τα έτη της μελέτης. Αυτή η εικόνα επιβεβαιώνεται και

από τον συντελεστή συσχέτισης κατά Pearson, όπου εμφανίζει χαμηλότερη τιμή στο σχετικό παραπάνω διάγραμμα, όπου έχει τιμή ελαφρώς χαμηλότερη του 0,2.



Σχήμα 27: Διάγραμμα πηγών δεδομένων για νομό Πιερίας, για όλα τα έτη.

Στην περίπτωση του νομού Πιερίας από το σχήμα 27 που παραθέτει τις πηγές δεδομένων για όλα τα έτη ξεχωριστά, μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι τιμές των δορυφορικών δεδομένων και των δεδομένων της πυροσβεστικής εμφανίζουν τελείως διαφορετική εικόνα σε σχέση με την εικόνα που παρουσιάζουν οι προηγούμενοι νομοί που εξετάστηκαν. Σε αυτήν την περίπτωση μόνο ορισμένα έτη παρουσιάζουν μια σχετική σύγκλιση ενώ για όλα τα υπόλοιπα έτη οι αποκλίσεις είναι σημαντικές με ορισμένα έτη να παρουσιάζουν ακόμα πιο έντονη απόκλιση. Πιο συγκεκριμένα μόνο κατά τα έτη 2003, 2004, 2007-2010 οι τιμές συγκλίνουν σχετικά. Κατά όλα τα υπόλοιπα έτη αποκλίνουν σημαντικά, με τις μέγιστες αποκλίσεις να παρατηρούνται κατά τα έτη 2001, 2012, 2013, 2016-2020. Η εικόνα αυτή των σημαντικών αποκλίσεων συνάδει και με την τιμή του συντελεστή συσχέτισης κατά Pearson, που όπως φαίνεται και στο σχετικό παραπάνω διάγραμμα βρίσκεται στο πεδίο αρνητικών προσήμων προσεγγίζοντας τα επίπεδα του -0,3.

Συμπεράσματα

Ως βασικός στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη των μεθόδων συλλογής δεδομένων εκτάσεων δασικών πυρκαγιών και η αξιολόγηση τους ως προς το κατά πόσο αυτές συγκλίνουν – συσχετίζονται μεταξύ τους για τον Ελληνικό χώρο. Έτσι προέκυψαν χρήσιμα και αξιοποιήσιμα συμπεράσματα αναφορικά με την περεταίρω μελέτη τους ως προς την συνεισφορά τους στην κλιματική αλλαγή, αλλά και την καλύτερη κατανόηση τους παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες στις αρμόδιες αρχές και υπηρεσίες για την αποτελεσματικότερη πρόληψη και διαχείριση τους.

Πιο συγκεκριμένα και όπως έχει αναπτυχθεί σε προηγούμενες ενότητες, οι δύο πηγές δεδομένων καμένων εκτάσεων είναι τα δορυφορικά δεδομένα μέσω του προγράμματος Fire CCI της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (ESA) και τα επίγεια δεδομένα καμένων εκτάσεων (ή αλλιώς ground base data) που παρέχονται από το Ελληνικό Πυροσβεστικό Σώμα. Τα δεδομένα αυτά εξετάστηκαν με τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε στην ομώνυμη ενότητα για την χρονική περίοδο από το 2001 έως και το 2020 (εικοσαετία). Επίσης εκτός από την συνολική τους εικόνα, έγινε και περεταίρω επεξεργασία τους ως προς τις περιόδους των μηνών Ιουλίου – Αυγούστου και Μαΐου – Σεπτεμβρίου για να παρατηρηθεί και η συμπεριφορά τους για τις περιόδους αυτές όπου έχουν ενδιαφέρον αναφορικά με τις δασικές πυρκαγιές για τον Ελληνικό χώρο.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά το πέρας της παρούσας εργασίας είναι:

- Ως προς το βαθμό συσχέτισης σύμφωνα με τον συντελεστή συσχέτισης κατά Pearson αποδεικνύεται ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση ή τάση για ικανοποιητική συσχέτιση των δορυφορικών και των επίγειων δεδομένων στους περισσότερους νομούς του Ελληνικού χώρου, με ορισμένες εξαιρέσεις. Αυτό αποδεικνύεται καθώς 21 νομοί παρουσιάζουν τιμές του συντελεστή άνω του 0,8 γεγονός που δείχνει ισχυρή συσχέτιση, με 10 επιπλέον νομούς να ακολουθούν με τιμές συντελεστή από 0,5 έως 0,8 δηλαδή με ελαφρώς χαμηλότερο βαθμό συσχέτισης. Σημαντική είναι παρ' όλα αυτά η παρατήρηση σε 11 νομούς τιμών συντελεστή κάτω του 0,5 και 3 με αρνητικές τιμές συντελεστή που προσεγγίζουν στην χειρότερη περίπτωση το -0,3. Επιπρόσθετα η εικόνα των 21 αυτών νομών είναι μικτή ως προς την κατανομή τους και γεωγραφικά ανά τον Ελληνικό χώρο, καθώς βρίσκονται στα βόρεια κεντρικά και νότια τμήματα της χώρας με παρουσία στην ηπειρωτική αλλά και νησιωτική χώρα. Μπορεί να ειπωθεί λοιπόν ότι σε αυτό το γκρουπ των νομών με τον ισχυρότερο βαθμό συσχέτισης δεν παρατηρείται διαχωρισμός ως προς τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά τους.

- Επίσης προκύπτει ότι για το συνολικό διάστημα της μελέτης και για όλους τους μήνες, από την πρώτη ομάδα των 21 νομών οι 16 εξ αυτών παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές καμένων εκτάσεων καταγεγραμμένες από το δορυφόρο. Αυτή η εικόνα πρέπει να σημειωθεί ότι ισχύει και για όλο τον Ελληνικό χώρο καθώς οι περισσότεροι νομοί εμφανίζουν τιμές των δορυφορικών δεδομένων καμένων εκτάσεων υψηλότερες από αυτές της Πυροσβεστικής και για όλες τις χρονικές περιόδους (32 νομοί για την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου, 29 νομοί για την περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου και 30 νομοί για την περίοδο όλων των μηνών), με τις διαφορές μεταξύ τους να ποικίλουν.
- Εστιάζοντας στις νησιωτικές περιοχές του Ελληνικού χώρου συνολικά, λόγω και της τρωτότητας τους προκύπτει ότι από τους 13 αμιγώς νησιωτικούς νομούς, οι 6 εμφανίζουν συντελεστές συσχέτισης άνω του 0,8 και συνεπώς ισχυρό βαθμό συσχέτισης, 5 νομοί στη ζώνη περίπου από 0,4 έως 0,7 με ελαφρός χαμηλότερο βαθμό συσχέτισης και τέλος 2 νομούς με τιμές συντελεστή συσχέτισης κάτω του 0,2 και συνεπώς χαμηλή συσχέτιση. Το συμπέρασμα που προκύπτει για τη νησιωτική χώρα είναι ότι ο βαθμός συσχέτισης των μεθόδων είναι ικανοποιητικός προς υψηλός με ορισμένες εξαιρέσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι για τη νησιωτική χώρα ο χαμηλότερος βαθμός συσχέτισης εντοπίζεται στην περιοχή της Κρήτης και συγκεκριμένα στους νομούς Χανίων και Ηρακλείου.
- Την εικόνα της ισχυρής για αρκετούς νομούς συσχέτισης αλλά και της τάσης για ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των δορυφορικών δεδομένων καμένων εκτάσεων και των δεδομένων της Πυροσβεστικής, επιβεβαιώνει και η αποτύπωση του μέσου απόλυτου σφάλματος μεταξύ των μεθόδων αυτών για κάθε νομό. Αποδεικνύεται ότι παραμένει σε χαμηλά και κοντινά μεταξύ τους επίπεδα στο σχετικό διάγραμμα, με λίγες μόνο εξαιρέσεις και τον νομό Λάρισας να ξεχωρίζει για το υψηλότερο μέσο απόλυτο σφάλμα.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει σαφής εικόνα για τον τρόπο καταγραφής/εκτίμησης των καμένων εκτάσεων από την Πυροσβεστική υπηρεσία καθώς και των μέσων ενδεχόμενης καταγραφής. Αντίθετα τα δορυφορικά δεδομένα καμένων εκτάσεων έχουν προκύψει βάσει συγκεκριμένου αλγορίθμου επεξεργασίας. Αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς αποτελεί μια σταθερή συνθήκη ως προς την παραγωγή αυτών των δορυφορικών δεδομένων καμένων εκτάσεων, περιορίζοντας τις επιπρόσθετες αβεβαιότητες ως προς την αξιοπιστία τους.

Επιπρόσθετα να αναφερθεί ότι παρατηρήθηκαν σημαντικά υψηλότερες τιμές καμένων εκτάσεων από το δορυφόρο στους νομούς Λάρισας και Έβρου, με τις ίδιες τιμές από την Πυροσβεστική υπηρεσία να είναι κατά μία τάξη μεγέθους μικρότερες.

Αυτή η εικόνα μπορεί να ερμηνευτεί από το γεγονός ότι αυτές οι περιοχές εμφανίζουν σημαντική δραστηριότητα στον πρωτογενή τομέα και πιο συγκεκριμένα στη γεωργία μεγάλης κλίμακας, για τα ελληνικά τουλάχιστον δεδομένα. Αυτό έχει ως συνέπεια μετά το πέρας της περιόδου συγκομιδής των καλλιεργειών να μπαίνουν πολύ συχνά στις περιοχές αυτές οι λεγόμενες αγροτικές πυρκαγιές. Αυτές έχουν συνήθως ως σκοπό να εξαλειφθούν γρηγορότερα τα υπολείμματα των καλλιεργειών και να μπορούν να προετοιμαστούν οι εν λόγο εκτάσεις γρηγορότερα για μετέπειτα αγροτική εκμετάλλευση. Αυτές οι αγροτικές φωτιές λόγω της φύσης τους αλλά και της πεδινής γεωμορφολογίας των περιοχών αυτών, έχουν την τάση πολύ πιθανόν να υποκαταγράφονται καθώς σε πολλές περιπτώσεις οι αρμόδιες αρχές δεν σπεύδουν καν προς κατάσβεση τους, λόγω της προαναφερθείσας φύσης τους. Επίσης αυτές οι αγροτικές φωτιές πολλές φορές τοποθετούνται χρονικά και εκτός της θερινής περιόδου, δηλαδή εκτός της αντιτυρικής περιόδου.

Συνοψίζοντας, οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων καμένων εκτάσεων δηλαδή τα δορυφορικά δεδομένα καμένων εκτάσεων και τα δεδομένα καμένων εκτάσεων της Πυροσβεστικής υπηρεσίας ικανοποιητικό προς υψηλό βαθμό συσχέτισης για τους περισσότερους νομούς του Ελληνικού χώρου με ορισμένες εξαιρέσεις. Οι περιπτώσεις όπου ο βαθμός συσχέτισης αυτός είναι πολύ χαμηλός έως και αρνητικός θα μπορούσε να αποδοθεί κυρίως στον τρόπο, οργάνωση και μεθοδολογία σύμφωνα με την οποία τα δεδομένα των καμένων εκτάσεων συλλέγονται από την Πυροσβεστική Υπηρεσία κατά την εκδήλωση των δασικών πυρκαγιών με αποτέλεσμα να υποκαταγράφονται/εκτιμούνται λανθασμένα. Ο υψηλός βαθμός επικινδυνότητας κατά την κατάσβεση των πυρκαγιών, οι υψηλές σωματικές και οργανωτικές απαιτήσεις στο τακτικό πεδίο, το ελλιπές προσωπικό εκτιμάται ότι θα συμβάλουν στην αδυναμία ορθής εκτίμησης των πραγματικών τιμών καμένων εκτάσεων από τα επίγεια συνεργεία που καλούνται να τις διαχειριστούν. Επίσης πολύ σημαντικός παράγοντας είναι και η έλλειψη εξειδικευμένων μέσων παρατήρησης και συλλογής δεδομένων καθώς και η απαιτούμενη εκπαίδευση στην ορθή χρήση τους, κυρίως μη επανδρωμένα πτητικά μέσα όπως drones και η ικανότητα τους για πτήσεις μεγάλης διάρκειας και υπό αντίξοες συνθήκες πτήσης, όπως μέτριοι και ισχυροί άνεμοι. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό με τον πιο σταθερό και τυποποιημένο τρόπο λειτουργίας, μέσω των υφιστάμενων αλγορίθμων επεξεργασίας δεδομένων καμένων εκτάσεων, καταδεικνύουν ότι τα δορυφορικά δεδομένα καμένων εκτάσεων μπορούν να θεωρηθούν πιο αξιόπιστα για την επεξεργασία και εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων αναφορικά με την επίδραση των δασικών πυρκαγιών στην κοινωνία, οικονομία αλλά και κλιματική αλλαγή και επιστημονική έρευνα γενικότερα.

Προτάσεις Για Μελλοντική Έρευνα

Βάσει των παραπάνω συμπερασμάτων και της γενικής εικόνας των δύο μεθόδων θα μπορούσαν να εξαχθούν ορισμένες προτάσεις με κύριο γνώμονα δύο βασικούς άξονες.

Ο πρώτος εάν και δεν είναι πρωτογενώς ερευνητικός, σχετίζεται με την κατάρτιση και εφαρμογή ενοποιημένων μεθοδολογιών συλλογής επίγειων δεδομένων καμένων εκτάσεων σε συνδυασμό με την παροχή του κατάλληλου τεχνολογικού εξοπλισμού και εκπαίδευσης πάνω σε αυτόν και την ορθή χρήση του. Εάν αυτό καταστεί εφικτό θα αυξήσει δραστικά την αξιοπιστία των παρεχόμενων πληροφοριών καμένων εκτάσεων προς επεξεργασία, αξιολόγηση και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Ο δεύτερος άξονας περιλαμβάνει πλέον τη δυνητική χρήση των νέων αξιόπιστων πληροφοριών και δεδομένων καμένων εκτάσεων για εκ νέου μελέτη του βαθμού συσχέτισης τους.

Επιπρόσθετα και μέχρι αυτό να καταστεί εφικτό, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η εξέταση του βαθμού συσχέτισης σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες με έμφαση στην περιοχή της μεσογείου. Έτσι θα μπορούσαν να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα, ειδικά σε περιπτώσεις όπου τα επίγεια δεδομένα καμένων εκτάσεων θα παρουσίαζαν αυξημένη αξιοπιστία. Επίσης σε αυτές τις περιπτώσεις θα μπορούσαν να γίνουν και κατάλληλες προτάσεις και συνεργασία των αντίστοιχων υπηρεσιών για αξιοποίηση ήδη επιτυχών μεθόδων αλλά και τεχνογνωσίας γενικότερα.

Τέλος με πιο αξιόπιστα σετ επίγειων δεδομένων θα μπορούσαν πλέον να γίνουν, με περαιτέρω επεξεργασία, προτάσεις για βελτιστοποίηση των υφιστάμενων αλγορίθμων του προγράμματος FireCCI για την αύξηση της ακρίβειας, ευαισθησίας και αξιοπιστίας των παραγόμενων δεδομένων καμένων εκτάσεων.

Βιβλιογραφία

Κ. Τσαγκάρη, Γ. Καρέτσος, Ν. Προύτσος, 2011, Δασικές Πυρκαγιές Ελλάδα 1983-2008, Έκδ. WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ

Κ. Χατζημπίρος, Έκδοση 2007, Οικολογία, Οικοσυστήματα και Προστασία του Περιβάλλοντος

Ντάφης, Σπ., 1973. Ταξινόμησης της Δασικής Βλαστήσεως της Ελλάδος. Επιστημονική Επετηρίδα Γεωπονικής και Δασολογικής Σχολής. Αφιέρωμα εις μνήμην Αν. Οικονομόπουλου. Τόμος ΙΕ΄. Τεύχος Β΄.

Ντάφης Σπ., 1986 Δασική Οικολογία. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη

Ντάφης Σπ., 2009 Το μέλλον του δάσους. Αναδημοσίευση 14/12/2019

Ε.-Α.ΜΑΡΙΑ, Αθήνα-Κομοτηνή 1998, Η νομική προστασία των δασών, Εκδόσεις Αντ.Ν.Σάκκουλα,

Σμύρης Π. 2012 Το δασικό οικοσύστημα, στο Παπαγεωργίου Α.Χ,

Καρέτσος Γ, Κατσαδωράκης Γ, 2012. Το δάσος μια ολοκληρωμένη προσέγγιση, WWF Ελλάς

Τσαγκάρη, Κ., Γ. Καρέτσος, και Ν. Προύτσος. 2011. Δασικές πυρκαγιές Ελλάδας, 1993-2008.

WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ, Αθήνα. Δασικές Πυρκαγιές στον Ελληνικό χώρο

Ρήγας, 2010, Είδη Καύσιμης Ύλης

Grillakis M., Voulgarakis A., Rovithakis A., Seiradakis K., Koutroulis A., Field R., Lazaridis M., 2022. Climate drivers of global wildfire burned area. Environmental Research Letters.

Nikolaos Efthimiou, Emmanouil Psomiadis, Panos Panagos, Fire severity and soil erosion susceptibility mapping using multi-temporal Earth Observation data: The case of Mati fatal wildfire in Eastern Attica, Greece

Voulgarakis A and Field R D 2015, Fire influences on atmospheric composition, air quality and climate

Bowman D M J S et al 2009 Fire in the earth system Science

Ιστοσελίδες

URL 1: <https://archive.ceda.ac.uk/>

URL 2: <https://climate.esa.int/en/projects/fire/>

URL 3: www.fireservice.gr

URL 4: <https://www.mirc.ntua.gr/natural-disasters-metsovo/wildfires>

URL 5: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/wildfires-mediterranean-monitoring-impact-helping-response-2023-07-28_en

URL 6: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/forest-fire>

URL 7: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666719324001651>

URL 8: www.dasarxeio.com

URL 9: <https://ddikastes.gr/wp-content/uploads/2021/08/%CE%97-%CE%AD%CE%BD%CE%BD%CE%BF%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%B4%CE%AC%CF%83%CE%BF%CF%85%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%B4%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82-%CE%AD%CE%BA%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%B71-%CE%95%CF%80%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CE%BF%CF%81%CE%B8%CF%89%CE%BCE%AD%CE%BD%CE%BF.pdf>

URL 10: <https://www.geogreece.gr/dasos.php>

URL 11: http://kpe-kastor-old.kas.sch.gr/dasos_1/thamnodeis.htm

URL 12: http://kpe-kastor-old.kas.sch.gr/dasos_1/dendrodeis.htm

URL 13: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fire_tetrahedron_EL.svg

Παράρτημα

Διαγράμματα τιμών καμένων εκτάσεων (στρέμματα) όπως αυτά καταγράφηκαν μέσω δορυφόρου και πυροσβεστικής για τα έτη 2001 έως 2020, για διαφορετικά γεωγραφικά διαμερίσματα της Ελλάδας.

