



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: «Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων, με χρήση δεδομένων
τηλεπισκόπησης, στην περιοχή της Βόρειας Εύβοιας.»**

Λυδία Καλλιονίδου

Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Φαρασλής Ιωάννης – Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό

Λάρισα 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία σηματοδοτεί την συμπλήρωση των σπουδών μου στο Τμήμα Περιβάλλοντος, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και συνεπώς θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλλαν στην περάτωση της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα μου κ. Ιωάννη Φαρασλή για την βοήθεια και την καθοδήγηση που μου προσέφερε, καθώς και την συνεχή επίβλεψη και συμπαράσταση του.

Επιπλέον, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ τόσο τους καθηγητές του Τμήματος όσο και το προσωπικό αυτού για την συμβολή τους στην πορεία των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τα άτομα που με στήριξαν περισσότερο σε αυτή μου την προσπάθεια, την οικογένεια μου και τους φίλους μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα μεσογειακά οικοσυστήματα θεωρούνται ιδιαίτερα επιρρεπή στις δασικές πυρκαγιές. Οι μεταβολές που συντελούνται στο κλίμα τις τελευταίες δεκαετίες έχουν επιδράσει καταλυτικά στην αύξηση της έντασης και της δριμύτητας των δασικών πυρκαγιών. Σε αυτό το πλαίσιο παρουσιάστηκε η ανάγκη για νέες τεχνικές και εργαλεία, όπως η δορυφορική τηλεπισκόπηση, με στόχο την έγκυρη και έγκαιρη παρακολούθηση και εκτίμηση των επιπτώσεων και στη διαχρονική παρακολούθηση των δασικών οικοσυστημάτων. Η μελέτη αυτή εστιάζει στην χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων στην περιοχή της Βόρειας Εύβοιας, μετά την πυρκαγιά που συνέβη στις 03 Αυγούστου 2021. Η παρακολούθηση των καμένων περιοχών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τεχνικές τηλεπισκόπησης με χρήση δορυφορικών πολυφασματικών εικόνων Sentinel-2. Με την εφαρμογή του δείκτη κανονικοποιημένης αναλογίας καύσης (NBRI) οι καμένες εκτάσεις ταξινομήθηκαν σε επτά κατηγορίες με βάση το βαθμό δριμύτητας καύσης. Η εφαρμογή του δείκτη έγινε αμέσως μετά την πυρκαγιά και ένα χρόνο μετά (Αύγουστος 2022), με στόχο την παρακολούθηση των αλλαγών στα οικοσυστήματα εντός της περιοχής μελέτης. Τα πρώτα ευρήματα θεωρούνται αρκετά ενθαρρυντικά καθώς εντοπίζουν συνολικά 322,000 στρέμματα καμένων εκτάσεων να εμφανίζουν αναγέννηση της φυσικής βλάστησης.

Λέξεις κλειδιά: Πυρκαγιά; Τηλεπισκόπηση; Sentinel- 2; Κανονικοποιημένος Δείκτης Δριμύτητας Πυρκαγιάς (NBRI)

ABSTRACT

Mediterranean ecosystems are considered particularly prone to forest fires. Recent Climate change in recent decades has had a catalytic effect on increasing the intensity of forest fires. New techniques and tools, such as satellite remote sensing, are being used to assess impacts and monitor affected ecosystems over time. This study is focused on mapping the burned areas in northern Evia (Greece), after the fire that occurred on 03 August 2021. Monitoring of burned areas was carried out using satellite multispectral imagery and remote sensing applications (Sentinel-2). By applying the normalized burn ratio index (NBRI), burned areas were classified into seven categories based on the percentage of burn severity suffered by each one. The index was applied both immediately after the fire and one year later (August 2022) to monitor changes in the ecosystems within the study area. The first findings are encouraging, with a total of 322,000 stemmas of burnt areas showing regeneration of natural vegetation.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

Εικόνα 1. Σημείωση των περιοχών στον χάρτη όπου συναντάται Μεσογειακό Κλίμα.....	8
Εικόνα 2. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	14
Εικόνα 3. Στοιχεία συστήματος Τηλεπισκόπησης.....	15
Εικόνα 4. Διάγραμμα ροής της έρευνας.....	19
Εικόνα 5. Χαρτογράφηση της δριμύτητας καύσης των πυρκαγιών του 2019 για τις περιοχές Pinggir και Mandau, στην περιφέρεια Bengkalis, στην επαρχία Riau, στην Ινδονησία.....	20
Εικόνα 6. (α) Θέση της περιοχής μελέτης, με την έκταση των τεσσάρων κόκκων Sentinel-2 που χρησιμοποιήθηκαν και τις περιοχές ενδιαφέροντος (AOIs) των προϊόντων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της υπηρεσίας διαχείρισης έκτακτης ανάγκης (EMS) του Copernicus (b) χάρτης με λεπτομερή εστίαση στην περιοχή της Messina. Φόντο: εικόνα Sentinel-2 που αποκτήθηκε στις 22/07/2017 στις 09:50:29 UTC και απεικονίζονται σε ψευδοχρώματα. Επικάλυψη: καμένες περιοχές από τα προϊόντα Copernicus EMS.....	22
Εικόνα 7. Χάρτης γεωγραφικής θέσης περιοχής μελέτης.....	24
Εικόνα 8. Αποτύπωση της περιοχής με σύνθετο ψευδοχρώμα σε τρεις διαφορετικές ημερομηνίες όπου: (α) 03/08/2021, (β) 26/08/2021 και (γ) 26/08/2022.....	25
Εικόνα 9. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης λίγο πριν την πυρκαγιά στις 03/08/2021.....	28
Εικόνα 10. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης λίγο μετά την πυρκαγιά στις 26/08/2021.....	29
Εικόνα 11. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης, περίπου, ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά στις 18/08/2022.....	29
Πίνακας 1. Τιμή του δείκτη διαχωρισιμότητας (SI) των τεσσάρων δεικτών που υπολογίστηκαν για τις επιλεγμένες περιοχές του Copernicus EMS.....	23
Πίνακας 2. Δήμοι Νομού Εύβοιας.....	23
Πίνακας 3. Περιγραφή δεδομένων.....	25
Πίνακας 4. Προτεινόμενο εύρος τιμών του USGS για την ταξινόμηση του dNBR.....	27
Πίνακας 5. Εκτάσεις καμένης γης ανά κατηγορία δριμύτητας.....	30
Πίνακας 6. Εκτάσεις καμένης γης που παρουσιάζουν ενισχυμένη αναγέννηση βλάστησης.....	32
Πίνακας 7. Πίνακας εκτίμησης ακρίβειας.....	32

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	7
2.1: Δασικές Πυρκαγιές στα Μεσογειακά Οικοσυστήματα.....	7
2.1.1 Είδη πυρκαγιών.....	10
2.1.2 Το πρόβλημα των πυρκαγιών στην Ελλάδα.....	11
2.2: Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και δασικές πυρκαγιές.....	13
2.2.1. Συμβολή της τηλεπισκόπησης στην διαχείριση, την παρακολούθηση και την αντιμετώπιση των πυρκαγιών.....	16
2.2.2 Μέθοδοι και εφαρμογές όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ, ΠΥΡΚΑΓΙΑ Β. ΕΥΒΟΙΑΣ 2021.....	23
3.1: Περιοχή μελέτης.....	23
3.2: Υλικά.....	25
3.3: Μεθοδολογία Χαρτογράφησης καμένων εκτάσεων.....	26
3.4: Εφαρμογή Μεθοδολογίας.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ.....	30
4.1: Εκτίμηση σφοδρότητας της πυρκαγιάς.....	30
4.2: Εκτίμηση αναγέννησης της βλάστησης.....	31
4.3: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	32
4.4: Επισημάνσεις και Προτάσεις Αποκατάστασης.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	34
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	37

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πυρκαγιές και οι επιπτώσεις αυτών, αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα παγκοσμίως, ενώ χαρακτηρίζονται ως η πιο σημαντική από τις φυσικές καταστροφές. Πολλά είναι τα αίτια των πυρκαγιών, αλλά από τα πιο βασικά θεωρούνται η κλιματική αλλαγή και οι αλλαγές στις χρήσεις γης (Κονάcs, 2019). Το φαινόμενο αυτό είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τα μεσογειακά οικοσυστήματα. Στην περιοχή της μεσογείου απαντάται το λεγόμενο «μεσογειακό κλίμα» που χαρακτηρίζεται από θερμά, ξηρά καλοκαίρια και κρύους, βροχερούς χειμώνες (Παρασκευόπουλος, 2019). Η μεσογειακή βλάστηση είναι έως ένα σημείο, προσαρμοσμένη στη φωτιά με αποτέλεσμα, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, να θεωρείται ευνοϊκός περιβαλλοντικός παράγοντας. Ωστόσο, η ισορροπία αυτή έχει διαταραχθεί, αν αναλογιστεί κανείς τον ανθρώπινο παράγοντα, που συχνά αποτελεί, είτε ακούσια είτε εκούσια, αιτία πυρκαγιών (Loboda, et. al., 2022).

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψιν τις καταστροφικές συνέπειες που μπορεί να επιφέρει μία πυρκαγιά κρίνεται απαραίτητη η ολοκληρωμένη διαχείριση αυτού του φαινομένου τόσο στην πρόληψη και αντιμετώπιση, όσο και στην αποκατάσταση των πληγέντων περιοχών (Alcaras, et.al., 2022). Τις τελευταίες δεκαετίες η επιστήμη της τηλεπισκόπησης, με την εφαρμογή σε τροχιά χαρτογραφικών δορυφόρων υψηλής χωρικής και χρονικής διακριτικής ικανότητας, αποτέλεσε ισχυρό εργαλείο στη διαχείριση φυσικών καταστροφών (Filipponi, 2018). Τα δορυφορικά συστήματα φέρουν αισθητήρες σε διάφορα μήκη κύματος (ορατό, ανακλώμενο υπέρυθρο, θερμικό, μικροκύματα) επιτρέποντας την παρακολούθηση και τον εντοπισμό των αλλαγών στα χερσαία και υδατικά οικοσυστήματα (Chanussot, et. al., 2022). Τα πλεονεκτήματα από τη γρήγορη και αποτελεσματική χαρτογράφηση των αλλαγών από δορυφορικά δεδομένα, σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους, έχουν γίνει αντιληπτά με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται νέες τεχνικές επεξεργασίας οι οποίες σε συνδυασμό με τα βελτιωμένα δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης προσφέρουν νέα εργαλεία στην λήψη αποφάσεων (Kavhu, et. al., 2020).

Μια από τις διαφορές εφαρμογές των μεθόδων τηλεπισκόπησης είναι και η εκτίμηση της δριμύτητας πυρκαγιάς μέσω δορυφορικών δεδομένων. Αρκετοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει διάφορα είδη φασματικών δεικτών και δορυφορικών εικόνων για την αξιολόγηση των καμένων εκτάσεων (Alcaras, et. al., 2022, Harvey, et. al., 2022, Garbarino, et. al., 2022). Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί δείκτες οι οποίοι εκμεταλλευόμενοι την μεγάλη φασματική αντίθεση καταγράφουν τις επιπτώσεις της φωτιάς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο κανονικοποιημένος δείκτης αναλογίας καύσης (NBRI- *Normalized Burn Ratio Index*) και δείκτης διαφοράς κανονικοποιημένης αναλογίας καύσης (dNBR- *differenced Normalized Burn Ratio*) (Benson, et. al., 2006, Κονάcs, 2019). Ο δείκτης NBRI εκφράζεται ως ο κανονικοποιημένος λόγος της διαφοράς των φασματικών ζωνών του εγγύς υπέρυθρου (NIR - Near Infrared) και του υπέρυθρου στα μικρά μήκη κύματος (SWIR- Short Wavelength Infrared) (Meneses, 2021).

Για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας εφαρμόστηκαν οι δείκτες NBRI και dNBR. Η επιλογή των δεικτών αυτών έγινε με κριτήριο την απλότητα στον υπολογισμό τους αλλά και την αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων (Khoirunisa, and Laszlo, 2021). Ο κανονικοποιημένος δείκτης αναλογίας καύσης (NBRI) εντοπίζει και ταξινομεί τις καμένες περιοχές οι οποίες σε αρκετές περιπτώσεις περιβάλλονται από εκτάσεις υγιούς βλάστησης.

Βασική αιτία για τον διαχωρισμό είναι η διαφορά στο ποσοστό ανακλαστικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας ανάμεσα στην υγιή και την καμένη βλάστηση (Kotaridis and Lazaridou, 2023). Ο δείκτης διαφοράς κανονικοποιημένης αναλογίας καύσης (dNBR- differenced Normalized Burn Ratio), επισημαίνει τις αλλαγές στην ανακλαστικότητα της βλάστησης δεδομένης της ευαισθησίας του στη μείωση της βλάστησης και της περιεκτικότητας σε υγρασία της περιοχής. Επιπλέον, ο δείκτης αυτός μπορεί, μέχρι κάποιο βαθμό, να προβλέψει το βάθος καύσης και την καύση κάτω από το έδαφος (Combee, et. al., 2021).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναδειχθεί η συμβολή των μεθόδων και εργαλείων, όπως η τηλεπισκόπηση, στην παρακολούθηση, γενικά, των φυσικών καταστροφών και στην εκτίμηση των επιπτώσεων τους και ειδικότερα των φαινομένων πυρκαγιάς.

Ειδικότερα, η παρούσα εργασία έχει δύο βασικούς στόχους. Ο πρώτος αφορά την εκτίμηση της έντασης καύσης στην περιοχή της Βόρειας Εύβοιας, ενώ ο δεύτερος σχετίζεται με τον προσδιορισμό των περιοχών, εντός των καμένων εκτάσεων που παρουσιάζουν ενισχυμένη αναγέννηση ένα χρόνο μετά.

Το βασικό μέρος της εργασίας χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή στην εργασία. Συνοπτικά περιγράφονται το θεωρητικό πλαίσιο αυτής, οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν, ο σκοπός και οι στόχοι της, ενώ, εκτεταμένα, γίνεται αναφορά στο περιεχόμενο κάθε κεφαλαίου της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μια παρουσίαση του φαινομένου της πυρκαγιάς και της επιστήμης της τηλεπισκόπησης. Αρχικά, ορίζεται το φαινόμενο και τα είδη του και περιγράφονται τα χαρακτηριστικά του ως προς τα Μεσογειακά Οικοσυστήματα και τον Ελλαδικό χώρο. Στη συνέχεια αναφέρεται η συσχέτιση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης με τις δασικές πυρκαγιές, ενώ παράλληλα τονίζεται η συμβολή της τηλεπισκόπησης στην διαχείριση, την παρακολούθηση και την αντιμετώπιση των πυρκαγιών. Τέλος, παρατίθενται συνοπτικά ορισμένες μέθοδοι και εφαρμογές της επιστήμης.

Στη συνέχεια, το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στη μελέτη περίπτωσης της έρευνας, δηλαδή την παρακολούθηση των καμένων εκτάσεων στην περιοχή της Βόρειας Εύβοιας. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και τα χαρακτηριστικά αυτής. Έπειτα, αναλύονται τα υλικά και οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν ενώ παρουσιάζεται, λεπτομερώς η μεθοδολογία χαρτογράφησης καμένων εκτάσεων καθώς και η εφαρμογή της.

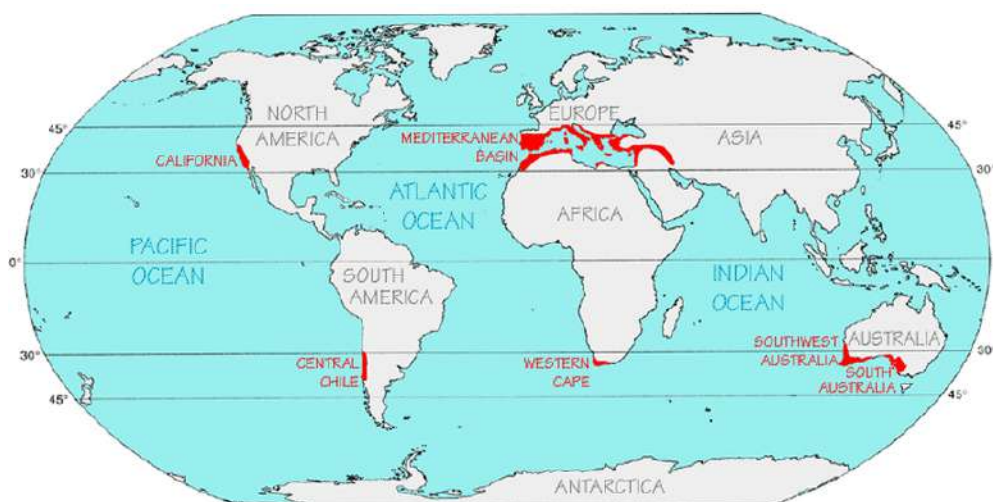
Ακολουθεί το τέταρτο κεφάλαιο με τα αποτελέσματα και τις επισημάνσεις. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται, με τη βοήθεια χαρτογραφικών υποβάθρων, τα αποτελέσματα από την εκτίμηση της σφοδρότητας της πυρκαγιάς και την εκτίμηση της αναγέννησης της βλάστησης. Στη συνέχεια γίνεται αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων, με τη βοήθεια δειγμάτων από δορυφορικά δεδομένα υψηλότερης ανάλυσης. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και προτάσεις σχετικά με την αποκατάσταση της περιοχής, ενώ, γίνονται και ορισμένες επισημάνσεις.

Τέλος, στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που διεξήχθησαν μετά την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης μελέτης και γίνεται μια σχετική συζήτηση.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2.1 ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΤΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Περιοχές με μεσογειακό κλίμα απαντώνται σε πέντε μέρη του πλανήτη, Μεσογειακή Λεκάνη, Χιλή, Νότια Αφρική και Καλιφόρνια (Εικόνα 1). Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ήπιους, υγρούς χειμώνες και θερμά, ξηρά καλοκαίρια (Πελεκάνου, 2017). Οι περιοχές αυτές εκτός από όμοιο κλίμα έχουν και παρόμοια βλάστηση. Τα κυριότερα προβλήματα με τα οποία έρχονται αντιμέτωποι οι οργανισμοί στα χερσαία μεσογειακά οικοσυστήματα είναι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής όπως η ξηρασία και τα συχνά συμβάντα έντονων πυρκαγιών με τα οποία η εργασία αυτή θα ασχοληθεί (Βανβακά, 2004).



Εικόνα 1. Σημείωση των περιοχών στον χάρτη όπου συναντάται Μεσογειακό Κλίμα (πηγή: <http://55zw80.ttu.cc>).

Φωτιά είναι η καύση που συνοδεύεται από φλόγα. Αφορά την χημική αντίδραση ενός υλικού με το οξυγόνο του αέρα, κατά την οποία εκλύεται σημαντική ποσότητα θερμότητας, ενώ τα προϊόντα της καύσης μετατρέπονται σε αέρια και έχει ως συνέπεια την καταστροφή του υλικού που καίγεται. Η φωτιά, τις περισσότερες φορές, οδηγεί σε πυρκαγιά. Η πυρκαγιά είναι μια διαδικασία που επηρεάζει, τόσο θετικά όσο και αρνητικά, τα οικοσυστήματα σε όλο τον κόσμο. Τα Μεσογειακά Οικοσυστήματα είναι ανθεκτικά στη φωτιά και έχουν εξελιχτεί σε σχέση με αυτή (Χατζημπίρος, 2014). Η συχνή εκδήλωση πυρκαγιών οφείλεται όχι μόνο στο κλίμα, αλλά και στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ακριβώς γι' αυτό, η Μεσογειακή χλωρίδα και πανίδα έχει αναπτύξει μηχανισμούς άμυνας και προσαρμογής για να αντιμετωπίσει τις επιπτώσεις των πυρκαγιών. Έτσι, αν και η φωτιά προκαλεί καταστροφές στα φυτά της εκάστοτε περιοχής, στα ζώα και στο ίδιο το έδαφος η φύση καταφέρνει και επανέρχεται.

Η Μεσογειακή Λεκάνη

Η θέση της Μεσογειακής λεκάνης, γεωγραφικά, που βρίσκεται ανάμεσα στην Ευρώπη, την Ασία και την Αφρική, η γεωλογία της και οι κλιματικές της συνθήκες συνέβαλαν στο να δημιουργηθεί μια γεωλογική και τοπογραφική ποικιλία με ψηλά βουνά, χερσονήσους και εκατοντάδες νησιά μέσα σε μία θάλασσα. Αυτή η ποικιλία συνδυαστικά με το ιδιαίτερο κλίμα της περιοχής διαμόρφωσαν το φυσικό τοπίο στην Μεσόγειο. Ωστόσο, εξαιτίας της ανθρώπινης

δραστηριότητας, η φυσική βλάστηση έχει υποστεί υποβάθμιση και να έχει επηρεαστεί η δομή της.

Το Μεσογειακό Κλίμα

Το Μεσογειακό κλίμα είναι μία μεταβατική φάση από το εύκρατο κλίμα στο ξηρό τροπικό. Η μόνη διαφορά αυτού από τα άλλα είδη κλίματος είναι η δι-εποχικότητα, δηλαδή η μετάβαση από ήπιους, υγρούς χειμώνες σε θερμά, ξηρά καλοκαίρια.

Η βροχόπτωση είναι ο βασικός συντελεστής για να χαρακτηριστεί ένα κλίμα μεσογειακό, ωστόσο η ποσότητα και η κατανομή αυτής είναι εξίσου σημαντικοί παράμετροι. Η ποσότητα της βροχόπτωσης κατά την καλοκαιρινή περίοδο είναι μηδαμινή. Τα καλοκαίρια χαρακτηρίζονται θερμά έως πολύ θερμά, με τη μέση θερμοκρασία να κυμαίνεται από 30°C ως 35 °C, ενώ τοπικά μπορεί να φτάσει έως τους 45 °C. Αντιθέτως, οι χειμώνες είναι ήπιοι προς ψυχροί, με ελάχιστη ηλιοφάνεια. Οι θερμοκρασίες δεν ξεπερνούν τους 15°C, ωστόσο ελάχιστες είναι οι μέρες τις οποίες η θερμοκρασία είναι κάτω από τους 0°C. Το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων πέφτει κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών (Βανβακά, 2004).

Πρέπει να αναφερθεί πως οι θερμοκρασιακές συνθήκες μεταβάλλονται από τις παραλιακές περιοχές προς την ηπειρωτική χώρα. Στα παράλια η θερμοκρασία τους θερινούς μήνες είναι χαμηλότερη και μεγαλύτερη του χειμερινούς μήνες, από τις αντίστοιχες των ηπειρωτικών περιοχών. Σε ορισμένες ηπειρωτικές περιοχές με μεγάλο υψόμετρο και στα βουνά, η χιονοκάλυψη μπορεί να είναι έντονη και να διαρκεί αρκετό χρονικό διάστημα. Ξεχωριστό χαρακτηριστικό του μεσογειακού κλίματος είναι και οι άνεμοι.

Η Μεσογειακή Βλάστηση

Η βλάστηση στις περιοχές της Μεσογείου είναι ιδιαίτερα πλούσια, σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη, Ασία και Αφρική. Διάφορα είδη χρησιμοποιούνται σαν ένδειξη του μεσογειακού κλίματος. Αφορά είδη που έχουν την δυνατότητα να επιβιώσουν τόσο σε υγρούς, ψυχρούς χειμώνες όσο και σε ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Χαρακτηριστικά τέτοια είδη είναι η ελιά, το πουρνάρι κ.α.

Η βλάστηση φυτρώνει κυρίως, με φθίνουσα σειρά, την άνοιξη, το φθινόπωρο και τον χειμώνα και έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στις ιδιαίτερες συνθήκες του καλοκαιριού. Σε αυτά τα οικοσυστήματα η βλάστηση έχει προσαρμοστεί ειδικά στην εποχικότητα αυτού του τύπου κλίματος (Πελεκάνου, 2017). Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που έχουν να αντιμετωπίσουν τα μεσογειακά φυτά αυτών των περιοχών είναι η ξηρασία. Τα περισσότερα από αυτά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς έτσι ώστε να ανταπεξέρχονται στις επιπτώσεις αυτής. Έτσι εξηγείται και η μείωση των δραστηριοτήτων τους κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Ωστόσο, εκτός από τη ξηρασία η βλάστηση των μεσογειακών περιοχών έχει την ικανότητα αντιμετώπισης και άλλων διαταραχών, σαν την φωτιά, όπως προαναφέρθηκε.

Η φωτιά

Στις περιοχές γύρω από την Μεσόγειο υπάρχει συχνότητα εμφάνισης των πυρκαγιών, ανάλογα το είδος της βλάστησης στην εκάστοτε περιοχή. Συχνά, η φωτιά προκαλείται από

φυσικούς παράγοντες, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, άρα θεωρείται φυσικό φαινόμενο και δεν σχετίζεται με τις δραστηριότητες του ανθρώπου. Πολλές φορές, οι υψηλές θερμοκρασίες συνδυαστικά με την θερινή ξηρασία συμβάλλουν στην αύξηση της συχνότητας εμφάνισης του φαινομένου σε αυτού του είδους τα οικοσυστήματα.

Στα μεσογειακά οικοσυστήματα η βλάστηση, όπως προαναφέρθηκε, έχει μία ιδιαίτερη ανοχή στις πυρκαγιές και μεγάλη ικανότητα να τις αντιμετωπίζουν (Alday et.al., 2014). Έχοντας αναπτύξει μηχανισμούς προσαρμογής, καταφέρνουν να διατηρούνται ακόμα και μετά από σημαντικά έντονες και μεγάλες πυρκαγιές. Επομένως, όταν οι φωτιές κατά τους καλοκαιρινούς μήνες δεν είναι συχνές, οι περιοχές καταφέρνουν να μην υποβαθμίζονται. Αντιθέτως, αποτελούν παράγοντα ωφέλιμο για την διαδικασία της αναγέννησης τους.

2.1.1 ΕΙΔΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Οι πυρκαγιές, ανάλογα με την χρήση γης, διακρίνονται σε:

- Δασικές,
- Αστικές και
- Περιαστικές.

Στην εργασία αυτή δίνεται βάση στις *δασικές πυρκαγιές*. Είναι κατανοητό ότι δεν μπορεί να γίνει λόγος για ένα μόνο είδος πυρκαγιάς, καθώς τα αίτια και οι επιπτώσεις ποικίλουν. Έτσι, η κατηγοριοποίηση των πυρκαγιών βασίζεται σε διάφορους παράγοντες, για παράδειγμα, την πηγή προέλευσης τους, το μέγεθος της καταστροφής που προκαλούν, τη θέση τους στο έδαφος, τον τρόπο εξάπλωσης τους, την ταχύτητα διάδοσης τους κ.α. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, γίνεται ορισμός του φαινομένου της πυρκαγιάς με βάση την θέση και τον τρόπο εξάπλωσης της. Οι βασικές κατηγορίες των δασικών πυρκαγιών είναι οι εξής: *i. εδάφους ή υπόγειες, ii. επιφάνειας ή έρπουσες, iii. κόμης ή επικόρυφες*.

i. Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες

Σε αυτή την κατηγορία πυρκαγιών καίγεται η καύσιμη οργανική ύλη που συσσωρεύεται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους ή κάτω από αυτήν. Αυτές οι πυρκαγιές συνήθως έχουν βάθος ένα με δύο μέτρα και εξαπλώνονται υπόγεια. Η ταχύτητα καύσης και εξάπλωσης είναι χαμηλή, διότι η καύσιμη ύλη τροφοδοτείται ελάχιστα με οξυγόνο και έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή του ριζικού συστήματος των φυτών. Ένα χαρακτηριστικό αυτού του είδους των πυρκαγιών είναι η έλλειψη καπνού. Επομένως, οι πυρκαγιές εδάφους γίνονται δύσκολα αντιληπτές και η κατάσβεση τους είναι αρκετά απαιτητική. Συχνά αυτές οι πυρκαγιές μετατρέπονται σε πυρκαγιές επιφάνειας (Αγγουρογιάννης, 2011).

ii. Πυρκαγιές επιφάνειας ή έρπουσες

Οι πυρκαγιές αυτής της κατηγορίας καίνε την ξερή οργανική ύλη και τη βλάστηση που φτάνει το ύψος των δύο μέτρων. Καίνε θάμνους, κλαδιά, χόρτα, κορμούς, φύλλα, πευκοβελόνες κ.α. Από αυτές προκαλούνται οι πυρκαγιές κόμης (Κόκκαλης, 2010). Σε αυτή την κατηγορία

πυρκαγιών οι συνθήκες ευνοούν την ενίσχυση της φωτιάς. Ο αέρας και το οξυγόνο σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία, καθιστούν την διάδοση των πυρκαγιών επιφάνειας εξαιρετικά γρήγορη και εύκολη. Οι πυρκαγιές επιφάνειας χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλες φλόγες και ο καπνός τους έχει χρώμα σκούρο γκρι, ενώ εκτείνεται συνήθως πέρα από τα δύο μέτρα ύψος. Οι πυρκαγιές αυτού του είδους μπορούν να εξελιχθούν σε πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες. Οι επιφανειακές πυρκαγιές αποτελούν όχι μόνο παγκοσμίως, αλλά και στην Ελλάδα, την πιο διαδεδομένη κατηγορία δασικών πυρκαγιών.

iii. Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες

Οι επικόρυφες πυρκαγιές αναφλέγουν τις κόμεις των δέντρων και των θάμνων και εμφανίζονται συνήθως σε ύψος πάνω από δύο μέτρα. Τις περισσότερες φορές είναι συνέχεια των πυρκαγιών της παραπάνω κατηγορίας ενώ πολλές φορές μπορεί να συμβαίνουν ταυτόχρονα με τις έρπουσες. Μια έρπουσα πυρκαγιά μπορεί να μετατραπεί εύκολα σε μία πυρκαγιά κόμης, καθώς η φλόγα μεταφέρεται από τα χαμηλά κλαδιά, τους κορμούς κλπ. στα φύλλα και τα κλαδιά των δέντρων. Στις πυρκαγιές αυτής της κατηγορίας ο άνεμος παρασύρει φλεγόμενα φύλλα και κλαδιά με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων εστιών. Θεωρούνται ιδιαίτερα σοβαρές πυρκαγιές, εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας εξάπλωσης τους, και εμφανίζουν μεγάλη δυσκολία στην κατάσβεση. Η κατηγορία αυτή θεωρείται η πιο επικίνδυνη από τις τρεις κατηγορίες και περίπου το 45% των πυρκαγιών ανήκουν σε αυτήν.

2.1.2 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στην Ελλάδα, τα τελευταία εικοσιπέντε χρόνια, το φαινόμενο των πυρκαγιών εμφανίζει αξιοσημείωτη έξαρση. Το μεγαλύτερο ποσοστό των καταστροφών οφείλεται στην προσπάθεια του ανθρώπου να μετατρέψει δασικές εκτάσεις σε οικόπεδα και βοσκοτόπους. Αυτό τις περισσότερες φορές επιτυγχάνεται με εμπρησμούς, ωστόσο πολλές φορές τυχαίνει οι πυρκαγιές να οφείλονται και σε περιβαλλοντικούς ή κλιματικούς παράγοντες που δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για πιο καταστροφικά και πιο πολλά τέτοια φαινόμενα (Χατζημπίρος, 2014).

Αίτια Πυρκαγιών

Στα μεσογειακά οικοσυστήματα, το μεγαλύτερο ποσοστό των πυρκαγιών οφείλεται σε:

- εμπρησμούς από πρόθεση,
- εμπρησμούς από αμέλεια,
- φυσικές αιτίες,
- άγνωστες αιτίες.

Ειδικότερα:

Εμπρησμός από πρόθεση. Οι πυρκαγιές αυτής της κατηγορίας καταλαμβάνουν το 20-30% των συνολικών πυρκαγιών. Αυτές θεωρούνται ιδιαίτερα καταστροφικές διότι οι εμπρηστές δρουν τις κατάλληλες ημέρες και με τον ενδεδειγμένο τρόπο με σκοπό την ταχύτατη και μεγάλη εξάπλωση της φωτιάς (Παρασκευόπουλος, 2019). Οι εμπρησμοί από πρόθεση

συνήθως στοχεύουν στην μετατροπή των δασών σε βοσκοτόπια και οικόπεδα, στην φθορά της ασφάλειας και του τουρισμού της εκάστοτε περιοχής.

Εμπρησμός από αμέλεια. Οι πυρκαγιές από αμέλεια είναι η βασική αιτία των δασικών πυρκαγιών, αποτελούν το 50% των περιπτώσεων. Πυρκαγιές από αμέλεια μπορεί να προκληθούν από την απόρριψη τσιγάρων, από την καύση καύσιμης ύλης, από την μαγειρική στην φύση, από πεταμένα γυάλινα μπουκάλια και κονσέρβες που με την βοήθεια των ηλιακών ακτινών προκαλούν φωτιές στα χόρτα κ.α. Πυρκαγιές μπορεί να δημιουργηθούν και από τα καλώδια του ρεύματος που διαπερνούν τα δάση καθώς και από την ανεξέλεγκτη καύση σκουπιδιών σε χωματερές.

Φυσικές αιτίες. Αυτή η κατηγορία αναφέρεται κυρίως σε πυρκαγιές που προκαλούνται από κεραυνούς. Στην περίπτωση που δεν γίνεται κατάσβεση του από τη βροχή, προκαλούν καταστροφές διότι, ως επί των πλείστων, οι κεραυνοί πέφτουν σε δύσβατες περιοχές. Επιπρόσθετα, στα φυσικά αίτια των πυρκαγιών συγκαταλέγονται αυτές που προέρχονται από τις εκρήξεις ηφαιστείων, πιο σπάνια περίπτωση. Συνολικά, τα φυσικά αίτια οφείλονται για το 3% των δασικών πυρκαγιών.

Άγνωστες αιτίες. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι δασικές πυρκαγιές που δεν μπορούν να αποδειχθούν ή να εξηγηθούν λογικά.

Είναι φανερό ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των πυρκαγιών οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα, αδιαφορία και βούληση. Η φωτιά, η οποία αποτελεί σοβαρή διαταραχή στα μεσογειακά οικοσυστήματα, παίζει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση των δασών από τις κοινωνίες και είναι υπεύθυνη για την έλλειψη όλων των οφελών που δύνανται να προσφέρουν.

Επιπτώσεις Πυρκαγιών

Η φωτιά διαμορφώνει όλους τους λόγους για τους οποίους οι κοινωνίες αυτή την εποχή διαχειρίζονται τα δάση, με αποτέλεσμα τη στέρηση πολλών σημαντικών ωφελειών (Βορίσης, 2004). Οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις.

Άμεσες επιπτώσεις δασικών πυρκαγιών ονομάζονται οι ζημιές που προκαλούνται από την καταστροφή μέρους ή όλων των δασικών προϊόντων και της βλάστησης των πεδιάδων. Επιπλέον, συγκαταλέγονται και οι καταστροφές σε γεωργικές καλλιέργειες, κτηνοτροφικές μονάδες, μελισσοκομικές εγκαταστάσεις, κατοικίες, βιομηχανίες κ.α. στις οποίες διαδόθηκε κάποια πυρκαγιά. Ακόμα, σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται και οι απώλειες που αφορούν τόσο την πανίδα του δάσους όσο και τις ανθρώπινες ζωές.

Έμμεσες επιπτώσεις δασικών πυρκαγιών χαρακτηρίζονται εκείνες που αφορούν τα οφέλη του δάσους για τον άνθρωπο και διακρίνονται σε επτά κατηγορίες:

1. **Οικολογικές επιπτώσεις:** Το δασικό οικοσύστημα διαταράσσεται, καθώς παρατηρείται αλλοίωση στην ισορροπία μεταξύ βιοκοινότητας και βιοτόπου. Συχνά, είδη ζώων που κατοικούσαν στην περιοχή είτε χάνουν την ζωή τους, είτε απομακρύνονται από αυτή με αποτέλεσμα την καταστροφή της πανίδας. Επιπλέον, έπειτα από πολλές πυρκαγιές ανά τα χρόνια υπάρχει πιθανότητα να μεταβληθεί και η χλωρίδα της περιοχής.
2. **Υδρολογικές επιπτώσεις:** Η οργανική ύλη, όπως προαναφέρθηκε, καταστρέφεται, με αποτέλεσμα το έδαφος να χάνει την διαπερατότητα του. Με αυτόν τον τρόπο, το περισσότερο νερό, που δεν εισέρχεται σε αυτό, ρέει στην επιφάνειά του, προκαλώντας

πλημμυρικά φαινόμενα και μεγάλες καταστροφές εξαιτίας της μεταφοράς φερτών υλικών σε κατοικημένες περιοχές.

3. Απώλεια θέσεων εργασίας: Άνθρωποι που εργάζονταν στο εκάστοτε δάσος, δασοπόνοι, δασολόγοι, δασοφύλακες κ.α. χάνουν τη δουλειά τους.
4. Υπερβόσκηση: Λόγω της καταστροφής της βλάστησης στους βοσκοτόπους ορισμένων κοπαδιών, υπάρχει συνωστισμός στα γειτονικά βοσκοτόπια, με αποτέλεσμα την υπερβόσκηση και την κατ' επέκταση καταστροφή τους.
5. Αισθητική, Τουριστική και Πολιτιστική αξία δάσους: Η αισθητική, όπως και η τουριστική αλλά και η πολιτιστική αξία ενός δάσους χάνονται, καθώς ενώ ο άνθρωπος αναζητά όλο και περισσότερο την επαφή με την φύση, οι εκτάσεις φυσικού περιβάλλοντος ολοένα και μειώνονται.
6. Υγειονομικές επιπτώσεις: Οι υγειονομικές επιπτώσεις αφορούν τον πληθυσμό των γειτονικών περιοχών. Η βλάστηση των δασών, μέσω της φωτοσύνθεσης, παράγει οξυγόνο με το οποίο τροφοδοτεί τον αέρα. Ακόμα, κατακρατά διάφορους ρύπους, καθώς φιλτράρουν το μολυσμένο αέρα. Μια δασική πυρκαγιά όχι μόνο στερεί από το περιβάλλον τα επιπλέον οφέλη που έχει να προσφέρει, αλλά και επιβαρύνει την ατμόσφαιρα, και κατ' επέκταση τη δημόσια υγεία, με τους καπνούς που απελευθερώνονται σε αυτή.
7. Κοινωνικοοικονομικό κόστος: Μια δασική πυρκαγιά θεωρείται έκτακτη ανάγκη. Για την διαχείριση, την καταστολή και την αποκατάσταση των βλαβών απαιτούνται οικονομικοί πόροι και ανθρώπινο δυναμικό (Βορίσης, 2004. Παρασκευόπουλος, 2019).

2.2 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

Με βάση όλα τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως μια πυρκαγιά έχει σημαντικές επιπτώσεις στην οικολογία ενός δάσους. Αυτού του είδους η επιρροή είναι ανάλογη με την δριμύτητα της καύσης και την διάρκεια της. Ενώ συνήθως οι επιπτώσεις αυτές είναι παροδικές, ορισμένες φορές οι ζημιές μπορεί να είναι μόνιμες.

Τις τελευταίες δεκαετίες, με την πρόοδο της τεχνολογίας η μελέτη όχι μόνο δασικών εκτάσεων που έχουν καταστραφεί από φωτιά, αλλά και της πορείας αναβλάστησης τους δύναται να διεξαχθεί μέσω της *Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης (Δ.Τ)* (Remote Sensing, RS) και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π).

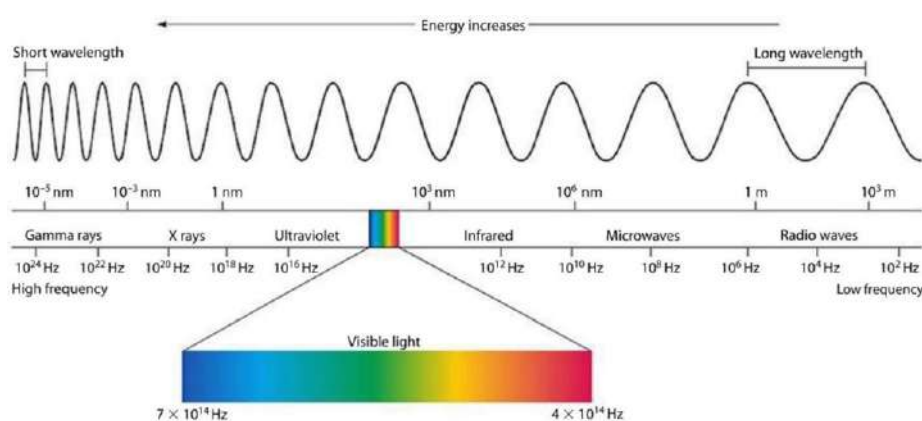
Στην παρούσα εργασία μεγαλύτερη βαρύτητα δόθηκε στην Δορυφορική Τηλεπισκόπηση. Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζεται η επιστήμη της παρακολούθησης φαινομένων και χαρακτηριστικών απομακρυσμένα. Στη διεθνή βιβλιογραφία ο όρος αναφέρεται ως Remote Sensing (RS) (Παπαδοπούλου, 2018). Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό για την Φωτογραμμετρία και την Τηλεπισκόπηση (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing), «η Τηλεπισκόπηση ορίζεται ως η επιστήμη και η τεχνολογία απόκτησης πληροφοριών, από την λήψη δεδομένων χωρίς την άμεση επαφή με τον στόχο και από δεδομένα περιεχόμενα από άλλα συστήματα αισθητήρων για τη Γη και το περιβάλλον της, και άλλα φυσικά αντικείμενα και διαδικασίες μέσω της καταγραφής, της μέτρησης, της ανάλυσης και της παρουσίασης» (<https://www.isprs.org>). Η έννοια αυτή μπορεί να περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές εφαρμογές, όμως εξαιτίας της προ-ύπαρξης

αεροφωτογραφιών, έχει υπερισχύσει ο όρος της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, δηλαδή της καταγραφής και ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων (Περάκης κ.α., 2015).

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκοπικοί αισθητήρες

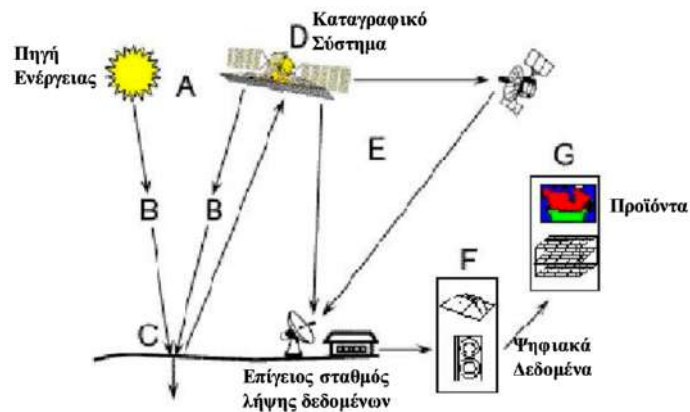
Οι αισθητήρες που είναι προσαρμοσμένοι σε δορυφόρους έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν και να καταγράφουν την ακτινοβολούμενη ενέργεια. Ανάλογα με το μήκος κύματος, τα αντικείμενα, που βρίσκονται στο έδαφος, είτε εκπέμπουν είτε ανακλούν την ακτινοβολία η οποία και καταγράφεται από τους αισθητήρες του δορυφόρου. Βασικό στοιχείο στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης είναι ο εντοπισμός και η καταγραφή της έντασης της ενέργειας που ακτινοβολείται και ονομάζεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (H/A) (Υφαντή, 2015).

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (H/A) αποτελείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα που διαδίδονται σε διάφορα μήκη κύματος και διαφορετικές συχνότητες, με αποτέλεσμα τη μεταφορά ενέργειας. Η H/A ταξινομείται στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (H/Φ) το οποίο αποτελείται από: τις ακτίνες Γ, τις ακτίνες Χ, την υπεριώδη ακτινοβολία, το ορατό φως, την υπέρυθη ακτινοβολία, τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα. Το ανθρώπινο μάτι μπορεί να δει μόνο στο μήκος του ορατού φωτός, τα χρώματα κόκκινο, πράσινο, μπλε, καθώς και τους συνδυασμούς αυτών. Ωστόσο, η πρόοδος της τεχνολογίας βοήθησε στη δημιουργία τηλεπισκοπικών συστημάτων με αισθητήρες που έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν και να παράγουν χαρακτηριστικά σε περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος όπως το εγγύς και το θερμικό υπέρυθρο, το υπεριώδες κ.α. Με αυτό τον τρόπο οι εικόνες που δημιουργούνται μπορούν να γίνουν διακριτές και από το ανθρώπινο μάτι (Εικόνα 2). Στις εικόνες αυτές αποτυπώνεται η επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας πάνω σε διάφορα αντικείμενα στη επιφάνεια της γης και στην ατμόσφαιρα. Η διάδραση που διαμορφώνεται μεταξύ τους εξηγείται μέσω διάφορων φαινομένων που ονομάζονται μετάδοση, ανάκλαση, διάχυση, σκέδαση, διάθλαση και απορρόφηση (Καϊμάρης 2012).



Εικόνα 2. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (πηγή: <https://www.miniphysics.com>).

Γενικά, κάθε αντικείμενο στην επιφάνεια της γης και στην ατμόσφαιρα έχει τη δυνατότητα να ανακλά ή να σκεδάζει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε αυτό, η οποία εκπέμπεται από μια πηγή είτε φυσική, βλέπε ήλιος, είτε τεχνητή, βλέπε λέιζερ (Jensen, 2015). Ανάλογα με το είδος της πηγής της ακτινοβολίας οι αισθητήρες διακρίνονται σε παθητικούς και ενεργητικούς.



Εικόνα 3. Στοιχεία συστήματος Τηλεπισκόπησης (πηγή: Φαρασλής Ι. σημειώσεις μαθήματος).

Οι παθητικοί αισθητήρες μετρούν την ενέργεια που προέρχεται από φυσικές πηγές. Ο ήλιος αποτελεί κυρίαρχη πηγή ακτινοβολίας και ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια ανακλάται ή απορροφάται και στη συνέχεια επανεκπέμπεται. Έτσι, οι αισθητήρες αυτού του είδους παρακολουθούν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα ίδια τα αντικείμενα. Το μόνο μειονέκτημα των παθητικών αισθητήρων είναι ότι δύναται να χρησιμοποιηθούν μόνο κατά τη διάρκεια που υπάρχει ηλιακό φως.

Οι ενεργητικοί αισθητήρες εκπέμπουν οι ίδιοι την ακτινοβολία που ανακλάται, διαθλάται ή διαχέεται στην επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα και την καταγράφουν στην επιστροφή της (Jensen, 2015). Αν και αυτού του είδους οι αισθητήρες μπορούν να παίρνουν μετρήσεις ανεξάρτητα ώρας, εποχής, καιρικών συνθηκών και συνθηκών φωτισμού, βασικό τους μειονέκτημα είναι οι αλλοιώσεις του σήματος που μπορεί να προκληθούν από διάφορες παρεμβολές και η έλλειψη πολυφασματικού χαρακτήρα.

Χαρακτηριστικά αισθητήρων

Οι αισθητήρες είναι εργαλεία καταγραφής πληροφοριών μεγάλου εύρους. Έτσι, η κατασκευή τους πρέπει να εξειδικεύεται στις εφαρμογές που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Βασικά χαρακτηριστικά αυτών είναι η χωρική και η χρονική διακριτική ικανότητα (spatial and temporal resolution), στις οποίες θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στην εργασία, και η φασματική και η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (spectral and radiometric resolution).

Χωρική Διακριτική Ικανότητα

Σύμφωνα με τον Κούτσια «η χωρική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στο μέγεθος του μικρότερου αντικειμένου το οποίο καταγράφεται από τον δορυφόρο ή στην περιοχή του εδάφους η οποία αντιστοιχεί σε ένα στοιχείο εικόνας» (Κούτσιας, 2018). Σημαντικό ρόλο στο πόσο λεπτομερής είναι μία πληροφορία που καταγράφεται παίζει η απόσταση του αισθητήρα από την επιφάνεια ή το αντικείμενο καταγραφής. Η χωρική διακριτική ικανότητα ευθύνεται για το πόσο ευδιάκριτες θα είναι οι λεπτομέρειες της καταγραφόμενης εικόνας. Συχνά, δορυφόροι που κινούνται σε ιδιαίτερα υψηλή τροχιά και καταγράφουν τεράστιες εκτάσεις, έχουν μικρή διακριτική ικανότητα. Για παράδειγμα, αν ένας αισθητήρας έχει χωρική

διακριτική ικανότητα 10m σημαίνει ότι στην παραγόμενη εικόνα κάθε εικονοστοιχείο (pixel) θα αντιστοιχεί σε μια περιοχή έκτασης 10x10m δηλαδή, 100 τετραγωνικών μέτρων.

Χρονική Διακριτική Ικανότητα

Η χρονική διακριτική ικανότητα αφορά την συχνότητα σάρωσης μιας περιοχής από τον δορυφόρο. Η περίοδος επανάληψης, όταν πρόκειται για ζεύγος δορυφόρων, μπορεί να είναι ημέρες ή και ώρες, με σκοπό να παρατηρείται και να καταγράφεται η ίδια περιοχή από την ίδια οπτική γωνία (Παπαδοπούλου, 2018). Η χρονική διακριτική ικανότητα θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό σε διάφορες μελέτες που αφορούν την παρατήρηση των αλλαγών στην γήινη επιφάνεια. Ένα τέτοιο παράδειγμα εφαρμογής είναι και οι δασικές πυρκαγιές.

Φασματική Διακριτική Ικανότητα

Η φασματική διακριτική ικανότητα αφορά τον αριθμό των φασματικών καναλιών που χειρίζεται ένας δορυφόρος (Jensen, 2015). Αυτή η διακριτική ικανότητα σχετίζεται με το εύρος του διαστήματος του μήκους κύματος στο οποίο δύναται να καταγράψει ο αισθητήρας (Κούτσιας, 2018).

Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα

Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στην ικανότητα του αισθητήρα ενός δορυφόρου να εντοπίζει και να αποτυπώνει τις μεταβολές στην ισχύ ενός σήματος (Παπαδοπούλου, 2018). Έτσι, όσο μεγαλύτερη είναι τόσο πιο ακριβής θα είναι και η λεπτομέρεια που καταγράφεται.

2.2.1 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ, ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Στην περίπτωση που μια δασική περιοχή καταστραφεί από μια πυρκαγιά, η χαρτογράφηση της κατεστραμμένης έκτασης, η παρακολούθηση της βλάστησης της και των αλλαγών κάλυψης/χρήσης γης κρίνεται απαραίτητη, ούτως ώστε με βάση τα αποτελέσματα, να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις του φαινομένου τόσο στην οικονομία όσο και στην οικολογία της περιοχής και επιπλέον να προβλεφθούν οι συνέπειες στο κλίμα και την ατμόσφαιρα γενικά.

Τα τελευταία χρόνια ανάμεσα στις πιο αξιόπιστες τεχνικές και μεθόδους μελέτης τέτοιων φαινομένων είναι η *Δορυφορική Τηλεπισκόπηση (Δ.Τ)* και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π).

Τα Γ.Σ.Π αποτελούν ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για την συλλογή, αποθήκευση, λήψη οποιαδήποτε στιγμή, μετατροπή και απεικόνιση χωρικών χαρακτηριστικών του πραγματικού κόσμου (Κουτσόπουλος, 2017). Σε περιπτώσεις πυρκαγιάς, ο συνδυασμός των δύο επιστημών παρέχει καταγραφές ισάξιες με αυτές στο πεδίο, με μόνη διαφορά την απαίτηση χαμηλότερου κόστους και λιγότερου χρόνου (Khoirunisa and Mucsi, 2021). Επιπλέον, με συγκεκριμένες τεχνικές που παρέχουν, δίνουν την δυνατότητα δημιουργίας ψηφιακών θεματικών χαρτών της εκάστοτε περιοχής μελέτης, για κάθε σκοπό. Με τα Γ.Σ.Π μπορούν να

συνδυαστούν χωρικές μεταβλητές για να ανακτηθεί πληροφορία, με σκοπό την εξαγωγή προτύπων χαρτογράφησης μέσω διάφορων συνδυασμών των πληροφοριών σε μια βάση δεδομένων, με ελάχιστους περιορισμούς.

Γενικά, η συνδυαστική χρήση της Δ.Τ και των Γ.Σ.Π θεωρήθηκε επιτυχημένη για την μελέτη των δασικών πυρκαγιών και πιο συγκεκριμένα για την εκτίμηση της δριμύτητας καύσης μιας πυρκαγιάς, την χαρτογράφηση της, την μελέτη αναγέννησης της βλάστησης κ.α.

Πρέπει να αναφερθεί πως η ποιότητα των αποτελεσμάτων σε μια τέτοιου είδους έρευνα εξαρτάται απόλυτα από την ποιότητα των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται καθώς και των μεθόδων που επιλέγονται για την επεξεργασία (Βράνια, 2012). Έτσι διαπιστώνεται, πως με τη συνδυαστική χρήση της Δ.Τ και των Γ.Σ.Π δύναται να επιτευχθούν αποτελέσματα αντάξια με εκείνα των μετρήσεων πεδίου.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την Δ.Τ στην οποία αναφέρεται η εργασία, η χρήση δεδομένων για την παρακολούθηση και την διαχείριση φυσικών καταστροφών, όπως οι πυρκαγιές, και των επιπτώσεων τους είναι ιδιαίτερα σημαντική. Τις τελευταίες δεκαετίες, με την πρόοδο της τεχνολογίας, ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα μέσω αισθητήρων τηλεπισκόπησης να έχει πρόσβαση σε πληροφορίες για όλο τον κόσμο, σε διάφορα χρονικά διαστήματα, σε ξεχωριστές κλίμακες και πολλές φασματικές περιοχές σαρώνοντας την επιφάνεια της γης (Kotaridis and Lazaridou, 2023). Ωστόσο, σύμφωνα με τους Alcaras et.al., «η χρήση τεχνικών, εργαλείων και μεθόδων δορυφορικής τηλεπισκόπησης, στον τομέα της αναγνώρισης καμένων εκτάσεων, είναι ένα πεδίο μελέτης που συνεχώς εξελίσσεται» (Alcaras et. Al., 2022).

Οι πληροφορίες που αναφέρονται παραπάνω παρέχονται από προγράμματα, όπως το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα *Copernicus*, και οργανισμούς, όπως η *NASA*. Το πρόγραμμα *Copernicus*, συγκεκριμένα, πραγματοποιείται σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον *Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA)* και παρέχει δορυφορικά και επίγεια δεδομένα. Η πρόσβαση στα δεδομένα του προγράμματος είναι ελεύθερη για όλους τους χρήστες (Copernicus, 2024). Επιπλέον, τα δεδομένα από τις υπηρεσίες *Copernicus* προσφέρονται σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σε επίπεδο παγκόσμιο, περιφερειακό και τοπικό, ακόμα και σε πολύ μικρές σε έκταση περιοχές (Filipponi, 2018). Έτσι, καθώς τις τελευταίες δεκαετίες τα φαινόμενα πυρκαγιών συμβαίνουν όλο και πιο συχνά και τις περισσότερες φορές επηρεάζουν και προστατευόμενες περιοχές, τα δορυφορικά δεδομένα είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την χαρτογράφηση μιας πληγείσας περιοχής και την εκτίμηση της δριμύτητας της πυρκαγιάς.

Αναφορικά με το δορυφορικό κομμάτι του προγράμματος, με σκοπό την κάλυψη των αναγκών των χρηστών του, το *Copernicus* χρησιμοποιεί τους χαρτογραφικούς δορυφόρους *Sentinel* (Copernicus, 2024). Ο πρώτος δορυφόρος, *Sentinel-1A*, τέθηκε σε τροχιά το 2014 και στόχος της Ε.Ε είναι η εκτόξευση είκοσι επιπλέον δορυφόρων μέχρι το 2030. Στην εργασία αυτή, γίνεται αναφορά στον δορυφόρο *Sentinel-2*. Ο *Sentinel-2* αποτελεί ζεύγος δορυφόρων (*Sentinel-2A* και *Sentinel-2B*) όπου κάθε δορυφόρος χρησιμοποιεί 13 κανάλια (φασματικές ζώνες) με στόχο τη χαρτογράφηση των χρήσεων καλύψεων γης, του ανθρωπογενούς και φυσικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, η τροχιά του κάθε δορυφόρου επιτρέπει την επανασάρωση μιας περιοχής κάθε πέντε μέρες (ESA, 2024). Στην προκειμένη μελέτη γίνεται χρήση των προϊόντων του δορυφόρου *Sentinel-2A*.

Οι υπηρεσίες του Copernicus έχουν την δυνατότητα να μετατρέψουν έναν μεγάλο όγκο δορυφορικών δεδομένων, με κατάλληλη επεξεργασία και ανάλυση, σε πληροφορίες με ιδιαίτερη αξία. Η συλλογή δεδομένων για χρόνια διασφαλίζει την ορθή παρακολούθηση των μεταβολών στην επιφάνεια της γης και έτσι αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ορθότερων προγνώσεων σε περίπτωση κινδύνου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται χάρτες, καθορίζονται τα χαρακτηριστικά και εξάγονται πληροφορίες για την εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος. Οι πληροφορίες που είναι διαθέσιμες μέσω του Copernicus μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως είναι οι φυσικές καταστροφές. Το πρόγραμμα Copernicus δύναται να φανεί χρήσιμο στην γενική διαχείριση αυτών. Οι υπηρεσίες του συμβάλουν στην εγρήγορση και την πρόληψη, με δεδομένα που αφορούν τον προσδιορισμό των κινδύνων. Στο κομμάτι της αντίδρασης, προσφέρει προϊόντα που εκφράζουν παραστατικά την έκταση και το επίπεδο της καταστροφής. Αναφορικά με τον τομέα της αποκατάστασης, συνεισφέρει στην παρακολούθηση των επιπτώσεων σε όλους τους τομείς. Τέλος, αυτού του είδους η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικύρωση και την αξιολόγηση των κινδύνων αρχικά και έπειτα των καταστροφών (Copernicus, 2024).

Όσον αφορά την NASA, αποτελεί έναν κρατικό αμερικάνικο οργανισμό που ιδρύθηκε το 1958. Η NASA απασχολείται στον τομέα της μελέτης του διαστήματος, της αερονautιλίας και της εξέτασης του περιβάλλοντος της γης. Ένα από τα πιο γνωστά προγράμματα της είναι το *Landsat*, το οποίο χρησιμοποιεί εννιά δορυφόρους με τον πρώτο, *Landsat 1*, που εκτοξεύθηκε στο διάστημα το 1972 και τον τελευταίο, *Landsat 9*, που τέθηκε σε τροχιά το 2021 (NASA, 2024). Η χρήση των δορυφόρων *Landsat* γίνεται κυρίως σε εφαρμογές χαρτογράφησης φυσικών πόρων και χαρτογράφησης φυσικών καταστροφών.

Γενικά, είναι διαθέσιμες διάφορες μέθοδοι μελέτης της οικολογίας μιας πυρκαγιάς, όπως επίσης πολλοί δείκτες, προτεινόμενοι από τη βιβλιογραφία, που συχνά συνδράμουν στην επιτυχία καλών αποτελεσμάτων (Alcaras et. Al., 2022).

Επιπλέον, πέρα από το μεγάλο εύρος πληροφοριών που παρέχουν τα δεδομένα τηλεπισκόπησης, στα πλεονεκτήματα της χρήσης της συγκαταλέγεται και η μεγάλη αποτελεσματικότητα της, λόγω της εξελιγμένης τεχνολογίας, η οποία μειώνει σημαντικά το κόστος, ειδικά όταν αφορά την εκτίμηση μεγαλύτερων σε έκταση περιοχών (Khoirunisa and Mucsi, 2021).

Η δυνατότητα συλλογής δεδομένων, εικόνων και πληροφοριών για την εκάστοτε περιοχή, απομακρυσμένα, καθιστά την όλη διαδικασία πρωτίστως σημαντικά οικονομικότερη και δευτερεύοντος σαφώς ταχύτερη. Τα δεδομένα, πολλές φορές, παρέχονται δωρεάν, όπως προαναφέρθηκε, και σχεδόν άμεσα. Έτσι, ο χρόνος και τα χρήματα που θα απαιτούνταν σε περίπτωση διεξαγωγής της έρευνας στο πεδίο, περιορίζονται σημαντικά. Επιπλέον, η δυσκολία πρόσβασης σε ορισμένα σημεία της περιοχής ενδιαφέροντος, στην περίπτωση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης δεν υφίσταται.

Συνολικά από τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα πως το μεγάλο εύρος, τόσο στην έκταση, όσο και στις πληροφορίες που έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν τα δορυφορικά δεδομένα, ο μειωμένος χρόνος, τα λιγότερα χρήματα και η εύκολη προσβασιμότητα σε όλη την περιοχή μελέτης, καθιστούν την τηλεπισκόπηση ιδανική για την χαρτογράφηση μιας καμένης έκτασης, την παρακολούθηση του συνόλου της βλάστησης της, όπως και των αλλαγών της.

2.2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΩΣ ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

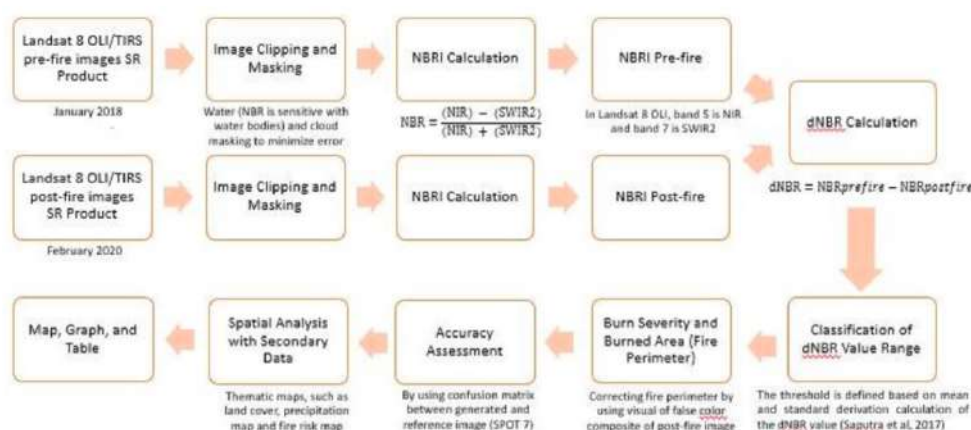
Η βιβλιογραφική αναζήτηση επικεντρώθηκε σε εγκεκριμένα επιστημονικά περιοδικά. Το κύριο αντικείμενο των ερευνών που επιλέχθηκαν είναι η δυνατότητα να εφαρμοστούν τηλεπισκοπικές μέθοδοι στον τομέα της χαρτογράφησης καμένων εκτάσεων.

- a. Ανάλυση καμένης περιοχής με τη χρήση του δείκτη κανονικοποιημένης αναλογίας καύσης (NBRI) στις δασικές πυρκαγιές του 2019 στην Ινδονησία. Μελέτη περίπτωσης: περιοχή Pinggir-Mandau district, Bengkalis, Riau, Ινδονησία (Burned region analysis using Normalized Burn Ratio Index (NBRI) in 2019 forest fires in Indonesia. Case study: Pinggir-Mandau district, Bengkalis, Riau, Indonesia), Khoirunisa, R. και Mucsi, L., (2021)

Στη συγκεκριμένη επιστημονική εργασία ως περιοχή μελέτης ορίστηκε η περιοχή Bengkalis στο Riau της Ινδονησίας. Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε λόγω του μεγαλύτερου φαινομένου πυρκαγιάς που συνέβη, από τον Ιούλιο μέχρι τον Οκτώβριο του 2019.

Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν δύο δορυφορικές εικόνες, Landsat 8, με χρονική διαφορά από τη ώρα του συμβάντος. Η πρώτη εικόνα, πριν την πυρκαγιά, χρονολογείται στις 30 Ιανουαρίου 2018, ενώ η δεύτερη, μετά την πυρκαγιά έχει ημερομηνία 5 Φεβρουαρίου 2020. Και οι δύο εικόνες συλλέχθηκαν από τον ιστότοπο EarthExplorer, που προσφέρει δωρεάν, ανοιχτές στο κοινό δορυφορικές εικόνες. Επιπλέον συλλέχθηκαν βοηθητικά δεδομένα για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από Κυβερνητικά Ινστιτούτα της Ινδονησίας όπως ο Οργανισμός Γεωχωρικών Πληροφοριών και το Εθνικό Ινστιτούτο Αεροναυπηγική και Διάστημα.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αφορά στην ταξινόμηση βάσει δεικτών. Η μεθοδολογία παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Διάγραμμα ροής της έρευνας.

Πιο αναλυτικά, αναφέρεται ότι βασικό κομμάτι της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων είναι η δημιουργία масκών για να αναφερθούν ανεπιθύμητες πληροφορίες από αυτές, όπως τα σύννεφα και τυχόν σώματα νερού. Στη συνέχεια για τον υπολογισμό του δείκτη NBRI χρησιμοποιήθηκαν τα κανάλια 5 (NIR) και 7 (SWIR2) στον τύπο:

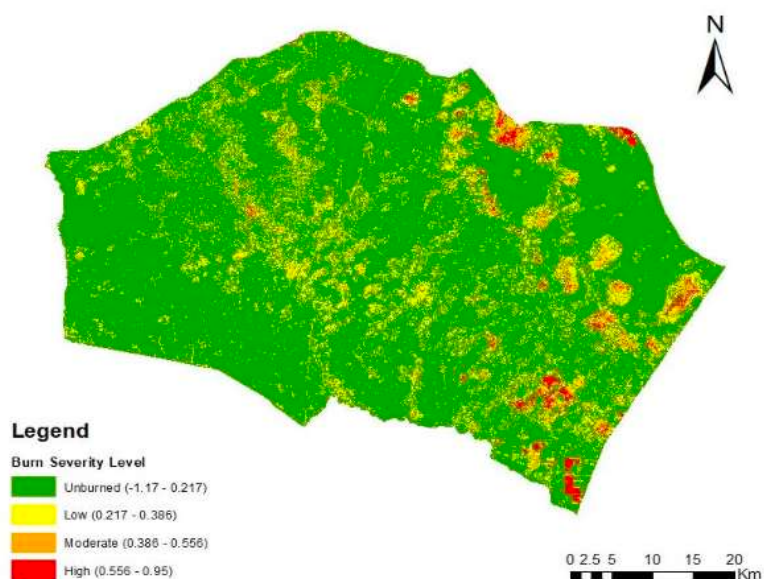
$$NBR\ Index = \frac{Band\ 5\ (NIR) - Band\ 7\ (SWIR2)}{Band\ 5\ (NIR) + Band\ 7\ (SWIR2)}$$

Και αφού υπολογιστεί ο δείκτης και για τις δύο εικόνες, πριν και μετά την πυρκαγιά εφαρμόζεται ο παρακάτω τύπος με σκοπό να χαρακτηριστούν τα επίπεδα δριμύτητας καύσης.

$$dNBR = NBR\ (Pre - fire) - NBR\ (postfire)$$

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία υπολογισμού των δεικτών, για να εκτιμηθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του πίνακα σύγχυσης που θα επισημάνει την ακρίβεια και τα σφάλματα της παραγόμενης εικόνας (Landsat 8 OLI) και της εικόνας αναφοράς (SPOT 7). Η σύγκριση αυτή θα συμβεί τοποθετώντας ομοιόμορφα 75 σημεία αναφοράς καταναμεμένα σε όλη την περιοχή μελέτης, χαρακτηρίζοντας την καμένη περιοχή με το νούμερο 1 και την μη καμένη έκταση με το νούμερο 2.

Οι ερευνητές ανέπτυξαν μια μέθοδο για να καθορίσουν το κατώτατο όριο για να πετύχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και τον καλύτερο διαχωρισμό για τον δείκτη dNBR. Ο υπολογισμός του κατώτατου ορίου γίνεται μέσω του μέσου όρου (μ) και την τυπικής απόκλισης (σ) κάθε τιμής του δείκτη σε κάθε σημείο. Έτσι αυτή η τιμή ορίζεται ως σ-μ, σ και σ+μ. Με βάση αυτά, προκύπτουν τα όρια 0,217, 0,386 και 0,556. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην εικόνα 5. Η μελέτη έδειξε ότι η καμένη έκταση στην περιοχή μελέτης συνολικά είναι 11.014 εκτάρια (4,7%) από την συνολική έκταση, 234.864 εκτάρια, με τα περισσότερα από αυτά να χαρακτηρίζονται από χαμηλής δριμύτητας καύση. Στην εργασία αναφέρεται ότι με την επικάλυψη του χωρικού χάρτη του επιπέδου καύσης με άλλα είδη θεματικών χαρτών δύναται να προγραμματιστεί η αποκατάσταση της περιοχής όπως επίσης και να προβλεφθεί τυχόν μελλοντικός κίνδυνος πυρκαγιάς.



Εικόνα 5. Χαρτογράφηση της δριμύτητας καύσης των πυρκαγιών του 2019 για τις περιοχές Pinggir και Mandau, στην περιφέρεια Bengkalis, στην επαρχία Riau, στην Ινδονησία.

Με βάση την έρευνα που διεξάχθηκε αποκαλύφθηκε πως, περίπου, το 81% της καμένης έκτασης βρίσκεται σε περιοχή με μεγάλη πιθανότητα κινδύνου πυρκαγιάς, ενώ, περίπου το 19% αυτής βρίσκεται στην κατηγορία μέτριου κινδύνου. Επιπλέον, φάνηκε πως η καμένη περιοχή μετά την πυρκαγιά του 2019 εκτός από δασικές εκτάσεις και εκτάσεις με βλάστηση εντοπίστηκε και σε περιοχές με έλλειψη φυτοκάλυψης όπως πετρελαιοπηγές και κατοικημένες περιοχές.

Για την αξιολόγηση της ακρίβειας οι ερευνητές, όπως και στην παρούσα εργασία, χρησιμοποίησαν τον συντελεστή Kappa ο οποίος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον πίνακα ακρίβειας για να αποκαλυφθούν τα επίπεδα συμφωνίας μεταξύ της παραγόμενης εικόνας και της εικόνας αναφοράς. Μια τιμή κοντά στο 1 αντιπροσωπεύει απόλυτη συμφωνία, ενώ κοντά στο 0 υποδηλώνει την τυχαιότητα. Στην συγκεκριμένη έρευνα, η τιμή του συντελεστή Kappa είναι ίση με 0,83 και υποδηλώνει αρκετά μεγάλη συμφωνία.

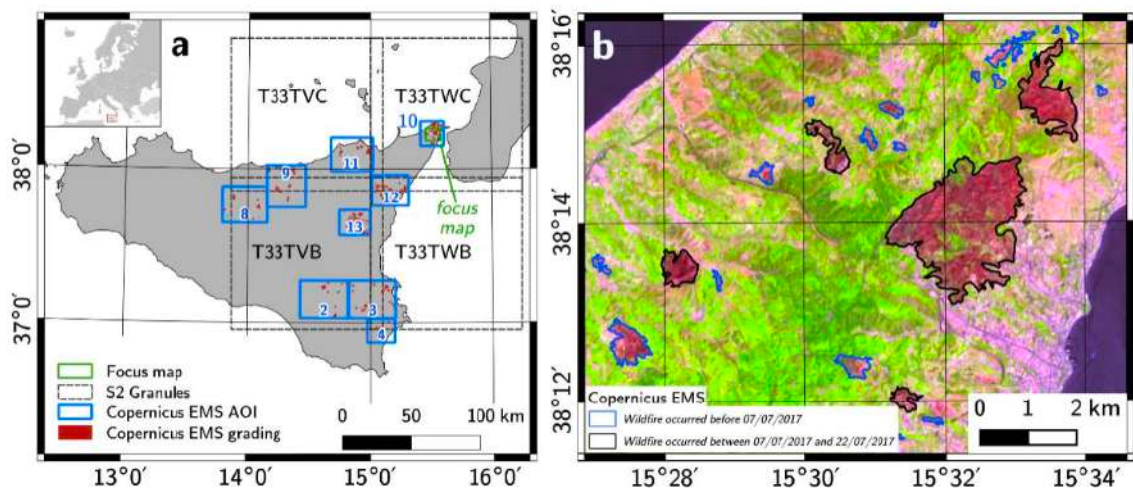
Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι, περίπου, το 50% της καμένης περιοχής αντιστοιχούσε σε δασικές εκτάσεις με ταχεία φυτοκάλυψη. Με βάση τον τρόπο που κάηκε η περιοχή πιστεύεται ότι τα αίτια ήταν ανθρωπογενή σε συνδυασμό με περιβαλλοντικά αίτια, καθώς η φωτιά εξαπλώθηκε σποραδικά. Επιπλέον, αναφέρεται ότι οι καιρικές συνθήκες όχι μόνο εμπόδισαν την προσπάθεια για κατάσβεση των πυρκαγιών, αλλά και συνέβαλαν στη δημιουργία προβλημάτων υγείας στους ανθρώπους της πληγείσας περιοχής. Όπως προαναφέρθηκε, η επικάλυψη αυτού του χάρτη από άλλους θεματικούς δύναται να συμβάλει στην δημιουργία πλάνου αποκατάστασης της περιοχής. Επίσης μπορεί να αποτελέσει ενδεικτικό σημάδι για τον τρόπο που θα εκδηλωθεί μια μελλοντική πυρκαγιά και να συμβάλει στην απόκτηση ιστορικού των πυρκαγιών της περιοχής για πιθανά φαινόμενα στο μέλλον.

b. BAIS2: Δείκτης καμένης περιοχής για τον Sentinel-2⁺ (BAIS2: Burned Area for Sentinel-2⁺), Filipponi, F. (2018)

Η περιοχή μελέτης σε αυτή την εργασία εντοπίζεται στην Σικελία, στην νότια Ιταλία, όπου κάηκαν 110.21km² εξαιτίας των πυρκαγιών που έλαβαν χώρα τον Ιούλιο του 2017.

Τα προϊόντα Emergency Management Service της Copernicus χρησιμοποιήθηκαν ως αλήθεια αναφοράς για τις ενεργοποιήσεις που αριθμούνται στην Εικόνα 6(α). Χρησιμοποιήθηκαν επίσης 2 εικόνες EMS της Copernicus, μία λήψη S2A πριν την πυρκαγιά στις 07/07/2017 και μία S2B μετά από αυτή στις 22/07/2017. Σαν σημεία αναφοράς ο ερευνητής καθόρισε μόνο τα πολύγωνα διαβάθμισης που αντιστοιχούν σε πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν (Εικόνα 6 (b)).

Τα δεδομένα S2 διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά με χρήση ειδικού αλγόριθμου και έγινε επαναδειγματοληψία. Έπειτα υπολογίστηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area INDEX-LAI) από τα διορθωμένα δεδομένα L2A. Στη συνέχεια αφαιρέθηκαν οι υδάτινες επιφάνειες με τη χρήση συγκεκριμένης μάσκας.



Εικόνα 6. (α) Θέση της περιοχής μελέτης, με την έκταση των τεσσάρων κόκκων Sentinel-2 που χρησιμοποιήθηκαν και τις περιοχές ενδιαφέροντος (AOIs) των προϊόντων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της υπηρεσίας διαχείρισης έκτακτης ανάγκης (EMS- Emergency Management Service) του Copernicus (b) χάρτης με λεπτομερή εστίαση στην περιοχή της Messina. Φόντο: εικόνα Sentinel-2 που αποκτήθηκε στις 22/07/2017 στις 09:50:29 UTC και απεικονίζονται σε ψευδοχρώματα. Επικάλυψη: καμένες περιοχές από τα προϊόντα Copernicus EMS.

Ο δείκτης BAIS2 υπολογίστηκε με βάση τον τύπο:

$$BAIS2 = \left(1 - \sqrt{\frac{B06 * B07 * B8A}{B4}} \right) * \left(\frac{B12 - B8A}{\sqrt{B12 + B8A}} + 1 \right)$$

Η καινοτομία που προσφέρει ο παραπάνω τύπος είναι ο συνδυασμός του λόγου ζωνών στο ερυθρό, που καταγράφουν τις ιδιότητες της βλάστησης, και στο SWIR που εντοπίζει τις καμένες εκτάσεις. Για να συγκριθεί ο BAIS2 με τον δείκτη αναφοράς, ο NBR υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$NBR = (B8-B12) / (B8+B12)$$

Έπειτα, έγινε ο υπολογισμός των δεικτών dBAIS2 και dNBR από την αριθμητική διαφορά μεταξύ των εκτιμήσεων πριν και μετά την πυρκαγιά. Η ευαισθησία των δεικτών εκτιμήθηκε στη συνέχεια με χρήση του δείκτη διαχωρισιμότητας (SI) όπως φαίνεται παρακάτω: $SI = |\mu_b - \mu_u| / (\sigma_b + \sigma_u)$, όπου μ_b και μ_u είναι οι μέσες τιμές των δεικτών για τις καμένες και μη επιφάνειες, ενώ σ_b και σ_u είναι οι τυπικές αποκλίσεις αυτών. Έτσι, δημιουργήθηκαν στατιστικά στοιχεία και για τους δύο δείκτες τόσο για τις καμένες και τις άκαυστες περιοχές, όσο και για τα διαφορετικά επίπεδα βαθμολόγησης που οριοθετούνται στα προϊόντα Copernicus EMS και αντιπροσωπεύουν: καθόλου ως λίγο καμένη περιοχή, μέτρια καμένη, πολύ καμένη και πλήρως καμένη περιοχή. Σύμφωνα με τα στατιστικά, ο ερευνητής αναφέρει ότι οι δείκτες BAIS2 και dBAIS2 έλαβαν λίγο υψηλότερη βαθμολογία από τον δείκτη NBR όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

BAIS2	NBR	dBAIS2	dNBR
0.865	0.848	1.337	1.324

Πίνακας 2. Τιμή του δείκτη διαχωρισιμότητας (SI) των τεσσάρων δεικτών που υπολογίστηκαν για τις επιλεγμένες περιοχές του Copernicus EMS.

Ο ερευνητής κατέληξε στο ότι τα δορυφορικά δεδομένα του Sentinel-2 αποτελούν βασικό στοιχείο παρακολούθησης μετά την πυρκαγιά, με ιδιαίτερες δυνατότητες διάκρισης των επιπέδων δριμύτητας καύσης, με μεγάλη λεπτομέρεια.

Σημείωσε πως από τον υπολογισμό του SI, οποιαδήποτε τιμή που προκύπτει και είναι μεγαλύτερη του 1 αντιστοιχεί σε υψηλή διακριτική ικανότητα, ενώ μια τιμή μικρότερη του 1 υποδηλώνει έναν μη επαρκή διαχωρισμό των καμένων περιοχών. Επιπλέον, επισήμανε την αναγκαιότητα χρήσης μάσκας για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων σωμάτων με σκοπό την ορθή χαρτογράφηση της, προς μελέτη, επιφάνειας. Τέλος, συνιστάται η χρήση δεικτών διαφοράς, σε διαφορετικούς χρόνους, για το καλύτερο και πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα.

Συμπερασματικά, η μελέτη παρουσίασε τον φασματικό δείκτη BAIS2 με τον ειδικό αισθητήρα S2 MSI. Συγκρίθηκαν οι δείκτες NBR και BAIS2 για τον εντοπισμό καμένων εκτάσεων, με πιο αποδοτικό τον δεύτερο δείκτη. Τέλος, σαν σχόλιο, αναφέρθηκε πως ο αισθητήρας αυτός θα φαινόταν ιδιαίτερα χρήσιμος σε υπηρεσίες που ασχολούνται με την εκτίμηση της δριμύτητας μιας πυρκαγιάς, την εκτίμηση απώλειας βλάστησης και την παρακολούθηση της βλάστησης μετά από μια πυρκαγιά.

3. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

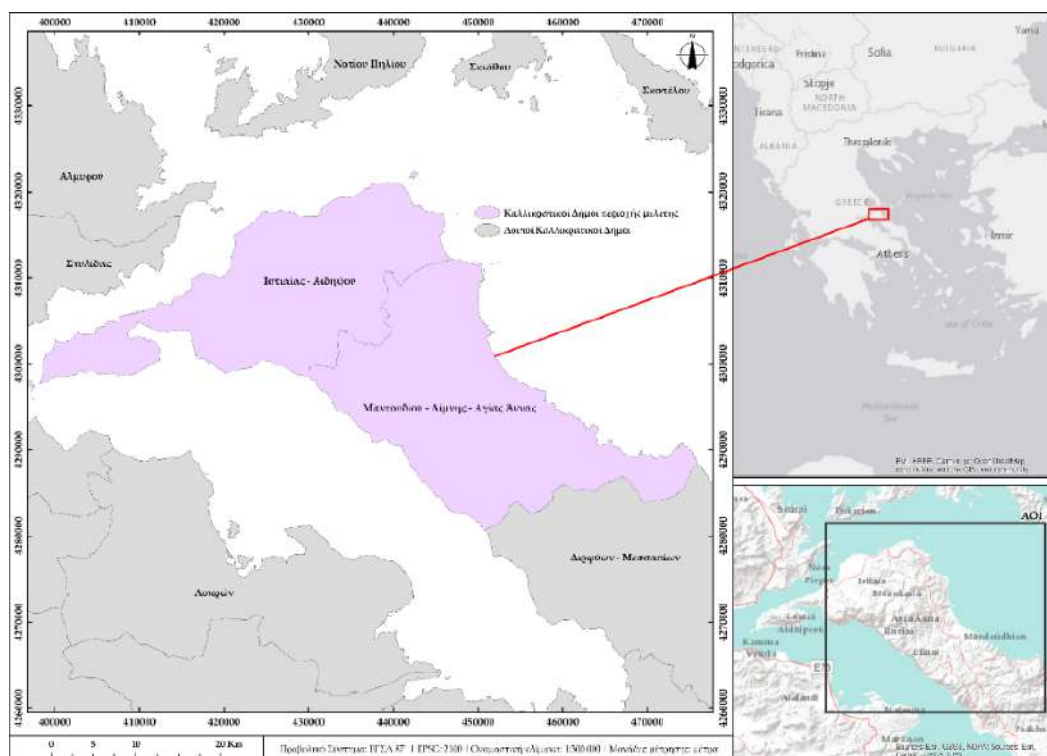
Ο Νομός Ευβοίας αποτελείται από την Εύβοια, τη Σκύρο, ένα μικρό κομμάτι της Στερεάς Ελλάδας και άλλα μικρά νησιά που βρίσκονται κοντά τους. Το νησί της Εύβοιας είναι το δεύτερο μεγαλύτερο στην χώρα, όσον αφορά την έκταση του (Ζαχαρή, 2023). Συνολικά, η έκταση του νομού είναι 4.167 km², ενώ ο πληθυσμός του αγγίζει τους 210.815 κατοίκους με βάση την απογραφή του 2011 (Ελ. Στατ., 2011). Ο νομός αποτελείται από οκτώ δήμους και η πρωτεύουσα του είναι η Χαλκίδα, που είναι και η μεγαλύτερη πόλη του νησιού. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά οι δήμοι και η έδρες του νομού (Πίνακας 2).

<i>Δήμοι</i>	<i>Έδρες</i>
Διρφύων- Μεσσαπίων	Ψαχνά
Ερέτριας	Ερέτρια
Ιστιαίας- Αιδηψού	Ιστιαία
Καρύστου	Κάρυστος
Κύμης- Αλιβερίου	Αλιβέρι
Μαντουδίου- Λίμνης- Αγίας Άννας	Μαντούδι
Σκύρου	Σκύρος
Χαλκιδέων	Χαλκίδα

Πίνακας 2. Δήμοι Νομού Εύβοιας.

Η περιοχή, γεωμορφολογικά, αποτελείται κυρίως από ορεινές, δασικές και καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Στην Εύβοια απαντώνται μεγάλα βουνά που καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό της έκτασης της, γόνιμες πεδιάδες, κοιλάδες, σπήλαια, θερμές πηγές κ.α. Η χλωρίδα της περιοχής αναφέρεται ως ιδιαίτερα πλούσια με σπάνια είδη να εμφανίζονται σε αυτή, καθιστώντας την έτσι σημαντικό κέντρο χλωριδικής ποικιλότητας. Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως το βόρειο κομμάτι του νησιού έχει περισσότερη βλάστηση από το νότιο (Μαστρογιάννη, 2019).

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το βόρειο τμήμα της Εύβοιας όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Χάρτης γεωγραφικής θέσης περιοχής μελέτης.

Αναφορικά με το κλιματικό προφίλ της περιοχής, χαρακτηρίζεται εύκρατο με ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 800-1.200 mm, ενώ η θερμοκρασία, τις ημέρες της καταστροφής, κυμαινόταν στους 30 με 40 βαθμούς Κελσίου (Timeanddate, 2024, Σκριμιζέας, 2024).

Όσον αφορά την υπό μελέτη πυρκαγιά, ξέσπασε στις 3 Αυγούστου το 2021, περίπου στις 15:30, στα Κριεζά, και επεκτάθηκε σε γύρω περιοχές προκαλώντας υλικές ζημιές, εκκενώσεις χωριών, τραυματισμούς, θανάτους ενώ καταστράφηκαν χιλιάδες στρέμματα δασικών και καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Υπήρξαν δεκάδες αναζωπυρώσεις, ενώ, το φαινόμενο διήρκησε μέχρι τις 11 του μηνός και κατασβήστηκε ολοκληρωτικά στις 13 του ίδιου μήνα.

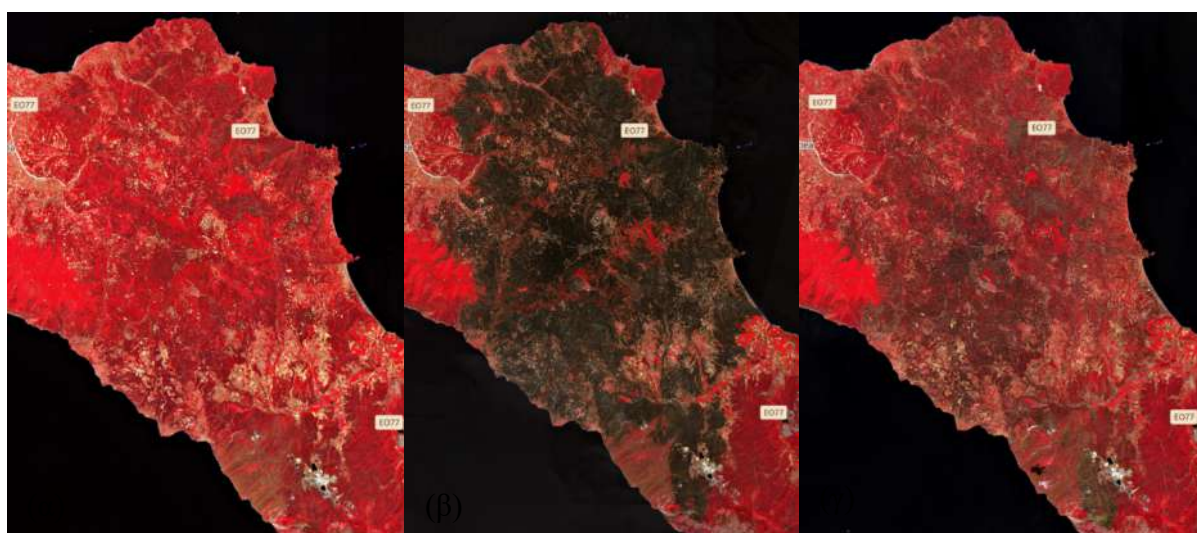
Οι πληγείσες περιοχές καταλογίζονται στους Δήμους Λίμνης – Μαντουδίου - Αγίας Άννας και Ιστιαίας – Αιδηψού, με συνολικό, μόνιμο πληθυσμό, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ίσο με 13.294 κατοίκους (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2011). Μετά από πρόσφατο καταλογισμό των καταστροφών υπολογίζεται ότι κάηκαν συνολικά, περίπου 512,000 km². Με φθίνουσα σειρά η φωτιά κατέστρεψε μικτά δάση, θαμνώδεις εκτάσεις, εκτάσεις με αραιή βλάστηση, γεωργικές καλλιέργειες (κυρίως ελιές και δέντρα που παράγουν φρούτα),

τεχνητές εκτάσεις, υδάτινες επιφάνειες και παραλίες (ΥΛΗ-Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος, 2021, Corine Land Cover, 2024).

3.2 ΥΛΙΚΑ

Οι δορυφορικές εικόνες *Sentinel-2* που χρησιμοποιήθηκαν παρέχονται δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα *Copernicus Open Access Hub* η οποία ανήκει στο *European Space Agency (ESA)* και στο πρόγραμμα *Copernicus* (Copernicus Open Access Hub, 2018).

Για τον σκοπό της εργασίας έγινε χρήση δεδομένων τύπου 2A που σημαίνει πως αυτά ήταν διαθέσιμα ατμοσφαιρικά και γεωμετρικά διορθωμένα. Συνολικά, για τις ανάγκες της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν 12 δορυφορικές εικόνες που απεικονίζουν την περιοχή μελέτης, συνδυαστικά ανά τετράδες, όπως περιγράφεται στον Πίνακα 3. Οι τέσσερις στις 3 Αυγούστου 2021 (Εικόνα 8(α)), απεικονίζουν την περιοχή πριν την πυρκαγιά, οι τέσσερις στις 26 Αυγούστου 2021 (Εικόνα (β)), οι οποίες την απεικονίζουν μετά από αυτή και οι υπόλοιπες τέσσερις στις 18 Αυγούστου 2022 (Εικόνα (γ)), που απεικονίζουν την περιοχή περίπου ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά (Κονάcs, 2019).



Εικόνα 8. Αποτύπωση της περιοχής με σύνθετο ψευδοχρώμα σε τρεις διαφορετικές ημερομηνίες όπου: (α) 03/08/2021, (β) 26/08/2021 και (γ) 26/08/2022.

Παράμετροι	Πριν το γεγονός	Μετά το γεγονός	Μετά το γεγονός
Δορυφόρος	Sentinel-2A	Sentinel-2A	Sentinel-2A
Αριθμός εικόνων	4	4	4
Ημερομηνία λήψης	03.08.2021	26.08.2021	18.08.2022
Επίπεδο επεξεργασίας	2A	2A	2A
Τροχιά	Καθόδου	Καθόδου	Καθόδου

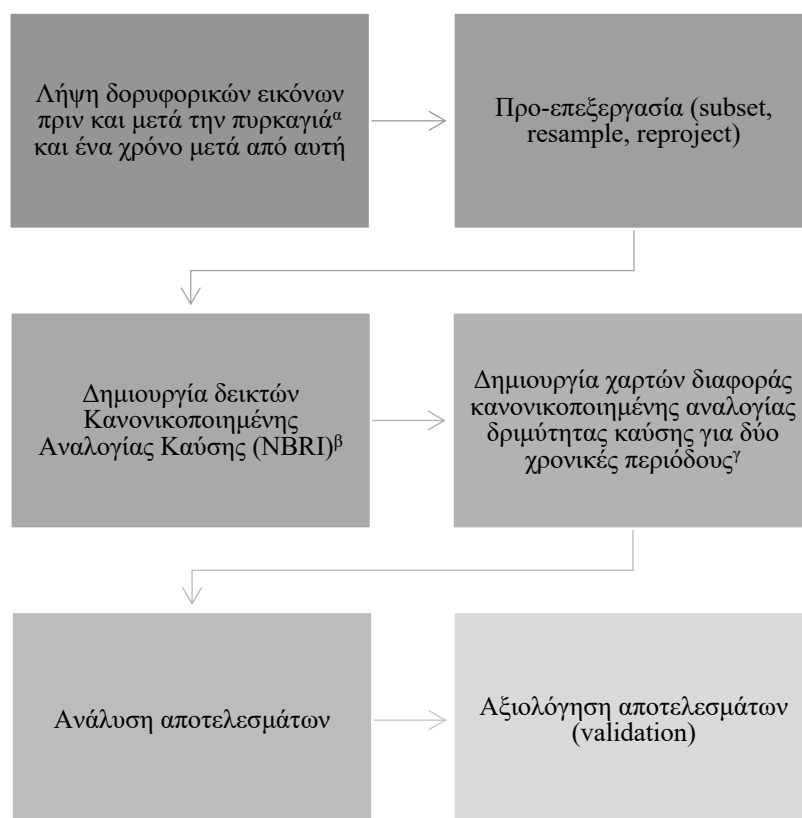
Πίνακας 3. Περιγραφή δεδομένων.

Για την επεξεργασία των γεωχωρικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η διαδικτυακή πλατφόρμα της Google Earth Engine, καθώς και εξειδικευμένα λογισμικά τηλεπισκόπησης και

GIS (SNAP, της ESA & QGIS, ένα ανοιχτού κώδικα λογισμικό για την επεξεργασία δεδομένων raster και vector).

3.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΚΑΜΕΝΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων στην περιοχή της Βόρειας Εύβοιας μετά την μεγάλη πυρκαγιά του 2021 και η εκτίμηση της σφοδρότητας της. Για να επιτευχθεί η χαρτογράφηση αυτή πρέπει να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται στο διάγραμμα στο Σχήμα 1. Η διαδικασία ξεκινάει με την λήψη των δορυφορικών εικόνων για τις τρεις διαφορετικές ημερομηνίες. Οι εικόνες αυτές, όπως προαναφέρθηκε, παρέχονται δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα *Copernicus Open Access Hub* η οποία ανήκει στο *European Space Agency (ESA)* και στο πρόγραμμα *Copernicus* (Copernicus Open Access Hub, 2018).

(α) Επιπλέον, αυτές είναι από το σύστημα ατμοσφαιρικά και γεωμετρικά διορθωμένες, δηλαδή έχει γίνει γεωαναφορά σε συγκεκριμένη χαρτογραφική προβολή (Kavhu, et. al., 2020).

Ξεκινώντας με την προ-επεξεργασία των δεδομένων, είναι απαραίτητη η συνένωση των εικόνων ανά ημερομηνία λήψης για την δημιουργία ενός ενιαίου μωσαϊκού και η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης (subset). Το επόμενο βήμα αφορά την μετατροπή όλων των καναλιών στο ίδιο μέγεθος εικονοστοιχείου (20 x 20 μέτρα) (resample) και την μεταφορά των εικόνων στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87') (reproject).

Με την ολοκλήρωση της προ-επεξεργασίας ακολουθεί η ενίσχυση της εικόνας φασματικά και χωρικά. Στο κομμάτι της ενίσχυσης συμπεριλαμβάνονται και οι δείκτες στους οποίους έγινε αναφορά παραπάνω ($NBRI = \text{Normalized Burn Ratio Index}$, $dNBR = \text{differenced Normalized Burn Ratio}$) (Κούτσιας, 2018, Ψυχογιός, 2021).

(β) Ο υπολογισμός του δείκτη Normalized Burn Ratio (NBR) για τις τρεις ημερομηνίες λήψης όπως περιγράφεται από τον τύπο (1):

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (1)$$

Το κανάλι B8 αντιστοιχεί στο NIR (Near- Infrared= εγγύς υπέρυθρο), ενώ το B12 στο SWIR (Short- Wavelength Infrared= υπέρυθρο μικρού μήκος κύματος). Ο δείκτης NBRI λαμβάνει τιμές από -1 έως 1. Οι υψηλές τιμές του δείκτη δείχνουν υγιή βλάστηση ενώ χαμηλές τιμές άγονη γη ή πρόσφατα καμένες εκτάσεις (Κονάcs, 2019).

(γ) Αφού υπολογιστεί ο δείκτης NBRI και για τις τρεις ημερομηνίες, επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του δείκτη έντασης καύσης ($dNBR$) που αφορά στην αφαίρεση του NBR πριν και μετά την πυρκαγιά όπως περιγράφεται στον τύπο (2):

$$dNBR = NBR_{pre-fire} - NBR_{post-fire} \quad (2)$$

Ο δείκτης $dNBR$ υπολογίστηκε μεταξύ των ημερομηνιών 03.08.2021 και 26.08.2021 με στόχο την εκτίμηση της έντασης καύσης της καμένης περιοχής. Στην συνέχεια υπολογίστηκε δεύτερη φορά μεταξύ των ημερομηνιών 26.08.2021 και 18.08.2022 με στόχο την εκτίμηση των περιοχών που παρουσιάζουν ενισχυμένη αναγέννηση (Alcaras, et.al., 2022). Η ταξινόμηση του δείκτη έγινε βάση του προτεινόμενου πίνακα της Γεωλογικής Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών (USGS) όπως περιγράφεται στον Πίνακα 4.

<i>Severity Level</i>	<i>Επίπεδα δριμύτητας</i>	<i>dNBR Range</i>
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	Ενισχυμένη αναγέννηση, υψηλή (μετά την πυρκαγιά)	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	Ενισχυμένη αναγέννηση, χαμηλή (μετά την πυρκαγιά)	-0.250 to -0.101
Unburned	Άκαυστο	-0.100 to +0.099
Low Severity	Χαμηλή Δριμύτητα	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	Μέτρια- Χαμηλή Δριμύτητα	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	Μέτρια- Υψηλή Δριμύτητα	+0.440 to +0.659
High Severity	Υψηλή Δριμύτητα	+0.660 to +1.300

Πίνακας 4. Προτεινόμενο εύρος τιμών του USGS για την ταξινόμηση του $dNBR$.

Στο αποτέλεσμα οι υψηλές τιμές δείχνουν περιοχές που έχουν υποστεί σοβαρή καταστροφή από τη φωτιά ενώ οι χαμηλές την αύξηση της βλάστησης μετά την πυρκαγιά. Χρωματίζοντας ανάλογα, η εν λόγω διαφορά γίνεται εύκολα αντιληπτή. Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν στην επόμενη ενότητα.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, τελευταίο βήμα στην μεθοδολογία της εργασίας έγινε δειγματοληψία από ανεξάρτητη πηγή δεδομένων. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν σημεία από εικόνα υψηλής ανάλυσης από το προϊόν *Google Earth Pro*, τα οποία

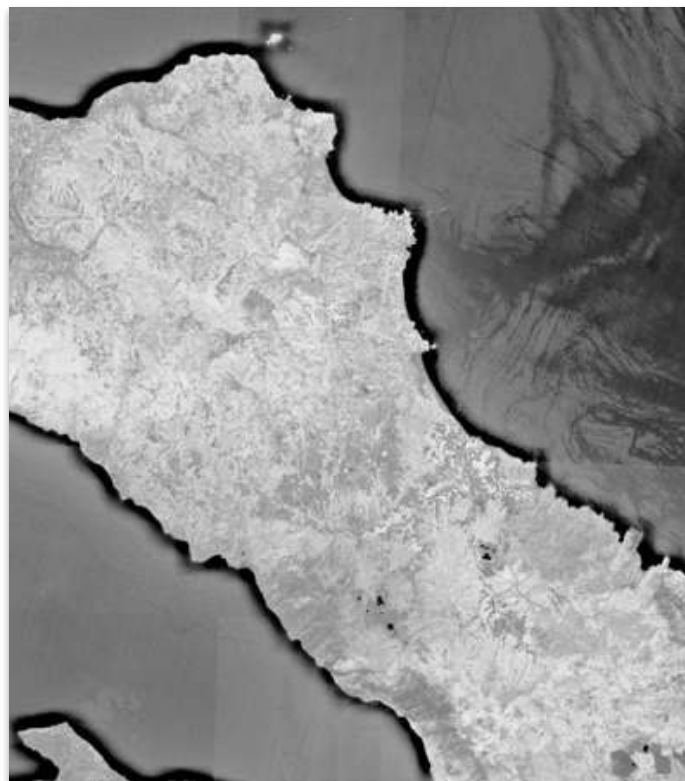
συσχετίστηκαν με τα δεδομένα από τον Sentinel-2. Υπολογίστηκε ο πίνακας ακρίβειας και ο συντελεστής *Cohen's Kappa* (k). Ο συντελεστής *Cohen's Kappa* (k) υπολογίζεται από τον τύπο (3):

$$k = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} = 0.78 = 78\% \quad (3)$$

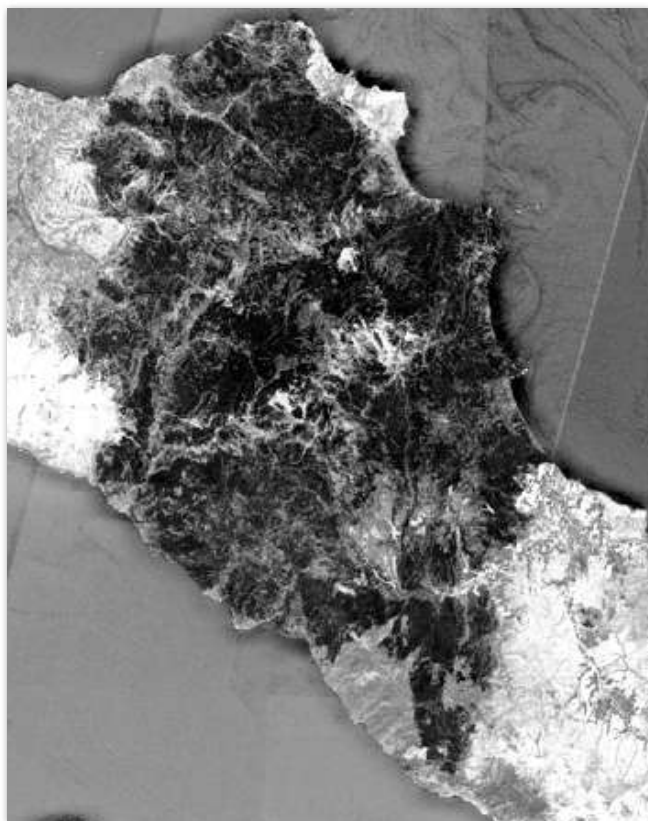
3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων στις τρεις εικόνες από τις τρεις διαφορετικές ημερομηνίες μετά την εφαρμογή της προαναφερθείσας μεθοδολογίας.

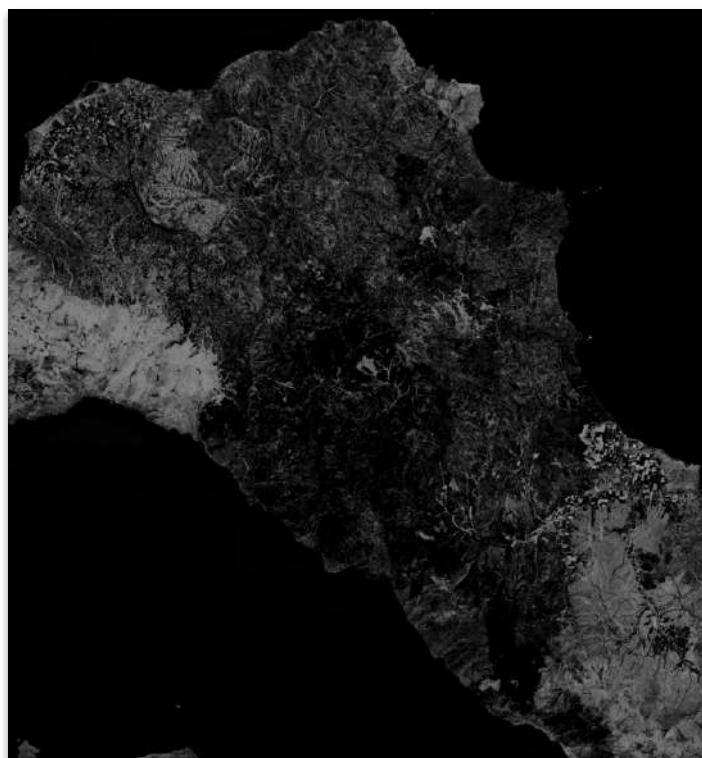
Ο υπολογισμός του δείκτη NBRI έγινε και για τις τρεις ημερομηνίες ξεχωριστά σύμφωνα με τον τύπο (1). Τα αποτελέσματα μετά τον υπολογισμό του δείκτη για την εικόνα πριν την πυρκαγιά στις 03/08/2021 παρουσιάζονται στην Εικόνα 9, ενώ μετά την πυρκαγιά με ημερομηνία 26/08/2021 στην Εικόνα 10. Τέλος στην Εικόνα 11 αποτυπώνονται οι τιμές του δείκτη ένα χρόνο μετά την καταστροφή, δηλαδή στις 18/08/2022. Έπειτα ακολούθησε ο υπολογισμός του δείκτη δριμύτητας καύσης ανά ζεύγη εικόνων. Αρχικά μεταξύ εικόνων με ημερομηνίες 26/08/2021 και 03/08/2021, ενώ ακολούθως των εικόνων με ημερομηνίες 18/08/2022 και 26/08/2021. Αφού υπολογίστηκε επιτυχώς ο δείκτης dNBR, έγινε η ταξινόμηση του βάσει του προτεινόμενου πίνακα της Γεωλογικής Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών (USGS) (Πίνακας 4).



Εικόνα 9. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης λίγο πριν την πυρκαγιά στις 03/08/2021.



Εικόνα 10. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης λίγο μετά την πυρκαγιά στις 26/08/2021.



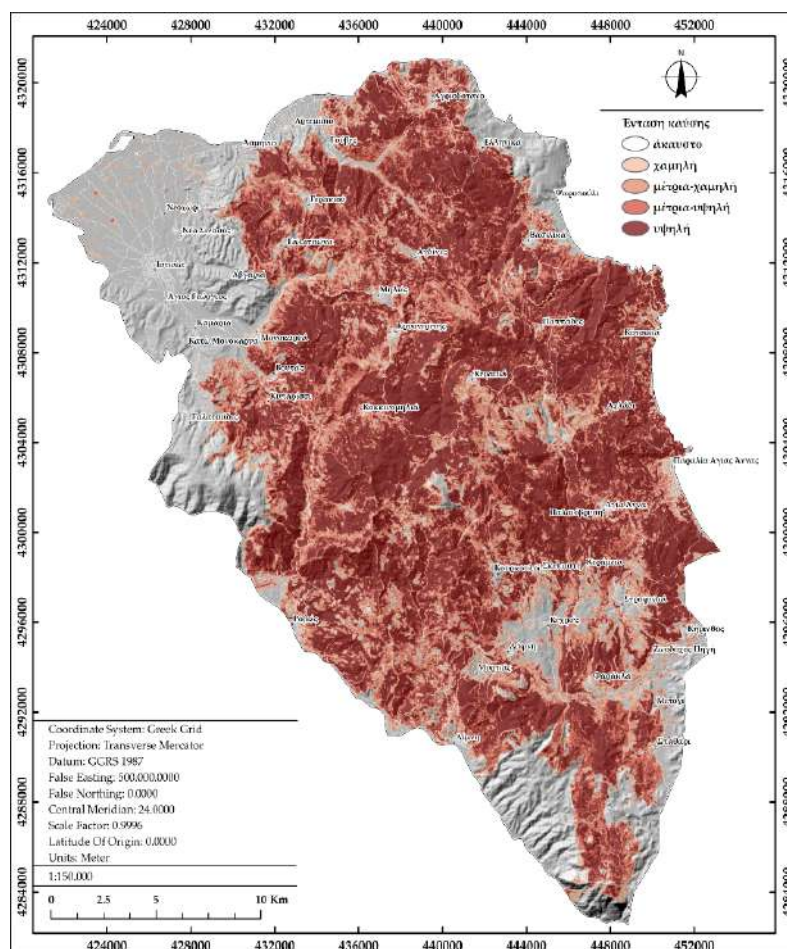
Εικόνα 11. Απεικόνιση της περιοχής μελέτης, περίπου, ένα χρόνο μετά την πυρκαγιά στις 18/08/2022.

Τέλος, αποτέλεσμα της έρευνας ήταν η δημιουργία των χαρτών που θα παρουσιαστούν στην επόμενη ενότητα, ενώ ολοκληρώθηκε η μελέτη με την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

4.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΦΟΔΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Ο πρώτος στόχος της έρευνας είναι η εκτίμηση της έντασης καύσης στην πληγείσα περιοχή όπως απεικονίζεται στον Χάρτη 1.



Χάρτης 1. Χαρτογραφική απεικόνιση έντασης καύσης στην περιοχή μελέτης. Η κατηγορία άκαυστο απεικονίζεται χωρίς χρώμα για την καλύτερη απεικόνιση των υπόλοιπων κατηγοριών.

Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν το μεγάλο εύρος της πυρκαγιάς και την έντονη δριμύτητα που την χαρακτηρίζει. Ποσοτικά στοιχεία, ανά κατηγορία έντασης καύσης της καμένης περιοχής, αναφέρονται στον Πίνακα 5.

Κατηγορίες έντασης καύσης	Εύρος τιμών dNBR ανά κατηγορία	Έκταση ανά κατηγορία
Ταξινόμηση βάση Πίνακα 4.	dNBR	03/08/2021 – 26/08/2021 (km ²)
Άκαυστο	-0.100 / 0.099	160.05
Χαμηλή	0.1 / 0.269	58.87
Μέτρια - Χαμηλή	0.27 / 0.439	81.71
Μέτρια - Υψηλή	0.44 / 0.659	111.99
Υψηλή	0.66 / 1.30	259.42

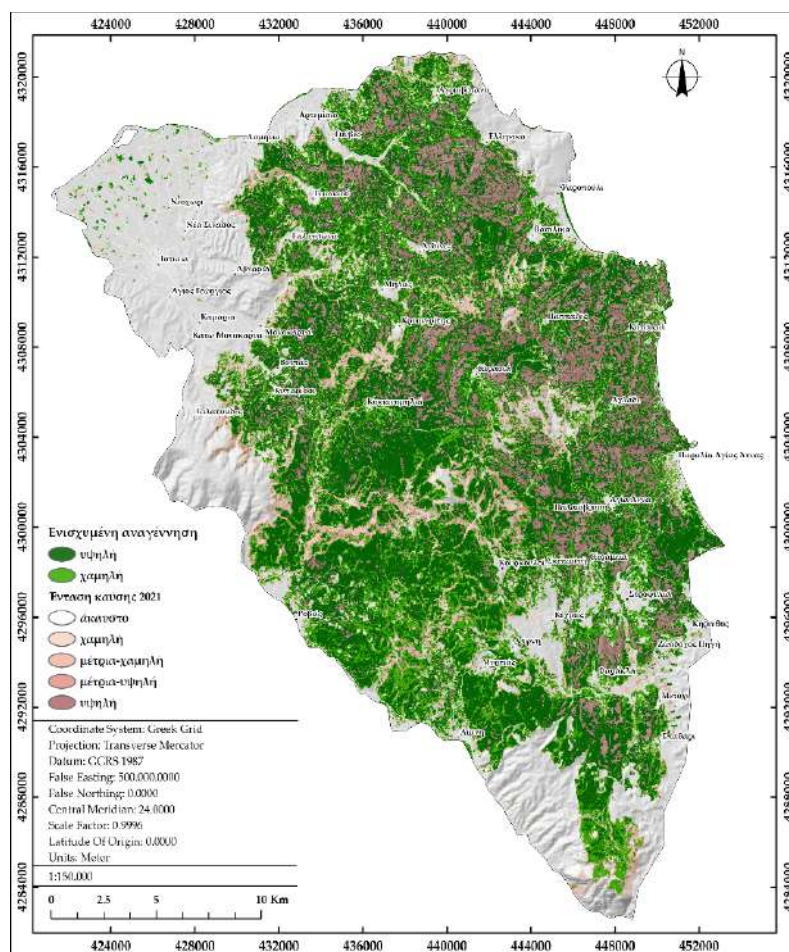
Πίνακας 5. Εκτάσεις καμένης γης ανά κατηγορία δριμύτητας.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5, η πυρκαγιά τον Αύγουστο του 2021 στη Β. Εύβοια περίπου **372 km²** , δηλαδή 372.000 στρέμματα ταξινομούνται στην κατηγορία, «ιδιαίτερα υψηλή δριμύτητα καύσης». Αντίστοιχα, 260 και 112 km² (260.000 και 112.000 στρ.) καμένων εκτάσεων, ταξινομούνται στις κατηγορίες «υψηλή δριμύτητα καύσης» και «μέτρια-υψηλή δριμύτητα καύσης» . Αξίζει να αναφερθεί πως, από άποψη έκτασης, η δεύτερη μεγαλύτερη κατηγορία, με 160 km² (160.000 στρ.) περίπου, είναι η κατηγορία που αντιστοιχεί στα σημεία που δεν επηρεάστηκαν από την πυρκαγιά και χαρακτηρίζονται ως άκαυστα (πρώτη κατηγορία στον Πίνακα 5).

Στον Χάρτη 1, η κατηγορία που χαρακτηρίστηκε «Άκαυστο» απεικονίζεται χωρίς χρώμα για να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτές οι υπόλοιπες κατηγορίες. Έτσι, για πλήρη αντίθεση, η κατηγορία «Υψηλή» εμφανίζεται στον χάρτη με το πιο σκούρο χρώμα, το μπορντό, για έντονη αντίθεση. Η κατηγορία «Μέτρια – Υψηλή» παρουσιάζεται στον Χάρτη 1, με ένα χρώμα ένα τόνο πιο φωτεινό από το μπορντό που χαρακτηρίζει την πέμπτη κατηγορία.

4.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Ο δεύτερος στόχος της έρευνας είναι η εκτίμηση των περιοχών που παρουσιάζουν ενισχυμένη αναγέννηση ένα χρόνο μετά το γεγονός όπως απεικονίζεται στον Χάρτη 2.



Χάρτης 2. Χαρτογραφική απεικόνιση περιοχών με ενισχυμένη αναγέννηση βλάστησης.

Βάση των αποτελεσμάτων παρατηρείται αξιόλογη αύξηση και χωρική διασπορά της ενισχυμένης αναγέννησης στην καμένη περιοχή με την πάροδο ενός έτους. Ο Πίνακας 6 περιγράφει τα ποσοτικά αποτελέσματα αυτών των περιοχών.

Ενισχυμένη αναγέννηση	Εύρος τιμών dNBR ανά κατηγορία	Έκταση ανά κατηγορία
Ταξινόμηση βάση Πίνακα 4.	dNBR	26.08.2021 – 18/08/2022 (km ²)
Υψηλή	-0.50 / -0.251	212.85
Χαμηλή	-0.250 / -0.101	109.39
Σύνολο		322.24

Πίνακας 6. Εκτάσεις καμένης γης που παρουσιάζουν ενισχυμένη αναγέννηση βλάστησης.

Αναφορικά με την αναγέννηση των καμένων εκτάσεων τα αποτελέσματα είναι αρκετά ενθαρρυντικά. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και σύμφωνα τόσο με τον Χάρτη 2, όσο και με τον Πίνακα 6, παρουσιάζεται μια σημαντική αναγέννηση της καμένης έκτασης στην περιοχή ενδιαφέροντος μετά από έναν χρόνο, περίπου. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται πως από τα 372 km² (372.000 στρ.) που υπέστησαν ιδιαίτερα υψηλή δριμύτητα καύσης, τα 322 km² (322.000 στρ.) παρουσίασαν σημάδια ανάκαμψης του οικοσυστήματος.

Η ενισχυμένη αναγέννηση στον Χάρτη 2 απεικονίζεται με δύο αποχρώσεις του χρώματος πράσινου. Η πιο σκούρα απόχρωση αντιστοιχεί στις εκτάσεις με υψηλή αναγέννηση (212 km² ή 212.000 στρ.), ενώ η πιο ανοιχτή στις περιοχές με χαμηλή αναβλάστηση (109 km² ή 109.000 στρ.).

4.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για την επικύρωση του αποτελέσματος της ενισχυμένης αναγέννησης, επειδή η επιτόπια λήψη δειγμάτων δεν ήταν εφικτή, συλλέχθηκε δείγμα σημείων από δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης της πλατφόρμας *Google Earth Pro* η οποία προσφέρει ανανεωμένες εικόνες της περιοχής σε κοντινές ημερομηνίες αναφορικά με τα δεδομένα Sentinel-2. Πιο συγκεκριμένα, συλλέχθηκε χειροκίνητα δείγμα από 100 διαφορετικά σημεία από τις καμένες εκτάσεις εκ των οποίων στα 50 (κωδικός 1), τον Αύγουστο του 2022 υπήρξε αναγέννηση της βλάστησης και στα υπόλοιπα 50 (κωδικός 0) το έδαφος παρέμεινε καμένο. Στη συνέχεια αντιστοιχήθηκαν στο *QGis* τα σημεία αυτά με τον χάρτη μετά την εφαρμογή του δείκτη dNBR. Η εκτίμηση της ακρίβειας παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.

	Αναγέννηση	Καμένα	Δείγμα
Αναγέννηση	43	7	50
Καμένα	4	46	50
Σύνολο	46	54	100

Πίνακας 7. Πίνακας εκτίμησης ακρίβειας.

Ο πίνακας ονομάζεται πίνακας σφάλματος. Η διαγώνιος εκφράζει την ταύτιση των δειγμάτων με τα δεδομένα του δείκτη dNBR Sentinel-2.

Όπως παρουσιάζεται, από τα δείγματα με κωδικό 1, τα 43 σημεία εντοπίστηκαν σωστά από την αντιστοίχιση, δηλαδή υπήρξε όντως αναγέννηση, ενώ τα 7 εντοπίστηκαν εσφαλμένα. Αντίστοιχα, από τα δείγματα με κωδικό 0, τα 46 ήταν σωστά, παρέμειναν καμένο έδαφος, ενώ τα 4 ήταν εσφαλμένα, δηλαδή υπήρξε αναγέννηση σε αυτά τα σημεία.

Τέλος, βάση του πίνακα ακρίβειας υπολογίστηκε ο συντελεστής *Cohen's Kappa* (k). Αφορά ένα στατιστικό μέτρο που αξιολογεί την συσχέτιση μεταξύ δύο δειγμάτων και μετράτε από το -1 έως το 1. Ο τύπος (3) περιγράφει τον υπολογισμό του συντελεστή και την αξιολόγηση της επικύρωσης των αποτελεσμάτων.

$$k = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} = 0.78 = 78\% \quad (3)$$

Όπου P_0 το ποσοστό συμφωνίας μεταξύ των τιμών και P_e το αναμενόμενο ποσοστό συμφωνίας που θα συνέβαινε με τυχαίο τρόπο.

Ο συντελεστής k αναδεικνύει μια ουσιαστική συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων και του δείγματος, 78% συμφωνία, η οποία τείνει στην απόλυτη συμφωνία. Με άλλα λόγια, τα αποτελέσματα της έρευνας χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια.

4.4 ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Οι μέθοδοι διαχείρισης και καταστόλης των πυρκαγιών ποικίλλουν σημαντικά. Το εύρος της συχνότητας της φωτιάς είναι ανάλογο με τον τύπο της βλάστησης στο εκάστοτε οικοσύστημα (Alday, et.al. 2014). Ο ορθή διαχείριση ενός τέτοιου φαινομένου αρχίζει με την πρόληψη αυτού, η οποία απαιτεί την γνώση του προβλήματος και τις αιτίες που είχαν σαν αποτέλεσμα μια πυρκαγιά. Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τον κίνδυνο μιας πυρκαγιάς. Η ενημέρωση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ημερίδες, με φυλλάδια και διάφορες ανακοινώσεις από τις αρμόδιες υπηρεσίες (Παρασκευόπουλος, 2019).

Επιπλέον μέτρα μπορούν να ληφθούν για τον μετριασμό των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών. Ενδεικτικά αναφέρονται: (α) σε περιόδους αυξημένου κινδύνου είναι δυνατό να εφαρμόζεται απαγόρευση κυκλοφορίας σε δάση και προστατευόμενες περιοχές, (β) ορισμός ομάδων παρακολούθησης και επιτήρησης της δεδομένης περιοχής με σκοπό τον άμεσο εντοπισμό της έναρξης μιας πυρκαγιάς.

Η αντιπυρική προστασία των δασικών οικοσυστημάτων αφορά την μείωση του κινδύνου πυρκαγιάς και αποτελείται από διάφορες εργασίες όπως την διάνοιξη δρόμων, την δημιουργία αντιπυρικών ζωνών και την ορθή διαχείριση της καύσιμης ύλης.

Η διάνοιξη δρόμων εντός των δασών έχει σαν στόχο την διακοπή της ενότητας της καύσιμης ύλης. Οι δρόμοι δύναται να χρησιμοποιηθούν κάποιες φορές σαν αντιπυρικές ζώνες, και το αντίθετο, και ο σκοπός τους είναι να διευκολύνουν την μεταφορά μηχανημάτων και ανθρώπων τόσο σε καθημερινή βάση όσο και σε έκτακτες ανάγκες.

Οι αντιπυρικές ζώνες είναι φυσικές ή τεχνητές λωρίδες, όπου απομακρύνεται όλη ή σχεδόν όλη η καιόμενη βλάστηση, με σκοπό την διάσπαση της συνέχειας της καιόμενης δασικής ύλης (Καρανικόλα & Ταμπάκης, 2004).

Η ορθή διαχείριση της καύσιμης ύλης αφορά τον καθαρισμό της ύλης, νεκρής ή ζωντανής, που έχει σαν στόχο την μείωση του κινδύνου αρχικά της δημιουργίας και έπειτα της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς.

Γενικά, αν και όλα τα παραπάνω εμπίπτουν στο κομμάτι της πρόληψης μιας πυρκαγιάς, αντιστοιχούν εξίσου και στο κομμάτι της διαχείρισης, όπως αναφέρεται, και της αντιμετώπισης ενός τέτοιου φαινομένου.

Όσον αφορά την αποκατάσταση μιας πληγείσας περιοχής, οι επιλογές που είναι διαθέσιμες και εύκολα πραγματοποιήσιμες είναι συγκεκριμένες. Η τακτική αποκατάστασης που επιλέγεται κάθε φορά σχετίζεται κυρίως με τον ανθρώπινο παράγοντα, τις ικανότητες, τις δυνατότητες και την διάθεση του καθενός που ασχολείται με την εκτέλεση του εκάστοτε έργου (Κωνσταντινίδης, 1990). Η αποκατάσταση έχει τρεις βασικούς στόχους, την πρόβλεψη τυχόν επόμενων πυρκαγιών, την σταθεροποίηση του εδάφους που καταστράφηκε και την αναβλάστησή του (Ζαχαρή, 2023). Οι παραπάνω στόχοι θα επιτευχθούν με επιτυχία ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα. Αρχικά, με την ορθή διαχείριση της καμένης ύλης και την αποφυγή της αποσταθεροποίησης του γυμνού εδάφους για την προστασία από πλημμυρικά φαινόμενα και έπειτα είτε με αναδάσωση της περιοχής με είδη που προϋπήρχαν ή με εισαγωγή νέων ειδών, είτε με προστασία της έκτασης από βόσκηση και καταπατήσεις με σκοπό να ανακάμψει από μόνη της.

Η επιλογή της μεθόδου αποκατάστασης που θα ακολουθηθεί κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αυτή θα ορίσει την πορεία όχι μόνο της χλωρίδας, αλλά και της πανίδας της περιοχής για τις επόμενες δεκαετίες. Αξίζει να αναφερθεί πως αν υπάρχει η επιθυμία διατήρησης ενός δασικού οικοσυστήματος, θεωρείται απαραίτητο, όποια μέθοδος και να επιλεγεί, να πραγματοποιηθεί με σεβασμό απέναντι στην ίδια την φύση και τους κανόνες της (Κωνσταντινίδης, 1990).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι δασικές πυρκαγιές κατατάσσονται στις φυσικές καταστροφές. Στα μεσογειακά οικοσυστήματα οι πυρκαγιές είναι συχνό φαινόμενο και θεωρούνται φυσική διεργασία, ευνοϊκή για τα οικοσυστήματα, εφόσον έχουν προκληθεί από φυσικά αίτια. Παρ' όλα αυτά, η ανθρώπινη επίδραση, είτε από πρόθεση είτε από αμέλεια, αυξάνει δραματικά τον ρυθμό εμφάνισης τους. Έτσι, καθώς η Ελλάδα συγκαταλέγεται στις χώρες της Μεσογείου, αυτού του είδους οι πυρκαγιές αποτελούν την μεγαλύτερη απειλή των οικοσυστημάτων της.

Η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις αυτής, όπως οι μεγάλες εναλλαγές στην θερμοκρασία, τα πιο συχνά και πιο έντονα φαινόμενα καύσωνα και οι εκτεταμένες περίοδοι ξηρασίας συμβάλουν στην αύξηση της συχνότητας εκδήλωσης φαινομένων δασικής πυρκαγιάς. Οι επιπτώσεις αυτών αφορούν όχι μόνο τα δασικά οικοσυστήματα, αλλά και την ανθρώπινη δραστηριότητα, σε όλους τους τομείς της, την υγεία, το περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία. Πολλές φορές, η επιρροή των επιπτώσεων εκδηλώνεται και σε περιοχές απομακρυσμένες από την περιοχή που συνέβη η καταστροφή, συχνά με τη μεταφορά τοξικών ουσιών μέσω του αέρα και του νερού ή εξαιτίας μιας πλημμύρας, λόγω διάβρωσης του εδάφους.

Λαμβάνοντας υπόψιν τις συνέπειες ενός τέτοιου φαινομένου, κρίνεται απαραίτητη η ορθή διαχείριση μιας πυρκαγιάς σε ένα δασικό οικοσύστημα και αναπόσπαστο κομμάτι αυτής θεωρείται η εκτίμηση του κινδύνου. Παρόλο που τα στάδια της διαχείρισης μιας πυρκαγιάς συνοψίζονται στην πρόληψη, την καταστολή και την αποκατάσταση, ιδιαίτερη βαρύτητα θα πρέπει να δίνεται στην πρόληψη του φαινομένου. Βασικός στόχος της πρόληψης είναι η

ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τον ίδιο τον κίνδυνο καθώς και με τα αίτια που μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα το ξέσπασμα μιας πυρκαγιάς. Όσον αφορά το στάδιο της καταστολής, απαιτείται πολύ καλά συντονισμένος και οργανωμένος μηχανισμός καταστολής δασικών πυρκαγιών. Τέλος, στόχος της αποκατάστασης μιας πληγείσας περιοχής είναι η πρόβλεψη μελλοντικών πυρκαγιών, η πρόληψη της αστάθειας του δασικού εδάφους και η αποκατάσταση της βλάστησης αυτού.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, οι τεχνικές και τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα στην επιστήμη της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης (Δ.Τ) καθιστούν τη μελέτη των φυσικών καταστροφών και των επιπτώσεων τους σημαντικά πιο εύκολη. Στην ΔΤ χρησιμοποιούνται δορυφόροι που χαρακτηρίζονται από υψηλή χρονική και χωρική διακριτική ικανότητα και φέρουν αισθητήρες που έχουν την δυνατότητα παρακολούθησης της γήινης επιφάνειας και ατμόσφαιρας σε διάφορα μήκη κύματος. Μέσω αυτών των συστημάτων παρέχονται δορυφορικά δεδομένα που μετατρέπονται σε εικόνες και μεταφέρουν πληροφορίες σε παγκόσμιο επίπεδο και διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Τα συστήματα αυτά ανήκουν σε οργανισμούς όπως η NASA και υπηρεσίες όπως η ESA. Η ESA μέσω του προγράμματος Copernicus παρέχει δωρεάν δορυφορικά δεδομένα, των δορυφόρων Sentinel, σε πραγματικό χρόνο και παγκόσμιο επίπεδο. Συγκεκριμένα στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του δορυφόρου Sentinel-2 και πιο συγκεκριμένα του Sentinel-2A. Η ευελιξία και το εύρος των πληροφοριών που παρέχει η NASA, είναι αντίστοιχη με αυτή της ESA και του προγράμματος Copernicus. Ωστόσο η NASA, για την συλλογή των δεδομένων της χρησιμοποιεί τους δορυφόρους Landsat.

Η συλλογή, επί χρόνια, δορυφορικών δεδομένων παρέχει στους χρήστες τους την δυνατότητα παρακολούθησης των αλλαγών στην επιφάνεια της γης, εκτίμησης του κινδύνου μιας πυρκαγιάς σε δασικό έδαφος με ιδιαίτερη ακρίβεια, έγκαιρου εντοπισμού, χαρτογράφησης της καμένης έκτασης, εκτίμησης της δριμύτητας καύσης, αξιολόγησης της καμένης περιοχής, καταγραφής των επιπτώσεων της πυρκαγιάς και πρόβλεψης των συνεπειών της καταστροφής στο περιβάλλον και όχι μόνο. Με τον τρόπο αυτό δύναται να δημιουργηθούν χάρτες και να εξαχθούν στοιχεία και χαρακτηριστικά για το κάθε πεδίο μελέτης. Τα δεδομένα που προσφέρονται από τις προαναφερθείσες υπηρεσίες μπορούν να φανούν χρήσιμα για διάφορους τομείς και τις εφαρμογές τους, όπως είναι οι δασικές πυρκαγιές.

Αυτού του είδους η τεχνολογία, όπως προαναφέρθηκε, συμβάλει ενεργά σε όλα τα στάδια διαχείρισης μιας φυσικής καταστροφής, την πρόληψη, την αντίδραση και την αποκατάσταση. Έτσι, τα οφέλη της χαρτογράφησης των αλλαγών στην επιφάνεια της γης από δορυφορικά δεδομένα, συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους, είναι εμφανή. Επομένως, έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνικές και μέθοδοι επεξεργασίας, για την μελέτη της οικολογίας μιας πυρκαγιάς, που συνδυαστικά με τα δορυφορικά συστήματα παρέχουν νέα βοηθήματα για την λήψη αποφάσεων και συμβάλουν σημαντικά στην επιτυχία καλών αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, εκτός από το εύρος των πληροφοριών που προσφέρουν τα δεδομένα τηλεπισκόπησης, στα πλεονεκτήματα της περιλαμβάνεται και η υψηλή αποδοτικότητα, εξαιτίας της ανεπτυγμένης τεχνολογίας, που δύναται να μειώσει το κόστος σε γενικές γραμμές.

Η δυνατότητα να συλλεχθούν δεδομένα, πληροφορίες και εικόνες για την περιοχή ενδιαφέροντος από απόσταση, κάνει την διαδικασία πιο συμφέρουσα, όσον αφορά το κόστος και τον χρόνο που απαιτείται. Επιπρόσθετα, συχνά τα δεδομένα είναι άμεσα διαθέσιμα χωρίς κάποιο αντίτιμο. Με τον τρόπο αυτό, όπως γίνεται αντιληπτό, οι απαιτήσεις που θα είχε μια

έρευνα στο πεδίο, στην περίπτωση διεξαγωγής της απομακρυσμένα με την συμβολή της Τηλεπισκόπησης, δεν υφίστανται. Επίσης, σε αυτή την περίπτωση δεν αντιμετωπίζονται δυσκολίες αναφορικά με την πρόσβαση σε ορισμένα τμήματα του πεδίου μελέτης.

Συνολικά από την εργασία, συμπεραίνεται πως η πρόοδος της επιστήμης που αφορά τα δορυφορικά συστήματα, ήταν η αρχή για την χρήση και την βελτίωση των καταγραφικών μέσων των φυσικών και ανθρώπινων μεταβολών. Επιπλέον, συνάγεται το συμπέρασμα ότι το ευρύ φάσμα κάλυψης και ο όγκος πληροφοριών που μπορούν να καταγράψουν τα δορυφορικά δεδομένα, η μείωση του χρόνου και του κόστους και η χαρτογράφηση μεγάλων εκτάσεων με υψηλή χωρική και χρονική διακριτική ικανότητα καθιστούν την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και τα δορυφορικά δεδομένα, ιδανική μέθοδο για την αποτύπωση των καμένων περιοχών, την παρακολούθηση της χλωρίδας και των μεταβολών της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγουρογιάννης, Π. (2011) 'Φυσικές καταστροφές στον Ελλαδικό χώρο (Σεισμοί – Πυρκαγιές), Η γεωγραφική κατανομή τους και οι επιπτώσεις τους στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον', Πανεπιστήμιο Αιγαίου: Μυτιλήνη
2. Βαμβακά, Ν. (2004) 'Μεσογειακού Τύπου Οικοσυστήματα: μια προσέγγιση της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης', Πανεπιστήμιο Αιγαίου: Μυτιλήνη
3. Βορίσης, Δ. (2004) *Η καταστολή των δασικών πυρκαγιών*, Αθήνα: Τυπογραφείο Α.Π.Σ.
4. Βράνια, Ε. (2012) 'Χαρτογράφηση και παρακολούθηση της επανεμφάνισης της βλάστησης μετά από πυρκαγιά με τη χρήση Γ.Σ.Π και Τηλεπισκόπησης', Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: Θεσσαλονίκη
5. Διεθνής Οργανισμός για την Φωτογραμμετρία και την Τηλεπισκόπηση (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing), [Πρόσβαση: 26/11/23]
6. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων. (2007) *Η σχέση δασικών καυσίμων και πυρκαγιών* (διαδίκτυο) Διαθέσιμο στο: <https://www.fria.gr/mmfr/index.php?id=100&catid=40&lan=GR&tl=CATEGORYID> [Πρόσβαση: 15/10/2023]
7. Ελληνική Στατιστική Αρχή, (2021), *Απογραφή πληθυσμού- κατοίκων 2021*, [πρόσβαση: 02/01/2024]
8. Ζαχαρή, Α., (2023) 'Ο φυσικός κίνδυνος των δασικών πυρκαγιών μεγάλης κλίμακας. Περιβαλλοντικές και κοινωνικές συνέπειες. Μελέτη περίπτωσης: Η πυρκαγιά στη Β. Εύβοια το καλοκαίρι του 2021', Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας: Βόλος
9. Καιμάρης, Δ. (2012) *Τηλεπισκόπηση: θεωρητική προσέγγιση και εργαστηριακές ασκήσεις*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
10. Καρανικόλα, Π. & Ταμπάκης, Σ. (2015) 'Δασικές πυρκαγιές και κοινωνία', Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης: Ορεστιάδα
11. Κόκκαλης, Α. (2017) 'Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συνέπεια δασικής πυρκαγιάς και μέτρα αποκατάστασης', Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών: Αθήνα
12. Κόκκαλης, Ε. (2010) 'Κατάσταση πυρκαγιών στη Θεσσαλία από το 1987 έως το 2009', Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας: Βόλος
13. Κούτσιας, Ν. (2018) *Τηλεπισκόπηση: Πανεπιστημιακές Σημειώσεις*, Πανεπιστήμιο Πατρών: Αγρίνιο
14. Κουτσόπουλος, Κ. (2017) *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών & Ανάλυση Χώρου*, Εκδόσεις Δίσιγμα
15. Κωνσταντινίδης, Π., (1990) *Μέθοδοι αποκατάστασης των καμένων δασικών οικοσυστημάτων στην Ελλάδα*, Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών Θεσσαλονίκης- ΕΘΙΑΓΕ, Λουτρά Θέρμης
16. Μάρκου, Α. (2010) 'Ατλας πυρκαγιών του Νομού Μαγνησίας (1950-2009)', Πανεπιστήμιο Αιγαίου: Μυτιλήνη
17. Μαστρογιάννη, Κ. (2019) 'Ατλας πυρκαγιών της Εύβοιας. Πανεπιστήμιο Αιγαίου', Πανεπιστήμιο Αιγαίου: Μυτιλήνη
18. Παπαδοπούλου, Μ. (2018) 'Χρήση δορυφορικών δεδομένων σε θέματα μελέτης υγροτόπων', Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: Θεσσαλονίκη

19. Παρασκευόπουλος, Σ. (2019). *Εισαγωγή στην οικολογία και στις περιβαλλοντικές επιστήμες*, Εκδόσεις Δίσιγμα.
20. Πελεκάνου, Β. (2017) 'Οικολογία τοπίου: η επίδραση των πυρκαγιών στις μέλισσες της Ρόδου', Πανεπιστήμιο Αιγαίου: Μυτιλήνη
21. Περάκης, Κ. Μωυσιάδης, Α. Φαρασλής, Ι. (2015) *Η τηλεπισκόπηση σε 13 εννότητες*, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα
22. Σκριμιζέας Π., (2024), Η πρόγνωση για το καλοκαίρι του 2021, (Διαδίκτυο), Διαθέσιμο στο: http://www.emy.gr/emv/el/climatology/seasonal_summer_2021, [Πρόσβαση: 02/01/2024]
23. ΥΛΗ-Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος, (2021), Αποτίμηση αποτελεσμάτων της πυρκαγιάς στην Β. Εύβοια, (Διαδίκτυο), Διαθέσιμο στο: <https://forest.gr/nea/etairika-nea/apotimisi-apotelesmaton-tis-pyrkagias-stin-v-evvoia/>, [Πρόσβαση: 02/01/2024]
24. Υφαντή, Δ. (2015) 'Δασικές πυρκαγιές: χωροθέτηση πύργων παρατήρησης με χρήση Σ.Γ.Π', Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: Θεσσαλονίκη
25. Χατζημπίρος, Κ. (2014) *Οικολογία: οικοσυστήματα και προστασία του περιβάλλοντος*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία
26. Ψυχογιός, Ι. (2021) 'Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων από διαχρονικά δορυφορικά δεδομένα Sentinel-2 στο περιβάλλον του Google Earth Engine', Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
27. Alcaras, E., Costantino, D., Guastaferro, F., Parente, C., Pepe, M., (2022) 'Normalized burn ratio plus (NBR+): A new index for sentinel-2 imagery', *Remote Sensing*, **14** (7), p. 1727. [Date accessed: 09/2023]. doi:10.3390/rs14071727.
28. Alday, J.G. Baeza, M.J. & Santana, V.M. (2014) 'Effects of fire regime shift in Mediterranean Basin ecosystems: changes in soil seed bank composition among functional types. *Plant Ecology*', **215**. P. 555-566. [Date accessed: 10/2023]. doi:10.1007/s11258-014-0323-1.
29. Benson, N.C., Caratti, J.F., Gangi, L.J., Keane, R.E., Key, C.H., Lutes, D.C., Sutherland, S., (2006) 'Firemon: Fire effects monitoring and inventory system', [Date accessed: 09/2023]. doi:10.2737/rmrs-gtr-164.
30. Chanussot, J., Hasanlou, M. and Seydi, S.T., (2022) 'Burnt-net: Wildfire burned area mapping with single post-fire sentinel-2 data and Deep Learning Morphological Neural Network', *Ecological Indicators*, **140**, p. 108999. [Date accessed: 09/2023]. doi:10.1016/j.ecolind.2022.108999.
31. Combee, A., Delcourt, C.J., Izbicki, B., Mack, M.C., Maximov, T., Petrov, R., Rogers, B.M., Scholten, R.C., Shestakova, T.A., van Wees, D., et al., (2021) 'Evaluating the differenced normalized burn ratio for assessing fire severity using sentinel-2 imagery in northeast siberian larch forests', *Remote Sensing*, **13**(12), p. 2311, [Date accessed: 09/2023]. doi:10.3390/rs13122311.
32. Copernicus. (2024) *Λίγα λόγια για το Copernicus*, [Date accessed: 01/2024]
33. Copernicus Open Access Hub. (2018), [Date accessed: 01/2024]
34. Corine Land Cover. (2024) *CLC 2018*, [Date accessed: 01/2024]
35. ESA. (2024) *Applications. Observing the Earth. Copernicus. Sentinel-2*. [Date accessed: 01/2024]

36. Filipponi, F., (2018) 'Bais2: Burned area index for sentinel-2', The 2nd International Electronic Conference on Remote Sensing, **2**(7). [Date accessed: 09/2023]. doi:10.3390/ecrs-2-05177.
37. Garbarino, M., Lingua, E., Marzano, R., Morresi, D., Motta, R., (2022) 'Mapping burn severity in the western Italian Alps through phenologically coherent reflectance composites derived from sentinel-2 imagery', Remote Sensing of Environment, **269**, p. 112800. [Date accessed: 09/2023]. doi:10.1016/j.rse.2021.112800.
38. Harvey, B.J., Howe, A.A., Lutz, J.A., Parks, S.A., Saberi, S.J., Yocom, L.L., (2022) 'Comparing sentinel-2 and Landsat 8 for burn severity mapping in western North America', Remote Sensing, **14**(20), p. 5249. [Date accessed: 09/2023]. doi:10.3390/rs14205249.
39. Jensen, J. R. (2015) *Τηλεπισκόπηση Περιβάλλοντος: Μια προοπτική για τα φυσικά διαθέσιμα*, Αθήνα: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π
40. Kavhu, B., Mpakairi, K.S. and Ndaimani, H. (2020) 'Exploring the utility of sentinel-2 MSI derived spectral indices in mapping burned areas in different land-cover types', Scientific African, **10**. [Date accessed: 09/2023]. doi:10.1016/j.sciaf.2020.e00565.
41. Khoirunisa, R. and Mucsi, L., (2021) 'Burned region analysis using Normalized Burn Ratio Index (NBRI) in 2019 forest fires in Indonesia (case study: Pinggir-Mandau District, Bengkalis, Riau)', Geographica: Science and Education Journal, **2**(1), pp. 1–9. [Date accessed: 09/2023]. doi:10.31327/gsej.v2i1.1293.
42. Kotaridis, I. and Lazaridou, M., (2023) 'Integrating image segmentation in the delineation of burned areas on sentinel-2 and Landsat 8 Data', Remote Sensing Applications: Society and Environment, **30**, p. 100944. [Date accessed: 09/2023]. doi:10.1016/j.rsase.2023.100944.
43. Kovács, K.D., (2019) 'Evaluation of burned areas with sentinel-2 using snap: The case of Kineta and Mati, Greece, July 2018', Geographia Technica, **14**(2), pp. 21–38. [Date accessed: 09/2023]. doi:10.21163/gt_2019.142.03.
44. Loboda, T., Hasan, I., Hassan, M.M., Southworth, J., (2022) 'Mapping fire-impacted refugee camps using the integration of field data and remote sensing approaches', International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, **115**, p. 103120. [Date accessed: 09/2023]. doi:10.1016/j.jag.2022.103120.
45. Meneses, B.M. (2021) 'Vegetation recovery patterns in burned areas assessed with landsat 8 OLI imagery and environmental biophysical data'. Fire, **4**, p.76. [Date accessed: 09/2023]
46. NASA. (2024). *Landsat Science*, [Date accessed: 01/2024]
47. Time and date, Past weather in Central Greece and Euboea, Greece - August 2021 (2021) *Weather in August 2021 in Central Greece and Euboea, Greece* (online). Available at: <https://www.timeanddate.com/weather/@253191/historic?month=8&year=2021> [Date accessed: 02/01/2024]