



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

**Διερεύνηση και αξιολόγηση βέλτιστων θέσεων οικολογικής
αποκατάστασης, σε περιοχές που πλήττονται από δασικές πυρκαγιές,
με τη χρήση ΓΣΠ και Τηλεπισκόπησης.**

Μεταπτυχιακή εργασία

Στέφανου Δόση

Αθήνα, 2022



HAROKOPIO UNIVERSITY

SCHOOL OF ENVIRONMENT, GEOGRAPHY AND APPLIED
ECONOMICS

DEPARTMENT OF GEOGRAPHY

POSTGRADUATE PROGRAMME:

APPLIED GEOGRAPHY AND SPATIAL PLANNING

COURSE: GEO-INFORMATICS

**A practical tool for the identification and assessment of optimal
rehabilitation sites in response to wildfires, through the use of GIS and
Remote Sensing**

Master thesis

Stefanos Dosis

Athens, 2022



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Γεώργιος Π. Πετρόπουλος (Επιβλέπων)
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Χρίστος Χαλκιάς
Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ισαάκ Παρχαρίδης
Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας,
Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ο Στέφανος Δόσης, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.
- 3) Όπου υφίστανται δικαιώματα άλλων δημιουργών έχουν διασφαλιστεί όλες οι αναγκαίες άδειες χρήσης ενώ το αντίστοιχο υλικό είναι ευδιάκριτο στην υποβληθείσα εργασία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου» στην κατεύθυνση Γεωπληροφορικής του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου. Πριν την παρουσίαση της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με υποστήριξαν και βοήθησαν στην υλοποίηση της.

Αρχικώς, θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Πετρόπουλο Γεώργιο για τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξή κατά τη διάρκεια εκπόνησής της. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερα για την άμεση ανταπόκριση, τον χρόνο που διέθεσε και την πολύτιμη βοήθειά του για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου, κ. Χαλκιά Χρίστο και Παρχαρίδη Ισαάκ, για τη συμβολή τους στην αξιολόγηση της εργασίας και τις γνώσεις που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δ/νση Δασών Καβάλας, τη Δ/νση Αναδάσωσης Αττικής, το Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, όπως και το Ελληνικό Κτηματολόγιο για τις πολύτιμες πληροφορίες και το υλικό που μου παρείχαν.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογένειά μου και ιδιαίτερα την κόρη μου, η οποία έκανε υπομονή και στερήθηκε αυτό το διάστημα το παιχνίδι της μαζί μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1. Δασικές πυρκαγιές και αποκατάσταση.....	10
1.2. Σύγχρονες τεχνολογίες στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών	12
1.3. Σκοπός εργασίας	14
1.4. Δομή εργασίας	15
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	17
2.1. Εμφάνιση και επιπτώσεις Δασικών πυρκαγιών.....	17
2.2. Μεταπυρική εξέλιξη Μεσογειακών οικοσυστημάτων	20
2.3. Μεταπυρική Αποκατάσταση.....	23
2.3.1. Άμεσες Ενέργειες αποκατάστασης μετά την πυρκαγιά	23
2.3.2. Αναδασωτικές ενέργειες	24
2.3.3. Παράμετροι βλαστητικής ανάπτυξης μετά την πυρκαγιά	26
2.4. ΓΣΠ και Τηλεπισκόπηση στον τομέα των δασικών πυρκαγιών και αποκατάστασης .	28
2.5. Δείκτες Τηλεπισκόπησης και διαχείριση δασικών πυρκαγιών.....	31
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	37
3.1. Γενική περιγραφή νήσου Θάσου	37
3.1.1. Βλάστηση	38
3.1.2. Κλιματολογικά, μετεωρολογικά στοιχεία.....	39
3.1.3. Γεωλογικά στοιχεία.....	44
3.1.4. Κοινωνικο-οικονομικά στοιχεία.....	44
3.2. Ιστορικό Πυρκαγιών Θάσου	45
3.3. Όριο περιοχής μελέτης	47
3.4. Σύνολο δεδομένων μελέτης.....	48
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	51
4.1. Μέθοδος Σταθμισμένης Πολυκριτηριακής Ανάλυσης.....	51
4.2. Προεπεξεργασία δεδομένων	53
4.3. Εφαρμογή μεθοδολογικής προσέγγισης	56
4.4. Ανάπτυξη διαδικτυακού ΓΣΠ.....	75
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	82
5.1. Παρουσίαση και συζήτηση αποτελεσμάτων σεναρίων.....	82
5.2. Σύγκριση επιμέρους κριτηρίων και ζωνών καταλληλότητας.....	86

5.3. Παρουσίαση διαδικτυακής εφαρμογής.....	90
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ	97
6.1. Συμπεράσματα	97
6.2. Προτεινόμενες μελλοντικές κατευθύνσεις	99
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	101
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	112

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Πλεονεκτήματα γεωπληροφορικής και ΓΣΠ στη χωρική ανάλυση	13
Εικόνα 2.1: Σύγκριση καμένων εκτάσεων Μεσογειακών Ευρωπαϊκών χωρών περιόδου 1980-2020 (European Commission, Forest Fires Technical Report 2021, σελ 115).....	19
Εικόνα 2.2: Σύγκριση αριθμού πυρκαγιών Μεσογειακών Ευρωπαϊκών χωρών περιόδου 1980-2020 (European Commission, Forest Fires Technical Report 2021, σελ 115).....	19
Εικόνα 2.3: Σύγκριση μεγέθους πυρκαγιών Μεσογειακών Ευρωπαϊκών χωρών περιόδου 1980-2020 (European Commission, Forest Fires Technical Report 2021, σελ 115).....	19
Εικόνα 2.4: Φυσική αναγέννηση καμένης βλάστησης από υπόγειους οφθαλμούς (πηγή: συγγραφέα).....	21
Εικόνα 2.5: Ιστότοπος EFFIS (European Forest Fire Information System) του προγράμματος Copernicus (ανακτήθηκε από https://effis.jrc.ec.europa.eu/ στις 07/12/2021).....	30
Εικόνα 2.6: Σχηματική αναπαράσταση του δείκτη TWI (Kopecky et al.2021)	35
Εικόνα 3.1: Χάρτης θέσης νήσου Θάσου (υπόβαθρο googleearth).....	37
Εικόνα 3.2: Ραβδόγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού Καβάλας, σύμφωνα με τιμές της EMY	40
Εικόνα 3.3: Ραβδόγραμμα μέσου ύψους βροχής σταθμού Καβάλας, σύμφωνα με τιμές της EMY	41
Εικόνα 3.4: Βροχοθερμικό διάγραμμα σταθμού Καβάλας.....	42
Εικόνα 3.5: Διάκριση βιοκλιματικών ορόφων βάση βροχοθερμικού πηλίκου του Emberger. 43	
Εικόνα 3.6: Πυρκαγιές Θάσου 2016 (Όρια από Emergency Management Service του Copernicus)	46
Εικόνα 3.7: Όριο πυρκαγιάς Πρίνου 2016, σύμφωνα με δεδομένα του Emergency Management Service, Copernicus	48
Εικόνα 4.1: Διάγραμμα ροής εργασιών επεξεργασίας δεδομένων και ανάπτυξης μεταβλητών.	52
Εικόνα 4.2: Διάγραμμα ροής εργασιών σταθμισμένης πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	52
Εικόνα 4.3: Κατηγορίες κάλυψης Δασικού Χάρτη στο όριο της καμένης περιοχής μελέτης. 54	
Εικόνα 4.4: Χάρτης επιπέδου Εδαφολογικών χαρακτηριστικών της καμένης περιοχής.....	57
Εικόνα 4.5: Χάρτης επιπέδου βλάστησης της καμένης περιοχής.....	58
Εικόνα 4.6: Χάρτης επιπέδου έκθεσης καμένης περιοχής.....	60
Εικόνα 4.7: Χάρτης οδικού δικτύου σε σχέση με την καμένη έκταση.....	61
Εικόνα 4.8: Χάρτης αποστάσεων από τον κοντινότερο οικισμό εντός της καμένης περιοχής. 63	

Εικόνα 4.9: Χάρτης τιμών δείκτη CTI εντός ορίου καμένης έκτασης	65
Εικόνα 4.10: Post-fire και Pre-fire κατάσταση της περιοχής μελέτης, μέσω οπτικών εικόνων Sentinel 2.....	67
Εικόνα 4.11: Χάρτης δείκτη σφοδρότητας πυρκαγιάς στην περιοχή μελέτης.....	69
Εικόνα 4.12: Επαναταξινόμηση των κλάσεων των μεταβλητών σε ενιαία τακτική κλίμακα (παρουσίαση 4 μεταβλητών).....	71
Εικόνα 4.13:Επαναταξινόμηση των κλάσεων των μεταβλητών σε ενιαία τακτική κλίμακα (παρουσίαση 3 μεταβλητών).....	72
Εικόνα 4.14: Περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων Map viewer classic (ArcGIS online)	77
Εικόνα 4.15: Περιβάλλον διαμόρφωσης και οπτικοποίησης επιπέδων (arcgis online).....	78
Εικόνα 4.16: Επιλογή δημιουργίας διαδικτυακής εφαρμογής (webappbuilder).....	79
Εικόνα 4.17: Επιλογή και παραμετροποίηση διεπαφής της εφαρμογής (web App Builder)...	80
Εικόνα 4.18: Επιλογή και τοποθέτηση εργαλείων (web App Builder).....	80
Εικόνα 5.1: Χάρτης καταλληλότητας αναδάσωσης περιοχής, βάσει πρώτου σεναρίου	83
Εικόνα 5.2: Χάρτης καταλληλότητας αναδάσωσης περιοχής, βάσει δεύτερου σεναρίου.....	84
Εικόνα 5.3: Διεπαφή διαδικτυακής εφαρμογής.....	91
Εικόνα 5.4: Διαδικτυακή εφαρμογή, επιλογή προβολής επιπέδων.....	92
Εικόνα 5.5: Διαδικτυακή εφαρμογή, περιγραφική πληροφορία επιπέδων	92
Εικόνα 5.6: Διαδικτυακή εφαρμογή, περιγραφική πληροφορία επιπέδων	93
Εικόνα 5.7: Διαδικτυακή εφαρμογή, επιπλέον εργαλεία χρήστη.	94
Εικόνα 5.8: Διαδικτυακή εφαρμογή, εργαλείο μέτρησης απόστασης και επιφανείας.....	95
Εικόνα 5.9: Απεικόνιση διεπαφής εφαρμογής σε κινητό τηλέφωνο (smartphone)	96

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Στατιστικά αριθμού και εκτάσεων πυρκαγιών Μεσογειακών χωρών για την περίοδο 1980-2020(European Commission, Forest Fires Technical Report 2021, σελ 116)..	18
Πίνακας 2.2: Κατηγοριοποίηση τιμών δείκτη dNBR σύμφωνα με USGS (Ανακτήθηκε από https://un-spider.org στις 7/12/2021).....	32
Πίνακας 3.1: Θερμοκρασίες σταθμού Καβάλας για την περίοδο 1985-2010 (πηγή EMY)....	40
Πίνακας 3.2: Μέσο ύψος βροχής σταθμού Καβάλας, για την περίοδο 1985-2010 (πηγή EMY)	41
Πίνακας 3.3: Αριθμός ατόμων ανα κλάδο απασχόλησης στη Π.Ε. Θάσου (πηγή ΕΛΣΤΑΤ)45	
Πίνακας 3.4: Προτεινόμενες μεταβλητές του μοντέλου αξιολόγησης θέσεων αποκατάστασης	49
Πίνακας 4.1: Κατηγορίες πετρώματος και βάθος εδάφους της περιοχής μελέτης	57
Πίνακας 4.2: Έκταση και ποσοστά ανα κατηγορία βλάστησης στην καμένη έκταση.	59
Πίνακας 4.3: Οπτικές δορυφορικές εικόνες Sentinel 2 της περιοχής μελέτης (pre-fire και post-fire)	66
Πίνακας 4.4: Τιμές καταλληλότητας αναδάσωσης για ταξινόμηση των επιμέρους μεταβλητών	70
Πίνακας 4.5: Συγκεντρωτικός πίνακας συγκρίσεων ανα ζεύγη (comparisonmatrix) για Σενάριο 1	74

Πίνακας 4.6: Συγκεντρωτικός πίνακας συγκρίσεων ανα ζεύγη (comparisonmatrix) για Σενάριο 2.....	74
Πίνακας 4.7: Συντελεστές βαρύτητας κάθε μεταβλητής για τα δύο σενάρια.....	75
Πίνακας 5.1: Έκταση και ποσοστά καταλληλότητας αναδάσωσης για κάθε σενάριο	85
Πίνακας 5.2: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής της βλάστησης με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.	87
Πίνακας 5.3: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής εδαφολογικών χαρακτηριστικών με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.....	87
Πίνακας 5.4: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής έκθεσης με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.	88
Πίνακας 5.5: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής δείκτη CTI με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.	88
Πίνακας 5.6: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής δείκτη dNBR με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.	88
Πίνακας 5.7: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής απόστασης από οδικό δίκτυο με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.....	89
Πίνακας 5.8: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής απόστασης από οικισμούς με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.....	89

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο απαντάται εκτεταμένα σε όλα τα Μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα. Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται η εμφάνιση όλο και πιο συχνών, επαναλαμβανόμενων και πιο σφοδρών πυρκαγιών. Οι καταστροφικές συνέπειες σε αυτές τις περιπτώσεις είναι εκτεταμένες και πολλές φορές μη αναστρέψιμες. Στις περιπτώσεις αυτές, η επαναφορά της οικολογικής ισορροπίας είναι πολλές φορές ιδιαίτερα δύσκολη και χρήζει άμεσων μέτρων αποκατάστασης. Η αξιολόγηση και διερεύνηση των πιο κατάλληλων θέσεων αποκατάστασης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική τόσο για τις αρμόδιες υπηρεσίες, όσο και για το σχεδιασμό και λήψη αποφάσεων από την πολιτεία.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή τεχνολογιών γεωπληροφορικής για την ανάπτυξη ενός εύχρηστου μοντέλου αξιολόγησης και εντοπισμού των πιο κατάλληλων θέσεων αποκατάστασης, αμέσως μετά από μία πυρκαγιά. Για τις ανάγκες της εργασίας ως όριο μελέτης επιλέχθηκε η πυρκαγιά του «Πρίνου» Θάσου το 2016, μίας περιοχής που έχει πληγεί επανειλημμένα από δασικές πυρκαγιές. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας τη μέθοδο της σταθμισμένης πολυκριτηριακής ανάλυσης (MCDA- Multicriteria Decision Analysis) και βασίστηκε σε μία σειρά μεταβλητών. Η ανάλυση, επεξεργασία και εξαγωγή των αποτελεσμάτων βασίστηκαν στις δυνατότητες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και της Τηλεπισκόπησης. Η μεθοδολογία που προτάθηκε στην παρούσα εργασία περιλαμβάνει την ταξινόμηση των επιμέρους κριτηρίων και τη σύνθεσή τους βάση διαφορετικών συντελεστών βαρύτητας. Στα τελικά αποτελέσματα παρουσιάστηκαν οι χάρτες καταλληλότητας αποκατάστασης σε πέντε ζώνες καταλληλότητας, βάση δύο διαφορετικών σεναρίων. Το σύνολο των μεταβλητών και των αποτελεσμάτων παρουσιάστηκαν σε διαδικτυακή εφαρμογή (webGIS), που αναπτύχθηκε με τη βοήθεια των σύγχρονων τεχνολογιών, για τη διάχυση και διάδοση της παραγόμενης πληροφορίας στο ευρύτερο κοινό. Σύμφωνα με την εργασία, ο συνδυασμός γεωχωρικών δεδομένων και δεδομένων τηλεπισκόπησης μπορεί να δώσει χρήσιμα αποτελέσματα για την άμεση και χαμηλού κόστους αξιολόγηση μίας περιοχής για αποκατάσταση, μετά από μία πυρκαγιά.

Λέξεις Κλειδιά: Δασικές πυρκαγιές, Αποκατάσταση, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Πολυκριτηριακή ανάλυση, Δείκτης σφοδρότητας πυρκαγιάς

ABSTRACT

Wildfires are a natural phenomenon that is highly related with Mediterranean ecosystems. Mediterranean forest ecosystems are highly adjusted to fires, through their developed post-fire ecological mechanisms. In recent decades though, there has been an increase in the frequency, repetition and severity of wildfires. The consequences in these cases for the ecosystems are devastating and often irreversible. Under these circumstances ecological balance is particularly difficult to recover and requires immediate restoration measures. The assessment and identification of the most suitable restoration sites is of great importance both for land managers and competent authorities, as well as decision-making by the state.

The aim of this study is to create a user-friendly model (tool), which will provide the capability of evaluating and identifying the most suitable sites for restoration after a wildfire. In the course of this work the boundary of “Prinos” Thasos 2016 wildfire was selected as the study area. Assessment was based on a number of key variables with the use of Multi Criteria Decision Analysis (MCDA). Geographical Information systems (GIS) and Remote Sensing techniques were implemented for the analysis, processing and presentation of the results. The proposed methodology involves classifying each criteria and summing them, based on different weighting factors. Restoration suitability maps were presented in five suitability zones based on two different scenarios. The associated variables and final maps were presented in a web application (webGIS), developed with the help of modern technologies, for the successful dissemination of the results. The study pointed out that the combining use of geospatial and remote sensing data could provide rapid and low-cost assessment of areas affected by wildfires that need further protection and restoration.

Keywords: Wildfires, Forest restoration, Geographical Information Systems, Multicriteria Analysis, Normalized Burn Ratio Index

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Δασικές πυρκαγιές και αποκατάσταση

Τα δασικά οικοσυστήματα ως φυσικοί σχηματισμοί είναι ευάλωτα σε μία σειρά φυσικών αλλά και ανθρωπογενών απειλών, οι οποίες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία των οικοσυστημάτων και πολλές φορές σχετίζονται άμεσα με την υποβάθμιση τους. Οι δασικές πυρκαγιές είναι μία από τις απειλές που φέρουν καταστροφικά αποτελέσματα σε περιβαλλοντικό, οικονομικό αλλά και κοινωνικό επίπεδο (Στάμου, 2001, Birot, 2009, Vukomanovic and Steelman, 2019). Αν και είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο απαντάται εκτεταμένα σε όλα τα μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα, ωστόσο η συχνότητα και το μέγεθος εμφάνισής του τις τελευταίες δεκαετίες αναδεικνύουν το μέγεθος του προβλήματος. Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του 2020 για τις δασικές πυρκαγιές η κλιματική αλλαγή σχετίζεται άμεσα με την αύξηση των συμβάντων, τόσο στο επίπεδο της έναρξης των πυρκαγιών όσο και στην έμμεση αλλαγή των χαρακτηριστικών της βλάστησης και της καύσιμης ύλης. Η Στρατηγική της Ε.Ε. για προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή αναγνώρισε τη σοβαρότητα του προβλήματος και προωθεί σειρά μέτρων σε διάφορους τομείς και δραστηριότητες, μεταξύ αυτών και στα δάση (San-Miguel-Ayanz et al., 2021). Η αλλαγή λοιπόν του κλίματος με παρατεταμένες περιόδους ανομβρίας, σε συνδυασμό με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση συχνότερων, αλλά και πιο σφοδρών πυρκαγιών. Αν όλα αυτά συνδυαστούν με την εγκατάλειψη της Ελληνικής υπαίθρου, την αύξηση της αστυφιλίας των τελευταίων δεκαετιών και την έλλειψη διαχείρισης των δασικών οικοσυστημάτων με επακόλουθο την αύξηση της καύσιμης ύλης, συμπεραίνεται ότι οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών είναι ακόμα πιο καταστροφικές (Τσαγκάρη κ.α. 2011, Wu et al., 2015, Keeley and Pausas, 2019).

Το μεσογειακό τοπίο με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, το πολυσχιδές ανάγλυφο, τους ορεινούς όγκους, την πληθώρα χλωρίδας και οικοτόπων έχει επηρεαστεί σημαντικά από τις πυρκαγιές. (Di Castri, 1973). Η πυρκαγιά λοιπόν, ως στοιχείο αναπόσπαστο του μεσογειακού τοπίου, είναι ένας παράγοντας που έχει διαμορφώσει και έχει επηρεάσει τα χερσαία οικοσυστήματα της Μεσογείου και κυρίως της

ευμεσογειακής ζώνης βλάστησης, όπως και της παραμεσογειακής σε μικρότερο βαθμό (ζώνες βλάστησης όπως καθορίζονται από το σύστημα ταξινόμησης του Braun-Blanquet) (Αθανασιάδης, 1995, Davis et al., 2019). Στις περιοχές αυτές κυριαρχούν είδη όπως αειθαλής θάμνοι και δένδρα, χαμηλοί θάμνοι και φρύγανα, ποώδη φυτά και γεώφυτα που ανθίζουν κυρίως την άνοιξη και το φθινόπωρο. Στην Ελλάδα απαντώνται κυρίως αμιγή δάση αιθαλών κωνοφόρων, χαλεπίου (*Pinus halepensis*) και τραχείας πεύκης (*Pinus brutia*), ενώ σε μικρότερο βαθμό σχηματίζονται συστάδες από κουκουναριά (*Pinus pinea*), κυπαρίσσι (*Cupressus sempervirens*), κ.α. Παρόμοια εξαπλώνονται στις νότιες και νησιωτικές περιοχές, αλλά και παραθαλάσσια σε όλη τη χώρα αείφυλλοι πλατύφυλλοι θάμνοι, που δημιουργούν δάση και δασικές εκτάσεις με είδη όπως το πουρνάρι (*Quercus coccifera*), ο σχίνος (*Pistacia lentiscus*), το ρέικι (*Erica arborea*), κ.α. (Αθανασιάδης 1986, Κοράκης, 2012). Οι περιοχές και τα δασικά αυτά είδη δέχονται κατά κύριο λόγο το μεγαλύτερο αριθμό δασικών πυρκαγιών που εκδηλώνονται ετησίως στη χώρα κατά την αντιπυρρική περίοδο, από το Μάιο έως τον Οκτώβριο. Τα παραπάνω οικοσυστήματα και τα είδη τους για να μπορέσουν να αντεπεξέλθουν έχουν αναπτύξει μηχανισμούς προσαρμογής στις πυρκαγιές και για το λόγο αυτό θεωρούνται ως πυρόφιλα ή πυράντοχα είδη (Ντάφης, 1986). Ωστόσο, ακόμα και αυτά τα προσαρμοσμένα στη φωτιά οικοσυστήματα όταν πλήττονται από επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές ή έχουν υποστεί ιδιαίτερης δριμύτητας καταστροφικές συνέπειες πολλές φορές αδυνατούν να ανταπεξέλθουν. Ως αποτέλεσμα κινδυνεύουν άμεσα από φαινόμενα διάβρωσης και κατολίσθησης του εδάφους αλλά και μακροπρόθεσμα από απώλεια της δασικής βλάστησης και πιθανότητα ερημοποίησης (Αριανούτσου και Καζάνης, 2012).

Η αλλαγή λοιπόν των κλιματικών συνθηκών, η εμφάνιση όλο και πιο συχνών επαναλαμβανόμενων πυρκαγιών στις ίδιες περιοχές θερμόβιων μεσογειακών ειδών, αλλά και σε περιοχές μεγαλύτερων υψομέτρων με ψυχρόβια κωνοφόρα, έχει ως αποτέλεσμα τα οικοσυστήματα αυτά να πλήττονται ανεπανόρθωτα. Στις περιπτώσεις αυτές, η επαναφορά της οικολογικής ισορροπίας είναι ιδιαίτερα δύσκολη και χρήζει άμεσων μέτρων αποκατάστασης, που περιλαμβάνουν προστασία του εδαφικού κεφαλαίου, αντιδιαβρωτικά, αντιπλημμυρικά έργα και τεχνητή αναγέννηση (αναδάσωση) (Ελευθεριάδης κ.α. 2001, Καρέτσος κ.α., 2012, Jorge 2021).

Η πολιτεία δεν είναι σε θέση να προβεί σε αναδασώσεις στο σύνολο της πληττόμενης περιοχής κυρίως εξαιτίας του αυξημένου οικονομικού κόστους των αναδασωτικών εργασιών. Πρέπει ωστόσο να γνωρίζει ποιες περιοχές θα προκριθούν για επεμβάσεις και ποιες κινδυνεύουν περισσότερο μετά το πέρασμα της πυρκαγιάς. Για το λόγο αυτό η αξιολόγηση και διερεύνηση των πιο κατάλληλων θέσεων εφαρμογής μέτρων αποκατάστασης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική. Σύμφωνα εξάλλου με πρόσφατη υπουργική απόφαση (υ.α.: ΥΠΕΝ/ΔΔΕΥ/81777/2996/3-9-2021), προβλέπεται σύμφωνα με το αρθ.2, σε διάστημα 15 ημερών από την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς, οι αρμόδιες υπηρεσίες να είναι σε θέση να προτείνουν τις περιοχές και τα τμήματά τους που χρήζουν άμεσης αποκατάστασης/αναδάσωσης. Επομένως, συμπεραίνεται ότι η δυνατότητα έγκαιρης πρόκρισης κατάλληλων θέσεων αποκατάστασης είναι σημαντική τόσο για τις αρμόδιες υπηρεσίες, όσο και για το σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων από την πολιτεία.

1.2. Σύγχρονες τεχνολογίες στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών

Η εξέλιξη των σύγχρονων τεχνολογιών και συγκεκριμένα της γεωπληροφορικής έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στα συστήματα λήψης αποφάσεων και την επίλυση σύνθετων προβλημάτων. Η ανάπτυξη εξειδικευμένων και εύχρηστων λογισμικών, η αύξηση της ισχύς και δυνατοτήτων των υπολογιστικών συστημάτων έχουν φέρει σημαντικές αλλαγές στη χωρική ανάλυση και στο τομέα των δασικών πυρκαγιών σε σχέση με παλαιότερες αναλογικές μεθόδους ανάλυσης και επεξεργασίας. Στα πλεονεκτήματα των νέων αυτών τεχνολογιών γεωπληροφορικής συγκεταλλέγονται η δυνατότητα εύκολης καταγραφής και παρατήρησης, η αξιοποίηση ανοιχτών δεδομένων, η δυνατότητα παρακολούθησης οικολογικών και κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων, όπως και η αξιολόγηση, ο σχεδιασμός και η διαχείριση ενός συστήματος λήψης αποφάσεων (Bonazountas et al., 2007, Kalabokidis et al., 2011, Sakellariou et al., 2021).

ΧΩΡΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Αναλογικές μέθοδοι ανάλυσης

- Υψηλό κόστος επεξεργασίας
- Περιορισμένες δυνατότητες οπτικοποίησης
- Αποθήκευση μικρού όγκου πληροφορίας
- Χρονοβόρες διαδικασίες συλλογής δεδομένων και επεξεργασίας
- Δυσκολία αλλαγής/διόρθωσης των αποτελεσμάτων
- Μικρή δυνατότητα διαμοιρασμού δεδομένων

Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

- Ευκολία οπτικοποίησης και αναπαράστασης αποτελεσμάτων
- Μεγάλη ταχύτητα επεξεργασίας
- Αποθήκευση μεγάλου όγκου πληροφορίας
- Συνδυασμός πολλαπλών δεδομένων (χαρτογραφικών και περιγραφικών)
- Αξιοποίηση ποιοτικών και ποσοτικών μεθόδων
- Εξελιγμένες μέθοδοι επεξεργασίας
- Δυνατότητα διορθώσεων κα ελέγχου

Εικόνα 1.1: Πλεονεκτήματα γεωπληροφορικής και ΓΣΠ στη χωρική ανάλυση

Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) ως μέρος των τεχνολογιών γεωπληροφορικής έχει μεγάλη αξία στον σχεδιασμό και την ανάλυση σύνθετων χωρικών προβλημάτων. Αυτά χρησιμοποιούνται για το μετασχηματισμό γεωγραφικών δεδομένων, την επεξεργασία τους, την ανάλυση και την οπτικοποίηση αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα μέσα από τα ΓΣΠ μπορεί να επιτευχθεί ο εντοπισμός περιοχών οι οποίες φέρουν ένα συνδυασμό χαρακτηριστικών, η εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης παραμέτρων για την επίλυση σύνθετων φαινομένων, η στατιστική επεξεργασία δεδομένων και η δημιουργία μοντέλων λήψης αποφάσεων (Malczewski, 2010, Χαλκιάς, 2015).

Παράλληλα, η Τηλεπισκόπηση παρέχει πληθώρα δορυφορικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης που διατίθενται τα τελευταία χρόνια, καθώς και οι τεχνολογικές εξελίξεις της επιστήμης προσφέρουν τη δυνατότητα έγκαιρης, απομακρυσμένης και υψηλής ακρίβειας χωρικής πληροφορίας καθώς και ένα μεγάλο εύρος δυνατοτήτων. Μπορούν να συμβάλλουν στη χαρτογράφηση παραμέτρων, στον εντοπισμό αλλαγών, όπως και στην αποτίμηση και παραγωγή δεικτών (Veraverbeke et al, 2010, Petropoulos et al. 2015, Matin et al., 2017, Atun et al., 2020).

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα η αξιολόγηση των εκτάσεων που έχουν πληγεί από καταστροφικές δασικές πυρκαγιές και η επιλογή των περιοχών που χρήζουν άμεσης αποκατάστασης είναι μία διαδικασία σύνθετη και πολύπαραγοντική. Μέσω της επιστήμης της γεωπληροφορικής και των πλεονεκτημάτων της, επιτυγχάνεται εύκολα η ανάλυση των παραγόντων, κριτηρίων που σχετίζονται με το φαινόμενο και εξασφαλίζονται τα κατάλληλα συμπεράσματα. Η ανάπτυξη ενός

εύχρηστου εργαλείου για την άμεση, στοχευμένη και χαμηλού κόστους αξιολόγηση των περιοχών που χρήζουν περαιτέρω αποκατάστασης μετά από πυρκαγιά, είναι εφικτή μέσω των σύγχρονων τεχνολογιών. Ο συνδυασμός γεωχωρικών δεδομένων και δεδομένων τηλεπισκόπησης για τη διερεύνηση πιθανών θέσεων αναδάσωσης μπορεί να δώσει χρήσιμα και αξιόλογα αποτελέσματα. (Χριστακόπουλος κ.α. 2007, Jeongmook et al., 2018)

Τα αποτελέσματα αυτά με τη βοήθεια των σύγχρονων τεχνολογιών του διαδικτύου και των διαδικτυακών ΓΣΠ (webGIS) μπορούν εύκολα να είναι διαθέσιμα και προσβάσιμα στο ευρύτερο κοινό. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μία ραγδαία πρόοδος του διαδικτύου η οποία έχει ακολουθήσει τη γενικότερη ανάπτυξη του τομέα της πληροφορικής. Η εξέλιξη αυτή δεν έλλειψε και στον τομέα των ΓΣΠ, όπου αναπτύχθηκαν υπηρεσίες webGIS για επεξεργασία, ανάλυση και διάχυση γεωγραφικής πληροφορίας. Οι δυνατότητες αυτές στηρίχτηκαν σε μία σειρά υπηρεσιών και προτύπων όπως WMS (Web Map Services) και WFS (Web Feature Services) που βασίστηκαν στις προδιαγραφές του οργανισμού OGC (Open Geospatial Consortium) (Ιστοσελίδα [Wikipedia.org/Open_Geospatial_Consortium](https://en.wikipedia.org/wiki/Open_Geospatial_Consortium)). Οι εν λόγω υπηρεσίες επιτρέπουν τον εύκολο και ταχύτατο διαμοιρασμό γεωγραφικών δεδομένων με το ευρύτερο κοινό, αλλά και τη δυνατότητα επεξεργασίας τους από απομακρυσμένους χρήστες.

1.3. Σκοπός εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό, την αξιοποίηση τεχνολογιών γεωπληροφορικής για τη δημιουργία ενός εύχρηστου μοντέλου, που θα παρέχει τη δυνατότητα αξιολόγησης και εντοπισμού των πιο κατάλληλων θέσεων προς αποκατάσταση μετά από μία δασική πυρκαγιά. Επίσης, μέσω των διαδικτυακών Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (webGIS), η γεωγραφική πληροφορία που θα παραχθεί από τα αποτελέσματα της μελέτης θα οπτικοποιηθεί και θα προβληθεί σε μία διαδικτυακή εφαρμογή. Κατά αυτό τον τρόπο τα αποτελέσματα και η παραγόμενη πληροφορία θα είναι εύκολα προσβάσιμα και διαθέσιμα στους διαχειριστές, στο ευρύ κοινό και σε χρήστες που δε διαθέτουν εξειδικευμένο λογισμικό και τις κατάλληλες γνώσεις.

Στους επιμέρους στόχους, της παρούσας εργασίας περιλαμβάνονται:

- Η χρήση τεχνολογιών γεωπληροφορικής για την ανάπτυξη ενός γεωγραφικού μοντέλου αξιολόγησης των θέσεων αποκατάστασης και η εφαρμογή του
- Η εφαρμογή του αναπτυχθέντος μοντέλου σε πληγείσα περιοχή του Ελλαδικού χώρου, η παρουσίαση και η ανάλυση των αποτελεσμάτων του.
- Η δημιουργία ενός διαδικτυακού ΓΣΠ, με στόχο την διάχυση των αποτελεσμάτων και την ανάδειξη των δυνατοτήτων διάδοσης της πληροφορίας και χρήσης στην λήψη αποφάσεων.

Για τις ανάγκες της εργασίας, ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το όριο της καταστροφικής πυρκαγιάς του 2016 στην περιοχή Πρίνου της νήσου Θάσου. Η επιλογή έγινε συνεκτιμώντας όλα τα διαθέσιμα δεδομένα και φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Επίσης, λήφθηκε υπόψη ότι το συγκεκριμένο δασικό οικοσύστημα έχει πληγεί επανειλημμένα από συμβάντα δασικών πυρκαγιών και είναι ένα αντιπροσωπευτικό μεσογειακό δάσος θερμόβιων κωνοφόρων.

Η διεθνής βιβλιογραφία καταγράφει μία σειρά από οικολογικούς παραμέτρους αλλά και δείκτες που σχετίζονται με την ευρωστία ενός οικοσυστήματος και τις δυνατότητες προσαρμογής του μετά από μία πυρκαγιά. Αντικειμενικός σκοπός της εργασίας είναι να αξιολογηθεί το σύνολο της υπό μελέτης περιοχής, ως προς την καταλληλότητα αποκατάστασής του, λαμβάνοντας υπόψη τις συγκεκριμένες παραμέτρους. Στον βαθμό που γνωρίζει ο συγγραφέας η συνδυαστική αξιοποίηση αυτών των παραμέτρων για παρόμοιο σκοπό, δεν έχει εφαρμοστεί έως τώρα.

1.4. Δομή εργασίας

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε 6 διακριτά κεφάλαια:

Στο Κεφάλαιο 1 πραγματοποιήθηκε μία σύντομη εισαγωγή στις έννοιες και στη σημασία της εργασίας, όπως και παρουσίαση των στόχων της μελέτης.

Το Κεφάλαιο 2 αποτελεί την κύρια βιβλιογραφική ανασκόπηση της εργασίας. Παρουσιάζονται οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών, οι μέθοδοι αποκατάστασης των δασικών οικοσυστημάτων, οι σχετικές μεταβλητές και επίσης αναλύεται η σπουδαιότητα του κάθε κριτηρίου που χρησιμοποιείται στο μοντέλο αξιολόγησης. Γίνεται ανασκόπηση των σύγχρονων εργαλείων γεωπληροφορικής που εφαρμόζονται

τα τελευταία χρόνια, των μεθόδων και των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται σε πρόσφατες συναφείς μελέτες από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η περιοχή μελέτης, τα χαρακτηριστικά της και παράλληλα δίνονται αναλυτικές πληροφορίες των δεδομένων που συλλέχθηκαν και αξιοποιήθηκαν για την ανάπτυξη και εφαρμογή του μοντέλου

Στο Κεφάλαιο 4 αναλύεται η μεθοδολογία και συγκεκριμένα η εφαρμογή της σταθμισμένης πολυκριτηριακής ανάλυσης. Γίνεται παρουσίαση των εργαλείων και λογισμικών που αξιοποιήθηκαν, της επεξεργασίας των δεδομένων, της ανάπτυξης και αποτίμησης των επιμέρους δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν στο προτεινόμενο μοντέλο. Επίσης, παρουσιάζεται η μεθοδολογία, τα βήματα και η τεχνολογία ανάπτυξης του διαδικτυακού ΓΣΠ.

Στο Κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται παρουσίαση και συζήτηση των αποτελεσμάτων των διαφορετικών σεναρίων εφαρμογής του μοντέλου. Στη συγκεκριμένη ενότητα επίσης παρατίθενται οι παραγόμενοι τελικοί χάρτες και συζητείται η σχέση μεταξύ των μεταβλητών και των θέσεων αξιολόγησης. Ακόμη, παρουσιάζεται το διαδικτυακό ΓΣΠ που αναπτύχθηκε, η προβολή των αποτελεσμάτων του μοντέλου στη συγκεκριμένη περιοχή και οι δυνατότητες που παρέχει.

Τέλος στο Κεφάλαιο 6 διατυπώνονται τα συμπεράσματα της εργασίας αναφορικά με τους επιμέρους στόχους της. Παρουσιάζονται αιτιολογημένες προτάσεις συνέχισης της δουλειάς, η δυνατότητα εξέλιξης και εφαρμογής του μοντέλου σε άλλες περιοχές, καθώς και η συνεισφορά του ως ένα εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων.

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Εμφάνιση και επιπτώσεις Δασικών πυρκαγιών

Οι πυρκαγιές είναι μία από τις κύριες αιτίες διαταραχής και υποβάθμισης των δασικών οικοσυστημάτων παγκοσμίως και συνήθως συναντώνται σε περιοχές με θερμό και μεσογειακό κλίμα. Η εμφάνιση των πυρκαγιών είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις μετεωρολογικές και κλιματικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Οι υψηλές θερμοκρασίες, οι παρατεταμένες περίοδοι ανομβρίας και τα υψηλά επίπεδα ξηρασίας δρουν καταλυτικά στην εκδήλωση και εξέλιξη των πυρκαγιών (Davis et al., 2019). Τα τελευταία τρία χρόνια έχουν καταγραφεί τεράστιες καταστροφικές φωτιές στην Αυστραλία, στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, αλλά και σε περιοχές όπως η Σιβηρία όπου καταστράφηκαν περισσότερο από 17 εκατομμύρια εκτάρια, έκταση μεγαλύτερη από την Ελληνική επικράτεια. Συγκεκριμένα, οι πυρκαγιές στο καλοκαίρι του 2021 στη Σιβηρία, υπολογίζεται ότι απελευθέρωσαν 505 μεγατόνους διοξειδίου του άνθρακα, ενώ ο αισθητήρας MODIS του δορυφόρου της NASA (Αμερικάνικη Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος) κατέγραψε για πρώτη φορά καπνούς επάνω από τον Βόρειο πόλο, εξαιτίας των πυρκαγιών (Siberian wildfires, Greenpeace 2021). Τα τελευταία χρόνια η σφοδρότητα των πυρκαγιών, η μέση διάρκεια τους και η δραματική αύξηση εκπομπών αέριων ρύπων δείχνουν ότι το φαινόμενο σχετίζεται άμεσα με την κλιματική αλλαγή (Doerr et al., 2016). Οι Haider et al. 2019 αναγνωρίζουν τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και τις συσχετίζουν με τον αριθμό των δασικών πυρκαγιών στην Βρετανική Κολούμπια.

Σύμφωνα με την τελευταία έκθεση αξιολόγησης του 2021 της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, Αύγουστος 2021) η παγκόσμια μέση θερμοκρασία του πλανήτη μπορεί να υπερβεί τους 1,5 και 2 °C, ακόμα και αν παρθούν γρήγορα μέτρα προσαρμογής. Οι επερχόμενες αλλαγές αφορούν στα ποσοστά ξηρασίας, στο επίπεδο των πάγων και χιονοπτώσεων, στις ακτές και στους ωκεανούς, στην ατμόσφαιρα και τα δάση. Οι δραματικές επιπτώσεις έχουν ήδη αρχίσει να γίνονται αισθητές σε πολλά μέρη του πλανήτη, ενώ το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών βαίνει όλο και πιο αυξανόμενο. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη αξιολόγηση, οι Μεσογειακές περιοχές είναι αυτές που είναι και περισσότερο ευάλωτες στις αλλαγές της κλιματικής

αλλαγής. Οι Turco et al. (2018) εκτιμούν ότι ακόμα και με την επίτευξη των στόχων του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή και τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη στους 1,5°C, οι χώρες της Μεσογείου θα βιώσουν αύξηση των δασικών πυρκαγιών σε ποσοστό 40%.

Συγκεκριμένα στην Ευρώπη περισσότερο από το 80% των καμένων εκτάσεων ετησίως αφορούν τις χώρες του νότου και ειδικότερα τις περιοχές που βρέχονται από τη Μεσόγειο θάλασσα. Οι περιοχές αυτές είναι συνηθισμένες στην παρουσία των πυρκαγιών, αφού πλήττονται διαχρονικά από αυτές. Τελευταία όμως παρατηρείται μία αύξηση στον αριθμό των καμένων εκτάσεων, αλλά και του μεγέθους των πυρκαγιών (Barreira et al., 2019, Fernandez-Anez et al., 2021).

Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του 2020 (San-Miguel-Ayanz, 2021), για τις δασικές πυρκαγιές στην Ευρώπη, τη Μέση Ανατολή και τη Βόρεια Αφρική, η Πορτογαλία και η Ισπανία παρουσιάζουν τις πρώτες θέσεις από τις χώρες της Ε.Ε. στις δασικές πυρκαγιές. Λαμβάνοντας υπόψη τα στατιστικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα για την περίοδο από το 1980 έως το 2020 (βλέπε Πίνακα 2.1), προκύπτει ότι η Ελλάδα δεδομένου της έκτασής της, είναι μία χώρα που πλήττεται σφοδρά από τις πυρκαγιές.

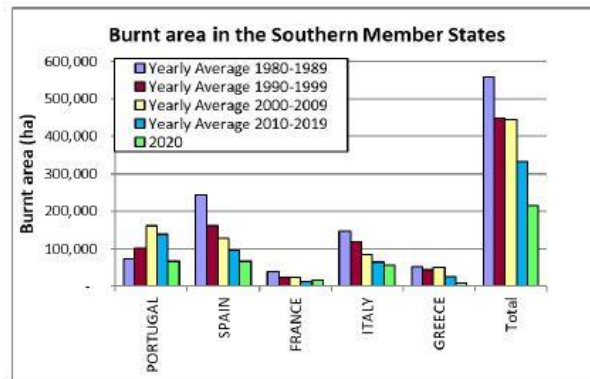
Πίνακας 2.1: Στατιστικά αριθμού και εκτάσεων πυρκαγιών Μεσογειακών χωρών για την περίοδο 1980-2020 (πηγή: European Commission, Forest Fires Technical Report 2021, σελ 116)

<i>Number of fires</i>	PORTUGAL	SPAIN	FRANCE	ITALY	GREECE	TOTAL
2020	9 619	7 745	7 372	4 865	1 060	30 661
% of total in 2020	31%	25%	24%	16%	3%	100%
Average 1980-1989	7 381	9 515	4 910	11 575	1 264	34 645
Average 1990-1999	22 250	18 152	5 538	11 164	1 748	58 851
Average 2000-2009	28 774	18 369	4 418	7 259	1 695	60 514
Average 2010-2019	19 362	11 860	3 865	5 420	946	41 452
Average 1980-2020	19 202	14 310	4 748	8 757	1 404	48 421
TOTAL (1980-2020)	787 291	586 699	194 677	359 038	57 576	1 985 281

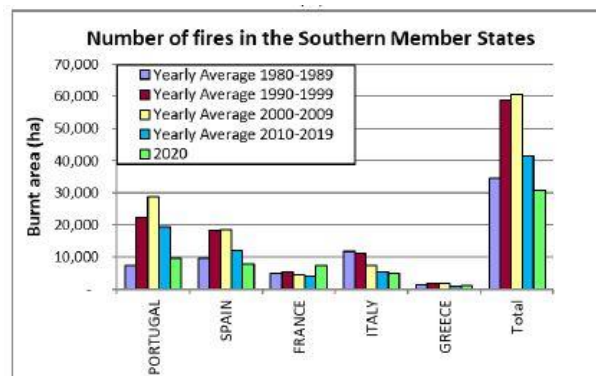
<i>Burnt areas (ha)</i>	PORTUGAL	SPAIN	FRANCE	ITALY	GREECE	TOTAL
2020	67 170	65 923	17 077	55 656	9 300	215 126
% of total in 2020	31%	31%	8%	26%	4%	100%
Average 1980-1989	73 484	244 788	39 157	147 150	52 417	556 995
Average 1990-1999	102 203	161 319	22 735	118 573	44 108	448 938
Average 2000-2009	160 985	127 229	22 362	83 878	49 238	443 693
Average 2010-2019	138 084	94 514	12 475	63 907	24 220	333 200
Average 1980-2020	117 433	154 742	24 009	102 213	41 686	440 082
TOTAL (1980-2020)	4 814 736	6 344 422	984 365	4 190 733	1 709 126	18 043 380

Στα ραβδογράμματα των εικόνων 2.1 έως 2.3, παρουσιάζονται τα συγκριτικά στατιστικά στοιχεία πυρκαγιών των Μεσογειακών Ευρωπαϊκών χωρών.

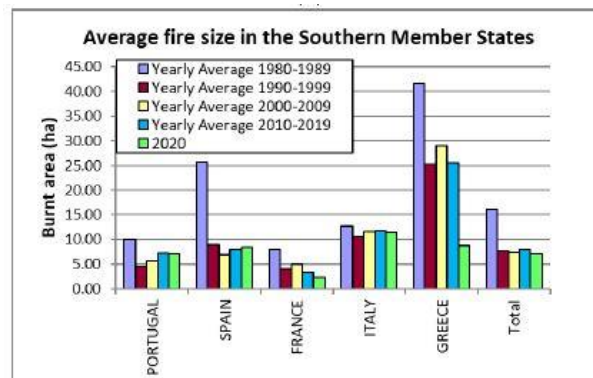
Συγκρίνοντας το ραβδόγραμμα της εικόνας 2.3 με τα δύο άλλα χαρακτηριστικά είναι εμφανές ότι η Ελλάδα παρουσιάζει μεγάλο μέγεθος πυρκαγιών (Average fire size). Αν λάβουμε υπόψη και το χαμηλότερο αριθμό συμβάντων σε σχέση με τις υπόλοιπες Μεσογειακές χώρες, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η σφοδρότητα και η εμφάνιση όλο και περισσότερων μεγαπυρκαγιών είναι πλέον δεδομένη.



Εικόνα 2.1: Σύγκριση καμένων εκτάσεων Μεσογειακών Ευρωπαϊκών χωρών περιόδου 1980-2020 (πηγή: European Commission, Forest Fires Technica lReport 2021, σελ 115)



Εικόνα 2.2: Σύγκριση αριθμού πυρκαγιών Μεσογειακών Ευρωπαϊκών χωρών περιόδου 1980-2020 (πηγή: European Commission, Forest Fires Technical Report 2021, σελ 115)



Εικόνα 2.3: Σύγκριση μεγέθους πυρκαγιών Μεσογειακών Ευρωπαϊκών χωρών περιόδου 1980-2020 (πηγή: European Commission, Forest Fires Technical Report 2021, σελ 115)

Συμπερασματικά, στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες η εμφάνιση των δασικών πυρκαγιών είναι όλο και πιο συχνή, με ακόμα πιο καταστροφικές συνέπειες. Ήδη τις δεκαετίες του 1980 και 1990, πολλές εκτάσεις στη νησιωτική χώρα και την Αττική επλήγησαν από μεγάλο αριθμό πυρκαγιών. Χαρακτηριστικές ήταν οι πυρκαγιές του 2007, όπου κάηκαν περίπου 2,7 εκ στρέμματα κυρίως στην Πελοπόννησο και στην Εύβοια, ενώ χάθηκαν 78 άνθρωποι. Η πυρκαγιά στο Μάτι Αττικής τον Ιούλιο του 2018 ήταν η πιο φονική που καταγράφηκε ποτέ για τη χώρα με 100 απώλειες ανθρώπινων ζωών (Καταστροφικές πυρκαγιές – πηγή Έθνος). Εξίσου καταστροφικές υπήρξαν και οι πυρκαγιές του καλοκαιριού του 2021, όπου κάηκαν μεγάλες εκτάσεις στην Αττική (Βαρυπόμπη, Βίλια, Γεράνεια όρη) , στην Ηλεία, αλλά και στη Βόρεια Εύβοια, όπου αποτεφρώθηκαν περισσότερο από μισό εκατομμύριο στρέμματα (Οικοσκόπιο, 2021).

2.2. Μεταπυρική εξέλιξη Μεσογειακών οικοσυστημάτων

Τα μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της εισαγωγής ανήκουν κυρίως στην ευμεσογειακή και παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης και είναι προσαρμοσμένα στην επίδραση των πυρκαγιών (Davis et al., 2019). Στον Ελλαδικό χώρο αποτελούνται κυρίως από φρύγανα, δάση αειφύλλων πλατυφύλλων, χαλεπίου και τραχείας πεύκης. Πολλές φορές η πυρκαγιά που προέρχεται από φυσικά αίτια δρα και ευεργετικά στα οικοσυστήματα αυτά, αφού ανανεώνει το δάσος, απομακρύνει τη συσσωρευμένη βιομάζα και κυρίως τη ξερή καύσιμη ύλη της νεκρής βλάστησης. Τα μεσογειακά οικοσυστήματα αναγεννώνται φυσικά μετά από μία πυρκαγιά, εφόσον η οικολογική συνέχεια δεν διαταράσσεται από εξωγενείς παράγοντες, όπως η βόσκηση, οι επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές, η απομάκρυνση του εδαφικού υλικού (Ντάφης 1986, Αριανούτσου και Καζάνης, 2012).

Τα είδη της κατηγορίας αυτής διαθέτουν μεταπυρικούς μηχανισμούς προσαρμογής στις πυρκαγιές οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί από τα ίδια τα φυτά. Συγκεκριμένα η αναγέννησή τους προέρχεται είτε με βλαστητικές μεθόδους είτε από τη φύτευση σπερμάτων. Αναλόγως το κάθε είδος η αναβλάστηση επιτελείται είτε από υπόγειους οφθαλμούς (συνήθως παρατηρείται σε θαμνώδη είδη και φρύγανα), είτε από πρεμνοβλαστήματα (κυρίως σε δενδρώδη είδη, όπως η αριά, το πουρνάρι κ.α.). Τα φυτά αυτά λοιπόν, με τη νέα βλαστητική περίοδο μετά την πυρκαγιά και εφόσον δεν

έχουν δεχθεί άλλες επεμβάσεις έχουν τη δυνατότητα να επανακάμψουν (Αριανούτσου και Καζάνης, 2012). Ο άλλος μηχανισμός αναγέννησης αφορά κυρίως τα κωνοφόρα είδη (τραχεία, χαλέπιο πεύκη), αλλά και θαμνώδη είδη όπως οι λαδανιές, που βασίζονται στη διασπορά των σπερμάτων τους (Αριανούτσου και Καζάνης, 2012).



Εικόνα 2.4: Φυσική αναγέννηση καμένης βλάστησης από υπόγειους οφθαλμούς (πηγή: συγγραφέας)

Η χαλέπιος και η τραχεία πεύκη φέρουν κώνους, οι οποίοι δεν καίγονται από τις υψηλές θερμοκρασίες της πυρκαγιάς. Διατηρούνται στο έδαφος ή στη κόμη των ιστάμενων δένδρων και διασπείρουν τα σπέρματά τους ημέρες μετά το πέρασμα της πυρκαγιάς. Κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, με την εμφάνιση των βροχοπτώσεων και με επαρκή ποσότητα υγρασίας στο έδαφος, μέρος των σπερμάτων φυτρώνουν και εξελίσσονται σε αρτίφυτρα (Ντάφης, 1986). Κατά αυτό τον τρόπο, εφόσον οι συνθήκες είναι ευνοϊκές εξασφαλίζεται η φυσική αναγέννηση των συγκεκριμένων δασών από τα σπέρματα που απελευθερώνονται και διασπείρονται. Ο αριθμός των νέων αρτίβλαστων είναι αρκετά μεγάλος, η μετέπειτα όμως επιβίωσή τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και ιδιαίτερα από τις πρώτες περιόδους ξηρασίας (Daskalaku and Thanos, 2004). Τα θερμόβια λοιπόν αυτά είδη είναι καλά προσαρμοσμένα στην πυρκαγιά και ονομάζονται πυρόφιλα ή πυράντοχα (Ντάφης, 1986, Boydak, 2004).

Η επιτυχία της φυσικής αναγέννησης, η πυκνότητα των νέων φυταρίων και η φυσική αποκατάσταση ενός τέτοιου οικοσυστήματος, εξαρτάται τόσο από τις συνθήκες που επικρατούν στη συγκεκριμένη συστάδα, όσο και στην ηλικία των ατόμων της. Συστάδες που δεν έχουν ώριμα δένδρα, μεγαλύτερα από 10 ετών έχουν μικρές πιθανότητες φυσικής αναγέννησης λόγω έλλειψης επαρκής ποσότητας σπερμάτων (Zagas et al. 2004). Για τους παραπάνω λόγους η επαναληψιμότητα των πυρκαγιών στο ίδιο δασικό οικοσύστημα παίζει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της φυσικής του αποκατάστασης. Οι Aguiar et al. (2021), μελέτησαν την αναγέννηση πευκοδασών της Πορτογαλίας, που καταστράφηκαν από δασικές πυρκαγιές του 2017. Κατέληξαν ότι τα ώριμα δάση ηλικίας μεγαλύτερης των 60 ετών είχαν πολύ καλύτερη φυσική αναγέννηση σε σχέση με νεότερες συστάδες 25 ετών. Η επανεμφάνιση λοιπόν της πυρκαγιάς στην ίδια περιοχή μέσα σε τακτά χρονικά διαστήματα είναι καταστροφική ακόμα και για τα Μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα. Ο Χριστακόπουλος (2010), αναφέρει ότι στον Εθνικό Δρυμό Σουνίου η αναγέννηση χαλεπίου πεύκης ήταν μηδαμινή μετά το πέρασμα δύο δασικών πυρκαγιών σε διάστημα μικρότερο των 15 ετών. Η επιτυχία ή αποτυχία της φυσικής αναγέννησης εξαρτάται και από δευτερεύοντες παράγοντες που μπορεί να ακολουθήσουν την πυρκαγιά, όπως η υπερβόσκηση ή έκπλυση του εδαφικού υλικού (Ντάφης, 1986, Connor et al., 2021). Τα νεαρά φυτά και η καινούργια βλάστηση που εμφανίζεται τον πρώτο χρόνο μετά την πυρκαγιά είναι ιδιαίτερα θελτικά ως τροφή για το ζωϊκό κεφάλαιο. Για τους λόγους αυτούς η προστασία μίας έκτασης μετά το πέρασμα μίας πυρκαγιάς κρίνεται επιτακτική και εφαρμόζεται με απαγορευτικές διατάξεις και την κήρυξή της ως αναδασωτέας από τις αρμόδιες αρχές.

Παρόλα αυτά, πολλά από τα είδη που συναντώνται στον Ελλαδικό χώρο και ιδίως στα μεγαλύτερα υψόμετρα δεν είναι προσαρμοσμένα στην πυρκαγιά και κινδυνεύουν πολύ περισσότερο στο πέρασμά της. Τα ψυχρόβια κωνοφόρα όπως η μαύρη πεύκη και η ελάτη, δεν μπορούν να αναγεννηθούν μετά από μία πυρκαγιά και τα δασικά τους οικοσυστήματα κινδυνεύουν με άμεση υποβάθμιση (Αριανούτσου και Καζάνης, 2012, Martin-Alcon and Coll, 2016). Τόσο για τα ψυχρόβια κωνοφόρα, όσο και για τα μεσογειακά δάση που καίγονται επανειλημμένα, πρέπει να γίνεται έλεγχος της κατάστασής τους δύο με τρία χρόνια μετά την πυρκαγιά. Όταν η επανάκαμψη της οικολογικής ισορροπίας και η επαναφορά της βλάστησης δεν μπορεί να επέλθει

γρήγορα και η φύση αδυνατεί να ανταπεξέλθει, πολλές φορές επιλέγεται η εφαρμογή αναδασώσεων.

2.3. Μεταπυρική Αποκατάσταση

2.3.1. Άμεσες Ενέργειες αποκατάστασης μετά την πυρκαγιά

Η αποκατάσταση των περιοχών που έχουν πληγεί από δασικές πυρκαγιές έχει ως σκοπό τον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων της φωτιάς και την επαναφορά του οικοσυστήματος σε μία ισορροπία. Άμεση προτεραιότητα αμέσως μετά από μία πυρκαγιά είναι η προστασία του εδαφικού κεφαλαίου, το οποίο θα αποτελέσει τη βάση για την μετέπειτα φυσική ή τεχνητή αναγέννηση. Η απουσία βλάστησης και η δημιουργία ενός υδρόφοβου στρώματος τέφρας της καμένης καύσιμη ύλης, αυξάνει την ταχύτητα απορροής του νερού και την πιθανότητα διάβρωσης και έκπλυσης του εδάφους (Καρέτσος κ.α., 2012, Δόσης κ.α., 2016). Παράλληλα οι μεταβολές των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους που επέρχονται μετά την πυρκαγιά έχουν επιπρόσθετες αρνητικές επιπτώσεις στην μεταπυρική αποκατάσταση. Η προστασία του εδαφικού κεφαλαίου εξασφαλίζεται με την εφαρμογή συγκεκριμένων μέτρων που έχουν ως κύριο στόχο τη συγκράτηση του εδάφους στη θέση την οποία βρίσκεται.

- **Κορμοδέματα:** τα οποία κατασκευάζονται από καμένους κορμούς 20-30cm που τοποθετούνται παράλληλα με τις ισοϋψείς και σταθεροποιούνται με τη βοήθεια πασσάλων. Η πυκνότητα και οι αποστάσεις μεταξύ τους εξαρτώνται από τη μέση κλίση της πλαγιάς και το μητρικό πέτρωμα.
- **Κλαδοπλέγματα:** με τη πλέξη λεπτών κλαδιών που δεν έχουν καταστραφεί από τις υψηλές θερμοκρασίες και την πασσάλωσή τους. Εφαρμόζεται σε περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμοι μεγαλύτεροι κορμοί.
- **Ξύλινα φράγματα:** στις κοίτες των ρεμάτων για την κατακράτηση των φερτών υλικών και τη μείωση της ταχύτητας απορροής του νερού. Συνεισφέρουν στη μείωση των πιθανοτήτων εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων στα κατόντη.

Όλες οι μέθοδοι που περιγράφονται παραπάνω, όπως και κάθε ενέργεια αποκατάστασης μέσα σε μία καμένη έκταση θα πρέπει να γίνονται με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μη προκαλούν περαιτέρω διαταραχή στο οικοσύστημα

(Μπαλούτσος 2009, Καρέτσος κ.α., 2012, Jorge 2021) Οι Ξανθόπουλος κ.α. (2001) μελέτησαν την εφαρμογή κορμοδεμάτων σε καμένες εκτάσεις τους όρους Πεντέλη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι είναι πολύ θετικά σε μέτριες κλίσεις 20-55%, ενώ όταν εφαρμόζονται σε μεγάλες κλίσεις άνω του 55% η θετική τους συνεισφορά στο έδαφος μειώνεται.

Εκτός όμως από την προστασία του εδάφους προτεραιότητα αποτελεί και η επαναφορά της βλάστησης, στις περιοχές που δεν μπορούν να αναγεννηθούν φυσικά. Για το λόγο αυτό κρίνεται σημαντικό να γίνεται έλεγχος εμφάνισης της φυσικής αναγέννησης δύο με τρία χρόνια μετά την πυρκαγιά (Ντάφης 1986, Zagas et al., 2004, Καρέτσος κ.α., 2012). Πριν λοιπόν από κάθε αναδασωτικό πρόγραμμα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι λόγοι και οι επιμέρους στόχοι του κάθε προγράμματος. Σε αυτούς συγκαταλέγονται η αναβάθμιση του τοπίου, η προστασία του εδάφους και της περιοχής, η επαναφορά της βιοποικιλότητας και των σημαντικών ειδών, η βελτίωση των κλιματικών συνθηκών, η προσφορά στον τοπικό πληθυσμό και στην οικονομία της περιοχής (White and Long, 2019). Εξάλλου, στόχος μετά από μία πυρκαγιά πρέπει να είναι το πληγωμένο δάσος να επιστρέψει στην πρότερη κατάσταση και στη φυτοκοινωνιολογική κλίμακα που ανήκε. Πρέπει να αποφευχθεί η υποβάθμιση και να ξαναγίνει ένα παραγωγικό και υγιές οικοσύστημα (Ντάφης 1986, Zagas et al., 2004, Agguire_Saladoetal., 2017).

2.3.2. Αναδασωτικές ενέργειες

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν υπάρξει προσπάθειες για την εκτίμηση και τον προσδιορισμό των προς αναδάσωση εκτάσεων βάση διαφορετικών προτεραιοτήτων, ωστόσο κρίνεται περιορισμένη ιδίως στην περίπτωση των Μεσογειακών οικοσυστημάτων. Η Αμερικανική Δασική Υπηρεσία προσπάθησε να εφαρμόσει ένα σύστημα ιεράρχησης των αναδασωτικών προτεραιοτήτων για μία μεγάλη περιοχή στο ανατολικό Όρεγκον, ώστε να επιτύχει υγιή δασικά οικοσυστήματα ανθεκτικά στις δασικές πυρκαγιές (Vogler et al., 2015). Επίσης, στην Σιέρρα Νεβάδα της Καλιφόρνιας, όπου οι δασικές εκτάσεις έχουν υποστεί πολλές φορές καταστροφικές συνέπειες από τις πυρκαγιές, έγιναν προσπάθειες αναδάσωσης κυρίως με κωνοφόρα είδη. Οι περιοχές επιλέχθηκαν βάση ελλειπούς ή περιορισμένης φυσικής αναγέννησης και της ανάγκης επίσπευσης επανεγκατάστασης της βλάστησης (Shive

et al., 2018). Οι Hidalgo et al. (2008) διερεύνησαν τις πιο κατάλληλες θέσεις στην περιφέρεια της Huelva στην Ιβηρική χερσόνησο για αναδασώσεις με το είδος δρυός (*Quercus suber*). Μελέτησαν τις βιοκλιματικές, τοπογραφικές και λιθολογικές συνθήκες, βάση ψηφιακών χαρτογραφικών δεδομένων της περιοχής, σε μια ανάλυση 100μ. και εφάρμοσαν τη δυαδική λογιστική παλινδρόμηση, για τον εντοπισμό των κατάλληλων περιοχών. Οι McGinnis et al. (2010) αναφέρουν την σπουδαιότητα της άμεσης και στοχευμένης αναδάσωσης για την αποφυγή περαιτέρω οικονομικών απωλειών, και την επιπλέον επιβάρυνση από την καταστροφή της περιοχής. Στην Χιλή, εφαρμόστηκαν μεγάλα προγράμματα αποκατάστασης δασικών εκτάσεων, λόγω της εκτεταμένης αποδάσωσης που παρατηρήθηκε τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας φυσικών και ανθρωπογενών καταστροφών. Οι περιοχές που επιλέχθηκαν προς αναδάσωση βασίστηκαν στα ιστορικά στοιχεία της βλάστησης της κάθε περιοχής και στο βαθμό υποβάθμισής της. Σκοπός ήταν οι αποκατεστημένες εκτάσεις να εκπληρώνουν τη δασοπονία πολλαπλών σκοπών (Schulz et al., 2017).

Η επιλογή λοιπόν των περιοχών που θα αναγεννηθούν τεχνητά πρέπει να γίνεται προσεκτικά βάση συγκεκριμένων κριτηρίων. Οι παράμετροι οι οποίοι λαμβάνονται κάθε φορά υπόψη έχουν οικολογικό αλλά και κοινωνικο-οικονομικό πρόσημο (Long et al. 2014, White and Long, 2019). Σύμφωνα με τον Κακούρο και Ντάφη (2010), η επιλογή των προς αναδάσωση περιοχών βασίζεται σε δύο άξονες: στην αναζήτηση περιοχών με ευνοϊκές συνθήκες για φυτεύσεις και περιοχών όπου δεν αναμένεται να υπάρξει φυσική αναγέννηση. Η αναδασωτική μέθοδος πρέπει να επιλέγεται με προσοχή, σύμφωνα με το είδος βλάστησης που προϋπήρχε, τις συνθήκες που επικρατούν μετά την πυρκαγιά και τα διαθέσιμα μέσα (Zagas et al., 1998, Jorge 2021). Τα δασικά είδη που θα χρησιμοποιηθούν είναι πολύ σημαντικό να είναι προσαρμοσμένα στις οικολογικές συνθήκες της περιοχής και να προέρχονται από σπόρους της ευρύτερης περιοχής (Κωνσταντινίδης 2001, Αριανούτσου και Καζάνης, 2012). Επίσης, σημαντικό ρόλο στην επιλογή του κατάλληλου είδους είναι να εξασφαλίζεται και η μελλοντική προστασία από μελλοντικές φωτιές (Xanthopoulos et al. 2012). Γενικά, σύμφωνα με την εμπειρική γνώση που έχει προέλθει από παλαιότερα προγράμματα αναδασώσεων, η επιτυχία των αναδασώσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό στις γεωμορφολογικές, κλιματικές και εδαφολογικές συνθήκες μιας περιοχής (Ντάφης 1986, Χατζηστάθης και Ντάφης, 1989, Καρέτσος κ.α., 2012)

2.3.3. Παράμετροι βλαστητικής ανάπτυξης μετά την πυρκαγιά

Το μητρικό πέτρωμα και το έδαφος επιδρούν άμεσα στο είδος και στην ποιότητα της βλάστησης ενός τόπου. Η αποσάθρωση των πετρωμάτων με την επίδραση του κλίματος δημιουργεί και το ανάλογο εδαφικό υλικό, τα οποία θα υποδεχθούν την υπερκείμενη βλάστηση. Τα κύρια χαρακτηριστικά του εδάφους είναι το βάθος, η δομή και μηχανική σύσταση, οι χημικές ιδιότητες και η οργανική ουσία (Παπαμίχος, 1990, Ali et al., 2014). Συγκεκριμένα το βάθος του εδάφους έχει πολύ μεγάλη σημασία για τη δασική βλάστηση και το εκτενές ριζικό της σύστημα. Καθορίζει τις δυνατότητες παροχής ικανοποιητικής ποσότητας νερού και θρεπτικών συστατικών, που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Γενικά το βάθος του εδάφους στον Ελλαδικό χώρο θεωρείται μικρό, λόγω του ορεινού αναγλύφου και της έντονης διάβρωσης. Συνήθως επικρατούν εδάφη βάθους μικρότερου των 50cm., ενώ σπάνια παρατηρείται βάθος μεγαλύτερο του ενός μέτρου (Παπαμίχος, 1990). Όπως αναφέρθηκε και πριν (Ενότητα 2.3.2), κάθε δασοπονικό είδος έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά και νερό και μπορεί να ανταπεξέλθει σε συγκεκριμένα βάθη εδάφους. Τα μεγαλύτερα ωστόσο βάθη εξασφαλίζουν καλύτερες συνθήκες ανάπτυξης για τα περισσότερα δασικά είδη. Οι Xu et al. (2008) ανέδειξαν τη συσχέτιση που υπάρχει μεταξύ της εδαφικής σύστασης, της εδαφικής υγρασίας και της επικρατούσας βλάστησης σε μία περιοχή.

Το μητρικό πέτρωμα και οι ιδιότητές του παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της βλάστησης. Στην Ελλάδα οι κύριοι τύποι πετρωμάτων που συναντώνται είναι οι ασβεστόλιθοι, οι σχιστόλιθοι, γρανίτες (γνεύσιοι), οι τριτογενείς αποθέσεις, ο φλύσχης και αλλουβιακές αποθέσεις (Παπαμίχος, 1990). Οι ασβεστόλιθοι απαντώνται σε περιοχές με έντονες κλίσεις, αποσαθρώνονται εύκολα είναι υδατοδιαπερατά πετρώματα και γενικά παρουσιάζουν πετρώδες και σκληρό ανάγλυφο. Οι σχιστόλιθοι αντίθετα εμποδίζουν τη διείσδυση του νερού έχουν φυλλοειδή διάταξη και δημιουργούν βαθιά εδάφη με υψηλή υγρασία. Οι γρανίτες, όπως ο γνεύσιος που απαντάται κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα (συμπεριλαμβανομένου και της Θάσου), εμφανίζουν έντονη σχιστότητα και ευνοούν τις συγκεντρώσεις νερού κατά θέσεις (Μιχόπουλος και Οικονόμου, 2012). Τα εδάφη που προέρχονται από γνεύσιο είναι βαθύτερα και έχουν καλές συνθήκες για την αύξηση των φυτών (Eimil-Fraga et al., 2014). Οι τριτογενείς αποθέσεις, οι οποίες απαντώνται κυρίως σε ήπιες και ελαφρά λοφώδες περιοχές αφορούν κυρίως ιζήματα της Τριτογενούς και

Τεταρτογενούς γεωλογικής περιόδου. Τα εδάφη που σχηματίζονται σε αυτά τα ιζήματα είναι βαθιά με μεγάλες ποσότητες ανθρακικού ασβεστίου και συνήθως αφορούν βοσκοτόπια ή καλλιεργούμενες περιοχές (Μιχόπουλος και Οικονόμου, 2012). Οι Puy and Moat (1996) βρήκαν ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του μητρικού υποβάθρου και της βλάστησης μιας περιοχής, με τη βοήθεια των ΓΣΠ. Επίσης, οι Stippa et al. (2019) συσχέτισαν τις χρήσεις/κάλυψη γης με το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης τους στο όρος Panther των ΗΠΑ. Χρησιμοποίησαν τα ΓΣΠ όχι μόνο για την προεπεξεργασία των χωρικών τους δεδομένων, αλλά και για τη στατιστική ανάλυση και τον προσδιορισμό των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των χρήσεων γης και του γεωλογικού υποβάθρου.

Εκτός όμως των εδαφολογικών παραμέτρων, το ανάγλυφο και η έκθεση του εδάφους έχει αποδειχθεί ότι έχουν επίσης σημαντική επίδραση στην εμφάνιση της βλάστησης. Η έκθεση μίας περιοχής σχετίζεται άμεσα με το μικροπεριβάλλον που αναπτύσσεται εξαιτίας της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και επακόλουθα της θερμοκρασιακής μεταβολής του σημείου. Βόρειες και ανατολικές εκθέσεις είναι πιο ευνοϊκές και κατάλληλες για να υποδεχθούν τη νέα βλάστηση. Αντίθετα στις νότιες και δυτικές εκθέσεις επικρατεί ένα πιο δυσμενές περιβάλλον με μεγαλύτερα ποσοστά ξηρασίας (Apostolidou, 2007, Kakouros and Dafis, 2010). Η κατεύθυνση μίας πλαγιάς επηρεάζει όχι μόνο τον τύπο βλάστησης αλλά και το ποσοστό κάλυψης. Η συσχέτιση αυτή προσδιορίζεται από τη διάρκεια έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία και επακόλουθα στην εξατμισοδιαπνοή και τη συγκράτηση της υγρασίας (Napolí et al., 2020).

Όπως λοιπόν είναι αντιληπτό, η υδατική επάρκεια των αναδασώσεων, ιδίως κατά τα πρώτα χρόνια εγκαθίδρυσης της βλάστησης είναι από τις πιο σημαντικές παραμέτρους επιτυχίας τους (Vallejo, 2010, Καρέτσος κ.α., 2012, Schulz et al., 2017). Όπως ισχύει για τα περισσότερα μεσογειακά δασικά είδη, τα οποία είναι προσαρμοσμένα στις πυρκαγιές, τα επίπεδα αντοχής τους στην ξηρασία είναι υψηλά (Fischer et al., 2015). Ωστόσο, η αύξηση των νέων φυταρίων και η επιτυχία των αναδασώσεων ακόμα και για αυτά τα είδη εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις και τα επίπεδα υγρασίας τους εδάφους (Sarris et al., 2007).

Σύμφωνα με τους Chu et al. (2017) η αξιολόγηση των αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων που σχετίζονται με την αναγέννηση των δασών μετά από μία πυρκαγιά αναδεικνύει τη σημαντικότητα τους για την επανεγκατάσταση της βλάστησης στην

περιοχή. Το ανάγλυφο, οι ιδιότητες του εδάφους, η υδρολογία και το κλίμα είναι από τις παραμέτρους που έχουν καθοριστικό ρόλο για την υποδοχή της νέας βλάστησης. Η κατανόηση των οικολογικών μηχανισμών και των παραμέτρων που ευνοούν την ανάπτυξη των δασικών ειδών είναι εξαιρετικά σημαντική για την αποκατάσταση των κατεστραμμένων οικοσυστημάτων (Lacambra et al., 2010)

2.4. ΓΣΠ και Τηλεπισκόπηση στον τομέα των δασικών πυρκαγιών και αποκατάστασης

Τα ΓΣΠ και η Τηλεπισκόπηση έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα τα τελευταία χρόνια για την αξιοποίηση και ανάλυση χωρικών πληροφοριών, την κατανοητή διάχυση των αποτελεσμάτων σε μορφή χαρτών και τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων (Arciniegas and Janssen, 2012, Sakellariou et al., 2021). Έχουν αξιοποιηθεί σε πληθώρα μελετών, ενώ βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στον τομέα του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα στις δασικές πυρκαγιές και την μεταπυρική εξέλιξη και αποκατάσταση.

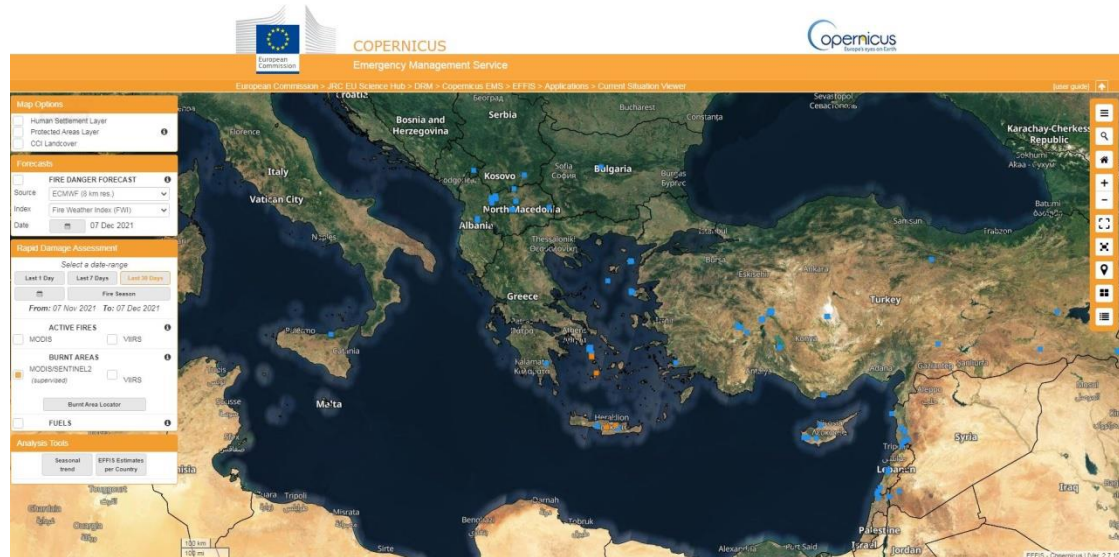
Ήδη, από τις προηγούμενες δεκαετίες τα ΓΣΠ είχαν ξεκινήσει να χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες μελέτες και να παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων. Στο Εθνικό Πάρκο San Bernardino της Καλιφόρνια, αναπτύσσεται ένα σύστημα πρόβλεψης πυρκαγιάς, λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα γεωγραφικά δεδομένα και κάνοντας χρήση των ΓΣΠ για τον υπολογισμό σχετικών δεικτών και την πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου (Chou, 1992). Οι Erp και Lanonville (1996), ανέπτυξαν ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης πυρκαγιών για τον Βορειοδυτικό Καναδά με τη βοήθεια των ΓΣΠ και δεδομένα τηλεπισκόπησης. Συμπεριέλαβαν διαδικασίες πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς, εξέλιξης των πυρκαγιών και σχεδιασμού απόκρισης. Αργότερα σε μία άλλη μελέτη, οι Ruiz-Gallardo et al. (2004) δημιούργησαν έναν χάρτη προτεραιότητας επέμβασης μετά από δασική πυρκαγιά στη νοτιοανατολική Ιβηρική χερσόνησο, λαμβάνοντας υπόψη τη σφοδρότητα των πυρκαγιών, τη κλίση και την έκθεση. Προτείνουν μία ημι-αυτόματη μέθοδο αναγνώρισης περιοχών που κινδυνεύουν περισσότερο από διάβρωση με την τεχνολογία των ΓΣΠ και σχετικών δεικτών τηλεπισκόπησης.

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία, για παράδειγμα οι Schulz και Schroder (2017), αξιολόγησαν με τη βοήθεια των ΓΣΠ περιοχές με Μεσογειακά κλιματικά χαρακτηριστικά στην κεντρική Χιλή, οι οποίες αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της

αποδάσωσης και χρειάζονται την άμεση εφαρμογή προγραμμάτων αποκατάστασης. Η μελέτη τους εφάρμοσε τη χωρική πολυκριτηριακή ανάλυση για τον εντοπισμό θέσεων προς αναδάσωση, που πληρούν τη δασοπονία πολλαπλών σκοπών, με τη χρήση δεδομένων κάλυψης γης. Παρόμοια, οι Agguire-Salado et al. (2017) μέσω των ΓΣΠ μελέτησαν τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες, σε συνδυασμό με δορυφορικά δεδομένα για περιοχές του Βόρειου Μεξικού, ώστε να καθορίσουν τις πιο κατάλληλες και επιτακτικές περιοχές προς οικολογική αποκατάσταση. Για τη μελέτη τους εκτός από μετεωρολογικά και εδαφολογικά δεδομένα αξιοποίησαν δορυφορικές εικόνες Landsat 8. Η χρήση λοιπόν νέων εργαλείων της γεωπληροφορικής, σε συνδυασμό με στοιχεία που μπορούν γρήγορα και εύκολα να αποτιμηθούν από δορυφορικά δεδομένα έχουν εφαρμοστεί σε αρκετές εργασίες, οι οποίες στοχεύουν στην αξιολόγηση περιοχών προς αποκατάσταση, όπως στους Χριστακόπουλος κ.α. (2007), Xie et al. (2015), Shvetsov et al. (2019), Atun et al., (2020). Οι Fernandez-Guisuraga et al. (2019) μελέτησαν τα ποσοστά εμφάνισης νέας βλάστησης, μετά από πυρκαγιά σε δάσος θαλάσσιας πεύκης στη Βορειοδυτική Ισπανία, αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης (WorldView-2). Οι Fernandez_Manso et al. (2021) χρησιμοποίησαν τεχνικές τηλεπισκόπησης radar και lidar, σε συνδυασμό με οπτικά και θερμικά δεδομένα για την χαρτογράφηση της καταστροφής και αναβλάστησης Μεσογειακών πευκοδασών μετά από πυρκαγιές. Η συνέργεια λοιπόν μεταξύ των δύο επιστημών προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων και δυνατοτήτων, ιδίως στον τομέα των δασικών πυρκαγιών και της αποκατάστασης. Στους συγκεκριμένους τομείς, οι περιοχές μελέτης καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις, το φυσικό περιβάλλον είναι δυναμικό και συνεχώς μεταβαλλόμενο και ως αποτέλεσμα η συλλογή δεδομένων και οι μετρήσεις πεδίου είναι χρονοβόρες και πολυδάπανες (Petrooulos et al., 2014). Ο συνδυασμός λοιπόν των σύγχρονων τεχνολογιών πληροφορικής μπορεί να δώσει εύκολα, οικονομικά και ακριβή αποτελέσματα.

Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή των ΓΣΠ και της Τηλεπισκόπησης στον τομέα των δασικών πυρκαγιών είναι η καταγραφή και οριοθέτηση των καμένων εκτάσεων μετά από μία πυρκαγιά. Τα στοιχεία αυτά, με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας και των δορυφορικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης καταγράφονται και είναι προσβάσιμα στο κοινό και στην πολιτεία. Συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και το Ινστιτούτο Joint Research Centre (JRC), μέσω του προγράμματος European Forest Fire Information System (EFFIS), παρέχει μία σειρά από υπηρεσίες όπως καμένες

εκτάσεις, χάρτες πρόβλεψης κινδύνου πυρκαγιάς, στατιστικά πυρκαγιών κ.α. (Ιστότοπος JRC της Ευρωπαϊκής Επιτροπής). Επίσης, αξιοποιώντας τα δορυφορικά δεδομένα από τις πλατφόρμες του MODIS, VIRIS αλλά και του Ευρωπαϊκού δορυφόρου Sentinel 2, παρέχει άμεσα πληροφορία για ενεργές πυρκαγιές και αποτύπωση καμένων εκτάσεων.



Εικόνα 2.5: Ιστότοπος EFFIS (European Forest Fire Information System) του προγράμματος Copernicus (ανακτήθηκε από <https://effis.jrc.ec.europa.eu/> στις 07/12/2021)

Το πρόγραμμα Copernicus της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση μίας σειράς παραμέτρων της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας με τη βοήθεια κυρίως δορυφορικών δεδομένων. Για το σκοπό αυτό έχει αναπτύξει και θέσει σε εφαρμογή μία σειρά δορυφόρων (Sentinel), οι οποίοι φέρουν διαφορετικά όργανα καταγραφής (οπτικά, υπερφασματικά, radar) και παρέχουν μία σειρά προϊόντων και υπηρεσιών (Ιστότοπος του Copernicus της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, Παρχαρίδης, 2015). Στα πλαίσια του προγράμματος, οι πυρκαγιές ως ένας από τους πιο σοβαρούς κινδύνους που απειλούν το περιβάλλον και την ανθρώπινη ζωή, εντάχθηκαν στην υπηρεσία Emergency Management Service και συγκεκριμένα στην πλατφόρμα Rapid Mapping. Η συγκεκριμένη υπηρεσία καταγράφει σε άμεσο χρόνο καταστροφές όπως πλημμύρες, σεισμούς, πυρκαγιές με τη βοήθεια δορυφορικών δεδομένων, γεωχωρικών δεδομένων και συσχέτιση με διαθέσιμα στοιχεία των μέσων μαζικής ενημέρωσης. Τα προϊόντα αποτελούνται από διανυσματικά και ψηφιδωτά δεδομένα οριοθέτησης και αξιολόγησης της πληγείσας περιοχής και των υποδομών της και είναι διαθέσιμα στο κοινό από μερικές ώρες

μέχρι 5 ημέρες μετά το κάθε συμβάν (Ιστότοπος του Copernicus Emergency Management Service).

Σε παγκόσμιο επίσης επίπεδο, η υπηρεσία Global Wildfire Information System (GWIS), μία πρωτοβουλία της Ε.Ε., της NASA και της σύμπραξης περισσότερο από 100 εθνικών οργανισμών, συγκεντρώνει και επεξεργάζεται πληροφορίες για τις δασικές πυρκαγιές σε όλη την υφήλιο και παρέχει εργαλεία για την υποστήριξη της επιχειρησιακής διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών¹.

2.5. Δείκτες Τηλεπισκόπησης και διαχείριση δασικών πυρκαγιών

NBR- Normalized Burn Ratio

Ένας σημαντικός δείκτης τηλεπισκόπησης για τις δασικές πυρκαγιές και τις επιπτώσεις τους είναι ο δείκτης σφοδρότητας πυρκαγιάς **NBR** (Normalized Burn Ratio). Ο υπολογισμός του δείκτη NBR βασίζεται σε δορυφορικά δεδομένα και στα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, του κοντινού υπέρυθρου (NIR) και του μικρού μήκους υπέρυθρου (SWIR), σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Lopez, 1991, Key and Benson, 1995). Τα δορυφορικά δεδομένα για την επεξεργασία θα πρέπει να είναι όσον το δυνατόν πιο κοντά στην ημερομηνία της πυρκαγιάς και να μην παρουσιάζουν νεφοκάλυψη στην περιοχή ενδιαφέροντος (Keeley, 2009).

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

Ο NBR καταγράφει τιμές σφοδρότητας για μία συγκεκριμένη στιγμή και δεν εντοπίζει τις αλλαγές στη βλάστηση και την ανομοιογένεια και που έχουν επέλθει από την πυρκαγιά (Yang, 2021). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται πολύ συχνά η διαφορά του δείκτη μεταξύ δύο διακριτών στιγμών πριν και μετά το φαινόμενο (pre-fire, post-fire) και υπολογίζεται ο κλιμακούμενος δείκτης σφοδρότητας dNBR (Key and Benson, 2006) .

¹ Ιστότοπος GWIS ανακτήθηκε στις 7 Δεκ. 2021 από: <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/>

Πίνακας 2.2: Κατηγοριοποίηση τιμών δείκτη dNBR σύμφωνα με USGS (Ανακτήθηκε από <https://un-spider.org> στις 7/12/2021)

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10 ³)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.99
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

Η Αμερικάνικη Γεωλογική Υπηρεσία (USGS) έχει κατατάξει τις τιμές του δείκτη dNBR, σύμφωνα με την παραπάνω κλίμακα (βλ. Πίνακα 2.2). Οι αρνητικές τιμές και αυτές κοντά στο μηδέν δείχνουν μικρή έως καθόλου επίδραση της πυρκαγιάς και μικρές μεταβολές μεταξύ των δύο περιόδων (pre-fire, post-fire), ενώ οι μεγαλύτερες τιμές δείχνουν σφοδρότητα της πυρκαγιάς και σοβαρές επιπτώσεις (Ireland and Petropoulos 2015).

Σύμφωνα με τον Keeley (2009), ο δείκτης παρουσιάζει πολύ καλή συσχέτιση με την σφοδρότητα της πυρκαγιάς και συγκεκριμένα την απώλεια της υπέργειας και υπόγειας βιομάζας. Για παράδειγμα, οι Colson et al. (2018) με τη συνέργεια οπτικών (Sentinel 2) και radar (Sentinel 1) δεδομένων υπολόγισαν με πολύ μεγάλη ακρίβεια τη σφοδρότητα και το όριο πυρκαγιάς σε περιοχή της κεντροδυτικής Ισπανίας. Ο δείκτης σφοδρότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για τον εντοπισμό της καμένης έκτασης, αλλά και για την αποτίμηση μίας σειράς άλλων παραμέτρων. Σε αυτές περιλαμβάνονται ο βαθμός απώλειας βλάστησης και η μετατροπή της σε καμένη ύλη, οι αλλαγές στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως και η γενικότερη αλλαγή στο μικροκλίμα και τη δομή του οικοσυστήματος (Garcia-Lamas et al., 2019). Η σφοδρότητα της πυρκαγιάς σχετίζεται άμεσα με το βαθμό καταστροφής της δασικής βλάστησης. Όσο μεγαλύτερη η σφοδρότητα της πυρκαγιάς τόσο περισσότερο αυξάνεται και ο κίνδυνος καταστροφής της δυναμικής του οικοσυστήματος και των μηχανισμών του να επανακάμψει. Μέχρι σήμερα έχουν γίνει πληθώρα μελετών που συσχετίζουν τη δυνατότητα επανάκαμψης ενός οικοσυστήματος μετά από πυρκαγιά σε σχέση με το δείκτη σφοδρότητας πυρκαγιάς (Ireland and Petropoulos 2015, Fernandez-Manso et al., 2016, Chuphan and Lin, 2017, Chu et al. 2017, κ.α.) Η απόκριση βέβαια ενός οικοσυστήματος (ecosystem

response) εξαρτάται από το είδος και τη μορφή της επικρατούσας βλάστησης, αλλά και από τις συγκεκριμένες συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Οι Karamesouti et al. (2016) αναφέρουν ότι ο δείκτης NBR είναι μία αποτελεσματική μέθοδος προσδιορισμού και χαρτογράφησης της σφοδρότητας πυρκαγιάς σε ένα μεγάλο εύρος δασικών οικοσυστημάτων. Ο βαθμός σφοδρότητας επομένως εξαρτάται όχι τόσο από τον όγκο της βιομάζας πριν την πυρκαγιά, αλλά από το βαθμό της θνησιμότητας της βλάστησης και την επίδραση του φαινομένου της πυρκαγιάς στην καύσιμη ύλη (Miller and Thode, 2007, Fernandez- Garcia et al., 2018).

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

Εκτεταμένες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί επίσης στην εξέλιξη της βλάστησης μετά από μία καταστροφική πυρκαγιά και στη δυνατότητα των οικοσυστημάτων να επανακάμψουν και να αναβλαστήσουν (Fernandez-Guisuraga et al., 2019, Kim et al., 2021, Serra-Burriel et al., 2021, κ.α.). Οι μελέτες αυτές παίζουν σημαντικό ρόλο στην αποτίμηση και προσδιορισμό των επιμέρους οικολογικών παραγόντων που σχετίζονται με τη δυνατότητα ανάκαμψης ενός οικοσυστήματος. Προσφέρουν γνώση όχι μόνο ως προς τις μεθόδους που εφαρμόζουν, αλλά και προς τις παραμέτρους που εξετάζουν. Οι συγκεκριμένες έρευνες βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης, που παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης της φυσικής αναγέννησης σε ευρείες εκτάσεις και ανα τακτά χρονικά διαστήματα. Οι μέθοδοι παρακολούθησης βασίζονται σε συγκεκριμένους δείκτες βλάστησης και στη μεταβολή τους κατά τη διάρκεια διαφορετικών περιόδων. Ο συνηθέστερος δείκτης που χρησιμοποιείται στις περισσότερες μελέτες εξέλιξης βλάστησης είναι ο **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index), ο οποίος χρησιμοποιεί το κόκκινο και το κοντινό υπέρυθρο μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Rouse et al., 1973, Petropoulos et al., 2014, Evangelides and Nobajas 2020).

Οι Ireland και Πετρόπουλος (2015), μελέτησαν την αναβλάστηση 8 χρόνια μετά από πυρκαγιά στην περιοχή του Δυτικού Καναδά χρησιμοποιώντας τον δείκτη NDVI, την τοπογραφία και τη σφοδρότητα της πυρκαγιάς και υπολόγισαν έναν δείκτη αναγέννησης (Regeneration Index). Παρόμοια, μετά την πυρκαγιά στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας το 2007, όπου το μεγαλύτερο μέρος της καμένης έκτασης αφορούσε δάσος ψυχρόβιων κωνοφόρων (κεφαλληνιακή ελάτη), μελετήθηκε η χωρική και χρονική εξέλιξη της φυσικής αναγέννησης της βλάστησης, με τη βοήθεια

εικόνων υψηλής ανάλυση Landsat TM και του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Υπολογίστηκε ο δείκτης NDVI για μία περίοδο 5 ετών και εξήχθηκαν συμπεράσματα σχετικά με το ρυθμό αύξησης της βλάστησης και την έκθεση του εδάφους (Petrooulos et al., 2014). Παράλληλα, έγινε προσπάθεια να αξιοποιηθούν και άλλοι δείκτες προσδιορισμού της μεταπυρικής εξέλιξης της βλάστησης, όπως καταγράφηκαν σε μελέτη που αφορούσε την περιοχή της Πελοποννήσου και τις καταστροφικές πυρκαγιές του 2007, όπως ο δείκτης TVI (Transformed Vegetation Index), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), PVI (Perpendicular Vegetation Index) κ.α. και να συγκριθούν ως προς την αποτελεσματικότητά τους (Veraverbeke et al., 2012).

CTI - Compound Topographic Index

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.3, οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της βλάστησης και στην πορεία των αναδασώσεων, προσφέροντας τον κατάλληλο αυξητικό χώρο και τα εφόδια για την ανάπτυξη των νεαρών φυταρίων. Η κλίση του εδάφους και η υγρασία του, είναι δύο καθοριστικοί παράγοντες για την ευρωστία των φυτών και την επιτυχία των αναδασώσεων (Sarris et al., 2007, Καρέτσος κ.α. 2012, Schulz et al. 2017). Η πρώτη από τις δύο παραμέτρους είναι εύκολο να υπολογιστεί σε μία περιοχή βάση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, σε αντίθεση με τη δεύτερη η οποία απαιτεί πληθώρα μετρήσεων και μεθόδους χωρικής παρεμβολής για την εκτίμησή της (Kemppinen et al., 2018). Ο δείκτης Topographic Wetness Index (TWI) ή παρόμοια Compound Topographic Index (CTI) είναι ένας υδρογραφικός δείκτης και χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό της υγρασίας του εδάφους (Gessler et al., 1995, Kopecky, 2021). Ο συγκεκριμένος δείκτης αντιπροσωπεύει τη συγκέντρωση επαρκούς ποσότητας νερού της επιφανειακής απορροής και σχετίζεται άμεσα με την παράμετρο της κλίσης (Evans, 2018). Για το λόγο αυτό το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό του και μέσω της κατάλληλης υδρολογικής ανάλυσης προκύπτει η συσσώρευση της απορροής του νερού για κάθε σημείο της επιφάνειας του εδάφους. Ο δείκτης λαμβάνει υπόψη τη συνολική συσσώρευση απορροής, το μήκος απορροής και την κλίση του εδάφους (Moore et al., 1993). Αν και είναι ένας εύχρηστος και αποτελεσματικός δείκτης, ενδείκνυται και χρησιμοποιείται με μεγαλύτερη επιτυχία σε περιοχές που παρουσιάζουν έντονο ανάγλυφο (Yang, 2005).

Ο δείκτης TWI ή CTI ορίστηκε από τους Beven και Kirkby (1979), ως ο φυσικός λογάριθμος της συσσώρευσης απορροής προς την εφαιπτόμενη της κλίσης του εδάφους (βλ. εικόνα 2.6). Υψηλές τιμές του δείκτη δείχνουν περιοχές με ήπιες κλίσεις και μεγάλη συγκέντρωση νερού, ενώ χαμηλές τιμές δείχνουν μεγάλες κλίσεις και χαμηλή συγκέντρωση νερού. Γενικότερα θα μπορούσε να ειπωθεί ότι οι υψηλότερες τιμές περιγράφουν περισσότερο το αποστραγγιστικό δίκτυο και οι χαμηλότερες σχετίζονται με λόφους, κορυφές ή κορυφογραμμές.

Topographic Wetness Index

$$\text{Topographic Wetness Index} = \ln \frac{\text{Total Catchment Area} / \text{Flow Width}}{\tan \text{Slope}}$$

Εικόνα 2.6: Σχηματική αναπαράσταση του δείκτη TWI (Kopecky et al.2021)

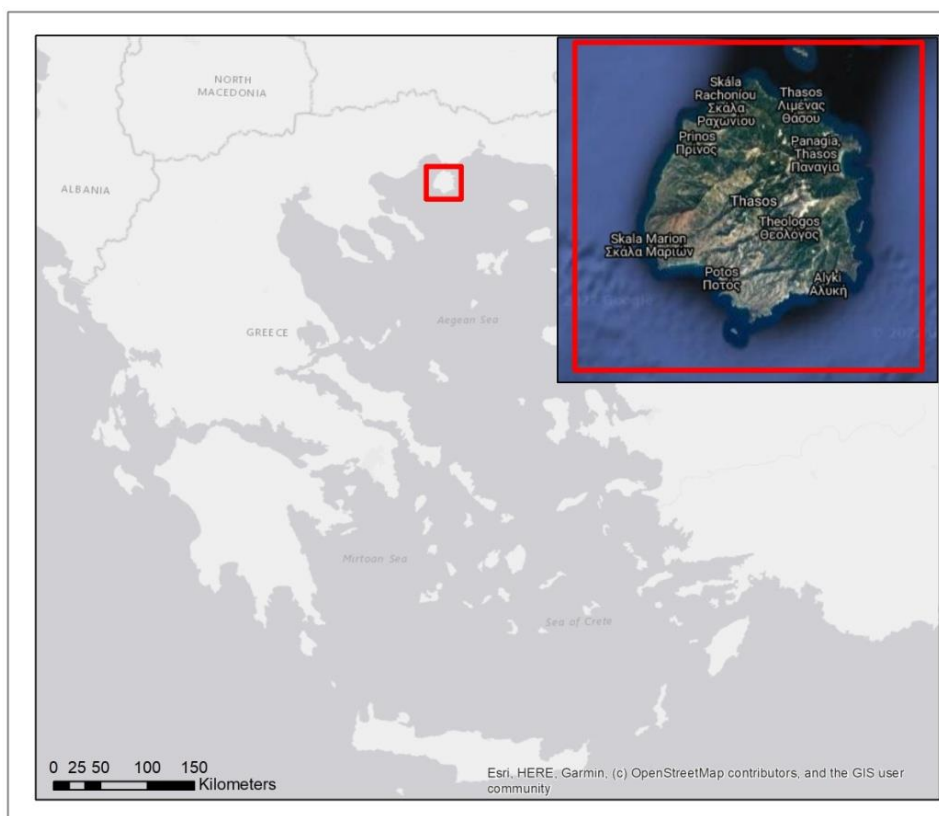
Ο δείκτης CTI είναι ένας εύχρηστος δείκτης, όπου σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία σχετίζεται ισχυρά με την οικολογική διαδοχή και τη διαμόρφωση της βλάστησης σε μία περιοχή. Οι Petroseli et al. (2013) απέδειξαν ότι η ανάπτυξη δύο ειδών δρυός (*Quercus ilex* και *Quercus suber*), σε μεσογειακές κλιματικές συνθήκες, εξαρτάται άμεσα από την υγρασία του εδάφους. Κατέγραψαν δηλαδή τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών του δείκτη CTI και της εμφάνισης των δύο ειδών σε 11 διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου. Εκτός λοιπόν τη συσχέτιση του CTI με την εμφάνιση και παρουσία διαφορετικών ειδών βλάστησης, παρατηρείται επίσης συνάφεια του δείκτη με άλλες παρόμοιες μεταβλητές όπως την επάρκεια θρεπτικών συστατικών του εδάφους και την ατμοσφαιρική θερμοκρασία (Macek et al. 2019). Ο CTI έχει δείξει επίσης, πολύ υψηλή συσχέτιση με αρκετά χαρακτηριστικά του εδάφους και συγκεκριμένα το ύψος του επιφανειακού εδάφους, το ποσοστό ίλυσ, την παρουσία φώσφορου και οργανικής ύλης (Moore et al. 1993, Gessler et al. 1995, Yang et al. 2005). Συγκεκριμένα, ο μεγαλύτερος συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (r), παρατηρήθηκε για το ποσοστό της ίλυσ και την παρουσία οργανικής ύλης (Gessler et al. 1995). Οι παράμετροι αυτοί παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών, στην ευρωστία της βλάστησης και επακόλουθα στην επιτυχία μιας αναδάσωσης.

Λαμβάνοντας υπόψη την ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας που αναπτύχθηκε σε αυτό το κεφάλαιο, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι δασικές πυρκαγιές στη χώρα μας είναι παρούσες και βαίνουν αυξανόμενες. Η φυσική αποκατάσταση των πληγέντων περιοχών παρατηρείται για ένα μεγάλο μέρος δασικών οικοσυστημάτων και ειδών, δεν είναι όμως πάντοτε δεδομένη. Στις περιπτώσεις αυτές, η αξιολόγηση και ο εντοπισμός των θέσεων που χρήζουν επέμβασης και αποκατάστασης είναι πολύ σημαντικός. Οι σύγχρονες τεχνολογίες και συγκεκριμένα τα ΓΣΠ και η Τηλεπισκόπηση είναι εργαλεία που μπορούν να συμβάλλουν αποτελεσματικά στην επίλυση τέτοιων προβλημάτων. Στο επόμενο μέρος της μελέτης παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον συνδυασμό παραμέτρων αξιολόγησής της.

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. Γενική περιγραφή νήσου Θάσου

Το νησί της Θάσου βρίσκεται στο Βόρειο Αιγαίο και θεωρείται η βορειότερη νήσος της χώρας. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες στο κέντρο του νησιού είναι $40^{\circ}41'34''$ γεωγραφικό πλάτος και $24^{\circ}39'1.95''$ γεωγραφικό μήκος. Η ακτογραμμή της Θάσου είναι περίπου 115 χλμ. και η έκταση του νησιού 378,8 τετρ. χλμ. Διοικητικά ανήκει στην Περιφέρεια Ανατολικής, Μακεδονίας και Θράκης και στην Περιφερειακή Ενότητα Θάσου, σύμφωνα με το πρόγραμμα του Καλλικράτη. Απέχει απόσταση περίπου 24 χλμ. από την Καβάλα, αλλά συνδέεται επίσης με θαλάσσια συγκοινωνία με την πόλη της Κεραμωτής. Πρωτεύουσα του νησιού είναι ο Λιμένας, ενώ κυριότεροι άλλοι οικισμοί είναι τα Λιμενάρια, ο Πρίνος, ο Θεολόγος και η Καλλιράχη. Η Θάσος είναι ένα ορεινό νησί με έντονο ανάγλυφο, παρουσιάζει εκτεταμένες κορυφογραμμές και αρκετές χαραδρώσεις. Το υψηλότερο σημείο είναι η κορυφή Ψαριό στα 1203 μ. υψόμετρο².



Εικόνα 3.1: Χάρτης θέσης νήσου Θάσου (υπόβαθρο googleearth)

² Ιστότοπος Θάσος. Ανακτήθηκε από: wikipedia.org στις 02/01/2022

3.1.1. Βλάστηση

Το κυριότερο είδος βλάστησης που απαντάται στο νησί της Θάσου είναι η τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*), που σχηματίζει αμιγή δάση και συστάδες. Στα μεγαλύτερα υψόμετρα εντοπίζονται αρκετές συστάδες μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*) και σε μικρότερο βαθμό στις ψυχρότερες θέσεις, η υβριδογενής ελάτη (*Abies borissi-regis*). Μεγάλο μέρος του νησιού καλύπτεται επίσης από διαπλάσεις αειφύλλων πλατυφύλλων, όπως το πουρνάρι (*Quercus coccifera*), την κουμαριά (*Arbutus unedo*), την αριά (*Quercus ilex*) και το σχίνο (*Pistacia lentiscus*). Στον υπόροφο, κυρίως της τραχείας πεύκης συναντάται το ερείκη (*Erica arborea*), το οποίο σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα κωνοφόρα είδη είναι πολύ σημαντικό για τη μελισσοκομία, η οποία είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη στο νησί. Εμφάνιση σε μικρότερο βαθμό κάνουν και πλατύφυλλα είδη, κυρίως σε πιο υγρές θέσεις, όπως ο πλάτανος (*Platanus orientalis*), η καστανιά (*Castanea sativa*), η λεύκη (*Populus tremula*) και η ιτιά (*Salix* sp.) (Ιστότοπος Natural history of Thasos)³.

Χλωριδικά η Θάσος είναι ένας πλούσιος τόπος με αρκετά ενδημικά και σπάνια είδη. Συναντώνται πολλά ενδημικά είδη της Ελλάδος αλλά και της Βαλκανικής. Έχουν καταγραφεί μόνο σε αυτό το μέρος τα είδη *Geocaryum bornmuelleri*, *Lotu saduncus*, *Dianthus achtarovii*, *Paronychia bornmuelleri*, *Alyssum obtusifolium* ssp. *helioscopioides*, *Cerastium decalvans* ssp. *glutinosum*, *Galiumd ecorum*, *Verbascum cylindrocarpum*, *Festuca cyllenica* ssp. *Thasia* (Σφήκας, 2001, Ζάγκαρης και Βλάμη, 2011).

Σύμφωνα με τις ζώνες βλάστησης που προτείνει ο Ντάφης για την Ελλάδα (Ντάφης, 1986), η Θάσος περιλαμβάνεται στην ευμεσογειακή ζώνη, παραμεσογειακή ζώνη και ζώνη δασών Οξυάς-Ελάτης. Συγκεκριμένα, η ευμεσογειακή ζώνη χωρίζεται στις υποζώνες *Oleo ceratonion* και *Quercion ilicis*. Η πρώτη παρουσιάζεται στα χαμηλά υψόμετρα έως 300μ. στο νότιο τμήμα της Θάσου, ενώ η δεύτερη κυρίως στο βορειότερο τμήμα του νησιού, όπου επικρατούν πιο υγρές συνθήκες. Η παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia pubescentis*) βρίσκεται σε υψόμετρα μεταξύ 300 και 800 μέτρων και περιλαμβάνει ως κυρίαρχο είδος του νησιού την τραχεία πεύκη. Στον υπόροφο συναντάται κυρίως το πουρνάρι, αλλά και διαπλάσεις

³Ανακτήθηκε από: https://yrefail.net/Thasos/vascular_plants.htm στις 28/12/2021

άλλων αειφύλλων πλατυφύλλων που περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Τέλος, στα μεγαλύτερα υψόμετρα στο κέντρο του νησιού, όπου το κλίμα γίνεται πιο ηπειρωτικό εντοπίζεται η ζώνη οξυάς-ελάτης, η οποία κατά θέσεις αναμειγνύεται με την *Quercetallia pubescentis*. Εδώ συναντώνται κυρίως συστάδες μαύρης πεύκης, ενώ περιορισμένα σε υγρότερες θέσεις εντοπίζεται και η υβριδογενής ελάτη (Βράνια, 2012).

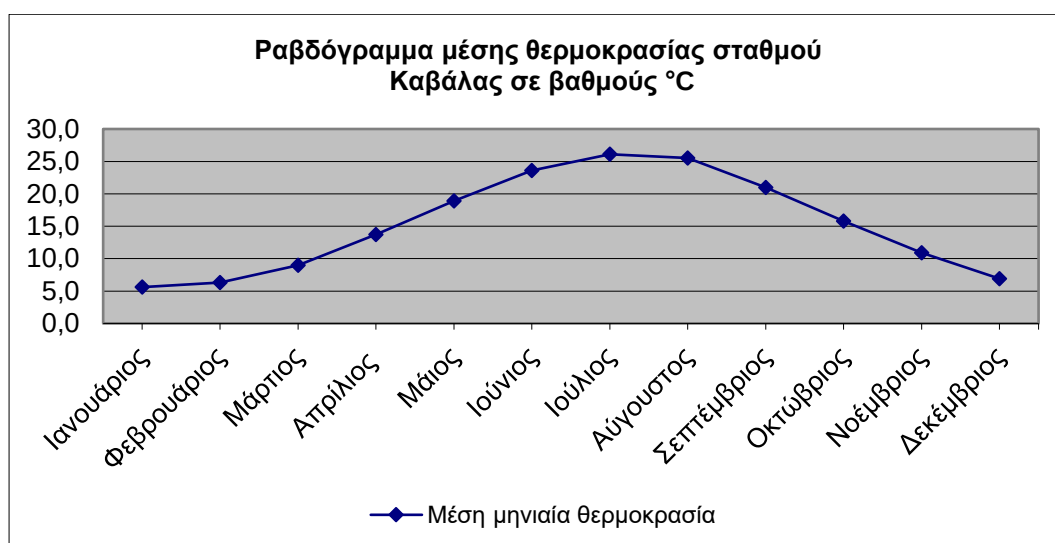
3.1.2. Κλιματολογικά, μετεωρολογικά στοιχεία

Στην περιοχή μελέτης υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός στον Πρίνο Θάσου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, ο οποίος ωστόσο έχει τεθεί πρόσφατα σε λειτουργία και διαθέτει μετεωρολογικά δεδομένα μόνο μετά το 2020. Για το λόγο αυτό, και για την αναλυτικότερη περιγραφή του κλίματος με διαχρονικά δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Καβάλας της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ). Ο συγκεκριμένος σταθμός βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με την περιοχή μελέτης, με γεωγραφικό μήκος 24,62 και γεωγραφικό πλάτος 40,92. Βρίσκεται σε υψόμετρο 4 μ. και προσφέρει δεδομένα για μία περίοδο 25 ετών, από το 1985 έως το 2010. Η εγγύτητα του σταθμού επιτρέπει να θεωρηθεί ότι τα κλιματικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου σταθμού προσεγγίζουν σημαντικά αυτά της περιοχής της Θάσου.

Η μέση θερμοκρασία για όλο το έτος του μετεωρολογικού σταθμού Καβάλας, σύμφωνα με τις μετρήσεις των 25 ετών, είναι 15,3°C. Η μεγαλύτερη μέση μηνιαία θερμοκρασία παρατηρείται κατά τον μήνα Ιούλιο με μέση θερμοκρασία 26,1°C, ενώ η ελάχιστη κατά τον Ιανουάριο με μέση θερμοκρασία 5,6 °C (βλέπε πίνακα 3.1). Αντίστοιχα, η μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία ίση με 1,8 °C παρατηρείται τον Ιανουάριο και η μέση μέγιστη ίση με 30,2 °C παρατηρείται τον Αύγουστο.

Πίνακας 3.1:Θερμοκρασίες σταθμού Καβάλας για την περίοδο 1985-2010 (πηγή EMY)

ΜΗΝΑΣ	Μέση Μηνιαία	Μέση	
		Μέγιστη Μηνιαία	Ελάχιστη Μηνιαία
Ιανουάριος	5,6	9,5	1,8
Φεβρουάριος	6,3	10,3	2,1
Μάρτιος	9,0	12,9	4,7
Απρίλιος	13,7	17,5	8,8
Μάιος	18,9	22,8	13,4
Ιούνιος	23,6	27,4	17,3
Ιούλιος	26,1	30,1	19,5
Αύγουστος	25,5	30,2	19,2
Σεπτέμβριος	21,0	25,7	15,2
Οκτώβριος	15,8	20,4	11
Νοέμβριος	10,9	15	6,9
Δεκέμβριος	6,9	10,6	3,3
ΕΤΟΥΣ Μέση	15,3	19,4	10,3

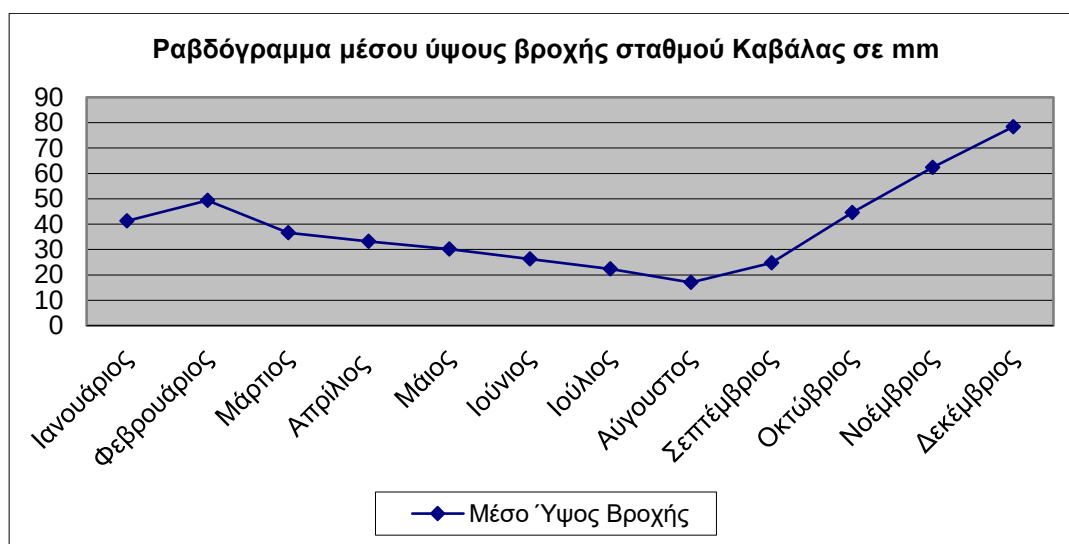


Εικόνα 3.2: Ραβδόγραμμα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σταθμού Καβάλας, σύμφωνα με τιμές της EMY

Οι βροχοπτώσεις ετήσια ανέρχονται σε 466,2 mm βροχής, σύμφωνα με τις διαθέσιμες μετρήσεις των 25 ετών.. Η κατανομή τους είναι ανισόμετρη στους διάφορους μήνες του χρόνου με συνέπεια, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες υπάρχει ένα μεγαλύτερο ύψος βροχής, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες αυτό μειώνεται αισθητά. Το μεγαλύτερο μέσο ύψος βροχής παρατηρείται κατά τον μήνα Δεκέμβριο με 78,4mm.(βλέπε πίνακα 3.2 και ραβδόγραμμα εικόνας 3.3).

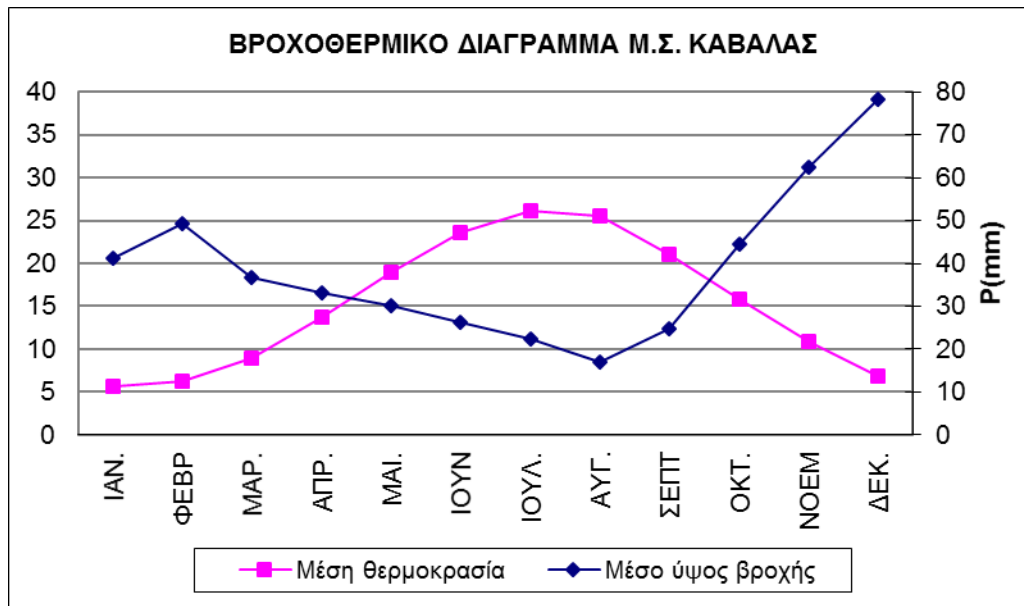
Πίνακας 3.2: Μέσο ύψος βροχής σταθμού Καβάλας, για την περίοδο 1985-2010 (πηγή EMY)

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	Μέσο Ύψος υετού
Ιανουάριος	41,3
Φεβρουάριος	49,3
Μάρτιος	36,6
Απρίλιος	33,2
Μάιος	30,2
Ιούνιος	26,2
Ιούλιος	22,4
Αύγουστος	17
Σεπτέμβριος	24,8
Οκτώβριος	44,5
Νοέμβριος	62,3
Δεκέμβριος	78,4
ΕΤΟΣ	466,2



Εικόνα 3.3: Ραβδόγραμμα μέσου ύψους βροχής σταθμού Καβάλας, σύμφωνα με τιμές της EMY

Από την επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων στο υπολογιστικό φύλλο Microsoft excel, προκύπτει το βροχοθερμικό διάγραμμα για το σταθμό Καβάλας (βλέπε εικόνα 3.4). Σύμφωνα με τους Gaussen-Bagnouls (1957), συμπεραίνεται ότι στο χώρο μελέτης η ξηροθερμική περίοδος κυμαίνεται περίπου σε 5 μήνες από τα τέλη Απριλίου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου.



Εικόνα 3.4: Βροχοθερμικό διάγραμμα σταθμού Καβάλας

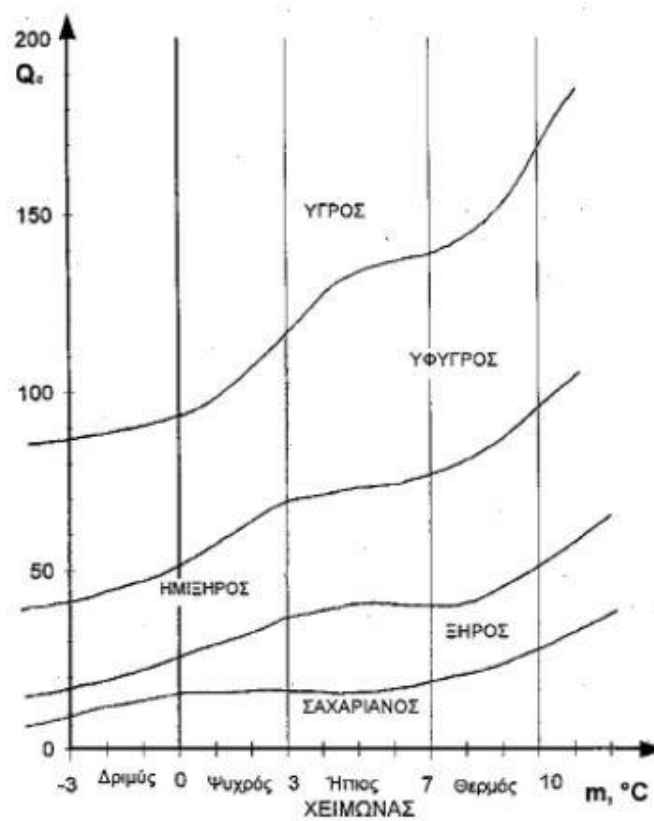
Πολύ σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό είναι το βιοκλίμα μίας περιοχής, το οποίο επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό και το είδος της βλάστησης που επικρατεί σε αυτήν. Για τη Μεσόγειο το βιοκλίμα υπολογίζεται από το βροχοθερμικό πηλίκο του Emburger σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$Q = \frac{1000 P}{\left(\frac{M+m}{2}\right) (M + m)} \quad (2)$$

Όπου P = Ετήσιο ύψος βροχής σε mm.

M = Μέσος όρος μεγίστων θερμοκρασιών, θερμότερου μήνα, σε απόλυτους βαθμούς.

m = Μέσος όρος ελαχίστων θερμοκρασιών ψυχρότερου μήνα σε απόλυτους βαθμούς.



Εικόνα 3.5: Διάκριση βιοκλιματικών ορόφων βάση βροχοθερμικού πηλίκου του Emberger

Σύμφωνα με τις τιμές που παρατέθηκαν παραπάνω για την περιοχή, όπου $P = 466,2\text{mm}$, $M = 30,2^\circ\text{C}$ και $m = 1,8^\circ\text{C}$ βρίσκουμε ότι το βροχοθερμικό πηλίκο $Q = 56,7$. Με βάση δε το κλιματικό διάγραμμα του Emberger (βλέπε εικόνα 3.5), το κλίμα χαρακτηρίζεται ως ημίξηρο με ψυχρό χειμώνα.

3.1.3. Γεωλογικά στοιχεία

Η Θάσος ανήκει στο κρυσταλλοπαγές συγκρότημα μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Ροδόπης, όπως προκύπτει από το Γεωλογικό χάρτη Ελλάδος του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Σε αυτό επικρατούν τα κρυσταλλοσχιστώδη και εκριξηγενή πετρώματα της Προπαλαιοζωϊκής περιόδου και σχηματισμοί του Μεσοζωϊκού αιώνα, όπως και οι μεταμορφωμένοι ασβεστόλιθοι. Κατά τόπους συναντώνται τα νεότερα στρώματα αποθέσεων της Νεογενούς, Τριτογενούς και Τεταρτογενούς περιόδου.

Σύμφωνα με το Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ στο κέντρο του νησιού και κυρίως στα πιο ορεινά τμήματα κυριαρχούν συμπαγείς ημιμεταμορφωμένοι ασβεστόλιθοι από αμφιβολίτες και γνεύσιους. Στα χαμηλότερα υψόμετρα περιφερειακά της νήσου απαντώνται κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα. Σε μικρότερο βαθμό, στην παραθαλάσσια κυρίως ζώνη περιορίζονται νεότερα στρώματα αποθέσεων, μάργες άμμου και ψαμμίτες.

3.1.4. Κοινωνικο-οικονομικά στοιχεία

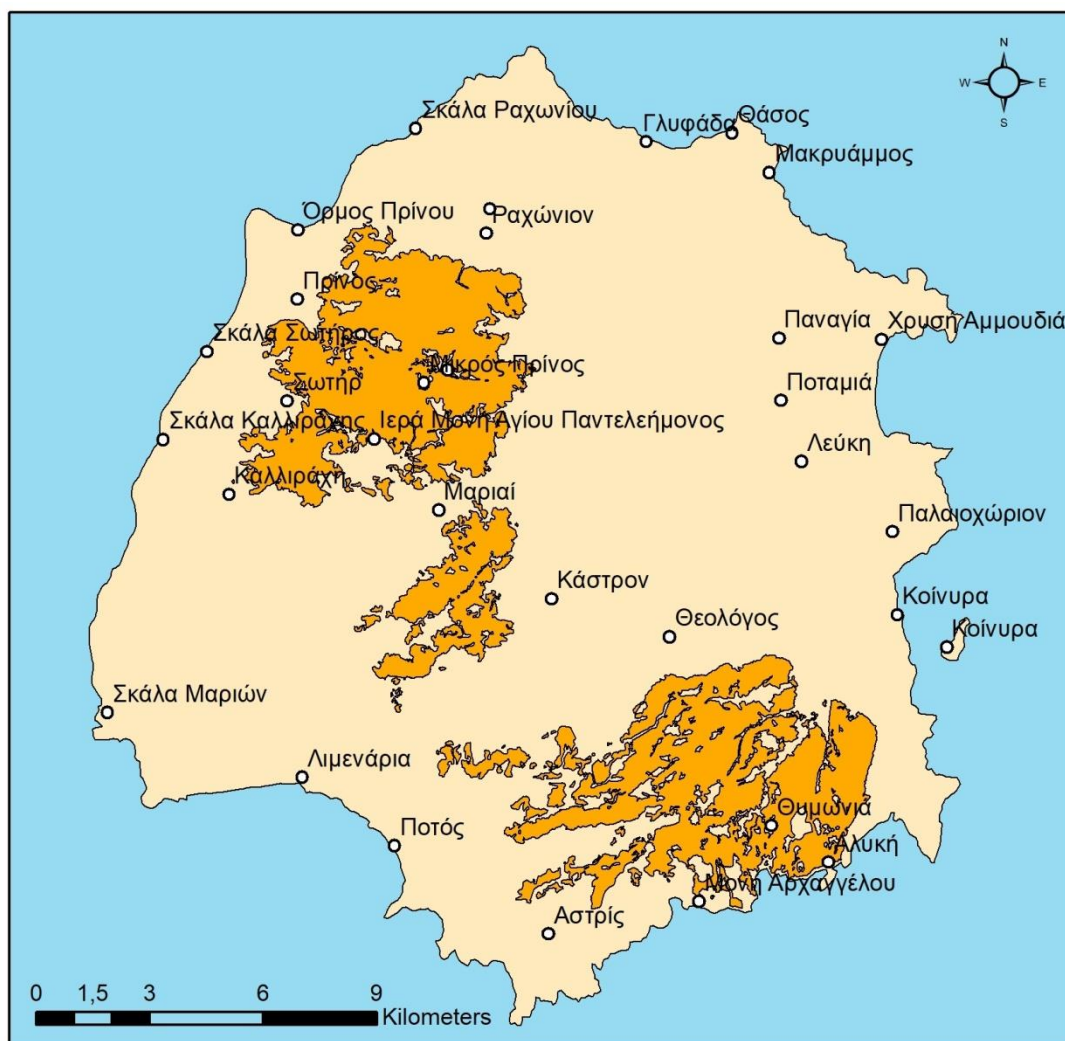
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται δημογραφικά στοιχεία της Θάσου και της ομώνυμης Περιφερειακής Ενότητας, σύμφωνα με τα δεδομένα της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας (ΕΛΣΤΑΤ), με την τελευταία απογραφή του 2011. Συγκεκριμένα, το νησί της Θάσου κατοικείται μόνιμα από 13.770 άτομα, από τα οποία 4.478, ήτοι 32,5%, είναι εργαζόμενοι ενώ το υπόλοιπο 67,5% είναι μη οικονομικά ενεργοί πολίτες. Όπως προκύπτει και από τον πίνακα 3.3, το μεγαλύτερο ποσοστό των ανθρώπων στο νησί της Θάσου ασχολούνται με τον τουρισμό, το οποίο αντιστοιχεί στο 25% του οικονομικά ενεργού πληθυσμού. Σημαντικό ποσοστό επίσης απασχολείται στο εμπόριο (16,3%), αλλά και στη γεωργία και αλιεία (14,4%). Γίνεται λοιπόν άμεσα αντιληπτό, ότι η ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος του νησιού σχετίζεται όχι μόνο με το φυσικό του πλούτο, αλλά και με την ευημερία και οικονομική δραστηριότητα των πολιτών του.

Πίνακας 3.3:Αριθμός ατόμων ανα κλάδο απασχόλησης στη Π.Ε. Θάσου (πηγή ΕΛΣΤΑΤ)

ΓΕΩΡΓΙΑ, ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΛΙΕΙΑ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	ΧΟΝΔΡΙΚΟ ΚΑΙ ΛΙΑΝΙΚΟ ΕΜΠΟΡΙΟ - ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ
648	432	730	190	1.123
ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΑΙ ΑΜΥΝΑ	ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΜΕΡΙΜΝΑ	ΛΟΙΠΟΙ ΚΛΑΔΟΙ
95	229	201	89	741

3.2. Ιστορικό Πυρκαγιών Θάσου

Ο νομός Καβάλας και συγκεκριμένα η νήσος Θάσος πλήττεται διαχρονικά από τις δασικές πυρκαγιές. Σύμφωνα με την Τσαγκάρη κ.α. (2011), στην Περιφέρεια Ανατολικής-Μακεδονίας και Θράκης οι τρεις δριμύτερες πυρκαγιές για την περίοδο 1983-2006 καταγράφηκαν στο νομό Καβάλας. Μεγάλο ποσοστό από τις εκτάσεις της Θάσου έχουν πληγεί τουλάχιστον 2 φορές από καταστροφικές πυρκαγιές. Σύμφωνα με τους Mouflis et al. 2008, περίπου η μισή επιφάνεια του νησιού κάηκε μεταξύ των ετών 1984 έως 2000. Συγκεκριμένα, το 1984, 1985, 1989 και 2000 εκδηλώθηκαν μεγάλες καταστροφικές πυρκαγιές στο δυτικό και νότιο τμήμα, που αποτέφρωσαν 184.494 στρ., ήτοι 48,2% της συνολικής έκτασης του νησιού. Δασικές πυρκαγιές εκτυλίχτηκαν ξανά στο δυτικό τμήμα του νησιού κατά τις χρονιές 2004, 2008 και 2013 (Σακελλαρίου, 2021). Το 2016 ήταν επίσης μία από τις χειρότερες χρονιές για το νησί της Θάσου, όπου κάηκαν ξανά σε τρία τμήματα του νότιου και δυτικού μέρους του νησιού 68.870στρ. Στον χάρτη της εικόνας 3.7 αποτυπώνονται οι πυρκαγιές του 2016 για τη Θάσο, όπως μεταφορτώθηκαν σε διανυσματική μορφή από την πλατφόρμα Emergency Management Service του προγράμματος Copernicus και επεξεργάστηκαν στο λογισμικό ArcGIS. Η οριοθέτηση των καμένων περιοχών προήλθε από δορυφορικές εικόνες Landsat και Spot 6, σύμφωνα με το τελικό προϊόν EMSR180 του προγράμματος Copernicus, όπως παρουσιάζεται στο Παράρτημα.



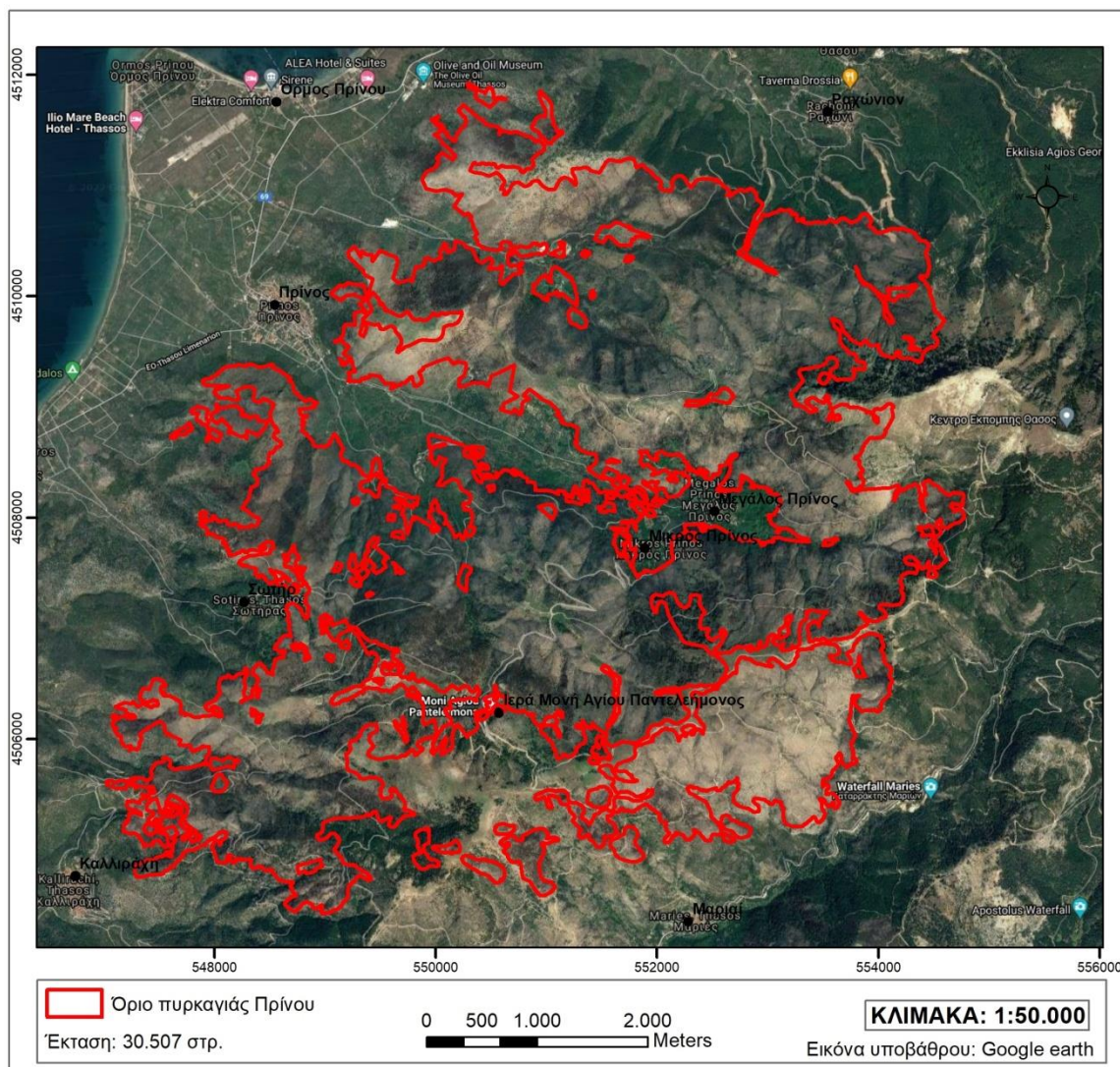
Εικόνα 3.6: Πυρκαγιές Θάσου 2016 (Όρια από Emergency Management Service του Copernicus)

Συγκεκριμένα, στις 10 Σεπτεμβρίου εκδηλώθηκαν τέσσερα πύρινα μέτωπα σε διαφορετικά σημεία του νησιού τα οποία εξελίχθηκαν στις μεγάλες πυρκαγιές του 2016. Οι εστίες προήλθαν από πληθώρα κεραυνών που καταγράφηκαν στην περιοχή, χωρίς την παρουσία βροχής. Το σπάνιο αυτό φαινόμενο των «ξερών καταιγίδων», έπληξε την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη, αλλά κυρίως εκδηλώθηκε στο νησί της Θάσου. Η αυξημένη ξηρασία της καύσιμης ύλης, λόγω της απουσίας βροχοπτώσεων το προηγούμενο διάστημα επέτρεψε τα πύρινα μέτωπα να καίνε για τρεις συνεχόμενες ημέρες και να προξενήσουν μεγάλες καταστροφές σε φυσικό περιβάλλον και υποδομές (Ιστότοπος greenagenda)⁴.

⁴Ανακτήθηκε από: <http://greenagenda.gr/θάσος-ένας-χρόνος-από-την-καταστροφικ-στις-17/12/2021>

3.3. Όριο περιοχής μελέτης

Για τις ανάγκες της εργασίας και την ανάπτυξη του μοντέλου αξιολόγησης αποκατάστασης μίας καμένης περιοχής, επιλέχθηκε το όριο της πυρκαγιάς του Πρίνου το 2016. Πρόκειται για μία έκταση με βλάστηση μεσογειακών κωνοφόρων που έχει πληγεί επανειλημμένα από δασικές πυρκαγιές. Η συγκεκριμένη περιοχή έχει έκταση 30.507στρ. και βρίσκεται στο δυτικό μέρος της νήσου Θάσου. Εκτείνεται από Βορά προς Νότο μεταξύ των οικισμών Ραχώνη και Καλλιράχη, ενώ στο δυτικό της τμήμα φτάνει μέχρι την πόλη του Πρίνου. Καλύπτει μία έντονα λοφώδη και ορεινή περιοχή με αρκετές χαραδρώσεις και κορυφογραμμές. Η καμένη έκταση ξεκινάει πλησίον του παραλιακού μετώπου από 100 μ. υψόμετρο και φτάνει μέχρι τα 920μ. Περικλείει εντός του ορίου της, τους οικισμούς Μικρό και Μεγάλο Πρίνο και την Ιερά Μονή Αγίου Παντελεήμονα. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.8, εντός του περιγράμματος της πυρκαγιάς υπάρχουν κάποιες άκαυτες νησίδες, όπως το ρέμα που οδηγεί από την πόλη του Πρίνου στο Μικρό και Μεγάλο Πρίνο. Στο επόμενο κεφάλαιο της μεθοδολογίας γίνεται λεπτομερής ανάλυση των επιμέρους φυσιογεωγραφικών χαρακτηριστικών της καμένης έκτασης που σχετίζονται με την ανάπτυξη του μοντέλου αξιολόγησης της περιοχής.



Εικόνα 3.7: Όριο πυρκαγιάς Πρίνου 2016, σύμφωνα με δεδομένα του Emergency Management Service, Copernicus⁵

3.4. Σύνολο δεδομένων μελέτης

Η αξιολόγηση της καμένης περιοχής τους Πρίνου, ως προς τις βέλτιστες θέσεις αποκατάστασης θα βασιστεί σε μία σειρά χαρακτηριστικών και στοιχείων της περιοχής τα οποία πρέπει να αναλυθούν και να συνδυαστούν μεταξύ τους. Τα δεδομένα τα οποία προτείνονται να χρησιμοποιηθούν στη συγκεκριμένη περίπτωση προκύπτουν μετά την ανασκόπηση και ενδελεχή έρευνα της Ελληνικής και διεθνής βιβλιογραφίας, όπως αυτή παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2. Χωρίζονται μεταξύ τους

⁵Ανακτήθηκε στις 07/11/2021 από <https://emergency.copernicus.eu/>

σε δύο διακριτές κατηγορίες: στα οικολογικά και στα οικονομικά κριτήρια. Τα οικολογικά κριτήρια αναφέρονται στις παραμέτρους που ευνοούν ή δυσχεραίνουν την ανάπτυξη της βλάστησης, βάση των κλιματικών και φυσικογεωγραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Τα οικονομικά κριτήρια αναφέρονται στους παράγοντες που αυξάνουν ή περιορίζουν το κόστος της αναδάσωσης, αναλόγως τη θέση εφαρμογής της.

Πίνακας 3.4:Προτεινόμενες μεταβλητές του μοντέλου αξιολόγησης θέσεων αποκατάστασης

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΤΥΠΟΣ	ΠΡΩΤΟΓΕΝΝΗΣ ΠΗΓΗ
Βλάστηση	Διανυσματικό αρχείο με γραμμικές οντότητες	Χάρτης Βλάστησης Γεν Δ/σης Δασών και Δασικού Περιβάλλοντος
Εδαφικά χαρακτηριστικά	Διανυσματικό αρχείο με γραμμικές οντότητες	Χάρτης Ταξινόμησης, Χαρτογράφησης, Αξιολόγησης γαιών (Υπ Γεωργίας)
Έκθεση	Ψηφιδωτό αρχείο	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) Ν.Π.Δ.Δ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, ΕΠΨΣ 2007-13, ΕΠΑΝΕΚ2014-20
CTI (Compound Topographic Index)	Ψηφιδωτό αρχείο	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) Ν.Π.Δ.Δ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, ΕΠΨΣ 2007-13, ΕΠΑΝΕΚ2014-20
dNBR	Ψηφιδωτό αρχείο	Δορυφορικά δεδομένα Copernicus
Απόσταση από οικισμούς	Διανυσματικό αρχείο με γραμμικές οντότητες	Χάρτες ΓΥΣ 1:5.000 και Google Earth
Απόσταση από οδικό δίκτυο	Διανυσματικό αρχείο με σημειακές οντότητες	Χάρτες ΓΥΣ 1:5.000 και Google Earth

Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται τα κριτήρια που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητές στο μοντέλο αξιολόγησης των βέλτιστων θέσεων αποκατάστασης, καθώς και οι πηγές από όπου αντλήθηκαν τα δεδομένα. Στα οικολογικά κριτήρια συμπεριλήφθηκε η βλάστηση που επικρατούσε στην περιοχή μελέτης πριν την επίδραση της πυρκαγιάς. Τα δεδομένα προήλθαν από τον χάρτη βλάστησης και χρήσεων γης της Γενικής Δ/σης Δασών και Δασικού Περιβάλλοντος, όπως δημοσιεύτηκαν στο σχετικό ιστότοπο του Υπουργείου Περιβάλλοντος το 2019. Επίσης, λήφθηκαν υπόψη τα εδαφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, που περιλαμβάνουν το μητρικό πέτρωμα και το βάθος του εδάφους. Τα δεδομένα προέκυψαν από το χάρτη ταξινόμησης, χαρτογράφησης και αξιολόγησης γαιών του 1991, από το Υπουργείο Γεωργίας. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης, η έκθεση, που περιγράφει την κατεύθυνση της πλαγιάς και ο δείκτης Compound Topographic Index

που περιλαμβάνει την παράμετρο της κλίσης και επιφανειακής απορροής του νερού. Στα οικολογικά κριτήρια προστέθηκε ο δείκτης σφοδρότητας πυρκαγιάς dNBR, που σχετίζεται με το βαθμό απώλειας της υπέργειας και υπόγειας βιομάζας από την πυρκαγιά.

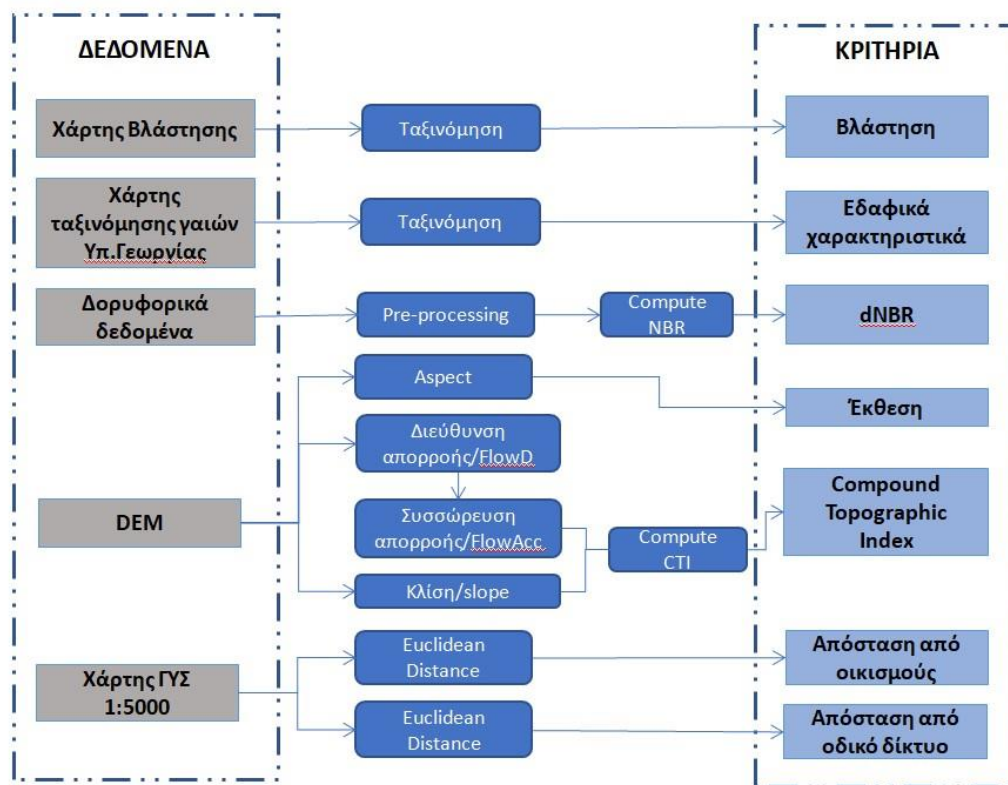
Στα οικονομικά κριτήρια επιλέχθηκαν το κριτήριο της απόστασης από το οδικό δίκτυο, που σχετίζεται άμεσα με το κόστος αποκατάστασης και των αναδασωτικών εργασιών. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο της απόστασης από τους οικισμούς που σχετίζεται με την προστασία και την αναβάθμιση του τοπίου και επακόλουθα την προσφορά στον τοπικό πληθυσμό. Η ανάλυση των δεδομένων και ο προσδιορισμός της κάθε μίας μεταβλητής χωριστά παρουσιάζεται στην ενότητα 4.3 του επόμενου κεφαλαίου.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1.Μέθοδος Σταθμισμένης Πολυκριτηριακής Ανάλυσης

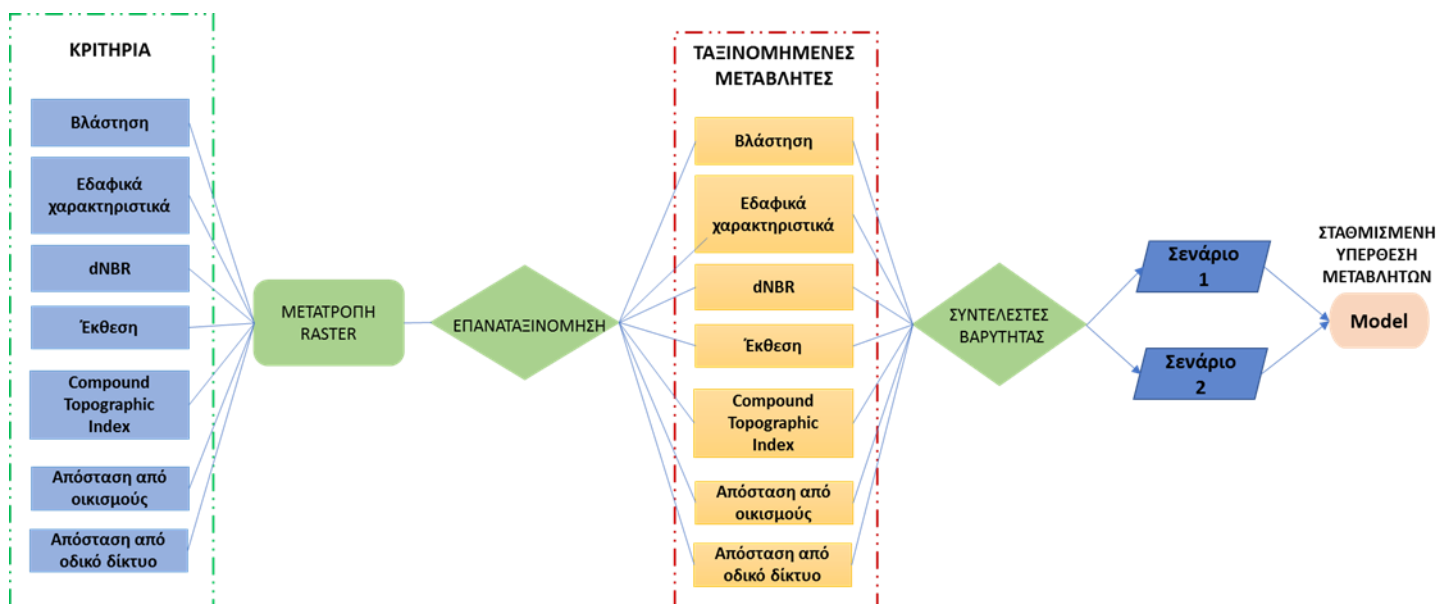
Σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου αξιολόγησης των βέλτιστων θέσεων αποκατάστασης βάσει μίας σειράς κριτηρίων που θα αξιοποιηθούν συνδυαστικά. Η επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος θα γίνει βάση των μεταβλητών που αναφέρθηκαν και προέκυψαν από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Η ύπαρξη πληθώρας κριτηρίων που πρέπει να συνδυαστούν μεταξύ τους για να αποτιμηθεί μία κατάσταση και να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα επιβάλλει τη χρήση της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (MCDA-Multicriteria Decision Analysis). Η μέθοδος αυτή ενσωματώνει ποσοτικούς δείκτες για να καθορίσει την σημαντικότητα του κάθε κριτηρίου και να συνεχίσει στη σύνθεση των επιμέρους κριτηρίων (Marjokorpi and Otsamo, 2006, Drobne and Lisec, 2009, Silva, 2017). Η μέθοδος της σταθμισμένης πολυκριτηριακής ανάλυσης, η οποία προτείνεται στην παρούσα εργασία, βασίζεται στη μεθοδολογία που έχει προταθεί από τον Malczewski 1999, και έχει εφαρμοστεί σε πληθώρα μελετών, όπου απαιτείται εκτίμηση μίας κατάστασης βάση επιμέρους μεταβλητών. Επειδή το φαινόμενο που εξετάζεται και οι μεταβλητές του μοντέλου έχουν χωρικά χαρακτηριστικά, θα υιοθετηθεί το μοντέλο της Σταθμισμένης Πολυκριτηριακής Ανάλυσης με χαρτογραφική υπέρθεση (Ehrgott et al. 2010, Χαλκιάς, 2015).

Η ανάλυση που ακολουθεί στην επόμενη ενότητα, σε πρώτη φάση παρουσιάζει τις ενέργειες που απαιτούνται για την ανάπτυξη των 7 μεταβλητών από όλα τα διαθέσιμα δεδομένα. Για τις ανάγκες των εργασιών και της επεξεργασίας των δεδομένων έγινε χρήση των λογισμικών πακέτων ArcGIS Pro και Online, Snap 8.0 και Microsoft Excel. Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζεται σε μορφή διαγράμματος, η ροή εργασιών και οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία των επιμέρους κριτηρίων από τα πρωτογενή δεδομένα.



Εικόνα 4.1: Διάγραμμα ροής εργασιών επεξεργασίας δεδομένων και ανάπτυξης μεταβλητών.

Στην επόμενη φάση μετά τη διαμόρφωση των επιμέρους μεταβλητών, εφαρμόζονται όλες οι απαραίτητες ενέργειες που επιτρέπουν τη σύνθεση των επιμέρους κριτηρίων. Παρακάτω (Εικόνα 4.2), παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής εργασιών της σταθμισμένης πολυκριτηριακής ανάλυσης για την ανάπτυξη του μοντέλου αξιολόγησης των θέσεων αποκατάστασης.



Εικόνα 4.2: Διάγραμμα ροής εργασιών σταθμισμένης πολυκριτηριακής ανάλυσης

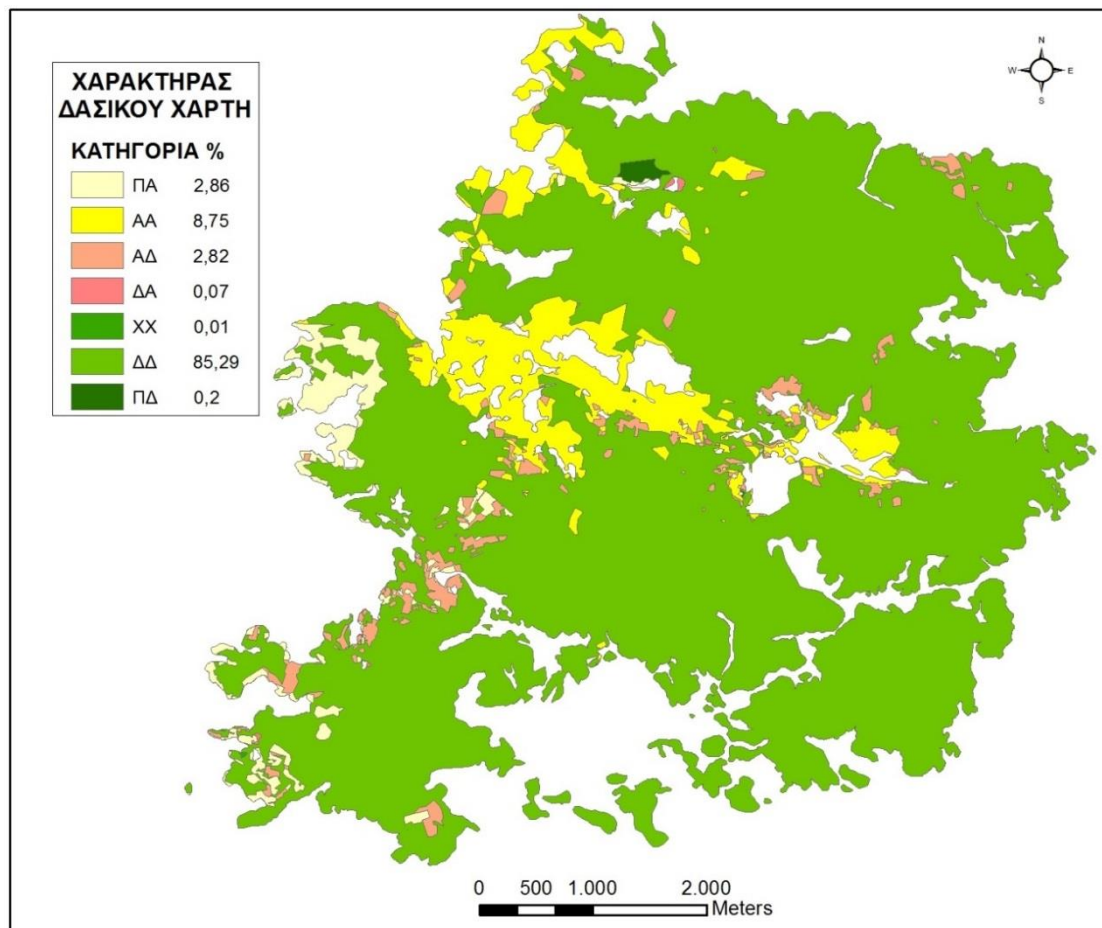
Κάθε μία μεταβλητή θα εισαχθεί στο μοντέλο ως ένα διαφορετικό θεματικό επίπεδο μετά από την απαραίτητη επεξεργασία που προηγήθηκε. Η ανάλυση βασίζεται στην μετατροπή των κριτηρίων σε ψηφιδωτή μορφή, έτσι ώστε κάθε ένα σημείο του χώρου να λαμβάνει μία ξεχωριστή τιμή, βάση των χαρακτηριστικών του. Στη συνέχεια ακολουθεί η ταξινόμηση των επιμέρους κριτηρίων και η σύνθεσή τους βάση διαφορετικών συντελεστών βαρύτητας, που προκύπτουν μέσω της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου (Analytical Hierarchy Process) (Saaty, 1987). Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής εργασιών και αναλύεται περαιτέρω στην Ενότητα 4.3, εφαρμόζονται δύο διαφορετικά σενάρια, αποδίδοντας σε καθένα μεγαλύτερη βαρύτητα στα οικολογικά ή οικονομικά κριτήρια. Η χωρική ανάλυση που θα εφαρμοστεί είναι τα 10μ., έτσι ώστε να υπάρχει εκτενής λεπτομέρεια για την επιφάνεια μελέτης, που θα επιτρέπει το λεπτομερή σχεδιασμό των διαχειριστών κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

4.2. Προεπεξεργασία δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων και η επεξεργασία τους απαιτεί αρχικά την οργάνωση τους σε μία Βάση Δεδομένων. Για το σκοπό αυτό έγινε χρήση του λογισμικού πακέτου ArcGis, όπου μέσω του ArcCatalog δημιουργήθηκε μία γεωβάση, και μέσα σε αυτήν εισήχθησαν τα χορηγούμενα δεδομένα. Προσοχή δόθηκε ώστε όλα τα δεδομένα να είναι τοπολογικά ορθά (αποφυγή κενών και επικαλύψεων) και να είναι στο ίδιο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς). Σε αντίθετη περίπτωση ορίστηκε εκ νέου για κάθε επίπεδο, μέσω της εργαλειοθήκης Projections and Transformations το σύστημα αναφοράς στο ΕΓΣΑ '87. Μέσα στη γεωβάση αποθηκεύτηκαν το σύνολο των επιπέδων πρωτογενών και δευτερογενών που προέκυψαν και χρησιμοποιήθηκαν ως μεταβλητές για το μοντέλο, όπως παρουσιάστηκαν στο διάγραμμα ροής εργασιών της Εικόνας 4.1.

Μία από τις αρχικές διεργασίες, που προηγήθηκαν για την περιοχή μελέτης είναι η αφαίρεση από τη συνολική έκταση, των επιφανειών που καταλαμβάνονται από οικισμούς και γεωργικά καλλιεργούμενες εκτάσεις. Οι εκτάσεις αυτές είναι κατά κύριο λόγο ιδιωτικές και ο προορισμός χρήσης τους είναι διαφορετικός από αυτόν της εγκαθίδρυσης και προστασίας της δασικής βλάστησης και τους φυσικού περιβάλλοντος. Στην παρούσα εργασία διερευνάται η δυνατότητα αναδάσωσης δημόσιων δασικών εκτάσεων, οι οποίες έχουν πληγεί από καταστροφικές πυρκαγιές.

Κατά αυτή την έννοια οι υπόλοιπες εκτάσεις (γεωργικά καλλιεργούμενες ή δομημένες εκτάσεις) θα πρέπει να εξαιρεθούν της αξιολόγησης. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των πρόσφατων αναρτημένων Δασικών Χαρτών για την περιοχή της Θάσου. Μεταφορτώθηκαν από την ιστοσελίδα του Ελληνικού Κτηματολογίου (ανακτήθηκαν στις 05/12/2021 από: <https://data.ktimatologio.gr/search/>) και επεξεργαστήκαν με το λογισμικό ArcGIS.



Εικόνα 4.3: Κατηγορίες κάλυψης Δασικού Χάρτη στο όριο της καμένης περιοχής μελέτης.

Σύμφωνα με το υπόμνημα των δασικών χαρτών, οι εκτάσεις καθορίζονται ως εξής:

- ΠΑ: Πράξεις της διοίκησης Μη δασικού χαρακτήρα
- ΑΑ: Άλλης μορφής – Μη δασικού χαρακτήρα
- ΑΔ: Άλλης μορφής στις παλαιότερες Α/Φ και δασικού χαρακτήρα στις πρόσφατες Α/Φ
- ΔΑ: Δασικού χαρακτήρα στις παλαιότερες Α/Φ και άλλης μορφής στις πρόσφατες Α/Φ
- ΧΧ: Χορτολιβαδικές εκτάσεις
- ΔΔ: Εκτάσεις δασικού χαρακτήρα
- ΠΔ: Πράξεις της διοίκησης δασικού χαρακτήρα

Όπως φαίνεται και στον χάρτη της Εικόνας 4.3, το μεγαλύτερο μέρος της καμένης έκτασης, περίπου 88%, καλύπτεται από δασικές εκτάσεις, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό αφορά αγροτικές και άλλης μορφής εκτάσεις. Οι εκτάσεις οι οποίες θα αξιολογηθούν ως προς τη δυνατότητα εγκαθίδρυσης βλάστησης μέσω της τεχνητής αναδάσωσης είναι οι κατηγορίες ΔΔ, ΠΔ και ΧΧ, ΑΔ και ΔΑ. Οι συγκεκριμένες εκτάσεις φέρουν και δεύτερο χαρακτηρισμό στη βάση δεδομένων του δασικού χάρτη ως ΑΝ (Αναδασωτέες), καθώς έχουν πληγεί από την δασική πυρκαγιά.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η αφαίρεση από την περιοχή μελέτης του ορίου των Σχεδίων Πόλης των οικισμών Μικρού και Μεγάλου Πρίνου. Όπως προαναφέρθηκε εργασίες αποκατάστασης δεν προκρίνονται εντός των οικιστικών περιοχών. Επίσης επιλέχθηκαν και εξαιρέθηκαν όλες οι εκτάσεις που σχετίζονται με καλλιέργειες και φέρουν τον χαρακτήρα ΑΑ και ΠΑ, εφαρμόζοντας την εντολή <ERASE>.

Η παραπάνω διεργασία είχε ως αποτέλεσμα να προκύψουν ένας αριθμός πολύ μικρών πολυγώνων στο περίγραμμα του ορίου της πυρκαγιάς. Τα μεμονωμένα αυτά πολύγωνα με έκταση μικρότερη των 100τ.μ., επιλέχθηκε να ενσωματωθούν στα γειτονικά τους δασικά πολύγωνα. Το μέγεθος των 100 τ.μ. ορίστηκε λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνολική ανάλυση που ακολουθεί η μελέτη μας βασίζεται σε μέγεθος ψηφίδας 10x10 μ. και επακόλουθα οντότητες με μικρότερο εμβαδό δεν ενδείκνυται να συμμετέχουν στην ανάλυση.

Από τις παραπάνω διαδικασίες προέκυψε το τελικό όριο της υπό εξέταση περιοχής, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε ως μάσκα για τις υπόλοιπες μεταβλητές του μοντέλου. Η καμένη λοιπόν έκταση από 30.507 στρ, όπως καταγράφεται στο EMS (Emergency Management Service - Mapping), του προγράμματος Copernicus, περιορίστηκε στα 26.488στρ. ως εκτάσεις που μπορούν να προκριθούν για αποκατάσταση.

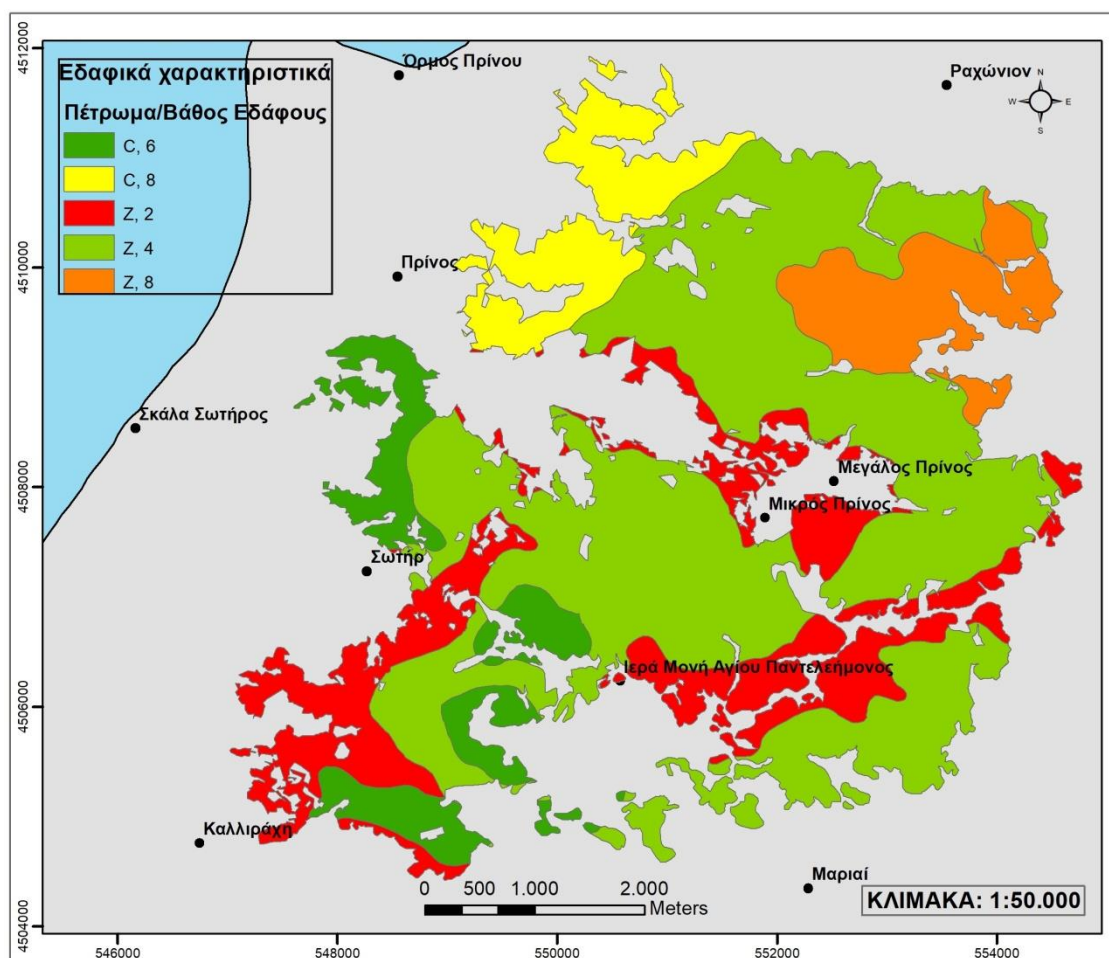
4.3. Εφαρμογή μεθοδολογικής προσέγγισης

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται οι διαδικασίες που εφαρμόστηκαν για την επεξεργασία κάθε μίας μεταβλητής, σύμφωνα με το διάγραμμα ροής εργασιών.

Μεταβλητή εδαφολογικών χαρακτηριστικών

Η μεταβλητή των εδαφολογικών χαρακτηριστικών προήλθε από το Χάρτη ταξινόμησης, χαρτογράφησης και αξιολόγησης γαιών (1991) του Υπουργείου Γεωργίας. Ο συγκεκριμένος χάρτης καταγράφει σε Πανελλαδικό επίπεδο το μητρικό πέτρωμα αλλά και το βάθος εδάφους, χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη δυνατότητα ανάπτυξης βλάστησης και την ποιότητα τόπου μιας περιοχής. Στο Παράρτημα παρατίθεται ο κωδικός που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το είδος του μητρικού υλικού και το βάθος εδάφους. Σύμφωνα με το υπόμνημα το βάθος εδάφους λαμβάνει τιμές από 1 έως 9, όπου 1-3:βαθύ, 4-6:βαθύ προς αβαθές, 7-9: αβαθές προς βραχώδες έδαφος (Νάκος, 1991).

Το πολυγωνικό αρχείο από το χάρτη του Υπ. Γεωργίας, αποκόπηκε με τη μάσκα της περιοχής μελέτης κάνοντας χρήση του εργαλείου <clip>. Το αρχείο πριν εισαχθεί στη γεωβάση των επιλεγμένων μεταβλητών, μετατράπηκε σε ψηφιδωτό επίπεδο χρησιμοποιώντας την εντολή <polygon to raster>.



Εικόνα 4.4: Χάρτης επιπέδου Εδαφολογικών χαρακτηριστικών της καμένης περιοχής

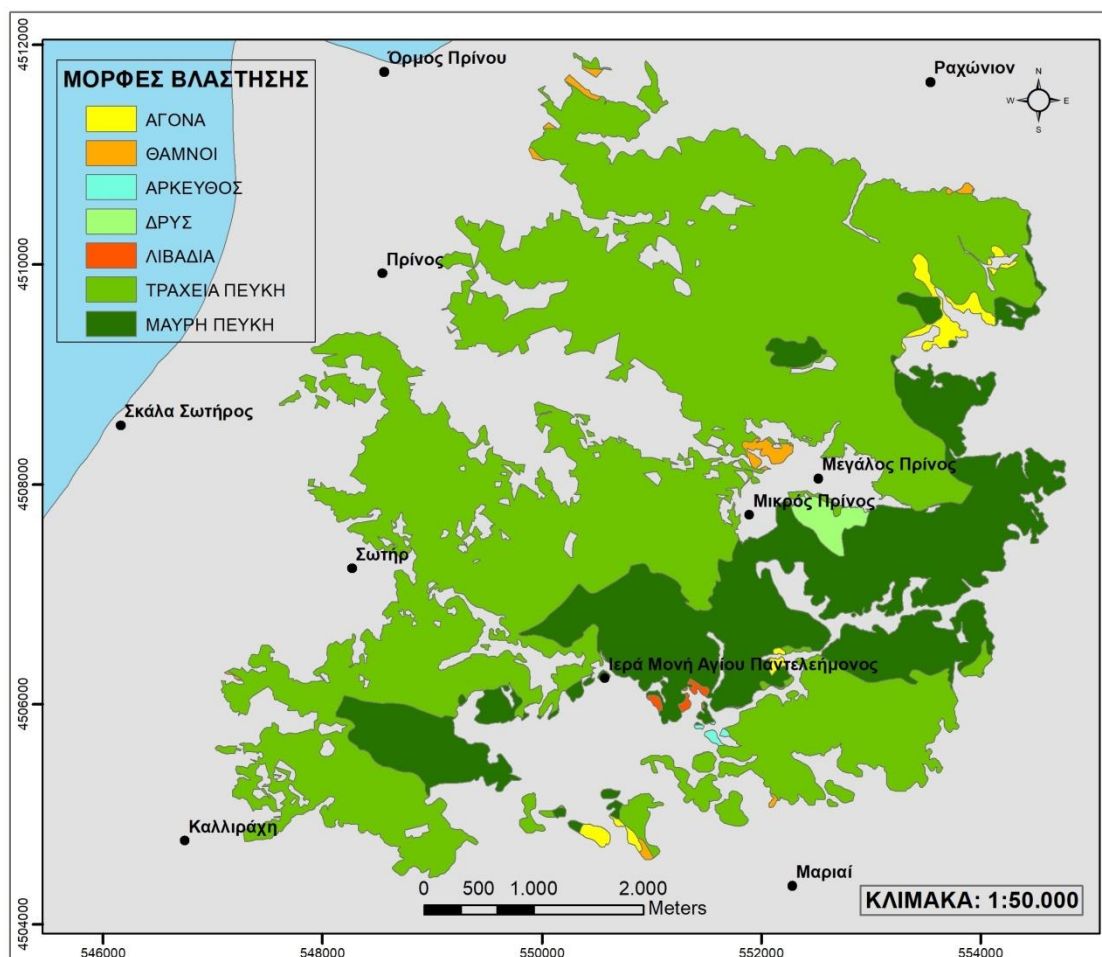
Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι διαφορετικές κατηγορίες πετρώματος και βάθος εδάφους που εντοπίστηκαν στο όριο της περιοχής μελέτης. Κατατάσσονται σε τέσσερις κλάσεις καταλληλότητας, βάση της ικανότητάς τους να φιλοξενήσουν νέα φυτάρια και να παρέχουν τα κατάλληλα εφόδια για την ανάπτυξή τους. Όπως αναλύθηκε και στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, οι γνεύσιοι είναι σαφώς ανώτερα εδάφη από τους ασβεστόλιθους για την εγκατάσταση της βλάστησης (Eimil-Fraga et al., 2014).

Πίνακας 4.1:Κατηγορίες πετρώματος και βάθος εδάφους της περιοχής μελέτης

Μητρικό πέτρωμα	Βάθος εδάφους	ΚΛΑΣΗ
ZZ - Γνεύσιοι	2	I
ZZ - Γνεύσιοι	4	II
CC-Σκληροί Ασβεστόλιθοι	6	III
ZZ - Γνεύσιοι	8	III
CC-Σκληροί Ασβεστόλιθοι	8	IV

Μεταβλητή Βλάστησης

Η μεταβλητή της βλάστησης προήλθε από το χάρτη βλάστησης και χρήσεων γης της Γενικής Διεύθυνσης Δασών και Δασικού Περιβάλλοντος. Μεταφορτώθηκαν τα δεδομένα για την Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης από την ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος (ΥΠΕΝ) και στη συνέχεια ψηφιοποιήθηκαν σε πολυγωνικό διανυσματικό αρχείο. Το επόμενο βήμα περιλάμβανε αποκοπή των δεδομένων στη μάσκα της περιοχής μελέτης με χρήση του εργαλείου <clip>. Η μεταβλητή της βλάστησης στη συνέχεια μετατράπηκε σε ψηφιδωτό επίπεδο, όπως προβλέπεται και από τη ροή εργασιών με την εντολή <polygon to raster>.



Εικόνα 4.5: Χάρτης επιπέδου βλάστησης της καμένης περιοχής

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η βλάστηση στην ευρύτερη περιοχή πριν τις καταστροφικές πυρκαγιές και όπως καταγράφεται στον χάρτη του ΥΠΕΝ, περιλαμβάνει ποώδεις, θαμνώδεις και δασώδεις εκτάσεις. Όπως προκύπτει από τον παραγόμενο χάρτη της Εικόνας 4.5 το μεγαλύτερο μέρος της πληγείσας έκτασης

καλυπτόταν από τραχεία και μαύρη πεύκη. Οι υπόλοιπες εκτάσεις αφορούσαν είδη όπως άρκευθο, δρυ και πουρνάρι τα οποία παρουσιάζουν θαμνώδη μορφή και εντάσσονται στην κατηγορία θαμνώδης βλάστηση. Οι άγονες εκτάσεις και τα λιβάδια ανήκουν στην ίδια κατηγορία ποώδη βλάστηση. Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται τα ποσοστά που καταλαμβάνει κάθε μία κατηγορία βλάστησης, όπως προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων.

Πίνακας 4.2: Έκταση και ποσοστά ανα κατηγορία βλάστησης στην καμένη έκταση.

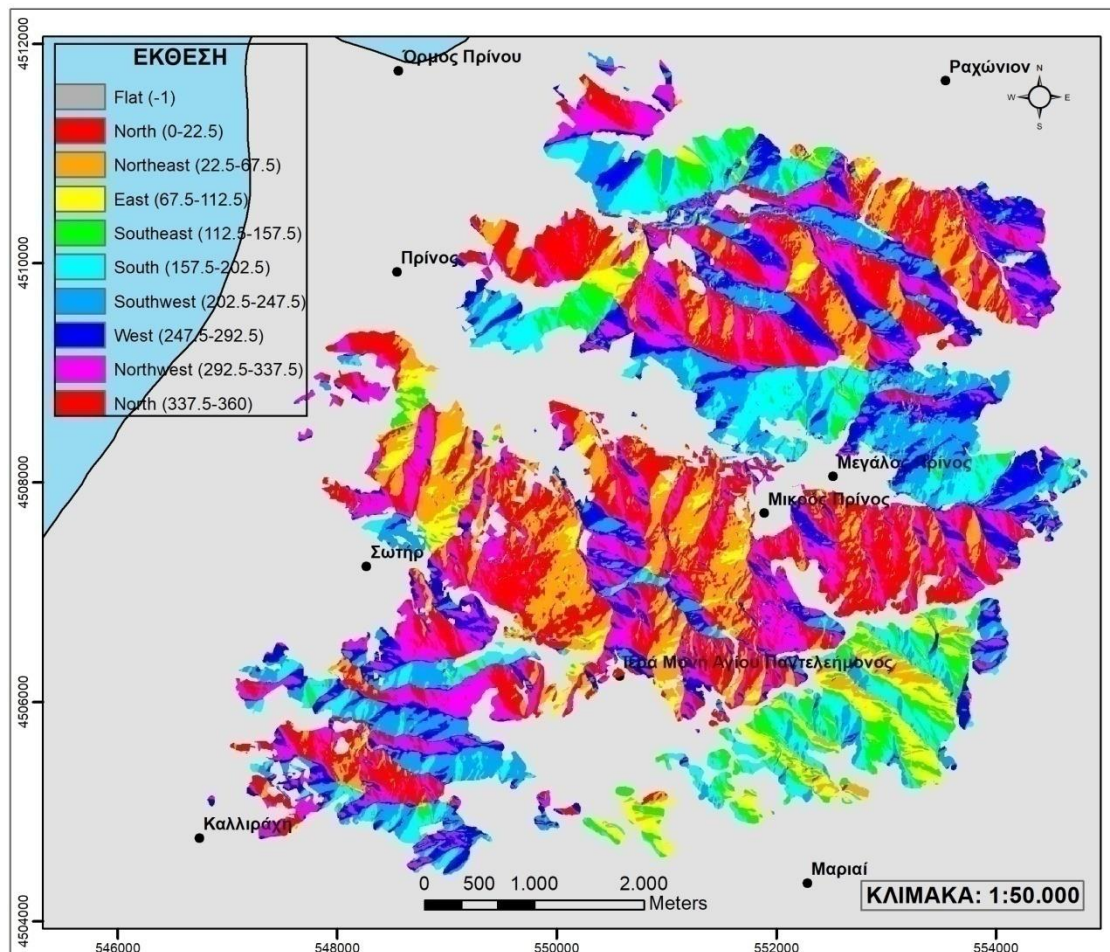
ΒΛΑΣΤΗΣΗ	ΕΚΤΑΣΗ (στρ)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Μαύρη πεύκη	6396	Ψυχρόβια κωνοφόρα	23,83
Τραχεία πεύκη	19792	Θερμόβια κωνοφόρα	73,78
Λιβάδια	35	Ποώδης βλάστηση	1,10
Άγονα	258		
Θάμνοι	139	Θαμνώδης βλάστηση	1,29
Δρύς	185		
Άρκευθος	22		
ΣΥΝΟΛΟ	26488		100

Οι εκτάσεις που επιδέχονται αναδάσωσης περιλαμβάνουν κυρίως ανοιχτές εκτάσεις χαμηλής βλάστησης και καμένες εκτάσεις κωνοφόρων ειδών όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να μην αναγεννηθούν φυσικώς. Οι θαμνώδεις και οι βραχώδεις εκτάσεις πρέπει να αποφεύγονται προς αναδάσωση, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Ενώ, η μαύρη πεύκη ως ψυχρόβιο κωνοφόρο πρέπει να έχει προτεραιότητα στις εργασίες αποκατάστασης σε σχέση με την τραχεία πεύκη (Χριστακόπουλος, 2010, Kakouros and Dafis, 2010, Martin-Alcon and Coll, 2016).

Μεταβλητή έκθεσης

Η δημιουργία του επιπέδου της έκθεσης βασίστηκε στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της περιοχής μελέτης, το οποίο και χορηγήθηκε από το Ελληνικό Κτηματολόγιο. Τα συγκεκριμένα ψηφιδωτά δεδομένα είναι γεωαναφερμένα στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87 και έχουν μέγεθος εικονοστοιχείου 5μ. Η γεωμετρική τους ακρίβεια είναι $RMSE_z \leq 2,00m$ και η απόλυτη ακρίβεια $\leq 3,92m$ για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Η έκταση της πυρκαγιάς καλύπτεται από 9 διαφορετικές πινακίδες διαστάσεων 4600 X 3600 μ. η κάθε μία, οι οποίες έχουν 300μ. περιμετρική επικάλυψη μεταξύ τους. Για τη δημιουργία ενός ενιαίου ψηφιδωτού αρχείου και την

απομάκρυνση της επικάλυψης δημιουργήθηκε ένα μωσαϊκό εικόνας στο ArcGIS μέσω της εντολής <Add rasters to mosaic dataset>. Από το μωσαϊκό του DEM προέκυψε και το επίπεδο της έκθεσης σε ψηφιδωτή μορφή, εφαρμόζοντας την εντολή <Aspect> της εργαλειοθήκης raster surface, με μέγεθος ανάλυσης 10μ. Τέλος στο παραγόμενο επίπεδο εφαρμόστηκε η μάσκα του ορίου της πυρκαγιάς και προέκυψε ο χάρτης της μεταβλητής της έκθεσης (Εικόνα 4.6)



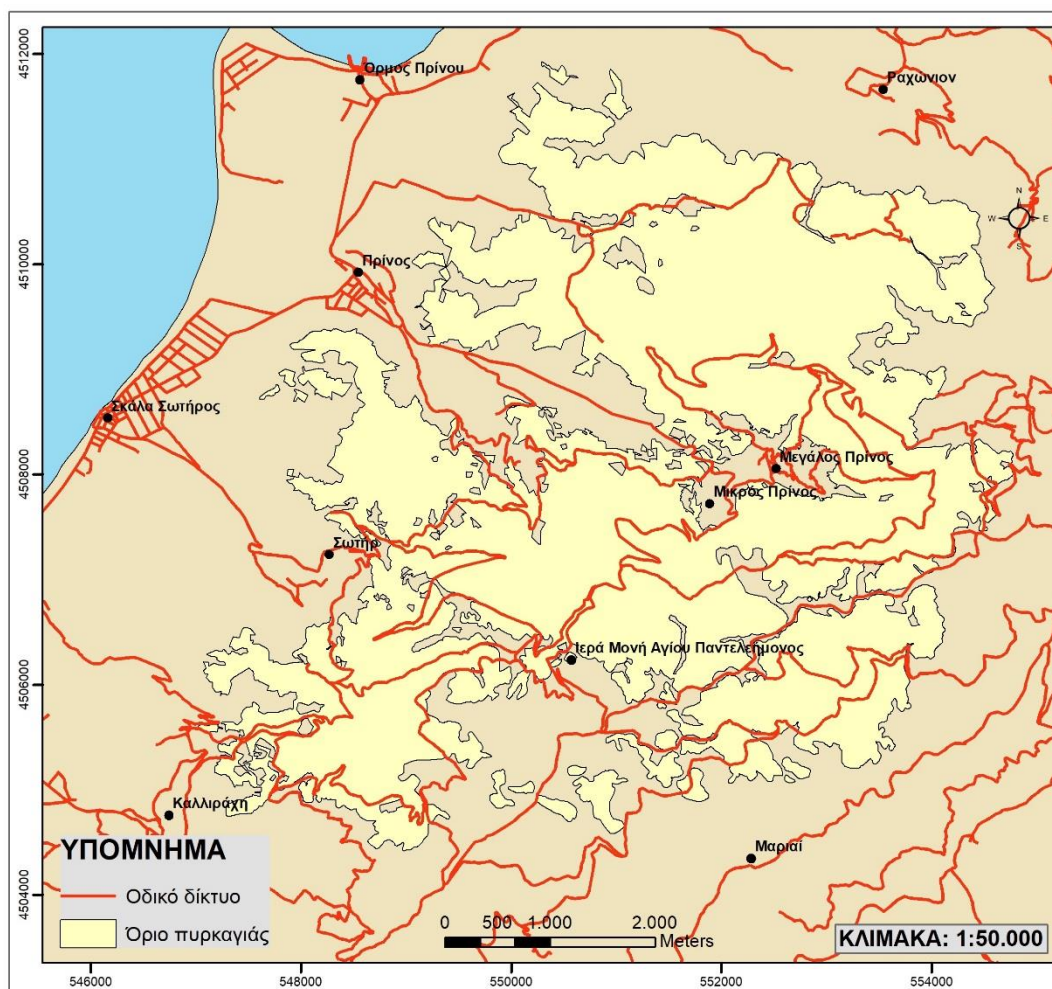
Εικόνα 4.6: Χάρτης επιπέδου έκθεσης καμένης περιοχής

Μεταβλητή απόστασης από οδικό δίκτυο

Οι περιοχές που βρίσκονται πλησίον του οδικού δικτύου, σε μικρή απόσταση από το κατάστρωμα αποτελούν ευνοϊκότερες θέσεις για αναδασωτικές ενέργειες καθώς μειώνουν σημαντικά το κόστος των επιμέρους εργασιών. Η μεταφορά υλικών, η εργασία του προσωπικού καθώς και ο απαραίτητος εξοπλισμός αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από το υπάρχων οδικό δίκτυο. Παράδειγμα αποτελούν οι εργασίες ποτίσματος των νεαρών φυταρίων, όπου ο απαραίτητος εξοπλισμός σε λάστιχα και

υποδομή αυξάνεται δραματικά όσο απομακρυνόμαστε από έναν δρόμο. (Kakouros and Dafis, 2010)

Για τη μεταβλητή της απόστασης από το οδικό δίκτυο επιλέχθηκε να εφαρμοστούν τρεις ζώνες καταλληλότητας των 50, 200 και άνω των 200 μ. Για την δημιουργία του συγκεκριμένου επιπέδου χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες 1:5.000 της ΓΥΣ (Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού), αλλά και το υπόβαθρο της εφαρμογής Google earth. Μετά την απαραίτητη γεωαναφορά των χαρτών στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87, έγινε ψηφιοποίηση του τοπικού οδικού δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τους χάρτες όσο και τη δορυφορική εικόνα του google earth. (Εικόνα 4.7). Ο οπτικός έλεγχος της συγκεκριμένης οριοθέτησης με το υπόβαθρο του google earth, έδειξε ότι υπήρξε πολύ μεγάλη ακρίβεια στην οριοθέτηση των συγκεκριμένων στοιχείων.



Εικόνα 4.7: Χάρτης οδικού δικτύου σε σχέση με την καμένη έκταση

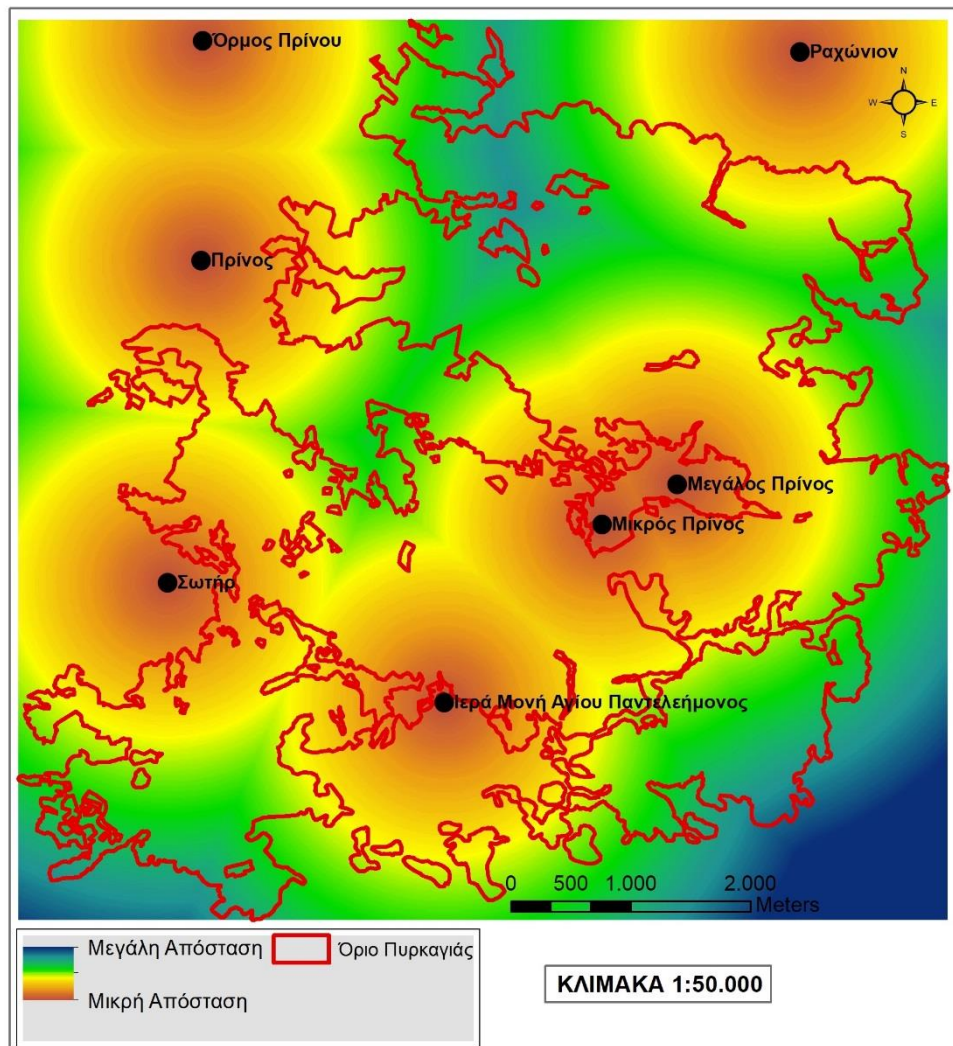
Η δημιουργία του επιπέδου απόστασης από το οδικό δίκτυο προϋπέθετε το γραμμικό επίπεδο των δρόμων που ψηφιοποιήθηκε να είναι δομημένο με <break lines> στα

σημεία ένωσης των δρόμων, έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί η εντολή <Euclidean distance> της εργαλειοθήκης spatial analyst. Το παραγόμενο αρχείο που προέκυψε περιλάμβανε για κάθε ένα σημείο του, πληροφορία για την απόσταση από το κοντινότερο σε αυτό κατάστρωμα του οδικού δικτύου. Το επίπεδο αυτό τέλος περιορίστηκε <clip raster> στα όρια της μάσκας της περιοχής μελέτης, έτσι ώστε να μπορεί να εισαχθεί στο μοντέλο για τις περαιτέρω διεργασίες.

Μεταβλητή απόστασης από οικισμούς

Το κριτήριο αυτό σχετίζεται τόσο με οικονομικούς, όσο και με αισθητικούς και προστατευτικούς σκοπούς. Η εγκαθίδρυση και αποκατάσταση της βλάστησης γύρω από τα όρια οικισμών αναβαθμίζει το τοπίο και ανακουφίζει την τοπική κοινωνία. Επιτελεί όμως παράλληλα και άλλους ρόλους όπως προστασία του εδάφους από τη διάβρωση και πιθανές κατολισθήσεις, αλλά και βελτίωση των τοπικών κλιματικών συνθηκών (Long et al., 2014, Aguirre-Salado 2017).

Αρχικά δημιουργήθηκε το θεματικό επίπεδο των οικισμών από τους χάρτες ΓΥΣ 1:5.000 και το google earth, οριοθετώντας τις σημειακές οντότητες στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο <Euclidean distance> της εργαλειοθήκης spatial analyst για τον υπολογισμό της απόστασης από τον κοντινότερο οικισμό. Ως παράμετρος ορίστηκε μία μέγιστη απόσταση 4 km. έτσι ώστε να υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των σημείων και να καλυφθεί όλη η περιοχή μελέτης. Το ψηφιδωτό επίπεδο που δημιουργήθηκε (βλέπε εικόνα 4.8) έφερε πληροφορία για κάθε σημείο σε σχέση με την απόσταση από τον κοντινότερο οικισμό. Το επίπεδο αυτό επίσης περιορίστηκε <clip raster> στα όρια της καμένης έκτασης, έτσι ώστε να μπορεί να εισαχθεί στο μοντέλο για τις περαιτέρω διεργασίες.



Εικόνα 4.8: Χάρτης αποστάσεων από τον κοντινότερο οικισμό εντός της καμένης περιοχής.

Μεταβλητή Compound Topographic Index (CTI)

Όπως αναφέρθηκε ο συγκεκριμένος δείκτης σχετίζεται με την συσσώρευση της επιφανειακής απορροής του νερού και της κλίσης του εδάφους. Υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση που πρότειναν ο Beven και Kirkby (1979).

$$CTI = LN\left(\frac{As}{\tan\beta}\right) \quad (3)$$

Ο δείκτης ορίζεται ως ο φυσικός λογάριθμος του As προς την εφαπτόμενη του β , όπου As είναι η συσσώρευση απορροής βασισμένη στη κλίμακα ανάλυσης και β η κλίση του εδάφους σε ακτίνια (radians).

Ο υπολογισμός του δείκτη CTI βασίστηκε στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της περιοχής μελέτης, μέσω της κατάλληλης επεξεργασίας του. Αρχικά, εφαρμόστηκε η εντολή <Fill> η οποία διορθώνει τις ασυνέχειες του DEM και δημιουργεί ένα ψηφιδωτό επίπεδο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην υδρολογική ανάλυση. Το παραγόμενο αυτό επίπεδο είναι διορθωμένο και δεν παρουσιάζει πιθανά βυθίσματα και αστοχίες του μοντέλου εδάφους. Το επόμενο βήμα για τον υπολογισμό του δείκτη, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ροής εργασιών (εικόνα 4.1), ήταν η δημιουργία του επιπέδου της διεύθυνσης απορροής. Η παράμετρος αυτή προσδιορίζει την κατεύθυνση προς την οποία καταλήγει ο όγκος των κατακρηνισμάτων και εξαρτάται από την κλίση του εδάφους και το υψόμετρο κάθε σημείου του DEM. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο <Flow direction> της εργαλειοθήκης Hydrology και το διορθωμένο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.

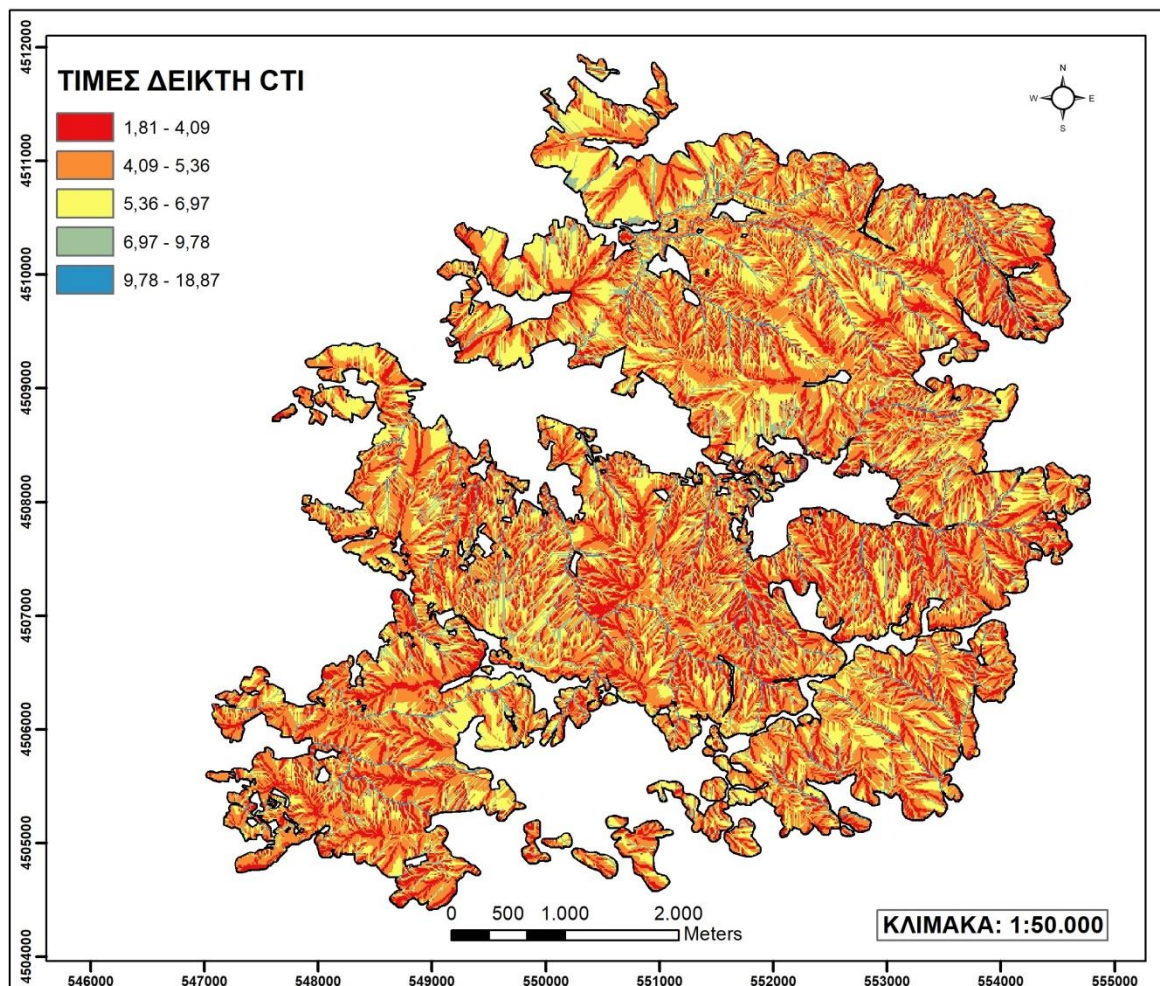
Η συσσώρευση της απορροής, μεταβλητή η οποία απαιτείται για τον προσδιορισμό του δείκτη CTI, προκύπτει από το προηγούμενο επίπεδο της διεύθυνσης απορροής. Κάθε σημείο του εδάφους που έχει υψόμετρο μικρότερο από τα όμορά του λαμβάνει ως τιμή το άθροισμα των κελιών που συμβάλλουν στην απορροή του νερού, μέχρι αυτό το σημείο. Το άθροισμα των υπερκείμενων κελιών εξαρτάται από τη κατεύθυνση κίνησης της απορροής, με αποτέλεσμα οι μεγαλύτερες τιμές και επακόλουθα η συγκέντρωση του νερού να παρατηρείται στις κοίτες των ρεμάτων και στις εκβολές. Η δημιουργία του επιπέδου έγινε με τη βοήθεια του εργαλείου <Flow Accumulation> της εργαλειοθήκης Hydrology.

Ο παρανομαστής της εξίσωσης του δείκτη CTI, περιλαμβάνει το κριτήριο της κλίσης του εδάφους, το οποίο υπολογίστηκε βάση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους και της εντολής <slope>. Το παραγόμενο επίπεδο της κλίσης στη συνέχεια μετατράπηκε από μοίρες σε ακτίνια, δημιουργώντας ένα νέο ψηφιδωτό αρχείο μέσω της εργαλειοθήκης του raster calculator, όπου κάθε κελί έλαβε την τιμή της κλίσης βάση της παρακάτω εξίσωσης.

$$\beta = slope * \frac{(\frac{\pi}{2})}{90} \quad (4)$$

Η παράμετρος της συσσώρευσης απορροής A_s , η οποία χρησιμοποιείται στον αριθμητή του δείκτη CTI πρέπει να αναχθεί στο μέγεθος της ανάλυσης που

εφαρμόζεται, όπου στην περίπτωση μας είναι τα 10m. Το επίπεδο λοιπόν της συσσώρευσης απορροής μέσω του raster calculator πολλαπλασιάστηκε με το 10, για να παραχθεί η μεταβλητή As. Αφού υπολογίστηκαν οι απαραίτητες μεταβλητές του δείκτη εφαρμόστηκε η εξίσωση του Beven και Kirkby, μέσω του εργαλείου <band maths> του raster calculator. Το αποτέλεσμα ήταν η καταγραφή του δείκτη CTI για το σύνολο της καμένης έκτασης. Όπως φαίνεται και από το σχετικό χάρτη (Εικόνα 4.9), οι τιμές του δείκτη κυμάνθηκαν από 1,81 έως 18,87, με μέση τιμή το 5,09 και τυπική απόκλιση 1,585. Οι υψηλότερες τιμές προσδιορίζουν σε μεγαλύτερο βαθμό το αποστραγγιστικό δίκτυο ενώ οι χαμηλότερες σχετίζονται με απότομες κλίσεις, κορυφές και χαμηλή συγκέντρωση υδάτων.



Εικόνα 4.9: Χάρτης τιμών δείκτη CTI εντός ορίου καμένης έκτασης

Μεταβλητή dNBR

Ο υπολογισμός του δείκτη NBR προϋποθέτει τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Βασίζεται στα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος του κοντινού υπέρυθρου (NIR) και του μικρού μήκους υπέρυθρου (SWIR), σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Lopez, 1991, Key and Benson, 1995).

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (5)$$

Στα πλαίσια της εργασίας, η ανάλυση και ο υπολογισμός του δείκτη σφοδρότητας βασίστηκε σε οπτικά δορυφορικά δεδομένα και συγκεκριμένα σε εικόνες του δορυφόρου Sentinel 2. Οι εικόνες μεταφορτώθηκαν από την ανοιχτή πλατφόρμα πρόσβασης Copernicus Open Access Hub, παροχής δορυφορικού υλικού Sentinel 1,2,3,5P του Ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus.

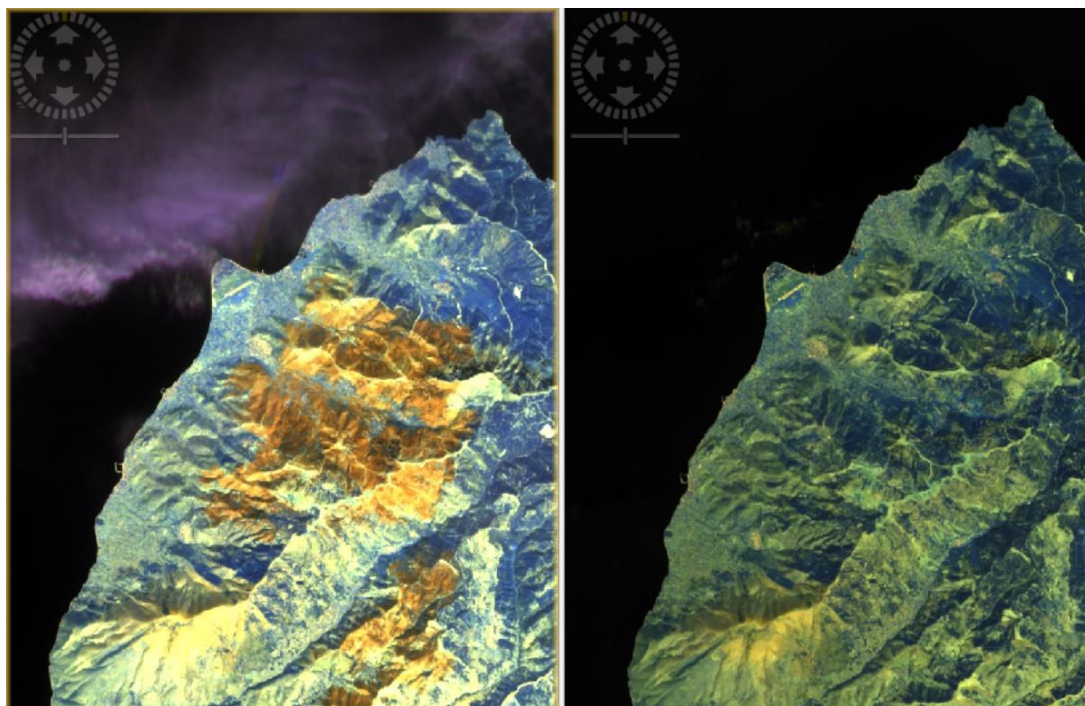
Όσον αφορά τις πιο κατάλληλες εικόνες που επιλέχθηκαν, αφορούν οπτικές εικόνες του οργάνου καταγραφής Sentinel 2A και επιπέδου (Level) 1C όπως καταγράφονται στον Πίνακα 4.3. Οι εικόνες του επιπέδου αυτού δεν έχουν υποστεί ατμοσφαιρική διόρθωση και οι τιμές της ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που καταγράφουν επηρεάζονται από την επίδραση της ατμόσφαιρας. Οι συγκεκριμένες εικόνες είναι πολύ κοντά στο γεγονός της 10 Σεπτεμβρίου και επίσης παρουσιάζουν πολύ μικρή έως μηδενική νεφοκάλυψη στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Πίνακας 4.3: Οπτικές δορυφορικές εικόνες Sentinel 2 της περιοχής μελέτης (pre-fire και post-fire)

Sensor	Image ID	Type	GSD	Acq. date
Sentinel-2A	S2A_MSIL1C_20160819T091032_N0204_R050_T34TGL_20160819T091026	Optical	10-60m	19/8/2016
Sentinel-2A	S2A_MSIL1C_20160918T090622_N0204_R050_T35TKF_20160918T090923	Optical	10-60m	18/9/2016

Οι απαραίτητες διεργασίες για την επεξεργασία των εικόνων εφαρμόστηκαν στο ανοιχτό λογισμικό Snap 8.0 της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος. Αρχικώς, οι εικόνες διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά μέσω του εργαλείου <Sen2Cor>, του λογισμικού Snap και στη συνέχεια φορτώθηκαν σε ψευδέχρωμη μορφή με βάση τα κανάλια B12, B11 και B8A. Διαπιστώθηκε η πληγείσα έκταση στην περιοχή του Πρίνου, καθώς και

η απουσία νεφοκάλυψης στην περιοχή ενδιαφέροντος και για τις δύο εικόνες. Στην εικόνα 4.10, στα αριστερά φαίνεται η κατάσταση στο ΒόρειοΔυτικό τμήμα της Θάσου μετά την καταστροφική πυρκαγιά, ενώ στα δεξιά η κατάσταση προ πυρκαγιάς στις 19 Αυγούστου.



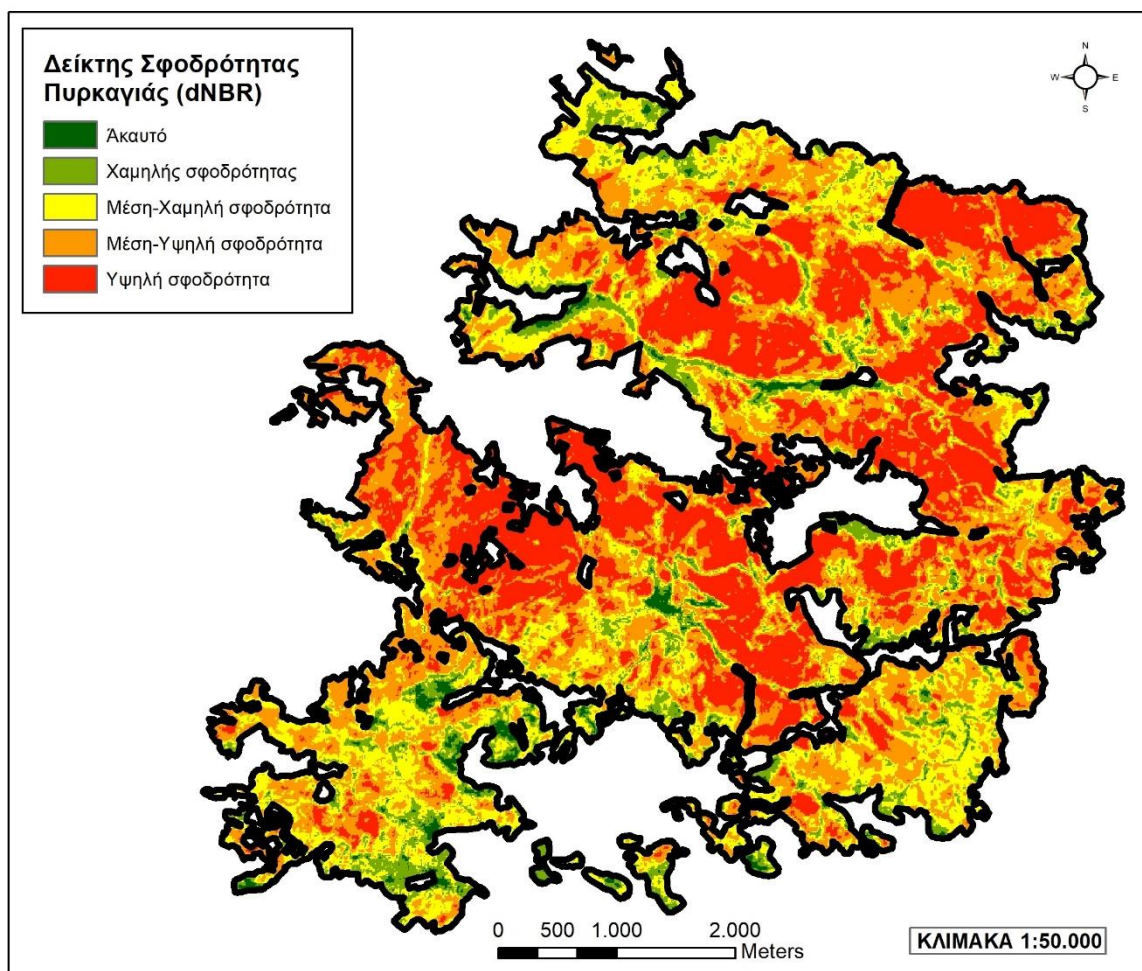
Εικόνα 4.10: Post-fire και Pre-fire κατάσταση της περιοχής μελέτης, μέσω οπτικών εικόνων Sentinel 2.

Η προ-επεξεργασία των εικόνων περιελάμβανε τον επαναπροσδιορισμό της χωρικής ανάλυσης των διαφορετικών καναλιών της κάθε εικόνας στην ίδια ανάλυση. Όπως γνωρίζουμε τα φασματικά κανάλια των εικόνων Sentinel 2 έχουν το καθένα τη δική του χωρική ανάλυση από 10 έως 60 m. Για να μπορέσουν να εφαρμοστούν το σύνολο των διεργασιών της επεξεργασίας των εικόνων, ορίστηκε η μετατροπή όλων των καναλιών στην ανάλυση των 10m., μέσω του εργαλείου <resample>.

Στη συνέχεια για να μειωθεί ο όγκος και το μέγεθος των εικόνων και να διευκολυνθούν οι περεταίρω διεργασίες έγινε <subset> των εικόνων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Για τη διεργασία αυτή ορίστηκαν οι συντεταγμένες της περιοχής σε pixel, με εύρος width: 400 και height:300. Το επόμενο βήμα ήταν η εφαρμογή της εξίσωσης (5) , για τον υπολογισμό του δείκτη σφοδρότητας πυρκαγιάς. Η εξίσωση, όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιεί τα φασματικά κανάλια του κοντινού υπέρυθρου και του υπέρυθρου μικρού μήκους κύματος, για τον εντοπισμό γυμνών και καμένων εκτάσεων. Στις εικόνες Sentinel 2 το κανάλι του κοντινού υπέρυθρου ορίζεται το B8

και το υπέρυθρο μικρού μήκους το κανάλι B12. Για την εφαρμογή της σχέσης χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο <bandmaths>, όπου ορίστηκε η σχετική εξίσωση, χρησιμοποιώντας τα ανάλογα φασματικά κανάλια $(B8-B12) / (B8+B12)$. Το αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία της μπάντας NBR, για κάθε μία εικόνα πριν και μετά την πυρκαγιά.

Ο προσδιορισμός της διαφοράς του δείκτη σφοδρότητας μεταξύ των δύο εικόνων προ-φαινομένου (pre-fire) και μετά-φαινομένου (post-fire), έπρεπε να αναπτυχθεί ως διαφορετικό κανάλι, έτσι ώστε να περιλαμβάνει συνολικά την πληροφορία για όλη την περιοχή. Η γεωμετρική αυτή διεργασία έγινε με συνδυασμό των δύο εικόνων σε μία, λαμβάνοντας υπόψη και συνδυάζοντας τις τιμές του κάθε κελιού των εικόνων, μέσω του εργαλείου <collocation>. Η εικόνα με ημερομηνία λήψης στις 19 Αυγούστου ορίστηκε ως η master εικόνα και αυτή στις 18 Σεπτεμβρίου ως η slave. Στο νέο προϊόν που δημιουργήθηκε εφαρμόστηκε η συνάρτηση $dNBR = PrefireNBR - PostfireNBR$, ξανά μέσω του εργαλείου <bandmaths>. Το αποτέλεσμα ήταν μία νέα εικόνα με χωρική ανάλυση 10μ. όπου περιλαμβάνει τα κανάλια NBRprefire, NBRpostfire και dNBR. Η εικόνα εξήχθη από το λογισμικό Snap σε μορφή geotiff, έτσι ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί και να συνδυαστεί με τις υπόλοιπες επιμέρους μεταβλητές (βλέπε Παράρτημα). Το ψηφιδωτό επίπεδο του δείκτη σφοδρότητας πυρκαγιάς περιορίστηκε στο όριο της καμένης έκτασης, μέσω της εντολής <clip> στο λογισμικό ArcGIS. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η καταγραφή της μεταβλητής dNBR για την περιοχή μελέτης, σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση της Αμερικάνικης Γεωλογικής Υπηρεσίας (πίνακας 2.2).



Εικόνα 4.11: Χάρτης δείκτης σφοδρότητας πυρκαγιάς στην περιοχή μελέτης.

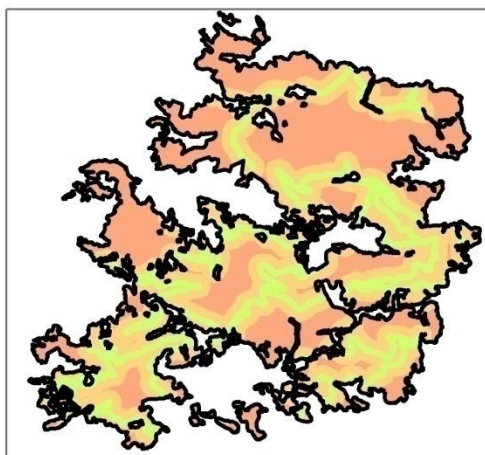
Το επόμενο στάδιο, πριν από τη σύνθεση των επιμέρους κριτηρίων ήταν η επαναταξινόμηση τους, σύμφωνα με το διάγραμμα ροής εργασιών (εικόνα 4.2). Σκοπός αυτής της διεργασίας ήταν η ομογενοποίηση των μεταβλητών και η αναγωγή τους σε μία ενιαία κλίμακα, η οποία θα εφαρμόζεται στο σύνολο όλων των εμπλεκόμενων μεταβλητών.

Πίνακας 4.4:Τιμές καταλληλότητας αναδάσωσης για ταξινόμηση των επιμέρους μεταβλητών

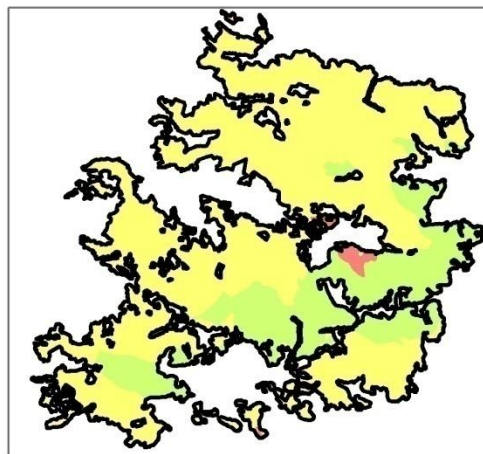
Απόσταση από οδικό δίκτυο		Βλάστηση	
Τιμές (m)	Καταλληλότητα	Κατηγορία	Καταλληλότητα
0-50	5	Ψυχρόβια κωνοφόρα	5
50-200	3	Θερμόβια κωνοφόρα	4
>200	2	Πρώδης βλάστηση	4
		Θαμνώδης βλάστηση	1
Απόσταση από οικισμούς		Εδαφολογικά χαρακτηριστικά	
Τιμές (m)	Καταλληλότητα	Κλάση	Καταλληλότητα
0-500	5	I	4
500-1000	4	II	3
>1000	3	III	2
		IV	1
Έκθεση		dNBR	
Τιμές (°)	Καταλληλότητα	Τιμές σφοδρότητας	Καταλληλότητα
0-45	4	Υψηλή	5
45-135	3	Μέση προς Υψηλή	3
135-225	2	Μέση προς χαμηλή	3
225-315	2	Χαμηλή	1
315-360	4	Άκαυτο	0
CTI			
Τιμές	Καταλληλότητα		
Υψηλή: 7,5 έως 18,8	5		
Μέση: 4,9 έως 7,4	4		
Χαμηλή: 1,6 έως 4,8	2		

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.4, οι μεταβλητές μας φέρουν μία σειρά ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών, οι οποίες δεν μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους αθροιστικά (π.χ.: απόσταση σε μ. και βλάστηση ανα είδος). Για το λόγο αυτό γίνεται επαναταξινόμηση της κάθε μεταβλητής σε τακτική κλίμακα, με τιμές από 1 έως 5, όπου 1: πολύ μικρή καταλληλότητα αναδάσωσης και 5: πολύ μεγάλη καταλληλότητα αναδάσωσης. Η επαναταξινόμηση έγινε με το εργαλείο Reclassify της εργαλειοθήκης Spatial Analyst για κάθε μία μεταβλητή χωριστά και τα αποτελέσματα των ταξινομημένων μεταβλητών σε ενιαία κλίμακα παρουσιάζονται παρακάτω.

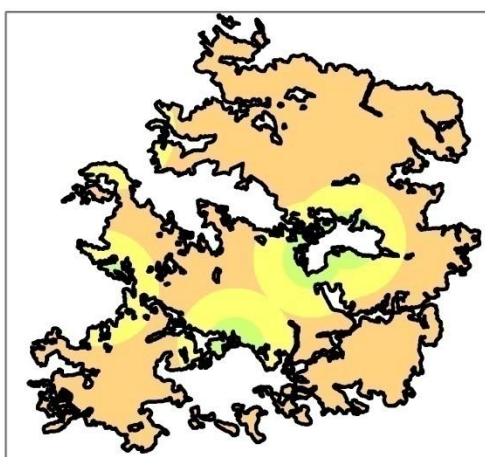
ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ



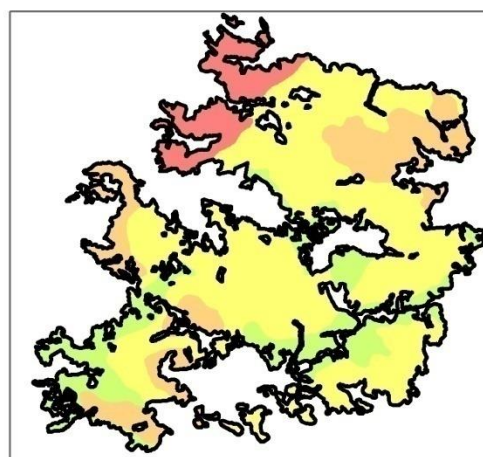
ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ



ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ



ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΟΙΚΙΣΜΟΥΣ



ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ

1 2 3 4 5

1: Πολύ μικρή καταλληλότητα

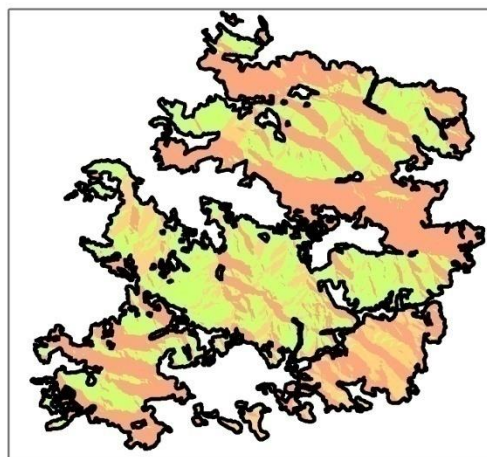
2: Μικρή καταλληλότητα

3: Μέτρια καταλληλότητα

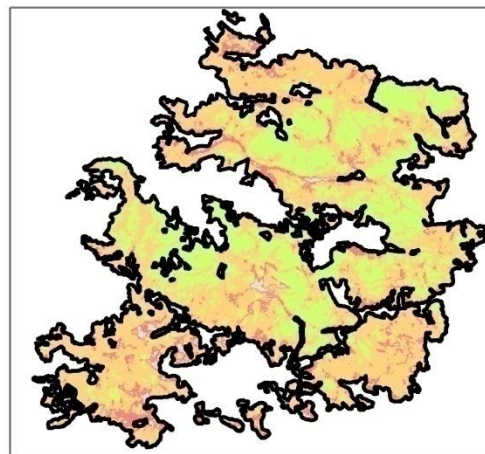
4: Μεγάλη καταλληλότητα

5: Πολύ μεγάλη καταλληλότητα

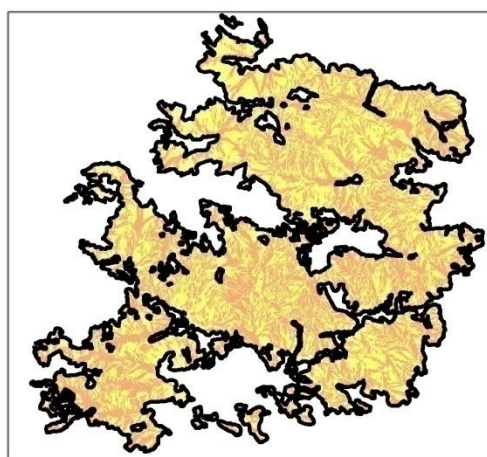
Εικόνα 4.12: Επαναταξινόμηση των κλάσεων των μεταβλητών σε ενιαία τακτική κλίμακα (παρουσίαση 4 μεταβλητών)



ΕΚΘΕΣΗΣ



Δείκτης dNBR



ΔΕΙΚΤΗΣ CTI



Εικόνα 4.13: Επαναταξινόμηση των κλάσεων των μεταβλητών σε ενιαία τακτική κλίμακα (παρουσίαση 3 μεταβλητών)

Σταθμισμένη άθροιση ταξινομημένων μεταβλητών

Το τελευταίο στάδιο της μεθοδολογικής προσέγγισης περιλάμβανε τη σύνθεση των ομογενοποιημένων μεταβλητών της προηγούμενης διαδικασίας βάση συγκεκριμένων συντελεστών βαρύτητας. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν να εφαρμοστούν δύο σενάρια σταθμισμένης σύνθεσης των μεταβλητών.

- Το σενάριο 1 που προτάσσει τους οικολογικούς περιορισμούς και προκρίνει τη σημασία των βέλτιστων συνθηκών ανάπτυξης της βλάστησης.
- Το σενάριο 2, όπου δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στις οικονομικές και κοινωνικές ωφέλειες της αποκατάστασης, ευνοώντας τα κριτήρια της απόστασης από οικισμούς και οδικό δίκτυο.

Ο προσδιορισμός των συντελεστών βαρύτητας έγινε βάση της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου (Analytical Hierarchy Process), όπως περιγράφει ο Saaty 1987. Σύμφωνα με τη μέθοδο πραγματοποιείται σύγκριση των μεταβλητών ανα ζεύγη σε ένα συγκεντρωτικό πίνακα συγκρίσεων (comparison matrix) (βλέπε Πίνακα 4.5). Η σύγκριση γίνεται βάση μίας κλίμακας από το 1 έως 9. Όσο μεγαλύτερη είναι η προτίμηση για ένα κριτήριο σε σχέση με ένα άλλο, η βαθμολογία τείνει προς το 9, ενώ το υποδεέστερο κριτήριο του ζεύγους σύγκρισης, αυτόματα λαμβάνει βαθμό κάτω της μονάδας (π.χ.: $1/9=0,11$). Η βαθμολόγηση μεταξύ των κριτηρίων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την προσωπική αξιολόγηση του συγγραφέα, λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση σχετικών μελετών που παρατέθηκαν στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και τις κατευθύνσεις ειδικών επιστημόνων του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών.

Η βαθμολόγηση των κριτηρίων επαναλήφθηκε τρεις φορές για κάθε σενάριο εφαρμόζοντας κάθε φορά μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ των μεταβλητών. Στη συνέχεια υπολογίζονταν οι συντελεστές βαρύτητας και τα τελικά αποτελέσματα του μοντέλου που προέκυπταν για κάθε σενάριο. Ο έλεγχος έδειξε ότι οι μικροαλλαγές που εφαρμόστηκαν στις τιμές των μεταβλητών δεν επέφεραν σημαντικές αλλαγές στα αποτελέσματα των σεναρίων. Κατά αυτό τον τρόπο προέκυψαν οι τελικές τιμές των δύο πινάκων συγκρίσεων του κάθε σεναρίου, όπως καταγράφονται στους πίνακες 4.5 και 4.6.

Πίνακας 4.5:Συγκεντρωτικός πίνακας συγκρίσεων ανα ζεύγη (comparison matrix) για Σενάριο 1

	Βλάστηση	Εδαφολογικά	dNBR	CTI	Έκθεση	Απ. Οδικό	Απ. Οικισμούς
Βλάστηση	1,00	2,00	3,00	3,00	5,00	6,00	7,00
Εδαφολογικά	0,50	1,00	3,00	3,00	7,00	6,00	8,00
dNBR	0,33	0,33	1,00	3,00	4,00	6,00	6,00
CTI	0,33	0,33	0,33	1,00	4,00	2,00	2,00
Έκθεση	0,20	0,14	0,25	0,25	1,00	2,00	2,00
Απ. Οδικό	0,17	0,17	0,17	0,50	0,50	1,00	3,00
Απ. Οικισμούς	0,14	0,13	0,17	0,50	0,50	0,33	1,00

Πίνακας 4.6:Συγκεντρωτικός πίνακας συγκρίσεων ανα ζεύγη (comparison matrix) για Σενάριο 2

	Απ. Οδικό	Απ. Οικισμούς	Βλάστηση	Εδαφολογικά	dNBR	CTI	Έκθεση
Απ. Οδικό	1,00	2,00	1,00	2,00	3,00	3,00	6,00
Απ. Οικισμούς	0,50	1,00	1,00	2,00	3,00	3,00	6,00
Βλάστηση	1,00	1,00	1,00	2,00	3,00	4,00	6,00
Εδαφολογικά	0,50	0,50	0,50	1,00	3,00	5,00	5,00
dNBR	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	2,00	3,00
CTI	0,33	0,33	0,25	0,20	0,50	1,00	2,00
Έκθεση	0,17	0,17	0,17	0,20	0,33	0,50	1,00

Οι τελικές τιμές βαθμολόγησης και η ιεράρχηση μεταξύ των μεταβλητών, των δύο παραπάνω πινάκων θεωρήθηκε λογική, αφού ο λόγος συνέπειας CR ήταν μικρότερος από 0,10 και για τα δύο σενάρια (Saaty and Vargas, 1987, Χαλκιάς, 2015). Συγκεκριμένα στο Σενάριο 1 ο λόγος συνέπειας ήταν $CR=0,06$ και στο Σενάριο 2 ήταν $CR=0,03$. Βάση των μέσων όρων των συγκριτικών πινάκων προέκυψαν οι συντελεστές βαρύτητας της κάθε μεταβλητής, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Το σύνολο των συντελεστών βαρύτητας για κάθε ένα σενάριο αθροίζουν στη μονάδα, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι στην ίδια κλίμακα ταξινόμησης και να επιτρέπεται η μεταξύ τους σύγκριση.

Πίνακας 4.7: Συντελεστές βαρύτητας κάθε μεταβλητής για τα δύο σενάρια.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	Συντελεστές βαρύτητας	
	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΣΕΝΑΡΙΟ 2
Βλάστηση	0,319	0,226
Εδαφολογικά χαρακτηριστικά	0,275	0,162
Έκθεση	0,052	0,032
Δείκτης dNBR	0,178	0,079
Δείκτης CTI	0,096	0,056
Απόσταση από οδικό δίκτυο	0,048	0,245
Απόσταση από οικισμούς	0,032	0,200

Η τελική διεργασία βάση του διαγράμματος ροής εργασιών ήταν η σύνθεση των σταθμισμένων κριτηρίων βάση των δύο διαφορετικών σεναρίων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η Map Algebra και συγκεκριμένα το εργαλείο <Raster Calculator>, καθώς το σύνολο των ταξινομημένων μεταβλητών είναι σε ψηφιδωτή μορφή. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων βάση των δύο διαφορετικών σεναρίων.

4.4. Ανάπτυξη διαδικτυακού ΓΣΠ

Στο στάδιο αυτό αναπτύχθηκε ένα διαδικτυακό ΓΣΠ για την διάδοση των αποτελεσμάτων του μοντέλου και την εύκολη πρόσβαση από χρήστες που δεν διαθέτουν εξειδικευμένο λογισμικό. Η συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS online και ArcGIS web app builder τα οποία υποστηρίζουν τη σειρά προτύπων WMS (Web Map Services) και WFS (Web Feature Services), του οργανισμού OGC (Open Geospatial Consortium). Το πρότυπο WMS μπορεί να παρέχει μέσω μίας ασφαλούς διαδικτυακής σύνδεσης http, γεωχωρικά δεδομένα και χάρτες σε οποιοδήποτε φυλλομετρητή ιστοσελίδων (browser). Συνήθως οι χάρτες που παράγονται είναι σε μορφή εικόνας (raster) και μπορούν να προβάλλονται σε διαφορετικά επίπεδα. Το πρότυπο WFS χρησιμοποιεί τη γλώσσα GML (Geography Markup Language), η οποία βασίζεται στην XML (eXtensible Markup Language). Επιτρέπει την οπτικοποίηση των γεωχωρικών διανυσματικών δεδομένων και την προβολή τους σε επίπεδα. Μπορεί να παρέχει πληροφορία για το σύνολο των οντοτήτων που περιλαμβάνονται σε κάθε επίπεδο, αλλά και τη δυνατότητα εξειδικευμένων λειτουργιών που ζητάει ο χρήστης. Υποστηρίζει δηλαδή

επιπλέον το χειρισμό των οντοτήτων της βάσης δεδομένων σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη. Σε αυτές περιλαμβάνονται η υποβολή ερωτημάτων, η ανάκτηση χαρακτηριστικών, η τροποποίηση δεδομένων (Ιστότοπος OGC. ανακτήθηκε από <https://www.ogc.org/standards> στις 30/01/2022).

Στόχος της εφαρμογής που σχεδιάστηκε είναι να περιγράψει και προβάλει τα δεδομένα και αποτελέσματα του μοντέλου στο διαδίκτυο, ενώ παράλληλα να εξασφαλίζει τη λειτουργικότητα και φιλικότητα προς το χρήστη. Για το λόγο αυτό δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στην οπτικοποίηση του προσφερόμενου περιεχομένου, αλλά και στη διαδραστικότητα της εφαρμογής με τον χρήστη. Η διαδικασία περιελάμβανε δύο διακριτά βήματα, την ανάπτυξη ενός διαδικτυακού χάρτη και στη συνέχεια μίας διαδικτυακής εφαρμογής που θα προβάλει τα δεδομένα του. Για τις δύο αυτές ενέργειες χρησιμοποιήθηκε, όπως αναφέρθηκε ήδη το ArcGIS online και το ArcGIS web App Builder, αφού προηγουμένως δημιουργήθηκε λογαριασμός και έγινε σύνδεση με τη συγκεκριμένη πλατφόρμα της ESRI.

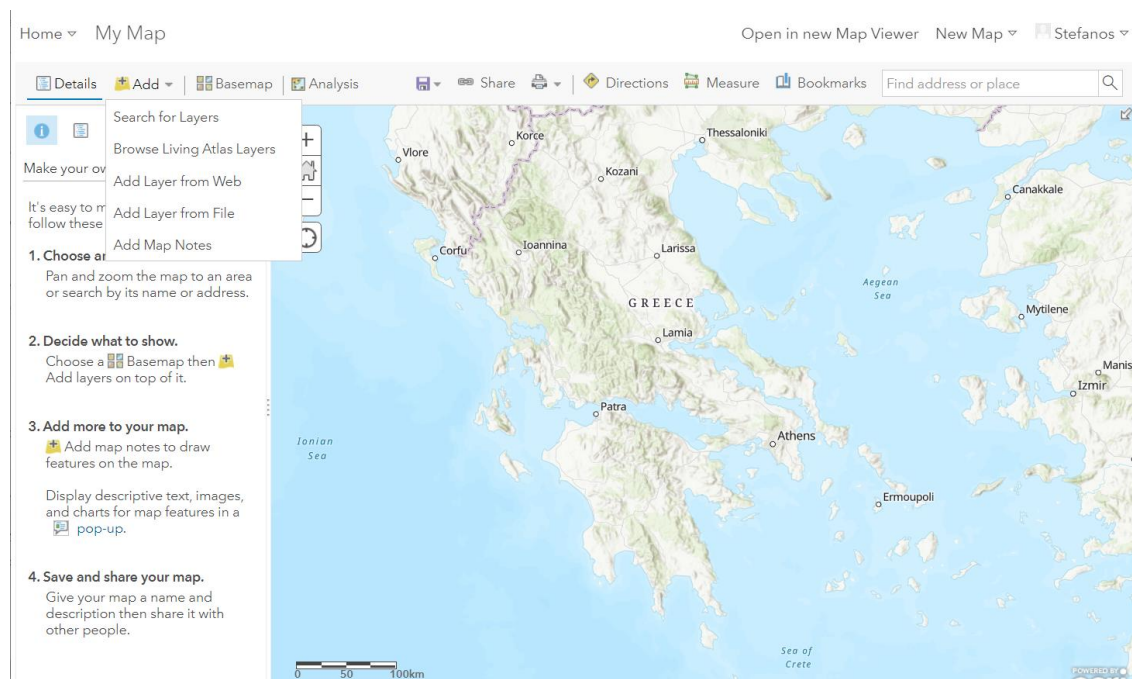
Τα δύο σενάρια καταλληλότητας που αναπτύχθηκαν στη μεθοδολογία επιλέχθηκε να αποτελέσουν τα κύρια επίπεδα του διαδικτυακού χάρτη, ενώ οι υπόλοιπες ταξινομημένες μεταβλητές να εισαχθούν ως δευτερεύοντα επίπεδα. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους arcgis online, ως επίπεδα μπορούν να προστεθούν ανοιχτά δεδομένα από πλατφόρμες του διαδικτύου (π.χ.:Living Atlas), αλλά και δεδομένα του κάθε χρήστη που θα πρέπει να είναι της μορφής:

- Shapefile (ZIP archive containing all shapefile files)
- CSV or TXT files with optional address, place or coordinate locations (comma, semi-colon or tab delimited)
- GPX (GPS Exchange Format)
- GeoJSON (open standard format for simple geographical features)

Η ανάλυση των δεδομένων στην ενότητα της μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε σε ψηφιδωτά αρχεία (raster), τα οποία για να ενταχθούν στο διαδικτυακό χάρτη και να είναι επεξεργάσιμα έπρεπε να μετατραπούν σε διανυσματική μορφή. Η συγκεκριμένη μετατροπή εφαρμόστηκε με το εργαλείο <raster to polygon> της εργαλειοθήκης conversion tools και όλα τα παραγόμενα επίπεδα συμπίεστηκαν σε ξεχωριστά αρχεία συμπίεσης (.zip files). Προσοχή δόθηκε στις εγγραφές του κάθε επιπέδου, οι οποίες καταγράφονται στον πίνακα δεδομένων του να είναι ευανάγνωστες και κατανοητές

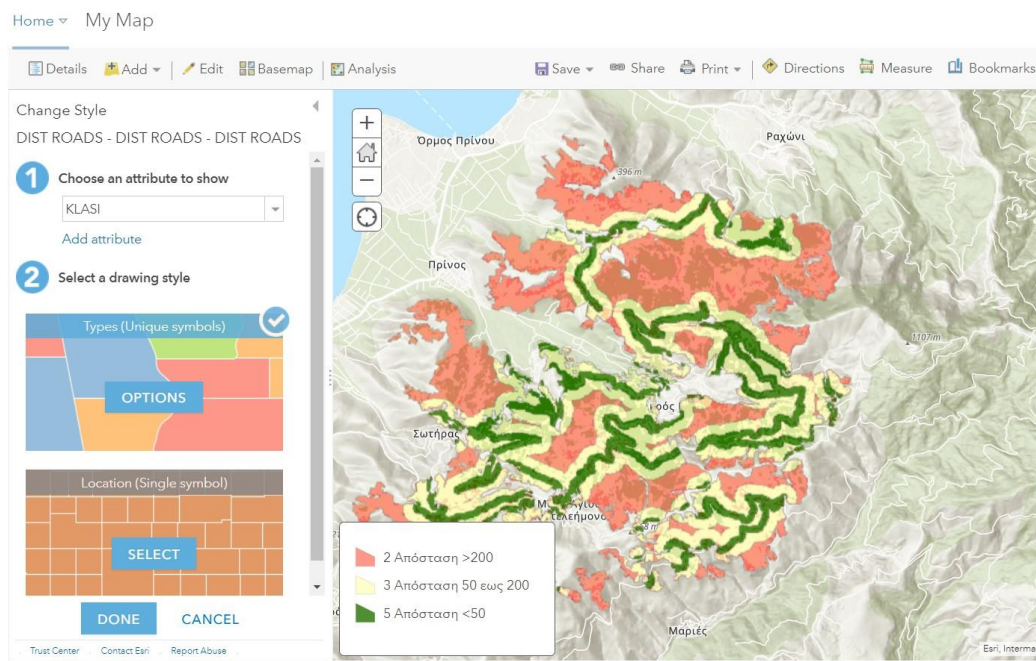
προς τους χρήστες. Στήλες οι οποίες δεν προσέφεραν κάποια χρήσιμη πληροφορία για το κοινό, απομακρύνθηκαν (π.χ: ObjectID).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το πρώτο βήμα της διαδικασίας ήταν η δημιουργία του διαδικτυακού χάρτη. Επιλέχθηκε από την εφαρμογή το μενού Map, σε περιβάλλον Map Viewer Classic για να εισαχθούν τα επιμέρους επίπεδα σε μορφή zip (βλέπε Εικόνα 4.14). Μέσω του Add Layer from File εισήχθησαν τα αποτελέσματα των δύο σεναρίων καθώς και το σύνολο των ταξινομημένων μεταβλητών.



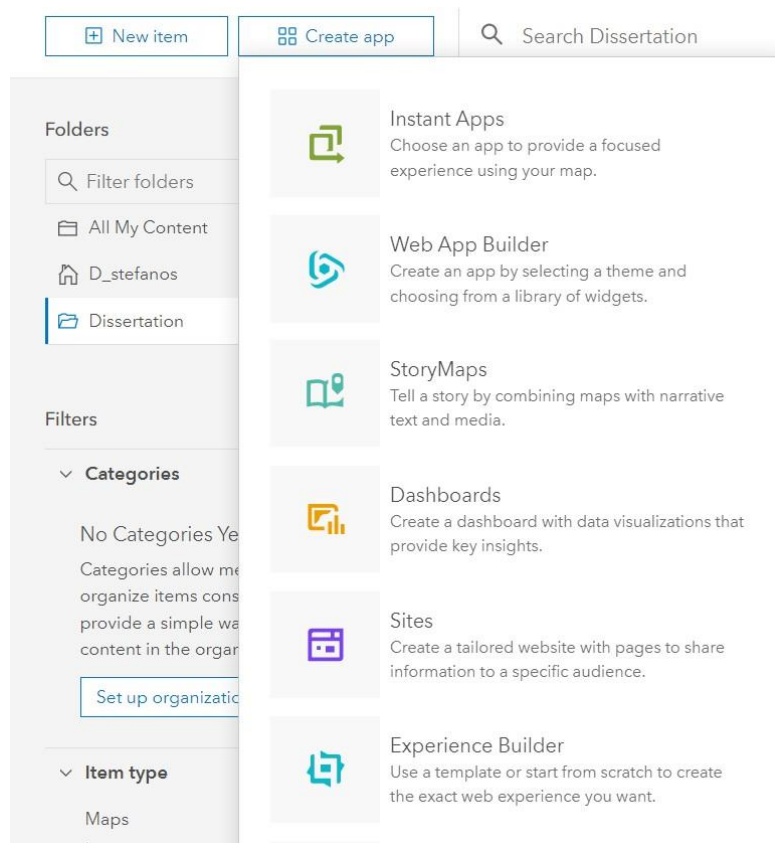
Εικόνα 4.14: Περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων Map viewer classic (ArcGIS online)

Για το σύνολο των θεματικών επιπέδων ορίστηκε η στήλη στην οποία βασίστηκε η απεικόνιση τους στο διαδικτυακό χάρτη και ακολούθησε η μορφοποίηση του συμβολισμού τους. Τα σύμβολα και οι χρωματισμοί επιλέχθηκαν, ώστε να είναι οπτικά ουδέτερα με το υπόβαθρο και σε ενιαία κλίμακα μεταξύ των θεματικών επιπέδων. Αξίζει να σημειωθεί ότι το προβολικό σύστημα των εισαγόμενων πεδίων αναγνωρίζεται αυτόματα από το λογισμικό και γίνεται η ορθή προβολή του. Με την ολοκλήρωση της διαμόρφωσης των επιπέδων ακολούθησε η αποθήκευση του χάρτη στο λογαριασμό που δημιουργήθηκε, δίνοντας τίτλο, λέξεις κλειδιά (tags) και μία μικρή περίληψη.



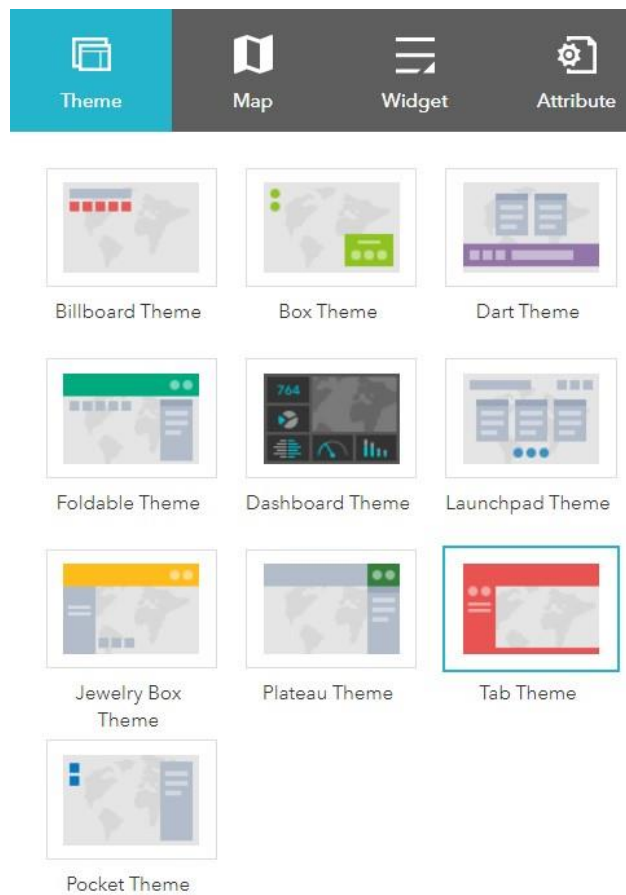
Εικόνα 4.15: Περιβάλλον διαμόρφωσης και οπτικοποίησης επιπέδων (arcgis online)

Το επόμενο βήμα ήταν η ανάπτυξη μίας διαδικτυακής εφαρμογής για την προβολή του παραγόμενου χάρτη. Ο σχεδιασμός της διαδικτυακής εφαρμογής επιτρέπει στον χρήστη την ευκολότερη εξερεύνηση των δεδομένων, τη διαδραστικότητα και τη δυνατότητα χρήσης επιπλέον εργαλείων. Παραμένοντας συνδεδεμένοι στο λογαριασμό της Esri, επιλέχθηκε η δημιουργία μίας εφαρμογής μέσω του web app builder (βλέπε Εικόνα 4.16), ονομάζοντάς την Thasos WildfireRestoration Assess.

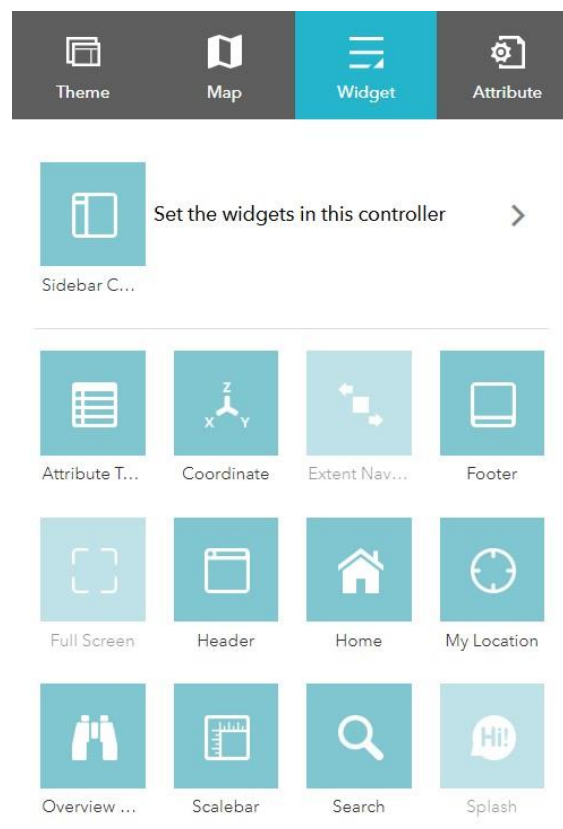


Εικόνα 4.16: Επιλογή δημιουργίας διαδικτυακής εφαρμογής (webappbuilder)

Στην εφαρμογή προστέθηκαν οι διαδικτυακοί χάρτες που δημιουργήσαμε στο προηγούμενο βήμα και παραμετροποιήθηκαν οι λειτουργίες που θα παρέχει η εφαρμογή. Καθορίστηκε η διεπαφή του συστήματος ορίζοντας τις θέσεις εμφάνισης του κάθε εργαλείου, καθώς και τη μορφή παρουσίασης του υπομνήματος (Εικόνα 4.17 και 4.18). Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την αποθήκευση της εφαρμογής στο λογαριασμό που δημιουργήθηκε και τη δημοσίευσή της σε ομάδα χρηστών ή στο ευρύτερο κοινό.



Εικόνα 4.17: Επιλογή και παραμετροποίηση διεπαφής της εφαρμογής (web App Builder)



Εικόνα 4.18: Επιλογή και τοποθέτηση εργαλείων (web App Builder)

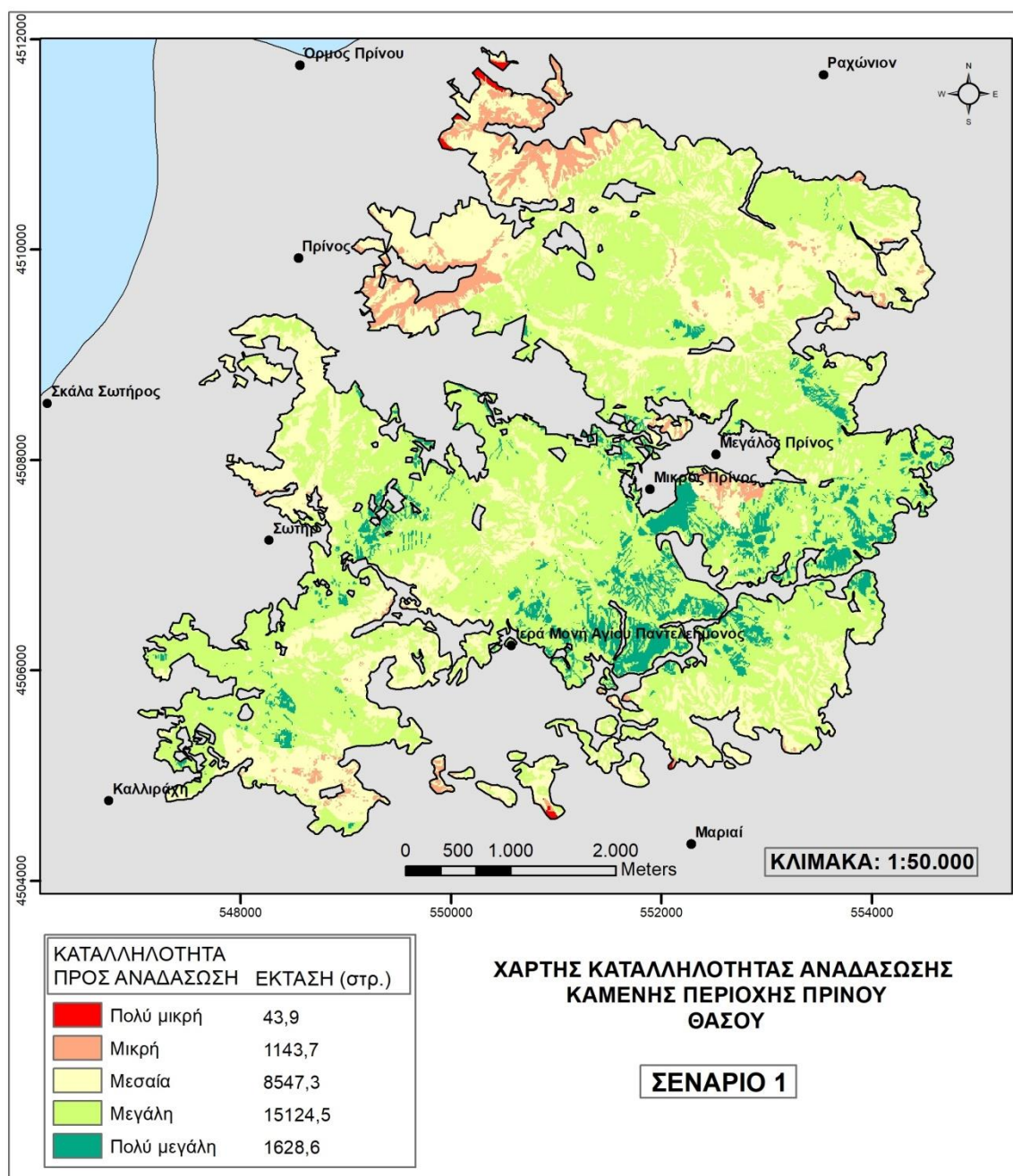
Στο επόμενο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται το περιβάλλον της διαδικτυακής εφαρμογής, όπως γίνεται προσβάσιμη στον παγκόσμιο ιστό από τον σύνδεσμο url: <https://dstefanos.maps.arcgis.com/apps/webappviewer>

Επίσης παρουσιάζονται σε χαρτογραφική μορφή και αναλύονται τα αποτελέσματα των δύο διαφορετικών σεναρίων που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου.

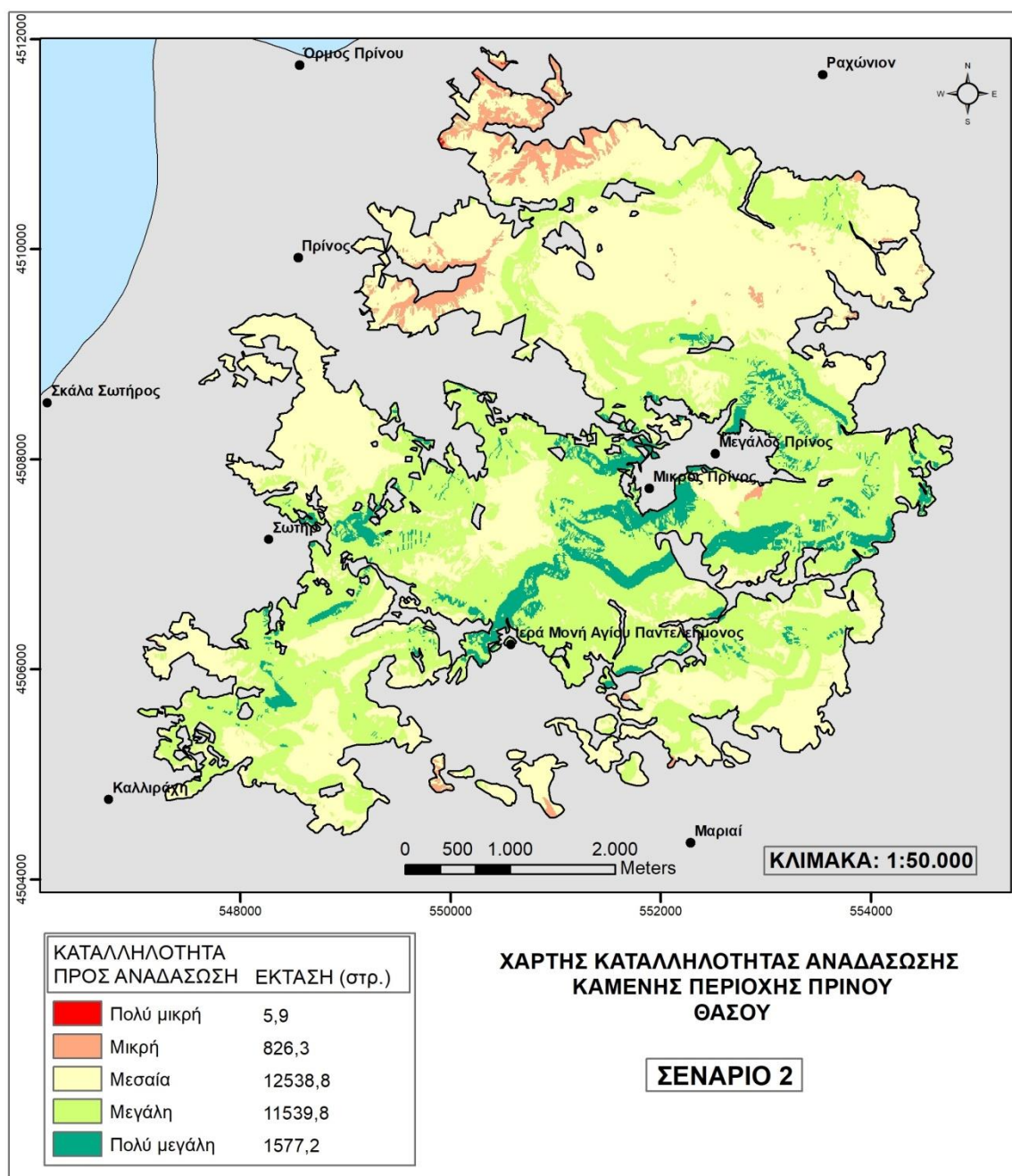
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. Παρουσίαση και συζήτηση αποτελεσμάτων σεναρίων

Σύμφωνα με την εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου, βάση των δύο διαφορετικών σεναρίων, προέκυψαν τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους επόμενους χάρτες (Εικόνες 5.1 και 5.2). Όπως αναφέρθηκε, το σενάριο 1 προκρίνει τα οικολογικά χαρακτηριστικά του σημείου αναδάσωσης, ενώ το σενάριο 2 δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στα οικονομικά κριτήρια. Οι τελικές ζώνες καταλληλότητας των αποτελεσμάτων ταξινομήθηκαν και παρουσιάστηκαν στην ίδια τακτική κλίμακα ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκε για τη κατηγοριοποίηση της κάθε μίας μεταβλητής του μοντέλου. Όπως παρουσιάζεται στους δύο χάρτες (Εικόνες 5.1 και 5.2), με σκούρο πράσινο χρώμα αποδίδονται οι εκτάσεις που παρουσιάζουν πολύ μεγάλη καταλληλότητα αναδάσωσης και το άθροισμα των σταθμισμένων μεταβλητών τείνει προς την τιμή 5. Στις θέσεις αυτές, σύμφωνα με την ανάλυση των κριτηρίων που έχει προηγηθεί, οι συνθήκες για την εγκαθίδρυση νέων φυτών κρίνονται ιδιαίτερα ευνοϊκές. Επίσης, η σφοδρότητα της πυρκαγιάς και το είδος της βλάστησης στις θέσεις αυτές επιδεικνύουν ότι πρόκειται για εκτάσεις όπου η φυσική αναγέννηση δύσκολα θα επανέλθει. Αντίθετα με κόκκινο χρώμα (Εικόνες 5.1 και 5.2) καταγράφονται οι εκτάσεις όπου έχουν πολύ μικρή καταλληλότητα για αναδάσωση, όπου το αντίστοιχο άθροισμα των επιμέρους σταθμισμένων μεταβλητών είναι κοντά στη μονάδα. Στις συγκεκριμένες περιοχές η επιτυχία νέων φυτεύσεων κρίνεται αναποτελεσματική και θεωρείται ότι ως θέσεις θα πρέπει να αποφεύγονται για αναδασωτικές ενέργειες.



Εικόνα 5.1: Χάρτης καταλληλότητας αναδάσωσης περιοχής, βάσει πρώτου σεναρίου



Εικόνα 5.2: Χάρτης καταλληλότητας αναδάσωσης περιοχής, βάσει δεύτερου σεναρίου

Μία πρώτη οπτική προσέγγιση των αποτελεσμάτων δείχνει μία συγκέντρωση των περιοχών με πολύ μεγάλη καταλληλότητα στο κέντρο περίπου της καμένης περιοχής πλησίον του οικισμού Μικρός Πρίνος και για τα δύο Σενάρια. Οι περιοχές αυτές κυμαίνονται περίπου από τα 400 έως τα 800μ. υψόμετρο και παρουσιάζουν μέτριες κλίσεις. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών εντοπίζονται σε Βόρειες εκθέσεις και πλησίον

πυκνού οδικού δικτύου. Σύμφωνα λοιπόν με τη σχετική βιβλιογραφία (Χατζηστάθης και Ντάφης, 1989, Καρέτσος κ.α., 2012, White and Long, 2019, Marsh, 2022) συμπεραίνεται ότι οι προτεινόμενες εκτάσεις, καλύπτουν μεγάλο μέρος των προϋποθέσεων επιτυχίας αναδασωτικών επεμβάσεων.

Για να γίνουν όμως περισσότερες συγκρίσεις μεταξύ των χαρτογραφικών αποτελεσμάτων των δύο σεναρίων και να εξαχθούν συμπεράσματα, υπολογίστηκε το εμβαδό της κάθε ζώνης καταλληλότητας. Το σύνολο των εικονοστοιχείων κάθε ψηφιδωτού επιπέδου πολλαπλασιάστηκε με το 100, το οποίο είναι τα τετραγωνικά μέτρα της κάθε ψηφίδας (10 x 10 μ.). Στον Πίνακα 5.1 που προέκυψε από την επεξεργασία στο υπολογιστικό φύλλο Microsoft Excel, παρουσιάζονται συγκριτικά οι τιμές των δύο σεναρίων.

Πίνακας 5.1: Έκταση και ποσοστά καταλληλότητας αναδάσωσης για κάθε σενάριο

ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	ΣΕΝΑΡΙΟ 1		ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό (%)	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό (%)
Πολύ μικρή	43,9	0,17	5,9	0,02
Μικρή	1143,7	4,32	826,3	3,12
Μέτρια	8547,3	32,27	12538,8	47,34
Μεγάλη	15124,5	57,10	11539,8	43,57
Πολύ μεγάλη	1628,6	6,15	1577,2	5,95
Σύνολο	26488	100,00	26488	100,00

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πίνακα οι μεγαλύτερες μεταβολές μεταξύ των δύο σεναρίων διακρίνονται στη μεσαία και μεγάλη κλίμακα, όπου οι διαφορές είναι 15,07 και 13,53 (%), αντίστοιχα. Αντίθετα, στις κατηγορίες πολύ μικρής, αλλά και πολύ μεγάλης καταλληλότητας δεν παρουσιάζονται μεγάλες μεταβολές μεταξύ των δύο σεναρίων. Εντοπίζεται δηλαδή ότι τόσο σε επίπεδο ποσοστών όσο και σε επίπεδο οριοθέτησης οι δύο κατηγορίες προσομοιάζουν σημαντικά. Μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε ότι και τα δύο σενάρια εντοπίζουν εξίσου αποτελεσματικά τις εκτάσεις που δεν ενδείκνυνται για αναδάσωση, αλλά και αυτές που έχουν πολύ μεγάλη καταλληλότητα προς αναδάσωση. Πιο ενδελεχής έλεγχος των

αποτελεσμάτων θα μπορούσε να επιτευχθεί με την επικύρωση του μοντέλου, από πραγματικά δεδομένα αποκατάστασης. Μετά από έλεγχο όλων των διαθέσιμων στοιχείων και επικοινωνίας με τις αρμόδιες υπηρεσίες διαπιστώθηκε ότι για τη συγκεκριμένη περιοχή, αλλά και την ευρύτερη περιοχή της Θάσου, δεν έχει εφαρμοστεί κάποιο εκτεταμένο πρόγραμμα αναδάσωσης. Η επαλήθευση λοιπόν του μοντέλου με δεδομένα πεδίου, θα απαιτούσε την εφαρμογή του σε μία καμένη περιοχή για την οποία έχει πραγματοποιηθεί πρόγραμμα αποκατάστασης και έχει ακολουθήσει στη συνέχεια διαχρονική παρακολούθηση της εξέλιξης και πορείας των αναδασώσεων. Μία τέτοια εργασία είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και δύσκολο να εφαρμοστεί στα πλαίσια μίας διπλωματικής εργασίας, θα μπορούσε ωστόσο να αποτελέσει πεδίο ενός μελλοντικού ερευνητικού προγράμματος.

Στην επόμενη ενότητα ακολουθεί ο έλεγχος και συζήτηση της ορθής ενσωμάτωσης των κριτηρίων, σύμφωνα με τους συντελεστές βαρύτητας. Συγκεκριμένα, γίνεται αναλυτική σύγκριση των αποτελεσμάτων του κάθε σεναρίου με τις επιμέρους τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο.

5.2. Σύγκριση επιμέρους κριτηρίων και ζωνών καταλληλότητας

Η σύγκριση της κλάσης της κάθε μεταβλητής σε σχέση με την τελική τιμή καταλληλότητας του κάθε σεναρίου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του εργαλείου στατιστικής ανάλυσης <zonal statistics>, του Arcgis. Έγινε σύγκριση της κλάσης της κάθε μίας μεταβλητής, όπως είχε ταξινομηθεί σύμφωνα με το Πίνακα 4.4 και της τελικής ζώνης καταλληλότητας στην οποία συμπεριλήφθηκε για τα δύο σενάρια. Κατά αυτό τον τρόπο, για κάθε μία ζώνη σεναρίου (π.χ.: έκταση Πολύ μεγάλης καταλληλότητας, Σεναρίου 1) εντοπίστηκαν ποιες από τις κλάσεις της μεταβλητής εμπίπτουν εντός αυτής. Τα αποτελέσματα εξήχθηκαν σε πίνακες για το σύνολο των μεταβλητών και παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακες 5.2 έως 5.8). Για κάθε μία από τις πέντε ζώνες καταλληλότητας του κάθε σεναρίου (πολύ μικρή έως πολύ μεγάλη), καταγράφεται η τιμή της ελάχιστης και μέγιστης κλάσης της μεταβλητής που περιλαμβάνεται στη συγκεκριμένη ζώνη. Επίσης, παρατίθεται η μέση τιμή της μεταβλητής για κάθε ζώνη, όπως προκύπτει από το άθροισμα των κλάσεων που περιλαμβάνονται στη συγκεκριμένη ζώνη. Καταγράφεται η τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή, ενώ στη τελευταία στήλη αναφέρεται ο αριθμός των κλάσεων της

μεταβλητής που εντοπίστηκαν σε κάθε μία ζώνη καταλληλότητας. Π.χ.: στη μεταβλητή της βλάστησης (βλέπε Πίνακα 5.2) στη ζώνη Μεγάλης καταλληλότητας του Σεναρίου 1, εντοπίστηκαν 2 κλάσεις, τα θερμόβια κωνοφόρα με τιμή 4 και τα ψυχρόβια κωνοφόρα με τιμή 5. Η μέση τιμή από το σύνολο των κελιών των δύο αυτών κλάσεων, στη ζώνη Μεγάλη καταλληλότητα, είναι 4,29.

Πίνακας 5.2: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής της βλάστησης με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.

	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΥΡΟΣ
		ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ		
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	Πολύ μικρή	1	1	1	0	1
	Μικρή	1	4	3,640	0,974	2
	Μέτρια	1	5	4,020	0,484	3
	Μεγάλη	4	5	4,291	0,454	2
	Πολύ μεγάλη	4	5	4,789	0,407	2
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	Πολύ μικρή	1	1	1	0	1
	Μικρή	1	4	3,701	0,897	2
	Μέτρια	1	5	4,034	0,509	3
	Μεγάλη	1	5	4,370	0,493	3
	Πολύ μεγάλη	4	5	4,555	0,496	2

Πίνακας 5.3: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής εδαφολογικών χαρακτηριστικών με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.

	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΥΡΟΣ
		ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ		
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	Πολύ μικρή	1	3	1,428	0,814	3
	Μικρή	1	4	1,529	0,932	4
	Μέτρια	1	4	2,370	0,810	4
	Μεγάλη	1	4	3,132	0,539	4
	Πολύ μεγάλη	2	4	3,597	0,491	3
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	Πολύ μικρή	1	1	1	0	1
	Μικρή	1	4	1,227	0,594	4
	Μέτρια	1	4	2,576	0,822	4
	Μεγάλη	1	4	3,186	0,564	4
	Πολύ μεγάλη	2	4	3,303	0,489	3

Πίνακας 5.4: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής έκθεσης με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.

	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΥΡΟΣ
		ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ		
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	Πολύ μικρή	2	4	2,943	0,932	3
	Μικρή	2	4	2,521	0,836	3
	Μέτρια	2	4	2,819	0,911	3
	Μεγάλη	2	4	2,991	0,934	3
	Πολύ μεγάλη	2	4	3,370	0,864	3
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	Πολύ μικρή	2	4	2,711	0,957	2
	Μικρή	2	4	2,447	0,779	3
	Μέτρια	2	4	2,841	0,914	3
	Μεγάλη	2	4	3,029	0,936	3
	Πολύ μεγάλη	2	4	3,310	0,905	3

Πίνακας 5.5: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής δείκτη CTI με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.

	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΥΡΟΣ
		ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ		
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	Πολύ μικρή	2	5	3,300	0,992	3
	Μικρή	2	5	2,566	0,922	3
	Μέτρια	2	5	2,819	1,021	3
	Μεγάλη	2	5	3,252	1,070	3
	Πολύ μεγάλη	2	5	3,799	0,897	3
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	Πολύ μικρή	2	4	2,542	0,889	2
	Μικρή	2	5	2,705	0,972	3
	Μέτρια	2	5	3,068	1,062	3
	Μεγάλη	2	5	3,158	1,083	3
	Πολύ μεγάλη	2	5	3,414	1,096	3

Πίνακας 5.6: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής δείκτη dNBR με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.

	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΥΡΟΣ
		ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ		
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	Πολύ μικρή	0	3	2,380	1,042	3
	Μικρή	0	5	1,548	1,096	4
	Μέτρια	0	5	2,514	1,102	4
	Μεγάλη	0	5	3,670	1,095	4
	Πολύ μεγάλη	3	5	4,537	0,843	2
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	Πολύ μικρή	1	3	2,152	0,988	2
	Μικρή	0	5	1,592	1,112	4
	Μέτρια	0	5	3,131	1,233	4
	Μεγάλη	0	5	3,443	1,278	4
	Πολύ μεγάλη	0	5	3,770	1,183	4

Πίνακας 5.7: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής απόστασης από οδικό δίκτυο με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.

	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΥΡΟΣ
		ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ		
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	Πολύ μικρή	2	3	2,041	0,198	2
	Μικρή	2	5	2,207	0,511	3
	Μέτρια	2	5	2,789	1,043	3
	Μεγάλη	2	5	3,118	1,129	3
	Πολύ μεγάλη	2	5	3,294	1,103	3
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	Πολύ μικρή	2	2	2	0	1
	Μικρή	2	3	2,020	0,142	2
	Μέτρια	2	5	2,306	0,471	3
	Μεγάλη	2	5	3,530	1,087	3
	Πολύ μεγάλη	2	5	4,851	0,528	3

Πίνακας 5.8: Σύγκριση ταξινομημένης μεταβλητής απόστασης από οικισμούς με ζώνες καταλληλότητας κάθε σεναρίου.

	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΜΕΝΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ			ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΕΥΡΟΣ
		ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ		
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	Πολύ μικρή	3	3	3	0	1
	Μικρή	3	5	3,257	0,576	3
	Μέτρια	3	5	3,228	0,490	3
	Μεγάλη	3	5	3,331	0,558	3
	Πολύ μεγάλη	3	5	3,542	0,714	3
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	Πολύ μικρή	3	3	3	0	1
	Μικρή	3	5	3,043	0,207	3
	Μέτρια	3	5	3,135	0,381	3
	Μεγάλη	3	5	3,417	0,592	3
	Πολύ μεγάλη	3	5	4,013	0,742	3

Με βάση τα συγκριτικά αποτελέσματα των πινάκων που παρατίθενται παραπάνω, αρχικά παρατηρείται ότι οι διαφορές μεταξύ των δύο σεναρίων για κάθε μεταβλητή δεν είναι πολύ μεγάλες. Όπως ήταν αναμενόμενο, σύμφωνα με τους συντελεστές βαρύτητας που ορίστηκαν σε κάθε σενάριο, στο πρώτο παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συσχέτιση με τα οικολογικά κριτήρια και στο δεύτερο σενάριο με τα οικονομικά. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε για τη μεταβλητή της βλάστησης (Πίνακας 5.2), στη ζώνη καταλληλότητας «Πολύ μεγάλη», μέση τιμή 4,78 έναντι 4,55 και τυπική απόκλιση 0,40 έναντι 0,49. Το πρώτο σενάριο δηλαδή συμπεριλαμβάνει μεγαλύτερο ποσοστό ψυχρόβιων κωνοφόρων (κλάση 5), απ' ότι το σενάριο 2 και συμπερασματικά ενσωματώνει καλύτερα το κριτήριο της βλάστησης. Παρόμοια,

αποτελέσματα διαπιστώθηκαν και για άλλες μεταβλητές, όπως των εδαφολογικών χαρακτηριστικών, με το σενάριο 1 να φέρει μέση τιμή 3,59 έναντι 3,30 του σεναρίου 2, στην «πολύ μεγάλη» ζώνη. Το πρώτο δηλαδή σενάριο περιλαμβάνει στην πιο κατάλληλη ζώνη αναδάσωσης μεγαλύτερο ποσοστό σημείων με υψηλά εδαφολογικά χαρακτηριστικά, σε σχέση με το δεύτερο σενάριο.

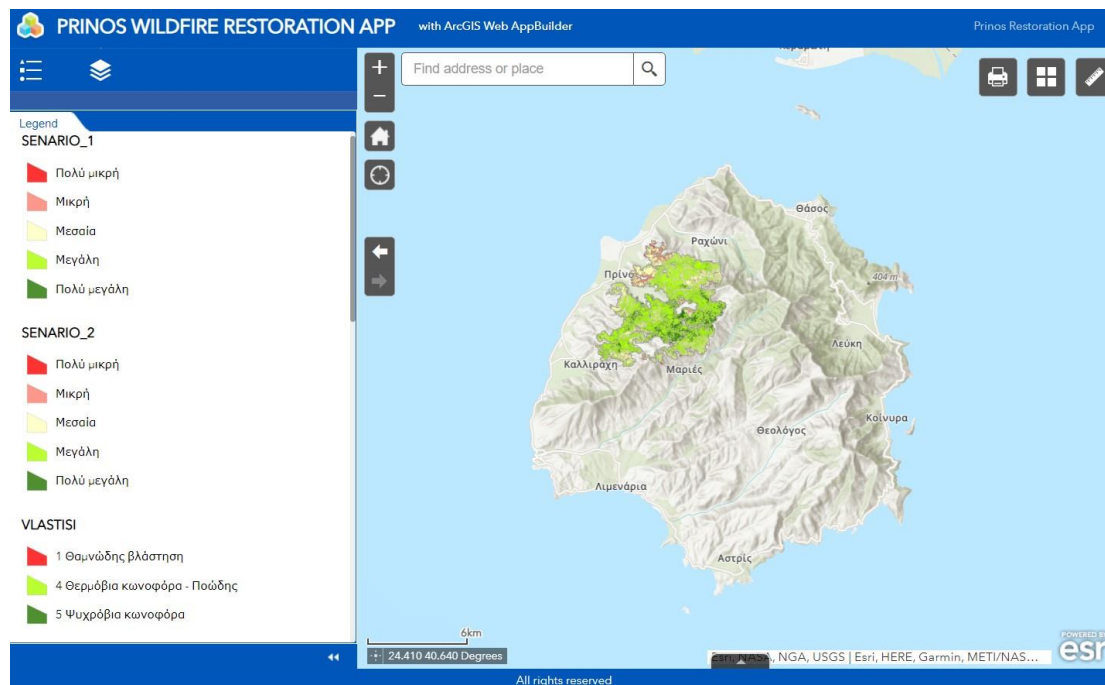
Στον αντίποδα, στις μεταβλητές απόστασης από οδικό δίκτυο και απόστασης από οικισμούς, το σενάριο 1 παρουσιάζει μικρότερες μέσες τιμές σε σχέση με το σενάριο 2. Όπως προκύπτει από τους Πίνακες 5.7 και 5.8, στην «πολύ μεγάλη» ζώνη καταλληλότητας, η μέση τιμή μεταξύ των δύο σεναρίων είναι 3,29 έναντι 4,85 και 3,54 έναντι 4,01, για τις δύο μεταβλητές. Ορθώς, λοιπόν το δεύτερο σενάριο του μοντέλου έχει καλύτερα αποτελέσματα ενσωμάτωσης των μεταβλητών με οικονομικά χαρακτηριστικά.

Αξίζει να αναφερθεί ωστόσο, ότι στη μεταβλητή του δείκτη CTI (Πίνακας 5.5), στη ζώνη καταλληλότητας «πολύ μικρή» οι μέσες τιμές για τα σενάρια 1 και 2 είναι 3,30 και 2,54, αντίστοιχα. Στη ζώνη αυτή, οι μικρότερες μέσες τιμές αντιπροσωπεύουν την ύπαρξη περισσότερων σημείων στη κατώτερη κλάση του κριτηρίου, το οποίο είναι και το προσδοκώμενο. Διαπιστώνεται δηλαδή, ότι το δεύτερο σενάριο με μέση τιμή 2,54 τείνει πιο κοντά στη χαμηλότερη κλάση του δείκτη CTI, που είναι το 2 (σύμφωνα με πίνακα 4.5) και ενσωματώνει καλύτερα το κριτήριο αυτό.

5.3. Παρουσίαση διαδικτυακής εφαρμογής

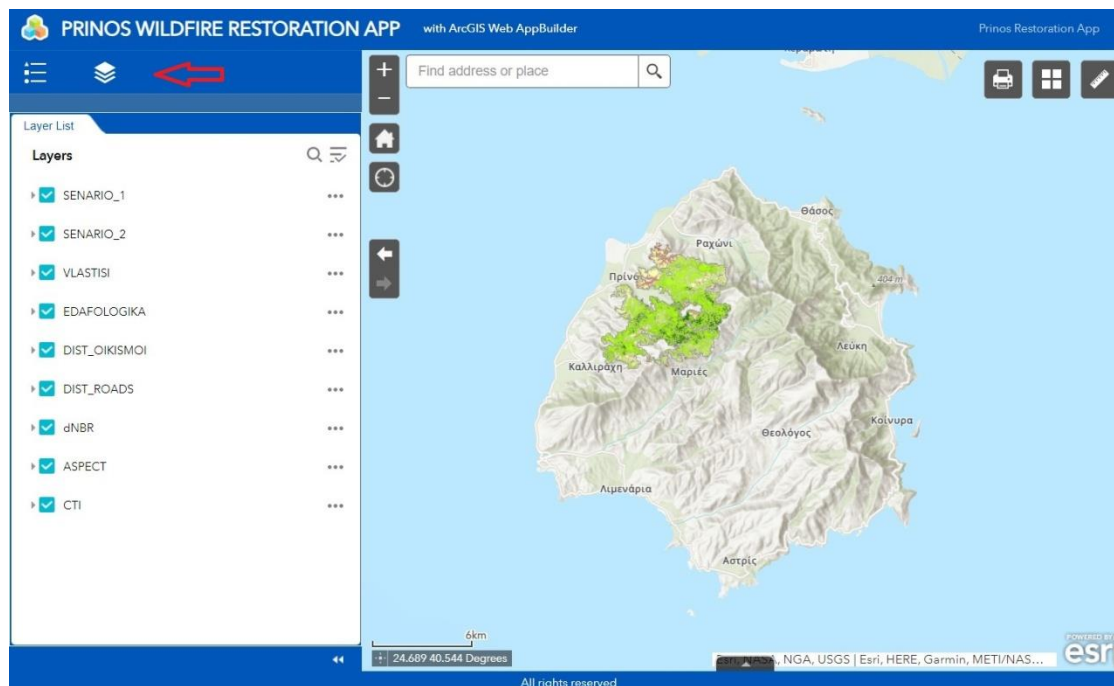
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται το περιβάλλον της διαδικτυακής εφαρμογής και οι δυνατότητες που προσφέρει στην προβολή των αποτελεσμάτων της εργασίας. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας η διαδικτυακή εφαρμογή δημοσιεύτηκε στο παγκόσμιο ιστό και γίνεται εύκολα προσβάσιμη από οποιοδήποτε φυλλομετρητή (browser). Η δημιουργία της εφαρμογής αναπτύχθηκε με το ArcGis Online και ArcGis web app Builder. Τα συγκεκριμένα λογισμικά λειτουργούν σε διαδικτυακές πλατφόρμες, δεν χρειάζονται εγκατάσταση στον υπολογιστή, υποστηρίζουν μία σειρά από γλώσσες προγραμματισμού, όπως html και javascript, και επιτρέπουν παράλληλα την πρόσβαση της εφαρμογής, από tablet και κινητές συσκευές. Σημαντικό είναι ότι η παραμετροποίηση και τυχόν αλλαγές που μπορεί να

ζητηθούν στη δομή και διεπαφή της εφαρμογής, μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα και γρήγορα, αφού τόσο τα δεδομένα όσο και η εφαρμογή φιλοξενούνται στην πλατφόρμα της ESRI.

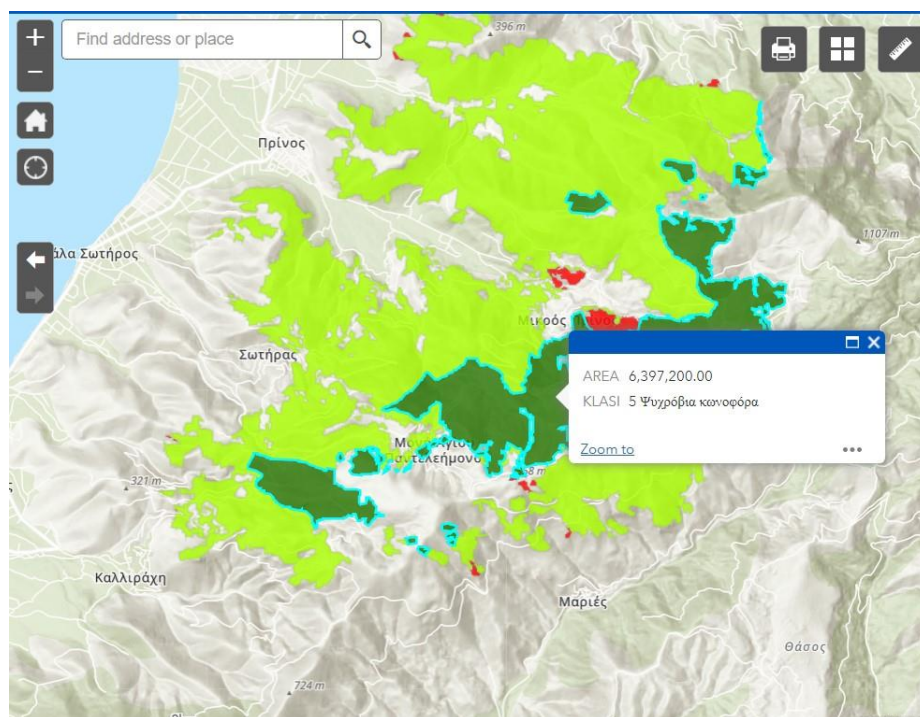


Εικόνα 5.3: Διεπαφή διαδικτυακής εφαρμογής

Η είσοδος στην εφαρμογή φέρει την εμφάνιση που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.3. Στο αριστερό τμήμα της εφαρμογής εμφανίζεται το υπόμνημα κάθε επιπέδου που είναι ενεργοποιημένο. Ο σχεδιασμός του διαδικτυακού χάρτη έχει συμπεριλάβει ως επίπεδα τα δύο σενάρια καταλληλότητας αναδάσωσης, αλλά και το σύνολο των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν. Εκτιμήθηκε ότι ο χρήστης εκτός από το τελικό αποτέλεσμα των ζωνών καταλληλότητας είναι σημαντικό να μπορεί να ενημερωθεί και για τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, κάθε σημείου της περιοχής μελέτης. Η ενέργεια αυτή, σύμφωνα με την Εικόνα 5.4, εκτελείται από το εικονίδιο των επιπέδων (layers), το οποίο βρίσκεται δίπλα στο μενού του υπομνήματος. Επιλέγοντας το κάθε επίπεδο ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιήσει και απενεργοποιήσει όποιο τον ενδιαφέρει να ενημερωθεί. Επίσης, παρέχεται μία ακόμα σειρά επιλογών για το κάθε επίπεδο, όπως καθορισμού της διαφάνειας του, αλλαγή της σειράς των επιπέδων και εστίασης στο συγκεκριμένο επίπεδο.



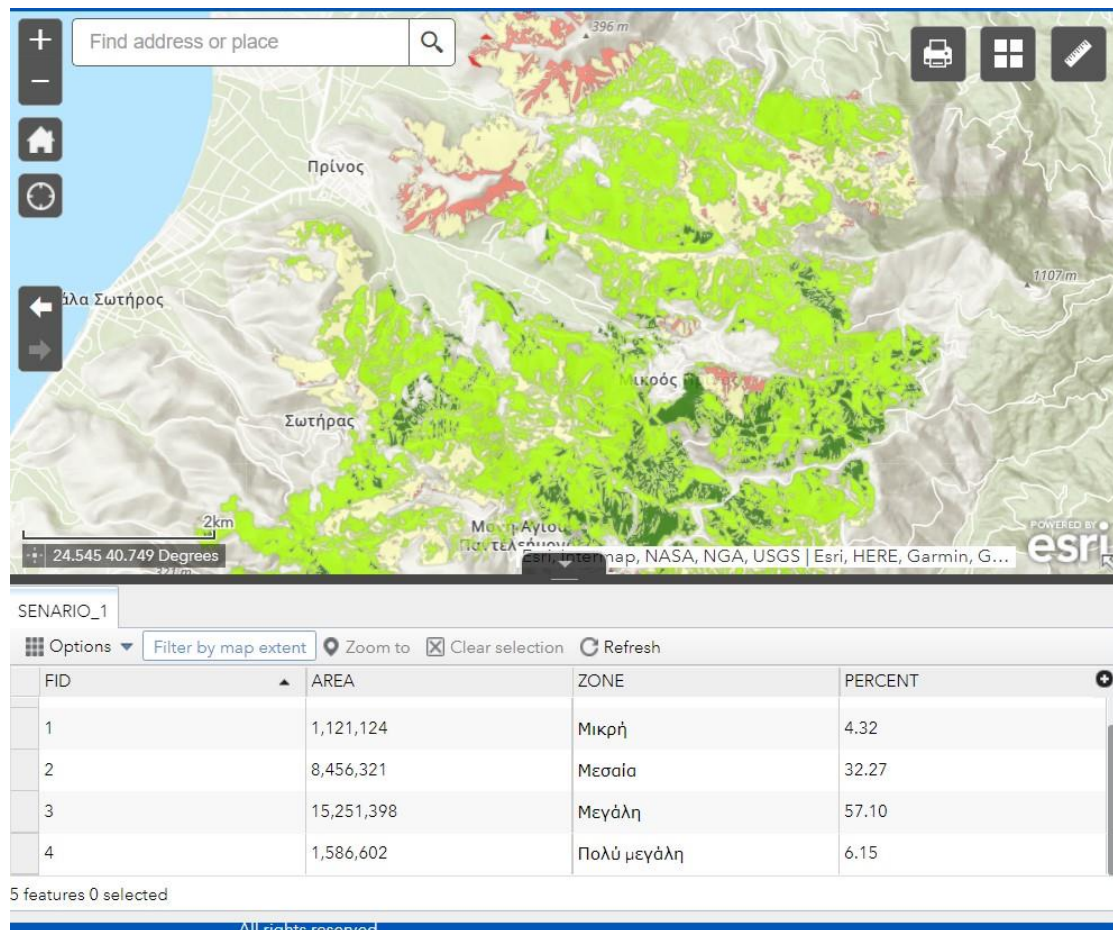
Εικόνα 5.4: Διαδικτυακή εφαρμογή, επιλογή προβολής επιπέδων



Εικόνα 5.5: Διαδικτυακή εφαρμογή, περιγραφική πληροφορία επιπέδων

Η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα επιλογής πολυγώνων, κλικάροντας με το δείκτη στο σημείο ενδιαφέροντος και αυτομάτως λαμβάνεται η περιγραφική πληροφορία σε αναδυόμενο παράθυρο. Στην Εικόνα 5.5 επιλέγοντας το πράσινο σκούρο πολύγωνο, του ενεργοποιημένου επιπέδου βλάστηση, λαμβάνουμε πληροφορία για το τύπο

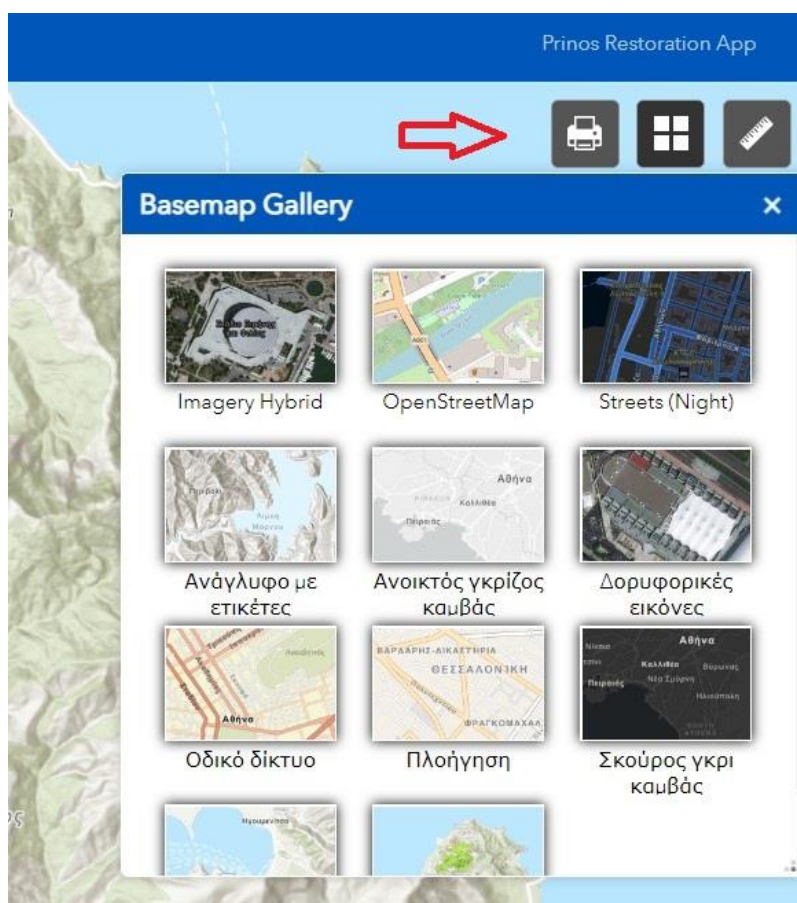
βλάστησης και την έκταση που καταλαμβάνει. Στο στιγμιότυπο επίσης, της ίδιας εικόνας περιλαμβάνονται τα εργαλεία που επιτρέπουν το zoom in και zoom out αλλαγής της κλίμακας του χάρτη, όπως και το εργαλείο home επαναφοράς στις αρχικές επιλογές. Το αμέσως επόμενο εργαλείο κάτω από το εργαλείο home, επιτρέπει στην εφαρμογή να ανακτήσει το σημείο της τοποθεσίας που βρίσκεται ο χρήστης και να το απεικονίσει στο χάρτη. Η δυνατότητα αυτή είναι πολύ σημαντική ιδίως για το χρήστη που αξιοποιεί την εφαρμογή στο πεδίο και θέλει να εντοπίσει τη θέση του σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία του χάρτη. Η εφαρμογή επίσης υποστηρίζει μενού αναζήτησης, που επιτρέπει την πληκτρολόγηση τοποθεσιών, περιοχών, οικισμών, κλπ και τον ακριβή εντοπισμό τους πάνω στο χάρτη. Το συγκεκριμένο μενού βρίσκεται στο αριστερό πάνω μέρος του περιβάλλοντος διεπαφής.



Εικόνα 5.6: Διαδικτυακή εφαρμογή, περιγραφική πληροφορία επιπέδων

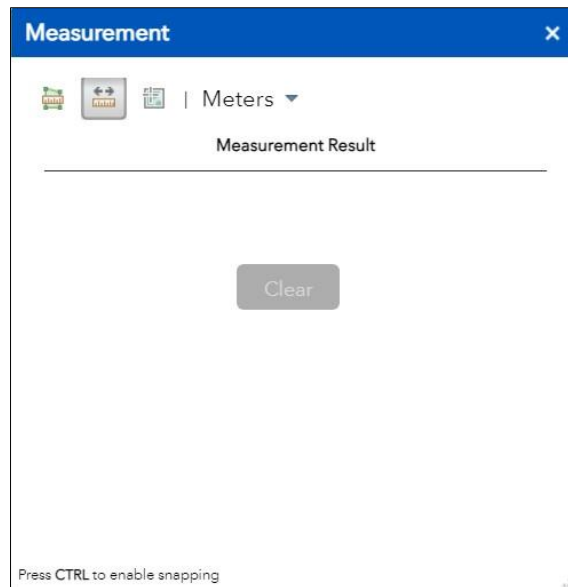
Στο κάτω μέρος της εφαρμογής υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης παραθύρου το οποίο περιέχει τη βάση δεδομένων του κάθε επιπέδου (βλέπε Εικόνα 5.6). Σε αυτό δίνεται η περιγραφική πληροφορία που είναι διαθέσιμη σε μορφή πίνακα. Από το

μενού option επιτρέπεται να επιλέξουμε συγκεκριμένες εγγραφές και να εστιάσουμε σε αυτές. Επίσης στήλες οι οποίες δεν χρειάζονται μπορούν να απενεργοποιηθούν και να μην είναι ορατές.



Εικόνα 5.7: Διαδικτυακή εφαρμογή, επιπλέον εργαλεία χρήστη.

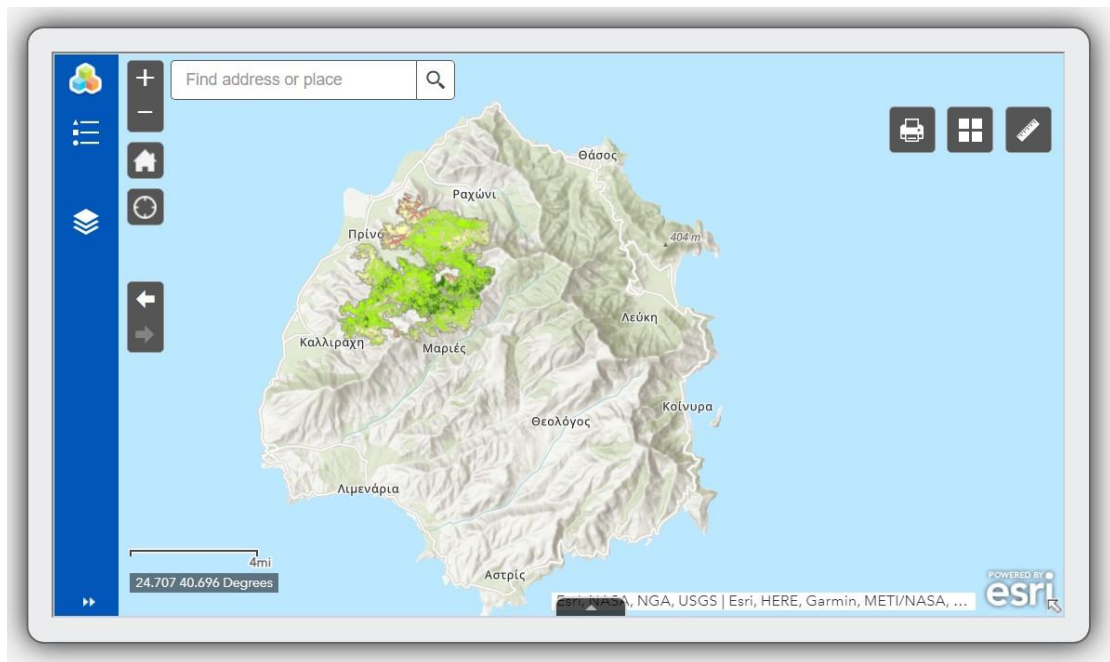
Η εφαρμογή διαθέτει επιπλέον τρία ακόμα εργαλεία τα οποία εντοπίζονται στο πάνω δεξί μέρος της διεπαφής (βλέπε Εικόνα 5.6). Το πρώτο μενού print επιτρέπει την εκτύπωση οποιουδήποτε στιγμιότυπου του χάρτη ή του συνόλου του. Παρέχει παράλληλα τη δυνατότητα αποθήκευσης της εικόνας σε πληθώρα μορφών όπως pdf, tiff, jpeg, png32, gif, κ.α. Το δεύτερο μενού, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.7, διαθέτει την επιλογή αλλαγής του υποβάθρου. Το υπάρχον υπόβαθρο του προκαθορισμένου τοπογραφικού χάρτη μπορεί να αντικατασταθεί με μία σειρά επιλογών, όπως δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης των τελευταίων 3-5 ετών. Το σύνολο αυτών των προϊόντων διατίθενται στις πλατφόρμες του arcGis και διαχειρίζονται από την αρμόδια εταιρεία ESRI.



Εικόνα 5.8: Διαδικτυακή εφαρμογή, εργαλείο μέτρησης απόστασης και επιφανείας.

Τέλος στο τελευταίο μενού στο πάνω δεξί μέρος, βρίσκεται το εργαλείο μέτρησης αποστάσεων ή επιφανειών. Ο χρήστης με το μενού απόστασης μπορεί να επιλέξει εντός του χάρτη δύο ή περισσότερα σημεία και πραγματοποιώντας διπλό κλικ, να λάβει τη μέτρηση του γραμμικού σχήματος που σχεδίασε (βλέπε Εικόνα 5.8). Επίσης, μέσω του μενού επιφανείας, επιλέγοντας τρία ή περισσότερα σημεία και πραγματοποιώντας διπλό κλικ, μπορεί να λάβει το εμβαδόν του πολυγώνου που σχεδίασε. Το εργαλείο παρέχει τη δυνατότητα αλλαγής των μονάδων μέτρησης και για τα δύο μενού.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η εφαρμογή αναπτύχθηκε έτσι ώστε να είναι προσβάσιμη και από κινητό ή tablet. Στην Εικόνα 5.9 απεικονίζεται η μορφή της διεπαφής της εφαρμογής, έτσι όπως παρουσιάζεται σε ένα κινητό smartphone. Η δυνατότητα αυτή κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική ιδίως για χρήστες οι οποίοι θέλουν να χρησιμοποιήσουν τη συγκεκριμένη εφαρμογή και τα δεδομένα της στο πεδίο.



Εικόνα 5.9: Απεικόνιση διεπαφής εφαρμογής σε κινητό τηλέφωνο (smartphone)

Συνοψίζοντας, μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής (Prinos wildfire restoration app) δίνονται οι ακόλουθες δυνατότητες στο χρήστη:

- Να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει τη θέαση των επιμέρους επιπέδων του χάρτη.
- Να δει την περιγραφική πληροφορία (έκταση-ποσοστό) κάθε ζώνη καταλληλότητας.
- Να δει το υπόμνημα κάθε επιπέδου
- Να αλλάξει το χαρτογραφικό υπόβαθρο
- Να επιλέξει τμήμα παραθύρου και να το εκτυπώσει
- Να μεταβεί άμεσα στην περιοχή ενδιαφέροντος
- Να μετρήσει αποστάσεις και εμβαδό

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

6.1. Συμπεράσματα

Η δυνατότητα αξιολόγησης και εντοπισμού των πιο κατάλληλων θέσεων για αποκατάσταση αμέσως μετά από μία δασική πυρκαγιά είναι πολύ σημαντική τόσο για το πληγέν φυσικό οικοσύστημα, όσο και για την τοπική κοινωνία. Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα μοντέλο αξιολόγησης πληγέντων περιοχών, ως προς την καταλληλότητα αναδάσωσής, βάση μίας σειράς οικολογικών και οικονομικών παραμέτρων. Τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν για την περιοχή μελέτης και οι χάρτες καταλληλότητας που δημιουργήθηκαν δείχνουν τη χρησιμότητα του μοντέλου και την εφαρμογή του στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Πρέπει να τονιστεί ότι το μοντέλο αξιολόγησης βασίστηκε σε μία σειρά μεταβλητών που αξιοποιήθηκαν και επιλέχθηκαν σύμφωνα με την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας (Χατζηστάθης και Ντάφης, 1989, Καρέτσος κ.α., 2012, WhiteandLong, 2019, Marsh, 2022). Η αποτίμηση φαινομένων βάση οικολογικών παραμέτρων είναι μία σύνθετη και πολύπλοκη διαδικασία. Η επιλογή των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν σχετίζεται με τη σημαντικότητα των συγκεκριμένων κριτηρίων στις διαδικασίες αποκατάστασης και σε αυτή βασίστηκε η μεταξύ τους ιεράρχηση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δύο σεναρίων και τις μικρές μεταξύ τους αποκλίσεις, όπως παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, συμπεραίνεται ότι η ιεράρχηση και ταξινόμηση των μεταβλητών ήταν ορθή. Η επανεκτέλεση εξάλλου του μοντέλου με μικρές διαφοροποιήσεις των τιμών βαθμολόγησης των κριτηρίων έδωσε παρόμοια αποτελέσματα. Περαιτέρω εξέλιξη της έρευνας, θα μπορούσε να υπάρξει με τη συμμετοχή ειδικών επιστημόνων των Διευθύνσεων Αναδασώσεων, μελετητών ή εργοληπτών έργων αποκατάστασης, σε ερωτηματολόγιο βαθμολόγησης και ταξινόμησης των σχετικών μεταβλητών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ΓΣΠ και η Τηλεπισκόπηση έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ανάλυση και στην εφαρμογή του μοντέλου αξιολόγησης, παρέχοντας πληθώρα εργαλείων για την επεξεργασία και προετοιμασία των δεδομένων. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας, η επεξεργασία των μεταβλητών και η εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων σε χαρτογραφική μορφή, βασίστηκαν τόσο στις δυνατότητες των ΓΣΠ, όσο και της Τηλεπισκόπησης. Η συνέργεια των δύο αυτών επιστημών στην παρούσα εργασία επέτρεψε την αξιολόγηση της περιοχής μελέτης και την εξαγωγή

λεπτομερών και χρηστικών αποτελεσμάτων. Στην αντίθετη περίπτωση, η απουσία αυτών των εργαλείων θα απαιτούσε χρονοβόρες και πολυδάπανες εργασίες πεδίου, αναλογικές μεθόδους επεξεργασίας που θα δυσχέραιναν και θα καθυστερούσαν σημαντικά την ολοκλήρωσή της.

Αξιίζει να σημειωθεί ότι η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία βασίστηκε κυρίως στην μετατροπή και επεξεργασία ψηφιδωτών αρχείων. Η ανάλυση που εφαρμόστηκε στο σύνολο των μεταβλητών βασίστηκε σε μέγεθος ψηφίδας 10x10μ. Η λεπτομέρεια που διακρίνεται στα χαρτογραφικά αποτελέσματα του μοντέλου αποδεικνύει ότι η επιλογή της συγκεκριμένης κλίμακας ήταν επιτυχής. Ο διαχειριστής της έκτασης μπορεί να εντοπίσει με μεγάλη ακρίβεια επιμέρους επιφάνειες και να σχεδιάσει τις εργασίες του λεπτομερώς. Εξάλλου, οι αναδασωτικές ενέργειες εφαρμόζονται στην πράξη σε αυτοτελής επιφάνειες που είναι πολύ μεγαλύτερες του ενός στρέμματος. Η ανάλυση των 100τ.μ. ανά εικονοστοιχείο είναι περισσότερο από επαρκής για τον προσδιορισμό των κατάλληλων περιοχών. Ένα πρόβλημα που εντοπίστηκε κατά την επεξεργασία με ψηφιδωτά αρχεία έχει να κάνει με την επιλογή των ψηφιδών στα άκρα της περιοχής μελέτης. Το σύνθετο όριο της πυρκαγιάς, είχε ως αποτέλεσμα αρκετές ψηφίδες να τέμνονται με την οριογραμμή της περιοχής μελέτης. Οι ψηφίδες αυτές λήφθηκαν υπόψη στην ανάλυση που ακολούθησε, παρόλο που ένα τμήμα τους βρισκόταν εκτός οριογραμμής. Η μεταβολή στο συνολικό εμβαδό της υπό εξέταση περιοχής ήταν πολύ μικρή καθώς η κλίμακα που εφαρμόστηκε των 10x10μ. ήταν πολύ λεπτομερής.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα των δύο διαφορετικών σεναρίων, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 5, συμπεραίνεται ότι και τα δύο οριοθετούν σχεδόν με παρόμοιο τρόπο τις «πολύ μεγάλης» και «πολύ μικρής» θέσεις καταλληλότητας. Παρόλο την ανάθεση διαφορετικών συντελεστών βαρύτητας μεταξύ των δύο σεναρίων, και τα δύο εντοπίζουν και προκρίνουν επιτυχημένα σημεία που ενδείκνυνται για αναδασώσεις. Ενδιαφέρον προκάλεσε η σύγκριση του δείκτη CTI (Compound Topographic Index), με τα τελικά αποτελέσματα των δύο σεναρίων, που δημιουργεί ερωτήματα και χρήζει περαιτέρω έρευνας. Ο δείκτης CTI έλαβε μεγαλύτερη βαρύτητα στο Σενάριο 1 έναντι του Σεναρίου 2 (συντελεστής βαρύτητας 0,096 έναντι 0,056), αναμένοντας στα τελικά αποτελέσματα η ενσωμάτωση του συγκεκριμένου κριτηρίου να είναι καλύτερη για το πρώτο Σενάριο. Αυτό ωστόσο, δεν ίσχυε για όλη την έκταση της περιοχής μελέτης, όπου στη «πολύ μικρή» ζώνη

καταλληλότητας παρατηρήθηκε ότι το Σενάριο 2 ενσωμάτωνε καλύτερα το συγκεκριμένο δείκτη.

Όσον αφορά το στόχο της διάχυσης των αποτελεσμάτων και τη διάδοση της παραγόμενης πληροφορίας, η δομή και ανάπτυξη της διαδικτυακής εφαρμογής κρίνεται ότι είναι ιδιαίτερα φιλική και δεν απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις χειρισμού.. Πρέπει να τονιστεί ότι η άμεση προσβασιμότητα στη συγκεκριμένη εφαρμογή, μέσω ενός συνδέσμου url, το οποίο μπορεί να αποσταλλεί με ένα ηλεκτρονικό μήνυμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις δημόσιες υπηρεσίες που συνήθως δεν διαθέτουν εξειδικευμένα λογισμικά. Ωστόσο, ο διαμοιρασμός της εφαρμογής και των δεδομένων της για να μπορέσει να είναι προσβάσιμη από κάθε ενδιαφερόμενο, πρέπει να δίνει δικαιώματα και να είναι ανοιχτή σε όλο τον παγκόσμιο ιστό. Το γεγονός αυτό εγείρει ίσως κάποια ζητήματα ασφαλείας, ειδικά όταν προστίθενται δεδομένα τα οποία δεν ανοιχτά προς το κοινό ή έχουν πνευματικά δικαιώματα.

6.2. Προτεινόμενες μελλοντικές κατευθύνσεις

Στην παρούσα εργασία το προτεινόμενο μοντέλο αξιολόγησης μίας καμένη περιοχής προς αποκατάσταση, αναπτύχθηκε βάση μίας σειρά μεταβλητών και εφαρμόστηκε για τη πυρκαγιά στον Πρίνο Θάσου. Ενδιαφέρον θα αποτελούσε η περαιτέρω μελέτη και διερεύνηση επιπρόσθετων κριτηρίων που μπορεί να επηρεάζουν την αξιολόγηση και την πορεία εξέλιξης της αποκατάστασης. Η έρευνα δηλαδή για πιθανές παραμέτρους, όπως π.χ. το υδατικό δυναμικό του εδάφους ή οι κλιματικές συνθήκες που θα μπορούσαν να ενταχθούν ως μεταβλητές στην αξιολόγηση της περιοχής. Παράλληλα, προτείνεται η επέκταση του μοντέλου που αναπτύχθηκε και σε άλλες περιοχές που μπορεί να μην διαθέτουν τα ίδια φυσιογεωγραφικά χαρακτηριστικά με αυτά του Πρίνου Θάσου. Η εφαρμογή του δηλαδή, σε μία περιοχή όπου δεν επικρατούν τα θερμόβια μεσογειακά είδη, όπως παραδείγματος χάρη στην πυρκαγιά της Πάρνηθας του 2007, όπου καταστράφηκε κυρίως το ψυχρόβιο είδος Κεφαλληνιακή ελάτης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση κρίνεται σημαντική η σωστή διερεύνηση των οικολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής και η πιθανή παραμετροποίηση των μεταβλητών του μοντέλου.

Επίσης, μακροπρόθεσμα θα μπορούσε να σχεδιαστεί και να εφαρμοστεί μία επιπλέον λειτουργία του προτεινόμενου μοντέλου, όπου θα λαμβάνει υπόψη το κόστος της αποκατάστασης και θα προτείνει ανάλογα, τις περιοχές προς δράση. Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, το κόστος των εργασιών αποκατάστασης είναι αρκετά αυξημένο και για το λόγο αυτό τα προγράμματα αναδασώσεων πρέπει να καθορίζουν με σαφήνεια τις εκτάσεις προς ένταξη. Με την παραπάνω λειτουργία ο διαχειριστής θα είναι σε θέση, ορίζοντας το διαθέσιμο κονδύλι, να λαμβάνει τις ακριβείς θέσεις και εμβαδά των ενδεικνυόμενων εκτάσεων αποκατάστασης, αναλόγως του ποσού που διαθέτει. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στο σχεδιασμό λήψης αποφάσεων και να έχει ιδιαίτερη απήχηση στις αρμόδιες υπηρεσίες, την τοπική αυτοδιοίκηση ή τους φορείς διαχείρισης της περιοχής.

Ως μελλοντική κατεύθυνση θα μπορούσε επίσης να προταθεί η περαιτέρω εξέλιξη της διαδικτυακής εφαρμογής που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της εργασίας. Ένα χρήσιμο εργαλείο θα μπορούσε να επιτρέπει την εισαγωγή νέων δεδομένων και την επεξεργασία τους στο διαδικτυακό ΓΣΠ, για κάθε μία μεταβλητή. Ο χρήστης θα μπορεί δηλαδή να εισάγει τα επεξεργασμένα στοιχεία που διαθέτει για μία άλλη περιοχή ενδιαφέροντος και το μοντέλο να του εξάγει τις προτεινόμενες θέσεις αποκατάστασης σύμφωνα με τα Σενάρια που αναπτύχθηκαν. Ενδιαφέρον θα αποτελούσε σε δεύτερο χρόνο και η προσθήκη επιπλέον λειτουργιών, που θα περιλαμβάνουν προτάσεις μεθόδων και πρακτικών αποκατάστασης, όπως παραδείγματος χάρη επιλογή κατάλληλου φυτευτικού υλικού.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωση βιβλιογραφία

Aguirre-Salado, Carlos A., Liliana Miranda-Aragón, MarínPompa-García, Humberto Reyes-Hernández, Carlos Soubervielle-Montalvo, Jorge A. Flores-Cano, and Heriberto Méndez-Cortés, (2017). *Improving Identification of Areas for Ecological Restoration for Conservation by Integrating USLE and MCDA in a GIS-Environment: A Pilot Study in a Priority Region Northern Mexico*. ISPRS International Journal of Geo-Information 6, no. 9: 262

Aguir F.C., Rodrigues C., Pina J.P., SoaresP., (2021). *Regeneration of Riparian and Maritime Pine Forests after a Large Wildfire on the Largest Public Forest of Portugal*. Forests 2021,12, 477.

Ali, Arif, M., Louche, J., Duchemin, M., Plassard, C., (2014). *Positive growth response of Pinus Pinaster seedlings in soils previously subjected to fertilization and irrigation*. Forest Ecology and management 318, (62-70).

Apostolidou, E. C., (2007). *Influence of topography on the incoming solar radiation*. Msc Thesis, National Technical University, Athens. 151 p. (in Greek with English summary)

Arciniegas G., Janssen R., (2012). *Spatial decision support for collaborative land use planning workshops*. Landscape and Urban Planning 107: 332-342

Atun R., Kalkan K., Gürsoy Ö., (2020). *Determining The Forest Fire Risk with Sentinel 2 Images*. Turkish Journal of Geosciences (Vol. 1):Issue 1

Barreira Rui, Rita Rodrigues, Amaya Asiain, Diana Colomina, Amalia Maroto, Celsa Peiteado, Enrique Segovia, Luis Suárez, Daniel Vallauri, Antonio Pollutri, Constantinos Liarikos, Panagiota Maragou, EliasTziritis, Selin Devranoglu Tavsell, Sedat Kalem, Mustafa Önder Ersin, (2019). *The Mediterranean burns: WWF's Mediterranean proposal for the prevention of rural fires*. WWF 2019.

Beven, K.J., Kirkby, M.J., (1979). *A physically based, variable contributing area model of basin hydrology*. Hydrology Science Journal: 24, 43–69.

Biot, Yves, (2009). *Ηζωήμαςμετιςδασικέςπυρκαγιές: Ηάποψητηςεπιστήμης*. European Forest Institute Discussion Paper 15, 2009

Bonazountas M., Kallidromitou D., Kassomenos P., Passas N., (2007). *A decision support system for managing forest fire casualties*. Journal of Environmental Management 84:412–418

Boydak Melih, (2004). *Silvicultural characteristics and natural regeneration of Pinus brutia – a review*. Plant Ecology 171: 153-163

Castro Jorge, (2021). *Post-fire Restoration of Mediterranean Pine Forests*. In Gidi Ne'eman, Yagil Osem (Eds). *Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*. (Managing Forest Ecosystems, 38), Springer p.537-565

Chompuchan Chuphan and Lin Chao-Yuan, (2017). *Assessment of forest recovery at Wu-Ling fire scars in Taiwan using multi-temporal Landsat imagery*. *Ecological Indicators*. 79. 196-206.

Chou, Y. H., (1992). *Management of Wildfires with a geographical information system*. *International Journal of Geographical Information Systems* Vol 6(2):pp 123-40

Chu, T., Guo, X., Takeda, K., (2017) *Effects of Burn Severity and Environmental Conditions on Post-Fire Regeneration in Siberian Larch Forest*. *Forests* 2017, 8, 76

Colson, D., G. P. Petropoulos and K. P. Ferentinos, (2018). *Exploring the potential of sentinels-1 & 2 of the Copernicus mission in support of rapid and cost-effective wildfire assessment*. *International Journal of Applied Earth and Observation Geoinformation*. vol. 73, pp. 262-276

Conor S., J. Araujo, A. Gomes, S. Gomes, M. Leira, M. da Conceicao Freitas, C. Andrade, C. Morales-Molino, F. Franco-Múgica, Rufus Akindola, Boris Vanniere, (2021). *Drought, fire and grazing precursors to large-scale pine forest decline*. *Diversity and Distributions*. 27 (2021)

Daskalakou, E.N., and C.A. Thanos, (2004). *Postfire regeneration of Aleppo pine - the temporal pattern of seedling recruitment*. *Plant Ecology* 171:81-89.

Di Castri, F., Mooney, A.H., (1973). *Mediterranean Type Ecosystems. Origin and Structure*, *Ecological Studies* 7, Springer-Verlag, Berlin, 1973

Doerr Stefan and Cristina Santin, (2016) *Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world*. *Phil. Trans. R. Soc. B* 371: 20150345.

Drobne Samo and Anka Lisec, (2009). *Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging*. *Informatica* 33(2009) 459–474

Ehrgott Matthias, Jose Rui Figueira, Salvatore Greco, (2010). *Trends in Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer 2010

Eimil-Fraga, C., Rodriguez-Soalleiro, R., Sanchez-Rodriguez, F., Perez-Cruzado, C., Alvarez-Rodriguez E., (2014). *Significance of bedrock as a site factor determining nutritional status and growth of maritime pine*. *Forest Ecology and Management* 331: 19-24.

Epp Helmut and Rick Lanoville, (1996). *Satellite data and geographic information systems for fire and resource management in the Canadian arctic*. Geocarto International, 11:2, 97-103

Evangelides, Christos and Nobajas, Alexandre, (2020). *Red-Edge Normalised Difference Vegetation Index (NDVI705) from Sentinel-2 imagery to assess post-fire regeneration*. Remote Sensing Applications Society and Environment. Vol.17, 2020, 100283

Fernandez-Garcia, V., Santamarta, M., Fernandez-Manso, A., Quintano, C., Marcos, E., Calvo, E., (2018). *Burn severity metrics in fire-prone pine ecosystems along a climatic gradient using Landsat imagery*. Remote Sensing and Environment 206, 205–217

Fernandez-Guisuraga, Jose Manuel, Suarez-seoane, Susana & Calvo, Leonor, (2019). *Modeling Pinus pinaster forest structure after a large wildfire using remote sensing data at high spatial resolution*. Forest Ecology and Management. 446. 257-271

Fernandez-Manso Alfonso, Carmen Quintano, Dar A. Roberts, (2016). *Burn severity influence on post-fire vegetation cover resilience from Landsat MESMA fraction images time series in Mediterranean forest ecosystems*. Remote Sensing of Environment 184 (2016) p.112–123

Fernández-Manso A., Quintano C., Suarez-Seoane S., Marcos E., Calvo L., (2021) *Remote Sensing Techniques for Monitoring Fire Damage and Recovery of Mediterranean Pine Forests: Pinus pinaster and Pinus halepensis as Case Studies*. In: Ne'eman G., Osem Y. (eds) Pines and Their Mixed Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. Managing Forest Ecosystems, vol 38. Springer, Cham.

Fernandez-Anez Nieves et al., (2021) *Current Wildland Fire Patterns and Challenges in Europe: A Synthesis of National Perspectives*. Air, Soil and Water Research 14(3)

Fischer Sarah, Stefan Hanf, Torsten Frosch, Gerd Gleixner, Jürgen Popp, Susan Trumbore, Henrik Hartmann, (2015). *Pinus sylvestris switches respiration substrates under shading but not during drought*. New Phytologist 207:542-550

García-Llamas Paula, Susana Suárez-Seoane, José Manuel Fernández-Guisuraga, Víctor Fernández-García, Alfonso Fernández-Manso, Carmen Quintano, Angela Taboada, Elena Marcos, Leonor Calvo., (2019). *Evaluation and comparison of Landsat8, Sentinel-2 and Deimos 1 remote sensing indices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems*. International Journal of Applied Earth Obs Geoinformation 80 (2019) 137-144

Gessler, P.E., Moore, I.D., McKenzie, N.J. and Ryan, P.J., (1995). *Soil-landscape modeling and spatial prediction of soil attributes*. International Journal of GIS, 9(4):421-432.

Guang Yang, Dongdong Han, Xueying Di, Long Sun and YuetaiWeng, (2021). *Quantifying fire severity: a brief review and recommendations for improvement*. Ecosystem Health and Sustainability 7:1

Hualin Xie, Guanrong Yao, Guiying Liu, (2015). *Spatial evaluation of the ecological importance based on GIS forenvironmental management: A case study in Xingguo county of China*. Ecological Indicators 51 p.3-12

Haider W., Knowler D., Trenholm R., Moore J., Bradshaw P., Lertzman K., (2019) *Climate change, increasing forest fire incidence, and the value of visibility: Evidence from British Columbia, Canada*. Canadian. Journal of Forest Research, 49 (10), 1242

Ireland, G. and G.P. Petropoulos, (2015). *Exploring the Relationships Between Post-fire Vegetation Regeneration Dynamics, Topography and Burn Severity: a case study from the Montane Cordillera Ecozones of Western Canada*. Applied Geography, 56, 232-248,

Jay D. Miller and AdreaE.Thode, (2007) *Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)*. Remote Sensing of Environment 109 (2007) p.66-80

Jeongmook Park, Woodam Sim and Jungsoo Lee, (2018). *Evaluation of Suitable REDD+ Sites Based on Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA): A Case Study of Myanmar*. Journal of Forest and Environmental Science Vol. 34, N. 6, pp:461-471

Kakouros, P., and S. Dafis, (2010). *Guidelines for restoration of Pinus nigra forests affected by fires through a structured approach. Version 2*. Greek Biotope-Wetland Centre. Thermi. 27 p.

Kalabokidis K., Xanthopoulos G., Moore P., Caballero D., Kallos G., Llorens J., Roussou O., Vasilakos C., (2011). *Decision support system for forest fire protection in the Euro-Mediterranean region*. EuropeanJournalofForestResearch131(3): 597-608

Kemppinen, J., Niittynen, P., Riihimäki, H., Luoto, M., (2018). *Modelling soil moisture in a high-latitude landscape using LiDAR and soil data*. Earth Surf. Process. Landforms 43, 1019–1031.

Key, C. H., and N. C. Benson, (2006). *Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station General Technical Report, RMRS-GTR-164-CD., Ogden, UT.

Kim, Y., Jeong, M.-H., Youm, M., Kim, J., Kim, J., (2021). *Recovery of Forest Vegetation in a Burnt Area in the Republic of Korea: A Perspective Based on Sentinel-2 Data*. Applied Science. 2021, 11, 2570.

Kimberley Davis, Solomon Dobrowski, Philip Higuera, Zachary Holden, Thomas Veblen, Monica Rotherd, Sean Parks, Anna Sala, and Marco Manetah, (2019).

Wildfires and climate change push low-elevation forests across a critical climate threshold for tree regeneration. PNAS March 26, 2019: 116 (13) 6193-6198

Kopecký Martin, Martin Macek, Jan Wild, (2021). *Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition.* Science of the total environment 757 (2021) 143785

Long J.W., Quinn-Davidson L.N., Skinner C.N., (2014) *Science synthesis to support socioecological resilience in the Sierra Nevada and southern Cascade Range.* General technical report, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. PSW-GTR-247

López García M.J., and V., Caselles (1991). *Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data.* Geocarto International, 6:1, 31-37

Macek, M., Kopecký, M., Wild, J., (2019). *Maximum air temperature controlled by landscape topography affects plant species composition in temperate forests.* Landscape Ecology: 34,2541–2556.

Malczewski, Jacek, (2010). *Multiple Criteria Decision Analysis and Geographic Information Systems.* p.369-397 *In Trends in Multiple Criteria Decision Analysis.* Edited by Matthias Ehrgott, Jose' Rui Figueira, Salvatore Greco published by Springer

Martin-Alcon S. and Lluís Coll, (2016). *Unraveling the relative importance of factors driving post-fire regeneration trajectories in non-serotinous Pinus nigra forests.* Forest Ecology and Management 361 (2016) 13-22

Marsh C., D. Krofcheck, M.D. Hurteau, (2022). *Identifying microclimate tree seedling refugia in post-wildfire landscapes.* Agricultural and Forest Meteorology, Volume 313,(2022), 108741

Marjokorpi Antti, Riikka Otsamo, (2006). *Prioritization of Target Areas for Rehabilitation: A Case Study from West Kalimantan, Indonesia.* Restoration Ecology Vol. 14, No. 4, pp. 662–673

Matin, M.A., Chitale, V.S., Murthy, M.S.R., Uddin, K., Bajracharya, B., Pradhan, S., (2017). *Understanding Forest Fire Patterns And Risk In Nepal Using Remote Sensing, Geographic Information System And Historical Fire Data.* International Journal of Wildland Fire, 26, 276-286.

McGinnis T.W., Keeley J.E., Stephens S.L., Roller G.B., (2010). *Fuel buildup and potential fire behavior after stand-replacing fires, logging fire-killed trees and herbicide shrub removal in Sierra Nevada forests.* Forest Ecology Management 260:22–35

- Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A., and Petersen, G.A., (1993). *Terrain attributes: estimation methods and scale effects*. In *Modelling Change in Environmental Systems*, edited by A.J. Jakeman, M.B. Beck and M.McAleer (London: Wiley), pp. 189 - 214.
- Mouflis George, Ioannis Z. Gitas, Stavroula Iliadou, George H. Mitri, (2008). *Assessment of the visual impact of marble quarry expansion(1984–2000) on the landscape of Thasos island, NE Greece*. *Landscape and Urban Planning* 86 (2008) 92–102
- Pausas, J. G., Keeley, J. E., (2019). *Wildfires as an ecosystem service*. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), 289–295
- Petropoulos, G.P., H.M. Griffiths and D. Kalivas, (2014). *Quantifying Spatial and Temporal Vegetation Recovery Dynamics Following a Wildfire Event in a Mediterranean Landscape Using EO Data and GIS*. *Applied Geography*, 50, 120-131
- Petropoulos, G., Kalivas, D., Georgopoulou, I. A., & Srivastava, P. K. (2015). *Urban Vegetation Cover Extraction from Hyperspectral Remote Sensing Imagery & GIS Spatial Analysis Techniques: The Case of Athens, Greece*. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1), 1-18
- Petroselli Andrea, Vessella Federico, Cavagnuolo Lucia, Piovesan Gianluca, Schirone Bartolomeo (2013). *Ecological behavior of Quercus suber and Quercus ilex inferred by topographic wetness index (TWI)*. *Springer Trees* (Berlin, West), 2013, Vol.27 (5), p.1201-1215
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W., (1973). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. In 3rd ERTS symposium, NASA SP-351 (pp. 309-317)
- Ruiz-Gallardo, José & Castaño, Santiago and Calera, Alfonso, (2004). *Application of Remote Sensing and GIS to Locate Priority Intervention Areas after Wildland Fires in Mediterranean Systems: A Case Study from South-Eastern Spain*. *International Journal of Wildland Fire*. 13. 241-252.
- Saaty, T., (1987) *The analytic Hierarchy Process: What it is and how it is used*. *Math Modelling*, 9:161-176
- Saaty, T.L. & Vargas, L.G., (1987). *Uncertainty and Rank Order in the Analytic Hierarchy Process*. *European Journal of Operational Research*, 32(1):107-117.
- Sakellariou Stavros, Athanassios Sfougaris, Olga Christopoulou, (2021). *Review of Geoinformatics-Based Forest Fire Management Tools for Integrated Fire Analysis*. *Polish Journal of Environmental Studies* 2021:30(6):5423–5434

San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Liberta`, G., Artes Vivancos, T., Jacome Felix Oom, D., Branco, A., De Rigo, D., Ferrari, D., Pfeiffer, H., Grecchi, R., Nuijten, D., Onida, M. and Löffler, P., (2021). *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2020*, EUR 30862 EN. Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2021

Schulz, J. J., and B. Schroder, (2017). *Identifying suitable multifunctional restoration areas for Forest Landscape Restoration in Central Chile*. Ecosphere 8(1)

Serra-Burriel, F., Delicado, P., Cucchiatti, F. M., (2021). *Wildfires Vegetation Recovery through Satellite Remote Sensing and Functional Data Analysis*. Mathematics 2021, 9, 1305.

Shive K.L., Preisler H.K., Welch K.R., Safford H.D., Butz R.J., O'Hara K.L., Stephens S.L., (2018) *From the stand scale to the landscape- scale: predicting the spatial patterns of forest regeneration after disturbance*. Ecological Applications Vol.28 p.1626-1639

Silva Victor, Kaline de Mello, Carlos Alberto Vettorazzi, Danilo Ribeiro da Costa, Roberta Avena Valente, (2017). *Priority areas for forest conservation, aiming at the maintenance of water resources, through the multicriteria evaluation*. Revista Árvore. 2017: 41(1)

Stippa, S.R., K.P. Ferentinos, G. P. Petropoulos, (2019). *An Exploration of the Panther Mountain Crater Impact Using Spatial Data and GIS Spatial Correlation Analysis Techniques*. Chapter 10, pp: 111-123, in "Techniques for Disaster Risk Management and Mitigation". Publisher AGU-Wiley.

Turco Marco, Juan José Rosa Cánovas, Joaquín Bedia, Sonia Jerez, Juan Pedro Montávez, Maria Carmen Llasat y Antonello Provenzale, (2018). *Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate-fire models*. Nature Communications, 2 de octubre de 2018

Veraverbeke, S., Verstraeten, W. W., Lhermitte, S., & Goossens, R., (2010). *Evaluating Landsat Thematic Mapper spectral indices for estimating burn severity of the 2007 Peloponnese wildfires in Greece*. International Journal of Wildland Fire, 19, 558-569.

Veraverbeke S., I. Gitas, T. Katagis, A. Polychronaki, B. Somers, R. Goossens, (2012). *Assessing post-fire vegetation recovery using red-near infrared vegetation indices: Accounting for background and vegetation variability*. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 68, 28-39

Vogler Kevin, Ager Alan, Day Michelle, Jennings Michael and Bailey John, (2015). *Prioritization of Forest Restoration Projects: Tradeoffs between Wildfire Protection, Ecological Restoration and Economic Objectives*. Forests. 6. 4403-4420

Vukomanovic Elena and Toddi Steelman, (2019). *A Systematic Review of Relationships Between Mountain Wildfire and Ecosystem Services*. Landscape Ecology 34, 1179-1194

White, A.M., Long, J.W., (2019). *Understanding ecological contexts for active reforestation following wildfires*. New Forests 50 (1), 41–56

Wu, M., Knorr, W., Thonicke, K., Schurgers, G., Camia, A., Arneth, A., (2015). *Sensitivity of burned area in Europe to climate change, atmospheric CO₂ levels, and demography: A comparison of two fire-vegetation models*. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 120(11), 2256–2272.

Xanthopoulos, G., P. Fernandes, C., Calfapietra, (2012). *Fire hazard and flammability of European forest types*pp. 79-92. In Moreira, F., M. Arianoutsou, P. Corona, and J. De las Heras (Eds.). *Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests*. Springer, Heidelberg. p.329

Xu, X.-L., Ma, K.-M., Fu, B.-J., Song, C.-J., & Liu, W., (2008). *Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China*. Catena, 75(2), 138–145.

Zagas T., Ganatsas P., Tsitsoni T., Tsakalimi M., (2004) *Post fire regeneration of Pinus halepensis Mill stands in the Sithonia peninsula, northern Greece*. Plant Ecology, 171:91-99

Ελληνική βιβλιογραφία

Αθανασιάδης, Ν., (1986). *Δασική Βοτανική (Δέντρα και Θάμνοι των Δασών της Ελλάδας) Μέρος II*. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

Αθανασιάδης, Ν., (1995). *Δασική Φυτοκοινωνιολογία*. Θεσσαλονίκη, Γιαχούδη - Γιαπούλη

Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη, Μ., και Δ. Καζάνης, (2012). *Ο οικολογικός ρόλος της φωτιάς στα χερσαία οικοσυστήματα της Ελλάδας*. σελ. 103-116 στο Α.Χ. Παπαγεωργίου, Γ. Καρέτσος και Γ. Κατσαδωράκης (επιμ. έκδοσης). *Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση*. WWF Ελλάς, Αθήνα.

Βράνια Ελευθερία (2012). *Χαρτογράφηση και παρακολούθηση της επανεμφάνισης βλάστησης μετά από πυρκαγιά με τη χρήση ΓΣΠ και Τηλεπισκόπησης*. Μεταπτυχιακή διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Ελευθεριάδης Ν., Σ., Βέργος και Τ., Τζώρτζη, (2001). *Σχεδιασμός μετά την καταστροφή από πυρκαγιά στα δάση*. σελ. 211-214. *Επιστημονικό Συνέδριο Αποκατάσταση Καμένων Εκτάσεων*. Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, Αθήνα 13-14 Δεκεμβρίου 2001

Ζογκαρης, Σ. & Βλάμη, Β., (2011). *Προτάσεις οικοτουριστικής ανάδειξης με σκοπό τη διατήρηση της παράκτιας βιοποικιλότητας της Θάσου*. Δημοσίευτη έκθεση προς Δήμο Θάσου & Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. σελ. 25. Αθήνα.

Καρέτσος Γ., Μπορλετσικας Αθ., Μάντακας Γ., (2012). *Αποκατάσταση μεσογειακών δασικών οικοσυστημάτων*. Σελ. 245-260 στο Α.Χ. Παπαγεωργίου, Γ. Καρέτσος και Γ. Κατσαδωράκης (επιμ. έκδοσης). *Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση*. WWF Ελλάς, Αθήνα.

Κοράκης, Γ., (2012). *Η χλωρίδα και η βλάστηση των δασών της Ελλάδας*. Σελ. 25-39 στο Α.Χ. Παπαγεωργίου, Γ. Καρέτσος και Γ. Κατσαδωράκης (επιμ. έκδοσης). *Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση*. WWF Ελλάς, Αθήνα.

Μιχόπουλος Π. και Οικονόμου Αν., (2012). *Αποκατάσταση: Το έδαφος στα δάση*. σελ. 77-89 στο Α.Χ. Παπαγεωργίου, Γ. Καρέτσος και Γ. Κατσαδωράκης (επιμ. έκδοσης). *Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση*. WWF Ελλάς, Αθήνα.

Μπαλούτσος, Γ., (2009). *Μέτρα εξοικονόμησης νερού από τις βροχές στα βουνά της χώρας μας: Μια πρώτη γραμμή άμυνας κατά των επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος*. Περιοδικό ΕΘΙΑΓΕ 37:20-25.

Νάκος Γ., (1991). *Ταξινόμηση, χαρτογράφηση και αξιολόγηση των γαιών: Τεχνικές Προδιαγραφές*. Υπουργείο Γεωργίας

Ντάφης, Σ., (1986). *Δασική Οικολογία*. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη Θεσσαλονίκη.

Ξανθόπουλος Γ., Γκαγκάρη Π., Λυριντζής Γ., Μπαλούτσος Γ., (2001). *Διαχείριση καμένης ξυλείας μετά την πυρκαγιά*. Πρακτικά Επιστημονικού Συνεδρίου: Αποκατάσταση καμένων εκτάσεων. 13-14 Δεκεμβρίου 2001. Αθήνα

Παπαμίχος Νικ., (1990). *Δασικά Εδάφη: Σχηματισμός, Ιδιότητες, Συμπεριφορά*. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Θεσσαλονίκη.

Παρχαρίδης, Ι., (2015). *Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

Στάμου, Ν., (2001). *Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών*. Πρακτικά Επιστημονικού Συνεδρίου: Αποκατάσταση καμένων εκτάσεων. 13-14 Δεκεμβρίου 2001. Αθήνα

Σφήκας, Γ.,(2001). *Οι βοτανικοί παράδεισοι της Ελλάδας*. Εκδόσεις Μ.Τούμπη ΑΕ.

Χαλκιάς, Χ., (2015). *Γεωγραφική Ανάλυση με την αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής* [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών

Χριστακόπουλος Π., Ιωάννης Χατζόπουλος, Δημήτριος Παρώνης, Απόστολος Άνδρου, (2007). *Προσδιορισμός των προς αναδάσωση εκτάσεων στον Εθνικό Δρυμό Σουνίου με τη χρήση μοντέλων, Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και δορυφορικών εικόνων IKONOS*, 13ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο Καστοριά, 7-10 Οκτ. 2007

Διαδίκτυο

Ιστότοπος JRC της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Ανακτήθηκε στις 7 Δεκ. 2021 από: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/>

Open Geospatial Consortium Ανακτήθηκε στις 06/12/2021 από: https://en.wikipedia.org/wiki/Open_Geospatial_Consortium

Νήσος Θάσος Wikipedia. Ανακτήθηκε στις 03/01/2022 από: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%AC%CF%83%CE%BF%CF%82>

Ιστότοπος Global wildfire Information System. Ανακτήθηκε στις 7 Δεκ. 2021 από: <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/>

Ιστότοπος του Copernicus της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Ανακτήθηκε στις 7 Δεκ. 2021 από: <https://emergency.copernicus.eu/>

Siberian Wildfire Could Become Biggest in Recorded History – Greenpeace 2021. Ανακτήθηκε στις 14/12/2021 από <https://www.themoscowtimes.com/2021/08/12/siberian-wildfire-could-become-biggest-in-recorded-history-greenpeace-a74762>

Καταστροφικές πυρκαγιές. Έθνος. Ανακτήθηκε στις 15/12/2021 από: <https://www.ethnos.gr/greece/article/20348/oipiokatastrofikespyrkagiessthnelladastorymap>

Οικοσκόπιο, 2021. Ανακτήθηκε στις 10/12/2021 από: <http://www.oikoskopio.gr/map/>

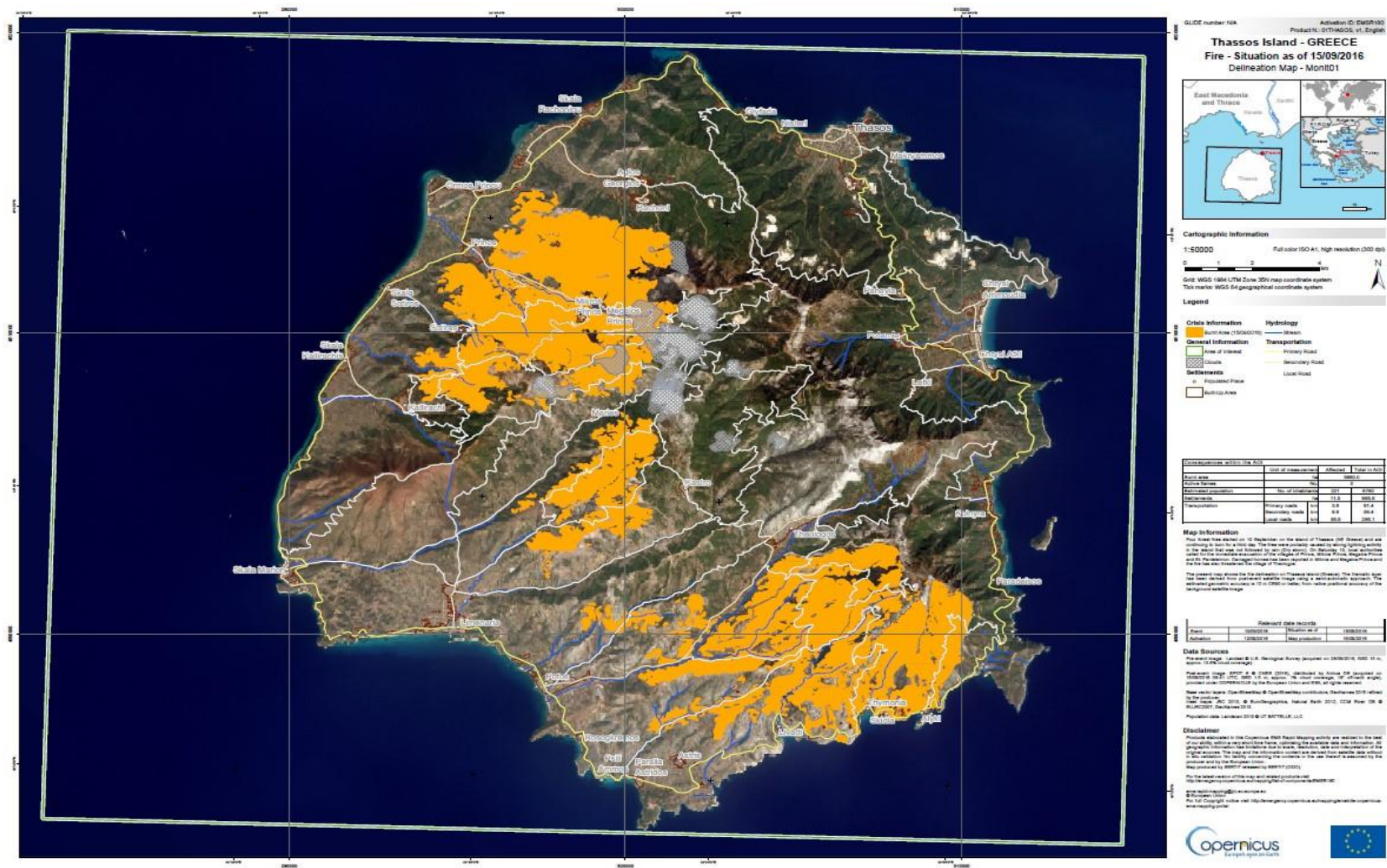
Natural history of Thasos Ανακτήθηκε στις 27/12/2021 από: https://yrefail.net/Thasos/vascular_plants.htm

Γεωλογικά χαρακτηριστικά Θάσου Ανακτήθηκε στις 27/12/2021 από: <https://melissokomianet.gr/ta-dasi-tis-thasou/>

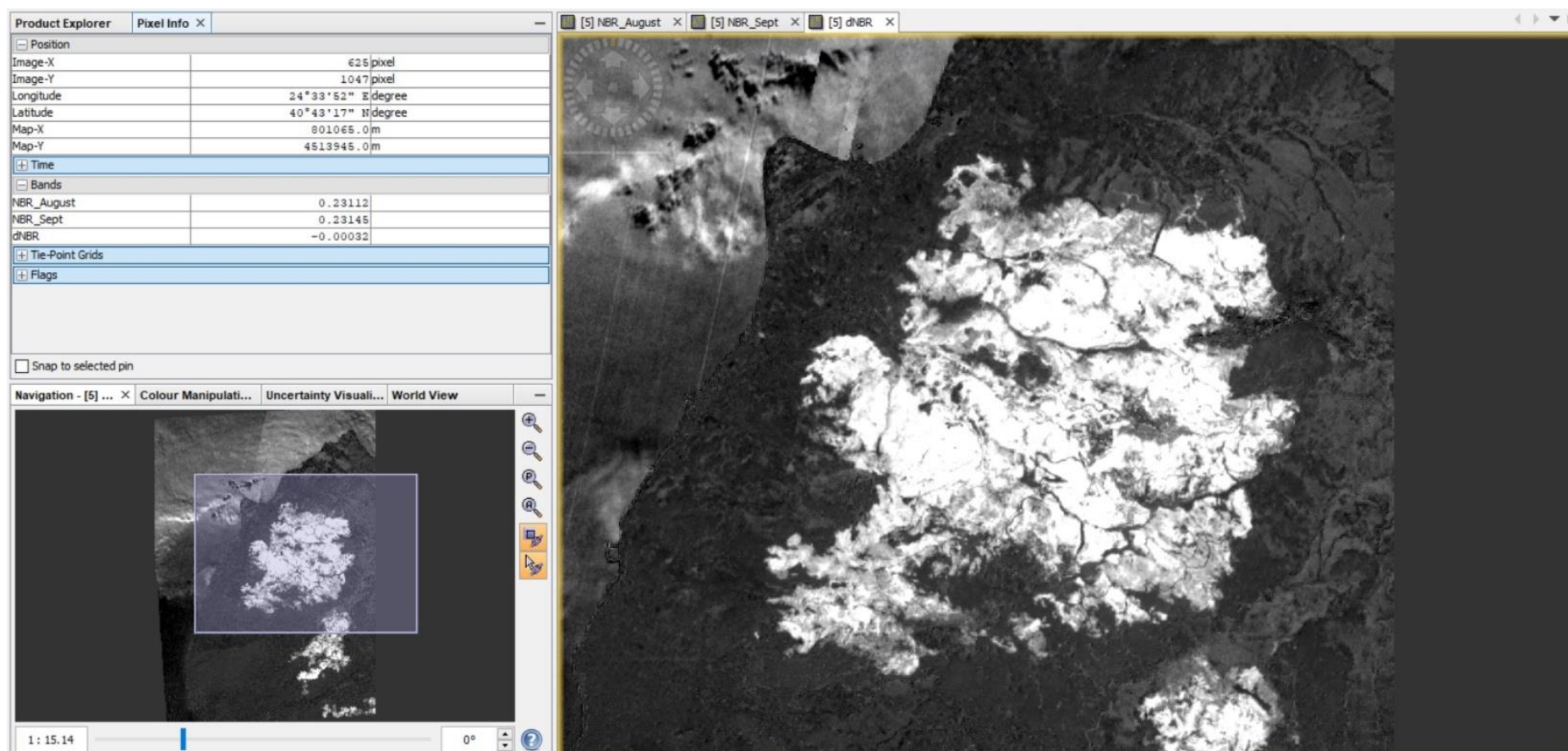
Climatechange IPCC. Ανακτήθηκε στις 10/12/2021 από: <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

I. Προϊόν Rapid Mapping EMSR180, του προγράμματος Copernicus



II. Κανάλια dNBR, NBRpre-fire, NBRpost-fire, της πυρκαγιάς Πρίνου Θάσου, στο λογισμικό Snap.



III. Κωδικοποίηση Ταξινόμησης, Χαρτογράφησης και αξιολόγησης γαιών -
Υπουργείο Γεωργίας (Νάκος, 1991)

Υ Π Ο Υ Ρ Γ Ε Ι Ο Γ Ε Ω Ρ Γ Ι Α Σ



ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ, ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΓΑΙΩΝ:
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Γ. ΝΑΚΟΣ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ
Τέρμα Αλκράνας, 115.28 ΑΘΗΝΑ

ΑΘΗΝΑ, 1991

IV. Υπόμνημα βάθους και κλίσης εδάφους, Ταξινόμησης, Χαρτογράφησης και αξιολόγησης γαιών -Υπουργείο Γεωργίας (Νάκος, 1991, σ.21)

ΧΑΡ/ΣΜΟΙ ΒΑΘΟΥΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΚΛΙΣΕΩΝ ΒΑΘΟΥΣ & ΚΛΙΣΕΩΝ			ΧΑΡ/ΣΜΟΙ ΒΑΘΟΥΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΚΛΙΣΕΩΝ ΒΑΘΟΥΣ & ΚΛΙΣΕΩΝ		
	ΒΑΘΥ (>30 CM)	ΑΒΑΘΕΙ (5-30 CM)	ΒΡΑΧΟΣ (< 5 CM)		ΒΑΘΥ (>30 CM)	ΑΒΑΘΕΙ (5-30 CM)	ΒΡΑΧΟΣ (< 5 CM)
	ΕΛΑΦΡΕΣ (< 40 %)	ΜΕΤΡΙΕΣ (40-70 %)	ΑΠΟΤΟΜΕΣ (> 70%)		ΕΛΑΦΡΕΣ (< 40 %)	ΜΕΤΡΙΕΣ (40-70 %)	ΑΠΟΤΟΜΕΣ (> 70 %)
1 (βαθό) (ελαφρές)	100	0	0	6 (αβαθείς+βράχος) (μέτριες+απότομες)	0	70	30
	90	10	0		0	60	40
	90	0	10		10	60	30
	80	20	0		10	50	40
	80	0	20		20	40	40
	80	10	10		20	50	30
2 (βαθό+αβαθείς) (ελαφρές+μέτριες)	70	30	0	7 (βράχος+βαθό) (απότομες+ελαφρές)	40	20	40
	70	20	10		30	0	70
	60	40	0		20	10	70
	60	30	10		40	0	60
	60	20	20		30	10	60
	50	40	10		20	20	60
3 (βαθό+βράχος) (ελαφρές+απότομες)	50	30	20	8 (βράχος+αβαθείς) (απότομες+μέτριες)	40	10	50
	50	0	50		30	20	50
	40	30	30		30	30	40
	70	0	30		0	30	70
	70	10	20		10	20	70
	60	0	40		0	40	60
4 (αβαθείς+βαθό) (μέτριες+ελαφρές)	60	10	30	9 (βράχος) (απότομες)	10	30	60
	50	10	40		10	40	50
	50	20	30		10	30	50
	50	0	50		20	30	50
	40	30	30		0	50	50
	30	70	0		0	0	100
5 (αβαθείς) (μέτριες)	30	60	10	10 (απότομες)	10	0	90
	40	50	10		0	10	90
	30	50	20		20	0	80
	40	40	20		0	20	80
	30	40	30		10	10	80
	0	100	0				
6 (αβαθείς) (μέτριες)	0	90	10				
	10	90	0				
	20	80	0				
	0	80	20				
	10	80	10				
	10	70	20				
	20	70	10				
	20	60	20				

V. Χάρτης ισοϋψών καμπύλων καμένης περιοχής Πρίνου Θάσου

