



## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

### **«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ»**

Της μεταπτ. φοιτήτριας,

**Βασιλικής Δημητρίου**

2025

**Εξεταστική Επιτροπή:**

Βουλγαράκης Απόστολος

Κουτρούλης Αριστείδης

Δάρας Τρύφων

**Χανιά, 23/05/2025**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 Οι πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο.....	1
1.1.1 Τα διαφορετικά στάδια μιας πυρκαγιάς.....	3
1.1.2 Αρνητικές επιπτώσεις των πυρκαγιών .....	5
1.1.3 Θετικές επιπτώσεις των πυρκαγιών .....	6
1.1.4 Οικολογικές και Κοινωνικοοικονομικές Επιπτώσεις των Δασικών Πυρκαγιών.....	8
1.2 Η συχνότητα των πυρκαγιών .....	9
1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις πυρκαγιές.....	10
1.3.1 Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας.....	15
1.3.2 Κλιματικές συνθήκες .....	19
1.3.3 Ανθρωπογενείς παράγοντες .....	20
1.4 Στοιχεία Φυσικοχημείας και Συμπεριφοράς Πυρκαγιών .....	21
1.5 Στρατηγικές Διαχείρισης και Μετριάσμού των Πυρκαγιών .....	23
1.6 Διαχείριση δασικών εκτάσεων.....	25
1.7 Σκοπός της εργασίας .....	26
1.8 Πρωτοτυπία της εργασίας.....	26
1.9 Καινοτομία της παρούσας έρευνας .....	26
1.10 Δομή της εργασίας.....	27
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	28
2.1 Μελέτη Περίπτωσης.....	28
2.1.1 Το κλίμα της Ελλάδας.....	34
2.1.2 Κλιματική Αλλαγή στην Ελλάδα.....	34
2.1.3 Τοπογραφικό Ανάγλυφο .....	35
2.2 Μεθοδολογική Προσέγγιση .....	36
2.2.1 Ανάλυση και προ-επεξεργασία των Δεδομένων .....	36
2.2.2 Η Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση .....	37
2.2.3 Η Backward Γραμμική Παλινδρόμηση.....	39
2.2.4 Οι Standardized Beta Συντελεστές.....	40
2.2.5 Ο Adjusted R <sup>2</sup> συντελεστής.....	42
2.2.6 Χρήση λογισμικού QGIS για την απεικόνιση των χαρτών .....	44

2.2.7	Αιτιολόγηση και επεξήγηση της επιλογής της συγκεκριμένης μεθοδολογικής προσέγγισης .....	44
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	46
3.1	Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση .....	46
3.2	Backward Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση .....	61
3.3	Σύγκριση των Δύο Μεθόδων .....	74
3.4	Με μια ματιά .....	74
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	75
	Βιβλιογραφία .....	77

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.</b> Πυρκαγιά στην Ελλάδα το 2023 .....	2
<b>Εικόνα 2.</b> Τα στάδια μιας πυρκαγιάς .....	3
<b>Εικόνα 3.</b> Οι αρνητικές επιπτώσεις των πυρκαγιών .....	6
<b>Εικόνα 4.</b> Θετικές επιπτώσεις πυρκαγιών .....	7
<b>Εικόνα 5.</b> Οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα από το 1980 .....	10
<b>Εικόνα 6.</b> Παράγοντες που προκαλούν πυρκαγιές.....	11
<b>Εικόνα 7.</b> Γεωμορφολογικός χάρτης της Ελλάδας.....	16
<b>Εικόνα 8.</b> Κλιματικές ζώνες Ελλάδας .....	20
<b>Εικόνα 9.</b> Στρατηγικές Διαχείρισης και Μετριασμού των Πυρκαγιών .....	24
<b>Εικόνα 10.</b> Χάρτης ορίων αυτοδιοικητικών μονάδων (ΟΤΑ) σύμφωνα με το σχέδιο Καλλικράτης .....	28
<b>Εικόνα 11</b> Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδας.....	35
<b>Εικόνα 12.</b> Χάρτης με δείκτη $R^2$ ανά νομό για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.....	48
<b>Εικόνα 13.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘High Vegetation’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.....	51
<b>Εικόνα 14.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Low Vegetation’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.....	52
<b>Εικόνα 15.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Precipitation’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση .....	53
<b>Εικόνα 16.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘RH για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση .....	54
<b>Εικόνα 17.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Soil Water Content’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.....	55
<b>Εικόνα 18.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘SPI3’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση .....	56
<b>Εικόνα 19.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘SPI6’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση .....	57
<b>Εικόνα 20.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Temperature’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση .....	58
<b>Εικόνα 21.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Wind Speed’ για την απλή γραμμική παλινδρόμηση .....	59
<b>Εικόνα 22.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘High Vegetation’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης .....	65
<b>Εικόνα 23.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Low Vegetation’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.....	66
<b>Εικόνα 24.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Precipitation’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης .....	67
<b>Εικόνα 25.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Relative Humidity’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης .....	68
<b>Εικόνα 26.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Soil Water Content’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης .....	69
<b>Εικόνα 27.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘SPI3’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης .....	70
<b>Εικόνα 28.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘SPI6’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης .....	71
<b>Εικόνα 29.</b> Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Temperature’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης .....	72

**Εικόνα 30.** Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Wind Speed’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης .....73

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

<b>Πίνακας 1.</b> Ποσοτικά στοιχεία των νομών της Ελλάδας .....	28
<b>Πίνακας 2.</b> Οι νομοί της Ελλάδας .....	33
<b>Πίνακας 3.</b> Δείκτες $R^2$ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.....	47
<b>Πίνακας 4.</b> beta συντελεστές για τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.....	49
<b>Πίνακας 5.</b> Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ ανεξάρτητων μεταβλητών .....	60
<b>Πίνακας 6.</b> Δείκτες $R^2$ για την backward πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση.....	61
<b>Πίνακας 7.</b> beta συντελεστές για τη μέθοδο της backward πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης .....	63

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα, αναλύοντας τη συχνότητα, την ένταση και τις επιπτώσεις τους μέσω πολυδιάστατης μεθοδολογικής προσέγγισης. Το μεσογειακό κλίμα της Ελλάδας, που χαρακτηρίζεται από θερμά και ξηρά καλοκαίρια, σε συνδυασμό με την εγκατάλειψη αγροτικών δραστηριοτήτων και την ανεπαρκή διαχείριση δασών, δημιουργεί συνθήκες υψηλού κινδύνου για πυρκαγιές. Εξετάζονται παράγοντες όπως οι κλιματικές συνθήκες, η βλάστηση, η τοπογραφία και οι ανθρώπινες δραστηριότητες, που επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την εξάπλωση των πυρκαγιών. Η μελέτη αναλύει την ευφλεκτότητα της καύσιμης ύλης, τη χωρική κατανομή των πυρκαγιών, καθώς και την αλληλεπίδραση τοπογραφικών χαρακτηριστικών και μετεωρολογικών συνθηκών, χρησιμοποιώντας προηγμένες στατιστικές μεθόδους, όπως πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, backward regression και ανάλυση standardized beta συντελεστών. Η χωρική απεικόνιση των αποτελεσμάτων υλοποιείται μέσω GIS, επιτρέποντας την οπτικοποίηση κρίσιμων δεδομένων για τη λήψη αποφάσεων. Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι η υψηλή συσσώρευση βιομάζας, οι παρατεταμένες ξηρασίες και οι καύσωνες αυξάνουν δραματικά την ευαισθησία των ελληνικών οικοσυστημάτων σε πυρκαγιές. Παράλληλα, οι πυρκαγιές επιφέρουν σοβαρές οικολογικές και κοινωνικοοικονομικές συνέπειες, περιλαμβάνοντας την υποβάθμιση του εδάφους, την απώλεια βιοποικιλότητας και τη διατάραξη κρίσιμων οικοσυστημικών λειτουργιών. Αναγνωρίζονται επίσης θετικές επιπτώσεις, όπως η ενίσχυση της βιοποικιλότητας σε οικοσυστήματα προσαρμοσμένα στη φωτιά. Η εργασία καταλήγει σε προτάσεις στρατηγικής διαχείρισης και μετριασμού, περιλαμβάνοντας τη δημιουργία αντιπυρικών ζωνών, την απομάκρυνση ξηρής βιομάζας, τη χρήση τεχνολογιών πρόβλεψης κινδύνου και την εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης. Οι προτάσεις στοχεύουν στη μείωση του κινδύνου πυρκαγιάς, την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων και τη διατήρηση των φυσικών και κοινωνικών πόρων.

# ABSTRACT

This thesis focuses on forest fires in Greece, analyzing their frequency, intensity, and impacts through a multidimensional methodological approach. The Mediterranean climate of Greece, characterized by hot and dry summers, combined with the abandonment of agricultural activities and inadequate forest management, creates conditions of high fire risk. Factors such as climatic conditions, vegetation, topography, and human activities influencing fire behavior and spread are examined. The study analyzes the flammability of fuel types, the spatial distribution of fires, and the interaction of topographic features with meteorological conditions using advanced statistical methods such as simple and multivariate linear regression, backward regression, and standardized beta coefficient analysis. Spatial visualization of the results is achieved through GIS, enabling the depiction of critical data to support decision-making.

The findings indicate that high biomass accumulation, prolonged droughts, and heatwaves significantly increase the sensitivity of Greek ecosystems to fires. Simultaneously, forest fires cause severe ecological and socio-economic consequences, including soil degradation, biodiversity loss, and disruption of critical ecosystem functions. Positive effects are also recognized, such as biodiversity enhancement in fire-adapted ecosystems. The thesis concludes with strategic management and mitigation proposals, including the creation of firebreak zones, removal of dry biomass, use of risk prediction technologies, and implementation of sustainable management practices. These proposals aim to reduce fire risk, enhance ecosystem resilience, and preserve natural and social resources.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα συχνό ζήτημα στη χώρα μας, με σημαντικές καταστροφές να συμβαίνουν σε διάφορα έτη. Ενώ οι πυρκαγιές αυτές είναι πιο συχνές κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, υπάρχει μια αυξητική τάση και κατά τους ανοιξιάτικους μήνες. Το γεγονός αυτό καθιστά αναγκαία μια εστιασμένη προσέγγιση και βαθύτερη κατανόηση του προβλήματος στην Ελλάδα. Παράγοντες όπως το κλίμα και η μετεωρολογία περιπλέκουν το έργο της πρόληψης και της κατάσβεσης αυτών των πυρκαγιών, που επιδεινώνονται από τη μείωση των γεωργικών δραστηριοτήτων και την ανεπαρκή διαχείριση των δασών, οδηγώντας σε αυξημένη συσσώρευση βιομάζας.

Οι δασικές πυρκαγιές έχουν πολυάριθμες αρνητικές επιπτώσεις, όπως η απώλεια ή ο αποκλεισμός φυτικών και ζωικών ειδών, η αλλοίωση του μικροκλίματος, η διάβρωση του εδάφους, η απορροή και οι αλλαγές στο τοπίο και τη χρήση γης. Ωστόσο, συμβάλλουν επίσης στην οικολογική εξέλιξη σε ορισμένα οικοσυστήματα, όπου οι περιοδικές πυρκαγιές είναι φυσικές και μπορούν να οδηγήσουν σε προσαρμογή και αύξηση του πληθυσμού ορισμένων ειδών. Οι πυρκαγιές επηρεάζουν βαθιά τα χερσαία οικοσυστήματα και επηρεάζουν διάφορες πτυχές της διαχείρισης των δασών. Οι συνέπειες μιας πυρκαγιάς σε ένα δασικό οικοσύστημα επεκτείνονται σε όλες τις προβλεπόμενες χρήσεις του, όπως η παραγωγή ξυλείας, τα ενδιαίτηματα άγριας ζωής, οι υδάτινοι πόροι και η αναψυχή [1], [2].

Το κύριο σώμα της παρούσας διατριβής καλύπτει εισαγωγικές έννοιες σχετικά με τις αγροδασικές πυρκαγιές, με έμφαση στις μεσογειακές περιοχές, ενώ στη συνέχεια γίνεται συζήτηση για στοιχεία που αφορούν ειδικά το ελληνικό περιβάλλον. Περαιτέρω, περιγράφει λεπτομερώς τη μεθοδολογία ανάλυσης των πυρομετεωρολογικών δεδομένων και παρουσιάζει τα αποτελέσματα μέσω διαφόρων οπτικών μέσων, ακολουθούμενη από μια γενική συζήτηση και συμπεράσματα που αντλούνται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία.

## 1.1 Οι πυρκαγιές στον Ελλαδικό χώρο

Το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα αποτελεί μια πολύπλευρη πρόκληση που έχει συγκεντρώσει σημαντική προσοχή στην επιστημονική κοινότητα, ιδίως λόγω των επιπτώσεων του στη διαχείριση των δασών, στην οικολογική ισορροπία και στις στρατηγικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Ο παρών διάλογος επιδιώκει να διαφωτίσει τους πρωταρχικούς παράγοντες που συμβάλλουν στη συχνότητα και την ένταση αυτών των πυρκαγιών, τις οικολογικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις τους, καθώς και τις στρατηγικές που εφαρμόζονται για τον μετριασμό των επιπτώσεών τους.

Το μεσογειακό κλίμα της Ελλάδας, που χαρακτηρίζεται από θερμά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους, υγρούς χειμώνες, δημιουργεί ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάφλεξη και τη διάδοση των πυρκαγιών [3], [4]. Η συσσώρευση ξηρής βιομάζας κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας χρησιμεύει ως ένα εξαιρετικά εύφλεκτο υλικό που, όταν αναφλέγεται -είτε από φυσικά αίτια, όπως ο κεραυνός, είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως οι γεωργικές καύσεις- μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένες πυρκαγιές. Η κατάσταση επιδεινώνεται περαιτέρω από την αυξανόμενη συχνότητα και σοβαρότητα των καύσεων, ένα φαινόμενο που έχει συνδεθεί με την παγκόσμια κλιματική αλλαγή [5]. Οι οικολογικές συνέπειες των πυρκαγιών στην Ελλάδα είναι



βαθείς και πολύπλευρες. Ενώ η φωτιά είναι ένα φυσικό και απαραίτητο στοιχείο του κύκλου ζωής των μεσογειακών οικοσυστημάτων, διευκολύνοντας την αναγέννηση και διατηρώντας τη βιοποικιλότητα, η αυξημένη συχνότητα και ένταση των πυρκαγιών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές διαταραχές. Οι πυρκαγιές αυτές μπορεί να οδηγήσουν στην απώλεια ώριμων δέντρων, στην υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους και στη μείωση της βιοποικιλότητας, μεταβάλλοντας έτσι την οικολογική ισορροπία και μειώνοντας την ανθεκτικότητα των οικοσυστημάτων αυτών σε μελλοντικές διαταραχές [2].

Από κοινωνικοοικονομική άποψη, οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα συνεπάγονται σημαντικές επιβαρύνσεις, όπως η καταστροφή της περιουσίας, η απώλεια μέσων διαβίωσης για όσους εξαρτώνται από τη γεωργία και τη δασοκομία, καθώς και οι σημαντικές δαπάνες που απαιτούνται για την πυρόσβεση και την αποκατάσταση μετά την πυρκαγιά [6]. Επιπλέον, ο αντίκτυπος στον τουρισμό, έναν σημαντικό οικονομικό τομέα για την Ελλάδα, μπορεί να είναι σημαντικός, με την αντίληψη του κινδύνου και την καταστροφή της φυσικής ομορφιάς να αποτρέπουν τους δυνητικούς επισκέπτες (Εικόνα 1). Ως απάντηση σε αυτές τις προκλήσεις, στην Ελλάδα εφαρμόζεται μια πολύπλευρη προσέγγιση στη διαχείριση των πυρκαγιών, η οποία ενσωματώνει προηγμένες τεχνολογίες παρακολούθησης και ανίχνευσης, εκστρατείες εκπαίδευσης του κοινού για την πρόληψη των πυρκαγιών και την εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης της γης που αποσκοπούν στη μείωση του κινδύνου πυρκαγιάς και στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων [7], [8]. Αυτό περιλαμβάνει τη στρατηγική διαχείριση των δασικών εκτάσεων για τη μείωση της συσσώρευσης εύφλεκτων υλικών, τη δημιουργία αντιπυρικών ζωνών και την αποκατάσταση των περιοχών που έχουν πληγεί από πυρκαγιές για την προώθηση της οικολογικής ανάκαμψης και τη μείωση της ευπάθειας σε επόμενες πυρκαγιές.



**Εικόνα 1.** Πυρκαγιά στην Ελλάδα το 2023

### 1.1.1 Τα διαφορετικά στάδια μιας πυρκαγιάς

Ο κύκλος ζωής μιας δασικής πυρκαγιάς μπορεί να οριοθετηθεί σε διακριτά στάδια: ανάφλεξη, καύση (που περιλαμβάνει φάσεις φλόγας και σιγοκαύσης) και σβέση. Κάθε στάδιο διέπεται από συγκεκριμένες φυσικές και χημικές διεργασίες και επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης και την παρουσία των στοιχείων του τριγώνου της φωτιάς: θερμότητα, καύσιμο και οξυγόνο. Η κατανόηση αυτών των σταδίων είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αποτελεσματικών μοντέλων συμπεριφοράς πυρκαγιάς και στρατηγικών ελέγχου. Το στάδιο της ανάφλεξης σηματοδοτεί την έναρξη μιας πυρκαγιάς όταν μια πηγή θερμότητας αυξάνει τη θερμοκρασία ενός καυσίμου στο σημείο ανάφλεξής του, με αποτέλεσμα την καύση. Η ανάφλεξη μπορεί να συμβεί με φυσικά μέσα, όπως οι κεραυνοί, ή με ανθρωπογενείς πηγές, όπως οι φωτιές κατασκήνωσης ή τα πεταμένα τσιγάρα. Η ευκολία ανάφλεξης καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε υγρασία, το μέγεθος και τη χημική του σύνθεση, με τα λεπτά, ξηρά καύσιμα να είναι τα πιο ευαίσθητα στην ανάφλεξη [9].

Μετά την ανάφλεξη, η πυρκαγιά εισέρχεται στο στάδιο της καύσης, το οποίο χαρακτηρίζεται από δύο φάσεις: την φλεγόμενη καύση και την πυρακτωμένη καύση. Η φλεγόμενη καύση είναι η ορατή, ταχεία οξείδωση του καυσίμου, που παράγει θερμότητα, φως και ενέργεια συναγωγής και ακτινοβολίας, η οποία συμβάλλει στην εξάπλωση της πυρκαγιάς. Αυτή η φάση είναι ιδιαίτερα δυναμική και μπορεί να επηρεαστεί από τον άνεμο, την τοπογραφία και τη διάταξη της καύσιμης ύλης [10]. Από την άλλη πλευρά, η καύση σε σάρωση είναι μια πιο αργή, άφλεκτη μορφή οξείδωσης που λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια ή στο εσωτερικό της καύσιμης ύλης. Μπορεί να επιμείνει για παρατεταμένες περιόδους, ιδίως σε βαριά καύσιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, και μπορεί να οδηγήσει σε φλεγόμενη καύση εάν οι συνθήκες αλλάξουν [11]. Το στάδιο της εξαφάνισης συμβαίνει όταν η φωτιά δεν έχει πλέον επαρκή θερμότητα, καύσιμο ή οξυγόνο για να διατηρήσει την καύση. Αυτό μπορεί να συμβεί με φυσικό τρόπο, όπως όταν μια πυρκαγιά εξαντλείται από καύσιμα ή σβήνει από βροχοπτώσεις, ή μέσω ενεργητικών προσπαθειών καταστολής της πυρκαγιάς, όπως η εφαρμογή νερού ή επιβραδυντικών πυρκαγιάς, ή με τη φυσική απομάκρυνση της καύσιμης ύλης μέσω της δημιουργίας αντιπυρικών ζωνών (Εικόνα 2). Η μετάβαση στην εξαφάνιση επηρεάζεται από την εξάντληση της διαθέσιμης καύσιμης ύλης, τη μείωση της θερμότητας μέσω των απωλειών ακτινοβολίας και συναγωγής και την αραίωση του οξυγόνου από τα αέρια που δημιουργούνται από τη φωτιά [12].



**Εικόνα 2.** Τα στάδια μιας πυρκαγιάς

Η κατανόηση των σταδίων μιας δασικής πυρκαγιάς και των μεταβάσεων μεταξύ τους είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση και τις στρατηγικές ελέγχου των πυρκαγιών. Κατά τη φάση της ανάφλεξης, οι προσπάθειες επικεντρώνονται στην πρόληψη της έναρξης πυρκαγιάς μέσω της εκπαίδευσης του κοινού, των κανονισμών και της μείωσης των αναφλέξεων που σχετίζονται με τον άνθρωπο. Κατά τη φάση της καύσης, οι στρατηγικές αποσκοπούν στον περιορισμό της εξάπλωσης και της έντασης της πυρκαγιάς μέσω πρακτικών διαχείρισης της καύσιμης ύλης, όπως η προδιαγεγραμμένη καύση, η αραίωση και η δημιουργία αντιπυρικών ζωνών, καθώς και τακτικών άμεσης καταστολής. Στη φάση της κατάσβεσης, οι προσπάθειες μπορεί να περιλαμβάνουν επιχειρήσεις εκκαθάρισης για την κατάσβεση των εστιών πυρκαγιάς που σιγοκαίνε και την πρόληψη της εκ νέου ανάφλεξης.

Η συμπεριφορά και η εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών επηρεάζονται περίπλοκα από την αλληλεπίδραση μεταξύ των χαρακτηριστικών της καύσιμης ύλης, των τοπογραφικών χαρακτηριστικών και των καιρικών συνθηκών. Αυτή η δυναμική αλληλεπίδραση υπαγορεύει την ένταση, την ταχύτητα και την κατεύθυνση μιας δασικής πυρκαγιάς, παρουσιάζοντας σύνθετες προκλήσεις για την πρόβλεψη και τη διαχείριση. Τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης, συμπεριλαμβανομένου του τύπου, του μεγέθους, της περιεκτικότητας σε υγρασία και της κατανομής των καύσιμων υλικών, είναι θεμελιώδους σημασίας για τον καθορισμό της συμπεριφοράς μιας πυρκαγιάς. Ο τύπος της καύσιμης ύλης, είτε πρόκειται για χόρτο, θάμνους ή ξυλεία, επηρεάζει την παραγωγή θερμότητας και τον ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς λόγω των διαφοροποιήσεων στη χημική σύνθεση και τη δομή. Το μέγεθος και το σχήμα των στοιχείων της καύσιμης ύλης επηρεάζουν την αναλογία επιφάνειας προς όγκο, με τα λεπτά καύσιμα, όπως τα χόρτα και οι βελόνες, να αναφλέγονται και να καίγονται πιο εύκολα από τα μεγαλύτερα καύσιμα, όπως οι κορμοί και τα κλαδιά [13]. Η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι ένας κρίσιμος παράγοντας-τα υγρά καύσιμα απαιτούν περισσότερη θερμότητα για να αναφλεγούν και να διατηρήσουν την καύση, επιβραδύνοντας αποτελεσματικά την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Η χωρική διάταξη και η συνέχεια των καυσίμων επηρεάζουν τη δυνατότητα της πυρκαγιάς να εξαπλωθεί οριζόντια στο τοπίο και κάθετα στην κόμη, συμβάλλοντας στη μετάβαση από τις επιφανειακές πυρκαγιές στις πιο έντονες πυρκαγιές κόμης [14].

Η τοπογραφία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά των πυρκαγιών, κυρίως μέσω της επίδρασής της στις συνθήκες μικροκλίματος και στην κατεύθυνση και την ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Η κλίση είναι βασικός παράγοντας- οι πυρκαγιές τείνουν να εξαπλώνονται ταχύτερα στην ανηφόρα λόγω της προθέρμανσης των καυσίμων πάνω από τη φωτιά από τα ανερχόμενα θερμά αέρια. Η κλίση, ή η κατεύθυνση προς την οποία βλέπει μια πλαγιά, επηρεάζει την υγρασία και τη θερμοκρασία της καύσιμης ύλης, με τις πλαγιές με νότιο προσανατολισμό στο βόρειο ημισφαίριο να παρουσιάζουν συνήθως πιο έντονη ηλιακή ακτινοβολία, χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας και, κατά συνέπεια, υψηλότερη δραστηριότητα πυρκαγιάς [15]. Το πολύπλοκο έδαφος μπορεί να δημιουργήσει ακανόνιστα πρότυπα ανέμων, επηρεάζοντας περαιτέρω τη συμπεριφορά και την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Οι καιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της βροχόπτωσης και του ανέμου, είναι ίσως οι πιο μεταβλητοί και επιδραστικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των πυρκαγιών. Οι υψηλές θερμοκρασίες και τα χαμηλά επίπεδα υγρασίας μπορούν να μειώσουν την υγρασία της καύσιμης ύλης, καθιστώντας τη βλάστηση πιο επιρρεπή στην ανάφλεξη και την καύση. Ο άνεμος είναι κρίσιμος παράγοντας για την εξάπλωση των πυρκαγιών- παρέχει πρόσθετο οξυγόνο στη φωτιά,

απομακρύνει τη θερμότητα και την υγρασία από τα άκαυστα καύσιμα πριν από τη φωτιά και μπορεί να μεταφέρει αναμμένα κάρβουνα, δημιουργώντας σημειακές πυρκαγιές πριν από το κύριο μέτωπο της φωτιάς [16]. Οι βροχοπτώσεις μπορούν να διαδραματίσουν διττό ρόλο- ενώ οι επαρκείς βροχοπτώσεις μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς αυξάνοντας την υγρασία της καύσιμης ύλης, οι έντονες βροχοπτώσεις μετά από μια πυρκαγιά μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένη διάβρωση και απορροή στις καμένες περιοχές.

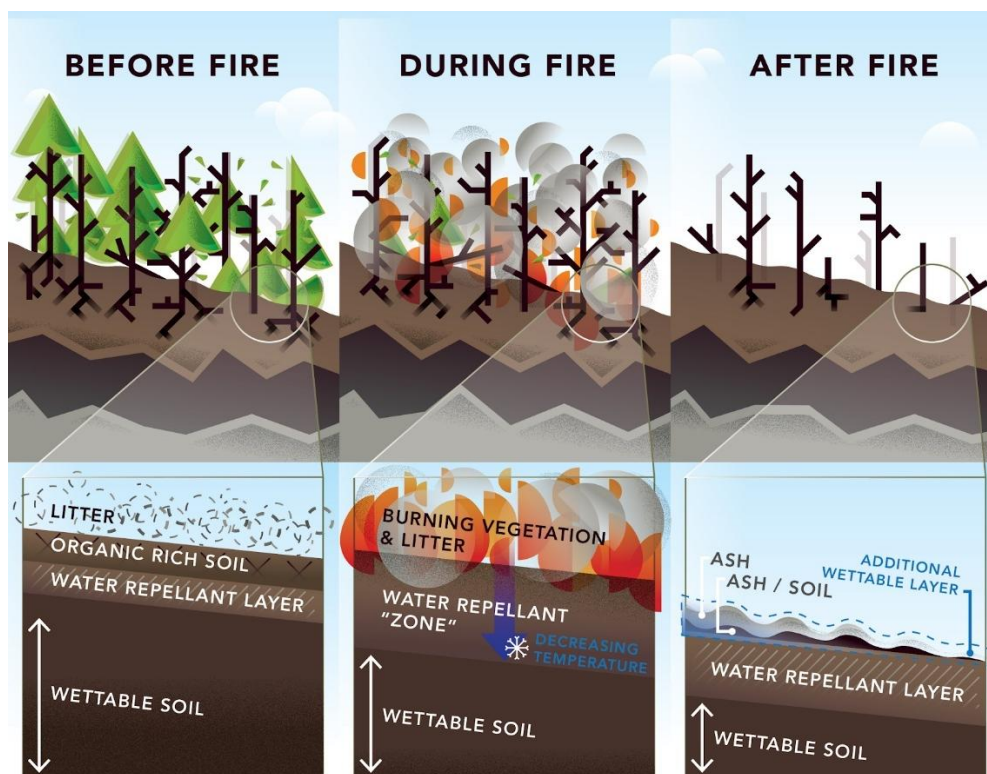
Η αλληλεπίδραση μεταξύ των χαρακτηριστικών της καύσιμης ύλης, της τοπογραφίας και των καιρικών συνθηκών είναι πολύπλοκη και συχνά μη γραμμική, με τις αλλαγές σε έναν παράγοντα να ενισχύουν ή να μετριάσουν τις επιπτώσεις ενός άλλου παράγοντα. Για παράδειγμα, οι ισχυροί άνεμοι σε μια απότομη πλαγιά μπορούν να αυξήσουν δραματικά τον ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς, ενώ τα υψηλά επίπεδα υγρασίας μπορούν να εξουδετερώσουν τις ξηραντικές επιδράσεις του ανέμου και της θερμότητας. Η κατανόηση αυτών των αλληλεπιδράσεων είναι ζωτικής σημασίας για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των πυρκαγιών και για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών διαχείρισης και καταστολής των πυρκαγιών, γεγονός που απαιτεί μια ολιστική προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη την πολύπλευρη φύση της δυναμικής των πυρκαγιών.

### 1.1.2 Αρνητικές επιπτώσεις των πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές ασκούν ένα ευρύ φάσμα αρνητικών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, την ανθρώπινη υγεία και τις οικονομίες, περικλείοντας ένα ευρύ φάσμα άμεσων και μακροπρόθεσμων επιπτώσεων. Η επιστημονική διερεύνηση αυτών των συνεπειών έχει περιγράψει μια σύνθετη αλληλεπίδραση οικολογικών διαταραχών, ανησυχιών για τη δημόσια υγεία και κοινωνικοοικονομικών προκλήσεων που εκτείνονται πολύ πέρα από τις άμεσες περιοχές που επηρεάζονται από τις πυρκαγιές. Από οικολογική άποψη, οι πυρκαγιές μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική απώλεια βιοποικιλότητας, ιδίως όταν εκδηλώνονται με μεγάλη συχνότητα ή ένταση, ξεπερνώντας τα φυσικά καθεστώτα πυρκαγιάς πολλών οικοσυστημάτων. Τέτοιες πυρκαγιές μπορούν να εξαλείψουν ευαίσθητα είδη, να διαταράξουν τη συνδεσιμότητα των ενδιαιτημάτων και να μεταβάλουν τη δομή και τη σύνθεση των οικοσυστημάτων [17]. Το τοπίο μετά την πυρκαγιά παρουσιάζει συχνά διάβρωση του εδάφους και εξάντληση των θρεπτικών στοιχείων, γεγονός που εμποδίζει περαιτέρω την αποκατάσταση της βλάστησης και οδηγεί σε μακροπρόθεσμες οικολογικές συνέπειες. Επιπλέον, οι δασικές πυρκαγιές συμβάλλουν στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, επιδεινώνοντας το παγκόσμιο ζήτημα της κλιματικής αλλαγής με την απελευθέρωση αποθηκευμένου άνθρακα από τα δάση και άλλη βλάστηση στην ατμόσφαιρα [18].

Από την άποψη της ανθρώπινης υγείας, οι πυρκαγιές ενέχουν σημαντικούς κινδύνους μέσω της εισπνοής καπνού και σωματιδίων, τα οποία μπορούν να επιδεινώσουν αναπνευστικές παθήσεις όπως το άσθμα και η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια και να αυξήσουν τη συχνότητα εμφάνισης καρδιαγγειακών προβλημάτων [19]. Οι ψυχολογικές επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών είναι επίσης αξιοσημείωτες, με τα πληγέντα άτομα να εμφανίζουν αυξημένα ποσοστά άγχους, κατάθλιψης και διαταραχής μετατραυματικού στρες, ιδίως μεταξύ εκείνων που έχουν χάσει σπίτια ή αγαπημένα πρόσωπα [20]. Από οικονομική άποψη, οι αρνητικές επιπτώσεις των πυρκαγιών είναι πολύπλευρες, περιλαμβάνοντας το άμεσο κόστος της πυρόσβεσης, την απώλεια περιουσίας και υποδομών και τις ευρύτερες επιπτώσεις στις τοπικές και περιφερειακές οικονομίες (Εικόνα 3). Οι γεωργικές εκτάσεις και οι δασικοί πόροι, που συχνά αποτελούν σημαντική πηγή

εισοδήματος στις αγροτικές περιοχές, μπορούν να καταστραφούν από τις πυρκαγιές, οδηγώντας σε μακροχρόνιες οικονομικές δυσκολίες για τις κοινότητες [21]. Επιπλέον, ο τουρισμός, ζωτικός τομέας για πολλές περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πυρκαγιές, μπορεί να υποφέρει τόσο λόγω της άμεσης καταστροφής των αξιοθέατων όσο και λόγω του αντιληπτού κινδύνου από τους δυνητικούς επισκέπτες [22].



**Εικόνα 3.** Οι αρνητικές επιπτώσεις των πυρκαγιών

### 1.1.3 Θετικές επιπτώσεις των πυρκαγιών

Ενώ οι πυρκαγιές συχνά συνδέονται με καταστροφικά αποτελέσματα, διαδραματίζουν επίσης κρίσιμο και αναγεννητικό ρόλο σε πολλά οικοσυστήματα, προσφέροντας μια σειρά θετικών οικολογικών αποτελεσμάτων που συμβάλλουν στη βιοποικιλότητα, τον κύκλο των θρεπτικών συστατικών και τη δυναμική των οικοτόπων. Η επιστημονική έρευνα έχει φωτίσει τον διαφοροποιημένο ρόλο της φωτιάς ως οικολογικής διαδικασίας που, υπό ορισμένες συνθήκες, διατηρεί και ενισχύει την υγεία και την ποικιλομορφία των οικοσυστημάτων. Σε προσαρμοσμένα στη φωτιά οικοσυστήματα, όπως ορισμένα δάση και λιβάδια, οι περιοδικές πυρκαγιές χαμηλής έντασης μπορούν να μειώσουν τη συσσώρευση νεκρής βλάστησης και θάμνων, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο μεγαλύτερων, πιο καταστροφικών πυρκαγιών (Bowman et al., 2009). Αυτή η φυσική διαδικασία αραίωσης συμβάλλει στη διατήρηση μιας υγιέστερης δομής του δάσους, επιτρέποντας στο ηλιακό φως να διεισδύσει στο δάπεδο του δάσους, γεγονός που διεγείρει τη βλάστηση και την ανάπτυξη φυτικών ειδών προσαρμοσμένων στη φωτιά. Αυτά τα είδη έχουν αναπτύξει μηχανισμούς όπως ο παχύς φλοιός, οι βαθιές ρίζες ή οι ενεργοποιημένοι από τη φωτιά σπόροι για να επιβιώνουν και να ευδοκιμούν μετά τις πυρκαγιές [23].



Οι πυρκαγιές διαδραματίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο στην ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών στα οικοσυστήματα. Η καύση της βιομάζας κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς απελευθερώνει θρεπτικά συστατικά που ήταν εγκλωβισμένα στο φυτικό υλικό, επιστρέφοντάς τα στο έδαφος όπου μπορούν να απορροφηθούν εύκολα από την αναγεννώμενη βλάστηση. Αυτή η εκροή θρεπτικών συστατικών μπορεί να οδηγήσει σε μια έκρηξη παραγωγικότητας και ποικιλότητας στο τοπίο μετά την πυρκαγιά, συμβάλλοντας στο σύνθετο μωσαϊκό των οικοτόπων που υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα ειδών [24]. Επιπλέον, ορισμένα είδη ζώων επωφελούνται από τις αλλαγές των ενδιαιτημάτων που επιφέρουν οι πυρκαγιές. Για παράδειγμα, η δημιουργία ανοικτών περιοχών μπορεί να προσφέρει ευκαιρίες τροφοληψίας για τα φυτοφάγα ζώα, ενώ η αυξημένη δομική ποικιλομορφία στο τοπίο μπορεί να προσφέρει νέες περιοχές φωλιάσματος και κυνηγιού για μια ποικιλία ειδών πτηνών και θηλαστικών. Με αυτόν τον τρόπο, οι πυρκαγιές συμβάλλουν σε ένα δυναμικό οικοσύστημα που υποστηρίζει ποικίλες κοινότητες πανίδας [25], [26].



**Εικόνα 4.** Θετικές επιπτώσεις πυρκαγιών

Ο ρόλος της φωτιάς στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας επεκτείνεται και στον έλεγχο των ασθενειών και των παρασίτων. Καταναλώνοντας άρρωστα φυτά και μειώνοντας τον πληθυσμό ορισμένων επιβλαβών εντόμων, οι πυρκαγιές μπορούν να συμβάλουν στην πρόληψη της εξάπλωσης των ασθενειών των φυτών και των προσβολών από παράσιτα, συμβάλλοντας έτσι στη συνολική υγεία του οικοσυστήματος [27]. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα θετικά αποτελέσματα των πυρκαγιών εξαρτώνται από τη συχνότητα, την ένταση και το οικολογικό πλαίσιο. Σε οικοσυστήματα όπου η φωτιά αποτελεί φυσικό και αναπόσπαστο στοιχείο του περιβάλλοντος, οι διαταραχές αυτές μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα και την ποικιλομορφία. Ωστόσο, σε οικοσυστήματα που δεν είναι προσαρμοσμένα στη φωτιά ή όπου οι

ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν μεταβάλει τα φυσικά καθεστώτα πυρκαγιάς, οι πυρκαγιές μπορεί να έχουν επιζήμιες επιπτώσεις (Εικόνα 4).

#### **1.1.4 Οικολογικές και Κοινωνικοοικονομικές Επιπτώσεις των Δασικών Πυρκαγιών**

Οι δασικές πυρκαγιές έχουν εκτεταμένες και συχνά καταστροφικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα. Οικολογικά, οι πυρκαγιές μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική απώλεια βιοποικιλότητας, καθώς καταστρέφουν τα ενδιαιτήματα πολλών φυτικών και ζωικών ειδών. Η φωτιά μπορεί να εξαλείψει ευαίσθητα ή σπάνια είδη, διαταράσσοντας τις οικολογικές ισορροπίες και μειώνοντας τη γενετική ποικιλότητα σε μια περιοχή (Keeley et al., 2012). Επιπλέον, η καταστροφή της βλάστησης αφήνει το έδαφος εκτεθειμένο στη διάβρωση από τον άνεμο και το νερό, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια εδάφους και θρεπτικών ουσιών. Η διάβρωση του εδάφους μπορεί να έχει μακροχρόνιες συνέπειες για την αναγέννηση των οικοσυστημάτων και την παραγωγικότητα των δασών.

Οι πυρκαγιές επηρεάζουν επίσης τον κύκλο των θρεπτικών ουσιών στα οικοσυστήματα. Η καύση της βιομάζας απελευθερώνει θρεπτικά συστατικά που ήταν αποθηκευμένα στα φυτά, τα οποία μπορεί να απομακρυνθούν με την απορροή του νερού, εμποδίζοντας την επαναφορά τους στο έδαφος και τη βλάστηση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μακροχρόνια υποβάθμιση του εδάφους και μείωση της παραγωγικότητας των δασών. Οι πυρκαγιές μπορούν επίσης να αλλάξουν τη δομή και τη σύνθεση των οικοσυστημάτων, καθώς τα είδη που είναι προσαρμοσμένα στη φωτιά μπορεί να ευνοηθούν έναντι αυτών που δεν είναι (Bond & Keeley, 2005).

Οι δασικές πυρκαγιές έχουν σημαντικές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις που επηρεάζουν τις κοινότητες, τις οικονομίες και την ανθρώπινη υγεία. Η καταστροφή περιουσιών και υποδομών είναι από τις πιο άμεσες επιπτώσεις των πυρκαγιών. Τα σπίτια, τα αγροκτήματα και οι επιχειρήσεις που βρίσκονται κοντά σε δασικές εκτάσεις συχνά καταστρέφονται ή υφίστανται σοβαρές ζημιές, οδηγώντας σε οικονομικές απώλειες και την ανάγκη για δαπανηρές επισκευές και αποκατάσταση (Groot et al., 2009). Η απώλεια των μέσων διαβίωσης είναι μια άλλη σημαντική κοινωνικοοικονομική επίπτωση των δασικών πυρκαγιών. Οι γεωργικές και δασοκομικές δραστηριότητες πλήττονται σοβαρά, καθώς οι καλλιέργειες, τα δάση και τα ζώα μπορεί να καταστραφούν. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μακροχρόνιες οικονομικές δυσκολίες για τους αγρότες και τους δασοκόμους, καθώς και σε απώλεια θέσεων εργασίας και εισοδημάτων στις πληγείσες περιοχές. Επιπλέον, το κόστος της πυρόσβεσης και της αποκατάστασης μετά από πυρκαγιές είναι συχνά πολύ υψηλό, επιβαρύνοντας τους κρατικούς προϋπολογισμούς και τις τοπικές αρχές.

Οι δασικές πυρκαγιές επηρεάζουν επίσης την υγεία των ανθρώπων. Η έκθεση στον καπνό και στα σωματίδια που παράγονται από τις πυρκαγιές μπορεί να προκαλέσει ή να επιδεινώσει αναπνευστικά και καρδιαγγειακά προβλήματα, ειδικά σε ευάλωτες ομάδες όπως τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και οι ασθενείς με προϋπάρχουσες παθήσεις. Οι ψυχολογικές επιπτώσεις είναι επίσης σημαντικές, καθώς οι άνθρωποι που χάνουν τα σπίτια τους ή τους δικούς τους μπορεί να αντιμετωπίσουν άγχος, κατάθλιψη και διαταραχή μετατραυματικού στρες (Johnston et al., 2012). Ο τουρισμός, ένας ζωτικός οικονομικός τομέας για πολλές περιοχές, μπορεί επίσης να επηρεαστεί σοβαρά από τις δασικές πυρκαγιές. Η καταστροφή φυσικών αξιοθέατων και η δημιουργία

κινδύνου πυρκαγιών μπορεί να αποθαρρύνουν τους επισκέπτες, οδηγώντας σε απώλειες εσόδων για τις τοπικές κοινότητες. Η αντίληψη του κινδύνου και η υποβάθμιση της φυσικής ομορφιάς των περιοχών μπορούν να μειώσουν την ελκυστικότητα των τουριστικών προορισμών μακροπρόθεσμα (Cioccio & Michael, 2007).

## 1.2 Η συχνότητα των πυρκαγιών

Η κλιμακούμενη συχνότητα των πυρκαγιών στην Ελλάδα έχει γίνει αντικείμενο σημαντικής ακαδημαϊκής εξέτασης, ιδίως υπό το πρίσμα του ευρύτερου πλαισίου της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της στα μεσογειακά οικοσυστήματα. Η χρονική δυναμική και η χωρική κατανομή αυτών των πυρκαγιών επηρεάζονται από μια συρροή παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των μετεωρολογικών συνθηκών, των αλλαγών στις χρήσεις γης και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, οι οποίοι συμβάλλουν στην πολυπλοκότητα της διαχείρισης των πυρκαγιών στην περιοχή (Εικόνα 5).

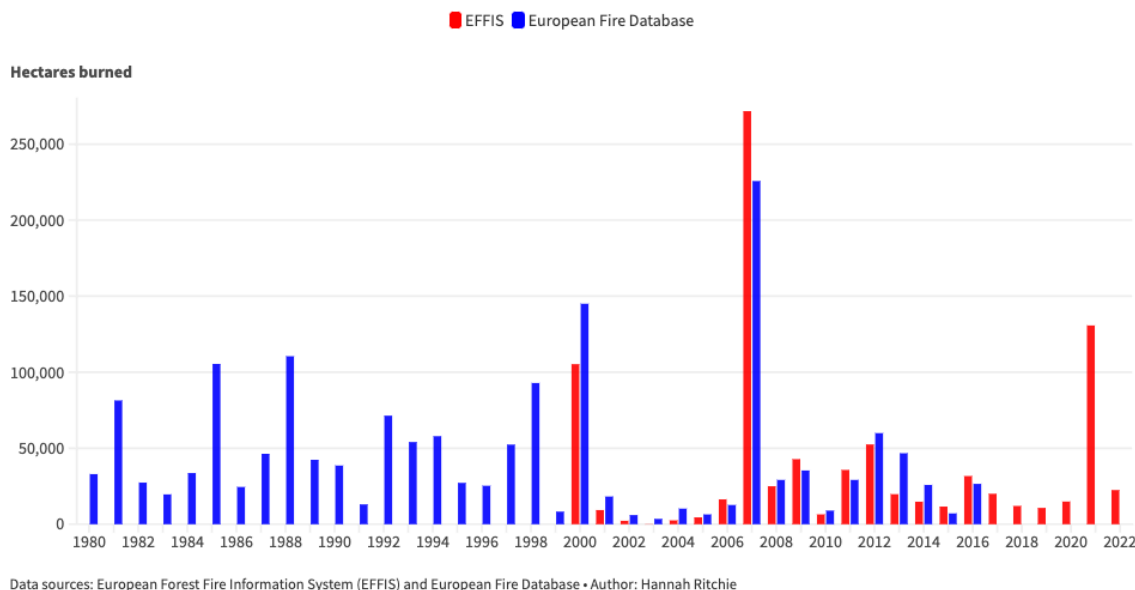
Μετεωρολογικά, η ευαισθησία της Ελλάδας στις πυρκαγιές είναι αυξημένη κατά τους ξηρούς και θερμούς καλοκαιρινούς μήνες, ένα μοτίβο που είναι χαρακτηριστικό του μεσογειακού κλίματος. Έρευνες δείχνουν ότι η συχνότητα των πυρκαγιών συσχετίζεται έντονα με περιόδους ξηρασίας και καύσωνα, φαινόμενα που προβλέπεται να γίνουν πιο συχνά και πιο σοβαρά λόγω της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής [28]. Αυτή η κλιματική προδιάθεση επιτείνεται από τις επιπτώσεις των μεταβαλλόμενων προτύπων χρήσης γης, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάλειψης των παραδοσιακών γεωργικών πρακτικών και της συνακόλουθης συσσώρευσης καύσιμης βιομάζας σε αγροτικές και ημιαστικές περιοχές [29]. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες επιδεινώνουν περαιτέρω την κατάσταση, με ένα σημαντικό ποσοστό των πυρκαγιών να αποδίδεται σε σκόπιμο εμπρησμό ή αμέλεια. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των ανθρώπινων παραγόντων και των φυσικών



προδιαθέσεων δημιουργεί ένα σύνθετο τοπίο κινδύνου που προκαλεί τις παραδοσιακές προσεγγίσεις διαχείρισης των πυρκαγιών.

### Greece wildfires: Area burned since 1980

Wildfire burn is shown for two data sources: the European Forest Fire Information System (EFFIS) and European Fire Database.



**Εικόνα 5.** Οι δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα από το 1980

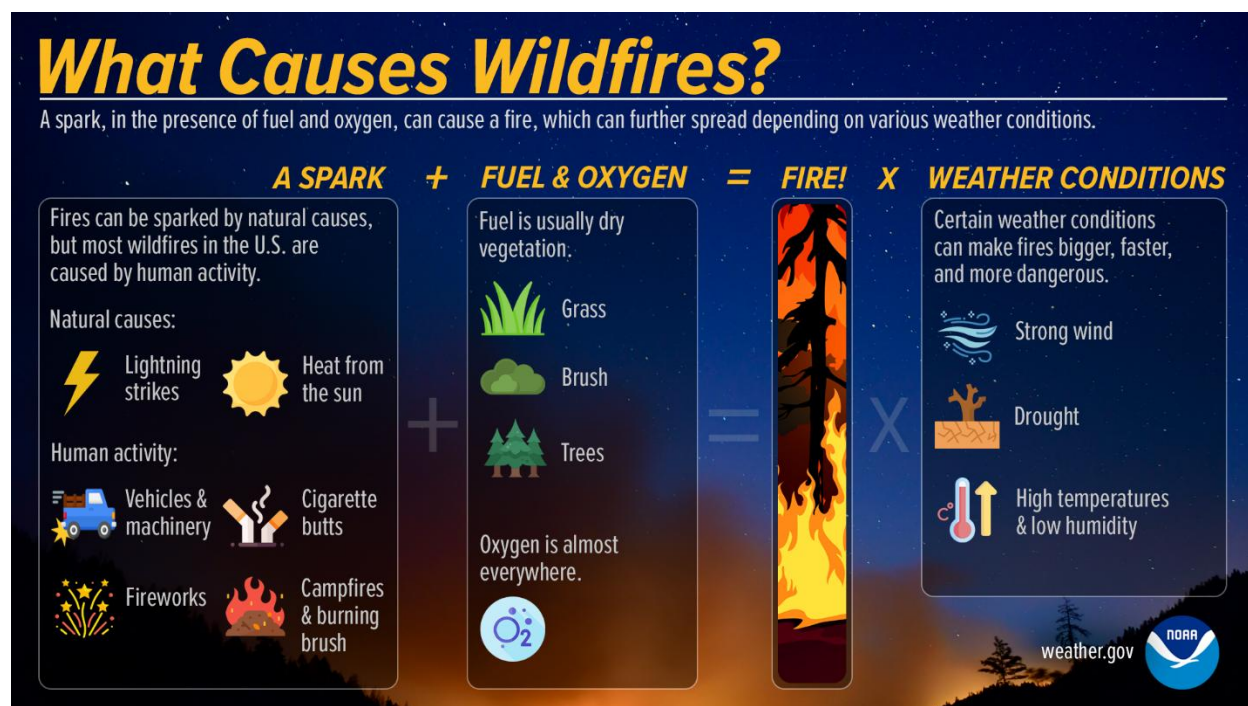
Αξίζει να σημειωθεί ότι η συχνότητα των πυρκαγιών στην Ελλάδα παρουσιάζει σημαντική χωρική και χρονική μεταβλητότητα, με ορισμένες περιοχές και περιόδους να εμφανίζουν υψηλότερες συχνότητες λόγω των τοπικών κλιματικών συνθηκών και των πρακτικών χρήσης γης [30]. Αυτή η μεταβλητότητα υπογραμμίζει την ανάγκη για στρατηγικές διαχείρισης των πυρκαγιών ανά περιοχή που να λαμβάνουν υπόψη τα μοναδικά οικολογικά και κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής. Η ακαδημαϊκή κοινότητα έχει τονίσει τη σημασία της ενσωμάτωσης εμπειρικών δεδομένων σχετικά με τις συχνότητες πυρκαγιών με τη μοντελοποίηση πρόβλεψης για την ενίσχυση της κατανόησης των μελλοντικών σεναρίων κινδύνου πυρκαγιάς. Η ενσωμάτωση αυτή είναι καθοριστικής σημασίας για την ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμοστικής διαχείρισης που μπορούν να μετριάσουν τις επιπτώσεις των πυρκαγιών ενόψει των μεταβαλλόμενων κλιματικών συνθηκών [31]

## 1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις πυρκαγιές

Η ευαισθησία της Ελλάδας στις πυρκαγιές είναι ένα πολυπαραγοντικό ζήτημα που συνδέεται στενά με ένα μείγμα κλιματικών, οικολογικών και ανθρωπογενών στοιχείων. Η συμβολή αυτών των παραγόντων όχι μόνο επηρεάζει τη συχνότητα και την εξάπλωση των πυρκαγιών, αλλά και περιπλέκει τη διαχείριση και τον μετριασμό τους. Η παρούσα συζήτηση εμβαθύνει στους πρωταρχικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις πυρκαγιές στην Ελλάδα, διευκρινίζοντας την πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ φυσικών προδιαθέσεων και ανθρωπινων παρεμβάσεων. Κλιματικά, το μεσογειακό κλίμα της Ελλάδας αποτελεί σημαντικό παράγοντα κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιών, το οποίο χαρακτηρίζεται από ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους, υγρούς χειμώνες.

Αυτό το εποχιακό κλιματικό πρότυπο ευνοεί τις συνθήκες που ευνοούν την ανάφλεξη και την ταχεία εξάπλωση των πυρκαγιών, ιδίως κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας και καύσωνα, οι οποίες γίνονται όλο και πιο συχνές και έντονες λόγω της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής [32], [33]. Οι κλιματικές συνθήκες επιδεινώνονται περαιτέρω από τους ισχυρούς ανέμους που επικρατούν σε ορισμένες περιοχές, οι οποίοι μπορούν να κλιμακώσουν γρήγορα μια τοπική πυρκαγιά σε πυρκαγιά μεγάλης κλίμακας [34].

Από οικολογική άποψη, οι τύποι βλάστησης που επικρατούν στην Ελλάδα, συμπεριλαμβανομένων των πυκνών δασών και των θαμνώνων, είναι ιδιαίτερα εύφλεκτοι, ιδίως κατά τους ξηρούς καλοκαιρινούς μήνες, όταν η περιεκτικότητα των φυτών σε υγρασία είναι χαμηλή. Το φυσικό καθεστώς πυρκαγιάς αυτών των οικοσυστημάτων, το οποίο ιστορικά περιελάμβανε περιοδικές πυρκαγιές χαμηλής έντασης, έχει μεταβληθεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οδηγώντας σε συσσώρευση εύφλεκτης βιομάζας και αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιών υψηλής. Οι ανθρωπογενείς παράγοντες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στο σενάριο των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα. Οι αλλαγές στις χρήσεις γης, ιδίως η εγκατάλειψη των παραδοσιακών γεωργικών και κτηνοτροφικών πρακτικών, έχουν οδηγήσει σε αυξημένη συσσώρευση βιομάζας και υψηλότερο φορτίο πυρκαγιάς στις αγροτικές περιοχές. Επιπλέον, οι ανθρωπογενείς αναφλέξεις, είτε τυχαίες είτε σκόπιμες, ευθύνονται για ένα σημαντικό ποσοστό των πυρκαγιών. Σε αυτές περιλαμβάνονται η γεωργική καύση, η απροσεξία (όπως τα πεταμένα τσιγάρα ή οι αφύλακτες φωτιές κατασκήνωσης) και ο εμπρησμός [17].



**Εικόνα 6.** Παράγοντες που προκαλούν πυρκαγιές

Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των παραγόντων δημιουργεί ένα πολύπλοκο τοπίο κινδύνου πυρκαγιών που αποτελεί πρόκληση για τη διαχείρισή του. Η ποικιλομορφία των παραγόντων που

συμβάλλουν στον κίνδυνο πυρκαγιάς καθιστά αναγκαία μια διαφοροποιημένη προσέγγιση στη διαχείριση των πυρκαγιών, η οποία ενσωματώνει την κατανόηση των τοπικών κλιματικών συνθηκών, των τύπων βλάστησης και των ανθρώπινων πρακτικών χρήσης γης. Η αντιμετώπιση των ανθρωπογενών παραγόντων, ιδίως μέσω της δέσμευσης και της εκπαίδευσης της κοινότητας, είναι κρίσιμη για τη μείωση της συχνότητας των ανθρωπογενών αναφλέξεων (Εικόνα 6).

Τα δασικά οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από ένα ευρύ φάσμα τύπων καύσιμης ύλης, καθένας από τους οποίους έχει μοναδικές ιδιότητες που επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά των πυρκαγιών. Αυτές οι καύσιμες ύλες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες με βάση την περιεκτικότητά τους σε υγρασία, το μέγεθος και τη χωρική τους διάταξη, ενώ κάθε κατηγορία παίζει ξεχωριστό ρόλο στην ανάφλεξη, την εξάπλωση και την ένταση των δασικών πυρκαγιών. Οι πρωταρχικοί τύποι καυσίμων στα δασικά οικοσυστήματα περιλαμβάνουν τα επιφανειακά καύσιμα, τα εναέρια καύσιμα και τα καύσιμα εδάφους. Τα επιφανειακά καύσιμα αποτελούνται από απορρίμματα, πεσμένα φύλλα, χόρτα και χαμηλούς θάμνους που βρίσκονται κοντά ή πάνω στο δάπεδο του δάσους. Τα εναέρια καύσιμα ή καύσιμα του θόλου αποτελούνται από ζωντανά και νεκρά υλικά εντός του θόλου του δάσους, όπως βελόνες, φύλλα, κλαδιά και κλαδιά. Τα καύσιμα εδάφους περιλαμβάνουν οργανική ύλη κάτω από το επιφανειακό στρώμα, όπως ρίζες, τύρφη και χέρσο, τα οποία μπορούν να σιγοκαίνε για μεγάλα χρονικά διαστήματα και είναι δύσκολο να σβήσουν [9].

Η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την ευφλεκτότητα των καυσίμων. Καθορίζεται από την ισορροπία μεταξύ της ατμοσφαιρικής υγρασίας και της ικανότητας του καυσίμου να απορροφά ή να απελευθερώνει νερό. Τα υγρά καύσιμα απαιτούν περισσότερη ενέργεια για την ανάφλεξη λόγω της θερμότητας που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού που περιέχουν, το οποίο λειτουργεί ουσιαστικά ως αποδέκτης θερμότητας. Αντίθετα, τα ξηρά καύσιμα μπορούν να αναφλεγούν ευκολότερα και να υποστηρίξουν την ταχύτερη εξάπλωση της πυρκαγιάς. Η περιεκτικότητα σε υγρασία των δασικών καυσίμων ποικίλλει εποχιακά και καθημερινά, επηρεαζόμενη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την υγρασία και τις βροχοπτώσεις. Το μέγεθος και το σχήμα των στοιχείων της καύσιμης ύλης επηρεάζουν την αναλογία επιφάνειας προς όγκο, με τα λεπτότερα καύσιμα, όπως τα χόρτα, οι βελόνες και τα μικρά κλαδιά, να αναφλέγονται και να καίγονται ταχύτερα από τα μεγαλύτερα καύσιμα, όπως οι κορμοί και τα μεγάλα κλαδιά [15]. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα λεπτότερα καύσιμα μπορούν να θερμανθούν ταχύτερα μέχρι τη θερμοκρασία ανάφλεξής τους λόγω της μεγαλύτερης έκθεσής τους σε πηγές θερμότητας σε σχέση με τη μάζα τους.

Η χωρική διάταξη των καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της οριζόντιας και κατακόρυφης συνέχειας και κατανομής τους, παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Η συνεχής καύσιμη ύλη μπορεί να διευκολύνει την ταχεία εξάπλωση της πυρκαγιάς, ενώ η ασυνεχής καύσιμη ύλη μπορεί να την επιβραδύνει ή να την ανακόψει. Η κατακόρυφη διάταξη των καυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε "σκάλα καυσίμων" που επιτρέπει στις πυρκαγιές να αναρριχηθούν από την επιφάνεια στην κόμη, μεταβαίνοντας από μια επιφανειακή πυρκαγιά σε μια πιο έντονη και δύσκολα ελεγχόμενη πυρκαγιά κόμης [35].

Τα δασικά οικοσυστήματα χαρακτηρίζονται από ένα ευρύ φάσμα τύπων καύσιμης ύλης, καθένας από τους οποίους έχει μοναδικές ιδιότητες που επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά των πυρκαγιών. Αυτές οι καύσιμες ύλες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορες κατηγορίες με

βάση την περιεκτικότητά τους σε υγρασία, το μέγεθος και τη χωρική τους διάταξη, ενώ κάθε κατηγορία παίζει ξεχωριστό ρόλο στην ανάφλεξη, την εξάπλωση και την ένταση των δασικών πυρκαγιών. Οι πρωταρχικοί τύποι καυσίμων στα δασικά οικοσυστήματα περιλαμβάνουν τα επιφανειακά καύσιμα, τα εναέρια καύσιμα και τα καύσιμα εδάφους. Τα επιφανειακά καύσιμα αποτελούνται από απορρίμματα, πεσμένα φύλλα, χόρτα και χαμηλούς θάμνους που βρίσκονται κοντά ή πάνω στο δάπεδο του δάσους. Τα εναέρια καύσιμα ή καύσιμα του θόλου αποτελούνται από ζωντανά και νεκρά υλικά εντός του θόλου του δάσους, όπως βελόνες, φύλλα, κλαδιά και κλαδιά. Τα καύσιμα εδάφους περιλαμβάνουν οργανική ύλη κάτω από το επιφανειακό στρώμα, όπως ρίζες, τύρφη και χέρσο, τα οποία μπορούν να σιγοκαίνε για μεγάλα χρονικά διαστήματα και είναι δύσκολο να σβήσουν [9].

Η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει την ευφλεκτότητα των καυσίμων. Καθορίζεται από την ισορροπία μεταξύ της ατμοσφαιρικής υγρασίας και της ικανότητας του καυσίμου να απορροφά ή να απελευθερώνει νερό. Τα υγρά καύσιμα απαιτούν περισσότερη ενέργεια για την ανάφλεξη λόγω της θερμότητας που απαιτείται για την εξάτμιση του νερού που περιέχουν, το οποίο λειτουργεί ουσιαστικά ως αποδέκτης θερμότητας. Αντίθετα, τα ξηρά καύσιμα μπορούν να αναφλεγούν ευκολότερα και να υποστηρίξουν την ταχύτερη εξάπλωση της πυρκαγιάς. Η περιεκτικότητα σε υγρασία των δασικών καυσίμων ποικίλλει εποχιακά και καθημερινά, επηρεαζόμενη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την υγρασία και τις βροχοπτώσεις. Το μέγεθος και το σχήμα των στοιχείων της καύσιμης ύλης επηρεάζουν την αναλογία επιφάνειας προς όγκο, με τα λεπτότερα καύσιμα, όπως τα χόρτα, οι βελόνες και τα μικρά κλαδιά, να αναφλέγονται και να καίγονται ταχύτερα από τα μεγαλύτερα καύσιμα, όπως οι κορμοί και τα μεγάλα κλαδιά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα λεπτότερα καύσιμα μπορούν να θερμανθούν ταχύτερα μέχρι τη θερμοκρασία ανάφλεξής τους λόγω της μεγαλύτερης έκθεσής τους σε πηγές θερμότητας σε σχέση με τη μάζα τους [15].

Η χωρική διάταξη των καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της οριζόντιας και κατακόρυφης συνέχειας και κατανομής τους, παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Η συνεχής καύσιμη ύλη μπορεί να διευκολύνει την ταχεία εξάπλωση της πυρκαγιάς, ενώ η ασυνεχής καύσιμη ύλη μπορεί να την επιβραδύνει ή να την ανακόψει. Η κατακόρυφη διάταξη των καυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε "σκάλα καυσίμων" που επιτρέπει στις πυρκαγιές να αναρριχηθούν από την επιφάνεια στην κόμη, μεταβαίνοντας από μια επιφανειακή πυρκαγιά σε μια πιο έντονη και δύσκολα ελεγχόμενη πυρκαγιά κόμης.

Τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην επίδραση της συμπεριφοράς και των προτύπων εξάπλωσης των πυρκαγιών, με το έδαφος, την κλίση, την όψη και το υψόμετρο να συμβάλλουν στην πολυπλοκότητα της δυναμικής των πυρκαγιών. Η αλληλεπίδραση αυτών των τοπογραφικών στοιχείων με τις μετεωρολογικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης μπορεί να μεταβάλει σημαντικά την ένταση, την ταχύτητα και την κατεύθυνση εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Η κλίση είναι ένας κρίσιμος τοπογραφικός παράγοντας που επηρεάζει τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Οι πυρκαγιές τείνουν να εξαπλώνονται ταχύτερα στην ανηφόρα λόγω της προθέρμανσης των καυσίμων πάνω από τη φωτιά από τα ανερχόμενα θερμά αέρια. Αυτή η προθέρμανση μειώνει το χρόνο ανάφλεξης των καυσίμων μπροστά από τη φωτιά, επιταχύνοντας έτσι την εξάπλωση της φωτιάς [36]. Όσο πιο απότομη είναι η κλίση, τόσο ταχύτερος είναι ο ρυθμός εξάπλωσης της πυρκαγιάς, φαινόμενο που υποστηρίζεται από την αρχή ότι η γωνία της κλίσης είναι ευθέως ανάλογη του ρυθμού εξάπλωσης

της πυρκαγιάς. Η σχέση αυτή οφείλεται στην αυξημένη μεταφορά θερμότητας ακτινοβολίας προς την άκαυστη καύσιμη ύλη μπροστά από τη φωτιά στις πιο απότομες πλαγιές. Η κλίση, ή η κατεύθυνση προς την οποία βλέπει μια πλαγιά, επηρεάζει τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς επηρεάζοντας τις μικροκλιματικές συνθήκες, ιδίως την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και την περιεκτικότητα σε υγρασία. Οι πλαγιές με νότιο προσανατολισμό στο βόρειο ημισφαίριο, για παράδειγμα, δέχονται περισσότερο άμεσο ηλιακό φως, οδηγώντας σε ξηρότερες συνθήκες και, κατά συνέπεια, σε πιο εύφλεκτα καύσιμα. Αντίθετα, οι πλαγιές με βόρειο προσανατολισμό τείνουν να είναι πιο δροσερές και υγρές, με αποτέλεσμα συχνά την βραδύτερη εξάπλωση της πυρκαγιάς λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε υγρασία της καύσιμης ύλης [10].

Το υψόμετρο επηρεάζει επίσης τη συμπεριφορά των πυρκαγιών μέσω των επιπτώσεών του στο κλίμα και στους τύπους βλάστησης. Τα υψηλότερα υψόμετρα συνδέονται συνήθως με χαμηλότερες θερμοκρασίες και υψηλότερη υγρασία, γεγονός που μπορεί να μειώσει την ένταση και την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Επιπλέον, ο τύπος της βλάστησης τείνει να αλλάζει με το υψόμετρο, επηρεάζοντας τα φορτία καύσιμης ύλης και την αναφλεξιμότητα. Για παράδειγμα, τα υψηλότερα υψόμετρα μπορεί να υποστηρίζουν λιγότερο εύφλεκτους τύπους βλάστησης από ό,τι τα χαμηλότερα υψόμετρα, επηρεάζοντας τη συμπεριφορά και την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Το ίδιο το έδαφος, συμπεριλαμβανομένης της παρουσίας κοιλάδων, κορυφογραμμών και φαράγγιων, μπορεί να δημιουργήσει πολύπλοκα μοτίβα ανέμων που επηρεάζουν την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Οι κοιλάδες μπορούν να διοχετεύσουν τους ανέμους, αυξάνοντας ενδεχομένως την εξάπλωση της πυρκαγιάς κατά μήκος του άξονά τους, ενώ οι κορυφογραμμές και τα φαράγγια μπορούν να προκαλέσουν στροβιλισμό και αλλαγή κατεύθυνσης των ανέμων, δημιουργώντας ακανόνιστη συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Το σύνθετο ανάγλυφο μπορεί επίσης να επηρεάσει τη διαθεσιμότητα οδών διαφυγής και ζωνών ασφαλείας για τους πυροσβέστες, επηρεάζοντας έτσι τις προσπάθειες καταστολής της πυρκαγιάς [37].

Οι καιρικές συνθήκες ασκούν βαθιά επίδραση στην εμφάνιση, την ένταση και την εξάπλωση των πυρκαγιών, με μεταβλητές όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η βροχόπτωση να παίζουν καθοριστικό ρόλο στη δυναμική των πυρκαγιών. Η αλληλεπίδραση αυτών των μετεωρολογικών παραγόντων μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες που ευνοούν την ανάφλεξη και τη διάδοση της πυρκαγιάς ή, αντίθετα, να μετριάσει τη δραστηριότητα της πυρκαγιάς. Η θερμοκρασία είναι μια κρίσιμη μετεωρολογική μεταβλητή που επηρεάζει τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς, κυρίως μέσω της επίδρασής της στην υγρασία και την ευφλεκτότητα της καύσιμης ύλης. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς μειώνοντας την υγρασία της καύσιμης ύλης, καθιστώντας τη βλάστηση πιο επιρρεπή στην ανάφλεξη. Οι αυξημένες θερμοκρασίες μπορούν επίσης να ενισχύσουν την ένταση της πυρκαγιάς αυξάνοντας τον ρυθμό καύσης [38]. Η θερμότητα που παράγεται από την ίδια την πυρκαγιά μπορεί να αυξήσει περαιτέρω τις τοπικές θερμοκρασίες, δημιουργώντας έναν βρόχο ανατροφοδότησης που επιδεινώνει τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς.

Η υγρασία, ή η ποσότητα υγρασίας στον αέρα, επηρεάζει αντίστροφα τη δραστηριότητα των πυρκαγιών. Τα χαμηλά επίπεδα υγρασίας οδηγούν σε ξηρότερες συνθήκες, μειώνοντας την υγρασία της καύσιμης ύλης και αυξάνοντας την πιθανότητα ανάφλεξης και εξάπλωσης. Η υψηλή υγρασία μπορεί να επιδράσει επιβραδυντικά στις πυρκαγιές, καθώς η αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία στον αέρα και τα καύσιμα δυσχεραίνει την έναρξη των πυρκαγιών και μειώνει την έντασή τους. Οι ημερήσιες διακυμάνσεις της υγρασίας, με χαμηλότερα επίπεδα κατά τη διάρκεια

της ημέρας και υψηλότερα επίπεδα τη νύχτα, μπορούν να οδηγήσουν σε διακυμάνσεις στη συμπεριφορά των πυρκαγιών, οδηγώντας συχνά σε μειωμένη δραστηριότητα πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η ταχύτητα του ανέμου είναι μια άλλη κρίσιμη καιρική μεταβλητή που επηρεάζει τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Ο άνεμος παρέχει οξυγόνο στη φωτιά, ενισχύοντας την καύση και αυξάνοντας την ένταση της φωτιάς. Επηρεάζει επίσης τον ρυθμό και την κατεύθυνση εξάπλωσης της πυρκαγιάς μεταφέροντας θερμότητα, κάρβουνα και φλόγες σε άκαυστες περιοχές, οδηγώντας δυνητικά σε ταχεία διάδοση της πυρκαγιάς και ανάπτυξη σημειακών πυρκαγιών πριν από το κύριο μέτωπο της πυρκαγιάς. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του ανέμου και της τοπογραφίας, ιδίως σε πολύπλοκα εδάφη, μπορεί να οδηγήσει σε ακανόνιστη και απρόβλεπτη συμπεριφορά της πυρκαγιάς [39].

Οι βροχοπτώσεις διαδραματίζουν διττό ρόλο στη δυναμική των πυρκαγιών. Οι επαρκείς βροχοπτώσεις μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς αυξάνοντας την υγρασία της καύσιμης ύλης, καθιστώντας τα καύσιμα λιγότερο εύφλεκτα και λιγότερο πιθανό να αναφλεγούν. Αντίθετα, περίοδοι ξηρασίας ή μειωμένης βροχόπτωσης μπορούν να οδηγήσουν σε ξηρότερες συνθήκες, αυξάνοντας την ευαισθησία στη φωτιά και την πιθανή συμπεριφορά πυρκαγιάς. Μετά την πυρκαγιά, οι έντονες βροχοπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε δευτερογενείς κινδύνους, όπως πλημμύρες και διάβρωση σε καμένες περιοχές, όπου η βλάστηση έχει αφαιρεθεί και η υδατοαπωθητικότητα του εδάφους έχει αυξηθεί από τη φωτιά [40].

### **1.3.1 Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας**

Τα γεωγραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των φυσικών τοπίων και οικοσυστημάτων της, καθώς και στην ευαισθησία της σε πυρκαγιές. Η Ελλάδα, που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της Ευρώπης, χαρακτηρίζεται από μια ποικιλόμορφη τοπογραφία που περιλαμβάνει εκτεταμένες ακτογραμμές, πολυάριθμα νησιά, τραχιά βουνά και πυκνά δάση. Αυτή η γεωγραφική ποικιλομορφία, σε συνδυασμό με τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής, συμβάλλει σε ένα ευρύ φάσμα τύπων βλάστησης, αλλά καθιστά επίσης τη χώρα επιρρεπή σε συχνές και έντονες πυρκαγιές. Το κλίμα της Ελλάδας είναι κατά κύριο λόγο μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από ήπιους, υγρούς χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Το κλίμα αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο κατά μήκος των παράκτιων περιοχών και στα νησιά, όπου οι θερμοκρασίες το καλοκαίρι μπορεί να εκτοξευθούν στα ύψη και οι βροχοπτώσεις γίνονται σπάνιες, δημιουργώντας ιδανικές συνθήκες για πυρκαγιές. Οι παρατεταμένες ξηρές περίοδοι οδηγούν στην αποξήρανση της βλάστησης, μετατρέποντας τεράστιες εκτάσεις τοπίου σε εξαιρετικά εύφλεκτα καύσιμα (Εικόνα 7).



**Εικόνα 7.** Γεωμορφολογικός χάρτης της Ελλάδας

Στην ενδοχώρα και σε μεγαλύτερα υψόμετρα, το κλίμα μπορεί να ποικίλλει, με πιο εύκρατες συνθήκες που περιλαμβάνουν ψυχρότερους χειμώνες και κάπως υψηλότερα επίπεδα βροχόπτωσης. Σε αυτές τις περιοχές υπάρχουν δάση που αποτελούνται κυρίως από κωνοφόρα και φυλλοβόλα είδη, τα οποία, παρά τις ψυχρότερες και πιο υγρές συνθήκες, μπορούν ακόμη να γίνουν ευάλωτα σε πυρκαγιά κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας και καύσινα που έχουν γίνει πιο συχνά λόγω της κλιματικής αλλαγής [28]. Οι τύποι βλάστησης στην Ελλάδα κυμαίνονται από μακί και φρύγανα, χαρακτηριστικά των μεσογειακών θαμνώνων, έως πυκνά δάση πεύκης, δρυός και οξιάς στις πιο εύκρατες και αλπικές περιοχές. Η μακκία, που χαρακτηρίζεται από πυκνούς, αιθαλείς θάμνους, είναι ιδιαίτερα εύφλεκτη κατά τους ξηρούς καλοκαιρινούς μήνες, συμβάλλοντας σημαντικά στον κίνδυνο πυρκαγιάς. Ομοίως, τα δάση πεύκης, με τη συσσώρευση εξαιρετικά εύφλεκτων βελονών και ρητινώδους υλικού, μπορούν να διατηρήσουν έντονες και ταχέως εξαπλούμενες πυρκαγιές. Ο συνδυασμός του μεσογειακού κλίματος της Ελλάδας, με τα ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, και της παρουσίας εύφλεκτων τύπων βλάστησης, ιδίως σε περιοχές όπου οι πρακτικές χρήσης γης έχουν οδηγήσει στη συσσώρευση βιομάζας, καθιστά τη χώρα ιδιαίτερα ευάλωτη σε πυρκαγιές. Η κατάσταση επιδεινώνεται από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, η οποία έχει οδηγήσει σε αυξημένες θερμοκρασίες, πιο ακραία καιρικά φαινόμενα και μεταβολή των προτύπων βροχόπτωσης, αυξάνοντας περαιτέρω τη συχνότητα και την ένταση των πυρκαγιών [29].



Η ιστορία των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα χαρακτηρίζεται από επαναλαμβανόμενα, σημαντικά γεγονότα που διαμόρφωσαν την προσέγγιση της χώρας στη διαχείριση των πυρκαγιών και τις πολιτικές χρήσης γης. Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μέρος των φυσικών και ανθρώπινων τοπίων της Ελλάδας εδώ και χιλιετίες, επηρεάζοντας τα οικοσυστήματα, τις οικονομίες και τις κοινωνίες. Με την πάροδο του χρόνου, οι τάσεις και οι επιπτώσεις αυτών των πυρκαγιών έχουν εξελιχθεί, αντανακλώντας τις αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες, τις πρακτικές χρήσης γης και τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Ιστορικά, οι πυρκαγιές στην Ελλάδα συχνά θεωρούνταν ως φυσικές διαταραχές που έπαιζαν ρόλο στη διαμόρφωση της δομής και της σύνθεσης των μεσογειακών οικοσυστημάτων. Ωστόσο, με την επέκταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και των οικισμών σε πυρόπληκτες περιοχές, η συχνότητα και η σοβαρότητα των πυρκαγιών άρχισαν να αυξάνονται, οδηγώντας σε σημαντικότερες κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Σημαντικά γεγονότα πυρκαγιών, ιδίως αυτά που συνέβησαν στα τέλη του 20ου και στις αρχές του 21ου αιώνα, ανέδειξαν την ευπάθεια των τοπίων και των κοινοτήτων της Ελλάδας στις πυρκαγιές.

Μια αξιοσημείωτη περίοδος ήταν το καλοκαίρι του 2007, όταν η Ελλάδα βίωσε μερικές από τις πιο καταστροφικές πυρκαγιές στην πρόσφατη ιστορία της. Οι πυρκαγιές αυτές είχαν ως αποτέλεσμα σημαντικές απώλειες ανθρώπινων ζωών, εκτεταμένες ζημιές σε περιουσίες και υποδομές και εκτεταμένη οικολογική καταστροφή, ιδίως στην περιοχή της Πελοποννήσου [29]. Οι πυρκαγιές του 2007 χαρακτηρίστηκαν από την ταχεία εξάπλωση, την υψηλή ένταση και τις προκλήσεις που αντιμετώπισαν οι προσπάθειες πυρόσβεσης, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για βελτιωμένες στρατηγικές διαχείρισης και πρόληψης των πυρκαγιών. Οι διαχρονικές τάσεις αποκαλύπτουν μια αύξηση της συχνότητας και της έντασης των πυρκαγιών στην Ελλάδα, ένα πρότυπο που έχει συνδεθεί με διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής αλλαγής, των αλλαγών στη χρήση γης και των μετατοπίσεων στα πρότυπα βλάστησης. Η κλιματική αλλαγή, ειδικότερα, έχει οδηγήσει σε θερμότερα και ξηρότερα καλοκαίρια, δημιουργώντας συνθήκες που ευνοούν περισσότερο την ανάφλεξη και την εξάπλωση πυρκαγιών. Επιπλέον, η εγκατάλειψη παραδοσιακών πρακτικών χρήσης γης, όπως η βόσκηση και η γεωργική καλλιέργεια, έχει οδηγήσει σε συσσώρευση βιομάζας στις αγροτικές περιοχές, αυξάνοντας περαιτέρω το φορτίο καύσιμης ύλης και τον κίνδυνο πυρκαγιάς.

Οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα είναι πολύπλευρες, επηρεάζοντας όχι μόνο τις άμεσες καμένες περιοχές αλλά και την ευρύτερη οικονομία και κοινωνία. Οι άμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν την απώλεια ανθρώπινων ζωών, τις υλικές ζημιές και το κόστος που συνδέεται με την πυρόσβεση και την αποκατάσταση μετά την πυρκαγιά. Οι έμμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν την απώλεια εισοδήματος από τη γεωργία και τον τουρισμό, τις μακροπρόθεσμες οικολογικές ζημιές και την υποβάθμιση των υπηρεσιών του οικοσυστήματος, όπως η ρύθμιση των υδάτων και η δέσμευση άνθρακα. Ως απάντηση στις ιστορικές και συνεχιζόμενες προκλήσεις που θέτουν οι πυρκαγιές, η Ελλάδα έχει εφαρμόσει διάφορα μέτρα που αποσκοπούν στη βελτίωση της πρόληψης, της ανίχνευσης και της καταστολής των πυρκαγιών. Αυτά περιλαμβάνουν τη δημιουργία μιας πιο ολοκληρωμένης και συντονισμένης υποδομής πυρόσβεσης, την εφαρμογή πρακτικών δασικής διαχείρισης για τη μείωση του φορτίου καύσιμης ύλης και την ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και εκστρατειών ευαισθητοποίησης του κοινού [28].



Οι πρόσφατες τάσεις και τα πρότυπα των ελληνικών πυρκαγιών χαρακτηρίζονται από αύξηση της συχνότητας, της σοβαρότητας και των οικολογικών επιπτώσεων, αντανakλώντας ευρύτερες αλλαγές που παρατηρούνται στην περιοχή της Μεσογείου και σε άλλες πυρόπληκτες περιοχές παγκοσμίως. Οι τάσεις αυτές συνδέονται στενά με ένα συνδυασμό κλιματικών, περιβαλλοντικών και ανθρώπινων παραγόντων, με την κλιματική αλλαγή να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην επιδείνωση των συνθηκών πυρκαγιάς. Μια από τις πιο αξιοσημείωτες τάσεις των τελευταίων ετών είναι η αύξηση του αριθμού των μεγάλων, υψηλής έντασης πυρκαγιών, οι οποίες έχουν προκαλέσει σημαντικές οικολογικές ζημιές, οικονομικές απώλειες και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ανθρώπινα θύματα. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο συνδυασμός παρατεταμένων ξηρασιών, υψηλότερων θερμοκρασιών και αυξημένων ταχυτήτων ανέμου που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή έχει συμβάλει στη δημιουργία πιο ακραίων καιρικών συνθηκών πυρκαγιάς στην Ελλάδα, οδηγώντας σε πυρκαγιές που είναι πιο δύσκολο να ελεγχθούν και να κατασταλούν [41].

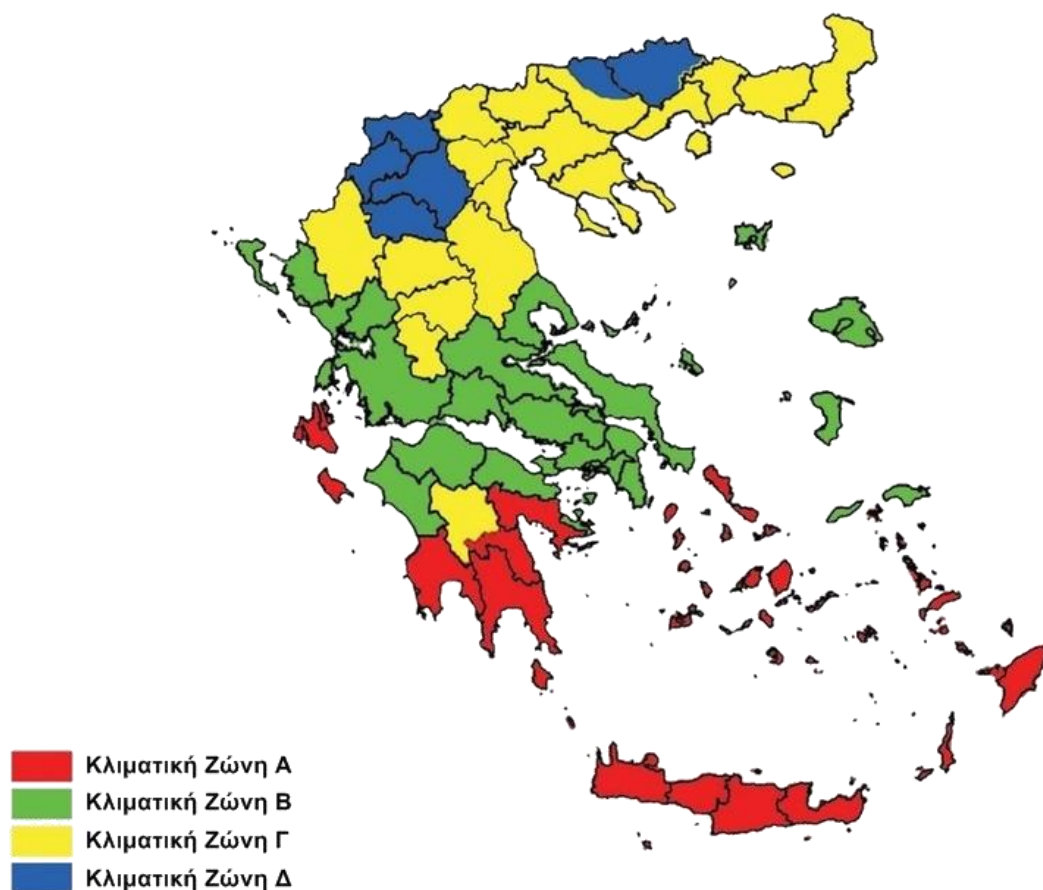
Μια άλλη σημαντική τάση είναι η επέκταση της αντιπυρικής περιόδου πέρα από τους παραδοσιακούς καλοκαιρινούς μήνες, με τις πυρκαγιές να εκδηλώνονται νωρίτερα την άνοιξη και αργότερα το φθινόπωρο. Η επέκταση αυτή αποδίδεται σε αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης και στην άνοδο της θερμοκρασίας, που οδηγούν σε ξηρότερες συνθήκες που ευνοούν την ανάφλεξη και την εξάπλωση των πυρκαγιών για μια πιο παρατεταμένη περίοδο. Η μεταβαλλόμενη εποχικότητα των πυρκαγιών θέτει νέες προκλήσεις για τη διαχείριση των πυρκαγιών και την κατανομή των πόρων, καθώς στενεύει το παράθυρο για την προδιαγεγραμμένη καύση και άλλες δραστηριότητες μείωσης της καύσιμης ύλης. Η χωρική κατανομή των πυρκαγιών στην Ελλάδα έχει επίσης παρουσιάσει αξιοσημείωτες αλλαγές, με αύξηση των πυρκαγιών σε περιοχές που προηγουμένως θεωρούνταν χαμηλότερου κινδύνου. Η μετατόπιση αυτή οφείλεται εν μέρει σε αλλαγές στις χρήσεις γης, όπως η εγκατάλειψη των γεωργικών εκτάσεων και η επέκταση των αστικών περιοχών στις διεπιφάνειες άγριας γης-αστικών περιοχών, όπου ο κίνδυνος ανάφλεξης και εξάπλωσης πυρκαγιάς είναι αυξημένος λόγω της εγγύτητας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και της εύφλεκτης βλάστησης.

Οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών γίνονται όλο και πιο σημαντικές, με πρόσφατες πυρκαγιές να προκαλούν εκτεταμένες ζημιές σε περιουσίες, υποδομές και στον τουρισμό, ο οποίος αποτελεί κρίσιμο τομέα της ελληνικής οικονομίας. Το άμεσο κόστος της πυρόσβεσης, της αποκατάστασης μετά την πυρκαγιά και της αποζημίωσης, σε συνδυασμό με το έμμεσο κόστος, όπως η απώλεια οικοσυστημικών υπηρεσιών, βιοποικιλότητας και ικανότητας δέσμευσης άνθρακα, έχουν αναδείξει την ανάγκη για αποτελεσματικότερες στρατηγικές πρόληψης και διαχείρισης των πυρκαγιών [29], [41]. Ανταποκρινόμενη σε αυτές τις τάσεις, η Ελλάδα εφαρμόζει μέτρα για την ενίσχυση της ετοιμότητας και των δυνατοτήτων αντιμετώπισης των πυρκαγιών, συμπεριλαμβανομένης της αναβάθμισης του εξοπλισμού πυρόσβεσης, της βελτίωσης των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και της επένδυσης σε προγράμματα ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης της κοινότητας. Επιπλέον, δίνεται ολοένα και μεγαλύτερη έμφαση στην υιοθέτηση ολοκληρωμένων προσεγγίσεων διαχείρισης πυρκαγιών που συνδυάζουν την καταστολή με την πρόληψη, τη διαχείριση της καύσιμης ύλης και την αποκατάσταση του τοπίου για τον μετριασμό των επιπτώσεων μελλοντικών πυρκαγιών.

### 1.3.2 Κλιματικές συνθήκες

Οι κλιματικές συνθήκες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη συχνότητα και την ένταση των δασικών πυρκαγιών, καθώς επηρεάζουν άμεσα την υγρασία της βλάστησης και τη διαθεσιμότητα καύσιμης ύλης (Εικόνα 8). Οι υψηλές θερμοκρασίες, οι παρατεταμένες περίοδοι ξηρασίας και οι ισχυροί άνεμοι αποτελούν βασικούς κλιματικούς παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο ανάφλεξης και εξάπλωσης των πυρκαγιών. Οι υψηλές θερμοκρασίες επιδρούν άμεσα στην υγρασία της βλάστησης, καθιστώντας την πιο επιρρεπή στην ανάφλεξη. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί σε επίπεδα που προκαλούν την αποξήρανση της βλάστησης και την αύξηση της ευφλεκτότητας των δασικών εκτάσεων. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επίσης συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους και της βλάστησης, ενισχύοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς (Bowman et al., 2009). Οι παρατεταμένες περίοδοι ξηρασίας, που χαρακτηρίζονται από έλλειψη βροχοπτώσεων για μεγάλα χρονικά διαστήματα, είναι ένας άλλος σημαντικός κλιματικός παράγοντας που αυξάνει τον κίνδυνο δασικών πυρκαγιών. Κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων, η βλάστηση χάνει την υγρασία της και γίνεται εξαιρετικά εύφλεκτη. Η ξηρασία μειώνει επίσης την υγρασία του εδάφους, κάνοντας τα φυτά πιο ευάλωτα στην ανάφλεξη (IPCC, 2014).

Οι ισχυροί άνεμοι, από την άλλη, μπορούν να επιδεινώσουν σημαντικά την εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών. Οι άνεμοι όχι μόνο ενισχύουν τη φλόγα και τη διάδοσή της, αλλά μπορούν επίσης να μεταφέρουν αναμμένα κάρβουνα σε μεγάλες αποστάσεις, δημιουργώντας νέες εστίες πυρκαγιάς. Η ταχύτητα και η κατεύθυνση των ανέμων παίζουν κρίσιμο ρόλο στη δυναμική των πυρκαγιών, καθιστώντας τις πιο απρόβλεπτες και δύσκολα διαχειρίσιμες (Keeley et al., 2012). Η αλλαγή του κλίματος έχει προκαλέσει σημαντικές μεταβολές στις κλιματικές συνθήκες παγκοσμίως, επηρεάζοντας την εμφάνιση και την ένταση των δασικών πυρκαγιών. Οι κλιματικές αλλαγές έχουν οδηγήσει σε αύξηση των θερμοκρασιών και των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι καύσωνες και οι ξηρασίες. Αυτές οι αλλαγές έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία συνθηκών που ευνοούν την εκδήλωση πυρκαγιών. Οι μελλοντικές προβλέψεις δείχνουν ότι οι κλιματικές συνθήκες θα συνεχίσουν να επιδεινώνονται, αυξάνοντας περαιτέρω τον κίνδυνο και την ένταση των πυρκαγιών σε παγκόσμιο επίπεδο (IPCC, 2014).



**Εικόνα 8.** Κλιματικές ζώνες Ελλάδας

### 1.3.3 Ανθρωπογενείς παράγοντες

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες αποτελούν έναν από τους κύριους παράγοντες που συμβάλλουν στην έναρξη και την εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών. Οι ανθρωπογενείς παράγοντες μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες: αμέλειες και σκόπιμες ενέργειες. Αυτές οι δραστηριότητες έχουν αυξήσει τη συχνότητα και την ένταση των πυρκαγιών, επηρεάζοντας σημαντικά το περιβάλλον και την ανθρώπινη ζωή. Οι αμέλειες αποτελούν μια σημαντική αιτία των δασικών πυρκαγιών. Στις ανεπτυγμένες περιοχές, οι αμέλειες μπορούν να προκύψουν από διάφορες καθημερινές δραστηριότητες. Ένα από τα συνηθέστερα αίτια είναι τα πεταμένα τσιγάρα, τα οποία όταν απορρίπτονται σε ξηρές και εύφλεκτες περιοχές μπορούν εύκολα να προκαλέσουν ανάφλεξη και να οδηγήσουν σε εκτεταμένες πυρκαγιές (FAO, 2007). Επίσης, οι ανεξέλεγκτες φωτιές κατασκήνωσης αποτελούν κίνδυνο, ιδίως σε τουριστικές περιοχές ή δάση που συχνά επισκέπτονται κατασκηνωτές. Οι φωτιές που ανάβουν για μαγείρεμα ή ζέσταμα και δεν σβήνουν σωστά μπορούν να εξαπλωθούν εύκολα στις γύρω περιοχές. Επιπλέον, οι γεωργικές καύσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν την καύση γεωργικών υπολειμμάτων ή βοσκοτόπων χωρίς τις κατάλληλες προφυλάξεις, μπορούν να οδηγήσουν σε ανεξέλεγκτες πυρκαγιές που εξαπλώνονται στα γύρω δάση (Moreira et al., 2011).

Οι σκόπιμες ενέργειες περιλαμβάνουν τις πυρκαγιές που προξενούνται εσκεμμένα για διάφορους λόγους. Οι εμπρησμοί αποτελούν μία από τις πιο σοβαρές αιτίες δασικών πυρκαγιών. Οι εμπρηστές μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιές για οικονομικά οφέλη, όπως η εκκαθάριση γης για νέες κατασκευές ή η δημιουργία χώρου για γεωργική εκμετάλλευση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι τοπικές κοινότητες μπορεί να καταφύγουν στην καύση δασικών εκτάσεων ως μέσο διαμαρτυρίας ή για την επίλυση τοπικών διαφωνιών σχετικά με τη χρήση γης (Groot et al., 2009). Οι αλλαγές στη χρήση της γης επηρεάζουν επίσης σημαντικά τον κίνδυνο δασικών πυρκαγιών. Η εγκατάλειψη των γεωργικών εκτάσεων οδηγεί σε αύξηση της βιομάζας και της εύφλεκτης ύλης, καθιστώντας τις περιοχές αυτές πιο επιρρεπείς σε πυρκαγιές. Η βλάστηση που δεν διαχειρίζεται αυξάνεται ανεξέλεγκτα, δημιουργώντας συνθήκες για μεγάλες και έντονες πυρκαγιές (Moreira et al., 2011). Η αστική επέκταση προς δασικές εκτάσεις αυξάνει την αλληλεπίδραση ανθρώπων με δάση, γεγονός που αυξάνει τις πιθανότητες έναρξης πυρκαγιών λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων (Keeley et al., 2012).

Οι ανθρωπογενείς πυρκαγιές έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την κοινωνία. Οικολογικά, οι πυρκαγιές μπορούν να καταστρέψουν μεγάλες εκτάσεις δασών, οδηγώντας σε απώλεια βιοποικιλότητας, διάβρωση του εδάφους και αλλαγές στη δομή των οικοσυστημάτων. Κοινωνικοοικονομικά, οι πυρκαγιές προκαλούν καταστροφές περιουσιών, απώλεια εισοδημάτων και αυξημένο κόστος για την καταπολέμηση και αποκατάσταση των πληγισμών περιοχών (Groot et al., 2009).

## 1.4 Στοιχεία Φυσικοχημείας και Συμπεριφοράς Πυρκαγιών

Οι θεμελιώδεις αρχές της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς περικλείονται στο τρίγωνο της φωτιάς, το οποίο προσδιορίζει τη θερμότητα, το οξυγόνο και το καύσιμο ως τα τρία βασικά συστατικά για να συμβεί η καύση. Αυτό το εννοιολογικό πλαίσιο χρησιμεύει ως ακρογωνιαίος λίθος για την κατανόηση της πολύπλοκης δυναμικής της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, συμπεριλαμβανομένης της έναρξης, της εξάπλωσης και της έντασής της. Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των στοιχείων όχι μόνο υπαγορεύει τη σκοπιμότητα μιας πυρκαγιάς, αλλά επηρεάζει επίσης την επακόλουθη συμπεριφορά της και τις δυνατότητες διαχείρισης και μετριασμού της. Η θερμότητα δρα ως πηγή ανάφλεξης, παρέχοντας την απαραίτητη ενέργεια για την αύξηση της θερμοκρασίας του καυσίμου στο σημείο ανάφλεξης, ξεκινώντας έτσι την καύση. Η πηγή αυτής της θερμότητας μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, από φυσικά φαινόμενα όπως οι κεραυνοί μέχρι πηγές που προκαλούνται από τον άνθρωπο, όπως οι φωτιές κατασκήνωσης ή τα πεταμένα τσιγάρα. Μόλις συμβεί η ανάφλεξη, η ίδια η πυρκαγιά παράγει θερμότητα, η οποία μπορεί να προθερμάνει τα παρακείμενα καύσιμα, διευκολύνοντας την εξάπλωση της πυρκαγιάς μέσω της μεταφοράς θερμότητας μέσω ακτινοβολίας και συναγωγής [42].

Το οξυγόνο, ένα κρίσιμο συστατικό της ατμόσφαιρας, υποστηρίζει τις χημικές αντιδράσεις που συντηρούν την καύση. Τυπικά, οι πυρκαγιές απαιτούν συγκέντρωση ατμοσφαιρικού οξυγόνου τουλάχιστον 16% για τη διατήρηση της καύσης, ενώ η συγκέντρωση του περιβάλλοντος γύρω στο 21% παρέχει επαρκή υποστήριξη για την εξάπλωση των πυρκαγιών. Οι διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητα του οξυγόνου, που επηρεάζονται από παράγοντες όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ένταση και την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, η αύξηση του ανέμου μπορεί να ενισχύσει την παροχή οξυγόνου στη φωτιά, εντείνοντας έτσι τη διαδικασία καύσης. Η διαθεσιμότητα και τα χαρακτηριστικά της

καύσιμης ύλης καθορίζουν θεμελιωδώς τη δυνατότητα μιας πυρκαγιάς να ξεκινήσει, να εξαπλωθεί και να διατηρηθεί. Τα καύσιμα μπορεί να διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ως προς τη σύνθεση, την περιεκτικότητα σε υγρασία, το μέγεθος και την κατανομή τους, τα οποία επηρεάζουν την καυστικότητα τους και τη φύση της πυρκαγιάς. Τα λεπτά καύσιμα, όπως τα χόρτα και τα φύλλα, μπορούν να αναφλεγούν και να καούν γρήγορα λόγω της υψηλής αναλογίας επιφάνειας προς όγκο και της χαμηλής περιεκτικότητάς τους σε υγρασία. Αντίθετα, τα μεγαλύτερα καύσιμα, όπως οι κορμοί και τα πυκνά κλαδιά, απαιτούν περισσότερη θερμότητα για να αναφλεγούν και να καούν λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς τους σε υγρασία και του χαμηλότερου λόγου επιφάνειας προς όγκο. Η χωρική διάταξη και η συνέχεια της καύσιμης ύλης παίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο στην εξάπλωση της πυρκαγιάς, με τις πιο συνεχείς καύσιμες ύλες να διευκολύνουν την ταχεία εξέλιξη της πυρκαγιάς[9].

Η δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ της θερμότητας, του οξυγόνου και της καύσιμης ύλης στηρίζει την πολύπλοκη συμπεριφορά των πυρκαγιών, με αλλαγές σε οποιοδήποτε από αυτά τα συστατικά να οδηγούν ενδεχομένως σε σημαντικές μεταβολές στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ή η μείωση της υγρασίας της καύσιμης ύλης μπορεί να μειώσει το κατώτατο όριο ενέργειας που απαιτείται για την ανάφλεξη, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Ομοίως, οι μεταβολές στα πρότυπα των ανέμων μπορούν να ενισχύσουν την παροχή οξυγόνου στο μέτωπο της πυρκαγιάς, προωθώντας την ταχύτερη εξάπλωση και τη μεγαλύτερη ένταση. Η κατανόηση των θεμελιωδών αρχών που περικλείονται στο τρίγωνο της πυρκαγιάς είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείριση των πυρκαγιών και τις στρατηγικές μετριασμού τους. Η γνώση αυτή αποτελεί τη βάση για τις προδιαγεγραμμένες καύσεις, όπου τα φορτία καύσιμης ύλης μειώνονται υπό ελεγχόμενες συνθήκες, καθώς και για την ανάπτυξη αντιπυρικών ζωνών και άλλων τακτικών καταστολής που αποσκοπούν στη διακοπή της διαθεσιμότητας μιας ή περισσότερων πλευρών του τριγώνου της πυρκαγιάς, περιορίζοντας ή κατασβέζοντας έτσι τις πυρκαγιές.

Η μετάδοση θερμότητας κατά τη διάρκεια δασικών πυρκαγιών είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει τη συμπεριφορά, την εξάπλωση και την ένταση της πυρκαγιάς. Αυτή η μετάδοση λαμβάνει χώρα μέσω τριών πρωταρχικών μηχανισμών: αγωγιμότητας, μεταφοράς και ακτινοβολίας, ο καθένας από τους οποίους παίζει έναν ξεχωριστό ρόλο στη δυναμική μιας δασικής πυρκαγιάς.

- **Αγωγή** είναι η μεταφορά θερμότητας μέσω ενός στερεού υλικού από το ένα μέρος στο άλλο. Στο πλαίσιο των δασικών πυρκαγιών, η αγωγιμότητα είναι σχετικά λιγότερο σημαντική λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας του ξύλου και της τυπικά ασυνεχούς φύσης των δασικών καυσίμων. Ωστόσο, μπορεί να παίζει ρόλο στην προθέρμανση και την ανάφλεξη των παρακείμενων καυσίμων που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το καιόμενο υλικό. Για παράδειγμα, η θερμότητα από έναν κορμό δέντρου που καίγεται μπορεί σιγά-σιγά να μεταφερθεί σε κοντινά κλαδιά και να βουρτσίσει, αυξάνοντας τη θερμοκρασία τους στο σημείο ανάφλεξης.
- **Συναγωγή** είναι η μεταφορά θερμότητας μέσω της κίνησης των υγρών, η οποία στην περίπτωση των δασικών πυρκαγιών αναφέρεται κυρίως στον αέρα. Αυτός ο μηχανισμός είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην κατακόρυφη εξάπλωση των πυρκαγιών, όπως όταν φλόγες και καυτά αέρια υψώνονται και προθερμαίνουν το φύλλωμα και τα κλαδιά πάνω από την

πυρκαγιά του εδάφους, οδηγώντας δυνητικά σε πυρκαγιές σε πυκνά δάση. Η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή επηρεάζεται από την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου, η οποία μπορεί να μεταφέρει θερμά αέρια και κάρβουνα σε νέες τοποθεσίες, αναφλέγοντας πυρκαγιές μπροστά από το κύριο μέτωπο της πυρκαγιάς.

- Η **ακτινοβολία** είναι η εκπομπή ενέργειας με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και αποτελεί κυρίαρχο μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας στις δασικές πυρκαγιές. Η ακτινοβολούμενη θερμότητα από τις φλόγες μπορεί να προθερμάνει το άκαυστο καύσιμο πριν από τη φωτιά, μειώνοντας τη θερμοκρασία ανάφλεξης του και διευκολύνοντας την εξάπλωση της φωτιάς σε αποστάσεις χωρίς άμεση επαφή με τη φλόγα. Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στα διάκενα και τα κενά στο καύσιμο, όπου η μεταφορά θερμότητας με αγωγή και αγώγιμο μπορεί να είναι λιγότερο αποτελεσματική.

Η αλληλεπίδραση αυτών των μηχανισμών μετάδοσης θερμότητας συμβάλλει στην περίπλοκη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών. Για παράδειγμα, η ένταση και η ταχύτητα μιας πυρκαγιάς μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά κάτω από συνθήκες που ευνοούν τη μεταφορά θερμότητας, όπως οι υψηλές ταχύτητες ανέμου, οι οποίες μπορούν να σηκώσουν αναμμένα κάρβουνα και να δημιουργήσουν πυρκαγιές, οδηγώντας σε ταχεία εξάπλωση της φωτιάς. Ομοίως, το σχήμα και το μέγεθος των φλογών, που επηρεάζουν τη μεταφορά θερμότητας από ακτινοβολία, μπορεί να επηρεάσει τον ρυθμό με τον οποίο τα άκαυστα καύσιμα προθερμαίνονται και αναφλέγονται [10], [43].

## 1.5 Στρατηγικές Διαχείρισης και Μετριασμού των Πυρκαγιών

Η αποτελεσματική διαχείριση και μετριασμός των δασικών πυρκαγιών απαιτεί ένα συνδυασμό προληπτικών και κατασταλτικών στρατηγικών, καθώς και την εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών και πρακτικών διαχείρισης. Αυτές οι στρατηγικές πρέπει να είναι ολιστικές και να λαμβάνουν υπόψη τόσο τις κλιματικές όσο και τις ανθρωπογενείς παραμέτρους που συμβάλλουν στην εμφάνιση και την εξάπλωση των πυρκαγιών (Εικόνα 9).

Οι προληπτικές στρατηγικές επικεντρώνονται στη μείωση των παραγόντων που καθιστούν τις δασικές περιοχές ευάλωτες στις πυρκαγιές. Μερικές από τις πιο αποτελεσματικές προληπτικές πρακτικές περιλαμβάνουν τη διαχείριση της βλάστησης, τη δημιουργία ζωνών πυροπροστασίας και την εκπαίδευση του κοινού. Η διαχείριση της βλάστησης, μέσω προδιαγεγραμμένων καύσεων και αραίωσης των δασών, μπορεί να μειώσει την ποσότητα της καύσιμης ύλης και συνεπώς τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Οι προδιαγεγραμμένες καύσεις πραγματοποιούνται υπό ελεγχόμενες συνθήκες για να μειωθεί η συσσώρευση εύφλεκτης βλάστησης και να δημιουργηθούν ζώνες πυροπροστασίας (Agee & Skinner, 2005). Επίσης, η δημιουργία ζωνών πυροπροστασίας γύρω από κατοικημένες περιοχές, δρόμους και άλλες υποδομές είναι κρίσιμη για την προστασία από τις δασικές πυρκαγιές. Τέλος, η εκπαίδευση του κοινού σχετικά με τους κινδύνους των πυρκαγιών και τις πρακτικές πρόληψης είναι ζωτικής σημασίας. Οι ενημερωτικές εκστρατείες και τα προγράμματα εκπαίδευσης μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των αμελειών και των σκόπιμων εμπρησμών (FAO, 2007).



**Εικόνα 9.** Στρατηγικές Διαχείρισης και Μετριασμού των Πυρκαγιών

Οι κατασταλτικές στρατηγικές επικεντρώνονται στην αποτελεσματική αντιμετώπιση των πυρκαγιών μόλις αυτές εκδηλωθούν. Οι στρατηγικές αυτές περιλαμβάνουν την άμεση επέμβαση, τη χρήση εναέριων μέσων και τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης. Η άμεση επέμβαση στις πυρκαγιές είναι κρίσιμη για τον περιορισμό τους. Οι ομάδες πυρόσβεσης πρέπει να είναι καλά εξοπλισμένες και εκπαιδευμένες για να αντιμετωπίσουν γρήγορα και αποτελεσματικά τις φωτιές. Τα εναέρια μέσα, όπως τα αεροπλάνα και τα ελικόπτερα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατάσβεση πυρκαγιών σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές. Η ρίψη νερού ή επιβραδυντικών υλικών από τον αέρα είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τον περιορισμό της εξάπλωσης των πυρκαγιών. Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, που βασίζονται σε δορυφορικές εικόνες και μετεωρολογικά δεδομένα, μπορούν να βοηθήσουν στην έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιών και στην πρόβλεψη της εξάπλωσής τους. Αυτό επιτρέπει την ταχύτερη και πιο συντονισμένη αντίδραση των ομάδων πυρόσβεσης (Chuniec et al., 2010).

Η χρήση της τεχνολογίας είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική διαχείριση των δασικών πυρκαγιών. Η δορυφορική παρακολούθηση, τα μοντέλα πρόβλεψης και τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μερικές από τις τεχνολογικές εφαρμογές που μπορούν να συμβάλλουν στη διαχείριση των πυρκαγιών. Η δορυφορική παρακολούθηση επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση των δασικών εκτάσεων για την έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιών και την αξιολόγηση της έκτασής τους. Τα δορυφορικά δεδομένα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των κλιματικών συνθηκών που συμβάλλουν στις πυρκαγιές (Giglio et al., 2018). Τα μοντέλα πρόβλεψης των πυρκαγιών χρησιμοποιούν δεδομένα σχετικά με τις καιρικές συνθήκες, την υγρασία της

βλάστησης και την καύσιμη ύλη για να προβλέψουν την πιθανότητα και την εξάπλωση των πυρκαγιών. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να βοηθήσουν τις αρχές να προετοιμαστούν και να λάβουν προληπτικά μέτρα. Τα δίκτυα αισθητήρων στο έδαφος μπορούν να παρακολουθούν τις κλιματικές συνθήκες και την υγρασία του εδάφους και της βλάστησης σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι πληροφορίες είναι πολύτιμες για την πρόληψη και την έγκαιρη ανίχνευση των πυρκαγιών (Siljander, 2009).

## 1.6 Διαχείριση δασικών εκτάσεων

Η ενσωμάτωση των πυρκαγιών στις πρακτικές διαχείρισης των δασών αντιπροσωπεύει μια αλλαγή παραδείγματος προς την κατεύθυνση της αναγνώρισης της πυρκαγιάς ως φυσικής και ουσιαστικής οικολογικής διαδικασίας και όχι αποκλειστικά ως καταστροφικής δύναμης που πρέπει να κατασταλεί. Αυτή η διαφοροποιημένη προσέγγιση στη διαχείριση των δασών, που συχνά αναφέρεται ως "έξυπνη" διαχείριση της πυρκαγιάς, επιδιώκει να εξισορροπήσει τα οικολογικά οφέλη των φυσικών πυρκαγιών με την ανάγκη προστασίας της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας. Στα προσαρμοσμένα στη φωτιά οικοσυστήματα, η ιστορική προσέγγιση της καταστολής των πυρκαγιών οδήγησε συχνά σε απρόβλεπτες συνέπειες, όπως η συσσώρευση υπερβολικού φορτίου καύσιμης ύλης, η αύξηση της σοβαρότητας των πυρκαγιών και η μεταβολή της δυναμικής του οικοσυστήματος [35]. Αναγνωρίζοντας αυτές τις προκλήσεις, οι σύγχρονες στρατηγικές διαχείρισης των δασών ενσωματώνουν όλο και περισσότερο τη χρήση προδιαγεγραμμένων καύσεων και ελεγχόμενων πυρκαγιών για τη μίμηση των φυσικών καθεστώτων πυρκαγιάς, τη μείωση της συσσώρευσης καυσίμων και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας [44].

Οι προκαθορισμένες καύσεις, προσεκτικά σχεδιασμένες και ελεγχόμενες πυρκαγιές, χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των θάμνων και της νεκρής βλάστησης, μειώνοντας έτσι την πιθανή καύσιμη ύλη για μεγαλύτερες, ανεξέλεγκτες πυρκαγιές. Η πρακτική αυτή όχι μόνο μετριάζει τον κίνδυνο πυρκαγιών υψηλής έντασης, αλλά προάγει επίσης την αναγέννηση φυτικών ειδών προσαρμοσμένων στη φωτιά και ενισχύει την ποικιλομορφία των ενδιαιτημάτων για την άγρια ζωή [45]. Επιπλέον, με την επαναφορά της φωτιάς σε αυτά τα οικοσυστήματα, οι διαχειριστές δασών μπορούν να συμβάλουν στην αποκατάσταση του φυσικού κύκλου της φωτιάς, ο οποίος είναι κρίσιμος για τη μακροπρόθεσμη υγεία και ανθεκτικότητα πολλών δασικών τοπίων. Οι διαχειριζόμενες πυρκαγιές, κατά τις οποίες οι πυρκαγιές που αναφλέγονται με φυσικό τρόπο αφήνονται να καούν υπό στενή παρακολούθηση, αποτελούν μια άλλη πτυχή της ενσωμάτωσης της φωτιάς στη διαχείριση των δασών. Η προσέγγιση αυτή αξιοποιεί τις φυσικές αναφλέξεις για την επίτευξη διαχειριστικών στόχων, όπως η μείωση των φορτίων καύσιμης ύλης και η ενίσχυση της ποικιλομορφίας των οικοσυστημάτων, υπό την προϋπόθεση ότι οι πυρκαγιές δεν αποτελούν άμεση απειλή για την ανθρώπινη ζωή ή περιουσία [46], [47]. Οι διαχειριζόμενες πυρκαγιές μπορούν να προσφέρουν μια πιο οικονομικά αποδοτική και οικολογικά ορθή εναλλακτική λύση στην πλήρη καταστολή, ιδίως σε απομακρυσμένες ή άγριες περιοχές.

Ωστόσο, η εφαρμογή της πυρκαγιάς ως εργαλείου διαχείρισης πρέπει να υποστηρίζεται από αυστηρή επιστημονική κατανόηση και ισχυρά συστήματα παρακολούθησης. Οι διαχειριστές των δασών πρέπει να λαμβάνουν υπόψη ένα πλήθος παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των καιρικών συνθηκών, των επιπέδων υγρασίας της καύσιμης ύλης και των οικολογικών χαρακτηριστικών του δάσους, για να διασφαλίσουν ότι η χρήση της φωτιάς επιτυγχάνει τα επιθυμητά αποτελέσματα χωρίς να προκαλεί ακούσια βλάβη [48]. Επιπλέον, η επιτυχία των



στρατηγικών διαχείρισης με βάση τη φωτιά εξαρτάται από την αποδοχή και την κατανόηση του κοινού. Η εκπαίδευση και η εμπλοκή της κοινότητας είναι ζωτικής σημασίας για τη συγκέντρωση υποστήριξης για αυτές τις πρακτικές, καθώς συχνά έρχονται σε αντίθεση με την παραδοσιακή αντίληψη της φωτιάς ως μιας αμιγώς καταστροφικής δύναμης [49].

## 1.7 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση και κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν στις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα. Η έρευνα επικεντρώνεται στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των κλιματικών και μετεωρολογικών συνθηκών, των τύπων βλάστησης, της χρήσης γης και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων με τη συχνότητα και την ένταση των πυρκαγιών. Η μελέτη αυτή πραγματοποιείται μέσω της ανάλυσης δεδομένων και της χρήσης στατιστικών εργαλείων, όπως το SPSS® της IBM® και τα υπολογιστικά φύλλα Microsoft Office Excel®. Επιπλέον, η έρευνα επιδιώκει να αναδείξει τις οικολογικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών και να προτείνει στρατηγικές για τη μείωση του κινδύνου και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων.

## 1.8 Πρωτοτυπία της εργασίας

Η πρωτοτυπία της έρευνας έγκειται στην ολιστική προσέγγιση που ακολουθείται για την κατανόηση του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, η μελέτη αναλύει τη σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ κλιματικών συνθηκών, βλάστησης και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη εικόνα των αιτίων των πυρκαγιών. Επικεντρώνεται στις ιδιαιτερότητες του ελληνικού περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές κλιματικές, γεωγραφικές και οικολογικές συνθήκες που καθιστούν τις δασικές πυρκαγιές ιδιαίτερα έντονες και συχνές. Επιπλέον, χρησιμοποιεί προηγμένες στατιστικές μεθόδους και λογισμικά για την ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων, επιτρέποντας την ακριβή πρόβλεψη και την κατανόηση των τάσεων και των προτύπων των πυρκαγιών. Ενσωματώνει εμπειρικά δεδομένα από παρατηρήσεις πεδίου και ιστορικά αρχεία, τα οποία συνδυάζονται με σύγχρονες τεχνικές ανάλυσης για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Τέλος, η έρευνα αναπτύσσει πρακτικές συστάσεις για τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών και τη μείωση των κινδύνων, βασισμένες σε εμπειρικά ευρήματα και την κατανόηση των τοπικών συνθηκών. Με αυτήν την προσέγγιση, η έρευνα συμβάλλει σημαντικά στην επιστημονική κατανόηση και στην ανάπτυξη πολιτικών για την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών, προσφέροντας πρακτικά εργαλεία και γνώση για την προστασία των δασικών οικοσυστημάτων και των ανθρώπινων κοινοτήτων στην Ελλάδα.

## 1.9 Καινοτομία της παρούσας έρευνας

Η καινοτομία της παρούσας έρευνας έγκειται κυρίως στην ολιστική προσέγγιση που υιοθετεί για την κατανόηση και διαχείριση των δασικών πυρκαγιών. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους που εστιάζουν σε μεμονωμένους παράγοντες, αυτή η μελέτη συνδυάζει δεδομένα για τις κλιματικές συνθήκες, τη βλάστηση, τη χρήση της γης και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Μέσω της πολυπαραγοντικής ανάλυσης που εφαρμόζεται με τη χρήση στατιστικών εργαλείων όπως το SPSS και τα υπολογιστικά φύλλα Excel, η έρευνα επιτυγχάνει μια βαθύτερη κατανόηση των αιτίων των πυρκαγιών και των τρόπων μετριασμού τους. Επιπλέον, η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών, όπως η δορυφορική παρακολούθηση και τα δίκτυα αισθητήρων,

προσφέρει ακριβή και συνεχή δεδομένα για την ανίχνευση και την παρακολούθηση των πυρκαγιών, καθώς και την εκτίμηση του κινδύνου και της εξάπλωσής τους.

Αυτή η καινοτόμος προσέγγιση αναμένεται να συμβάλει ουσιαστικά στη διαμόρφωση πολιτικών και πρακτικών για τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών. Τα ευρήματα της μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις αρμόδιες αρχές για την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης και καταστολής, καθώς και για την ευαισθητοποίηση και εκπαίδευση του κοινού. Επιπλέον, οι προτάσεις που θα προκύψουν από την έρευνα μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της διαχείρισης των δασικών εκτάσεων και στη μείωση του κινδύνου πυρκαγιών, συμβάλλοντας στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και την προστασία των οικοσυστημάτων. Συνολικά, η έρευνα αναμένεται να προσφέρει σημαντικά οφέλη στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών, προστατεύοντας τους φυσικούς πόρους και τις ανθρώπινες κοινότητες.

## 1.10 Δομή της εργασίας

Η διπλωματική εργασία ξεκινά με την Εισαγωγή, η οποία παρουσιάζει το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών, τη σημασία της έρευνας και τους στόχους της, ενώ παράλληλα περιγράφει τη δομή της εργασίας. Η Μεθοδολογία περιγράφει την περιοχή μελέτης, τις διαδικασίες συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, και τις στατιστικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, συμπεριλαμβανομένης της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Τα Αποτελέσματα κι η Συζήτηση παρουσιάζουν τα ευρήματα της ανάλυσης, τις συσχετίσεις μεταξύ των κλιματικών παραμέτρων και των πυρκαγιών, καθώς και τη χωρική και χρονική κατανομή τους. Επίσης, συγκρίνονται τα αποτελέσματα με προηγούμενες έρευνες, και εξετάζονται οι επιπτώσεις για τη διαχείριση των πυρκαγιών. Στα Συμπεράσματα και Προτάσεις, συνοψίζονται τα κύρια ευρήματα, προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και γίνονται συστάσεις πολιτικής. Η Βιβλιογραφία περιλαμβάνει όλες τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ τα Παραρτήματα παρέχουν επιπλέον δεδομένα και τεχνικές λεπτομέρειες.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1 Μελέτη Περίπτωσης

Η επίσημη ονομασία της Ελλάδας είναι Ελληνική Δημοκρατία, η οποία βρίσκεται στη Νοτιοανατολική Ευρώπη και συγκεκριμένα στο νότιο άκρο της Βαλκανικής Χερσονήσου. Συνορεύει με την Τουρκία στα βορειοανατολικά, τη Βόρεια Μακεδονία και τη Βουλγαρία στα βόρεια και την Αλβανία στα βορειοδυτικά. Η χώρα συνορεύει με το Λιβυκό Πέλαγος στα νότια, το Ιόνιο Πέλαγος στα δυτικά και το Αιγαίο Πέλαγος στα ανατολικά. Η Ελλάδα χωρίζεται σε 54 νομούς. Μέχρι το 2010, κάθε νομός, εκτός από την Αττική, διέθετε ένα δευτεροβάθμιο όργανο τοπικής αυτοδιοίκησης, γνωστό ως νομαρχιακές αρχές (Πρόγραμμα Καποδίστριας). Εξαιρέση αποτελεί το Άγιο Όρος, ή "Αυτόνομη Μοναστική Πολιτεία", το οποίο υπάγεται σε ειδική εκκλησιαστική δικαιοδοσία. Με το νέο σύστημα διοικητικής διαίρεσης (Πρόγραμμα Καλλικράτης) που εισήχθη το 2011, υπήρξε αναθεώρηση των διοικητικών ορίων (Μονάδες Τοπικής Αυτοδιοίκησης) με τους 54 νομούς να παρατίθενται στον Πίνακα 1 και η διάταξή τους να παρουσιάζεται στον Χάρτη 1.



**Εικόνα 10.** Χάρτης ορίων αυτοδιοικητικών μονάδων (ΟΤΑ) σύμφωνα με το σχέδιο Καλλικράτης

**Πίνακας 1.** Ποσοτικά στοιχεία των νομών της Ελλάδας

Αττική				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
1	Νομός Αθηνών	Αθήνα	317	2.664.779
2	Νομός Ανατολικής Αττικής	Παλλήνη	1.513	403.918
3	Νομός Δυτικής Αττικής	Ελευσίνα	1.004	151.612
4	Νομός Πειραιά	Πειραιάς	929	541.504
Στερεά Ελλάδα				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
5	Νομός Ευβοίας	Χαλκίδα	4.167	210.815
6	Νομός Ευρυτανίας	Καρπενήσι	1.869	20.081
7	Νομός Φωκίδας	Άμφισσα	2.120	40.343
8	Νομός Φθιώτιδας	Λαμία	4.441	158.231
9	Νομός Βοιωτίας	Λιβαδειά	2.952	120.432
Κεντρική Μακεδονία				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
10	Νομός Χαλκιδικής	Πολύγυρος	2.918	105.908
11	Νομός Ημαθίας	Βέροια	1.701	140.611
12	Νομός Κιλκίς	Κιλκίς	2.519	80.419
13	Νομός Πέλλας	Έδεσσα	2.506	139.680
14	Νομός Πιερίας	Κατερίνης	1.516	126.698
15	Νομός Σερρών	Σέρρες	3.968	176.430
16	Νομός Θεσσαλονίκης	Θεσσαλονίκη	3.683	1.110.183

Κρήτη				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
17	Νομός Χανίων	Χανιά	2.376	156.585
18	Νομός Ηρακλείου	Ηράκλειο	2.641	304.270
19	Νομός Λασιθίου	Άγιος Νικόλαος	1.823	76.319
20	Νομός Ρεθύμνου	Ρέθυμνο	1.496	85.160
Ανατολική Μακεδονία & Θράκη				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
21	Νομός Δράμας	Άρτα	1.662	67.877
22	Νομός Έβρου	Αλεξανδρούπολη	4.242	147.947
23	Νομός Καβάλας	Καβάλα	2.111	124.917
24	Νομός Ροδόπης	Κομοτηνή	2.543	112.039
25	Νομός Ξάνθης	Ξάνθη	1.793	111.222
Ήπειρος				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
26	Νομός Άρτας	Άρτα	1.662	67.877
27	Νομός Ιωαννίνων	Ιωάννινα	4.990	167.901
28	Νομός Πρέβεζας	Πρέβεζα	1.036	57.491
29	Νομός Θεσπρωτίας	Ηγουμενίτσα	1.515	43.587
Ιόνιοι Νήσοι				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός

30	Νομός Κέρκυρας	Κέρκυρα	641	104.371
31	Νομός Κεφαλληνίας	Αργοστόλι	904	41.365
32	Νομός Λευκάδας	Λευκάδα	356	23.693
33	Νομός Ζακύνθου	Ζάκυνθος	406	39.015
<b>Βόρειο Αιγαίο</b>				
<b>A/A</b>	<b>Νομός</b>	<b>Έδρα Νομού</b>	<b>Έκταση (Km)<sup>2</sup></b>	<b>Πληθυσμός</b>
34	Νομός Χίου	Χίος	904	52.674
35	Νομός Λέσβου	Μυτιλήνη	1.633	86.436
36	Νομός Σάμου	Σάμος	778	43.595
<b>Πελοπόννησος</b>				
<b>A/A</b>	<b>Νομός</b>	<b>Έδρα Νομού</b>	<b>Έκταση (Km)<sup>2</sup></b>	<b>Πληθυσμός</b>
37	Νομός Αρκαδίας	Τρίπολη	4.419	86.685
38	Νομός Αργολίδας	Ναύπλιο	2.154	97.044
39	Νομός Κορινθίας	Κόρινθος	2.290	145.082
40	Νομός Λακωνίας	Σπάρτη	3.636	89.138
41	Νομός Μεσσηνίας	Καλαμάτα	2.991	159.954
<b>Νότιο Αιγαίο</b>				
<b>A/A</b>	<b>Νομός</b>	<b>Έδρα Νομού</b>	<b>Έκταση (Km)<sup>2</sup></b>	<b>Πληθυσμός</b>
42	Νομός Κυκλάδων	Ερμούπολη	2.572	112.615
43	Νομός Δωδεκανήσου	Ρόδος	2.714	190.071
<b>Θεσσαλία</b>				

A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
44	Νομός Καρδίτσας	Καρδίτσα	2.636	113.544
45	Νομός Λάρισας	Λάρισα	5.381	284.325
46	Νομός Μαγνησίας	Βόλος	2.636	208.500
47	Νομός Τρικάλων	Τρίκαλα	3.384	131.085

Δυτική Ελλάδα				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
48	Νομός Αχαΐας	Πάτρα	3.271	309.694
49	Νομός Αιτωλοακαρνανίας	Μεσολόγγι	5.447	210.802
50	Νομός Ηλείας	Πύργος	2.618	159.300
Δυτική Μακεδονία				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
51	Νομός Φλώρινας	Φλώρινα	1.924	54.768
52	Νομός Γρεβενών	Γρεβενά	2.291	37.947
53	Νομός Καστοριάς	Καστοριά	1.720	50.322
54	Νομός Κοζάνης	Κοζάνης	3.516	170.196
Αυτοδιοίκητο				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
	 Άγιο Όρος	Καρυές	336	2.416

Πίνακας 2. Οι νομοί της Ελλάδας



### 2.1.1 Το κλίμα της Ελλάδας

Τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Ελλάδας είναι ο ήπιος και βροχερός χειμώνας, θερμά και ξηρά καλοκαίρια με ηλιοκάλυψη σχεδόν όλες τις μέρες του χρόνου. Ο χειμώνας στις ορεινές περιοχές είναι δριμύς λόγω των μεγάλων ορεινών όγκων και οροσειρών κατά μήκος της κεντρικής χώρας. Η άνοιξη είναι μεταβατική και ασταθής περίοδος με εναλλαγές σε χαρακτηριστικά χειμώνα και θέρους όπως και το φθινόπωρο αλλά με μικρότερη διάρκεια. Όσον αφορά το θέρος, αποτελεί μια σειρά ημερών έντονης ηλιοφάνειας, με θερμές ημέρες, καταστάσεις χαμηλής σχετικής υγρασίας, υψηλών θερμοκρασιών αλλά και ισχυρών τοπικών ανέμων, στοιχεία τα οποία βοηθούν την έναρξη και εξάπλωση των αγροτοδασικών πυρκαγιών. Η διακύμανση του υετού στην Ελλάδα είναι από 350mm στήλης νερού που σε ορισμένες περιοχές μπορεί να φτάσει και τα 2.000mm. Αντίθετα, το θέρος είναι υποβαθμισμένο με εξαίρεση την εμφάνιση κάποιων διάσπαρτων διαβατικών όμβριων υδάτων που είναι ικανά να προκαλέσουν ταχεία απορροή.

### 2.1.2 Κλιματική Αλλαγή στην Ελλάδα

Φονικές πλημμύρες, λιώσιμο των πάγων, υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία ακόμα και τυφώνες, είναι φαινόμενα της κλιματικής αλλαγής που δε συμβαίνουν συχνά στην Ελλάδα. Παρ' όλα αυτά, έχουν γίνει παρατηρήσεις στον ελλαδικό χώρο για φαινόμενα τέτοια με ανεπανάρθωτες καταστροφές και με την άγνοια αυτών να μην επιτρέπει τον δημόσιο ή ιδιωτικό σχεδιασμό για πρόληψη και καταστολή.

Η Ελλάδα αποτελεί πόλο έλξης τουριστών από κάθε σημείο του πλανήτη κάθε χρόνο λόγω του ζεστού και ξηρού θέρους. Ο συνδυασμός των ήπιων και υγρών χειμώνων και του ζεστού θέρους, δημιουργούν μια βάση για την γεωργική ανάπτυξη, όπως επίσης και τη δημιουργία μιας μεγάλης βιοποικιλότητας με χιλιάδες στρέμματα δασικών εκτάσεων. Η πίεση που δέχεται αυτός ο φυσικός πλούτος είναι μεγάλος και η χώρα μας είναι εκτεθειμένη στις επερχόμενες αλλαγές του κλίματος.

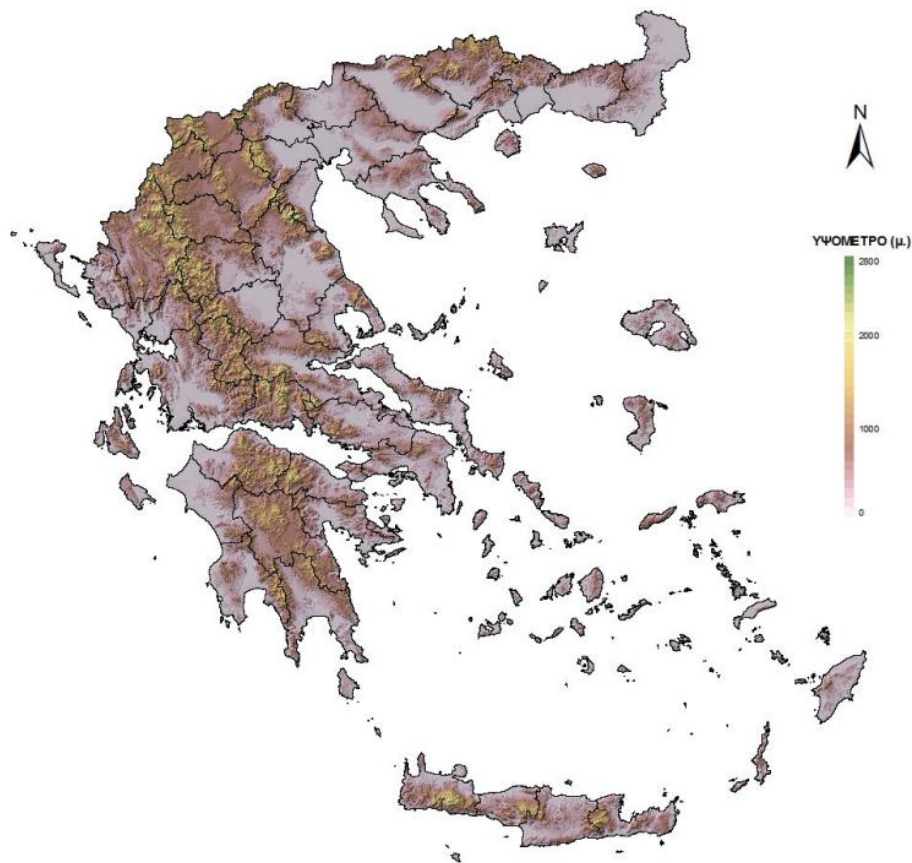
Η **WWF Ελλάς** σε έρευνά της που έγινε σε συνεργασία με το **Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών**, έκανε μια προσπάθεια εκτίμησης/πρόβλεψης για τις κλιματικές συνθήκες της περιόδου 2020-2050. Μερικά από τα αποτελέσματα της έρευνας είναι: Η χρονική παράταση της δυσφορίας των κατοίκων στα μεγάλα αστικά κέντρα πρόκειται να επιβαρυνθεί και ιδιαίτερα στις πόλεις της Λάρισας, της Λαμίας, της Πάτρας και της Θεσσαλονίκης θα επικρατούν μέχρι και 20 ημέρες καύσωνα περισσότερες. Επίσης, σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Βόλο, Λάρισα και Λαμία, τα ποσά της βροχόπτωσης θα μειωθούν και επιπλέον, αύξηση προβλέπεται στις ακραίες βροχοπτώσεις με ποσοστά που αγγίζουν το 10 έως και 20%.

Την πίεση της κλιματικής αλλαγής θα υποστούν οι 10 μεγάλοι αγροτικοί νομοί της Ελλάδας, αντιμετωπίζοντας αύξηση στις ημέρες του καύσωνα, ανομβρικές ημέρες με τον κίνδυνο των δασικών πυρκαγιών να αυξάνεται σημαντικά. Στην Εύβοια για παράδειγμα, 25 ημέρες περισσότερες καύσωνα εκτιμάται ότι θα σημειωθούν, Λάρισα και Σέρρες 20 ημέρες, ενώ στην Πέλλα και στο Ηράκλειο αναμένεται μείωση των βροχοπτώσεων κατά 15%. Να σημειωθεί επίσης πως αύξηση στον κίνδυνο της ερημοποίησης νέων εκτάσεων και στην ανεπάρκεια αποθηκευμένου νερού είναι αντιμέτωπη η χώρα μας για τα επόμενα χρόνια.

### 2.1.3 Τοπογραφικό Ανάγλυφο

Το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας (~80%) καλύπτεται από μεγάλους ή μικρούς ορεινούς όγκους με κυρίαρχο αυτόν της Πίνδου. Στην περιοχή της Θεσσαλίας βρίσκεται το όρος Όλυμπος με υψόμετρο 2.917m, ενώ σειρά έχουν ο Σμόλικας (βόρεια Πίνδος) στα 2.637m, το Καϊμάκ Τσαλάν (κεντρική Μακεδονία) στα 2.524m και η Γκιώνα (Στερεά Ελλάδα) σε υψόμετρο 2.520m.

Οι εκθέσεις, οι κλίσεις και το υψόμετρο είναι παράγοντες που συντελούν στην πορεία των αγροτοδασικών πυρκαγιών, επηρεάζοντας τη βλάστηση και δημιουργώντας τα χαρακτηριστικά του τοποκλίματος. Είναι σημαντικό κατά την ανάλυση των δεδομένων των πυρκαγιών να λαμβάνεται υπόψη οι προαναφερθέντες παράμετροι, καθώς μπορούν να διαμορφώσουν μια επικίνδυνη κατάσταση για τις δασικές εκτάσεις.



**Εικόνα 11** Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδας

Στη χώρα μας γενικά βρίσκουμε ένα έντονο τοπογραφικά ανάγλυφο, με απότομες κλίσεις με διάφορες εδαφικές κλίσεις. Συναντάμε πληθώρα από όρη, λόφους, φαράγγια και κοιλάδες ευνοώντας έτσι διαφορετικούς τύπους βλάστησης, με την παράλληλη δημιουργία μεγάλου αριθμού εδαφικών και κλιματικών μικρο-περιβαλλόντων.

## 2.2 Μεθοδολογική Προσέγγιση

Η παρούσα εργασία εστιάζει στη διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ της καμένης δασικής έκτασης και διαφόρων περιβαλλοντικών και μετεωρολογικών μεταβλητών μέσω της εφαρμογής προηγμένων στατιστικών τεχνικών. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες τιμές για αρκετά χρόνια (2000-2020), ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφεται στη συνέχεια.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε διεξοδική ανάλυση των δεδομένων με στόχο την αξιολόγηση της ποιότητας και της αξιοπιστίας τους. Η διαδικασία περιλάμβανε την ανίχνευση ακραίων τιμών, ελλειπών δεδομένων, καθώς και τη διασφάλιση της ομοιογένειας των μεταβλητών (για να εξασφαλίζεται η σωστή εκπαίδευση των μοντέλων). Αυτό το στάδιο κρίθηκε απαραίτητο για την αποφυγή στατιστικών σφαλμάτων και την εξαγωγή έγκυρων συμπερασμάτων. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, με στόχο την εξαγωγή εξισώσεων που αποτυπώνουν τη σχέση μεταξύ της μεταβλητής απόκρισης, δηλαδή του λογαρίθμου της καμένης περιοχής (logburnedarea), και των εξής ανεξάρτητων μεταβλητών: PREC, TEMP, RH, WIND, SPI3, SPI6, HighVegetation, LowVegetation, και SoilWaterContent. Η χρήση του λογαρίθμου (στην καμμένη έκταση) κρίθηκε απαραίτητη, προκειμένου να κανονικοποιηθούν οι σημαντικές διαφορές στην κλίμακα μέτρησης των καμένων εκτάσεων και να διασφαλιστεί η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων.

Κατόπιν, εφαρμόστηκε η μέθοδος της backward γραμμικής παλινδρόμησης, όπου οι ίδιες ανεξάρτητες μεταβλητές εξετάστηκαν σταδιακά για να διαπιστωθεί ποιες από αυτές έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στη διαμόρφωση της εξαρτημένης μεταβλητής. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιτρέπει την απομάκρυνση μεταβλητών που δεν είναι στατιστικά σημαντικές, δημιουργώντας έτσι πιο αξιόπιστα μοντέλα. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι standardized beta coefficients για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή που περιλήφθηκε στις εξισώσεις. Οι συντελεστές αυτοί επιτρέπουν τη σύγκριση της σχετικής επίδρασης των ανεξάρτητων μεταβλητών που μετριοούνται σε διαφορετικές κλίμακες, ενώ για κάθε γεωγραφική περιοχή διατηρήθηκε η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη απόλυτη τιμή του συντελεστή. Η ανάλυση αυτή εφαρμόστηκε τόσο για την πολλαπλή όσο και για την backward γραμμική παλινδρόμηση, προσφέροντας συγκριτική εικόνα της συμβολής κάθε παράγοντα/μεταβλητής. Δοκιμάστηκε κι η Stepwise γραμμική παλινδρόμηση, αλλά δεν 'έμεναν' καθόλου μεταβλητές στα μοντέλα, λόγω της χαμηλής στατιστικής σημαντικότητάς τους.

Τέλος, συγκροτήθηκε πίνακας σύγκρισης με βάση τις τιμές του προσαρμοσμένου συντελεστή προσδιορισμού (Adjusted  $R^2$ ), προκειμένου να εκτιμηθεί η προσαρμοστική/επεξηγηματική ικανότητα των μοντέλων σε κάθε περιοχή. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη συνεκτίμηση της ακρίβειας προσαρμογής και της πολυπλοκότητας του κάθε μοντέλου, συμβάλλοντας στην επιλογή των πλέον κατάλληλων εξισώσεων.

### 2.2.1 Ανάλυση και προ-επεξεργασία των Δεδομένων

Η ανάλυση και η διερεύνηση των δεδομένων αποτελεί ένα κρίσιμο στάδιο σε κάθε επιστημονική μελέτη που βασίζεται στη στατιστική ανάλυση. Στο συγκεκριμένο έργο, η διαδικασία αυτή επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων, την αναγνώριση πιθανών σφαλμάτων και ακραίων τιμών, καθώς και στην προετοιμασία τους για περαιτέρω ανάλυση. Κατά την πρώτη φάση της ανάλυσης, χρησιμοποιήθηκαν βασικές στατιστικές μέθοδοι για την κατανόηση της φύσης και της κατανομής των δεδομένων. Υπολογίστηκαν μέτρα κεντρικής τάσης, όπως ο μέσος όρος και η διάμεσος, καθώς και μέτρα διασποράς, όπως η τυπική απόκλιση και το

εύρος τιμών. Παράλληλα, εφαρμόστηκαν τεχνικές οπτικοποίησης, όπως ιστογράμματα και θηκογράμματα (box plots), για τον εντοπισμό πιθανών αποκλίσεων ή ακραίων τιμών (outliers). Επίσης, εξετάστηκε η παρουσία ελλিপών τιμών και καταγράφηκε το ποσοστό τους, ώστε να αξιολογηθεί η επίδραση τους στην ανάλυση. Όσες τιμές 'έλειπαν', συμπληρώθηκαν με την ενδιάμεση (median) τιμή τους. Επιπρόσθετα, για την αναγνώριση ακραίων τιμών χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι όπως το εύρος τιμών (Interquartile Range - IQR) και ο κανόνας των "3-sigma". Τα ακραία σημεία που αναγνωρίστηκαν αξιολογήθηκαν με βάση την επίδρασή τους στις βασικές παραμέτρους της ανάλυσης, και όπου κρίθηκε απαραίτητο, απομακρύνθηκαν.

### Οφέλη της Διαδικασίας:

- Διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας των δεδομένων για ανάλυση.
- Ενίσχυση της ακρίβειας των στατιστικών αποτελεσμάτων.
- Εξάλειψη σφαλμάτων και ακραίων τιμών που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά την ανάλυση.
- Καλύτερη κατανόηση της κατανομής των δεδομένων μέσω περιγραφικής στατιστικής και οπτικοποίησης.
- Προσαρμογή των δεδομένων στις απαιτήσεις της επιλεγμένης μεθοδολογίας.
- Δημιουργία βάσης για τη διασύνδεση των δεδομένων με στατιστικά μοντέλα, εξασφαλίζοντας έγκυρα και ρεαλιστικά αποτελέσματα.

### 2.2.2 Η Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση αποτελεί μια από τις πλέον διαδεδομένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες στατιστικές μεθόδους για την ανάλυση των σχέσεων μεταξύ μίας εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών. Στην παρούσα εργασία, εφαρμόστηκε τόσο η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση όσο και η backward γραμμική παλινδρόμηση, με στόχο την εξερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ της καμένης περιοχής και μεταβλητών όπως οι κλιματολογικοί, οι περιβαλλοντικοί, και οι βιοφυσικοί παράγοντες. Αυτή η μέθοδος επιλέχθηκε λόγω της απλότητας, της ερμηνευσιμότητάς της, αλλά και της ικανότητάς της να παρέχει ποσοτικοποιημένες εκτιμήσεις για τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών.

Η πολλαπλής γραμμική παλινδρόμηση βασίζεται στη θεμελιώδη υπόθεση ότι η σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής  $y$  και μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών  $x_1, x_2, \dots, x_{p-1}, x_p$ , μπορεί να εκφραστεί ως μια γραμμική εξίσωση:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon$$

όπου:

- $y$ : η εξαρτημένη μεταβλητή (στη συγκεκριμένη εργασία, ο λογάριθμος της καμένης περιοχής, logburnedarea).
- $x_i$ : οι ανεξάρτητες μεταβλητές (π.χ. PREC, TEMP, RH, WIND, κ.λπ.).
- $\beta_0$ : η σταθερά της εξίσωσης (intercept).
- $\beta_i$ : οι συντελεστές παλινδρόμησης, που εκφράζουν την αλλαγή του  $y$  για μια μονάδα αύξησης του  $x_i$ , κρατώντας σταθερές τις υπόλοιπες μεταβλητές.

- ε: το σφάλμα (error term), που περιλαμβάνει τη διακύμανση του  $y$  που δεν εξηγείται από το μοντέλο.

Η εκτίμηση των συντελεστών  $\beta_i$  γίνεται μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων (Ordinary Least Squares - OLS), που επιδιώκει να ελαχιστοποιήσει το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ των παρατηρούμενων και των εκτιμώμενων τιμών:

$$\text{Minimize: } \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

όπου  $y_i$  είναι οι παρατηρούμενες τιμές και  $\hat{y}_i$  οι προβλεπόμενες τιμές.

Στην εργασία αυτή, η γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιήθηκε σε δύο στάδια:

### 1. πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση:

- ο Αξιολογήθηκε η σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής  $y = \log \text{burned area}$  και των ανεξάρτητων μεταβλητών ( $x_i$ ).
- ο Στόχος ήταν η κατανόηση της συνεισφοράς κάθε μεταβλητής.

### 2. Backward πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση:

- ο Εφαρμόστηκε για την απομάκρυνση των μη σημαντικών μεταβλητών, διατηρώντας μόνο εκείνες που συνεισφέρουν στατιστικά σημαντικά στη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής.
- ο Αυτή η μέθοδος διασφαλίζει τη δημιουργία πιο «συμπαγών» και αξιόπιστων μοντέλων.

Η σύγκριση των δύο μοντέλων (σε κάθε περίπτωση) έγινε μέσω του **Adjusted R<sup>2</sup>**, που αποτελεί δείκτη της επεξηγηματικής ισχύος των μοντέλων, λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των μεταβλητών.

Η επιλογή της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης προσέφερε πολλαπλά **πλεονεκτήματα** για τη συγκεκριμένη εργασία:

- ο **Ερμηνευσιμότητα**: Οι συντελεστές πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης παρέχουν άμεση ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ μεταβλητών.
- ο **Απλότητα**: Η γραμμική φύση του μοντέλου είναι εύκολα κατανοητή και εφαρμόσιμη.
- ο **Αξιοπιστία**: Η χρήση της μεθόδου OLS εξασφαλίζει αξιόπιστες (με τα μικρότερα δυνατά σφάλματα) εκτιμήσεις, υπό την προϋπόθεση ότι πληρούνται οι βασικές υποθέσεις (π.χ. κανονικότητα, ομοσκεδαστικότητα).
- ο **Προσαρμοστικότητα**: Η backward παλινδρόμηση επέτρεψε την επιλογή των πλέον σημαντικών παραμέτρων, μειώνοντας την πολυπλοκότητα χωρίς να θυσιαστεί η ακρίβεια.
- ο **Ενίσχυση Επεξηγηματικής Ικανότητας**: Ο υπολογισμός του Adjusted R<sup>2</sup> βοήθησε στην αξιολόγηση της απόδοσης κάθε μοντέλου.

### 2.2.3 Η Backward Γραμμική Παλινδρόμηση

Η backward πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση είναι τρόπος εφαρμογής της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (μια επαναληπτική μέθοδος επιλογής μεταβλητών), που αποσκοπεί στη δημιουργία του βέλτιστου μοντέλου παλινδρόμησης μέσω της απομάκρυνσης μεταβλητών που δεν συνεισφέρουν σημαντικά στην πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής. Η μέθοδος βασίζεται στη σταδιακή εξάλειψη των λιγότερο σημαντικών παραγόντων από το αρχικό μοντέλο, με κριτήρια που βασίζονται στη στατιστική σημαντικότητα και την επεξηγηματική ισχύ.

Η διαδικασία της backward παλινδρόμησης ξεκινά από ένα πλήρες μοντέλο που περιλαμβάνει όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Στη συνέχεια, η μέθοδος αφαιρεί μία προς μία τις μεταβλητές που παρουσιάζουν τη μικρότερη στατιστική συνεισφορά, σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο επίπεδο σημαντικότητας ( $\alpha$ ), έως ότου παραμείνουν μόνο οι στατιστικά σημαντικές.

Η μαθηματική διατύπωση για ένα αρχικό πλήρες μοντέλο παλινδρόμησης είναι:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon$$

όπου:

- $y$ : η εξαρτημένη μεταβλητή (στη συγκεκριμένη εργασία, ο λογάριθμος της καμένης περιοχής, *logburnedarea*).
- $x_i$ : οι ανεξάρτητες μεταβλητές (π.χ. PREC, TEMP, RH, WIND, κ.λπ.).
- $\beta_0$ : η σταθερά της εξίσωσης (intercept).
- $\beta_i$ : οι συντελεστές παλινδρόμησης, που εκφράζουν την αλλαγή του  $y$  για μια μονάδα αύξησης του  $x_i$ , κρατώντας σταθερές τις υπόλοιπες μεταβλητές.
- $\varepsilon$ : το σφάλμα (error term), που περιλαμβάνει τη διακύμανση του  $y$  που δεν εξηγείται από το μοντέλο.

Σε κάθε βήμα της backward παλινδρόμησης:

1. Υπολογίζονται οι τιμές για το κατάλληλο στατιστικό του ελέγχου (π.χ. t-test) για τους συντελεστές  $\beta_i$  κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής.
2. Αφαιρείται η μεταβλητή με την υψηλότερη τιμή p-value (εφόσον αυτή ξεπερνά το επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$ , π.χ.  $p > 0.05$ ).
3. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι να παραμείνουν μόνο μεταβλητές με p-values εντός των αποδεκτών ορίων.

Ο βασικός στόχος της backward παλινδρόμησης είναι η επίτευξη του καλύτερου δυνατού ισοζυγίου μεταξύ απλότητας και επεξηγηματικής ισχύος, με κριτήριο τη μέγιστη τιμή του **Adjusted  $R^2$**  ή άλλων μετρικών όπως το *Akaike Information Criterion (AIC)* και το *Bayesian Information Criterion (BIC)*.

Στην εργασία αυτή, η backward γραμμική παλινδρόμηση εφαρμόστηκε στο πλήρες σύνολο των ανεξάρτητων μεταβλητών: **PREC**, **TEMP**, **RH**, **WIND**, **SPI3**, **SPI6**, **HighVegetation**, **LowVegetation**, και **SoilWaterContent**. Η διαδικασία είχε ως στόχο:

1. Τον εντοπισμό των μεταβλητών που συνεισφέρουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση της εξαρτημένης μεταβλητής ( $Y = \log \text{burned area}$ ).
2. Την απομάκρυνση των μεταβλητών που δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

Κατά τη διαδικασία, υπολογίστηκαν και συγκρίθηκαν οι τιμές του **Adjusted R<sup>2</sup>** για κάθε ενδιάμεσο μοντέλο, διασφαλίζοντας ότι η απομάκρυνση μεταβλητών δεν επηρέαζε αρνητικά την επεξηγηματική ικανότητα του μοντέλου.

Η backward γραμμική παλινδρόμηση παρουσίασε σημαντικά **πλεονεκτήματα** για τη συγκεκριμένη εργασία, τόσο από μεθοδολογική όσο και από εφαρμοστική άποψη:

- ο **Αναγνώριση Σημαντικών Παραγόντων**: Διασφάλισε ότι στο τελικό μοντέλο συμπεριλήφθηκαν μόνο οι μεταβλητές με στατιστική και επιστημονική σημασία, μειώνοντας την επίδραση θορύβου.
- ο **Απλότητα Μοντέλου**: Παρήγαγε πιο συμπαγή μοντέλα, ευκολότερα στην ερμηνεία και στη χρήση, χωρίς περιττές μεταβλητές.
- ο **Βελτίωση Ερμηνευσιμότητας**: Η μείωση των ανεξάρτητων μεταβλητών απλοποίησε την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και ανέδειξε τις πιο σημαντικές μεταβλητές.
- ο **Βελτιστοποίηση Υπολογιστικής Απόδοσης**: Με λιγότερες μεταβλητές στο τελικό μοντέλο, μειώθηκαν οι απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και χρόνο.

Τα οφέλη από τη χρήση της μεθόδου αυτής παρουσιάζονται παρακάτω:

- Εντοπισμός και εστίαση στις μεταβλητές με τη μεγαλύτερη συνεισφορά.
- Δημιουργία μοντέλων με βελτιστοποιημένη ισορροπία μεταξύ πολυπλοκότητας και ακρίβειας.
- Υποστήριξη για τη λήψη επιστημονικά τεκμηριωμένων αποφάσεων, βασισμένων σε στατιστικά ισχυρά ευρήματα.

## 2.2.4 Οι Standardized Beta Συντελεστές

Οι **standardized beta συντελεστές** είναι βασικές στατιστικές μετρήσεις στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση που επιτρέπουν την κατανόηση της σχετικής σημασίας και της επίδρασης των ανεξάρτητων μεταβλητών στην εξαρτημένη μεταβλητή. Σε αντίθεση με τους μη κανονικοποιημένους συντελεστές ( $\beta$ ), οι standardized beta συντελεστές εξαλείφουν τις επιδράσεις της κλίμακας μέτρησης των μεταβλητών, παρέχοντας έτσι συγκρίσιμες τιμές μεταξύ διαφορετικών μεταβλητών.

Οι standardized beta συντελεστές  $\beta_1^*$  υπολογίζονται μετατρέποντας όλες τις μεταβλητές σε z-scores (με μηδενικό μέσο όρο και τυπική απόκλιση ίση με 1) πριν από την εκτίμηση των συντελεστών. Η τυποποιημένη μορφή της εξίσωσης παλινδρόμησης γίνεται:

$$z_y = \beta_1^* z_{x_1} + \beta_2^* z_{x_2} + \dots + \beta_p^* z_{x_p} + \epsilon$$

όπου  $z_y$  και  $z_{x_i}$  είναι οι τυποποιημένες τιμές της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών, αντίστοιχα. Ο standardized beta συντελεστής  $\beta_1^*$  εκφράζει τη μεταβολή της εξαρτημένης

μεταβλητής σε μονάδες τυπικής απόκλισης για κάθε μονάδα τυπικής απόκλισης μεταβολής της ανεξάρτητης μεταβλητής  $x_i$ , κρατώντας τις υπόλοιπες μεταβλητές σταθερές.

Στην εργασία αυτή, οι standardized beta συντελεστές υπολογίστηκαν για να διευκολυνθεί η σύγκριση της επίδρασης διαφορετικών ανεξάρτητων μεταβλητών στη  $Y = \log \text{burned area}$ , ανεξαρτήτως της κλίμακας μέτρησής τους. Αυτή η προσέγγιση ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη, δεδομένου ότι οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, SPI δείκτες) διέφεραν σημαντικά ως προς τις μονάδες μέτρησης και τη μεταβλητότητά τους.

Η διαδικασία περιλάμβανε:

1. Τυποποίηση όλων των μεταβλητών σε z-scores.
2. Υπολογισμό των standardized beta συντελεστών από τα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης (πολλαπλή και backward).
3. Σύγκριση των τιμών  $|\beta_1^*|$  για την ταυτοποίηση των ανεξάρτητων μεταβλητών με τη μεγαλύτερη επίδραση.

Οι standardized beta συντελεστές κατέστησαν δυνατή τη δημιουργία ενός συγκριτικού πλαισίου για όλες τις περιοχές, επιτρέποντας την κατανόηση των κρίσιμων παραγόντων που συνεισφέρουν στην καμένη έκταση.

Τα οφέλη και τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου δείκτη παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Σύγκριση Μεταβλητών Διαφορετικής Κλίμακας:** Οι standardized beta συντελεστές παρέχουν έναν ενιαίο τρόπο αξιολόγησης της συνεισφοράς των ανεξάρτητων μεταβλητών, ανεξαρτήτως μονάδων μέτρησης.
- **Ιεράρχηση Σημαντικότητας:** Διευκολύνουν την ιεράρχηση των ανεξάρτητων μεταβλητών με βάση τη σχετική τους επίδραση, βοηθώντας στην ανάδειξη των σημαντικότερων παραγόντων.
- **Ερμηνευσιμότητα:** Παρέχουν εύκολα ερμηνεύσιμες τιμές, επιτρέποντας την επικοινωνία των αποτελεσμάτων σε επιστημονικό αλλά και εφαρμοσμένο επίπεδο.
- **Ενίσχυση Συγκριτικών Αναλύσεων:** Διευκολύνουν τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών ή μοντέλων, καθώς εξαλείφουν τις διαφορές κλίμακας.
- **Ευελιξία στη Χρήση:** Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την κατανόηση των σχέσεων μεταξύ μεταβλητών όσο και για την επικύρωση μοντέλων.
- **Εξάλειψη Μονάδων Μέτρησης:** Εξουδετερώνουν τις επιδράσεις των μονάδων μέτρησης, καθιστώντας τα μοντέλα ανεξάρτητα από τις επιλογές μέτρησης.

Ομοίως, τα οφέλη από τη χρήση αυτού του δείκτη είναι:

- **Συγκριτική Ανάλυση:** Διευκόλυνση της σύγκρισης μεταβλητών σε διαφορετικές περιοχές και συνθήκες.
- **Αντικειμενική Ιεράρχηση:** Παροχή αντικειμενικών κριτηρίων για την αξιολόγηση της συνεισφοράς κάθε παράγοντα.



- **Ενίσχυση Επιστημονικής Βάσης:** Ενσωμάτωση μιας ενοποιημένης μεθόδου αξιολόγησης που βασίζεται σε στατιστικά ισχυρές αρχές.
- **Διαφάνεια:** Παροχή σαφών και ερμηνεύσιμων αποτελεσμάτων, συμβάλλοντας στην τεκμηρίωση επιστημονικών ευρημάτων.

### 2.2.5 Ο Adjusted R<sup>2</sup> συντελεστής

Ο **Adjusted R<sup>2</sup>** είναι ένας τροποποιημένος συντελεστής προσδιορισμού που λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των μεταβλητών στο μοντέλο παλινδρόμησης και τη σύνθετη επίδραση της προσθήκης ανεξάρτητων μεταβλητών. Διαφέρει από τον απλό συντελεστή R<sup>2</sup>, καθώς διορθώνει την τάση του τελευταίου να αυξάνει με την προσθήκη περισσότερων μεταβλητών, ακόμη και αν αυτές δεν συνεισφέρουν ουσιαστικά στη βελτίωση της προβλεπτικής ικανότητας του μοντέλου.

Ο συντελεστής R<sup>2</sup> μετρά την αναλογία της συνολικής διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής που εξηγείται από τις ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{residual}}{SS_{total}}$$

όπου:

- $SS_{residual}$ : το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων (residual sum of squares).
- $SS_{total}$ : το συνολικό άθροισμα των τετραγώνων (total sum of squares).

Παρότι το R<sup>2</sup> παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την προσαρμοστική/επεξηγηματική ικανότητα ενός μοντέλου, έχει δύο κύρια μειονεκτήματα:

1. Αυξάνεται ή παραμένει το πολύ σταθερός πάντα με την προσθήκη ανεξάρτητων μεταβλητών, ανεξαρτήτως της στατιστικής σημαντικότητάς τους.
2. Δεν λαμβάνει υπόψη την πολυπλοκότητα του μοντέλου.

Για να διορθωθεί αυτό, ο **Adjusted R<sup>2</sup>** εισάγει έναν διορθωτικό παράγοντα, μειώνοντας το R<sup>2</sup> ανάλογα με τον αριθμό των μεταβλητών στο μοντέλο και το μέγεθος του δείγματος:

$$R^2 = 1 - \frac{\frac{SS_{residual}}{df_{residual}}}{\frac{SS_{total}}{df_{total}}}$$

όπου:

- $df_{residual}=n-p-1$ : οι βαθμοί ελευθερίας για τα υπολείμματα, με n τον αριθμό των παρατηρήσεων και p τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών.
- $df_{total}=n-1$ : οι συνολικοί βαθμοί ελευθερίας.

Ο Adjusted R<sup>2</sup> προσφέρει μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση της επεξηγηματικής ικανότητας του μοντέλου, καθώς τιμωρεί την προσθήκη περιττών μεταβλητών.

## Γιατί Adjusted R<sup>2</sup> και Όχι Απλό R<sup>2</sup>

Ο απλός R<sup>2</sup> μπορεί να παραπλανήσει τους ερευνητές, καθώς δεν μειώνεται ακόμη και με την προσθήκη ανεξάρτητων μεταβλητών που δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Ο Adjusted R<sup>2</sup>:

- **Αποφεύγει την υπερπροσαρμογή (overfitting)**, μειώνοντας την τιμή του όταν οι πρόσθετες μεταβλητές δεν βελτιώνουν ουσιαστικά το μοντέλο.
- **Παρέχει πιο αξιόπιστη σύγκριση μοντέλων** με διαφορετικό αριθμό ανεξάρτητων μεταβλητών.
- **Αναδεικνύει την επεξηγηματική ισχύ** του μοντέλου σε συνάρτηση με την πολυπλοκότητα του.

Στην εργασία αυτή, ο Adjusted R<sup>2</sup> χρησιμοποιήθηκε ως βασικός δείκτης αξιολόγησης και σύγκρισης των μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Εφαρμόστηκε τόσο στα αρχικά όσο και στα backward μοντέλα (από τη διαδικασία backward), παρέχοντας μια αντικειμενική μέτρηση της επεξηγηματικής ικανότητας κάθε μοντέλου. Αυτό διασφάλισε ότι τα τελικά μοντέλα όχι μόνο ήταν στατιστικά σημαντικά, αλλά και διατηρούσαν τη βέλτιστη ισορροπία μεταξύ απλότητας και ακρίβειας.

## Πλεονεκτήματα του Adjusted R<sup>2</sup>

- **Αξιολόγηση Αποτελεσματικότητας Μοντέλων:** Παρέχει αξιόπιστη μέτρηση για τη σύγκριση μοντέλων με διαφορετικό αριθμό ανεξάρτητων μεταβλητών.
- **Αντίσταση στην Υπερπροσαρμογή:** Προλαμβάνει τη δημιουργία υπερβολικά περίπλοκων μοντέλων που δεν έχουν γενικευσιμότητα.
- **Ενίσχυση Επιστημονικής Εγκυρότητας:** Διασφαλίζει ότι τα αποτελέσματα είναι επεξηγηματικά και στατιστικά σημαντικά.
- **Σύγκριση Μεταξύ Περιοχών:** Επιτρέπει τη συγκριτική ανάλυση της επεξηγηματικής ισχύος των μοντέλων ανά περιοχή ή γεωγραφική ενότητα.
- **Ενίσχυση Ερμηνευσιμότητας:** Προσφέρει ένα σαφές κριτήριο για την επιλογή του καλύτερου μοντέλου.

Η χρήση του Adjusted R<sup>2</sup> στην παρούσα έρευνα εξασφάλισε την ποιότητα των στατιστικών μοντέλων και ενίσχυσε την επιστημονική βάση των ευρημάτων, όπως και:

- Αποτροπή δημιουργίας περιττά πολύπλοκων μοντέλων.
- Διευκόλυνση της επιλογής του βέλτιστου μοντέλου για την εξαγωγή επιστημονικών συμπερασμάτων.
- Σαφής σύγκριση μοντέλων με διαφορετικές διαστάσεις και σύνθεση.
- Αντικειμενική αξιολόγηση της συνεισφοράς των ανεξάρτητων μεταβλητών.

### 2.2.6 Χρήση λογισμικού QGIS για την απεικόνιση των χαρτών

Η χρήση του QGIS αποτέλεσε έναν κρίσιμο παράγοντα για την οπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, ενισχύοντας τη δυνατότητα κατανόησης και ερμηνείας των δεδομένων μέσω γεωγραφικών χαρτών. Το QGIS (Quantum Geographic Information System) είναι ένα ανοικτού κώδικα λογισμικό για γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία, την ανάλυση και την οπτικοποίηση γεωγραφικών δεδομένων. Πρόκειται για ένα εργαλείο ευρέως χρησιμοποιούμενο στις περιβαλλοντικές επιστήμες, τη διαχείριση φυσικών πόρων και την ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων, καθιστώντας το ιδανικό για την απεικόνιση γεωγραφικών μεταβλητών και φαινομένων. Στην παρούσα εργασία, το QGIS χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία θεματικών χαρτών που απεικόνιζαν τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης σε επίπεδο νομού. Οι χάρτες αυτοί είχαν ως στόχο να παρέχουν μια σαφή γεωγραφική παρουσίαση των συσχετίσεων και των παραγόντων που επηρεάζουν την καμένη έκταση. Αυτή η οπτικοποίηση κατέστησε ευκολότερη τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών περιοχών, προσφέροντας παράλληλα τη δυνατότητα εντοπισμού γεωγραφικών προτύπων και τάσεων.

Για την υλοποίηση της σύνδεσης των στατιστικών δεδομένων με τα γεωχωρικά στοιχεία, απαιτήθηκε προσεκτική κωδικοποίηση των ονομάτων των νομών, ώστε να ταιριάζουν με το γεωγραφικό διαμορφωμένο αρχείο που χρησιμοποιήθηκε στο QGIS. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα της στατιστικής ανάλυσης περιλάμβαναν ονόματα νομών, τα οποία έπρεπε να ευθυγραμμιστούν με τα αντίστοιχα ονόματα στο shapefile, ένα γεωχωρικό αρχείο που περιείχε τα πολυγωνικά δεδομένα των διοικητικών ορίων της Ελλάδας. Η διαδικασία αυτή προϋπέθετε την ενοποίηση των ονομάτων μέσω της χρήσης κοινών κανόνων ονοματοδοσίας, διασφαλίζοντας ότι κάθε νομός θα μπορούσε να συνδεθεί σωστά με τα γεωχωρικά δεδομένα.

Η διαδικασία κωδικοποίησης περιλάμβανε τον εντοπισμό διαφορών μεταξύ των ονομάτων στα στατιστικά δεδομένα και στο shapefile, όπως παραλλαγές στη γραφή (π.χ. τόνους ή ορθογραφία) και την αντικατάστασή τους με κοινά αναγνωρισμένα πρότυπα. Επιπλέον, εφαρμόστηκαν μέθοδοι όπως η τυποποίηση κεφαλαίων γραμμάτων και η αφαίρεση μη αλφαριθμητικών χαρακτήρων, όπου ήταν απαραίτητο. Μετά τη διόρθωση των ονομάτων, τα δεδομένα συνδέθηκαν με το γεωγραφικό αρχείο μέσω της λειτουργίας "join" του QGIS, επιτρέποντας την απεικόνιση των στατιστικών αποτελεσμάτων στον γεωγραφικό χώρο.

### 2.2.7 Αιτιολόγηση και επεξήγηση της επιλογής της συγκεκριμένης μεθοδολογικής προσέγγισης

Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας στηρίχθηκε σε μια τεκμηριωμένη ανάλυση των απαιτήσεων της έρευνας, καθώς και στη φύση και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων. Ο συνδυασμός της γραμμικής παλινδρόμησης (πολλαπλής και backward), των standardized beta συντελεστών και του Adjusted R<sup>2</sup> αποδείχθηκε κατάλληλος για την εξέταση της πολυπλοκότητας των παραγόντων που επηρεάζουν τις καμένες εκτάσεις. Η μέθοδος εξασφάλισε τη δυνατότητα εντοπισμού σημαντικών σχέσεων, εξαλείφοντας τις μη απαραίτητες μεταβλητές, ενώ προσέφερε συγκρίσιμα και ερμηνεύσιμα αποτελέσματα. Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση επελέγη λόγω της ικανότητάς της να αναδείξει τις συσχετίσεις μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων μεταβλητών. Η backward διαδικασία, επιπλέον, βοήθησε στη σταδιακή απομάκρυνση μεταβλητών που δεν συνεισφέρουν στατιστικά σημαντικά, διασφαλίζοντας την απλοποίηση και τη στατιστική ακρίβεια των τελικών μοντέλων. Η εισαγωγή standardized beta συντελεστών κατέστησε δυνατή τη σύγκριση της σχετικής συνεισφοράς των ανεξάρτητων μεταβλητών ανεξαρτήτως μονάδων μέτρησης, εξαλείφοντας πιθανές στρεβλώσεις λόγω της

διαφορετικής κλίμακας των δεδομένων. Τέλος, ο Adjusted  $R^2$  χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο αξιολόγησης της ποιότητας των μοντέλων, αποφεύγοντας την υπερπροσαρμογή και προσφέροντας πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Αυτή η μεθοδολογία ήταν μια φυσική εξέλιξη της προσέγγισης που είχε χρησιμοποιηθεί στη διπλωματική εργασία του κ. Βοϊδομάτη[50]. Με την ενσωμάτωση νέων στατιστικών εργαλείων και την προσαρμογή της μεθοδολογίας στα δεδομένα της παρούσας έρευνας, βελτιώθηκε η αξιοπιστία και η ερμηνευσιμότητα των ευρημάτων. Η σύνδεση με την προηγούμενη έρευνα διασφάλισε την αξιοποίηση μιας ήδη επιτυχημένης βάσης, ενώ οι βελτιώσεις αντανakλούν την ανάγκη για μια πιο λεπτομερή και προσαρμοσμένη ανάλυση. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία ήταν η καταλληλότερη για την επίτευξη των στόχων της έρευνας λόγω της ικανότητάς της να διαχειριστεί την πολυπλοκότητα των δεδομένων, να εντοπίσει τις κρίσιμες παραμέτρους και να εξάγει ερμηνεύσιμα συμπεράσματα. Εναλλακτικές μέθοδοι, όπως πιο σύνθετα μοντέλα μηχανικής μάθησης, θα μπορούσαν να παρέχουν προβλεπτική ισχύ, αλλά θα υστερούσαν στην ερμηνευσιμότητα, η οποία αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την παρούσα εργασία.

Η προσαρμογή της μεθοδολογίας στις ανάγκες της έρευνας αποδεικνύει τη δυνατότητα σύνδεσης της θεωρητικής γνώσης με την πρακτική εφαρμογή. Η χρήση τεκμηριωμένων στατιστικών εργαλείων, η ενσωμάτωση προηγούμενων ερευνών και η επίτευξη ερμηνεύσιμων και συγκρίσιμων αποτελεσμάτων αναδεικνύουν την επιλογή αυτή ως την καλύτερη δυνατή για την κατανόηση και την ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν τις καμένες δασικές εκτάσεις.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε για την κατανόηση των μεταβλητών/παραγόντων που επηρεάζουν την καμένη έκταση σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές, με έμφαση στην Κρήτη. Η ανάλυση βασίστηκε στην εφαρμογή δύο στατιστικών μεθόδων: της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και της backward πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν συμπληρωματικά, με στόχο τη διαμόρφωση μιας πληρέστερης εικόνας για τις σχέσεις μεταξύ των κλιματικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων και της εξαρτημένης μεταβλητής.

Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση αξιοποιήθηκε για την αρχική κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της καμένης έκτασης, ενώ η backward γραμμική παλινδρόμηση εφαρμόστηκε για τη βελτιστοποίηση των μοντέλων και την εξάλειψη μη (στατιστικά) σημαντικών μεταβλητών. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τις τιμές των συντελεστών  $\beta$ , που αποτυπώνουν τη σχετική συμβολή κάθε παραμέτρου, καθώς και τους δείκτες  $R^2$  (adjusted), που εκτιμούν την εξηγητική ικανότητα των μοντέλων. Στο κεφάλαιο αναλύονται η σημασία των παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία (TEMP), η υγρασία του εδάφους (SoilWaterContent) και οι δείκτες ξηρασίας (SPI3 και SPI6), καθώς και οι γεωγραφικές και χρονικές διαφοροποιήσεις στους κινδύνους πυρκαγιάς. Παρουσιάζονται επίσης συγκρίσεις μεταξύ των δύο μεθόδων, με έμφαση στις περιοχές όπου οι μέθοδοι παρέχουν συγκρίσιμα αποτελέσματα και σε εκείνες όπου εντοπίζονται διαφορές.

Τα ευρήματα που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο αποτελούν τη βάση για τη διατύπωση συμπερασμάτων σχετικά με τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την καμένη έκταση και προσφέρουν πρακτικές κατευθύνσεις για τη βελτίωση της πρόληψης και διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών.

#### 3.1 Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Για την μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, υπολογίστηκαν οι παρακάτω (beta) συντελεστές (Πίνακας 4), οι οποίοι επιλέγησαν όπως περιγράψαμε αναλυτικά στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας. Επίσης, στον Πίνακα 3 και την Εικόνα 12 παρουσιάζονται οι adjusted  $R^2$  συντελεστές. Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση παρέχει μια βασική ανάλυση της σχέσης μεταξύ της καμένης έκτασης και των ανεξάρτητων μεταβλητών για κάθε γεωγραφική περιοχή/νομό. Οι τιμές του  $R^2$  (adjusted) αποκαλύπτουν πόσο καλά οι ανεξάρτητες μεταβλητές εξηγούν τη διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή, αν και χρήσιμη, έχει περιορισμούς καθώς εξετάζει μόνο γραμμικές σχέσεις. Στις περιοχές με υψηλά  $R^2$ , όπως η Λάρισα (0.7184), η Αργολίδα (0.6657) και η Καρδίτσα (0.6218), το μοντέλο αποδίδει εξαιρετικά, εξηγώντας ένα μεγάλο μέρος της διασποράς των τιμών της καμένης έκτασης.

Ωστόσο, στις περισσότερες περιοχές, οι τιμές  $R^2$  κυμαίνονται σε μέτρια επίπεδα μεταξύ 0.4 και 0.6. Παραδείγματα τέτοιων περιοχών είναι η Αθήνα (0.5205), η Κόρινθος (0.6055) και η Αχαΐα (0.6113). Αν και οι ανεξάρτητες μεταβλητές εξηγούν ένα σημαντικό μέρος της διακύμανσης, οι μέτριες τιμές υποδηλώνουν ότι πιθανώς λείπουν άλλοι κρίσιμοι παράγοντες ή πιο σύνθετες σχέσεις που δεν αποτυπώνονται στην πολλαπλή γραμμική ανάλυση. Από την άλλη πλευρά, σε περιοχές με χαμηλά  $R^2$ , όπως η Σάμος (0.1066), η Χίος (0.1744) και οι Κυκλάδες (0.2114), η εξηγητική ικανότητα του μοντέλου είναι περιορισμένη. Αυτό δείχνει ότι οι παράγοντες που εξετάζονται δεν επαρκούν για να περιγράψουν τη διακύμανση της καμένης έκτασης. Ενδέχεται να απαιτείται η ενσωμάτωση μη γραμμικών σχέσεων ή άλλων κρίσιμων μεταβλητών, όπως οι

ανθρώπινες δραστηριότητες ή οι γεωμορφολογικές συνθήκες. Στην Κρήτη, η ανάλυση δείχνει σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των νομών. Το Ηράκλειο καταγράφει υψηλή τιμή  $R^2$  (0.6246), υποδεικνύοντας ότι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες επηρεάζουν έντονα τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Αντίθετα, περιοχές όπως τα Χανιά (0.3121) και το Λασιθί (0.2705) εμφανίζουν χαμηλές τιμές, υποδηλώνοντας ότι το μοντέλο δεν περιλαμβάνει ίσως όλους τους κρίσιμους παράγοντες, όπως οι άνεμοι ή οι τοπικές μικροκλιματικές συνθήκες.

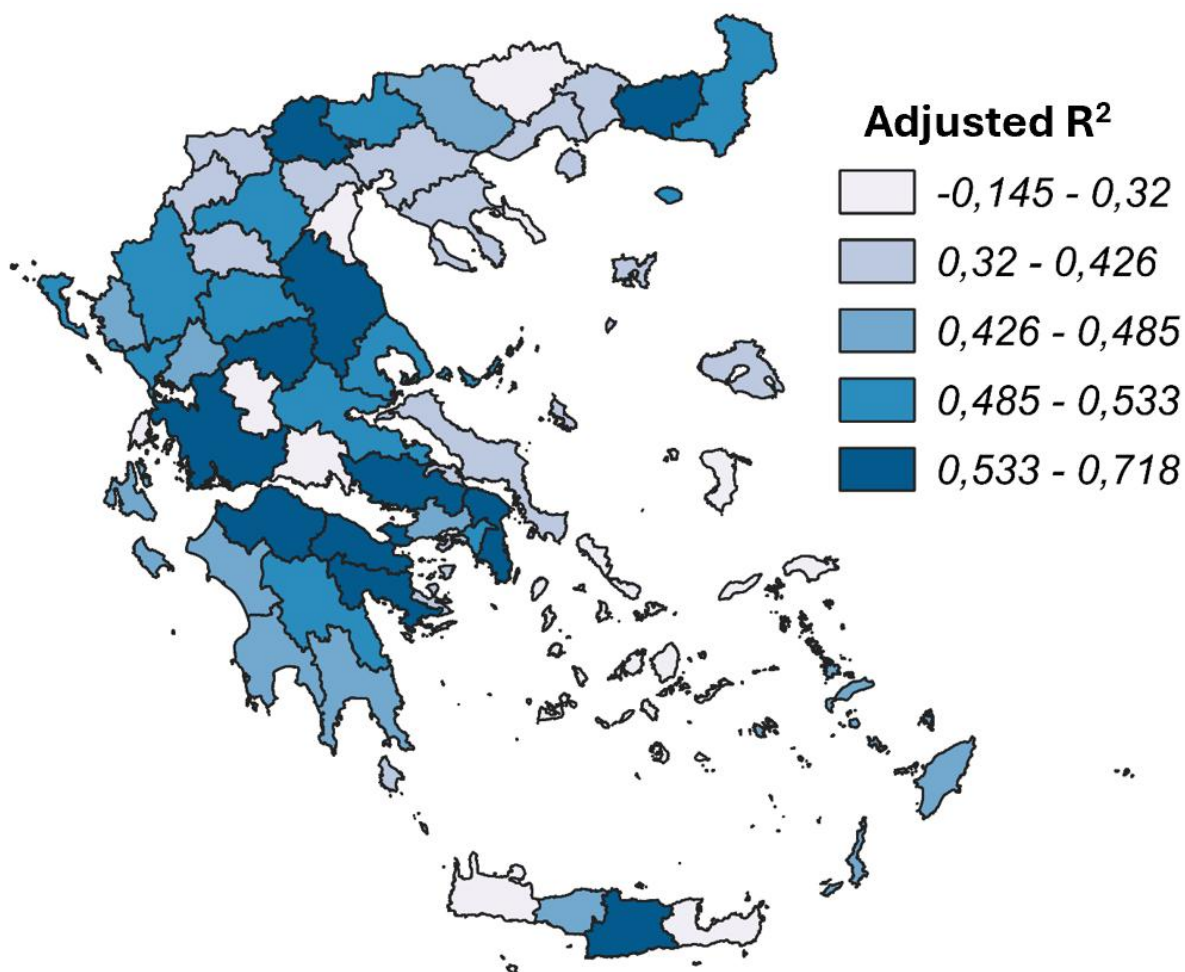
**Πίνακας 3.** Δείκτες  $R^2$  για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Region	Adjusted R Square	Region2	Adjusted R Square
ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	-0.145267293	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	0.605507
ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	0.626157444	ΚΟΖΑΝΗΣ	0.495485
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	0.538350365	ΞΑΝΘΗΣ	0.365166
ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ	0.665712404	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	0.458549
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	0.495423484	ΛΑΡΙΣΑΣ	0.718381
ΑΡΤΑΣ	0.450744118	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	0.270461
ΑΘΗΝΩΝ	0.520479388	ΛΕΥΚΑΔΑΣ	0.240396
ΑΧΑΙΑΣ	0.611324742	ΛΕΣΒΟΥ	0.368796
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	0.430916841	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	0.529057
ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΩΝ	0.458295529	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	0.452753
ΔΡΑΜΑΣ	0.315654153	ΠΕΛΛΑΣ	0.534454
ΕΥΒΟΙΑΣ	0.411951203	ΠΙΕΡΙΑΣ	0.313207
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	0.16368543	ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΚΑΙ ΝΗΣΩΝ	0.384742
ΕΒΡΟΥ	0.53322691	ΠΡΕΒΕΖΑΣ	0.527507
ΦΛΩΡΙΝΑΣ	0.32102587	ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.436727
ΦΩΚΙΔΑΣ	0.303894288	ΡΟΔΟΠΗΣ	0.542673
ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	0.533084257	ΣΑΜΟΥ	0.106628
ΓΡΕΒΕΝΩΝ	0.337373513	ΣΕΡΡΩΝ	0.45182
ΗΛΕΙΑΣ	0.483012963	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	0.450016
ΗΜΑΘΙΑΣ	0.400791566	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	0.417636
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	0.488676239	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	0.497244
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	0.624602784	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	0.602569
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	0.621801905	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	0.38395
ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	0.362017213	ΧΑΝΙΩΝ	0.312083
ΚΑΒΑΛΑΣ	0.380203015	ΧΙΟΥ	0.174427
ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ	0.481820394	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	0.458974
ΚΕΡΚΥΡΑΣ	0.504823114		
ΚΥΚΛΑΔΩΝ	0.211386109		
ΚΙΛΚΙΣ	0.515146786		

Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση παρέχει μια βασική ανάλυση της σχέσης μεταξύ της καμένης έκτασης και των ανεξάρτητων μεταβλητών για κάθε γεωγραφική περιοχή. Οι τιμές του  $R^2$

(adjusted) αποκαλύπτουν πόσο καλά οι ανεξάρτητες μεταβλητές εξηγούν τη διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή, αν και χρήσιμη, έχει περιορισμούς καθώς εξετάζει μόνο γραμμικές σχέσεις.

Συνοψίζοντας, η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση προσφέρει μια αρχική και απλοποιημένη εικόνα των σχέσεων μεταξύ των παραγόντων και της καμένης έκτασης. Παρόλο που το μοντέλο είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε περιοχές με υψηλά  $R^2$ , όπως η Λάρισα και το Ηράκλειο, εμφανίζει περιορισμούς σε περιοχές με χαμηλά  $R^2$ , όπως η Σάμος και τα Χανιά. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση, αλλά απαιτούνται πιο σύνθετες μέθοδοι για την ακριβέστερη πρόβλεψη και την αποτελεσματική πρόληψη των πυρκαγιών σε περιοχές με πιο σύνθετες δυναμικές.



**Εικόνα 12.** Χάρτης με δείκτη  $R^2$  ανά νομό για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

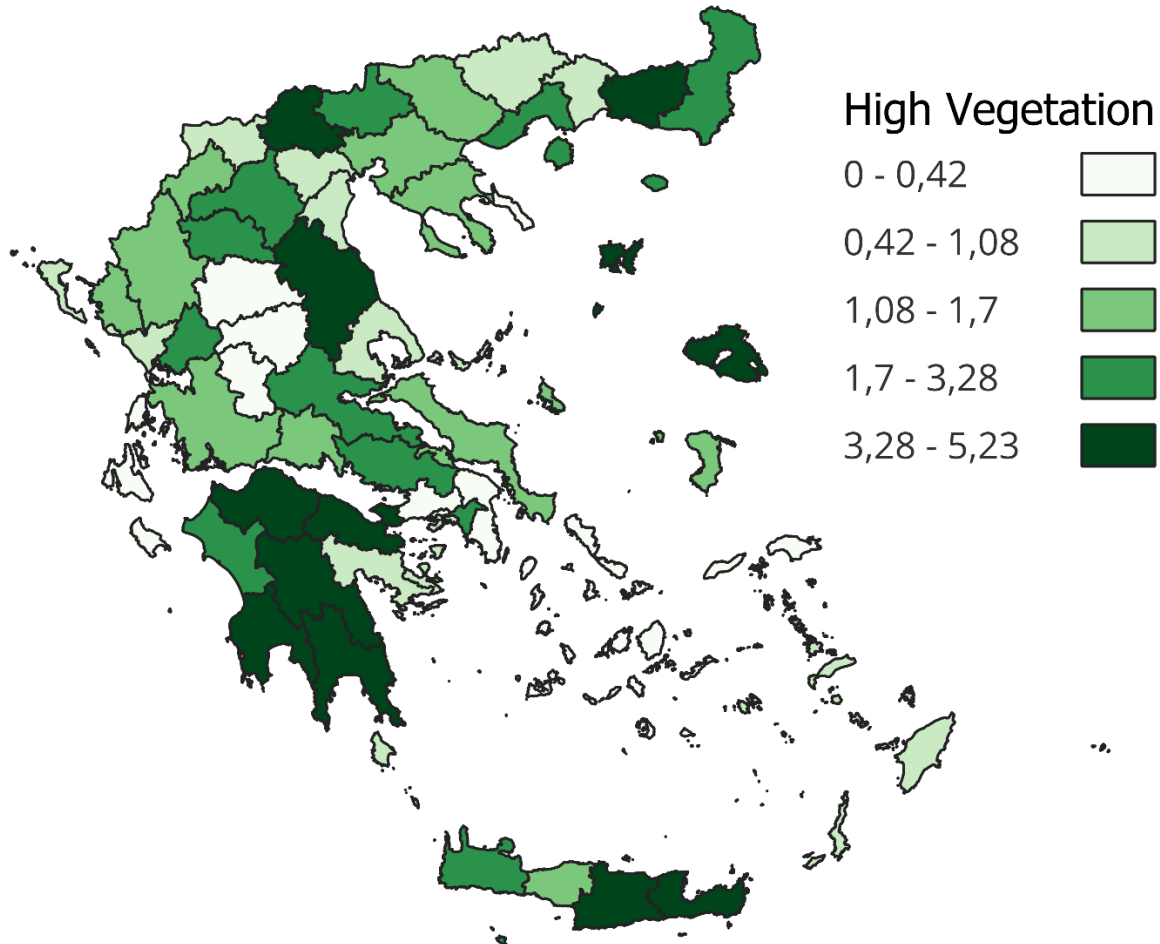
**Πίνακας 4.** beta συντελεστές για τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Region	PREC	TEMP	RH	WIND	SPI3	SPI6	HighVegetation	LowVegetation	SoilWaterContent
ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	0.348	0.852	0.421	0.050	1.061	0.342	0.000	0.000	0.396
ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	1.395	1.306	0.604	0.287	1.638	0.806	1.183	1.123	4.421
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	0.611	3.084	2.945	3.806	0.853	1.517	0.008	0.318	0.247
ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ	0.295	3.910	3.085	2.893	2.816	0.279	0.970	0.830	1.832
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	0.699	2.506	1.655	0.420	2.818	0.563	3.399	3.522	2.919
ΑΡΤΑΣ	0.066	0.406	2.377	1.035	0.250	1.443	2.246	2.277	4.082
ΑΘΗΝΩΝ	0.861	2.660	3.414	1.408	1.738	0.439	1.953	2.473	2.189
ΑΧΑΪΑΣ	1.050	2.226	1.822	2.034	0.699	2.453	3.722	5.571	3.572
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	1.708	2.898	4.119	0.207	0.073	1.515	0.184	0.172	0.534
ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΩΝ	1.278	2.846	2.282	0.937	1.972	0.413	1.045	0.951	1.160
ΔΡΑΜΑΣ	0.413	0.369	1.755	0.647	0.499	1.667	1.007	0.769	3.267
ΕΥΒΟΙΑΣ	0.368	3.895	4.095	4.094	0.785	3.328	1.222	1.413	0.055
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	0.011	0.070	0.081	0.102	0.237	1.212	0.232	0.342	2.768
ΕΒΡΟΥ	1.974	3.548	1.861	1.937	0.680	2.716	2.818	2.325	3.997
ΦΛΩΡΙΝΑΣ	2.233	1.554	0.803	0.985	2.552	1.170	0.721	1.056	2.635
ΦΩΚΙΔΑΣ	0.150	2.961	2.179	2.282	0.740	2.050	1.104	0.820	0.768
ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	0.177	4.564	0.266	1.272	0.857	2.699	2.128	1.823	0.811
ΓΡΕΒΕΝΩΝ	0.187	5.183	1.102	2.029	2.292	1.268	2.806	2.417	0.093
ΗΛΕΙΑΣ	1.506	1.752	0.784	3.088	0.493	0.499	2.790	2.649	3.145
ΗΜΑΘΙΑΣ	1.071	0.898	1.176	0.431	0.378	1.717	1.067	0.876	4.101
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	0.308	2.296	3.685	2.686	1.865	0.804	1.682	2.115	3.354
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	2.138	3.676	3.550	1.439	0.946	0.642	5.225	5.702	3.387
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	3.048	2.137	1.407	1.638	0.703	0.691	0.240	0.991	4.586
ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	2.108	4.409	3.809	0.068	2.568	1.484	1.238	1.559	2.485
ΚΑΒΑΛΑΣ	0.357	1.070	0.722	2.070	0.072	2.037	1.722	1.720	4.627
ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ	0.241	11.216	6.137	0.842	1.341	3.169	0.000	0.000	1.721
ΚΕΡΚΥΡΑΣ	2.672	1.633	1.598	1.617	0.860	2.350	0.538	0.940	2.586



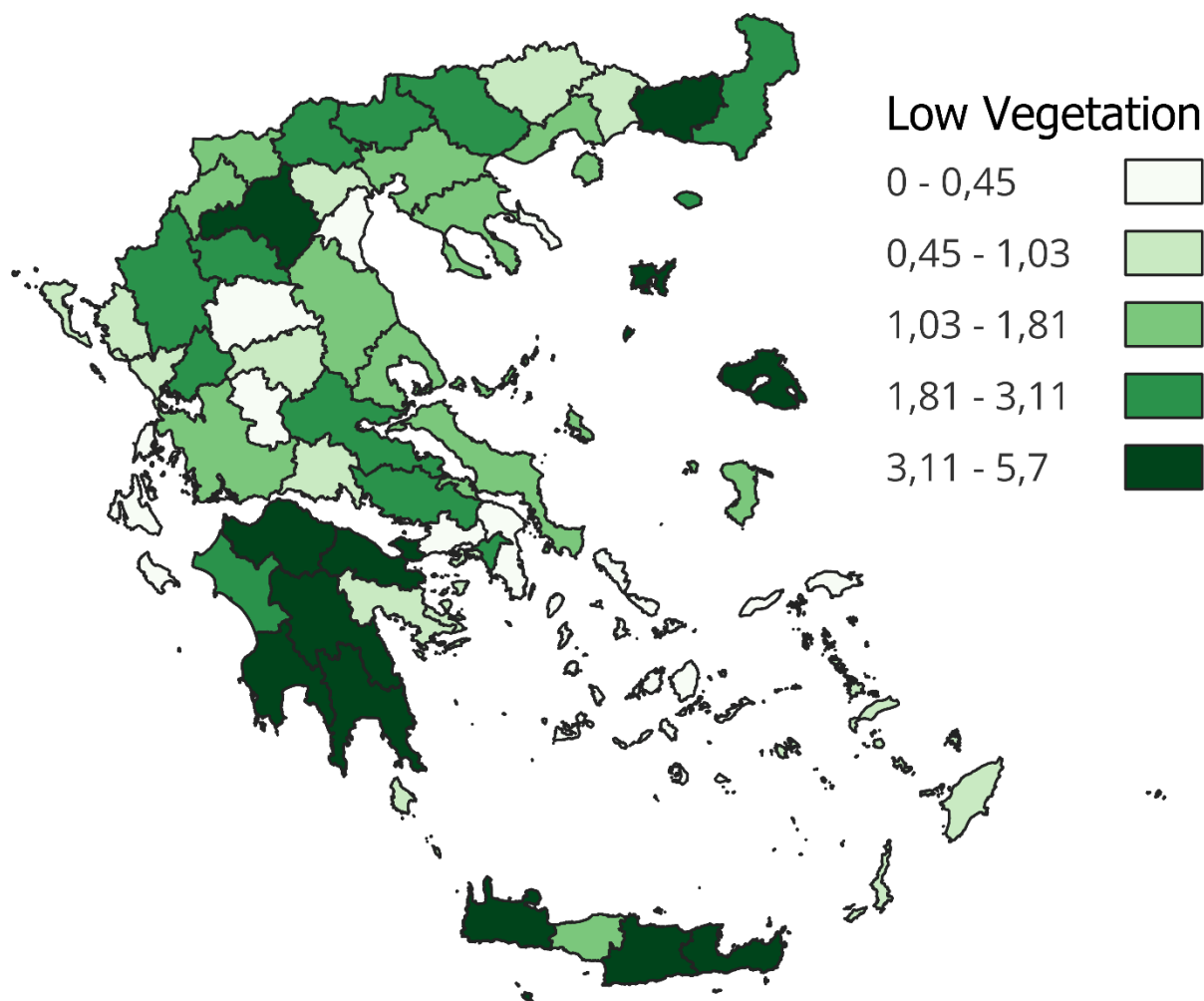
ΚΥΚΛΑΔΩΝ	1.777	4.802	2.648	2.037	0.958	2.204	0.000	0.000	0.698
ΚΙΛΚΙΣ	0.508	3.502	3.868	4.538	3.237	0.174	2.267	2.588	2.592
ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	2.343	4.485	3.251	0.024	1.358	3.049	4.597	4.441	1.377
ΚΟΖΑΝΗΣ	0.518	3.370	1.755	1.009	0.467	1.899	3.177	3.327	2.693
ΞΑΝΘΗΣ	1.753	1.198	1.658	2.483	2.591	1.321	0.546	0.473	2.823
ΛΑΚΩΝΙΑΣ	0.405	3.697	2.005	1.094	0.283	1.647	3.606	3.741	1.952
ΛΑΡΙΣΑΣ	2.911	5.204	2.806	3.572	0.355	2.102	4.138	1.277	3.691
ΛΑΣΙΘΙΟΥ	0.631	1.437	0.323	1.413	0.223	0.392	4.471	4.566	0.020
ΛΕΥΚΑΔΑΣ	0.179	4.907	1.192	1.268	0.919	2.576	0.000	0.000	0.000
ΛΕΣΒΟΥ	1.334	1.863	2.437	1.142	0.231	1.661	4.859	5.143	3.634
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	1.248	3.261	1.504	0.069	1.640	1.040	0.996	1.707	1.455
ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	0.716	3.777	1.436	1.708	0.252	1.337	5.100	5.046	2.870
ΠΕΛΛΑΣ	0.496	1.370	1.388	4.111	1.394	1.815	3.355	3.050	3.854
ΠΙΕΡΙΑΣ	2.179	0.360	0.680	0.309	0.643	1.256	0.434	0.181	4.435
ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΚΑΙ ΝΗΣΩΝ	0.800	3.379	3.855	0.356	1.980	0.551	0.540	0.486	0.964
ΠΡΕΒΕΖΑΣ	0.606	1.501	1.645	1.647	0.727	1.919	0.829	0.655	4.783
ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.439	2.444	0.308	0.399	1.115	1.884	1.623	1.807	0.635
ΡΟΔΟΠΗΣ	1.639	1.476	1.169	2.125	0.271	1.039	3.430	3.350	5.869
ΣΑΜΟΥ	1.321	0.725	0.569	1.838	2.200	2.209	0.000	0.000	0.140
ΣΕΡΡΩΝ	0.437	2.262	3.816	0.318	0.725	1.348	1.474	1.853	1.710
ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	1.173	2.232	1.143	2.760	0.476	1.074	1.192	0.545	3.040
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	1.839	0.743	1.629	0.587	0.498	1.986	1.311	1.243	2.472
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	1.971	1.692	0.667	2.411	0.336	2.515	0.381	0.117	4.386
ΒΟΙΩΤΙΑΣ	1.075	4.669	3.563	1.208	0.984	2.128	2.066	2.079	0.914
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	0.449	0.842	2.200	0.307	0.134	1.429	1.085	1.143	2.713
ΧΑΝΙΩΝ	1.541	3.622	1.904	0.212	1.167	2.503	3.263	3.365	1.445
ΧΙΟΥ	0.187	0.869	1.843	0.369	0.909	1.380	1.533	1.557	0.733
ΖΑΚΥΝΘΟΥ	3.486	8.021	2.852	0.479	0.356	2.148	0.000	0.000	0.853

Χρησιμοποιώντας τους δείκτες beta από τον πίνακα 4, κατασκευάστηκαν με την χρήση του λογισμικού QGIS, οι παρακάτω χάρτες για κάθε μεταβλητή, όπως έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας.



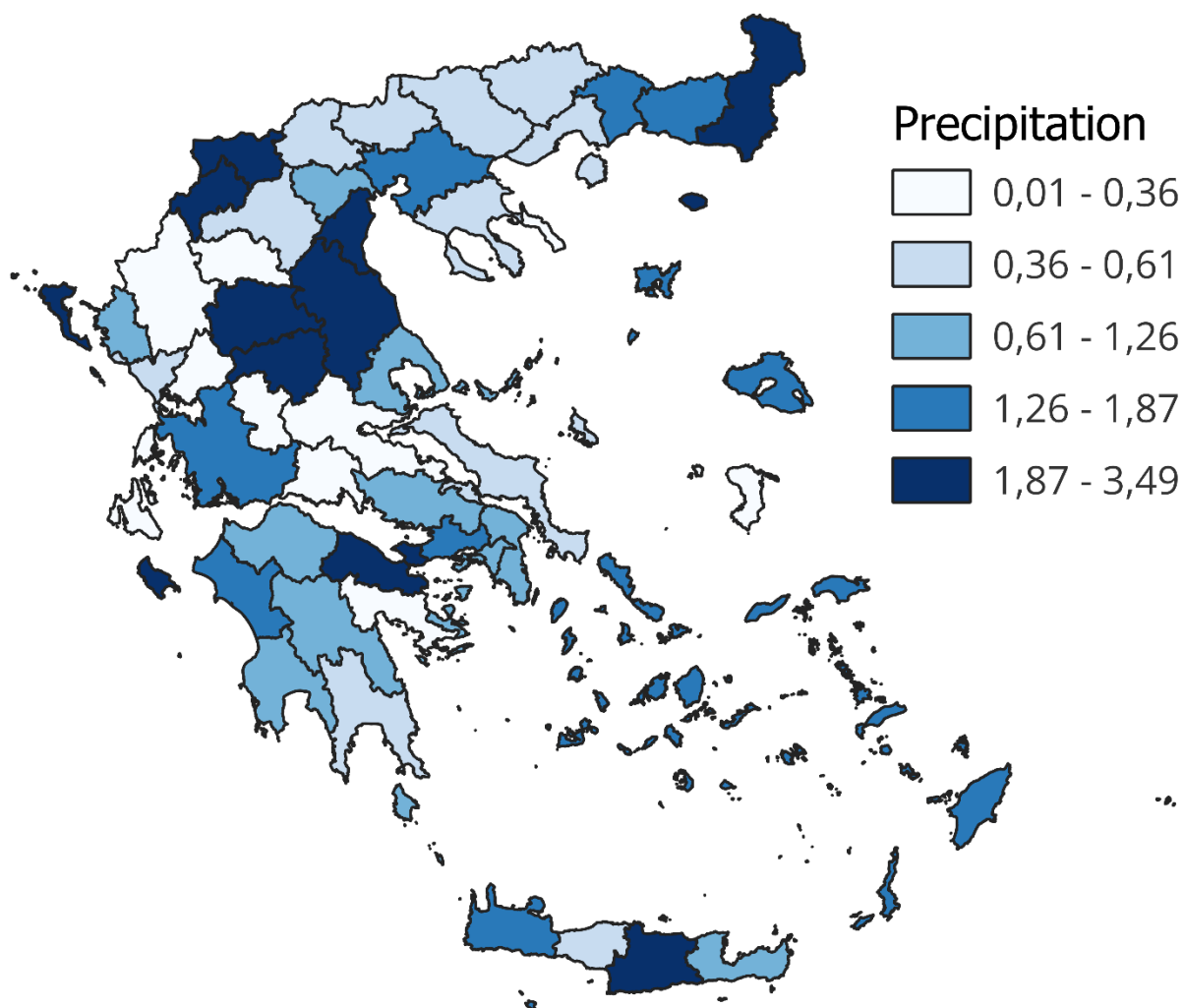
**Εικόνα 13.** Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘High Vegetation’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Η υψηλή βλάστηση εμφανίζει έντονη παρουσία σε περιοχές όπως η Πελοπόννησος και η Ήπειρος, σύμφωνα με τον χάρτη. Οι υψηλοί συντελεστές βήτα για την υψηλή βλάστηση, όπως στη Μεσσηνία (5.100) και τη Λακωνία (3.606), δείχνουν τη συμβολή της στην καύσιμη ύλη. Ωστόσο, περιοχές με περιορισμένη υψηλή βλάστηση, όπως οι Κυκλάδες (0.000), παρουσιάζουν μικρότερη ευαισθησία στις πυρκαγιές από αυτή την παράμετρο.

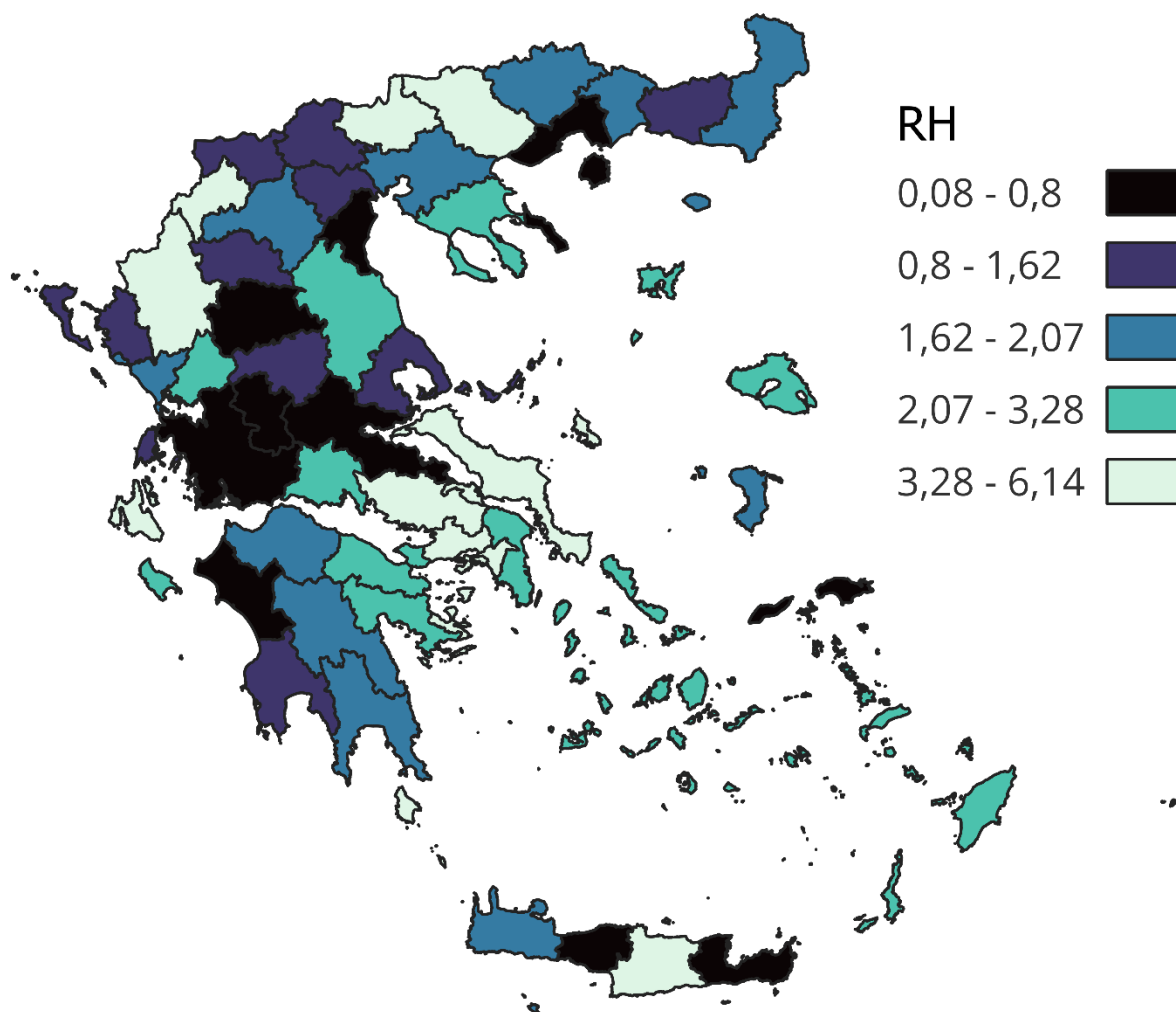


**Εικόνα 14.** Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Low Vegetation’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Η χαμηλή βλάστηση φαίνεται να κυριαρχεί σε περιοχές όπως η Πελοπόννησος και η Κεντρική Ελλάδα, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τον χάρτη. Συντελεστές βήτα όπως στη Λακωνία (3.741) και τη Μεσσηνία (5.046) δείχνουν ότι η χαμηλή βλάστηση είναι σημαντική για τη διάδοση της φωτιάς. Σε περιοχές όπως η Εύβοια (1.413), όπου υπάρχει σχετικά χαμηλή πυκνότητα βλάστησης, η επίδραση είναι πιο περιορισμένη.

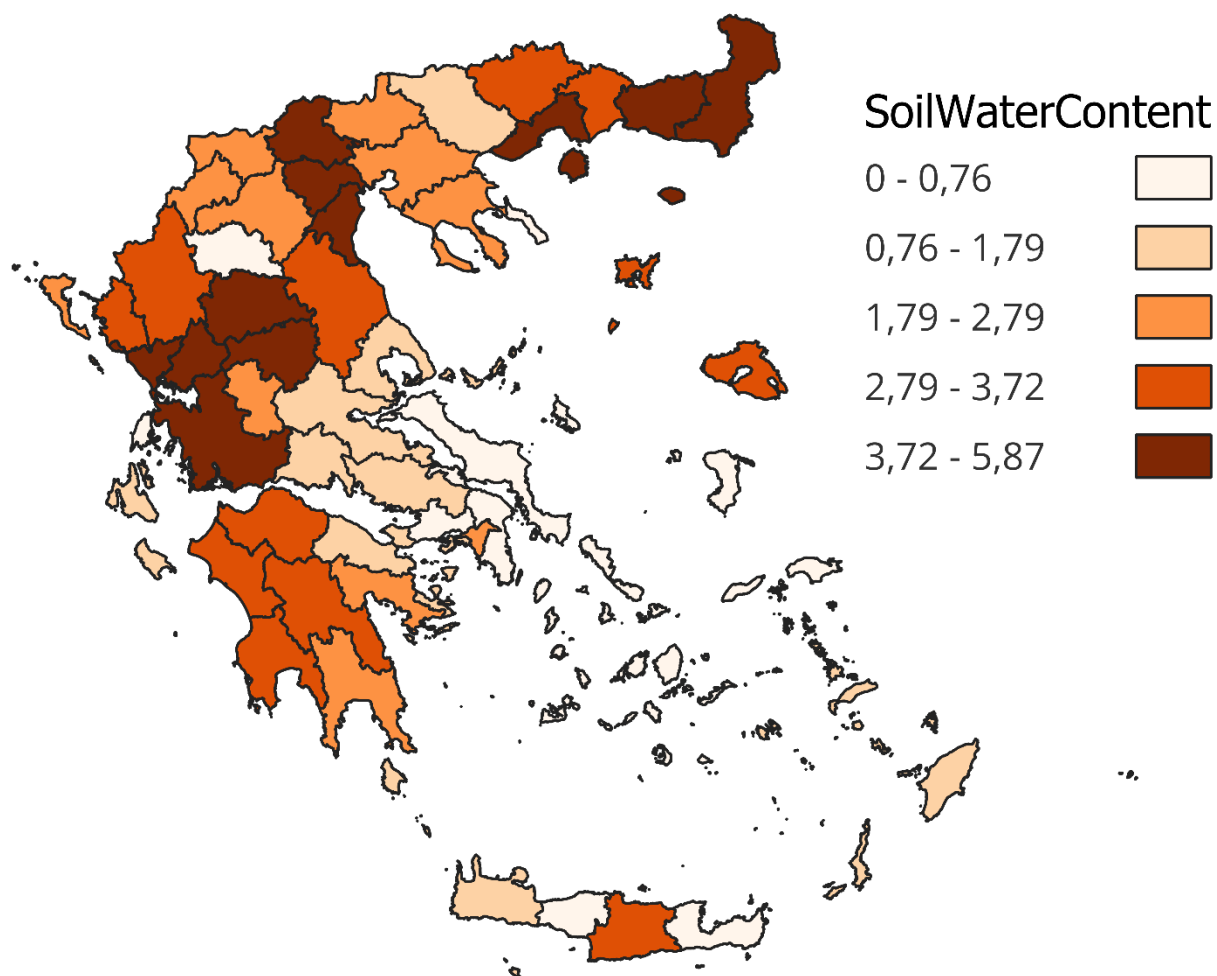


**Εικόνα 15.** Δείκτες beta για την μεταβλητή 'Precipitation' για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση



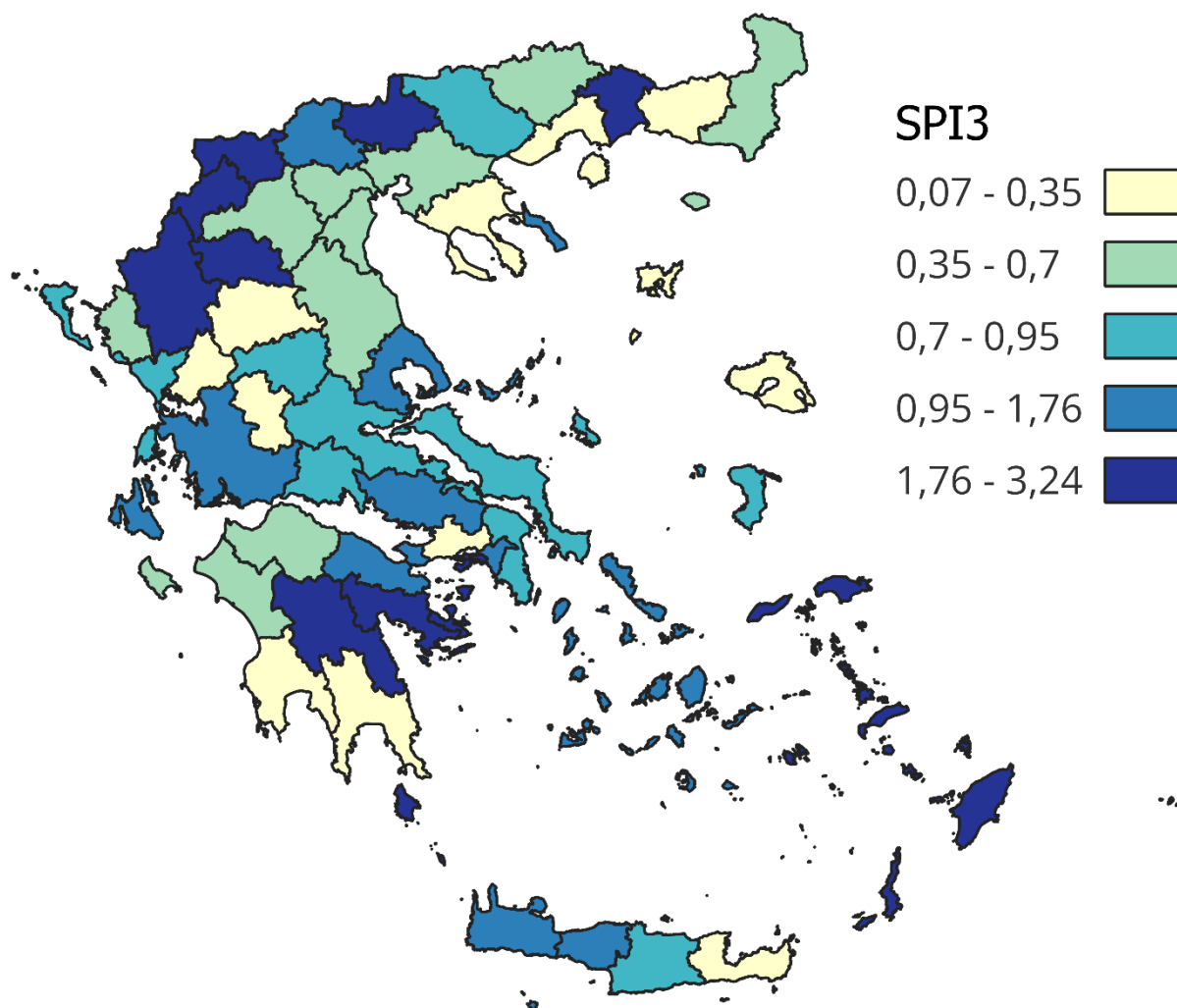
**Εικόνα 16.** Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘RH για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Η σχετική υγρασία έχει σημαντική θετική επίδραση, ιδιαίτερα σε περιοχές όπως η Εύβοια (4.095) και η Καστοριά (3.809). Ο χάρτης δείχνει υψηλές τιμές RH σε αυτές τις περιοχές, αποδεικνύοντας ότι η υγρασία λειτουργεί ανασταλικά στην εξάπλωση των πυρκαγιών. Αντίθετα, περιοχές με χαμηλή σχετική υγρασία, όπως οι Κυκλάδες (2.648), είναι πιο ευάλωτες.



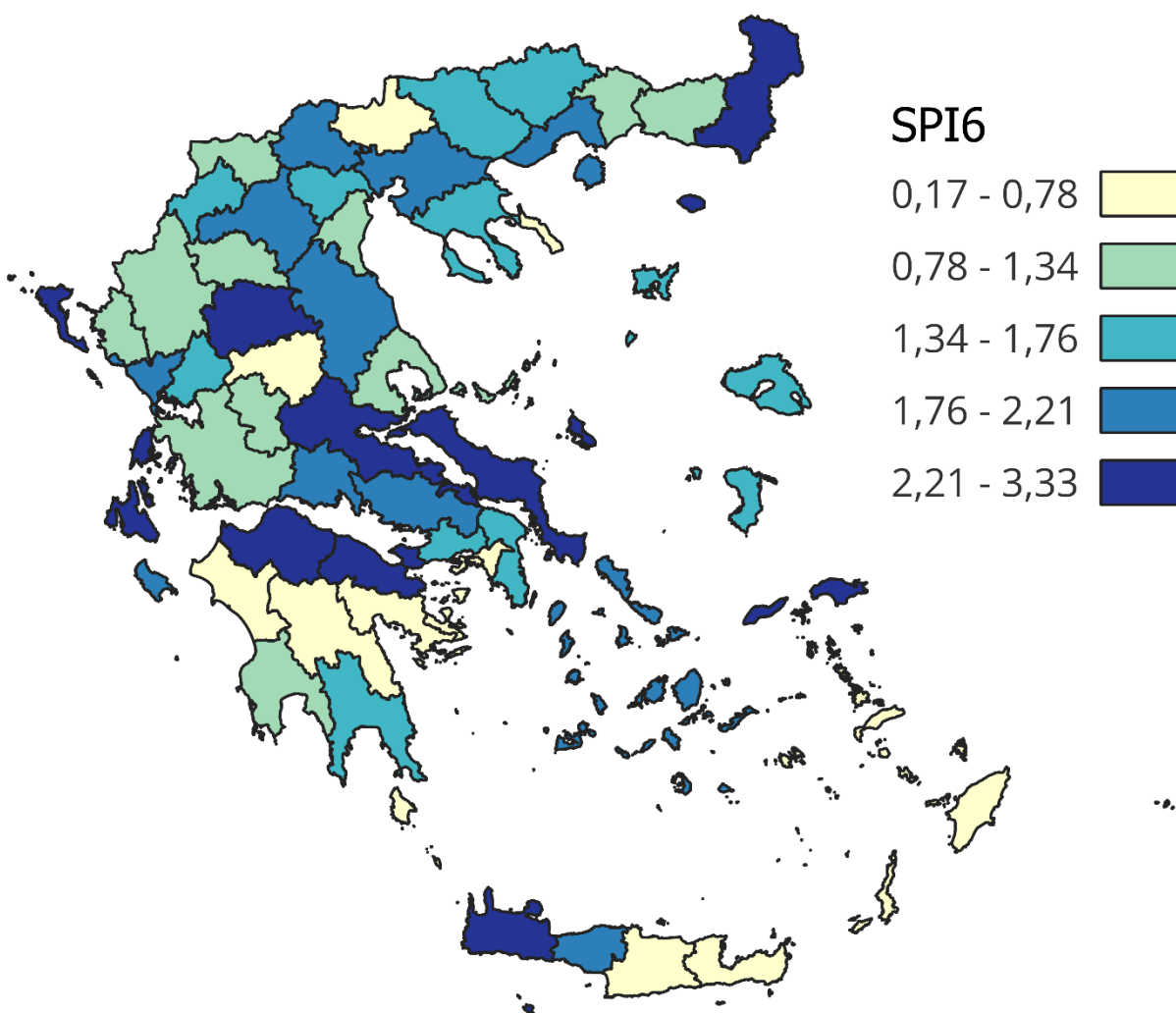
**Εικόνα 17.** Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Soil Water Content’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Η υγρασία του εδάφους αποτελεί κρίσιμο παράγοντα, με υψηλούς συντελεστές βήτα στις περιοχές όπου καταγράφονται αυξημένα επίπεδα, όπως στην Άρτα (4.082) και την Πρέβεζα (4.783). Σε περιοχές με χαμηλότερη υγρασία εδάφους, όπως η Θάσος (2.713), ο κίνδυνος πυρκαγιάς αυξάνεται λόγω της ευκολότερης ανάφλεξης της βλάστησης.



**Εικόνα 18.** Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘SPI3’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

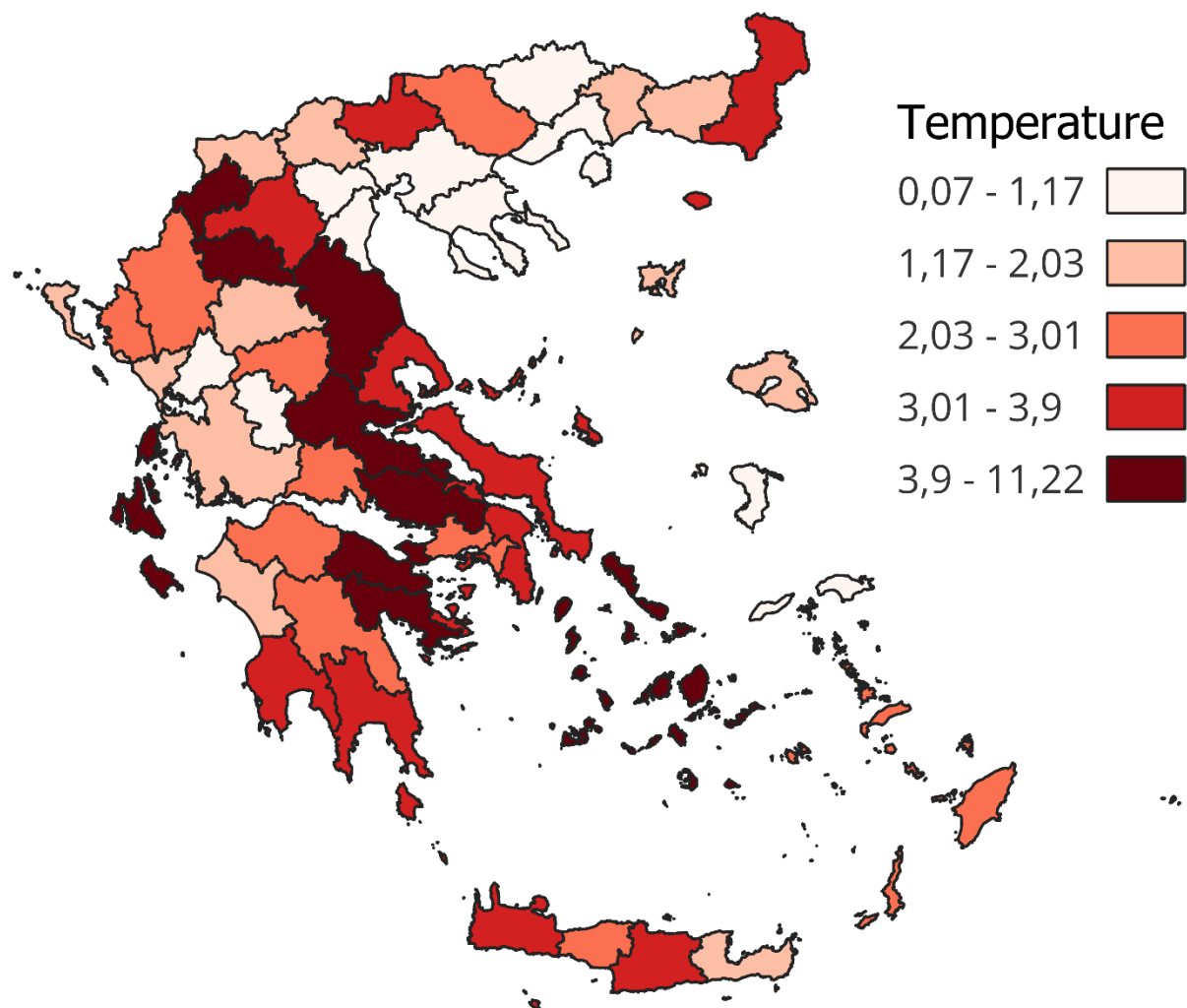
Ο δείκτης SPI3, που καταγράφει τη βραχυπρόθεσμη ξηρασία, παρουσιάζει υψηλούς συντελεστές βήτα σε περιοχές όπως η Δυτική Αττική (1.515) και η Εύβοια (3.328), υποδεικνύοντας ότι οι πρόσφατες ξηρασίες αυξάνουν σημαντικά τον κίνδυνο πυρκαγιών. Ο χάρτης δείχνει επίσης αυξημένες τιμές SPI3 στις ίδιες περιοχές, επιβεβαιώνοντας τα ευρήματα.



**Εικόνα 19.** Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘SPI6’ για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

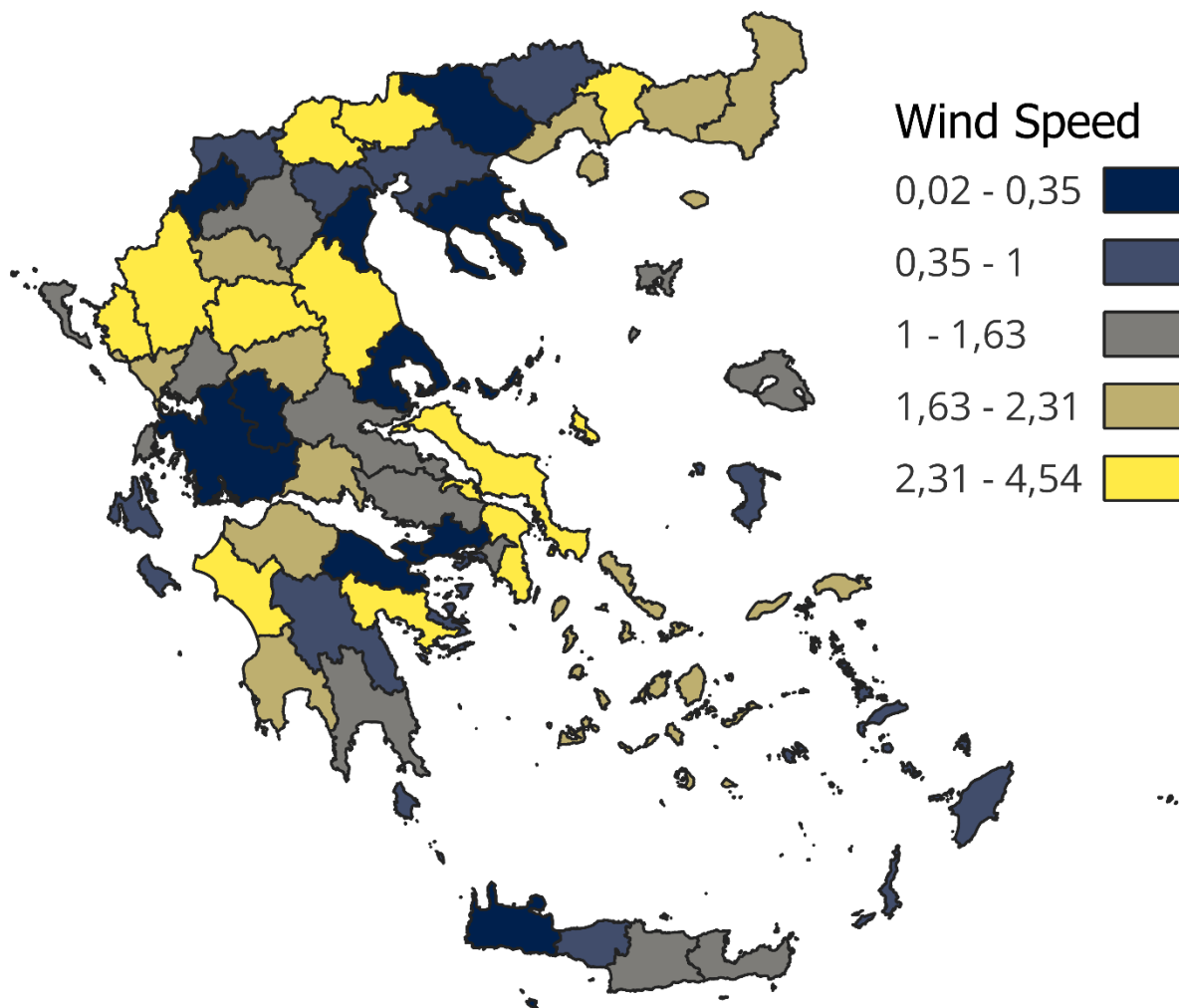
Ο δείκτης SPI6, που αποτυπώνει τη μέση ξηρασία, εμφανίζει υψηλούς συντελεστές βήτα σε περιοχές όπως η Δράμα (1.667) και η Καστοριά (1.484). Αυτό υποδηλώνει ότι οι παρατεταμένες ξηρασίες επιδρούν **αρνητικά** στη φυσική ανθεκτικότητα της βλάστησης, αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιών. Ο χάρτης SPI6 συμφωνεί με αυτές τις περιοχές υψηλού κινδύνου.





**Εικόνα 20.** Δείκτες beta για την μεταβλητή 'Temperature' για την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Η θερμοκρασία έχει από τις ισχυρότερες επιδράσεις, με εξαιρετικά υψηλούς συντελεστές βήτα σε περιοχές όπως η Κεφαλονιά (11.216) και η Ζάκυνθος (8.021). Οι υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν ίσως την ανάφλεξη και την ταχεία εξάπλωση της φωτιάς, κάτι που αντανακλάται και στον χάρτη θερμοκρασίας, όπου οι ίδιες περιοχές παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές.



**Εικόνα 21.** Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Wind Speed’ για την απλή γραμμική παλινδρόμηση

Ο χάρτης του Wind Speed παρουσιάζει περιοχές με μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου κυρίως στην Ανατολική Μακεδονία, Θράκη και τις Κυκλάδες. Οι υψηλές τιμές συντελεστών βήτα δείχνουν ότι ο άνεμος ίσως επηρεάζει σημαντικά την εξάπλωση των πυρκαγιών, ειδικά σε περιοχές όπως το Κιλκίς, όπου παρατηρούνται από τις υψηλότερες τιμές (4.54). Η επίδραση του ανέμου σχετίζεται άμεσα με τη διάδοση των φλογών και την ένταση της καύσης.

**Πίνακας 5.** Πίνακας συσχετίσεων μεταξύ ανεξάρτητων μεταβλητών

	<b>PR EC</b>	<b>TE MP</b>	<b>RH</b>	<b>WI ND</b>	<b>SPI 3</b>	<b>SPI 6</b>	<b>HighVeget ation</b>	<b>LowVeget ation</b>	<b>SoilWaterC ontent</b>
<b>PREC</b>	1.000	0.113	0.019	-0.068	-0.045	0.093	0.000	-0.048	0.255
<b>TEMP</b>	0.113	1.000	0.592	0.061	0.152	0.364	0.033	-0.014	-0.377
<b>RH</b>	0.019	0.592	1.000	0.101	0.206	0.111	-0.008	0.017	-0.194
<b>WIND</b>	-0.068	0.061	0.101	1.000	0.118	0.018	0.130	0.054	0.118
<b>SPI3</b>	-0.045	0.152	0.206	0.118	1.000	-0.338	-0.136	-0.080	-0.207
<b>SPI6</b>	0.093	0.364	0.111	0.018	-0.338	1.000	-0.042	-0.085	-0.127
<b>HighVegetation</b>	0.000	0.033	-0.008	0.130	-0.136	-0.042	1.000	0.938	0.226
<b>LowVegetation</b>	-0.048	-0.014	0.017	0.054	-0.080	-0.085	0.938	1.000	0.195
<b>SoilWaterContent</b>	0.255	-0.377	-0.194	0.118	-0.207	-0.127	0.226	0.195	1.000

## 3.2 Backward Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση

Για την μέθοδο της backward γραμμικής παλινδρόμησης, υπολογίστηκαν οι παρακάτω (beta) συντελεστές (Πίνακας 7), οι οποίοι επιλέγησαν όπως περιγράψαμε αναλυτικά στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας. Επίσης, στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι adjusted  $R^2$  συντελεστές.

**Πίνακας 6.** Δείκτες  $R^2$  για την backward πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση

Region	Adjusted R Square	Region	Adjusted R Square
ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	-2.22E-16	ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	0.605968
ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	0.627470098	ΚΟΖΑΝΗΣ	0.491719
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	0.543022362	ΞΑΝΘΗΣ	0.357795
ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ	0.665031104	ΛΑΚΩΝΙΑΣ	0.451124
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	0.493748806	ΛΑΡΙΣΑΣ	0.718823
ΑΡΤΑΣ	0.457808238	ΛΑΣΙΘΙΟΥ	0.277095
ΑΘΗΝΩΝ	0.504652692	ΛΕΥΚΑΔΑΣ	0.239295
ΑΧΑΙΑΣ	0.612374958	ΛΕΣΒΟΥ	0.35741
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	0.436465686	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	0.529411
ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΩΝ	0.459380648	ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	0.442339
ΔΡΑΜΑΣ	0.323384726	ΠΕΛΛΑΣ	0.532534
ΕΥΒΟΙΑΣ	0.415217333	ΠΙΕΡΙΑΣ	0.323782
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	0.18840115	ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΚΑΙ ΝΗΣΩΝ	0.392367
ΕΒΡΟΥ	0.523981385	ΠΡΕΒΕΖΑΣ	0.529945
ΦΛΩΡΙΝΑΣ	0.316289894	ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.434028
ΦΩΚΙΔΑΣ	0.312446598	ΡΟΔΟΠΗΣ	0.535931
ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	0.533660137	ΣΑΜΟΥ	0.094008
ΓΡΕΒΕΝΩΝ	0.336338623	ΣΕΡΡΩΝ	0.447746
ΗΛΕΙΑΣ	0.481798408	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	0.441993
ΗΜΑΘΙΑΣ	0.408928089	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	0.415387
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	0.486842963	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	0.502794
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	0.620564698	ΒΟΙΩΤΙΑΣ	0.599226
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	0.616708888	ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	0.394485
ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	0.360063142	ΧΑΝΙΩΝ	0.310238
ΚΑΒΑΛΑΣ	0.376126858	ΧΙΟΥ	0.171735
ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ	0.477905552	ΖΑΚΥΝΘΟΥ	0.463686
ΚΕΡΚΥΡΑΣ	0.494907766		
ΚΥΚΛΑΔΩΝ	0.208405301		
ΚΙΛΚΙΣ	0.518684511		

Η μέθοδος backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης παρέχει σημαντικές ενδείξεις για την εξηγητική ικανότητα των παραμέτρων σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. Οι δείκτες  $R^2$

(adjusted) αντικατοπτρίζουν το ποσοστό της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής (καμένη έκταση) που εξηγείται από τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Παρόλο που τα αποτελέσματα διαφέρουν μεταξύ περιοχών, η ανάλυση προσφέρει πολύτιμα δεδομένα για τη στοχευμένη διαχείριση του κινδύνου πυρκαγιών. Στις περιοχές με υψηλά  $R^2$ , όπως η Λάρισα (0.7188), η Αργολίδα (0.6650) και η Καρδίτσα (0.6167), το μοντέλο εξηγεί αποτελεσματικά τη διακύμανση της καμένης έκτασης. Αυτές οι περιοχές δείχνουν ότι οι κλιματικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η βλάστηση και οι δείκτες ξηρασίας, παίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόβλεψη πυρκαγιών. Στο Ηράκλειο (0.6206), περιοχές της Κρήτης, η υψηλή τιμή υποδηλώνει ότι το μοντέλο λαμβάνει επαρκώς υπόψη τις κρίσιμες παραμέτρους, όπως οι υψηλές θερμοκρασίες και η υγρασία.

Αντίθετα, σε περιοχές με χαμηλότερα  $R^2$ , όπως η Σάμος (0.0940), η Χίος (0.1717) και οι Κυκλάδες (0.2084), η εξηγητική ικανότητα του μοντέλου είναι περιορισμένη. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή δεδομένα ή σε σημαντικούς τοπικούς παράγοντες που δεν περιλαμβάνονται στην ανάλυση. Οι γεωγραφικές ιδιαιτερότητες, όπως οι ισχυροί άνεμοι και οι μικροκλιματικές συνθήκες, πιθανώς επηρεάζουν σημαντικά αυτές τις περιοχές και απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση. Η Κρήτη παρουσιάζει ποικίλες τιμές  $R^2$ , γεγονός που υποδεικνύει διαφοροποιήσεις στη δυναμική των παραγόντων ανά νομό. Το Ηράκλειο (0.6206) ξεχωρίζει για την υψηλή εξηγητική ικανότητα του μοντέλου, γεγονός που δείχνει ότι οι ανεξάρτητες μεταβλητές περιγράφουν επαρκώς τη διακύμανση της καμένης έκτασης. Ωστόσο, στα Χανιά (0.3102) και το Λασίθι (0.2771), οι χαμηλότερες τιμές υποδηλώνουν ότι ίσως σημαντικοί παράγοντες, όπως οι έντονοι άνεμοι ή οι γεωμορφολογικές συνθήκες, δεν περιλαμβάνονται πλήρως στο μοντέλο. Αυτό καθιστά αναγκαία την ενσωμάτωση πρόσθετων δεδομένων/μεταβλητών για την καλύτερη κατανόηση των τοπικών κινδύνων.

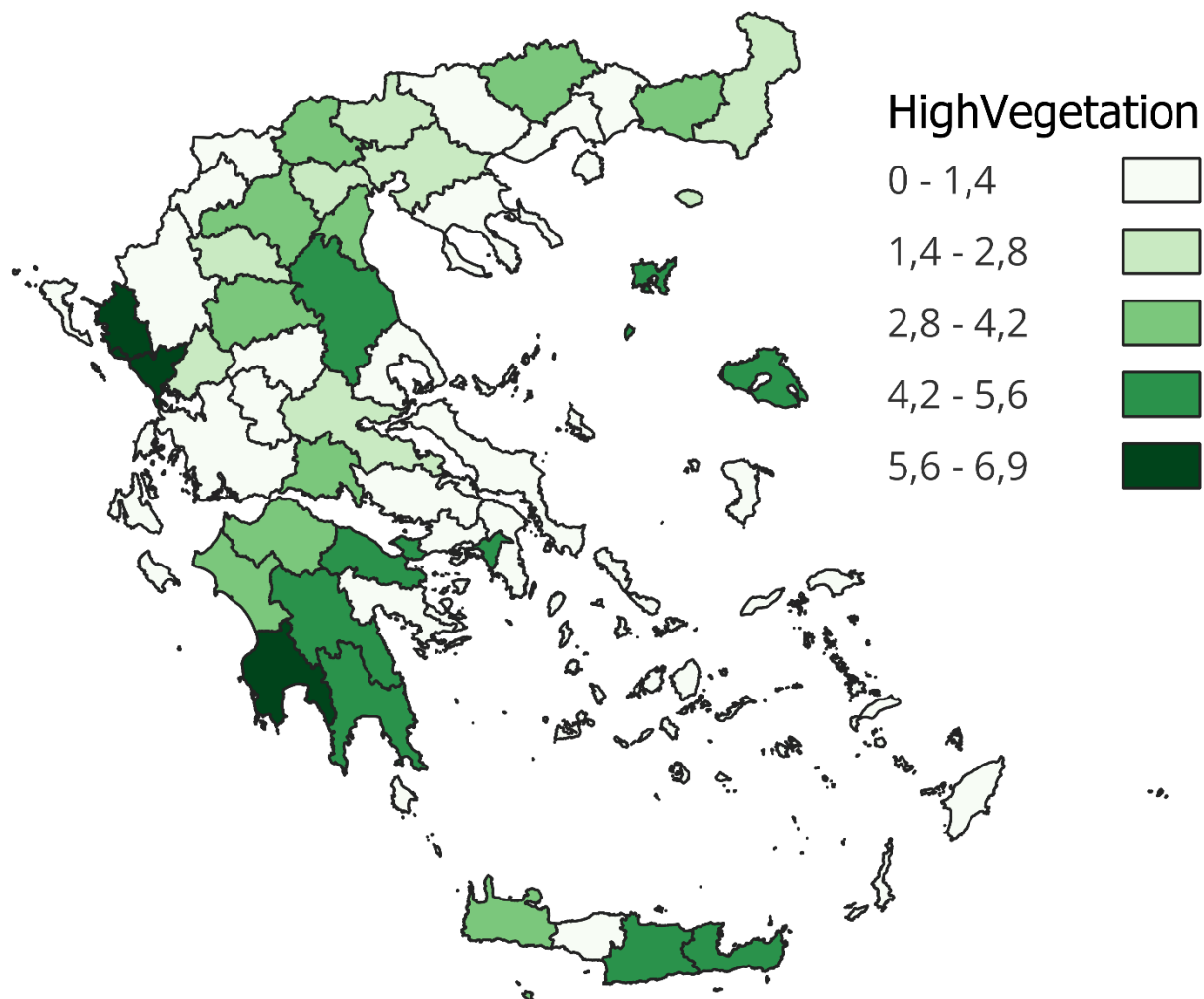
Συνολικά, οι περιοχές με υψηλά  $R^2$  υποδεικνύουν ότι το μοντέλο backward είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην πρόβλεψη της καμένης έκτασης, καθιστώντας το κατάλληλο εργαλείο για τη στοχευμένη λήψη μέτρων πρόληψης πυρκαγιών. Από την άλλη πλευρά, οι περιοχές με χαμηλά  $R^2$  απαιτούν περαιτέρω βελτιώσεις στο μοντέλο, ώστε να ληφθούν υπόψη παράγοντες που επηρεάζουν τις πυρκαγιές με μη γραμμικό τρόπο. Στην Κρήτη, οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των νομών υπογραμμίζουν την ανάγκη για τοπικά προσαρμοσμένες προσεγγίσεις, με ιδιαίτερη έμφαση στις περιοχές όπου το μοντέλο παρουσιάζει χαμηλή εξηγητική ικανότητα.

**Πίνακας 7.** beta συντελεστές για τη μέθοδο της backward πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Region	HighVegetation	LowVegetation	SoilWaterContent	SPI3	SPI6	PREC	TEMP	RH	WIND
ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	0.000	0.000	18.812	4.197	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	0.000	2.909	0.000	0.000	0.000	0.000	5.445	3.757	3.838
ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ	0.000	0.000	0.000	6.916	0.000	0.000	16.488	4.196	3.001
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	4.371	4.472	5.513	2.997	0.000	0.000	2.233	0.000	0.000
ΑΡΤΑΣ	2.182	2.218	8.661	0.000	2.215	0.000	0.000	2.523	0.000
ΑΘΗΝΩΝ	5.381	6.470	0.000	2.231	0.000	0.000	0.000	2.546	0.000
ΑΧΑΙΑΣ	3.872	5.631	4.250	0.000	2.959	0.000	2.395	2.291	2.107
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.516	4.188	4.169	0.000
ΔΩΔΕΚΑΝΗΣΩΝ	0.000	0.000	2.535	2.100	0.000	0.000	2.624	2.143	0.000
ΔΡΑΜΑΣ	2.974	0.000	6.077	0.000	1.977	0.000	0.000	2.194	0.000
ΕΥΒΟΙΑΣ	0.000	4.319	0.000	0.000	5.744	0.000	6.152	4.209	4.046
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	0.000	4.602	6.293	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΕΒΡΟΥ	2.492	2.035	6.015	0.000	3.129	0.000	3.285	0.000	0.000
ΦΛΩΡΙΝΑΣ	0.000	4.623	2.845	3.533	0.000	0.000	2.512	0.000	0.000
ΦΩΚΙΔΑΣ	3.986	0.000	0.000	0.000	2.912	0.000	5.996	3.180	2.417
ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	2.565	2.227	0.000	0.000	5.451	0.000	10.131	0.000	0.000
ΓΡΕΒΕΝΩΝ	2.537	2.147	0.000	5.196	0.000	0.000	6.402	0.000	2.110
ΗΛΕΙΑΣ	2.942	2.844	10.815	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.060
ΗΜΑΘΙΑΣ	2.644	0.000	6.423	0.000	2.221	0.000	0.000	2.402	0.000
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	0.000	5.229	3.031	4.190	0.000	0.000	2.251	4.365	2.471
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	5.323	5.773	4.990	0.000	0.000	2.193	2.878	3.243	0.000
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	0.000	0.000	15.497	0.000	0.000	2.945	0.000	0.000	0.000
ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	0.000	6.574	2.241	4.245	0.000	2.403	4.942	3.717	0.000
ΚΑΒΑΛΑΣ	0.000	0.000	10.295	0.000	3.559	0.000	0.000	0.000	2.724
ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ	0.000	0.000	0.000	0.000	5.248	0.000	13.601	6.478	0.000
ΚΕΡΚΥΡΑΣ	0.000	4.897	0.000	0.000	4.286	5.334	10.612	0.000	0.000
ΚΥΚΛΑΔΩΝ	0.000	0.000	0.000	0.000	2.919	0.000	4.859	2.035	1.973

ΚΙΛΚΙΣ	2.227	2.554	2.707	3.722	0.000	0.000	3.715	3.849	4.525
ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	4.413	4.238	0.000	0.000	3.596	2.629	7.841	4.164	0.000
ΚΟΖΑΝΗΣ	3.933	4.058	5.655	0.000	2.769	0.000	2.730	0.000	0.000
ΞΑΝΘΗΣ	0.000	0.000	9.037	3.825	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΛΑΚΩΝΙΑΣ	4.660	4.773	5.779	0.000	0.000	0.000	3.190	0.000	0.000
ΛΑΡΙΣΑΣ	4.951	0.000	3.926	0.000	2.967	2.980	5.356	2.797	3.732
ΛΑΣΙΘΙΟΥ	4.908	4.988	0.000	0.000	0.000	0.000	4.697	0.000	0.000
ΛΕΥΚΑΔΑΣ	0.000	0.000	0.000	0.000	4.098	0.000	7.613	0.000	0.000
ΛΕΣΒΟΥ	4.464	4.855	8.611	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	0.000	0.000	2.221	2.506	0.000	0.000	3.199	0.000	0.000
ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	6.251	6.216	7.271	0.000	0.000	0.000	3.395	0.000	0.000
ΠΕΛΛΑΣ	4.149	4.070	8.390	0.000	3.027	0.000	0.000	0.000	4.128
ΠΙΕΡΙΑΣ	3.182	0.000	8.627	0.000	0.000	2.479	0.000	0.000	0.000
ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΚΑΙ ΝΗΣΩΝ	0.000	0.000	0.000	3.373	0.000	0.000	6.514	5.055	0.000
ΠΡΕΒΕΖΑΣ	6.939	0.000	14.637	0.000	2.862	0.000	0.000	0.000	2.609
ΡΕΘΥΜΝΟΥ	0.000	3.588	0.000	0.000	4.604	0.000	9.679	0.000	0.000
ΡΟΔΟΠΗΣ	3.263	3.177	14.630	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ΣΑΜΟΥ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.007	0.000	2.034
ΣΕΡΡΩΝ	0.000	5.259	3.846	0.000	0.000	0.000	2.951	4.174	0.000
ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	6.575	0.000	12.736	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.310
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	2.480	2.476	5.025	0.000	0.000	2.327	0.000	0.000	0.000
ΤΡΙΚΑΛΩΝ	3.352	0.000	4.928	0.000	3.545	2.090	2.570	0.000	2.632
ΒΟΙΩΤΙΑΣ	0.000	0.000	0.000	0.000	3.300	0.000	17.260	3.966	0.000
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ	0.000	0.000	6.388	0.000	2.075	0.000	0.000	2.255	0.000
ΧΑΝΙΩΝ	3.517	3.606	0.000	0.000	4.822	0.000	7.619	2.583	0.000
ΧΙΟΥ	0.000	0.000	0.000	0.000	2.802	0.000	4.578	2.922	0.000
ΖΑΚΥΝΘΟΥ	0.000	0.000	0.000	0.000	2.331	3.798	9.356	2.779	0.000

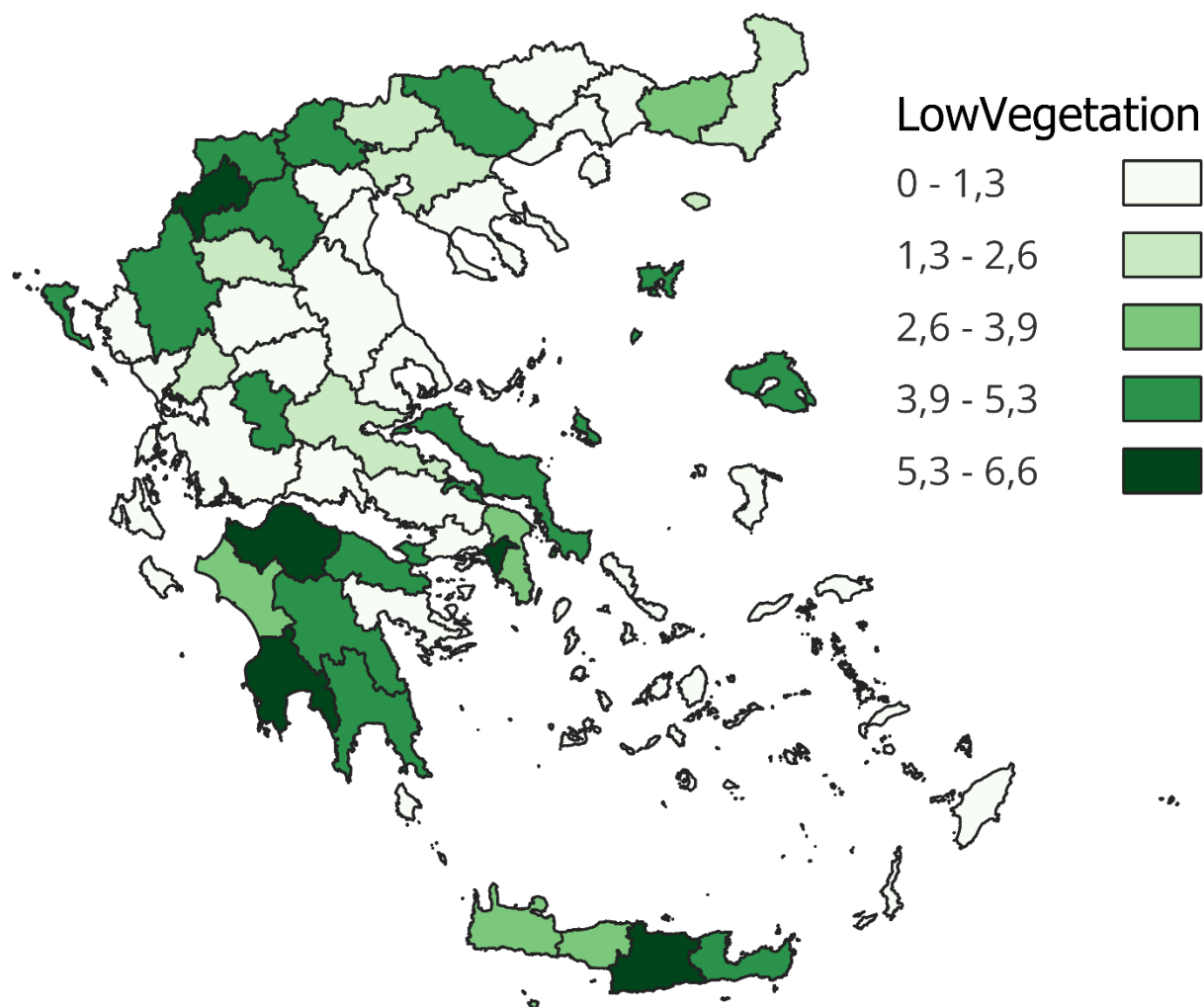
Ομοίως με προηγούμενως, χρησιμοποιώντας τους δείκτες beta από τον πίνακα 7, κατασκευάστηκαν με την χρήση του λογισμικού QGIS, οι παρακάτω χάρτες για κάθε μεταβλητή, όπως έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας.



**Εικόνα 22.** Δείκτες beta για την μεταβλητή 'High Vegetation' για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

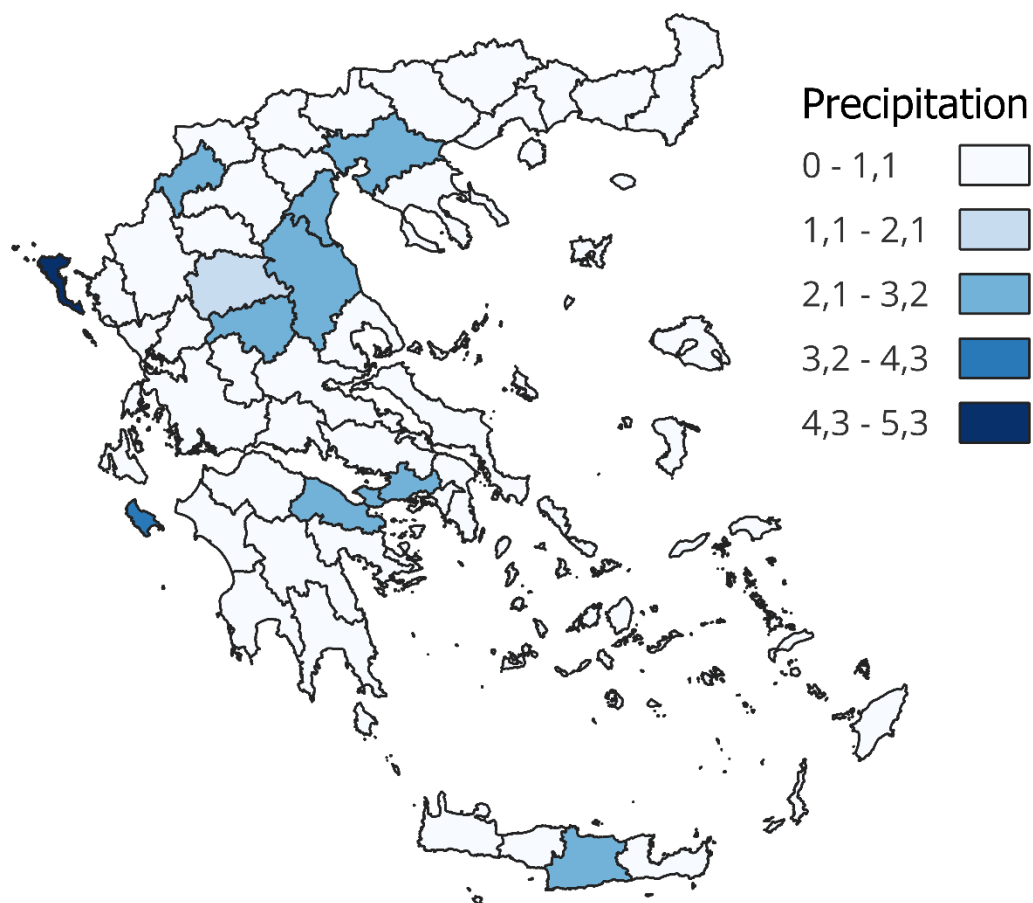
Ο χάρτης της υψηλής βλάστησης δείχνει σημαντική συνεισφορά σε περιοχές όπως η Αρκαδία (4.371) και η Μεσσηνία (6.251), γεγονός που επιβεβαιώνει τον κρίσιμο ρόλο της υψηλής βλάστησης ως καύσιμης ύλης. Αντίθετα, περιοχές όπως οι Κυκλάδες δεν παρουσιάζουν σημαντική επίδραση από την υψηλή βλάστηση (βήτα 0.000).





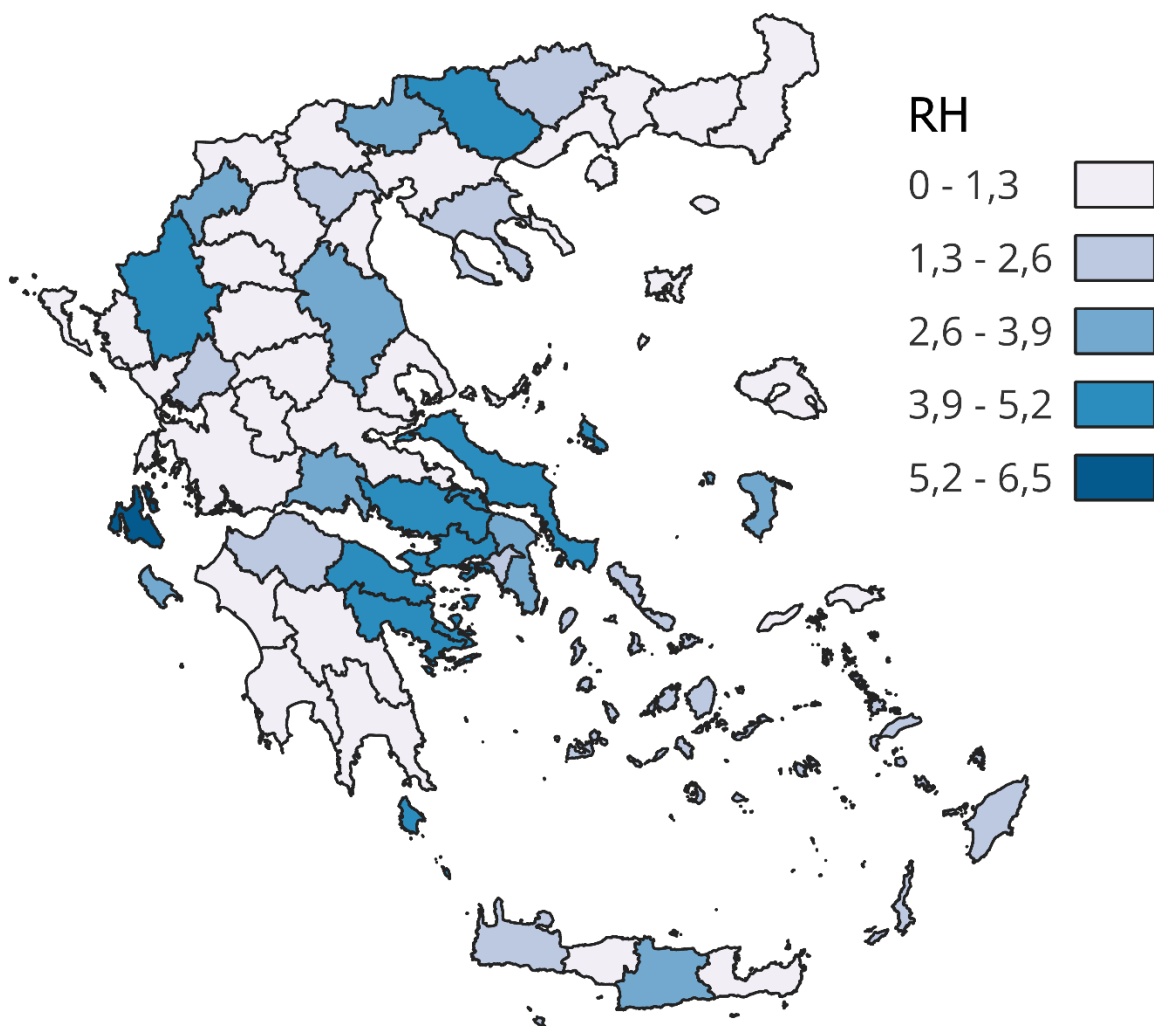
**Εικόνα 23.** Δείκτες beta για την μεταβλητή 'Low Vegetation' για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμηση

Η χαμηλή βλάστηση, όπως φαίνεται στον αντίστοιχο χάρτη, επηρεάζει κυρίως περιοχές όπως η Αχαΐα (5.631) και η Κέρκυρα (4.897). Η χαμηλή βλάστηση αποτελεί εύφλεκτο υλικό που συμβάλλει στην εξάπλωση των πυρκαγιών, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλούς βήτα συντελεστές.

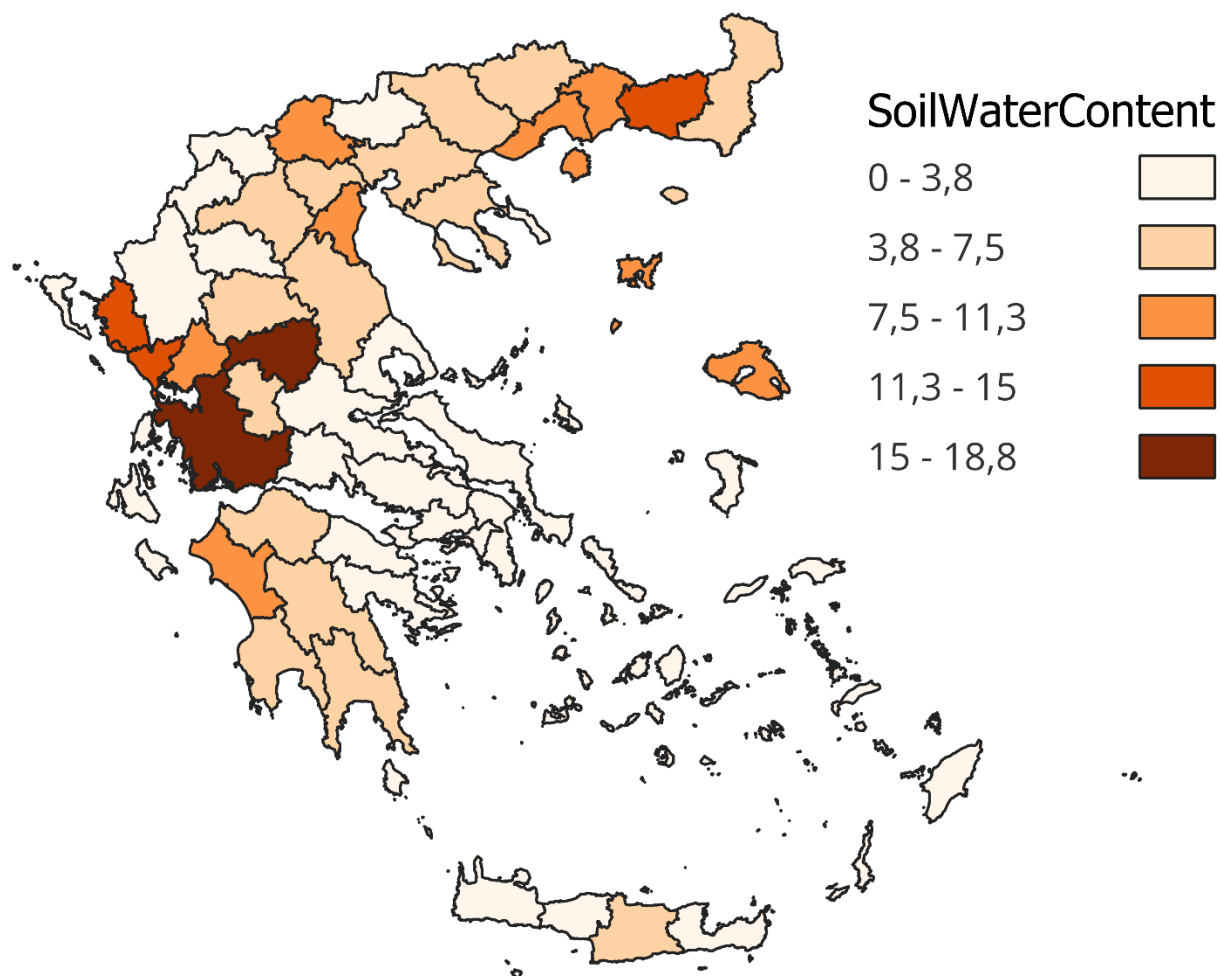


**Εικόνα 24.** Δείκτες beta για την μεταβλητή 'Precipitation' για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Η βροχόπτωση παρουσιάζει μηδενικές τιμές βήτα στις περισσότερες περιοχές. Η χαμηλή συμμετοχή της βροχόπτωσης στον υπολογισμό κινδύνου πυρκαγιών πιθανώς αντικατοπτρίζει την έλλειψη έντονων διαφορών στη βροχόπτωση στις περιοχές που αναλύθηκαν.

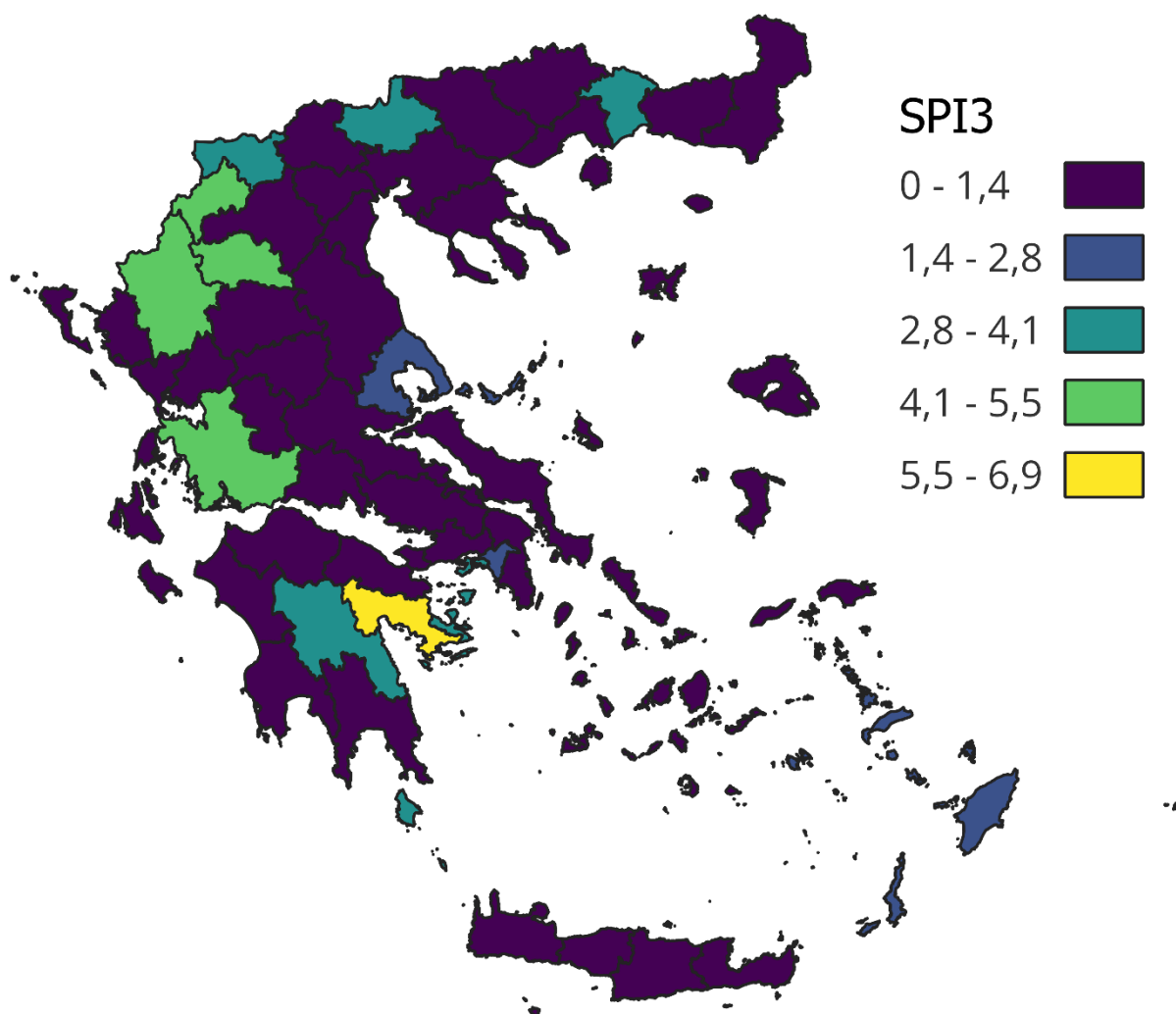


**Εικόνα 25.** Δείκτες beta για την μεταβλητή 'Relative Humidity' για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης



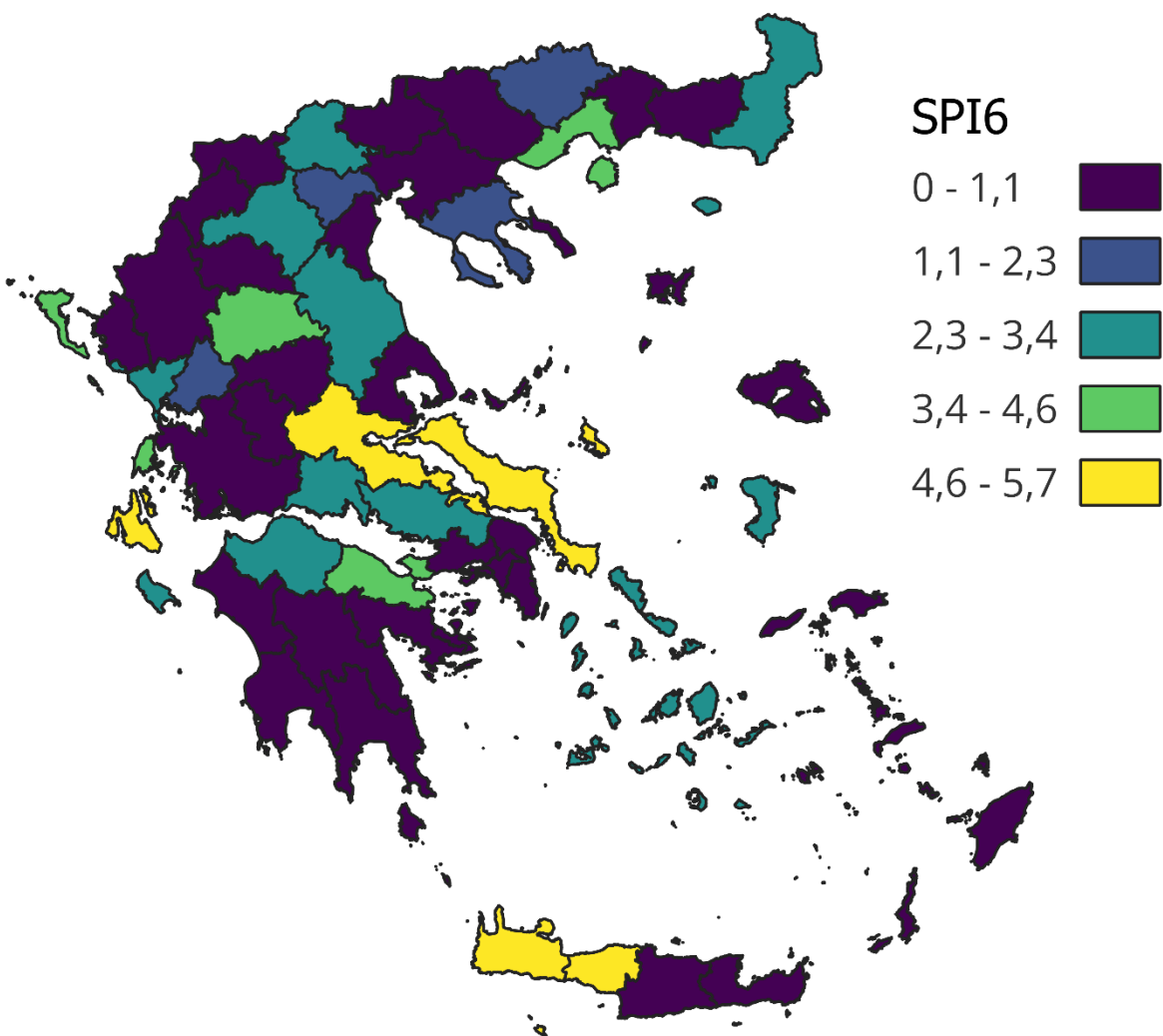
**Εικόνα 26.** Δείκτες beta για την μεταβλητή 'Soil Water Content' για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Η υγρασία του εδάφους καταγράφεται ως καθοριστικός παράγοντας σε περιοχές όπως η Αιτωλοακαρνανία (18.812) και η Μεσσηνία (7.271).



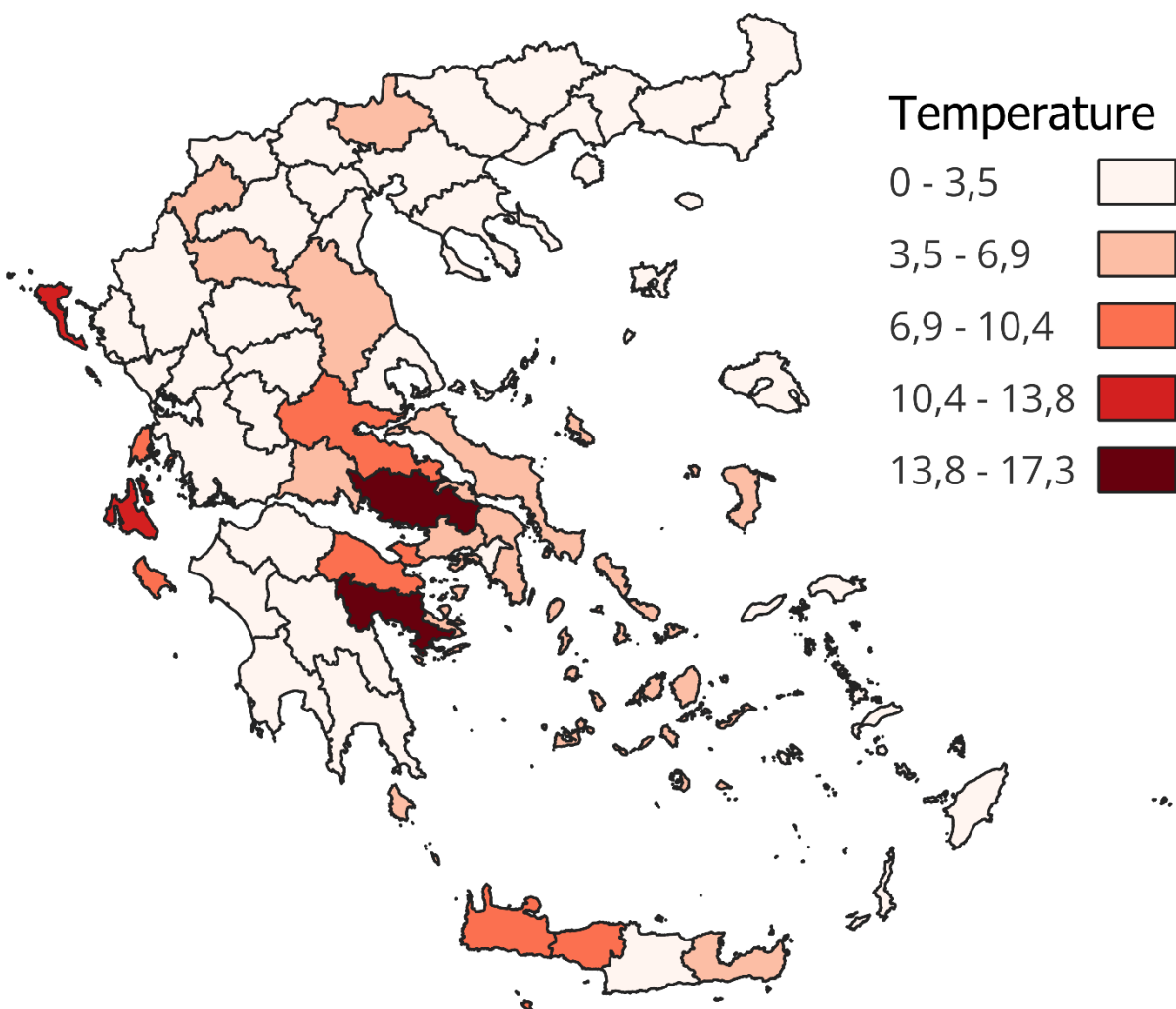
**Εικόνα 27.** Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘SPI3’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Ο δείκτης SPI3, που αποτυπώνει τη βραχυπρόθεσμη ξηρασία, επηρεάζει σημαντικά περιοχές όπως η Αρκαδία (2.997) και η Δράμα (3.533).



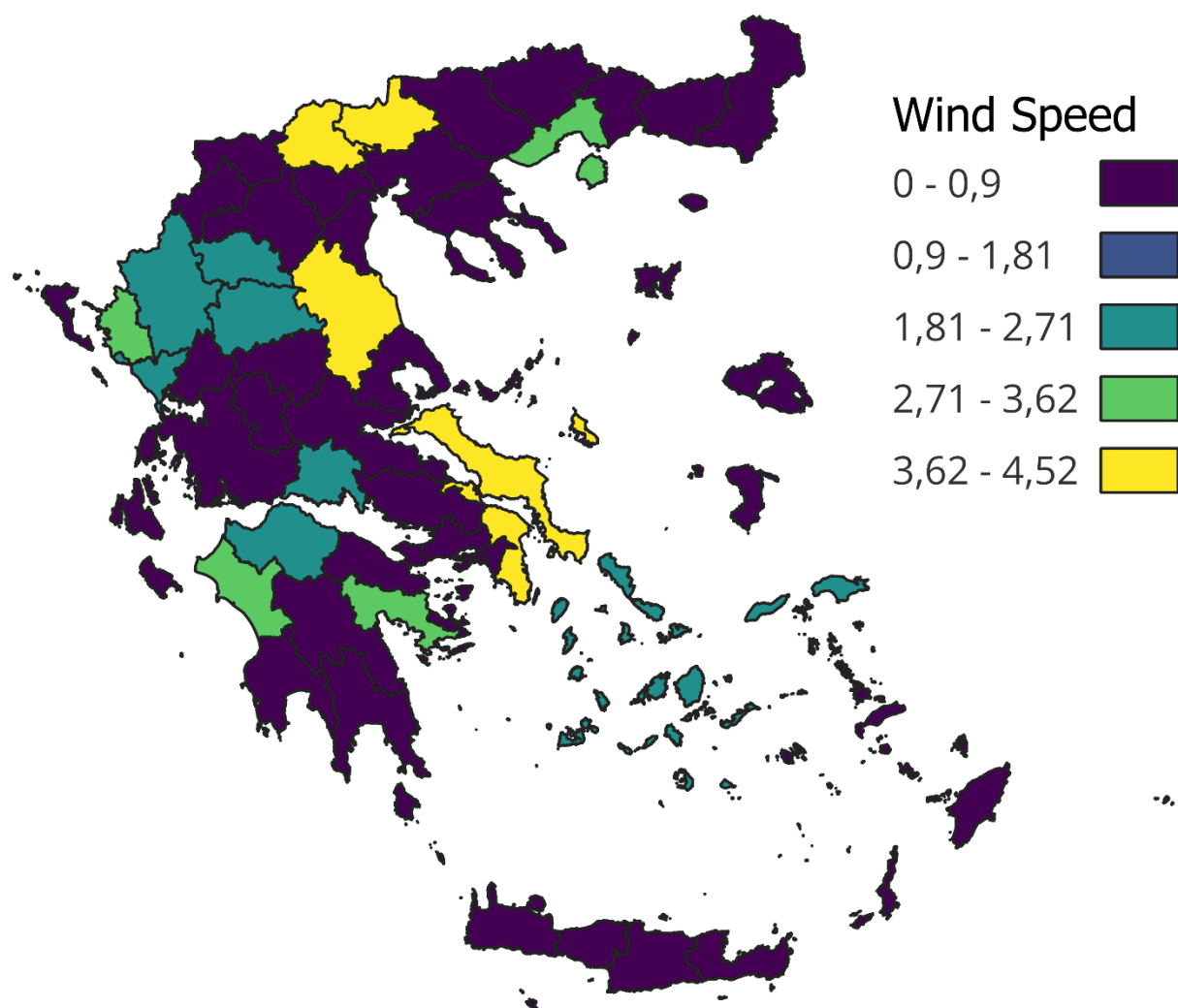
**Εικόνα 28.** Δείκτες beta για την μεταβλητή 'SPI6' για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Ο δείκτης SPI6, που αναφέρεται στη μέση ξηρασία, έχει υψηλή επιρροή σε περιοχές όπως η Εύβοια (5.744). Οι τιμές βήτα και ο χάρτης υποδηλώνουν ότι η παρατεταμένη ξηρασία μπορεί να αυξήσει την επικινδυνότητα, ιδιαίτερα σε περιοχές με συνδυασμό χαμηλής υγρασίας και υψηλών θερμοκρασιών.



**Εικόνα 29.** Δείκτες beta για την μεταβλητή 'Temperature' για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Η θερμοκρασία παραμένει ο πιο κρίσιμος παράγοντας, με εξαιρετικά υψηλούς βήτα συντελεστές σε περιοχές όπως η Βοιωτία (17.260) και η Κεφαλονιά (13.601). Ο χάρτης δείχνει ότι οι υψηλές θερμοκρασίες συσχετίζονται άμεσα με την επικινδυνότητα των πυρκαγιών, **ίσως** να αυξάνουν την ξηρότητα της βλάστησης και την ευφλεκτότητα.



**Εικόνα 30.** Δείκτες beta για την μεταβλητή ‘Wind Speed’ για την backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Ο χάρτης της ταχύτητας ανέμου αναδεικνύει τη σημασία του ανέμου σε περιορισμένες περιοχές, με υψηλές τιμές βήτα όπως στο Κιλκίς (4.525). Ωστόσο, η συνεισφορά του ανέμου παραμένει μηδενική στις περισσότερες περιοχές, κάτι που υποδεικνύει ότι δεν είναι κυρίαρχος παράγοντας



### 3.3 Σύγκριση των Δύο Μεθόδων

Οι δύο μέθοδοι, η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση και η backward της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα σε περιοχές όπου οι παράγοντες που εξετάστηκαν είχαν ισχυρή συσχέτιση με την καμένη έκταση. Για παράδειγμα, στις περιοχές με υψηλές τιμές  $R^2$ , όπως η Λάρισα ( $R^2=0.7184$  στην πολλαπλή και  $R^2=0.7188$  στη backward), η Αργολίδα ( $R^2=0.6657$  στην απλή και  $R^2=0.6650$  στη backward) και το Ηράκλειο ( $R^2=0.6246$  στην απλή και  $R^2=0.6206$  στη backward), οι δύο μέθοδοι ανέδειξαν τη θερμοκρασία (TEMP) και την υγρασία του εδάφους (SoilWaterContent) ως τις πιο σημαντικές μεταβλητές.

Παρόμοιες ομοιότητες παρατηρήθηκαν και σε περιοχές όπου οι δείκτες ξηρασίας (SPI3, SPI6) παρουσίασαν ισχυρή επίδραση. Για παράδειγμα, στη νότια Πελοπόννησο και στην Κρήτη, και τα δύο μοντέλα συμφώνησαν ότι η ξηρασία αποτελεί βασικό παράγοντα που συνδέεται άμεσα με την αύξηση της καμένης έκτασης. Οι ομοιότητες στις τιμές  $R^2$  υποδηλώνουν ότι τα δεδομένα σε αυτές τις περιοχές είναι συνεκτικά και οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων είναι ισχυρές και προβλέψιμες.

Παρότι οι δύο μέθοδοι παρουσίασαν σημαντικές ομοιότητες, εντοπίστηκαν αξιοσημείωτες διαφορές στις περιοχές με πιο σύνθετη δυναμική. Στη backward πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, η εξάλειψη μη σημαντικών μεταβλητών οδήγησε σε λιγότερο παραμετροποιημένα μοντέλα, με ελαφρώς χαμηλότερες τιμές  $R^2$  σε ορισμένες περιπτώσεις. Για παράδειγμα, στην Κέρκυρα ( $R^2=0.5048$  στην πολλαπλή και  $R^2=0.4949$  στη backward) και στην Αττική ( $R^2=0.5205$  στην πολλαπλή και  $R^2=0.5047$  στη backward), παρατηρήθηκε μια μικρή πτώση στο  $R^2$ . Αυτή η διαφορά, ωστόσο, συνοδεύτηκε από μεγαλύτερη ακρίβεια στην επιλογή των σημαντικών μεταβλητών.

Αντίθετα, στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, οι υψηλότερες τιμές  $R^2$  οφείλονται στην ένταξη μη σημαντικών ίσως μεταβλητών. Για παράδειγμα, στη Σάμο ( $R^2=0.1066$  στην πολλαπλή και  $R^2=0.0940$  στη backward) και στη Χίο ( $R^2=0.1744$  στην πολλαπλή και  $R^2=0.1717$  στη backward), η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση έδειξε ελαφρώς υψηλότερες τιμές, χωρίς όμως να ενισχύει ουσιαστικά την εξηγητική ικανότητα.

Η backward πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση αποδεικνύεται περισσότερο λειτουργική κι εύστοχη, καθώς επικεντρώνεται στις στατιστικά σημαντικές μεταβλητές και εξαλείφει εκείνες που δεν συνεισφέρουν ουσιαστικά στην εξήγηση της διακύμανσης. Αυτό την καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιοχές όπως το Ηράκλειο ( $R^2=0.6206$ ), όπου οι θερμοκρασίες, η υγρασία και οι δείκτες ξηρασίας αποτελούν τους κυρίαρχους παράγοντες.

Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, αν και παρέχει μια αρχική εκτίμηση των σχέσεων, ενέχει τον κίνδυνο υπερεκτίμησης της εξηγητικής ικανότητας λόγω της ένταξης μη σημαντικών μεταβλητών. Χωρική και Χρονική Κατανομή

### 3.4 Με μια ματιά

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ανέδειξαν σημαντικές σχέσεις μεταξύ των περιβαλλοντικών και κλιματικών παραμέτρων και της καμένης έκτασης, υπογραμμίζοντας την πολυπαραγοντική φύση του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών. Η χρήση δύο διαφορετικών στατιστικών προσεγγίσεων, της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και της backward πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, κατέστησε δυνατή τη διαμόρφωση μιας πληρέστερης εικόνας. Τα κύρια ευρήματα δείχνουν ότι η θερμοκρασία (TEMP), η υγρασία του εδάφους (SoilWaterContent) και οι δείκτες

ξηρασίας (SPI3 και SPI6) είναι οι πιο καθοριστικοί παράγοντες για την έκταση των πυρκαγιών στις περισσότερες γεωγραφικές περιοχές.

Η θερμοκρασία εμφανίζεται ως ο παράγοντας με τη μεγαλύτερη επιρροή, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονους καύσωνες, όπου ευνοείται η ανάφλεξη και η εξάπλωση της φωτιάς. Η υγρασία του εδάφους αποδείχθηκε επίσης καθοριστική, με τις χαμηλές τιμές της να σχετίζονται άμεσα με την αυξημένη καμένη έκταση.

Η ανάλυση επιβεβαιώνει το θεωρητικό πλαίσιο που θέλει τις πυρκαγιές να είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης κλιματικών, περιβαλλοντικών και γεωγραφικών παραμέτρων. Τα ευρήματα συνάδουν με προηγούμενες μελέτες που αναδεικνύουν τη θερμοκρασία και την υγρασία ως βασικούς καθοριστικούς παράγοντες. Παράλληλα, τα δεδομένα επιβεβαιώνουν ότι οι διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές παρουσιάζουν διαφορετικά πρότυπα κινδύνου, ανάλογα με τις τοπικές ιδιαιτερότητες. Για παράδειγμα, η Κρήτη εμφανίζει ιδιαίτερη ευαισθησία λόγω της συνδυαστικής επίδρασης υψηλών θερμοκρασιών, έντονων ανέμων και ξηρασίας.

Συνολικά, η παρούσα εργασία παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση των βασικών παραμέτρων που επηρεάζουν τις πυρκαγιές και προσφέρει πρακτικές κατευθύνσεις για την ανάπτυξη στρατηγικών πρόληψης και διαχείρισης. Η συνέργεια της στατιστικής ανάλυσης και της γεωγραφικής κατανόησης επιτρέπει τη στοχευμένη εφαρμογή μέτρων ανά περιοχή, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων.

## 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν την καμένη έκταση σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές, με ιδιαίτερη έμφαση στην Κρήτη. Το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών είναι πολυδιάστατο και συνδέεται άμεσα με κλιματικούς, περιβαλλοντικούς και γεωμορφολογικούς παράγοντες. Οι πυρκαγιές προκαλούν σοβαρές οικολογικές, κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες, καθιστώντας απαραίτητη την κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν στη γένεση και εξάπλωσή τους. Ωστόσο, η πρόβλεψη των πυρκαγιών είναι ιδιαίτερα δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητας και της αλληλεπίδρασης των εμπλεκόμενων παραμέτρων. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, εφαρμόσαμε μια συνδυαστική ανάλυση χρησιμοποιώντας δύο στατιστικές μεθόδους, την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση και τη backward πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Ο στόχος ήταν να εξετάσουμε τις σχέσεις μεταξύ της καμένης έκτασης και παραγόντων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, οι δείκτες ξηρασίας, η βλάστηση και οι άνεμοι. Η επιλογή αυτών των μεθόδων βασίστηκε στην ικανότητά τους να προσφέρουν πληροφορίες για τη στατιστική σημασία των παραμέτρων και να δημιουργήσουν μοντέλα πρόβλεψης με υψηλή εξηγητική ικανότητα, το οποίο σαφώς κι εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, αξιολογήσαμε τα δεδομένα με την πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση για να κατανοήσουμε τη βασική σχέση κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής με την καμένη έκταση. Στο δεύτερο στάδιο, εφαρμόσαμε τη backward μέθοδο, η οποία επιτρέπει την εξάλειψη μη σημαντικών μεταβλητών, για τη δημιουργία βελτιστοποιημένων, ως προς τις μεταβλητές, μοντέλων. Καταγράψαμε τόσο τους συντελεστές  $\beta$  όσο και τους δείκτες  $R^2$  (adjusted) για κάθε περιοχή, με στόχο να αναγνωρίσουμε τις πιο κρίσιμες παραμέτρους και την εξηγητική ικανότητα των μοντέλων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πιο σημαντικοί παράγοντες για την καμένη έκταση είναι η θερμοκρασία (TEMP), η υγρασία του εδάφους (SoilWaterContent)

και οι δείκτες ξηρασίας (SPI3 και SPI6). Οι υψηλοί συντελεστές  $\beta$  για αυτές τις παραμέτρους υποδεικνύουν την ισχυρή επίδρασή τους στην εκδήλωση και εξάπλωση των πυρκαγιών. Οι δείκτες  $R^2$  (adjusted) ανέδειξαν ότι τα μοντέλα backward γραμμικής παλινδρόμησης έχουν καλύτερη εξηγητική ικανότητα, ιδίως σε περιοχές με σύνθετες σχέσεις, όπως το Ηράκλειο της Κρήτης. Ωστόσο, σε περιοχές όπως η Σάμος και η Χίος, οι χαμηλές τιμές  $R^2$  υποδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω ανάλυση και ενσωμάτωση επιπλέον παραμέτρων. Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η backward γραμμική παλινδρόμηση είναι η καταλληλότερη μέθοδος για τη μοντελοποίηση της καμένης έκτασης, καθώς παρέχει πιο αξιόπιστα και παραμετροποιημένα μοντέλα. Επιπλέον, αναγνωρίσαμε ότι η θερμοκρασία, η ξηρασία και η υγρασία του εδάφους είναι οι πιο κρίσιμοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό στρατηγικών πρόληψης πυρκαγιών. Ειδικά για την Κρήτη, οι προληπτικές ενέργειες πρέπει να επικεντρωθούν στη διαχείριση της βλάστησης, την παρακολούθηση των κλιματικών παραμέτρων και την ενίσχυση των αντιπυρικών υποδομών, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές γεωγραφικές ιδιαιτερότητες.

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, αντιμετωπίσαμε αρκετές προκλήσεις που σχετίζονταν κυρίως με την ποιότητα και την ομοιογένεια των δεδομένων. Τα δεδομένα περιλάμβαναν ελλιπείς ή ακραίες τιμές, γεγονός που απαίτησε προσεκτική προεπεξεργασία για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των γεωμορφολογικών και κλιματικών παραγόντων σε περιοχές όπως η Κρήτη δυσκόλεψε τη μοντελοποίηση, καθώς πολλοί κρίσιμοι παράγοντες, όπως οι έντονοι άνεμοι ή οι ανθρώπινες δραστηριότητες, δεν καταγράφηκαν με λεπτομέρεια στα διαθέσιμα δεδομένα. Ένας σημαντικός περιορισμός της ανάλυσης είναι η γραμμική προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε, η οποία δεν μπορεί να αποτυπώσει τη δυναμική των μη γραμμικών σχέσεων ή των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των παραμέτρων. Επιπλέον, οι γεωγραφικές και τοπικές ιδιαιτερότητες, όπως η τοπογραφία, οι τοπικές μικροκλιματικές συνθήκες και οι ανθρώπινες επεμβάσεις, δεν ενσωματώθηκαν πλήρως στα μοντέλα, μειώνοντας ενδεχομένως την ακρίβεια της πρόβλεψης σε ορισμένες περιοχές. Τέλος, οι χαμηλές τιμές  $R^2$  σε περιοχές όπως η Σάμος και η Χίος υποδεικνύουν ότι οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν δεν επαρκούν για την εξήγηση της διακύμανσης σε κάθε γεωγραφικό πλαίσιο.

Για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί της παρούσας ανάλυσης, προτείνεται η χρήση πιο σύνθετων μη γραμμικών μοντέλων, όπως τα νευρωνικά δίκτυα ή οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης, που μπορούν να αποτυπώσουν την πολυπλοκότητα των σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων. Παράλληλα, θα ήταν ωφέλιμο να ενσωματωθούν δεδομένα που αφορούν γεωγραφικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά, όπως η χρήση γης, η εγγύτητα κατοικημένων περιοχών και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Επίσης, η συλλογή πιο λεπτομερών δεδομένων, όπως οι τοπικές συνθήκες ανέμου και οι μικροκλιματικές μεταβολές, θα μπορούσε να βελτιώσει την ακρίβεια των μοντέλων. Τέλος, η δημιουργία μιας πολυδιάστατης βάσης δεδομένων που συνδυάζει κλιματικά, γεωγραφικά και κοινωνικά δεδομένα θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για πιο ολοκληρωμένες αναλύσεις. Η παρούσα εργασία ανέδειξε τη σημασία των κλιματικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων στη διαμόρφωση του κινδύνου πυρκαγιών και πρότεινε συγκεκριμένα μοντέλα για την κατανόηση και την πρόβλεψη της καμένης έκτασης. Αν και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν έδωσαν σημαντικά αποτελέσματα, υπογραμμίστηκαν οι περιορισμοί της γραμμικής προσέγγισης και η ανάγκη για περαιτέρω εμβάθυνση. Η ανάλυση αυτή μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη πιο εξελιγμένων μοντέλων, τα οποία θα συμβάλουν στην καλύτερη πρόληψη των πυρκαγιών και στη διαμόρφωση στοχευμένων στρατηγικών διαχείρισης σε περιοχές με υψηλό κίνδυνο, όπως η Κρήτη.

# Βιβλιογραφία

- [1] T. K. McGee and E. C. Penning-Rowsell, *Routledge Handbook of Environmental Hazards and Society*. London: Routledge, 2022. doi: 10.4324/9780367854584.
- [2] Z. Naveh, "The Evolutionary Significance of Fire in the Mediterranean Region," *Vegetatio*, vol. 29, no. 3, pp. 199–208, 1975, [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/20036828>
- [3] G. Cillis, R. Coluzzi, A. Tomao, M. Lanfredi, and L. Salvati, "Wildfires and the Local Context: An Empirical Analysis of a Peri-Urban District," *Peri-urban Conflicts and Environmental Challenges: A Mediterranean Perspective*, pp. 37–64, Jan. 2022, doi: 10.1201/9781003333067-3/WILDFIRES-LOCAL-CONTEXT-EMPIRICAL-ANALYSIS-PERI-URBAN-DISTRICT-GIUSEPPE-CILLIS-ROSA-COLUZZI-ANTONIO-TOMAO-MARIA-LANFREDI-LUCA-SALVATI.
- [4] A. Y. Troumbis, C. M. Gaganis, and H. Sideropoulos, "Probabilistic Wildfire Risk Assessment and Modernization Transitions: The Case of Greece," *Fire 2023, Vol. 6, Page 158*, vol. 6, no. 4, p. 158, Apr. 2023, doi: 10.3390/FIRE6040158.
- [5] A. Rovithakis and A. Voulgarakis, "Studying air pollution and weather feedbacks from wildfires over Greece using WRF-Chem," *EGU23*, Feb. 2023, doi: 10.5194/EGUSPHERE-EGU23-11003.
- [6] P. Palaiologou, K. Kalabokidis, M. A. Day, and V. Kopsachilis, "Evaluating Socioecological Wildfire Effects in Greece with a Novel Numerical Index," *Fire 2020, Vol. 3, Page 63*, vol. 3, no. 4, p. 63, Nov. 2020, doi: 10.3390/FIRE3040063.
- [7] P. P. Koulelis et al., "Effects of Climate Change on Greek Forests: A Review," *Atmosphere 2023, Vol. 14, Page 1155*, vol. 14, no. 7, p. 1155, Jul. 2023, doi: 10.3390/ATMOS14071155.
- [8] A. Enea, L. M. Albu, M. Iosub, L. Niacșu, and C. C. Stoleriu, "Wildfire impact assessment on the inhabited areas and the environment. Case study: Central Greece and thessaly," *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, vol. 2020-August, no. 2.2, pp. 293–300, 2020, doi: 10.5593/SGEM2020/2.2/S10.035.
- [9] J. H. Scott and R. E. Burgan, "Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model," 2005. doi: 10.2737/RMRS-GTR-153.
- [10] P. Cheney and A. Sullivan, *Grassfires*. CSIRO Publishing, 2008. doi: 10.1071/9780643096493.
- [11] G. Rein, "Smouldering Fires and Natural Fuels," *Fire Phenomena and the Earth System: An Interdisciplinary Guide to Fire Science*, pp. 15–33, Apr. 2013, doi: 10.1002/9781118529539.CH2.
- [12] P. M. Fernandes, "Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change," *Landsc Urban Plan*, vol. 110, pp. 175–182, Feb. 2013, doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.10.014.

- [13] E. D. Reinhardt, “Assessing Crown Fire Potential by Linking Models of Surface and Crown Fire Behavior,” 2001. [Online]. Available: <http://www.fs.fed.us/rm>
- [14] M. A. Finney, “Design of Regular Landscape Fuel Treatment Patterns for Modifying Fire Growth and Behavior,” *Forest Science*, vol. 47, no. 2, pp. 219–228, May 2001, doi: 10.1093/FORRESTSCIENCE/47.2.219.
- [15] R. C. Rothermel, “How to predict the spread and intensity of forest and range fires,” 1983. doi: 10.2737/INT-GTR-143.
- [16] B. E. Potter, “Atmospheric interactions with wildland fire behaviour - II. Plume and vortex dynamics,” *Int J Wildland Fire*, vol. 21, no. 7, p. 802, 2012, doi: 10.1071/WF11129.
- [17] J. T. Abatzoglou and A. P. Williams, “Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests,” *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol. 113, no. 42, pp. 11770–11775, Oct. 2016, doi: 10.1073/PNAS.1607171113/SUPPL\_FILE/PNAS.1607171113.SD03.CSV.
- [18] D. W. Johnston, Y. K. Önder, M. H. Rahman, and M. A. Ulubaşoğlu, “Evaluating wildfire exposure: Using wellbeing data to estimate and value the impacts of wildfire,” *J Econ Behav Organ*, vol. 192, pp. 782–798, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.JEBO.2021.10.029.
- [19] H. Rhee *et al.*, “Strong negative effects of recent wildfires on two endemic Macaronesian bush-crickets,” *Insect Conserv Divers*, vol. 16, no. 2, pp. 243–253, Mar. 2023, doi: 10.1111/ICAD.12618.
- [20] V. Otrachshenko and L. C. Nunes, “Fire takes no vacation: impact of fires on tourism,” *Environ Dev Econ*, vol. 27, no. 1, pp. 86–101, Feb. 2022, doi: 10.1017/S1355770X21000012.
- [21] M. K. Kim and P. M. Jakus, “Wildfire, national park visitation, and changes in regional economic activity,” *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, vol. 26, pp. 34–42, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.JORT.2019.03.007.
- [22] Y. Liao and C. Kousky, “The Fiscal Impacts of Wildfires on California Municipalities,” *SSRN Electronic Journal*, Sep. 2021, doi: 10.2139/SSRN.3612311.
- [23] D. M. J. S. Bowman *et al.*, “Fire in the earth system,” *Science* (1979), vol. 324, no. 5926, pp. 481–484, Apr. 2009, doi: 10.1126/SCIENCE.1163886.
- [24] J. G. Pausas and J. E. Keeley, “A burning story: The role of fire in the history of life,” *Bioscience*, vol. 59, no. 7, pp. 593–601, Jul. 2009, doi: 10.1525/BIO.2009.59.7.10.
- [25] G. Certini, “Effects of fire on properties of forest soils: a review,” *Oecologia*, vol. 143, no. 1, pp. 1–10, Mar. 2005, doi: 10.1007/s00442-004-1788-8.
- [26] A. B. Swengel, “A literature review of insect responses to fire, compared to other conservation managements of open habitat,” *Biodivers Conserv*, vol. 10, no. 7, pp. 1141–1169, 2001, doi: 10.1023/A:1016683807033.
- [27] D. McKenzie, Z. Gedalof, D. L. Peterson, and P. Mote, “Climatic Change, Wildfire, and Conservation,” *Conservation Biology*, vol. 18, no. 4, pp. 890–902, 2004, [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/3589163>

- [28] C. Giannakopoulos, P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo, E. Kostopoulou, and C. M. Goodess, "Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming," *Glob Planet Change*, vol. 68, no. 3, pp. 209–224, Aug. 2009, doi: 10.1016/J.GLOPLACHA.2009.06.001.
- [29] V. R. Vallejo, M. Arianoutsou, and F. Moreira, "Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests," *Post-fire forest management in southern Europe: a COST action for gathering and disseminating scientific knowledge*, vol. 24, pp. 93–119, 2012, doi: 10.1007/978-94-007-2208-8.
- [30] M. Ferreira, L. Dorren, G. Papaioannou, A. Alamanos, and F. Maris, "Evaluating Post-Fire Erosion and Flood Protection Techniques: A Narrative Review of Applications," *GeoHazards 2023, Vol. 4, Pages 380-405*, vol. 4, no. 4, pp. 380–405, Oct. 2023, doi: 10.3390/GEOHAZARDS4040022.
- [31] A. Masoom *et al.*, "Investigation of the effects of the Greek extreme wildfires of August 2021 on air quality and spectral solar irradiance," *Atmos Chem Phys*, vol. 23, no. 14, pp. 8487–8514, Jul. 2023, doi: 10.5194/ACP-23-8487-2023.
- [32] A. Psilovikos, G. Mpouras, T. Papathanasiou, D. Malamataris, T. Psilovikos, and A. Spiridis, "Impacts of Wildfires on Surface Runoff and Erosion: The Case Study of a Fire Event in Pelion Area, Greece," *Proceedings of the 17th International Conference on Environmental Science and Technology*, vol. 17, Nov. 2022, doi: 10.30955/GNC2021.00566.
- [33] Z. Lan *et al.*, "Are Climate Factors Driving the Contemporary Wildfire Occurrence in China?," *Forests 2021, Vol. 12, Page 392*, vol. 12, no. 4, p. 392, Mar. 2021, doi: 10.3390/F12040392.
- [34] A. Aldersley, S. J. Murray, and S. E. Cornell, "Global and regional analysis of climate and human drivers of wildfire," *Science of The Total Environment*, vol. 409, no. 18, pp. 3472–3481, Aug. 2011, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2011.05.032.
- [35] J. K. Agee and C. N. Skinner, "Basic principles of forest fuel reduction treatments," *For Ecol Manage*, vol. 211, no. 1–2, pp. 83–96, Jun. 2005, doi: 10.1016/j.foreco.2005.01.034.
- [36] R. C. Rothermel, "A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels," *Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p.*, vol. 115, 1972, Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/32533>
- [37] B. W. Butler and T. Putnam, "Fire shelter performance in simulated wildfires: an exploratory study," *Int J Wildland Fire*, vol. 10, no. 1, p. 29, 2001, doi: 10.1071/WF01019.
- [38] M. A. Moritz *et al.*, "Climate change and disruptions to global fire activity," *Ecosphere*, vol. 3, no. 6, pp. 1–22, Jun. 2012, doi: 10.1890/ES11-00345.1.
- [39] D. X. Viegas, G. Bovio, A. Ferreira, A. Nosenzo, and B. Sol, "Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe," *Int J Wildland Fire*, vol. 9, no. 4, p. 235, 1999, doi: 10.1071/WF00015.

- [40] R. SHAKESBY and S. DOERR, “Wildfire as a hydrological and geomorphological agent,” *Earth Sci Rev*, vol. 74, no. 3–4, pp. 269–307, Feb. 2006, doi: 10.1016/j.earscirev.2005.10.006.
- [41] I. Mitsopoulos, G. Mallinis, A. Karali, C. Giannakopoulos, and M. Arianoutsou, “Mapping fire behaviour under changing climate in a Mediterranean landscape in Greece,” *Reg Environ Change*, vol. 16, no. 7, pp. 1929–1940, Oct. 2016, doi: 10.1007/s10113-015-0884-0.
- [42] S. J. Pyne, P. L. Andrews, and R. Raven, “Introduction to Wildland Fire: Fire Management in the United States: Amazon.es: Pyne, Stephen J., Andrews, P.L., Raven, R., Andrews, Patricia L., Lauen, Richard D.: Libros en idiomas extranjeros,” p. 808, 1996, Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://search.worldcat.org/title/33244900>
- [43] C. E. Van Wagner, “Conditions for the start and spread of crown fire,” <https://doi.org/10.1139/x77-004>, vol. 7, no. 1, pp. 23–34, Mar. 2011, doi: 10.1139/X77-004.
- [44] P. M. Fernandes and H. S. Botelho, “A review of prescribed burning effectiveness in fire hazard reduction,” *Int J Wildland Fire*, vol. 12, no. 2, pp. 117–128, 2003, doi: 10.1071/WF02042.
- [45] K. C. Ryan, E. E. Knapp, and J. M. Varner, “Prescribed fire in North American forests and woodlands: history, current practice, and challenges,” *Front Ecol Environ*, vol. 11, no. s1, Aug. 2013, doi: 10.1890/120329.
- [46] L. Collins, A. F. Bennett, S. W. J. Leonard, and T. D. Penman, “Wildfire refugia in forests: Severe fire weather and drought mute the influence of topography and fuel age,” *Glob Chang Biol*, vol. 25, no. 11, pp. 3829–3843, Nov. 2019, doi: 10.1111/GCB.14735.
- [47] L. Collins, R. A. Bradstock, E. M. Tasker, and R. J. Whelan, “Can gullies preserve complex forest structure in frequently burnt landscapes?,” *Biol Conserv*, vol. 153, pp. 177–186, Sep. 2012, doi: 10.1016/J.BIOCON.2012.04.021.
- [48] M. P. North *et al.*, “Reform forest fire management,” *Science (1979)*, vol. 349, no. 6254, pp. 1280–1281, Sep. 2015, doi: 10.1126/SCIENCE.AAB2356.
- [49] S. McCaffrey, E. Toman, M. Stidham, and B. Shindler, “Social science research related to wildfire management: an overview of recent findings and future research needs,” *Int J Wildland Fire*, vol. 22, no. 1, p. 15, 2013, doi: 10.1071/WF11115.
- [50] Βοϊδομάτης Δημήτριος, “ΥΔΡΟ-ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΑΙΤΙΑ ΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΕ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ : ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ,” 2022. Accessed: Mar. 20, 2025. [Online]. Available: <http://purl.tuc.gr/dl/dias/DA9C32A4-7A5C-44F3-A6B0-8F42FF4B5506>