



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

# **ΥΔΡΟ-ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΑΙΤΙΑ ΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΕ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ : ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΒΟΪΔΟΜΑΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

*ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Τομέας Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Βιώσιμης Ανάπτυξης  
και Κλιματικής Αλλαγής (I)**

## **ΥΔΡΟ-ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΑΙΤΙΑ ΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΕ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ : ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΒΟΪΔΟΜΑΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

**ΒΟΥΛΓΑΡΑΚΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)**

**ΤΡΥΦΩΝ ΔΑΡΑΣ**

**ΚΟΥΤΡΟΥΛΗΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τα υδρο-μετεωρολογικά αίτια των αγροτοδασικών πυρκαγιών σε μεσογειακά περιβάλλοντα και ιδιαίτερα στην περιοχή της Ελλάδας. Αγροτοδασική πυρκαγιά (αγγλ. Wildfire/Bushfire) ονομάζεται η πυρκαγιά εκείνη, η οποία εμφανίζεται σε δασική ή αγροτική περιοχή ή γενικά στην ύπαιθρο και αποτελείται από μη επιθυμητή και ανεξέλεγκτη φωτιά σε περιοχές συνήθως πυκνής βλάστησης, με πλούσια καύσιμη ύλη και σε ποιότητα αλλά και σε ποσότητα. Υδρο-μετεωρολογικοί παράγοντες θεωρούνται η βροχόπτωση (ύψος στήλης βροχόπτωσης mm), η ταχύτητα του ανέμου (m/s), η θερμοκρασία (°C), η σχετική υγρασία (% humidity) και η μετεωρολογική ξηρασία όπως αυτή περιγράφεται από τον δείκτη ξηρασίας SPI3 (std.). Σκοπός της εργασίας είναι η συσχέτιση των υδρο-μετεωρολογικών παραμέτρων με το σύνολο της καμένης έκτασης κάθε επιμέρους νομού της επικράτειας για τα έτη 2000-2020, μέσω της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος SPSS® της εταιρίας IBM® και των υπολογιστικών φύλλων Microsoft Office Excel®.

Στα αποτελέσματα που εξήχθησαν χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές προσδιορισμού ( $R^2$ ) ως προς την αξιοπιστία των μοντέλων με τιμές που αγγίζουν το 0,671 καθώς και οι κανονικοποιημένοι συντελεστές βήτα (beta) που χρησιμοποιήθηκαν για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης των εκάστοτε παραμέτρων επί της ποσότητας της καμένης χερσαίας γης. Οι εκάστοτε τιμές αυτών δίνονται με τη μορφή πινάκων, ραβδογραμμάτων αλλά και διαγραμμάτων τάσεως στην ενότητα «Στατιστική Ανάλυση Υδρο-μετεωρολογικών Παραμέτρων» (σελ. 66). Η χρησιμότητα των αποτελεσμάτων αυτών είναι η μελέτη της αύξησης ή/και μείωσης των καμένων εκτάσεων λόγω μεταβολής των παραμέτρων σε βάθους χρόνου και η εκτίμηση για τη μελλοντική συμπεριφορά των πυρκαγιών λόγω κλιματικών διαταραχών.

Τέλος, ως μελλοντική έρευνα προτείνεται η εστίαση σε συγκεκριμένες περιοχές της Ελλάδας όπου και εντείνονται τα φαινόμενα των δασικών πυρκαγιών, με επιπλέον μελέτη ως προς τα είδη της καμένης φυτικής κάλυψης, με σκοπό την εύρεση εκείνης της καύσιμης ύλης που επιβαρύνει το πρόβλημα.

## ABSTRACT

The present dissertation studies/focuses on the hydro-meteorological causes of agroforestry fires in Mediterranean environments and especially in the region of Greece Wildfire / Bushfire is the fire that occurs in a forest or rural area or in the countryside in general and consists of unwanted and uncontrolled fire in areas of usually dense vegetation, with rich fuel and quality but also in quantity. Hydro-meteorological factors are considered to be rainfall (precipitation column height mm), wind speed (m/s), temperature (°C), relative humidity (% humidity) and meteorological drought as described by the drought index SPI3 (std.). The aim of this work is to correlate the hydro-meteorological parameters with the total burned area of each sub-prefecture of the territory for the years 2000-2020, through the multiple linear regression, with the help of the statistical program SPSS® of the company IBM® and the spreadsheets of Microsoft Office Excel®.

In the results obtained, the coefficients of determination ( $R^2$ ) were used for the reliability of the models with values approaching 0.671 as well as the normalized beta coefficients (beta) that were used to quantify the effect of the respective parameters on the amount of burned land. The respective values are given in the form of tables, bar graphs and trend diagrams in the section "Statistical Analysis of Hydro-meteorological Parameters" (p. 66). The usefulness of these results is the study of the increase or/and decrease of the burned areas due to the change of the parameters in the long run and the estimation for the future behavior of the fires due to climatic disturbances.

Finally, as a future research, it is proposed to focus on specific areas of Greece where the effects of forest fires are intensifying, with an additional study on the types of burned vegetation, in order to find the fuel that aggravates the problem.

***Αφιερωμένο στη μητέρα μου,  
Άννα Ηλία***

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT .....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
Στοιχεία Φυσικοχημείας και Συμπεριφοράς Πυρκαγιών .....	11
Συνθήκες Δασικής Καύσης .....	11
Θερμότητα-Οξυγόνο-Καύσιμη ύλη.....	11
Μετάδοση θερμότητας και πυρκαγιών .....	11
Στάδια Δασικής Πυρκαγιάς.....	12
Καύσιμη Ύλη – Τοπογραφία – Καιρός.....	14
Καύσιμη Ύλη .....	14
Τοπογραφία.....	15
Καιρός .....	16
Περιοχή Διερεύνησης – Ελλάδα.....	17
Το κλίμα της Ελλάδας .....	22
Κλιματική Αλλαγή στην Ελλάδα.....	23
Τοπογραφικό Ανάγλυφο.....	24
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	25
Λήψη Δεδομένων .....	25
Υδρο-Μετεωρολογικοί Παράγοντες .....	25
Καμένες Εκτάσεις .....	27
Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση (Multiple Linear Regression).....	28
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	38
Στατιστικά Καμένων Εκτάσεων .....	38
Στατιστικά Υδρο-Μετεωρολογικών Παραμέτρων .....	47
ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	64
Στατιστική Ανάλυση Καμένων Εκτάσεων.....	64
Στατιστική Ανάλυση Υδρο-Μετεωρολογικών Παραμέτρων.....	66
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	79

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1 Ποσοτικά στοιχεία των νομών της Ελλάδας.....	22
Πίνακας 2 Κλίμακα Ταξινόμησης Δείκτη SPI κατά McKee et al. (1993) .....	26
Πίνακας 3 Περιγραφικά Στοιχεία Μεταβλητών .....	30
Πίνακας 4 Συσχετίσεις Ανεξάρτητων- Εξαρτημένων Μεταβλητών .....	31
Πίνακας 5 Χρησιμοποιηθείσες Μεταβλητές .....	32
Πίνακας 6 Δείκτες Παλινδρομικού Μοντέλου .... <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	
Πίνακας 7 Στατιστική Σημαντικότητα .....	35
Πίνακας 8 Συντελεστές Παλινδρομικού Μοντέλου .....	36
Πίνακας 9 Ποσοτικός Πίνακας Καμένων Εκτάσεων- Περιστατικών περιόδου 2000-2020 ..... <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	
Πίνακας 10 Κατάταξη Μέγιστων και Ελάχιστων Περιστατικών .....	64
Πίνακας 11 Κατάταξη Μέγιστων και Ελάχιστων Καμένων Εκτάσεων ..... <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	
Πίνακας 12 Κατάταξη Μέγιστων και Ελάχιστων Ποσοστών Καμένων Εκτάσεων ανά Έκταση Νομών .....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
Πίνακας 13 Κατάταξη Συνολικής Καμένης Έκτασης ανά Έτος ... <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	
Πίνακας 14 Κατάταξη Μέσης Βροχόπτωσης Επικράτειας Περιόδου 2000-2020.....	66
Πίνακας 15 Κατάταξη Μέσης Μηνιαίας Θερμοκρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020	66
Πίνακας 16 Κατάταξη Μέσης Μηνιαίας Σχετικής Υγρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020 .....	67
Πίνακας 17 Κατάταξη Μέσης Μηνιαίας Ταχύτητας Ανέμου Επικράτειας Περιόδου 2000-2020 .....	67
Πίνακας 18 Κατάταξη Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Επικράτειας Περιόδου 2000-2020 .....	68
Πίνακας 19 Κατάταξη Καμένων Εκτάσεων Επικράτειας Περιόδου 2000-2020 .....	69
Πίνακας 20 Κατάταξη Συντελεστών $\beta_{\text{eta}}$ , B και $R^2$ επί της Θερμοκρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020.....	69
Πίνακας 21 Κατάταξη Συντελεστών επί της Βροχόπτωσης Επικράτειας Περιόδου 2000-2020 .....	71
Πίνακας 22 Κατάταξη Συντελεστών επί της Σχετικής Υγρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020 .....	73
Πίνακας 23 Κατάταξη Συντελεστών επί του Ανέμου Επικράτειας Περιόδου 2000-2020....	74
Πίνακας 24 Κατάταξη Συντελεστών επί του Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Επικράτειας Περιόδου 2000-2020 .....	74

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1 Τάση Βροχόπτωσης περιόδου 2000-2020 .....	47
Διάγραμμα 2 Τάση Θερμοκρασίας Περιόδου 2000-2020.....	47
Διάγραμμα 3 Τάση Σχετικής Υγρασίας Περιόδου 2000-2020 .....	48
Διάγραμμα 4 Τάση Ταχύτητας Αέρα Περιόδου 2000-2020 .....	48
Διάγραμμα 5 Τάση Δείκτη Ξηρασίας (SPI3) Περιόδου 2000-2020.....	49
Διάγραμμα 6 Τάση Καμένων Εκτάσεων υπό Λογαριθμική Κλίμακα Περιόδου 2000-2020 .....	49
Διάγραμμα 7 Τάση Περιστατικών Περιόδου 2000-2020 .....	50
Διάγραμμα 8 Τάση Καμένων Εκτάσεων ανά Περιστατικά Περιόδου 2000-2020 .....	50
Διάγραμμα 9 Χρονοσειρά Υδρολογικού Έτους 2007 Επικράτειας .....	68
Διάγραμμα 10 Τάση Μέσης Μηνιαίας Θερμοκρασίας Νομού Κεφαλονιάς Περιόδου 2000-2020 .....	70



Διάγραμμα 11 Τάση Μέσης Μηνιαίας Θερμοκρασίας Νομού Δράμας Περιόδου 2000-2020 .....	71
Διάγραμμα 12 Τάση Μέσης Μηνιαίας Βροχόπτωσης Νομού Ηλείας Περιόδου 2000-2020 .....	72
Διάγραμμα 13 Τάση Μέσης Μηνιαίας Βροχόπτωσης Νομού Θεσπρωτίας Περιόδου 2000-2020 .....	72
Διάγραμμα 14 Τάση Μέσης Μηνιαίας Σχετικής Υγρασίας Νομού Ιωαννίνων Περιόδου 2000-2020 .....	73
Διάγραμμα 15 Τάση Μέσης Μηνιαίας Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Νομού Φλώρινας Περιόδου 2000-2020 .....	75
Διάγραμμα 16 Τάση Μέσης Μηνιαίας Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Νομού Γρεβενών Περιόδου 2000-2020 .....	75
Διάγραμμα 17 Τάση Μέσης Μηνιαίας Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Νομού Καστοριάς Περιόδου 2000-2020 .....	76

## ΡΑΒΔΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

Ραβδόγραμμα 1 Σύνολο Περιστατικών ανά Νομό .....	43
Ραβδόγραμμα 2 Σύνολο Καμένης Έκτασης ανά Νομό (στρ.) .....	44
Ραβδόγραμμα 3 Ποσοστό Καμένης Έκτασης ανά Έκταση Νομού .....	45
Ραβδόγραμμα 4 Σύνολο Καμένης Έκτασης ανά Έτος .....	46
Ραβδόγραμμα 5 Σύνολο Καμένης Έκτασης ανά Μήνα .....	46
Ραβδόγραμμα 6 Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta θερμοκρασίας .....	53
Ραβδόγραμμα 7 Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Βροχόπτωσης .....	55
Ραβδόγραμμα 8 Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Σχετικής Υγρασίας .....	57
Ραβδόγραμμα 9 Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Ανέμου .....	59
Ραβδόγραμμα 10 Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Δείκτη Ξηρασίας (SPI3) .....	61
Ραβδόγραμμα 11 Συντελεστές Προσδιορισμού (R square) .....	63

## ΧΑΡΤΕΣ

Χάρτης 1 Όρια αυτοδιοικητικών μονάδων (ΟΤΑ) .....	18
Χάρτης 2 Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδας .....	24
Χάρτης 3 Κανονικοποιημένος Συντελεστής beta Θερμοκρασιών .....	52
Χάρτης 4 Κανονικοποιημένος Συντελεστής beta Βροχόπτωσης .....	54
Χάρτης 5 Κανονικοποιημένος Συντελεστής beta Σχετικής Υγρασίας .....	56
Χάρτης 6 Κανονικοποιημένος Συντελεστής beta Ταχύτητας Ανέμου .....	58
Χάρτης 7 Κανονικοποιημένος Συντελεστής beta Δείκτη Ξηρασίας (SPI3) .....	60
Χάρτης 8 Συγκεντρωτικός Χάρτης Επικρατέστερων Υδρο-Μετεωρολογικών Συντελεστών της Ελλάδας .....	62
Χάρτης 9 Αντιπαράθεση Βροχόπτωσης - Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Επικράτειας Περιόδου 2000-2020 .....	77

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών στη χώρα μας είναι συχνό, με κατά περιόδους μεγάλες καταστροφές (2000, 2007, 2009, 2018, 2021). Η εμφάνιση των δασικών πυρκαγιών γίνεται ασφαλώς μεν τους θερινούς μήνες (Ιούνιο έως και Σεπτέμβριο), αλλά από την άλλη δε, υπάρχει μια αυξητική τάση και στους μήνες της άνοιξης (Μάρτιο – Απρίλιο) όπως φαίνεται και από τα δεδομένα, πράγμα που γεννάει την ανάγκη εστίασης επί του προβλήματος στον ελλαδικό χώρο και επιπλέον γνώσης επί του θέματος.

Από την έναρξη και την εξέλιξη μιας αγροτοδασικής πυρκαγιάς έως ακόμα και την αποκατάσταση της βλάστησης λόγω αυτής, η κλιματική και μετεωρολογική κατάσταση αποτελούν ισχυρές παραμέτρους που δυσκολεύουν το έργο της διαφύλαξης και της κατάσβεσης των εκτάσεων. Παρατηρείται πως λόγω της μείωσης των αργοτο-κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων αλλά και της ελλιπής δασικής διαχείρισης, υπάρχει μια τάση αύξησης της συσσωρευμένης βιομάζας, δυσχεραίνοντας έτσι το φαινόμενο και κατά συνέπεια την ύπαρξη καταστροφικών αγροτοδασικών πυρκαγιών.

Αποτελέσματα των δασικών πυρκαγιών είναι: μειωμένη εμφάνιση ή/και αποπομπή φυτικών/ζωικών ειδών, μεταβολή μικροκλίματος, μείωση στην τράπεζα σπερμάτων, εδαφική διάβρωση, έντονες απορροές και εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων, αλλαγές στη φυσιολογία του τοπίου αλλά και μεταβολή στις χρήσεις γης.

Πλην των αρνητικών χαρακτηριστικών, κατά τις αγροτοδασικές πυρκαγιές εμφανίζονται και φαινόμενα οικολογικής εξέλιξης σε ορισμένα οικοσυστήματα. Σε αυτά, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, εμφανίζονται πυρκαγιές από φυσικά αίτια κυρίως λόγω κεραυνών. Τα φυτικά είδη αυτών των οικοσυστημάτων έχουν αναπτύξει μηχανισμούς αναπροσαρμογής και επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση. Επίσης, για συγκεκριμένα φυτικά είδη, η περίσσεια θρεπτικών συστατικών σε συνάρτηση με τις υψηλές εδαφικές θερμοκρασίες, επαναφέρουν τις απαιτούμενες παραγωγικές συνθήκες με αποτέλεσμα την πληθυσμιακή αύξησή τους.

Η φωτιά είναι αναπόσπαστο πλήγμα των χερσαίων οικοσυστημάτων και επηρεάζει όλους εκείνους τους λόγους για τους οποίους οι σύγχρονες κοινωνίες διαχειρίζονται τις εκτάσεις δασικού χαρακτήρα (π.χ. ξυλεία και άλλα δασικά προϊόντα, άγρια ζωή, βοσκή, υδατική οικονομία, αναψυχή κ.α.). Η επίδραση της φωτιάς στο δάσος είναι κάθετη προς όλες τις χρήσεις του, δηλαδή, εάν καεί ένα δασικό οικοσύστημα του οποίου η διαχείριση είχε ως στόχο την παραγωγή ξυλείας, τότε και οι υπόλοιπες λειτουργίες του θα επηρεαστούν συγχρόνως.

Το κυρίως σώμα της αναφοράς περιλαμβάνει εισαγωγικές έννοιες πάνω στη δομή και την εξέλιξη των αγροτοδασικών πυρκαγιών με έμφαση αυτές των μεσογειακών περιοχών. Έπειτα, γίνεται συζήτηση περί των στοιχείων που έχουν άμεση σχέση με το περιβάλλον της Ελλάδας όπως το κλίμα της, το τοπογραφικό ανάγλυφο και την πυκνότητα της βλάστησής της. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο τρόπος λήψης και η μεθοδολογία της ανάλυσης των πυρομετεωρολογικών δεδομένων. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με τη βοήθεια γραφημάτων, πινάκων αλλά και χαρτών και γίνεται μια γενικότερη συζήτηση περί αυτών όπως και κατάθεση συμπερασμάτων σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

## Στοιχεία Φυσικοχημείας και Συμπεριφοράς Πυρκαγιών

Κάθε χρόνο εκατομμύρια περιστατικά πυρκαγιών λαμβάνουν χώρα στον πλανήτη σε δασικές, χορτολιβαδικές και περιαστικές περιοχές. Καθένα από αυτά τα περιστατικά απαιτεί αντιμετώπιση που να ανταποκρίνεται σε προκαθορισμένους στόχους διαχείρισης ανθρώπινων και φυσικών πόρων. Για να μπορέσουμε να επιλέξουμε την πιο κατάλληλη αντιμετώπιση της φωτιάς, πρέπει να έχουμε γνώση της φυσικοχημείας της καύσης και της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς.

Ως καύση ορίζεται η γρήγορη οξειδωση των καύσιμων υλικών που παράγει θερμική ενέργεια. Όταν η καύση είναι αρκετά γρήγορη, τότε ονομάζεται φωτιά και παράγεται θερμότητα και ορατό φως. Πυρόλυση είναι η θερμική αποσύνθεση της καύσιμης ύλης που πάντοτε προηγείται της καύσης και εκπέμπει θερμότητα και εύφλεκτα αέρια. Θερμοκρασία ανάφλεξης ορίζεται η χαμηλότερη θερμοκρασία μιας ουσίας στην οποία μπορεί να ξεκινήσει μια επαρκής καύση. Κυμαίνεται περίπου από 300 °C έως και 400 °C, ανάλογα με τη φύση του καύσιμου υλικού.

### Συνθήκες Δασικής Καύσης

#### Θερμότητα-Οξυγόνο-Καύσιμη ύλη

Πιθανοί λόγοι έναρξης μιας πυρκαγιάς είναι ένα απρόσεκτα πεταμένο σπύρτο ή αποτσίγαρο, μια υπαίθρια φωτιά, μια καταιγίδα ή μια πυρκαγιά που εξελίχθηκε γρήγορα και απαιτεί εκτεταμένη αντιμετώπιση. Παρόλα αυτά, δεν εξελίσσεται σε καταστροφική οποιαδήποτε φωτιά καίει σε δασικές περιοχές και ξεκινάει με έναν από τους προαναφερθέντες τρόπους, επειδή επεμβαίνουν πυροσβέστες που κατά τεκμήριο γνωρίζουν πως συμπεριφέρεται μια δασική πυρκαγιά.

Τα τρία στοιχεία που χρειάζονται για την καύση είναι:

1. **Θερμότητα** για την έναρξη και τη διατήρηση της καύσης,
2. **Οξυγόνο** για τις φλόγες
3. **Καύσιμη ύλη**, για την καύση αυτής.

Τα τρία αυτά στοιχεία είναι απαραίτητα για την έναρξη της καύσης, το επονομαζόμενο και ως «τρίγωνο της φωτιάς». Ακόμα και ένα από τα στοιχεία αυτά να λείπει, δεν υφίσταται φωτιά, επομένως σταματάμε την καύση αφαιρώντας είτε τη θερμότητα (ρίψεις νερού ή αφρού), είτε το οξυγόνο (επιστρώσεις χώματος), είτε την καύσιμη ύλη (δημιουργία αντιπυρικών ζωνών).

### Μετάδοση θερμότητας και πυρκαγιών

Στις αγροτοδασικές πυρκαγιές, η θερμότητα μεταδίδεται στη καύσιμη ύλη μέσω:

1. Αγωγιμότητας,
2. Μεταφοράς,
3. Ακτινοβολίας.

**Αγωγιμότητα** είναι η μετάδοση θερμότητας από τη μοριακή δραστηριότητα μέσα στο ίδιο το στερεό υλικό ή ανάμεσα σε υλικά που βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους. Αν και δεν αποτελεί βασικό παράγοντα, αξίζει να γίνει η αναφορά επί αυτής.

**Μεταφορά** είναι η μετάδοση της θερμότητας μέσω της ροής αερίων και υγρών. Στις αγροτοδασικές πυρκαγιές, όπου και γίνεται αισθητή μέσω της κίνησης του καπνού και του αέρα

που υψώνεται πάνω από τις φλόγες. Το ύψος του πλουμίου μεταφοράς μπορεί να ξεπεράσει ακόμα και το ύψος των εκατοντάδων μέτρων διαμέσου της ατμόσφαιρας.

Η μεταφορά ως μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας είναι πολύ γρηγορότερη από την αγωγιμότητα, προκαλώντας τη γρήγορη καύση της καύσιμης ύλης. Ο πιο σημαντικός παράγοντας στη συμπεριφορά μιας αγροτοδασικής πυρκαγιάς είναι η μεταφορά θερμότητας, επειδή:

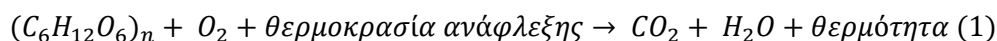
1. Η γεωμετρία και η απόσταση των καυσίμων αποκτούν διάσταση,
2. Ερμηνεύει τα μέγιστα των επιδράσεων της τοπογραφίας και του ανέμου
3. Εξηγεί το φαινόμενο της κηλίδωσης (spotting).

**Ακτινοβολία** είναι η μετάδοση της ενέργειας (και της θερμότητας) δια μέσου των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με την ταχύτητα του φωτός. Η καύσιμη ύλη αφυδατώνεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας και προτού ξεκινήσει μια πυρκαγιά και έτσι αυξάνεται η αναφλεξιμότητά της. Με αυτόν τον τρόπο αποτελεί σημαντικό παράγοντα μετάδοσης της θερμότητας και της δασικής πυρκαγιάς.

Έναν ακόμη πολύ ιδιαίτερο και σημαντικό τρόπο μετάδοσης των δασικών πυρκαγιών αποτελεί το φαινόμενο της κηλίδωσης ή το πέταγμα των καυτρών που μεταφέρονται μέσω του αέρα ή από την στήλη καύσης (combustion column) / το πλούμιο της φωτιάς. Έτσι, η πυρκαγιά μπορεί να διανύσει τεράστιες αποστάσεις σε ελάχιστο χρόνο, δημιουργώντας νέες εστίες εμπρός ή γύρω από την κύρια πυρκαγιά και να δημιουργήσει μεγάλα προβλήματα τόσο ελέγχου, όσο και ασφάλειας στο πύρινο μέτωπο.

### Στάδια Δασικής Πυρκαγιάς

Η εξίσωση της καύσης δίνεται γενικά από τον τύπο (1):

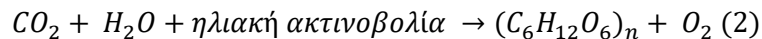


Όπου οι οργανικές χημικές ενώσεις του ξύλου (π.χ. κυτταρίνη, λιγνίνη) ενώνονται με οξυγόνο και με τη βοήθεια της θερμοκρασίας ανάφλεξης καίγονται και παράγουν διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς και θερμότητα. Κατά τη διαδικασία της καύσης παράγεται ενέργεια υπό τη μορφή θερμότητας, άρα δημιουργείται μια εξωθερμική αντίδραση. Τα στάδια στα οποία συντελείται η καύση στα δασικά οικοσυστήματα είναι τέσσερα:

1. **Προθέρμανση** (preheating) αρχικά από ακτινοβολούμενη και σε δεύτερο χρόνο από μεταφερόμενη θερμότητα στην καύσιμη ύλη από τις φλόγες. Έπεται έτσι η διαδικασία της πυρόλυσης, όπου η περιεχόμενη υγρασία εξέρχεται και διοχετεύονται πτητικές χημικές ουσίες με θερμοκρασιακό εύρος κάτω των 300°C.
2. **Φλόγα ή φλόγωση** (flaming), είναι η διαδικασία όπου αναπαράγεται θερμότητα, ήχος, φως και καπνός μέσω της ανάφλεξης οργανικών αερίων. Το θερμοκρασιακό εύρος από 300°C έως 600°C, με περιπτώσεις πυρκαγιών κόμης που αγγίζουν και τους 1200°C.
3. **Πυράκτωση** (glowing and smoldering), είναι ακολουθία της φλόγωσης και της καύσης, άνευ φλόγας, σε συνδυασμό με μεταφορά θερμότητας, ατελούς ή πλήρους καύσεως και διάρκεια αυτής από ώρες έως και ημέρες. Τα απανθρακωμένα υλικά τα οποία καίγονται, εκλύουν στην ατμόσφαιρα υπέρογκους όγκους ρύπων (μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου κλπ) στην θερμοκρασία περίπου των 500°C.

4. **Σβήσιμο** (cooling and extinction), το τελευταίο στάδιο της καύσης με παραγωγή λευκής (πλήρους καύση) ή μαύρης (ατελής καύση) στάχτης (τέφρας) αναλόγως της εντάσεως. Το θερμοκρασιακό εύρος κυμαίνεται αντιστρόφως από 500°C έως 20°C (κανονικές συνθήκες).

Η εξίσωση της καύσης θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η αντίστροφη της φωτοσύνθεσης, η οποία δίνεται με τον τύπο (2):



Όπου στο φύλλωμα των φυτών ενώνονται το διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα με το νερό που υπάρχει στη ζωντανή βλάστηση και με την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας παράγονται οργανικές ενώσεις (ζώσα ύλη) και απελευθερώνεται οξυγόνο στην ατμόσφαιρα. Επί της φωτοσυνθέσεως χρησιμοποιείται ενέργεια μέσω ηλιακής ακτινοβολίας, δημιουργώντας μια ενδοθερμική αντίδραση. Η ζώσα ύλη που παράγεται από τη φωτοσύνθεση (με την αποθηκευμένη χημική ενέργειά της) αποτελεί δυνητικά την καύσιμη ύλη που αναφλέγεται στο πέρασμα μιας πυρκαγιάς, καθιστώντας τη φωτιά μια δύναμη της φύσης και αναπόσπαστη διαταραχή στα χειρσαία οικοσυστήματα του πλανήτη Γη.

Μπορούμε γενικά να διακρίνουμε δύο είδη φυσικών οικοσυστημάτων από άποψη δασικών πυρκαγιών:

1. Οικοσυστήματα στα οποία, υπό φυσικές συνθήκες, η φωτιά έχει μεγάλη συχνότητα εμφάνισης, άρα και σχετικά μικρή ένταση καύσης. Πρόκειται για ξηροθερμικές περιοχές όπου η ανατροφοδότηση της ζώσας οργανικής ύλης διαμέσου της αποσυνθέσεως διεξάγεται αργά και επιβάλλεται η παρέμβαση της φωτιάς (π.χ. μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα με περίτροπους χρόνους επανεμφάνισης της πυρκαγιάς, έως μερικές δεκαετίες). Η φωτιά σε αυτά τα οικοσυστήματα είναι συχνή και λειτουργεί ως οικολογικός παράγοντας με στόχο τη διάσπαση της οργανικής ύλης σε ανόργανα θρεπτικά συστατικά, λόγω της ελλιπής εδαφικής υγρασίας, περιορίζοντας τη σήψη και την ανατροφοδότηση των οργανικών υλών. Ως αποτέλεσμα της συχνής επανεμφάνισης της φωτιάς σε αυτά τα δάση (ανά 10-30 χρόνια), η συσσώρευση της ενέργειας στο δασικό οικοσύστημα είναι μικρή σε συνάρτηση με τον χρόνο, ενώ οι δασικές συστάδες οδηγούνται σε ομήλικες μορφές.
2. Οικοσυστήματα στα οποία η φυσική φωτιά εμφανίζεται με μικρή συχνότητα, αλλά μεγάλη ένταση καύσης. Το υγρό (και θερμό ή εύκρατο) κλίμα αφενός επιτρέπει απρόσκοπτα την ανακύκλωση της οργανικής ύλης (η οποία παράγεται όμως σε μεγάλες ποσότητες) και αφετέρου αποτρέπει τη φωτιά για μακρές χρονικές περιόδους (π.χ. στα ηπειρωτικά παραγωγικά δάση σε μεγάλο υψόμετρο, με περίτροπο χρόνο επανεμφάνισης της πυρκαγιάς πάνω από έναν ή και δύο αιώνες). όταν όμως εμφανίζονται αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. παρατεταμένη ξηρασία, υψηλή θερμοκρασία, άνεμοι, νεκρώσεις δέντρων), οι πυρκαγιές επέρχονται με σφοδρότητα/δριμύτητα, αναπτύσσοντας καταστροφικές εντάσεις ολικής αντικατάστασης του δάσους (stand replacement fires). Λόγω της απουσίας φωτιάς σε αυτά τα δάση για μεγάλα χρονικά διαστήματα (100-300 χρόνια), η ενέργεια αυτών των δασικών οικοσυστημάτων είναι πολύ μεγάλη σε βάθος χρόνου και σχηματίζονται ανομήλικες δασικές συστάδες όπου ευνοούνται τόσο η εμφάνιση δασικών ασθενειών, όσο και η πυρκαγιά κόμης στην κλιμακωτή καύσιμη ύλη. Επίσης, μικρή συχνότητα και μεγάλη ένταση πυρκαγιών, μπορεί να εμφανίζεται σε μικρής δασικής παραγωγικότητας ή/και υγρές περιοχές.

## Καύσιμη Ύλη – Τοπογραφία – Καιρός

Βασικοί παράγοντες έναρξης, εξάπλωσης και συμπεριφοράς των αγροτοδασικών πυρκαγιών είναι:

1. Οι ιδιότητες της φυτικής καύσιμης ύλης (μέγεθος, υφή, κατανομή, συσσώρευση).
2. Η τοπογραφία του εδάφους (κλίση, υψόμετρο, έκθεση, διαμόρφωση εδάφους).
3. Καιρός ή μετεωρολογικές συνθήκες (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, άνεμος, ξηρασία/ανομβρία, επίπεδα βροχόπτωσης).

Η καύσιμη ύλη διαφοροποιείται σε συνάρτηση με τον χρόνο, αλλά μπορεί να αλληλοεπιδράσει με το περιβάλλον της ή/και τον καιρό και συνεπώς να διαμορφώσει η ίδια τη συμπεριφορά της. Δεν υπάρχουν όμως δυνατότητες για τον έλεγχο της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς που να στηρίζονται στην τροποποίηση είτε των μετεωρολογικών συνθηκών είτε της τοπογραφίας του εδάφους. Τη μόνη δυνατότητα παρέμβασης παρέχει η διαχείριση της φυτικής καύσιμης ύλης πριν την εκδήλωση της πυρκαγιάς από ανθρώπινο δυναμικό. Η δημιουργία εμποδίων με την απομάκρυνση της καύσιμης ύλης ή την κατασκευή αντιπυρικών ζωνών περιορίζει ή/και σταματάει την εξάπλωση της φωτιάς, παρότι υπάρχουν πολλές περιπτώσεις που ακόμη και φαρδύς δρόμοι και ποτάμια δεν την ανέκοψαν.

## Καύσιμη Ύλη

Φυτική καύσιμη ύλη ονομάζεται το οργανικό υλικό που εντοπίζεται στο έδαφος (κλαδιά, πευκοβελόνες, φύλλα, χόρτα, πόες, δεντρύλλια), ή επί των δέντρων όπου αναφλέγεται ολικώς ή μερικώς. Σημαντικός παράγοντας για τη συμπεριφορά μιας αγροτοδασικής πυρκαγιάς αποτελούν τόσο η ποσότητα όσο και η ποιότητα της βλάστησης όσον αφορά την εξάπλωση αλλά και την θερμότητα η οποία εκπέμπεται. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως περιοχές βλάστησης μπορούν να διαφέρουν ως προς τον κίνδυνο και τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς λόγω ύψους, φυτικής υγρασίας, ποσότητας οργανικής ύλης, πυκνότητας αλλά και υψομετρικής διαφοράς.

Παρατηρείται γενικά πως η ποσότητα μερικών καύσιμων υλών μεταβάλλεται με το χρόνο, είτε αυξητικά είτε μειωτικά και στη συνέχεια έρχεται σε κατάσταση ηρεμίας. Κατά γενικό κανόνα, η πιο λεπτή καύσιμη ύλη είναι αυτή που ελέγχει τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς. Η ομοιομορφία και η κλιμακωτή ισοκατανομή της καύσιμης ύλης είναι αυτή που θα καθορίσει την ταχύτητα της ανάφλεξης, ενώ αντίθετα, όσα περισσότερα κενά καύσιμης ύλης υπάρχουν, τόσες αυξομειώσεις ταχύτητας και έντασης παρατηρούνται. Επίσης, το πορώδες (αναλογία αέρα/οξυγόνου) της δασικής περιοχής, ευνοεί την πλήρη καύση και δριμύτητα της πυρκαγιάς μέχρι και τη μέγιστη μίξη, η οποία θα καταστήσει ένα πεδίο ικανό για τη συντήρησή της. Έτσι, πολύ εύκολα καταλαβαίνουμε πως ένα πυκνό πεδίο, δεν είναι ικανό να ευνοήσει την καύση.

## Τοπογραφία

Η τοπογραφία οδηγεί την κατεύθυνση του ανέμου στις επίπεδες περιοχές. Όσο πιο ανομοιόμορφο είναι το πεδίο, οι αναταράξεις και οι στροβιλισμοί εντείνονται ενώ, όσο πιο ομαλό, τόσο μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου όπου είναι ικανές να αυξήσουν την ένταση και τον ρυθμό καύσης της ύλης. Αυτές οι μεταβολές στο τοπογραφικό ανάγλυφο προκαλούν σημαντικές μεταβολές στη συμπεριφορά μιας φωτιάς. Τα κύρια χαρακτηριστικά είναι:

1. **Έκθεση** (aspect). Προσανατολισμός της πλαγιάς ή του εδάφους.
2. **Κλίση** (slope). Ποσοστό της υψομετρικής αύξησης προς την οριζόντια απόσταση.
3. **Θέση** (position). Κορυφή, μέση ή βάση της πλαγιάς.
4. **Μορφολογία** (shape). Στενά και απόκρημνα φαράγγια, «φαινόμενο της καμινάδας».
5. **Υψόμετρο** (elevation). Σχετίζεται με την ξήρανση της καύσιμης ύλης, τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία, την έκθεση σε ανέμους, την ποσότητα βλάστησης και τη διάρκεια πύρινης περιόδου.
6. **Εμπόδια** (barriers). Είναι τα φυσικά ή/και τεχνητά εμπόδια όπως για παράδειγμα λίμνες, γυμνό έδαφος, βράχια, δρόμοι, υγρά εδάφη, χείμαρροι κ.α..

Όσον αφορά την εκδήλωση και τη συμπεριφορά μιας αγροτοδασικής πυρκαγιάς, ο προσανατολισμός και η έκθεση αποτελούν βασικοί παράγοντες. Παρατηρείται πως υπάρχει σχέση διαθεσιμότητας και συγκέντρωσης της καύσιμης ύλης, με την έκθεση της περιοχής ως προς τον ορίζοντα. Για παράδειγμα, σε νότιες εκθέσεις η ποιότητα των εδαφών είναι φτωχή λόγω της ανάγκης επιπλέον υγρασίας έναντι της θερμότητας. Στον αντίποδα, οι βόρειες εκθέσεις θεωρούνται βαθύτερα εδάφη με αυξημένη τη φυτική βλάστηση (λόγω αυξημένης υγρασίας), με αποτέλεσμα την πλεονάζουσα παραγωγή βιομάζας. Επίσης, στις νότιες εκθέσεις, η παρουσία χορτολιβαδικών εκτάσεων, θάμνων με λεπτούς κορμούς, κέδρο και πεύκα, υποδουλώνουν εύφλεκτα υλικά. Από την άλλη, στις βόρειες εκθέσεις, υπάρχει μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας, αλλά μικρότερο εύρος θερμοκρασιακών διακυμάνσεων με πλεονάζουσα υγρασία επί της καύσιμης ύλης, πράγμα που τις καθιστά σε επίπεδο μικρότερου κινδύνου έναντι των νοτίων.

Οι ανηφορικές κλίσεις δίνουν στην πυρκαγιά μεγάλη ταχύτητα εξάπλωσης, διότι, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στα κατώτατα τοπογραφικά πεδία, παρατηρείται μια τάση ξήρανσης της βλάστησης ως προς τα ανώτατα και άρα, υποβοήθηση του ρυθμού εξάπλωσης της πυρκαγιάς, κάτι που επίσης και τα ανοδικά ρεύματα συνεισφέρουν στην εν λόγω διαδικασία. Ανάλογα το μέγεθος της εδαφικής κλίσης, οι καύτρες που μεταφέρονται (φαινόμενο κηλίδωσης) προσεγγίζουν πιο εύκολα την καύσιμη ύλη λόγω μέσω της κίνησης που προσφέρουν δύο δυνάμεις, τα ανοδικά ρεύματα λόγω αύξησης της θερμότητας και λόγω της βαρύτητας της γης. Ο τερματισμός αυτής της εξάπλωσης έρχεται στο ανώτατο σημείο της εδαφικής κλίσης (κορυφογραμμή), όπου η πυρκαγιά έρχεται σε μετωπική επαφή με τα αντίθετα ανοδικά ρεύματα, μειώνοντας έτσι απότομα την καταστροφική της πορεία.

Η συμπεριφορά της αγροτοδασικής πυρκαγιάς επηρεάζεται επίσης και από τη θέση της επί του τοπογραφικού ανάγλυφου. Η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου είναι ανάλογη του σχήματος της κορυφής μιας πλαγιάς. Κοιλάδες, στενά φαράγγια, ράχες και ρεματιές είναι ικανά να δημιουργήσουν τοπικές αυξήσεις στις ταχύτητες των ανέμων, που έχει σαν αποτέλεσμα την ραγδαία συμπεριφορά της πυρκαγιάς με καταστροφικές συνέπειες που κοστίζουν ανθρώπινες ζωές, υλικές καταστροφές αλλά και ανεπανόρθωτες ζημιές στο περιβάλλον. Συχνά εμφανίζεται το λεγόμενο «*Φαινόμενο της καμινάδας*» (chimney effect) σε στενά φαράγγια, που ευνοούν τη



φωτιά όπως και οι καμινάδες των σπιτιών, όπου ο ασταθής αέρας στα τοιχώματα, προκαλεί ένα απότομο ανοδικό ρεύμα και προωθεί τον αέρα από τη βάση της φωτιάς και εκπνέει άνωθεν.

Με την αύξηση του υψομέτρου υπάρχει ανάλογη αύξηση και στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και στην κατανομή της βλάστησης. Οπότε, υπάρχουν μικρότερες θερμοκρασίες και αραιότερος αέρας, με αποτέλεσμα την μειωμένη απώλεια υγρασίας επί της καύσιμης ύλης και επιπροσθέτως:

- Μικρότερη απαίτηση οξυγόνου για την καύση
- Μειωμένη χρήση γης από τον άνθρωπο, άρα μικρότερη συχνότητα πυρκαγιάς από ανθρωπογενή αίτια.
- Περισσότερες πιθανότητες εκδήλωσης πυρκαγιών λόγω κεραυνών.

### Καιρός

Οι μετεωρολογικές συνθήκες (δηλαδή ο άνεμος, η θερμοκρασία ατμόσφαιρας, η σχετική υγρασία, η βροχόπτωση και η ξηρασία) συντελούν τα μέγιστα στην έναρξη και εξάπλωση των πυρκαγιών.

Ως **άνεμο** ορίζουμε την όποια οριζόντια κίνηση αέρα, η οποία γίνεται αισθητή στο περιβάλλον. Λόγω της παρουσίας των αέριων μαζών σε μια συνεχή οριζόντια και κάθετη κίνηση στο πεδίο της, έχουμε τη δημιουργία των ανέμων. Γενεσιουργός δύναμη που προκαλεί τον άνεμο είναι η διαφορά θερμοκρασίας, δημιουργώντας έτσι βαρομετρικές πιέσεις μεταξύ παρακείμενων τοπίων. Με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, ανάλογη θα είναι και αύξηση της παροχής οξυγόνου, συστατικού απαραίτητου για την καύση. Επίσης, οι αυξημένες ταχύτητες ανέμων προωθούν τις φλόγες της πυρκαγιάς στην παρακείμενη καύσιμη ύλη, την οποία και ξηραίνουν.

. Στην περίπτωση των δασικών πυρκαγιών, η αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου με το πέρασμα ενός μετώπου ή συστήματος από μια περιοχή δημιουργεί ένα σύνθετο πεδίο ανέμου με δίνες και κινδύνους απρόβλεπτης συμπεριφοράς της φωτιάς και εγκλωβισμού των δυνάμεων δασοπυρόσβεσης από τις φλόγες.

Ο άνεμος θεωρείται παράγοντας επιτόπιας επήρειας κατά την εκδήλωση των πυρκαγιών καθώς:

1. Απομακρύνει αέρα περιεχόμενο σε υγρασία με αποτέλεσμα την τάχιστα ξήρανση της καύσιμης ύλης.
2. Βοηθάει την καύση με την επιπλέον παροχή οξυγόνου κατά την έναρξη της πυρκαγιάς.
3. Μεταφέρει θερμικό φορτίο και καύτρες (*φαινόμενο κηλίδωσης*) σε παρακείμενη καύσιμη ύλη, υποβοηθώντας την εξάπλωση της φωτιάς.
4. Κατευθύνει τις φλόγες σε γειτονικές άκαυτες περιοχές.
5. Διευθετεί τη διεύθυνση της πορείας της πυρκαγιάς.

**Θερμοκρασία ατμόσφαιρας** ορίζεται ως η θερμοκρασία εκείνη που κατέχει ο ατμοσφαιρικός αέρας μιας περιοχής. Η θερμοκρασία αυτή επηρεάζει τη σχετική υγρασία και την ατμοσφαιρική αστάθεια ενώ ταυτόχρονα ρυθμίζει και την υγρασία της καύσιμης ύλης, μειώνοντας έτσι τη χρονική αναφλεξιμότητα. Για τιμές σχετικής υγρασίας κάτω του 30%, αυξάνεται σημαντικά η πιθανότητα του φαινομένου της κηλίδωσης. Επιπροσθέτως, οι μέτριες βροχοπτώσεις σε συνάρτηση με τις υψηλές θερμοκρασίες θέτουν ένα κλίμα ξηρό, ικανό να προκαλέσει την έναρξη μιας φωτιάς.



Ο λόγος της ποσότητας (μάζας) των υδρατμών ως προς την ποσότητα εκείνη που θα μπορούσε να συγκρατήσει ο ατμοσφαιρικός αέρας μέχρι τον κορεσμό του, ονομάζεται **σχετική υγρασία** και εκφράζεται ποσοστιαία (%). Οι μορφές που υφίσταται είναι: αέρια, υγρή και στερεή. Το ποσοστό αυτής καθορίζει την φυτική υγρασία, αυξάνοντας ή μειώνοντας ανάλογα την ταχύτητα της καύσης της νεκρής καύσιμης ύλης.

Σημαντική παράμετρος που συντελεί στη μείωση του κινδύνου έναρξης και στη δυσκολία εξάπλωσης μιας δασικής πυρκαγιάς είναι η **βροχόπτωση** και γενικότερα όλα τα κατακρημνίσματα (βροχή, ψεκάδες, χιόνι, χιονόνερο, χαλάζι, βρέχουσα ομίχλη, δροσιά και πάχνη). Έχει σημασία η διάρκεια και η ποσότητα του νερού που πέφτει στο έδαφος. Βροχές πολύ μικρής ποσότητας (<20mm) δεν ασκούν σπουδαία επίδραση στην υπάρχουσα υγρασία της βλάστησης, διότι εξατμίζονται μέσα σε ελάχιστες ημέρες. Επίσης, η διάρκεια της βροχόπτωσης και η ραγδαιότητά της (ποσότητα στη μονάδα του χρόνου) έχουν μεγάλη σημασία, διότι όταν η βροχή πέφτει με αργό ρυθμό διαποτίζει καλύτερα το φυλλόστρωμα και την υπόλοιπη καύσιμη ύλη, αυξάνοντας την υγρασία τους.

Ως **ξηρασία** (ανομβρία) θεωρείται η μειωμένης βροχόπτωσης περίοδος (σε σχέση με το μέσο όρο) για δεδομένη περιοχή, δημιουργώντας ελλειμματική κατάσταση επί του νερού σε υπόγεια, επιφανειακή ή ατμοσφαιρική μορφή. Η διάρκεια αυτής έχει το εύρος μηνών ή ακόμα και ετών. Σημαντικές επιπτώσεις καταγράφονται στο οικοσύστημα, τη γεωργία, την οικονομία αλλά και στις αγροτοδασικές πυρκαγιές όπου και γίνεται η παρούσα μελέτη. Για τον κλάδο της μετεωρολογίας, ως ξηρασία θεωρείται η μειωμένη ποσότητα των κατακρημνισμάτων μιας υπό μελέτη περιοχής για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο κάτω μιας συγκεκριμένης κρίσιμης τιμής ή κάτω του μέσου όρου.

### Περιοχή Διερεύνησης – Ελλάδα

Επίσημη ονομασία της Ελλάδας είναι *Ελληνική Δημοκρατία*, ανήκει στην νοτιοανατολική Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα στο νότιο άκρο της βαλκανικής χερσονήσου. Συνορεύει με την Τουρκία στα βορειοανατολικά, τη Βόρεια Μακεδονία και τη Βουλγαρία στα βόρεια αλλά και με την Αλβανία στα βορειοδυτικά. Επίσης, βρέχεται νότια από το Λιβυκό, δυτικά το Ιόνιο και ανατολικά το Αιγαίο πέλαγος.

Η Ελλάδα χωρίζεται σε 54 νομούς. Έως και το 2010 κάθε νομός, πλην της Αττικής, είχε και έναν οργανισμό δευτεροβάθμιας τοπικής αυτοδιοίκησης, τις ονομαζόμενες νομαρχίες (*Πρόγραμμα Καποδίστριας*). Εξαίρεση αποτελεί το Άγιο Όρος, ή αλλιώς «*Αυτόνομη Μοναστική Πολιτεία*» που ανήκε σε ειδικό εκκλησιαστικό καθεστώς.

Με το νέο σύστημα διαίρεσης (*Πρόγραμμα Καλλικράτης*) το 2011, υπήρξε αναθεώρηση των διοικητικών ορίων (ΟΤΑ) με τους 54 νομούς να παρουσιάζονται στον πίνακα 1 και την εικόνα αυτών να δίνεται στο χάρτη 1.




Χάρτης 1 Όρια αυτοδιοικητικών μονάδων (ΟΤΑ)

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

Βόρειο Αιγαίο				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
34	Νομός Χίου	Χίος	904	52.674
35	Νομός Λέσβου	Μυτιλήνη	1.633	86.436
36	Νομός Σάμου	Σάμος	778	43.595
Πελοπόννησος				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
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
Νότιο Αιγαίο				
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Πληθυσμός
42	Νομός Κυκλάδων	Ερμούπολη	2.572	112.615
43	Νομός Δωδεκανήσου	Ρόδος	2.714	190.071
Θεσσαλία				
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 1 Ποσοτικά στοιχεία των νομών της Ελλάδας

## 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.

## 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.

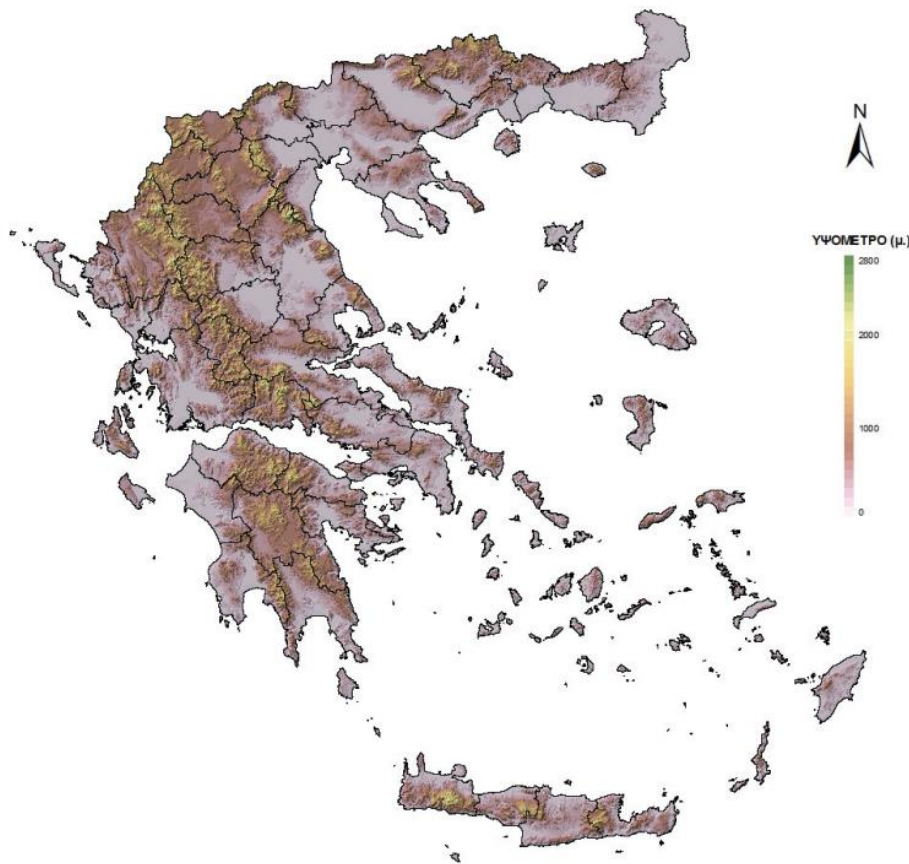
Η **WWF Ελλάς** σε έρευνά της που έγινε σε συνεργασία με το **Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών**, έκανε μια προσπάθεια εκτίμησης/πρόβλεψης για τις κλιματικές συνθήκες της περιόδου 2020-2050. Μερικά από τα αποτελέσματα της έρευνας είναι: Η χρονική παράταση της δυσφορίας των κατοίκων στα μεγάλα αστικά κέντρα 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.

## 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.



Χάρτης 2 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.



## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### Λήψη Δεδομένων

#### Υδρο-Μετεωρολογικοί Παράγοντες

Η λήψη των υδρο-μετεωρολογικών δεδομένων (βροχόπτωση [PREC], θερμοκρασία [TEMP], άνεμος [WIND], σχετική υγρασία [RH]) έγινε από το πρόγραμμα μετεωρολογικής επανανάληψης ECMWF και μέσω το προϊόντος ERA5-land. Το ERA5-Land είναι ένα σύνολο δεδομένων επανανάληψης παρέχοντας μια συνεπή άποψη της εξέλιξης των μεταβλητών της γης για αρκετές δεκαετίες, σε βελτιωμένη ανάλυση, σε σύγκριση με το ERA5. Η επανανάληψη συνδυάζει δεδομένα μοντέλων με παρατηρήσεις από όλο τον κόσμο σε ένα ολοκληρωμένο και συνεπές σύνολο δεδομένων που χρησιμοποιεί τους νόμους της φυσικής. Η επανανάληψη παράγει δεδομένα που πηγαίνουν αρκετές δεκαετίες πίσω στο χρόνο, παρέχοντας μια ακριβή περιγραφή του κλίματος του παρελθόντος.

Το ERA5-Land χρησιμοποιεί ως είσοδο για τον έλεγχο των προσομοιωμένων πεδίων ξηράς ατμοσφαιρικές μεταβλητές, όπως τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα. Αυτό ονομάζεται ατμοσφαιρική επιβολή. Χωρίς τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής επιβολής, οι εκτιμήσεις που βασίζονται σε μοντέλα μπορούν να αποκλίνουν γρήγορα από την πραγματικότητα. Επομένως, ενώ οι παρατηρήσεις δεν χρησιμοποιούνται άμεσα στην παραγωγή του ERA5-Land, έχουν έμμεση επιρροή μέσω της ατμοσφαιρικής πίεσης που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση της προσομοίωσης. Επιπλέον, η θερμοκρασία του αέρα εισόδου, η υγρασία του αέρα και η πίεση που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση του ERA5-Land διορθώνονται για να λάβουν υπόψη τη διαφορά υψομέτρου μεταξύ του πλέγματος του δυναμικού και του πλέγματος υψηλότερης ανάλυσής του. Αυτή η διόρθωση ονομάζεται «διόρθωση ποσοστού παρέλευσης».

Το σύνολο δεδομένων του ERA5-Land, όπως κάθε άλλη προσομοίωση, παρέχει εκτιμήσεις που έχουν κάποιο βαθμό αβεβαιότητας. Τα αριθμητικά μοντέλα μπορούν μόνο να παρέχουν μια περισσότερο ή λιγότερο ακριβή αναπαράσταση των πραγματικών φυσικών διεργασιών που διέπουν τα διάφορα στοιχεία του συστήματος της Γης. Γενικά, η αβεβαιότητα των εκτιμήσεων των μοντέλων, μεγαλώνει όσο πηγαίνουμε πίσω στο χρόνο, επειδή ο αριθμός των διαθέσιμων παρατηρήσεων για τη δημιουργία μιας καλής ποιότητας ατμοσφαιρικής πίεσης είναι μικρότερος. Τα πεδία των παραμέτρων του ERA5-land μπορούν επί του παρόντος να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με την αβεβαιότητα των ισοδύναμων πεδίων ERA5.

Οι χρονικές και χωρικές αναλύσεις του ERA5-Land καθιστούν αυτό το σύνολο δεδομένων πολύ χρήσιμο για όλα τα είδη εφαρμογών στην επιφάνεια της γης, όπως η πρόβλεψη πλημμύρας ή ξηρασίας. Η χρονική και χωρική ανάλυση αυτού του συνόλου δεδομένων, η χρονική περίοδος που καλύπτεται, καθώς και το σταθερό πλέγμα που χρησιμοποιείται για τη διανομή δεδομένων σε οποιαδήποτε περίοδο επιτρέπει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, στις επιχειρήσεις και στα άτομα να έχουν πρόσβαση και να χρησιμοποιούν πιο ακριβείς πληροφορίες για τμήματα γης.

Ένας από τους τρόπους με τον οποίο περιγράφεται η μετεωρολογική ξηρασία είναι ο δείκτης SPI- Standard Precipitation Index (McKee et al. 1993). Ο δείκτης αυτός αναπτύχθηκε για να ποσοτικοποιηθεί το έλλειμμα βροχόπτωσης σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Ο SPI είναι απλά ο μετασχηματισμός μια χρονοσειράς βροχόπτωσης σε μια τυπική κατανομή. Υπολογίζεται επί της προσαρμογής μιας συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας, στην εμπειρική κατανομή συχνότητας μιας χρονοσειράς που εξάγεται από την εφαρμογή κυλιόμενου αθροίσματος επιθυμητής

χρονικής κλίμακας επί της εξεταζόμενης χρονοσειράς βροχόπτωσης. Εν συνεχεία, η εν λόγω συνάρτηση μεταποιείται σε μια τυπική κανονική κατανομή. Έτσι, ο δείκτης μετεωρολογικής ξηρασίας SPI «κανονικοποιείται» χωρικά, επειδή κατά τον υπολογισμό του υπεισέρχεται τόσο η κατανομή της συχνότητας εμφάνισης βροχόπτωσης επί το πεδίου, όσο και της διακύμανσής της. Επιπροσθέτως, ο δείκτης SPI χρονικώς «κανονικοποιείται», καθώς ο υπολογισμός του δύναται να επιτελεσθεί οποιαδήποτε χρονική κλίμακα (2 έως 24 μήνες), αναλόγως του σκοπού της εκάστοτε μελέτης/ανάλυσης. Στην συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης SPI3 (3 μηνών) κατηγορίας άμεσων επιπτώσεων όπως μειωμένη υγρασία εδάφους, χιονοκύστες και απορροή σε μικρούς κολπίσκους (EDO- European Drought Observatory).

Ο χαρακτηρισμός του επεισοδίου ξηρασίας, βασιζόμενοι στην κλίμακα ταξινόμησης του δείκτη μετεωρολογικής ξηρασίας SPI κατά McKee et al. (1993), δίνεται στον πίνακα 2. Ο πίνακας αυτός περιέχει επίσης για κάθε κατηγορία τις αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης.

Τιμές SPI	Κατηγορία Επεισοδίου	Πιθανότητα %
$SPI \geq +2,00$	Εξαιρετικά υγρή περίοδος	2,3
$1,50 \leq SPI \leq 1,99$	Πολύ υγρή περίοδος	4,4
$1,00 \leq SPI \leq 1,49$	Υγρή περίοδος	9,2
$0,00 \leq SPI \leq 0,99$	Κανονικές βροχοπτώσεις	34,1
$-0,99 \leq SPI \leq 0,00$	Κανονικές βροχοπτώσεις	34,1
$-1,49 \leq SPI \leq -1,00$	Ξηρασία	9,2
$-1,99 \leq SPI \leq -1,50$	Σημαντική ξηρασία	4,4
$SPI \leq -2,00$	Εξαιρετική ξηρασία	2,3

Πίνακας 2 Κλίμακα Ταξινόμησης Δείκτη SPI κατά McKee et al. (1993)

## Καμένες Εκτάσεις

Τα δεδομένα των καμένων εκτάσεων ελήφθησαν από την επίσημη ιστοσελίδα του Πυροσβεστικού Σώματος της Ελλάδας ([www.fireservice.gr](http://www.fireservice.gr)), όπου σύμφωνα με τον νόμο 4305/2014 ανασυντάσσεται η ελεύθερη διάθεση και χρήση των δεδομένων, πληροφοριών και εγγράφων του δημοσίου, με την αναπροσαρμογή της οδηγίας 2013/37/ΕΕ του Ε.Κ. για την επιπλέον ενίσχυση της διαφάνειας. Το Υπ. Πρ. του Πολίτη εξέδωσε απόφαση (ΑΔΑ:Ω1ΠΤ46ΜΚ6Π-3Δ1) στην οποία τα δεδομένα διατίθενται για τα έτη:

- Δασικές Πυρκαγιές 2000 – 2020
- Αστικά Συμβάντα 2014 - 2020

Στο σύνολο της επικράτειας (54 Νομοί) και για την περίοδο 2000-2020 καταγράφηκαν **213.747** περιστατικά με το σύνολο καμένων εκτάσεων να ανέρχεται στα **8.880.173,44** στρέμματα χερσαίας γης σε οκτώ (8) υποκατηγορίες: δάση, δασική έκταση, άλση, χορτολιβαδικές εκτάσεις, καλάμια- βάλτοι, γεωργικές εκτάσεις, υπολείμματα καλλιεργειών και σκουπιδοτόποι.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η συσχέτιση των καμένων εκτάσεων και των υδρο-μετεωρολογικών δεδομένων είναι η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση επιπέδου εμπιστοσύνης (**confidence interval**) 95%, μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS® της εταιρίας IBM® και των υπολογιστικών φύλλων της Microsoft Office Excel® που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδος της βάσης δεδομένων. Τα δεδομένα, αφού έχουν ληφθεί σε μορφή υπολογιστικού φύλλου με χρονικό βήμα ενός μήνα, εισήχθησαν στο στατιστικό πρόγραμμα και με την επιλογή της μεθόδου βηματικής επιλογής μεταβλητών, εξήχθησαν τα αποτελέσματα στα οποία γίνεται παρουσίαση και σχολιασμός.

## Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση (Multiple Linear Regression)

Σε πολλά πραγματικά προβλήματα/φαινόμενα θέλουμε να προβλέψουμε την τιμή μιας εξαρτημένης μεταβλητής από δύο τουλάχιστον ανεξάρτητες μεταβλητές. Για τη μελέτη τέτοιων καταστάσεων και την πρόβλεψη τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής, προσπαθούμε να κατασκευάσουμε ένα μαθηματικό υπόδειγμα/μοντέλο, το οποίο καλούμε **υπόδειγμα/ μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης**, η δε (στατιστική) τεχνική της κατασκευής του μοντέλου ονομάζεται **ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης**.

Η γενική μορφή της εξίσωσης ενός τέτοιου μοντέλου («ευθεία» πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης) είναι:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \dots + \beta_p \cdot X_p + e$$

όπου  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$  είναι οι συντελεστές μερικής πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, οι  $X_1, X_2, \dots, X_p$  είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές και το  $e$  το σφάλμα στο γραμμικό μας μοντέλο.

Για την εκτίμηση των συντελεστών του μοντέλου χρησιμοποιείται η *μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων*, δηλαδή επιλέγουμε εκείνους τους συντελεστές που δίνουν το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (δηλαδή, τη μικρότερη μέση τιμή των τετραγώνων των διαφορών ανάμεσα στις τιμές που παρατηρήθηκαν και σε αυτές που προβλέφθηκαν).

Για να μπορέσουμε να εκτελέσουμε μια ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- I. **Ανεξαρτησία.** Οι παρατηρήσεις που περιλαμβάνονται στο δείγμα θα πρέπει να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Το αν ισχύει ή όχι η ανεξαρτησία αποφασίζεται από τον ερευνητή.
- II. **Γραμμικότητα.** Η εξαρτημένη μεταβλητή θα πρέπει να συνδέεται/σχετίζεται γραμμικά με κάθε μια από τις ανεξάρτητες μεταβλητές (στον πληθυσμό). Η συσχέτιση αυτή δεν πρέπει να είναι πολύ ασθενής (συντελεστής συσχέτισης  $r > 0,20$ ), όπως και δεν θα πρέπει να είναι πολύ ισχυρή (συντελεστής συσχέτισης  $r < 0,80$ ).
- III. **Κανονικότητα.** Η κατανομή της εξαρτημένης μεταβλητής πρέπει να είναι κανονική, για κάθε συνδυασμό τιμών των ανεξαρτήτων μεταβλητών. Ο έλεγχος της κανονικότητας γίνεται με τη βοήθεια του ιστογράμματος και του διαγράμματος κανονικότητας των τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής ή των (τυποποιημένων) υπολοίπων. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί το θηκόγραμμα – φύλου/φυλλογράφημά τους ή το διάγραμμα στελέχους – φύλου/φυλλογράφημά τους.
- IV. **Ομοσκεδαστικότητα (Ισότητα των διασπορών).** Η κατανομή της εξαρτημένης μεταβλητής πρέπει να παραμένει η ίδια (ίσες διασπορές), για κάθε συνδυασμό τιμών των ανεξαρτήτων μεταβλητών.
- V. **Πολυσυγγραμμικότητα.** Όταν έχουμε ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στις ανεξάρτητες μεταβλητές του μοντέλου, λέμε ότι έχουμε το φαινόμενο της *πολυσυγγραμμικότητας*. Η ύπαρξη της επηρεάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης (αυξάνει τη διασπορά των

συντελεστών, οπότε εμποδίζει τη σωστή ερμηνεία των σχέσεων ανάμεσα στις ανεξάρτητες και την εξαρτημένη μεταβλητή.

- VI. Δεν θα πρέπει να υπάρχουν **ακραίες τιμές (outliers)**, δηλαδή τιμές που διαφέρουν σημαντικά από τις τιμές των υπόλοιπων παρατηρήσεων). Η ανάλυση είναι συνήθως ευαίσθητη σε τέτοιου είδους τιμές/ παρατηρήσεις. Οι τιμές αυτές επηρεάζουν ουσιαστικά, επιφέροντας με την απαλοιφή τους σημαντική αλλαγή σε έναν από τους συντελεστές του μοντέλου.

Σε μια ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης:

- η εξαρτημένη μεταβλητή θα πρέπει να είναι αναλογικού ή αριθμητικού τύπου,
- οι ανεξάρτητες μεταβλητές μπορούν να είναι αριθμητικού ή κατηγορικού τύπου.
- η ελάχιστη απαίτηση για την εφαρμογή της είναι, να είναι τουλάχιστον πενταπλάσιος ο αριθμός των παρατηρήσεων/περιπτώσεων από τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Το SPSS διαθέτει 5 διαφορετικές μεθόδους επιλογής των ανεξάρτητων μεταβλητών για την κατασκευή ενός μοντέλου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, τις:

- A. **Forward**
- B. **Backward**
- C. **Stepwise**
- D. **Enter**
- E. **Remove**

οι οποίες προσθέτουν ή/και αφαιρούν μεταβλητές από το μοντέλο ανάλογα με την αλλαγή που επιφέρουν στο λεγόμενο συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού  $R^2$ .

Η πιο δημοφιλής από αυτές είναι η **Stepwise (μέθοδος βηματικής επιλογής μεταβλητών)**, η οποία χρησιμοποιείται και στην επεξεργασία των δεδομένων μας παρακάτω. Τα βήματα της μεθόδου είναι τα εξής:

1. Επιλέγουμε αρχικά την ανεξάρτητη μεταβλητή που έχει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την εξαρτημένη μεταβλητή (μεταβλητή που επιφέρει τη μεγαλύτερη αύξηση στον  $R^2$ ).
2. Στη συνέχεια προστίθεται μια επιπλέον ανεξάρτητη μεταβλητή που επιφέρει τη μεγαλύτερη αύξηση στον  $R^2$ , δεδομένου ότι η αλλαγή στον  $R^2$  είναι στατιστικά σημαντική δηλαδή όχι μηδέν (*κριτήριο εισόδου*, συνήθως 0,05).
3. Ελέγχονται οι δύο ανεξάρτητες μεταβλητές για να διαπιστωθεί εάν για κάποια από αυτές ισχύει το κριτήριο εξόδου, δηλαδή αφαιρείται η μεταβλητή που επιφέρει τη μικρότερη αύξηση στον  $R^2$ , δεδομένου ότι η αλλαγή που επιφέρει δεν είναι στατιστικά σημαντική δηλαδή είναι σχεδόν μηδέν (*κριτήριο εξόδου*, συνήθως 0,10).
4. Η παραπάνω διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μην υπάρχουν άλλες μεταβλητές που να συνεισφέρουν σημαντικά στην αύξηση στον  $R^2$ .

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης πολλαπλής παλινδρόμησης, που δίνει το SPSS, συνοψίζονται σε μια σειρά από πίνακες, για δε τη μορφή τους και την καλύτερη κατανόησή τους δίνουμε το παρακάτω παράδειγμα (μικρό μέρος της επεξεργασίας των δεδομένων).

Για την παρούσα αναφορά θέλουμε να κατασκευάσουμε ένα μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, με εξαρτημένη μεταβλητή την *καμένη έκταση* (στην πραγματικότητα το λογάριθμο της καμένης έκτασης/ **Log(BURNED\_AREA)**) κατά τη διάρκεια ενός μήνα, στο *Νομό Αιτωλοακαρνανίας* (δεδομένα για τα τελευταία 20 χρόνια,) και ανεξάρτητες μεταβλητές: τη θερμοκρασία (**TEMP**), τη βροχόπτωση (**PREC**), τον άνεμο (**WIND**), τη σχετική υγρασία (**RH**) και τέλος το δείκτη **SPI3**. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του παραδείγματος παρουσιάζονται παρακάτω:

Descriptive Statistics<sup>a</sup>

	Mean	Std. Deviation	N
Log(BURNED_AREA)	1.75	0.93	248
PREC	96.64	76.74	248
TEMP	15.24	6.81	248
RH	70.21	9.40	248
WIND	0.71	0.34	248
SPI3	0.01	0.96	248

Πίνακας 3 Περιγραφικά Στοιχεία Μεταβλητών

Στον πίνακα (**Descriptive Statistics**) φαίνονται τα περιγραφικά στοιχεία καθεμιάς από τις μεταβλητές μας (μέση τιμή και τυπική απόκλιση), καθώς και ο αριθμός των παρατηρήσεων (248 μήνες). Έτσι π.χ βλέπουμε ότι η μέση τιμή της βροχόπτωσης για το νομό Αιτωλοακαρνανίας είναι 96.64 mm και η τυπική της απόκλιση είναι 76.74 mm.

		Correlations <sup>a</sup>					
		Log(BURNED_A REA)	PREC	TEMP	RH	WIND	SPI3
Pearson Correlation	Log(BURNED_A REA)	1.000	-0.635	0.671	-0.505	-0.094	-0.311
	PREC	-0.635	1.000	-0.575	0.632	0.085	0.375
	TEMP	0.671	-0.575	1.000	-0.416	-0.207	0.004
	RH	-0.505	0.632	-0.416	1.000	0.188	0.148
	WIND	-0.094	0.085	-0.207	0.188	1.000	-0.039
	SPI3	-0.311	0.375	0.004	0.148	-0.039	1.000
Sig. (1- tailed)	Log(BURNED_A REA)		0.000	0.000	0.000	0.070	0.000
	PREC	0.000		0.000	0.000	0.091	0.000
	TEMP	0.000	0.000		0.000	0.001	0.474
	RH	0.000	0.000	0.000		0.001	0.010
	WIND	0.070	0.091	0.001	0.001		0.269
	SPI3	0.000	0.000	0.474	0.010	0.269	

Πίνακας 4 Συσχετίσεις Ανεξάρτητων- Εξαρτημένων Μεταβλητών

Ο πίνακας **Correlations** μας δίνει τις συσχετίσεις τόσο ανάμεσα στις ανεξάρτητες μεταβλητές (για να εξεταστεί το πρόβλημα της πολυσυγγραμμικότητας), όσο και ανάμεσα στην εξαρτημένη μεταβλητή και κάθε μια από τις ανεξάρτητες μεταβλητές (για να εξεταστεί η υπόθεση της γραμμικότητας). Εδώ βλέπουμε ότι κάθε μια από τις ανεξάρτητες μεταβλητές συνδέεται γραμμικά με την εξαρτημένη μεταβλητή, όπως και οι ανεξάρτητες μεταβλητές συνδέονται μεταξύ τους, οι δε συσχετίσεις αυτές δεν είναι ούτε αρκετά ασθενείς (εκτός ίσως από το δείκτη SPI3) ούτε πολύ ισχυρές. Επομένως δεν φαίνεται να υπάρχει πρόβλημα πολυσυγγραμμικότητας. Από τις γραμμές του πίνακα, που αντιστοιχούν στη γραμμή Sig (1-tailed), μπορούμε να δούμε ποιες από τις συσχετίσεις αυτές είναι (στατιστικά) σημαντικές (sig.<0,05).

Variables Entered/Removed <sup>a,b</sup>			
Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	TEMP		Stepwise (Criteria: Probability- of-F-to- enter <= ,050, Probability- of-F-to- remove >= ,100).
2	SPI3		Stepwise (Criteria: Probability- of-F-to- enter <= ,050, Probability- of-F-to- remove >= ,100).
3	RH		Stepwise (Criteria: Probability- of-F-to- enter <= ,050, Probability- of-F-to- remove >= ,100).
4	PREC		Stepwise (Criteria: Probability- of-F-to- enter <= ,050, Probability- of-F-to- remove >= ,100).

a. Dependent Variable: Log(BURNED\_AREA)

b. Models are based only on cases for which REGION = aitoloak

Πίνακας 5 Χρησιμοποιηθείσες Μεταβλητές

Ο πίνακας **Variables Entered/Removed** μας περιγράφει ποιες μεταβλητές εισήλθαν/ εξήλθαν από το μοντέλο, κατά την προσπάθεια εφαρμογής της μεθόδου Stepwise καθώς και τη σειρά με την οποία εισήλθαν ή αποβλήθηκαν. Έτσι, στο 1<sup>ο</sup> βήμα εισήλθε η μεταβλητή TEMP, στο 2<sup>ο</sup> βήμα εισήλθε η μεταβλητή SPI3 (και δεν εξήλθε καμία), στο 3<sup>ο</sup> βήμα εισήλθε η μεταβλητή RH και στο 4<sup>ο</sup> βήμα η μεταβλητή PREC.



### Model Summary<sup>e,f</sup>

Model	R		R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson Statistic	
	REGION = aitoloak (Selected)	REGION ~= aitoloak (Unselected)				R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	REGION N = aitoloak (Selected)	REGION N ~= aitoloak (Unselected)
1	,671 <sup>a</sup>		,451	,448	,69064 119972 4271	,451	201,724	1	246	,000		
2	,741 <sup>b</sup>		,549	,545	,62697 089424 5244	,098	53,501	1	245	,000		
3	,767 <sup>c</sup>		,589	,584	,59987 408477 4411	,040	23,634	1	244	,000		
4	,773 <sup>d</sup>	,509	,597	,590	,59516 333012 3075	,008	4,878	1	243	,028	1,440	1,002

a. Predictors: (Constant), TEMP

b. Predictors: (Constant), TEMP, SPI3

c. Predictors: (Constant), TEMP, SPI3, RH

d. Predictors: (Constant), TEMP, SPI3, RH, PREC

e. Unless noted otherwise, statistics are based only on cases for which REGION = aitoloak.

f. Dependent Variable: Log(BURNED\_AREA)

Πίνακας 6 Δείκτες Παλινδρομικού Μοντέλου

Ο πίνακας **Model Summary** περιέχει δείκτες του παλινδρομικού μας μοντέλου, που δημιουργήθηκε με τη μέθοδο Stepwise (η οποία όπως εξηγήθηκε παραπάνω εξελίχθηκε σε τέσσερις φάσεις, γι' αυτό και μας ενδιαφέρει το 4<sup>ο</sup> μοντέλο). δημιουργώντας κάθε φορά ένα μοντέλο. Στον πίνακα αυτό βλέπουμε ότι:

1. ο *συντελεστής πολλαπλού προσδιορισμού* (R square) είναι ίσος με 0,597 που σημαίνει ότι το 59,7% της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής (καμένης έκτασης) μπορεί να εξηγηθεί από το παλινδρομικό μας μοντέλο (δηλαδή τις τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές). Είναι ένας δείκτης καλής προσαρμογής του μοντέλου μας.
2. Ο *δείκτης R* (*συντελεστής συσχέτισης*) είναι η τετραγωνική ρίζα του συντελεστή πολλαπλού προσδιορισμού.
3. Ο *διορθωμένος συντελεστής πολλαπλού προσδιορισμού* (adjusted R square) 0,597 είναι μια διόρθωση του R square λαμβάνοντας υπόψη (α) τον αριθμό των μεταβλητών του μοντέλου και (β) το μέγεθος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε.
4. Στη στήλη *R square change*, μπορούμε να δούμε πόσο μεταβάλλεται ο συντελεστής πολλαπλού προσδιορισμού κατά την είσοδο μιας καινούργιας μεταβλητής στο μοντέλο. Η τιμή με την εισαγωγή της μεταβλητής *TEMP* ήταν 45,1%, η εισαγωγή της μεταβλητής *SPI3* (του) πρόσθεσε 9,8% η RH πρόσθεσε 4,0% και τέλος η μεταβλητή *PREC* (του) πρόσθεσε 0.8%.
5. Στην προτελευταία στήλη του πίνακα βλέπουμε τα *επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας* για την είσοδο κάθε μιας από τις ανεξάρτητες μεταβλητές στο μοντέλο, ποσότητες που μας δείχνουν ότι οι εισοδοί και των τριών μεταβλητών κρίθηκαν σημαντικές.
6. Τέλος ένας τρόπος ελέγχου της ανεξαρτησίας (των υπολοίπων) είναι με τη βοήθεια του στατιστικού δείκτη **Durbin-Watson**. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 0 μέχρι 4 και εξασφαλίζει ανεξαρτησία αν η τιμή του κυμαίνεται ανάμεσα στο 1,5 και στο 2,5. Στην περίπτωση μας η τιμή του είναι ίση με 1,503.

ANOVA<sup>a,b</sup>

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	96,220	1	96,220	201,724	,000 <sup>c</sup>
Residual	117,338	246	0,477		
Total	213,558	247			
2 Regression	117,250	2	58,625	149,138	,000 <sup>d</sup>
Residual	96,308	245	0,393		
Total	213,558	247			
3 Regression	125,755	3	41,918	116,489	,000 <sup>e</sup>
Residual	87,803	244	0,360		
Total	213,558	247			

a. Dependent Variable: Log(BURNED\_AREA)

b. Selecting only cases for which REGION = aitoloakarnanias

c. Predictors: (Constant), RH

d. Predictors: (Constant), RH, SPI3

e. Predictors: (Constant), RH, SPI3, TEMP

Πίνακας 7 Στατιστική Σημαντικότητα

Ο πίνακας **ANOVA** μας δίνει τη στατιστική σημαντικότητα του μοντέλου (ισοδύναμα, ελέγχουμε την υπόθεση: *δεν υπάρχει γραμμική σχέση στον πληθυσμό μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και των ανεξάρτητων μεταβλητών*). Επειδή το παρατηρούμενο επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας sig είναι μικρότερο του 0,05, απορρίπτεται η υπόθεση αυτή οπότε ένας τουλάχιστον από τους (πληθυσμιακούς) συντελεστές του μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης είναι **διάφορος από το μηδέν** ή αλλιώς μπορούμε να ισχυριστούμε ότι οι μεταβλητές RH, SPI3, TEMP συμβάλλουν σημαντικά στην ερμηνεία της καμένης έκτασης.

Coefficients<sup>a,b</sup>

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1 (Constant)	0.352	0.108		3.273	0.001		
TEMP	0.092	0.006	0.671	14.203	0.000	1.000	1.000
2 (Constant)	0.353	0.098		3.616	0.000		
TEMP	0.092	0.006	0.673	15.675	0.000	1.000	1.000
SPI3	-0.305	0.042	-0.314	-7.314	0.000	1.000	1.000
3 (Constant)	2.090	0.369		5.660	0.000		
TEMP	0.079	0.006	0.580	12.815	0.000	0.823	1.215
SPI3	-0.273	0.040	-0.280	-6.740	0.000	0.973	1.028
RH	-0.022	0.005	-0.222	-4.861	0.000	0.805	1.243
4 (Constant)	<b>1.959</b>	<b>0.371</b>		<b>5.280</b>	<b>0.000</b>		
TEMP	<b>0.071</b>	<b>0.007</b>	<b>0.522</b>	<b>10.016</b>	<b>0.000</b>	<b>0.612</b>	<b>1.635</b>
SPI3	<b>-0.229</b>	<b>0.045</b>	<b>-0.235</b>	<b>-5.088</b>	<b>0.000</b>	<b>0.778</b>	<b>1.285</b>
RH	<b>-0.016</b>	<b>0.005</b>	<b>-0.162</b>	<b>-3.051</b>	<b>0.003</b>	<b>0.589</b>	<b>1.697</b>
PREC	<b>-0.002</b>	<b>0.001</b>	<b>-0.145</b>	<b>-2.209</b>	<b>0.028</b>	<b>0.386</b>	<b>2.593</b>

Πίνακας 8 Συντελεστές Παλινδρομικού Μοντέλου

- a) Οι γραμμές της στήλης B του πίνακα Coefficients παρουσιάζουν τους συντελεστές του παλινδρομικού μας μοντέλου. Η παλινδρομική εξίσωση που κατασκευάζεται με τη βοήθεια των δεδομένων και την μέθοδο Stepwise είναι η:

$$\text{Log(BURNED\_AREA)} = 1.959 + 0.071 \cdot \text{TEMP} - 0.229 \cdot \text{SPI3} - 0.016 \cdot \text{RH} - 0.002 \cdot \text{PREC}$$

- b) Οι ανεξάρτητες μεταβλητές, συνήθως, έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης, οπότε δεν μπορούμε να συγκρίνουμε τους αντίστοιχους συντελεστές τους στο μοντέλο τους, για να διαπιστώσουμε τη συμβολή του καθενός στο μοντέλο μας. Οι **συντελεστές Beta** είναι ένας τρόπος για να τους κάνει συγκρίσιμους. Στα αποτελέσματα του προγράμματος του SPSS®, πλην των συντελεστών παλινδρόμησης B, εμφανίζονται και οι τυποποιημένοι Beta συντελεστές. Οι εν λόγω συντελεστές προκύπτουν από τη μετατροπή της τιμής των μεταβλητών σε τιμές z κανονικής κατανομής. Άρα, οι συντελεστές Beta δεν συσχετίζονται από τις μονάδες μέτρησης των ανεξάρτητων μεταβλητών και έτσι μπορεί να γίνει σύγκριση μεταξύ τους. Καθ' αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η διάκριση της σχετικής σπουδαιότητας των ανεξάρτητων μεταβλητών στη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής.
- c) Ένας δεύτερος τρόπος για τη σύγκριση των συντελεστών είναι οι **τιμές t** της στήλης t, οι οποίες δείχνουν τη συμβολή της αντίστοιχης μεταβλητής στο μοντέλο. Όσο μεγαλύτερος από το +2 ή όσο μικρότερος από το -2 είναι η τιμή του t της μεταβλητής τόσο πιο σημαντική είναι η μεταβλητή. Έτσι η μεταβλητή *TEMP* έχει τη μεγαλύτερη t τιμή 10,016 (κατ' απόλυτη τιμή) και είναι η **καλύτερη προσβλέπουσα μεταβλητή** της καμένης έκτασης.

- d) Τέλος η στήλη Sig του πίνακα μας δείχνει ότι και οι δύο μεταβλητές είναι σημαντικές για το μοντέλο μας.

### Παρατήρηση

Πριν ξεκινήσουμε την ερμηνεία της εξίσωσης παλινδρόμησης θα πρέπει να εξετάσουμε όπως αναφέραμε εάν ικανοποιείται η υπόθεση της πολυσυγγραμμικότητας. Εάν υπάρχει θέμα πολυσυγγραμμικότητας, τότε όσα αναφέρθηκαν για τις  $t$  τιμές δεν ισχύουν:

- I. Ένας πρώτος τρόπος για να μετρήσει κανείς το πόσο έντονη είναι η γραμμική σχέση ανάμεσα στις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι ο δείκτης **παράγοντας ανοχής** (tolerance factor). Ο δείκτης αυτός είναι ένας αριθμός από 0 μέχρι 1 και φανερώνει το ποσοστό της διασποράς της ανεξάρτητης μεταβλητής που δεν μπορεί να ερμηνευτεί από τη σχέση αυτής της μεταβλητής με τις υπόλοιπες μεταβλητές. Πρόβλημα συγγραμμικότητας υπάρχει όταν η τιμή του δείκτη είναι κάτω από 0,1, που στην περίπτωση μας δεν ισχύει για καμιά από τις ανεξάρτητες μεταβλητές.
- II. Ένας δεύτερος τρόπος, είναι ο δείκτης **συντελεστής διόγκωσης της διακύμανσης** (Variance Inflation Factor / VIF), που είναι ουσιαστικά ο αντίστροφος του παράγοντα ανοχής. Πρόβλημα συγγραμμικότητας υπάρχει εάν η τιμή του ξεπερνά το 10, που και πάλι δεν συμβαίνει.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Στατιστικά Καμένων Εκτάσεων

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πυροσβεστικού σώματος της Ελλάδας για τα έτη 2000 – 2020 για όλη την επικράτεια και με την επιφύλαξη κάθε σφάλματος καταγραφής αυτών, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στα παρακάτω γραφήματα. Τα σύνολα των καμένων εκτάσεων σε στρέμματα και το πλήθος των περιστατικών, δίνονται στον πίνακα 9.

Αττική					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
1	Νομός Αθηνών	Αθήνα	317	59.697,78	571
2	Νομός Ανατολικής Αττικής	Παλλήνη	1.513	300.468,26	1.742
3	Νομός Δυτικής Αττικής	Ελευσίνα	1.004	91.085,54	988
4	Νομός Πειραιά	Πειραιάς	929	111.425,36	1.823
Στερεά Ελλάδα					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
5	Νομός Ευβοίας	Χαλκίδα	4.167	584.386,66	5.553
6	Νομός Ευρυτανίας	Καρπενήσι	1.869	4.249,10	485
7	Νομός Φωκίδας	Άμφισσα	2.120	27.041,59	1.096
8	Νομός Φθιώτιδας	Λαμία	4.441	340.219,49	4.433
9	Νομός Βοιωτίας	Λιβαδειά	2.952	240.791,18	2.726

Κεντρική Μακεδονία					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
10	Νομός Χαλκιδικής	Πολύγυρος	2.918	24.441,74	2.279
11	Νομός Ημαθίας	Βέροια	1.701	14.063,75	3.155
12	Νομός Κιλκίς	Κιλκίς	2.519	111.895,97	5.510
13	Νομός Πέλλας	Έδεσσα	2.506	60.404,53	6.669
14	Νομός Πιερίας	Κατερίνης	1.516	15.714,35	2.282
15	Νομός Σερρών	Σέρρες	3.968	51.990,48	6.174
16	Νομός Θεσσαλονίκης	Θεσσαλονίκη	3.683	80.263,03	4.706
Κρήτη					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
17	Νομός Χανίων	Χανιά	2.376	81.654,79	4.105
18	Νομός Ηρακλείου	Ηράκλειο	2.641	74.242,37	5.463
19	Νομός Λασιθίου	Άγιος Νικόλαος	1.823	58.920,59	2.597
20	Νομός Ρεθύμνου	Ρέθυμνο	1.496	98.234,63	3.633
Ανατολική Μακεδονία & Θράκη					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
21	Νομός Δράμας	Δράμα	1.662	69.721,17	2.656
22	Νομός Έβρου	Αλεξανδρούπολη	4.242	321.542,31	5.662
23	Νομός Καβάλας	Καβάλα	2.111	109.738,59	3.294
24	Νομός Ροδόπης	Κομοτηνή	2.543	112.039,00	4.562
25	Νομός Ξάνθης	Ξάνθη	1.793	66.027,56	4.404

Ήπειρος					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
26	Νομός Άρτας	Άρτα	1.662	25.343,74	2.999
27	Νομός Ιωαννίνων	Ιωάννινα	4.990	153.844,96	3.609
28	Νομός Πρέβεζας	Πρέβεζα	1.036	49.762,50	2.787
29	Νομός Θεσπρωτίας	Ηγουμενίτσα	1.515	41.307,45	2.348

Ιόνιοι Νήσοι					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
30	Νομός Κέρκυρας	Κέρκυρα	641	27.811,56	3.099
31	Νομός Κεφαλληνίας	Αργοστόλι	904	103.902,17	3.788
32	Νομός Λευκάδας	Λευκάδα	356	18.273,19	1.518
33	Νομός Ζακύνθου	Ζάκυνθος	406	94.047,70	2.573
Βόρειο Αιγαίο					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
34	Νομός Χίου	Χίος	904	181.167,13	1.160
35	Νομός Λέσβου	Μυτιλήνη	1.633	43.600,43	2.897
36	Νομός Σάμου	Σάμος	778	193.376,19	1.328

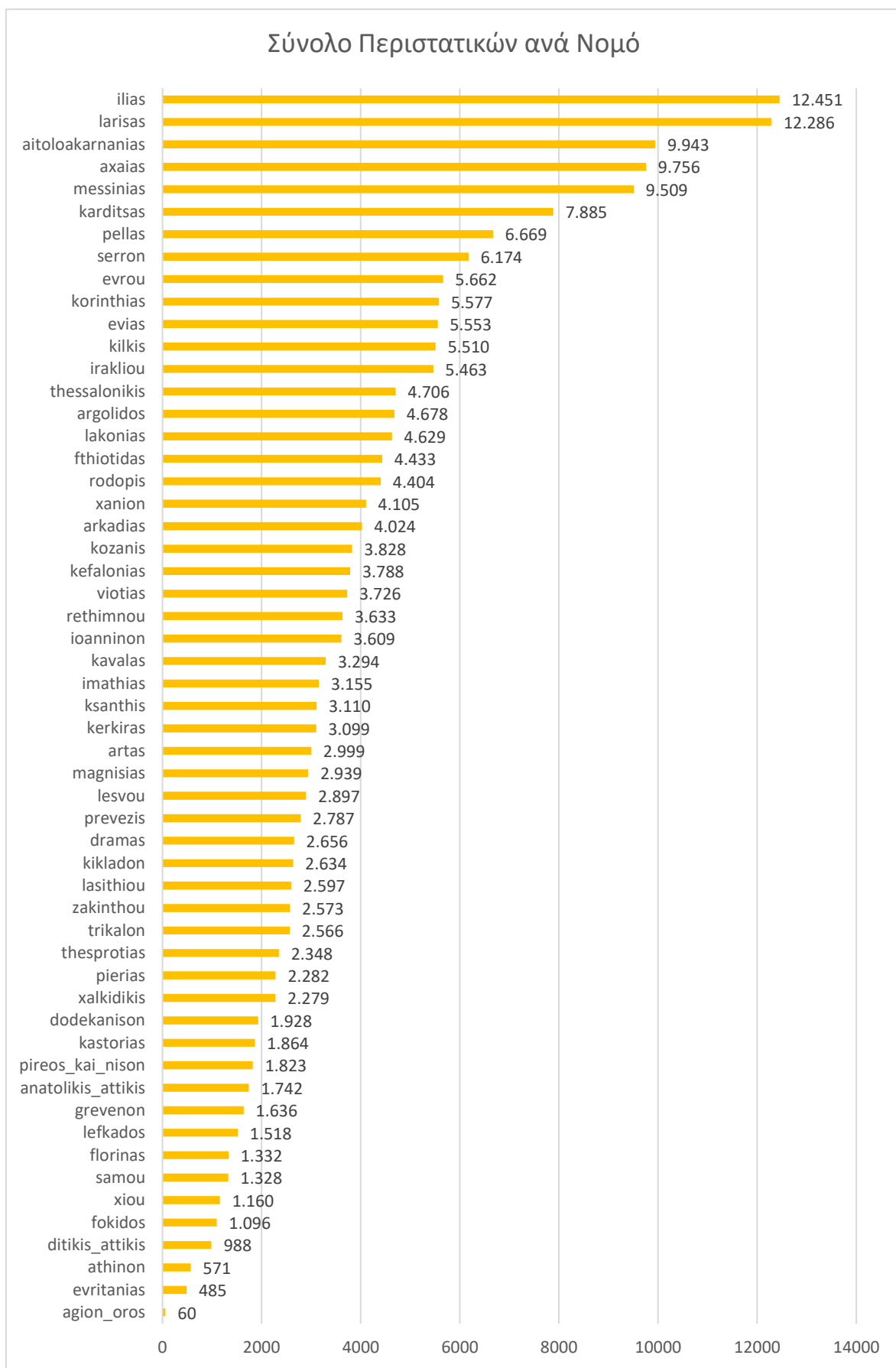


Πελοπόννησος					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
37	Νομός Αρκαδίας	Τρίπολη	4.419	264.997,59	4.024
38	Νομός Αργολίδας	Ναύπλιο	2.154	87.820,91	4.678
39	Νομός Κορινθίας	Κόρινθος	2.290	337.383,99	5.577
40	Νομός Λακωνίας	Σπάρτη	3.636	505.787,12	4.629
41	Νομός Μεσσηνίας	Καλαμάτα	2.991	255.224,93	9.509
Νότιο Αιγαίο					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
42	Νομός Κυκλάδων	Ερμούπολη	2.572	187.700,97	2.634
43	Νομός Δωδεκανήσου	Ρόδος	2.714	223.328,59	1.928
Θεσσαλία					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
44	Νομός Καρδίτσας	Καρδίτσα	2.636	198.611,47	7.885
45	Νομός Λάρισας	Λάρισα	5.381	655.755,91	12.286
46	Νομός Μαγνησίας	Βόλος	2.636	159.046,03	2.939
47	Νομός Τρικάλων	Τρίκαλα	3.384	53.993,01	2.566
Δυτική Ελλάδα					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
48	Νομός Αχαΐας	Πάτρα	3.271	215.861,13	9.756
49	Νομός Αιτωλοακαρνανίας	Μεσολόγγι	5.447	121.656,18	9.943
50	Νομός Ηλείας	Πύργος	2.618	1.221.283,28	12.451

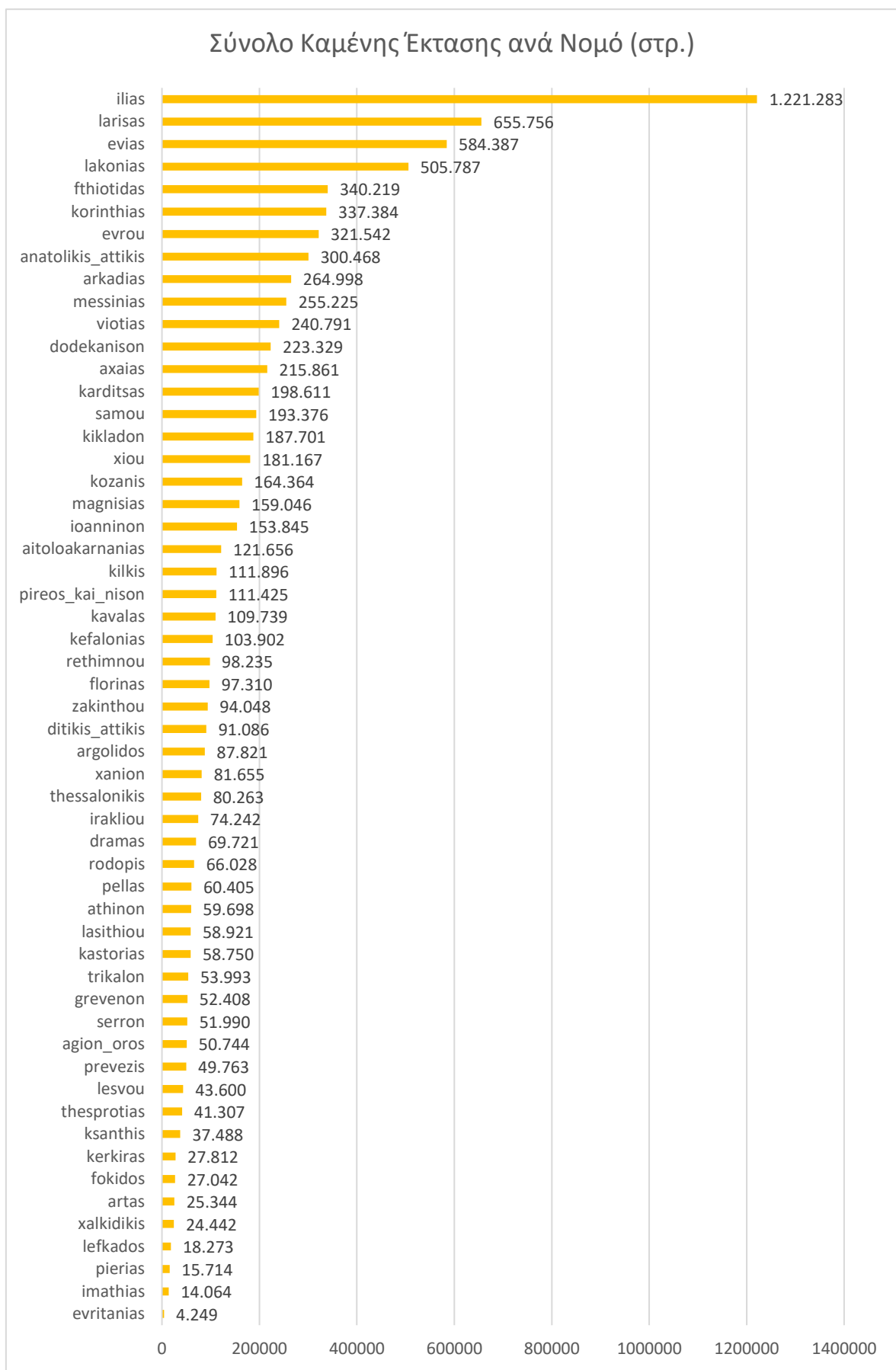
Δυτική Μακεδονία					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
51	Νομός Φλώρινας	Φλώρινα	1.924	97.310,24	1.332
52	Νομός Γρεβενών	Γρεβενά	2.291	52.407,68	1.636
53	Νομός Καστοριάς	Καστοριά	1.720	58.749,68	1.864
54	Νομός Κοζάνης	Κοζάνης	3.516	164.364,40	3.828
Αυτοδιοίκητο					
A/A	Νομός	Έδρα Νομού	Έκταση (Km) <sup>2</sup>	Καμένη Έκταση (στρ.)	Περιστατικά
	 Άγιο Όρος	Καρυές	336	50.744,22	60

Πίνακας 9 Ποσοτικός Πίνακας Καμένων Εκτάσεων- Περιστατικών περιόδου 2000-2020

Στα ακόλουθα ραβδογράμματα παρουσιάζονται συνοπτικά, σε φθίνουσα κατάταξη, τα δεδομένα περιστατικών και καμένων εκτάσεων.

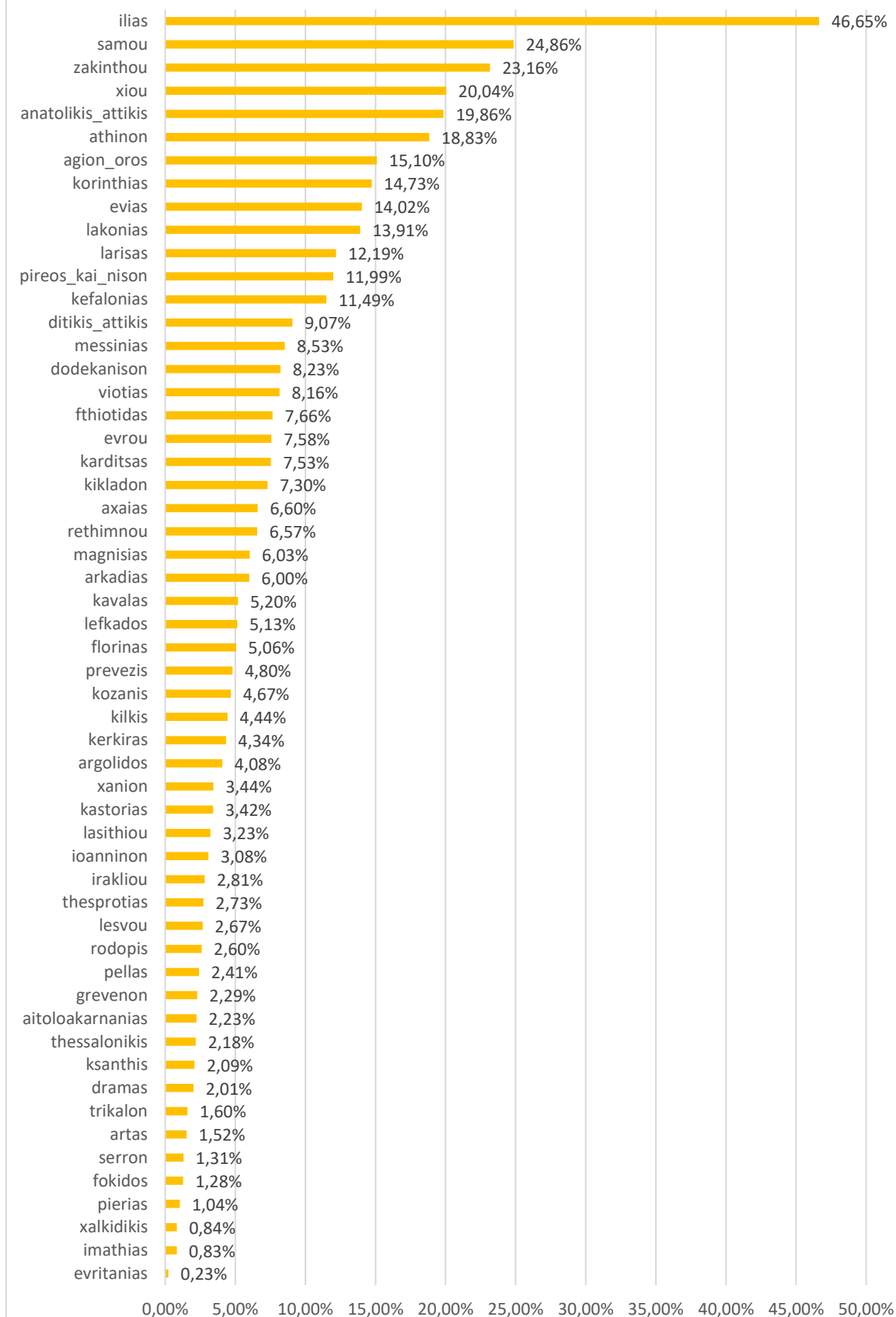


Ραβδόγραμμα 1 Σύνολο Περιστατικών ανά Νομό (-)

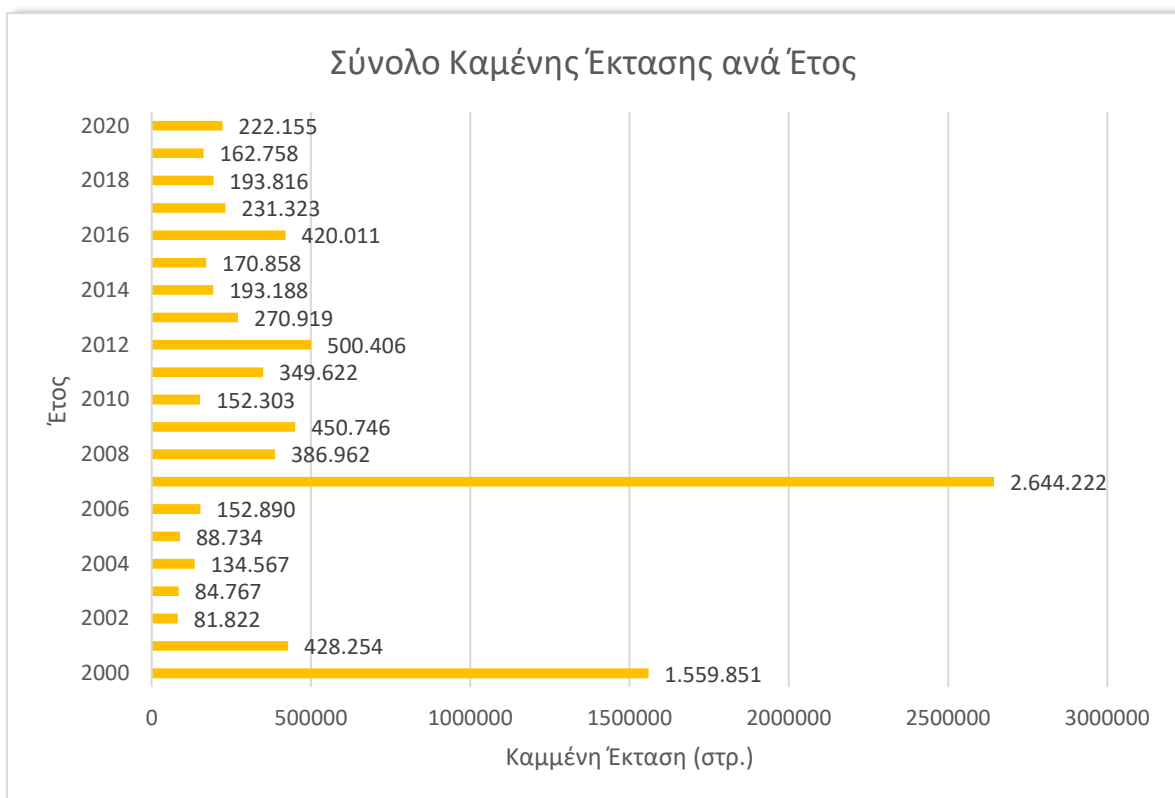


Ραβδόγραμμα 2 Σύνολο Καμένης Έκτασης ανά Νομό (στρ.)

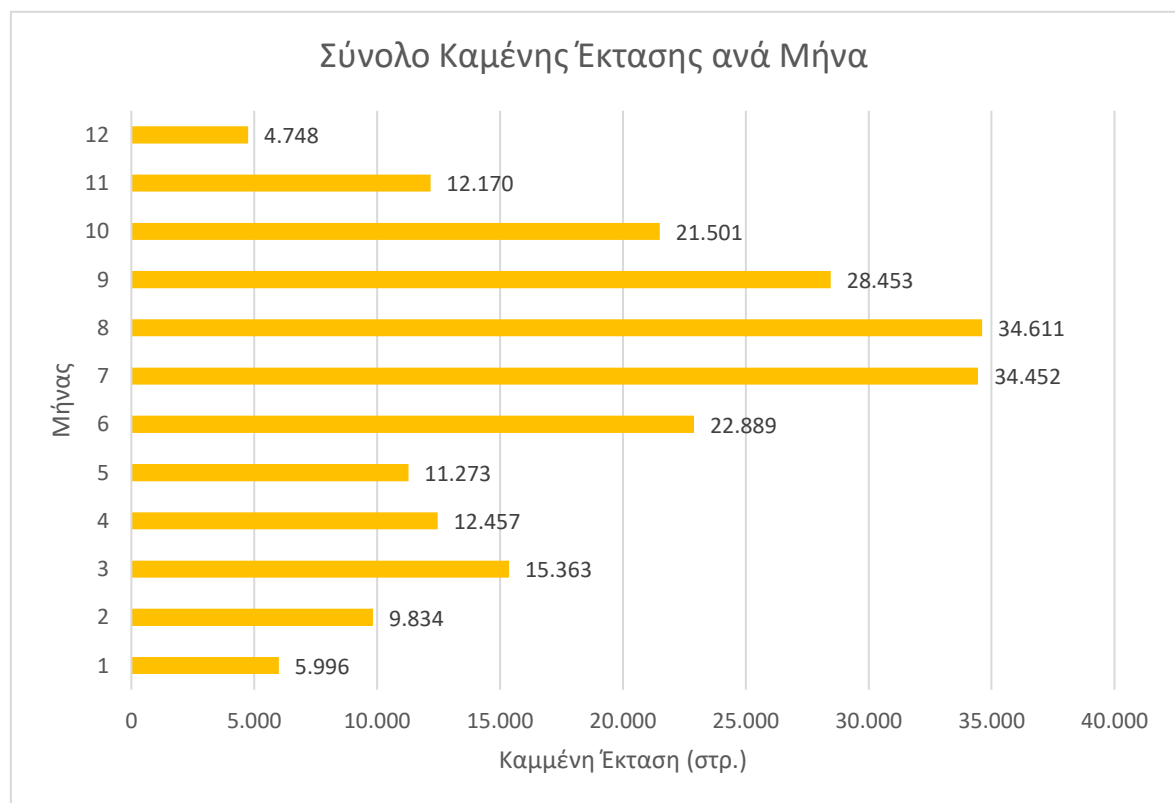
### Καμένη Έκταση ανά Έκταση Νομού



Ραβδόγραμμα 3 Ποσοστό Καμένης Έκτασης ανά Έκταση Νομού (%)



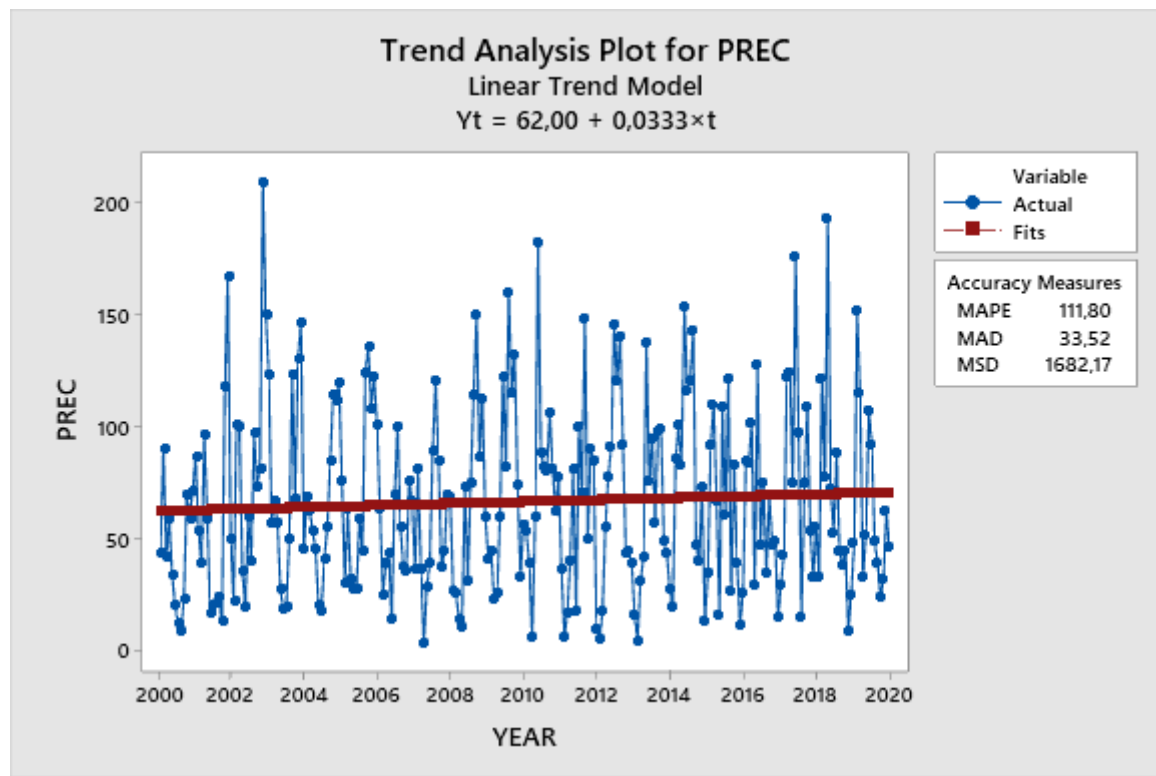
Ραβδόγραμμα 4 Σύνολο Καμένης Έκτασης ανά Έτος (στρ.)



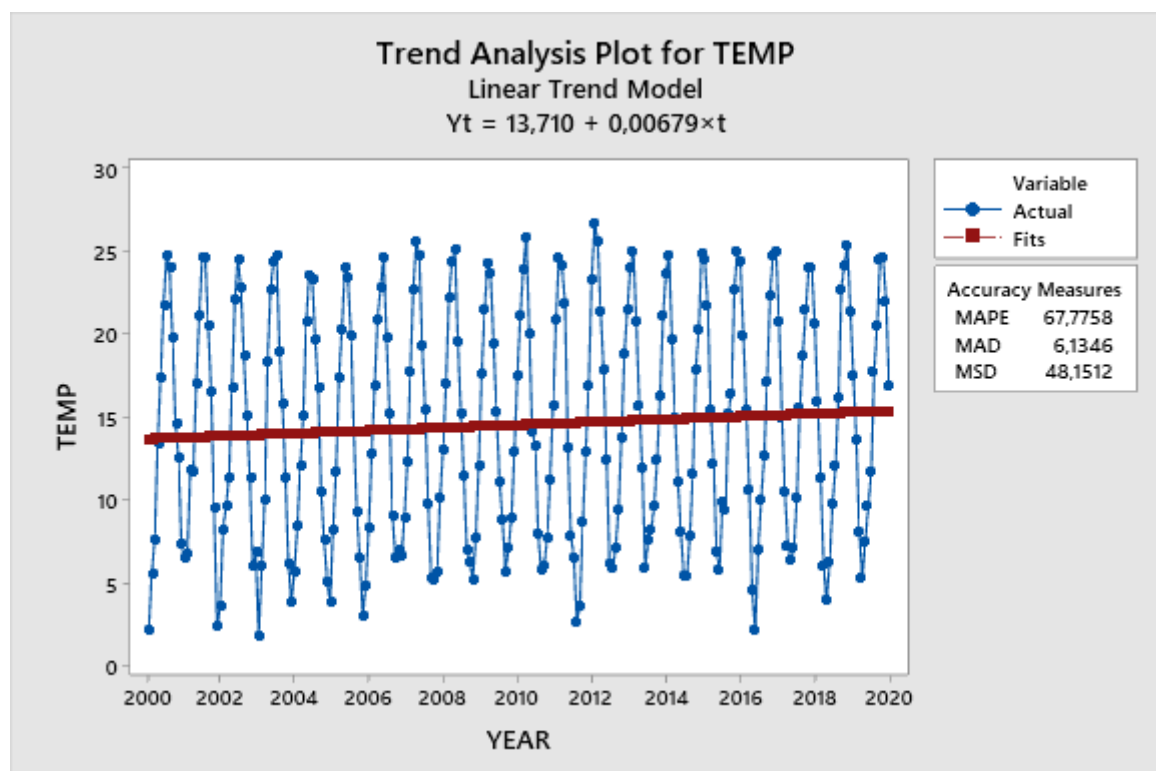
Ραβδόγραμμα 5 Σύνολο Καμένης Έκτασης ανά Μήνα (στρ.)

## Στατιστικά Υδρο-Μετεωρολογικών Παραμέτρων

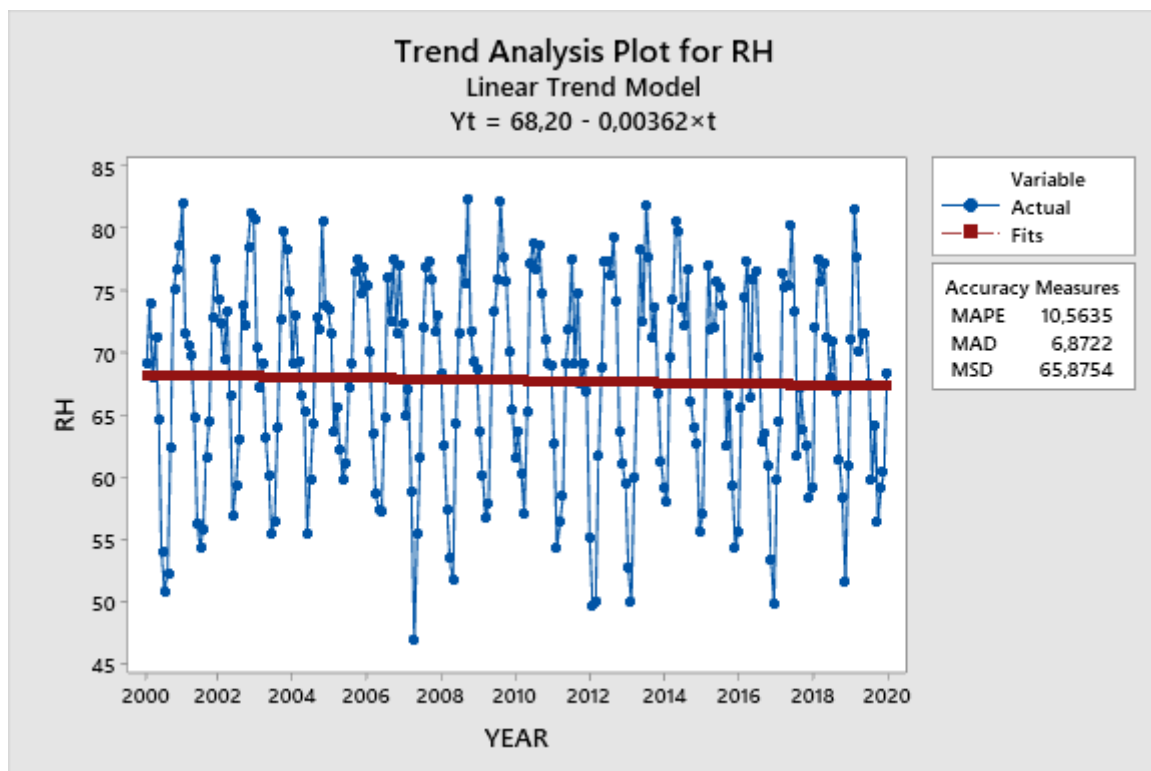
Όσον αφορά τις τάσεις των χρονοσειρών για τις υδρο-μετεωρολογικές παραμέτρους στο σύνολο της επικράτειας, τα παρακάτω γραφήματα μας δίνουν μια πρώτη εικόνα:



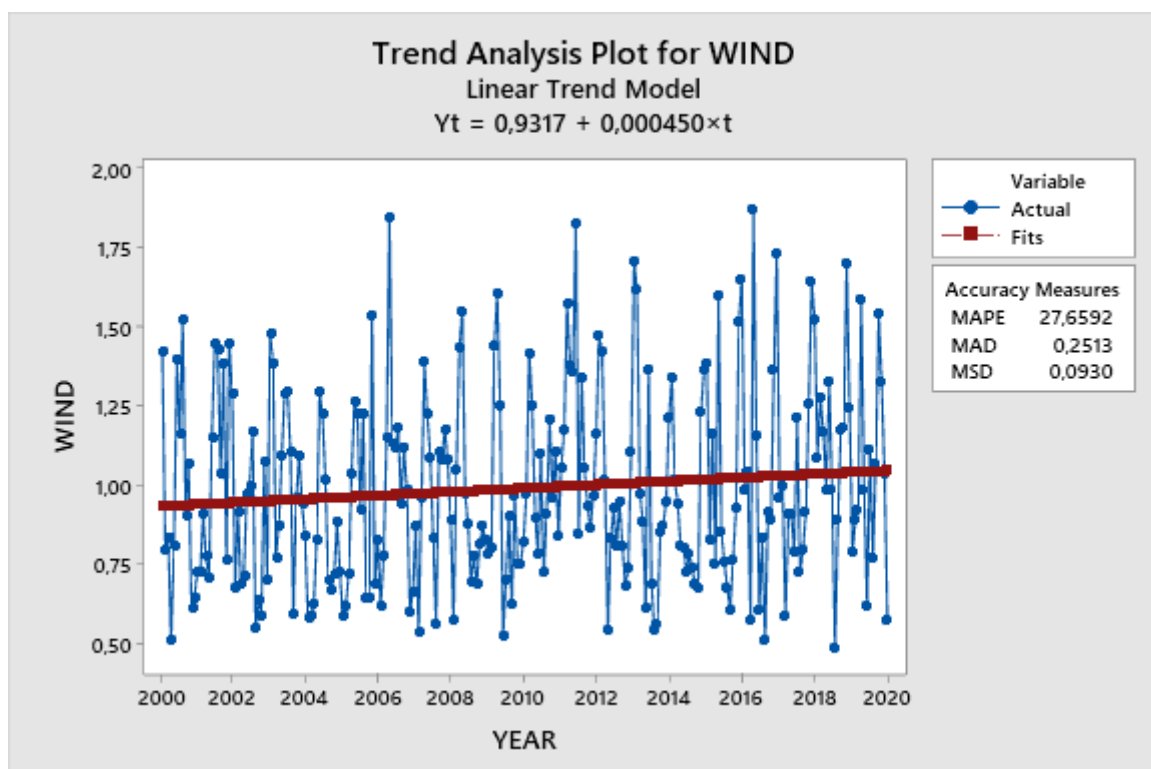
Διάγραμμα 1 Τάση Βροχόπτωσης περιόδου 2000-2020



Διάγραμμα 2 Τάση Θερμοκρασίας Περιόδου 2000-2020

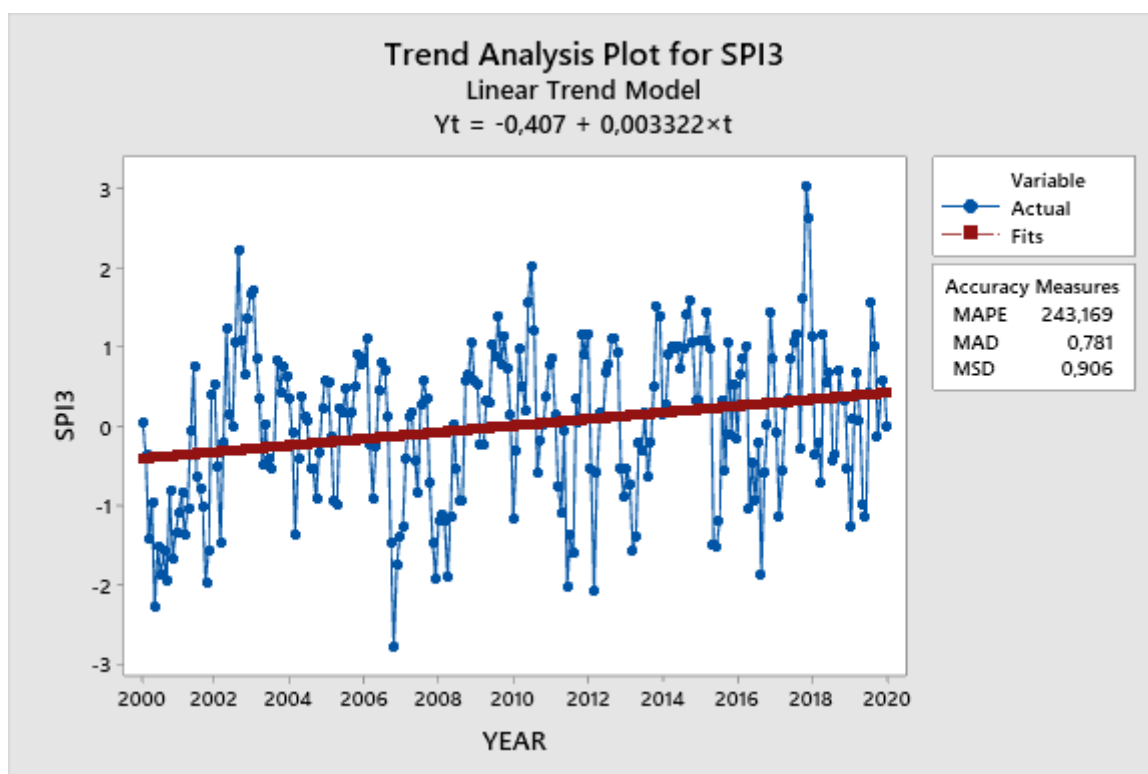


Διάγραμμα 3 Τάση Σχετικής Υγρασίας Περιόδου 2000-2020

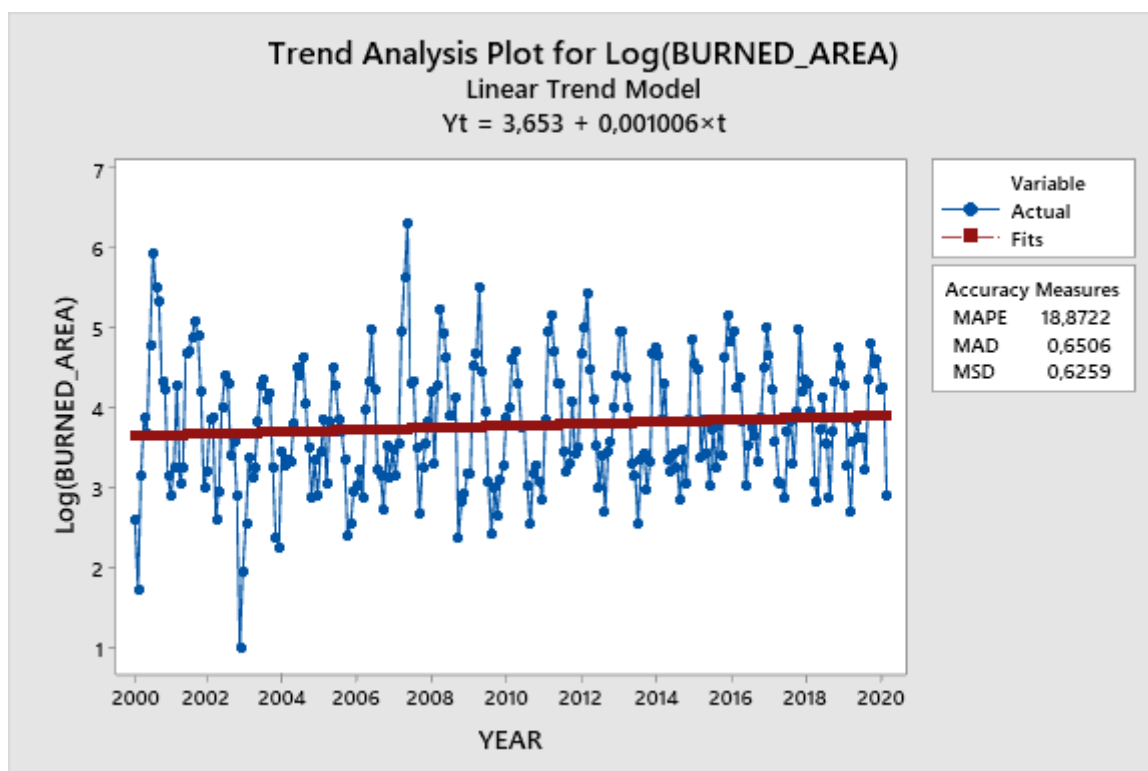


Διάγραμμα 4 Τάση Ταχύτητας Αέρα Περιόδου 2000-2020

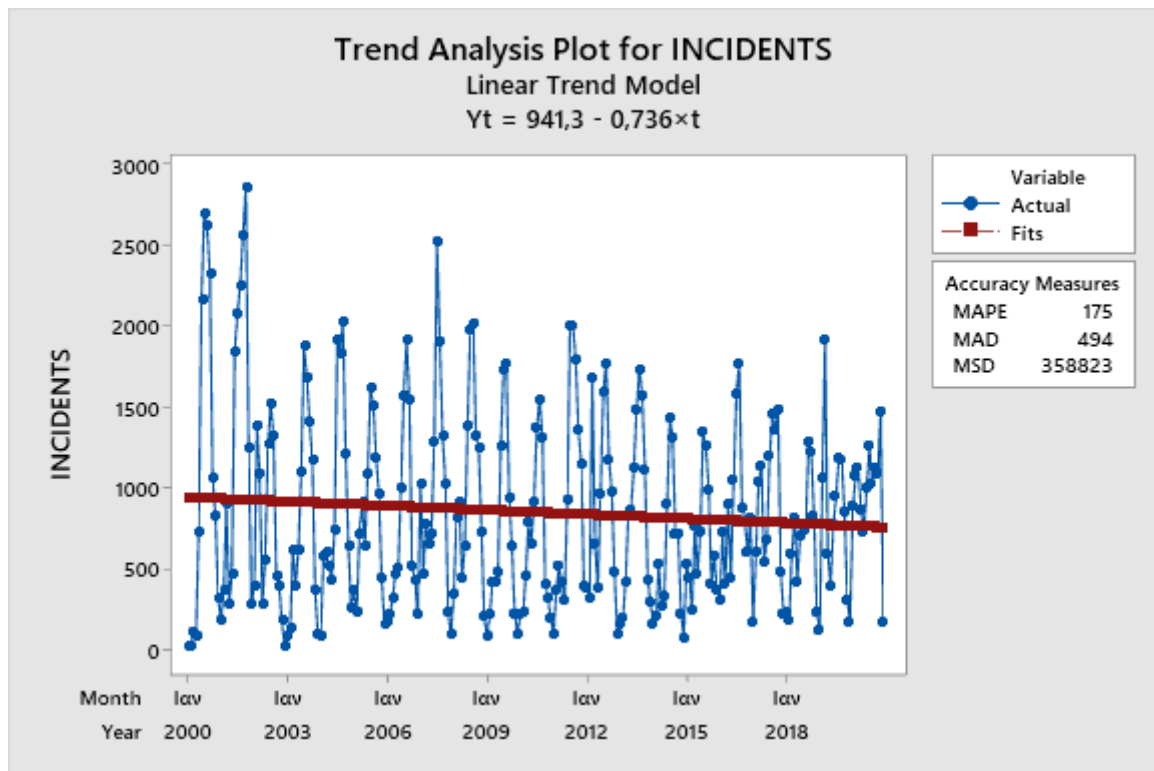




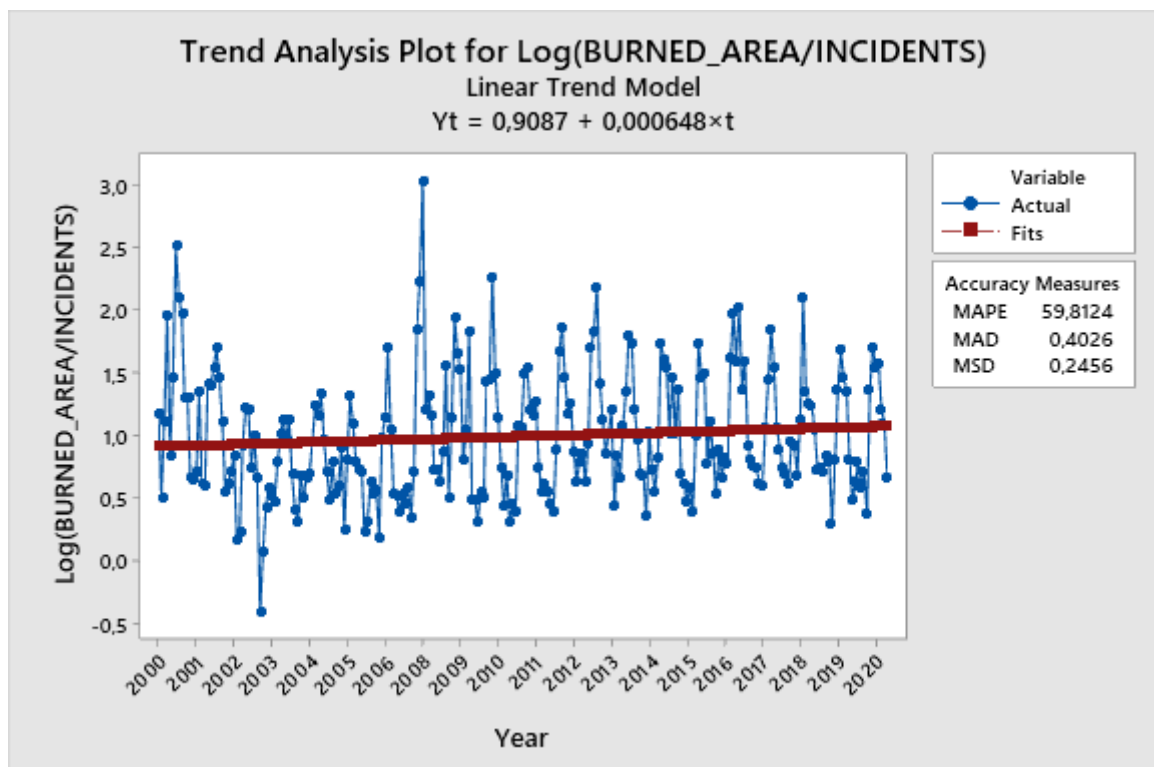
Διάγραμμα 5 Τάση Δείκτη Ξηρασίας (SPI3) Περιόδου 2000-2020



Διάγραμμα 6 Τάση Καμένων Εκτάσεων υπό Λογαριθμική Κλίμακα Περιόδου 2000-2020



Διάγραμμα 7 Τάση Περιστατικών Περιόδου 2000-2020

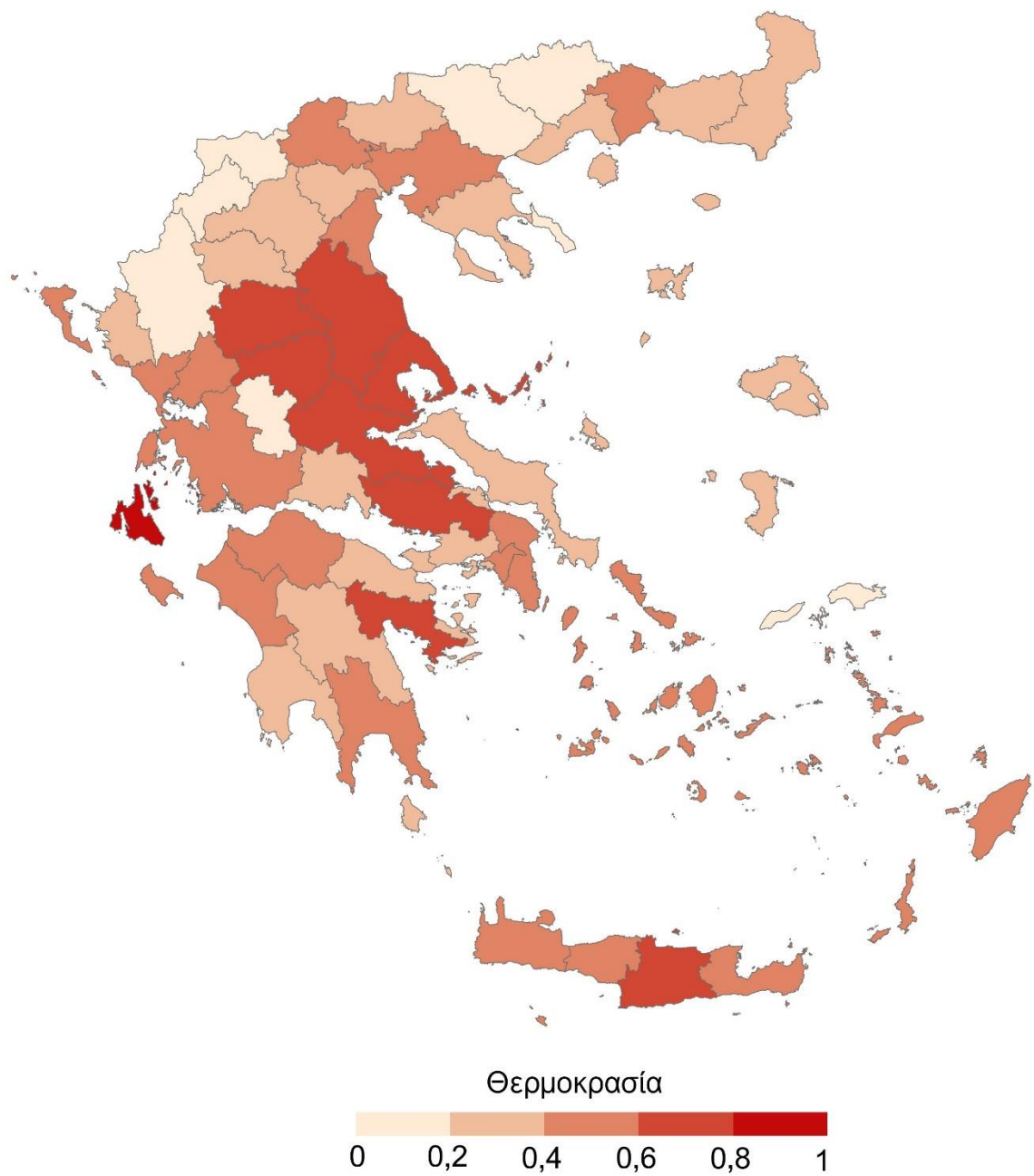


Διάγραμμα 8 Τάση Καμένων Εκτάσεων ανά Περιστατικά Περίοδου 2000-2020

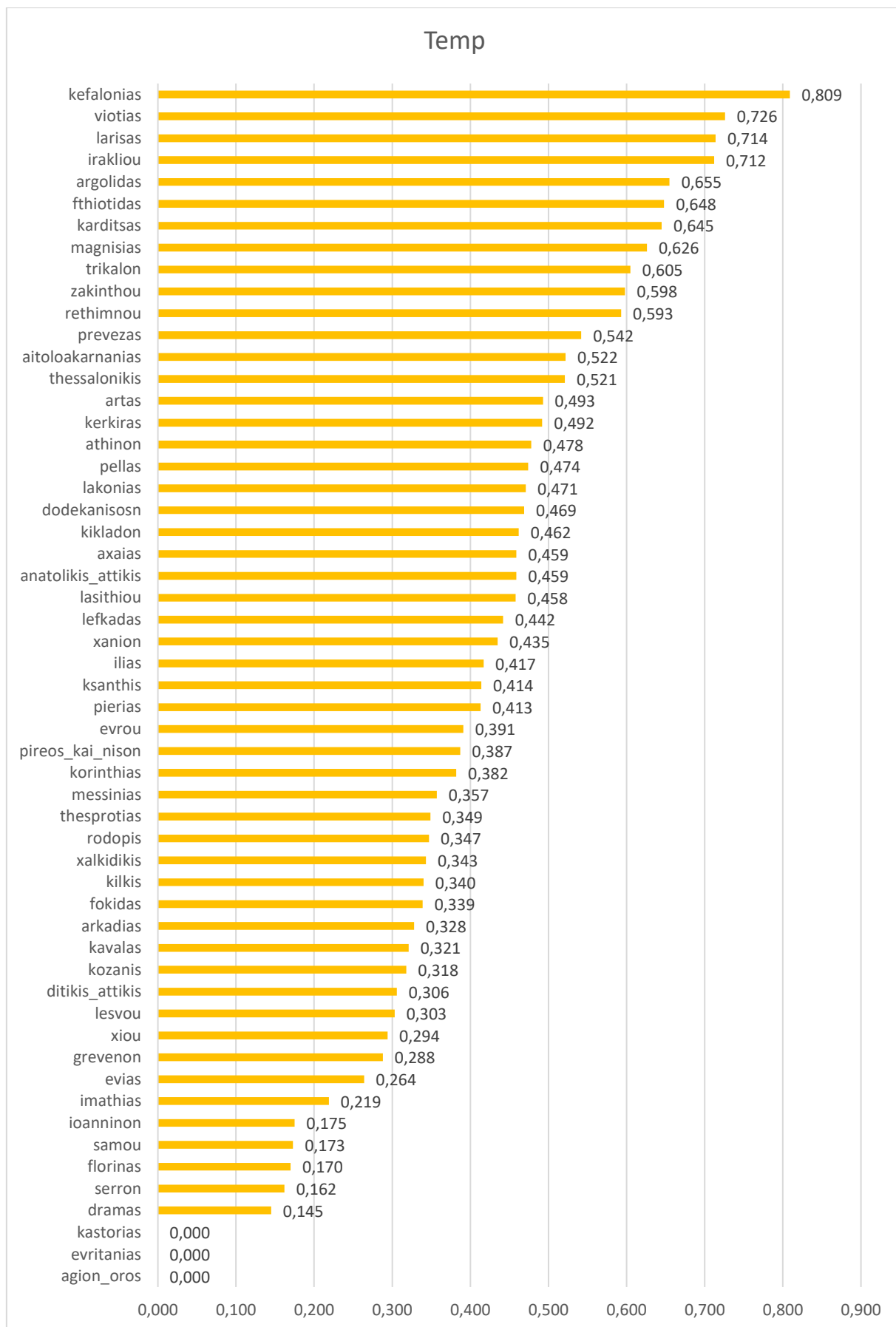
Για κάθε έναν από τους νομούς, εφαρμόσαμε μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή την [logBURNED\_AREA] και ανεξάρτητες τις TEMP, PREC, RH, WIND και SPI3 (για την εφαρμογή και τα αποτελέσματα δείτε παράδειγμα σελίδων 30-36). Κατόπιν, για κάθε νομό προσδιορίσαμε ποιος από τους κανονικοποιημένους συντελεστές beta (των υδρο-μετεωρολογικών δεδομένων) είχε την μεγαλύτερη απόλυτη τιμή (σημαντικότερη συνεισφορά στην καμένη έκταση). Όπως προαναφέραμε, οι ανεξάρτητες (υδρο-μετεωρολογικές) μεταβλητές έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης, οπότε δεν μπορούμε να συγκρίνουμε τους αντίστοιχους συντελεστές των μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Με τη βοήθεια του συντελεστή beta, κατασκευάστηκαν οι παρακάτω χάρτες.

Επίσης δίνονται ραβδογράμματα για το μέγεθος αυτών των συντελεστών, όπως και ένα ραβδόγραμμα για τον συντελεστή προσδιορισμού των πολλαπλών παλινδρομήσεων.

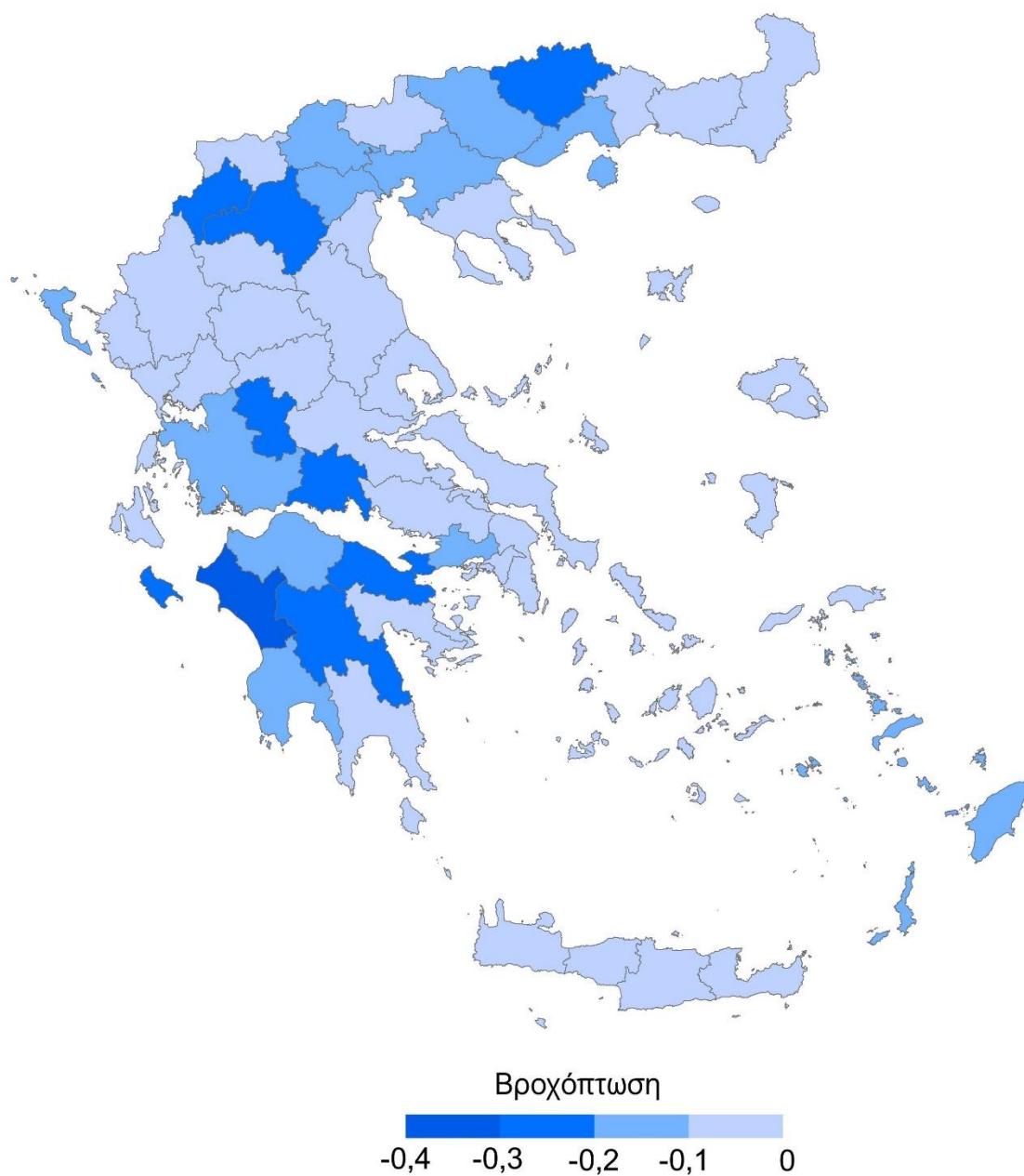
Παρακάτω δίνονται οι χάρτες όπως επίσης και ραβδογράμματα με τα αποτελέσματα των συντελεστών προσδιορισμού ( $R^2$ ) και με τους κανονικοποιημένους συντελεστές beta. Όπως προαναφέραμε, οι ανεξάρτητες μεταβλητές έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης, οπότε δεν μπορούμε να συγκρίνουμε τους αντίστοιχους συντελεστές στο μοντέλο μας. Έτσι για να διαπιστώσουμε τη συμβολή του καθενός στο μοντέλο μας, χρησιμοποιούμε τους εν λόγω συντελεστές.



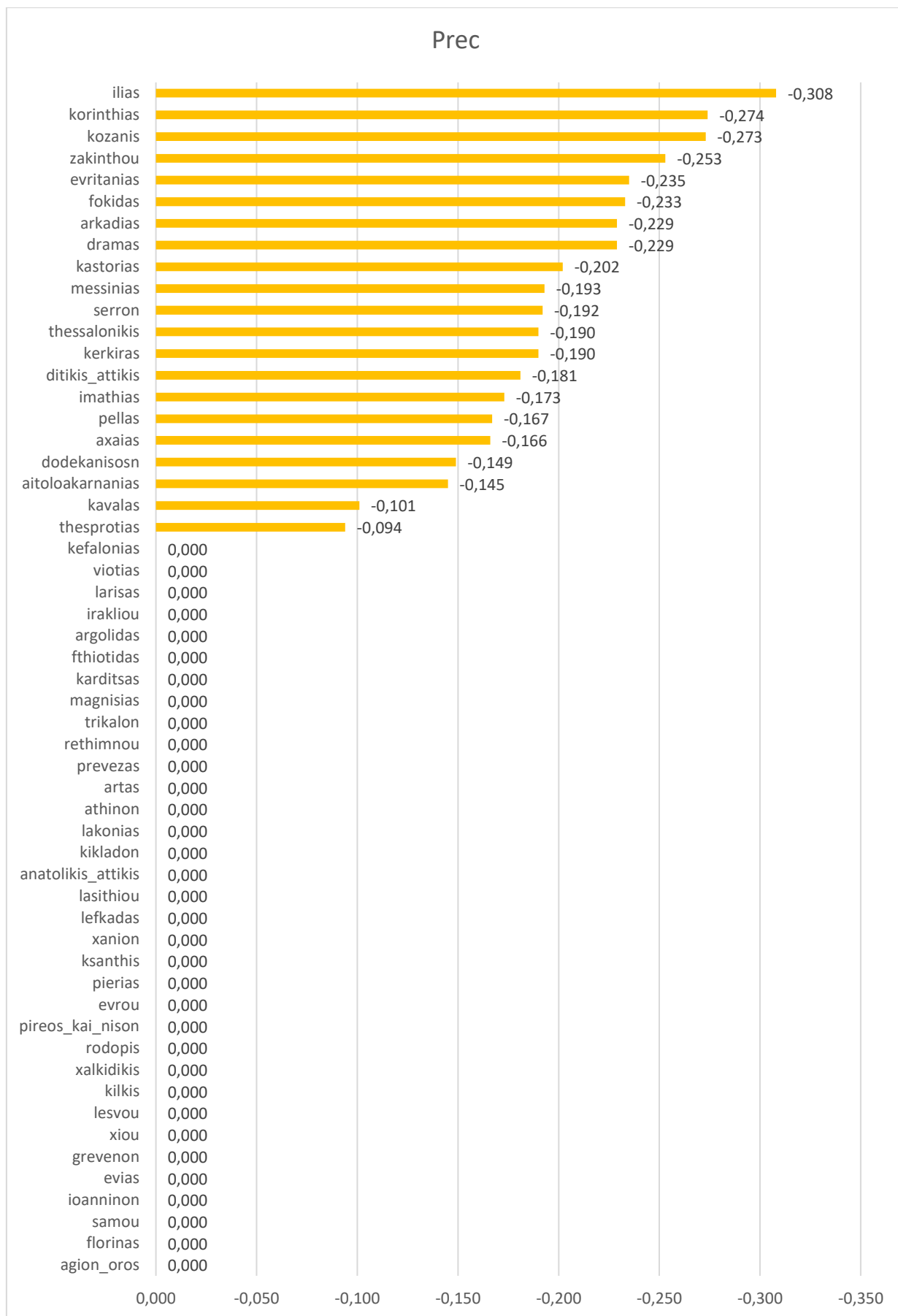
Χάρτης 3 Κανονικοποιημένος Συντελεστής beta Θερμοκρασιών



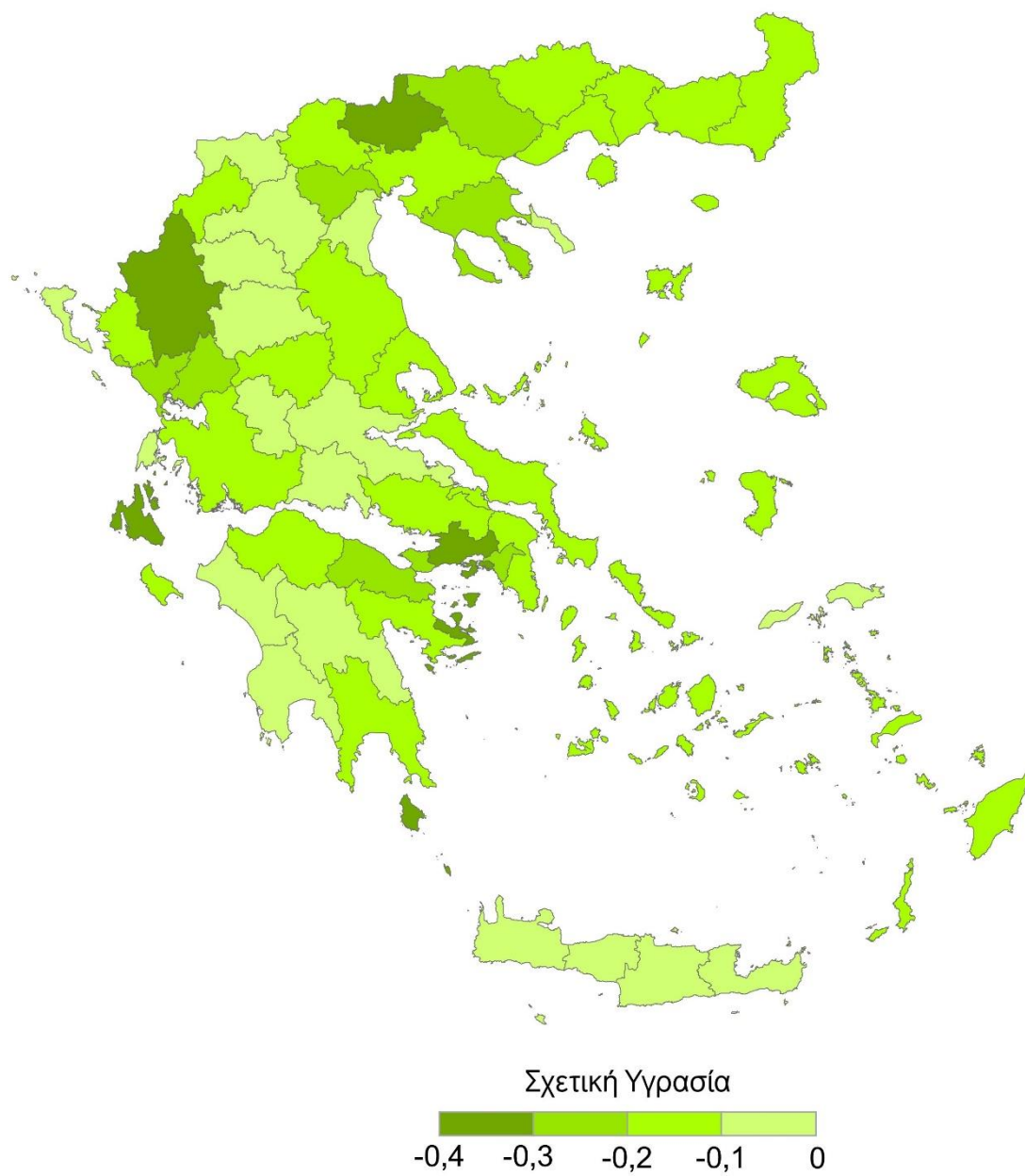
Ραβδόγραμμα 6 Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta θερμοκρασίας



Χάρτης 4 Κανονικοποιημένος Συντελεστής beta Βροχόπτωσης

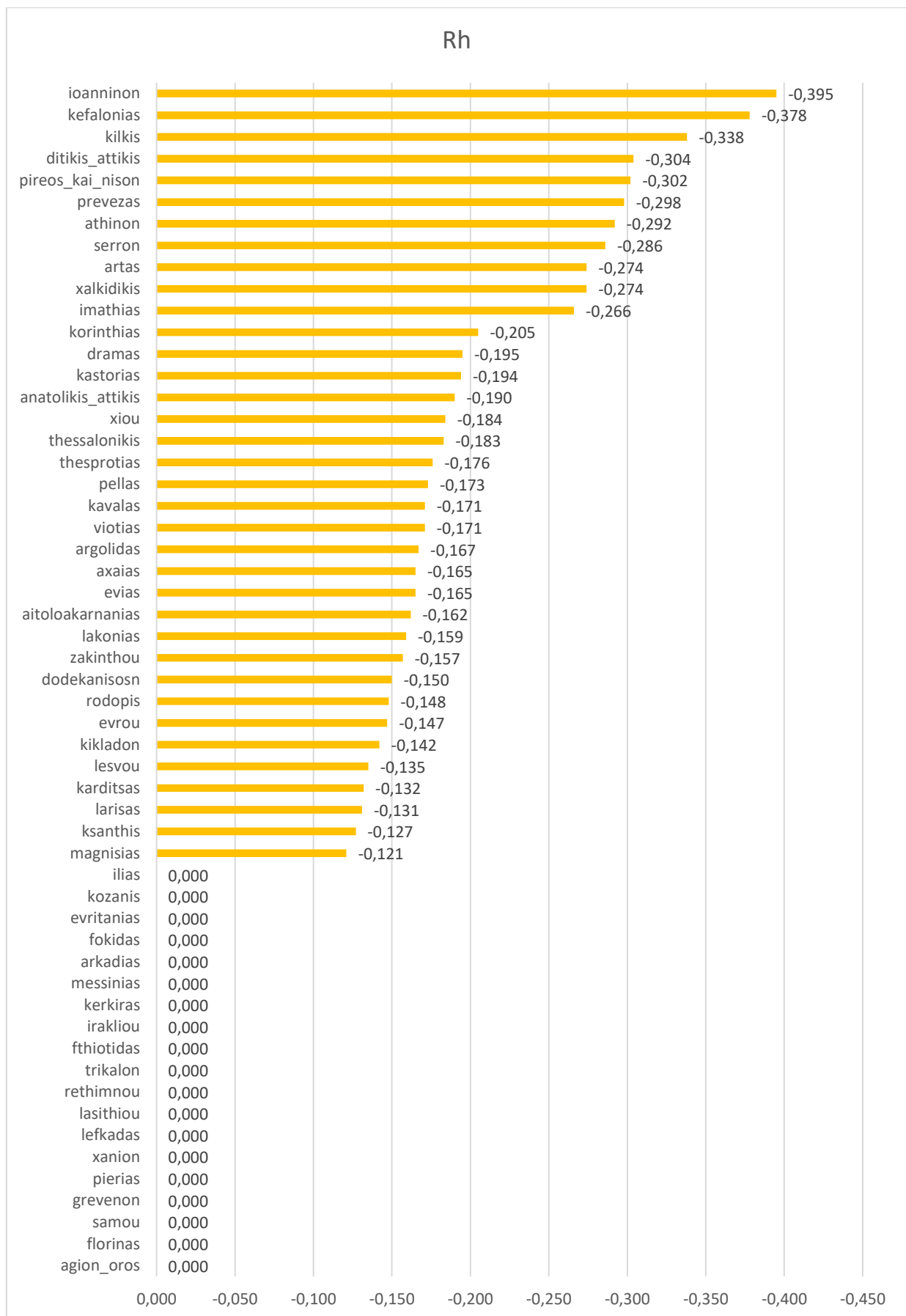


Ραβδόγραμμα 7 Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Βροχόπτωσης

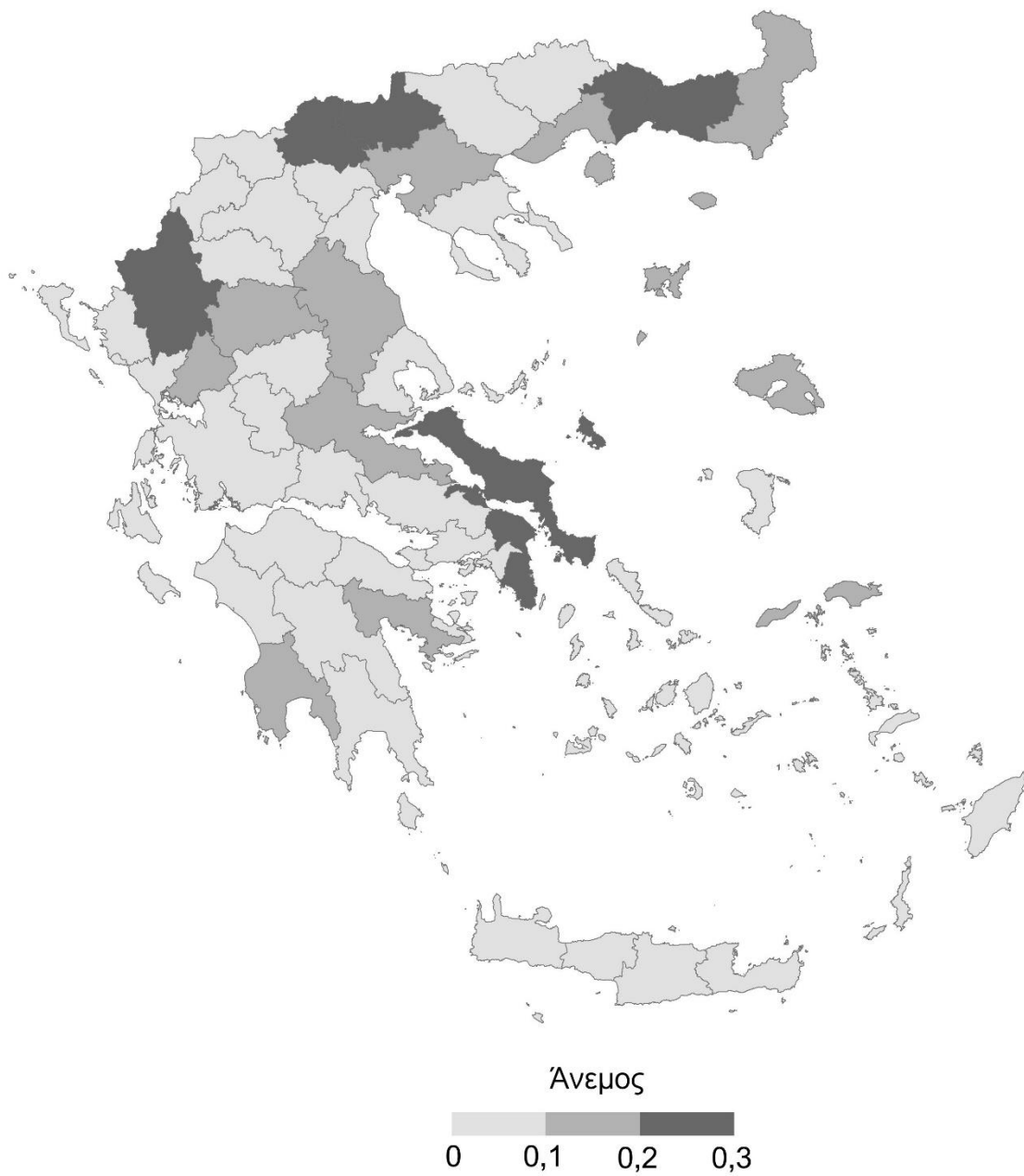


Χάρτης 5 Κανονικοποιημένος Συντελεστής beta Σχετικής Υγρασίας

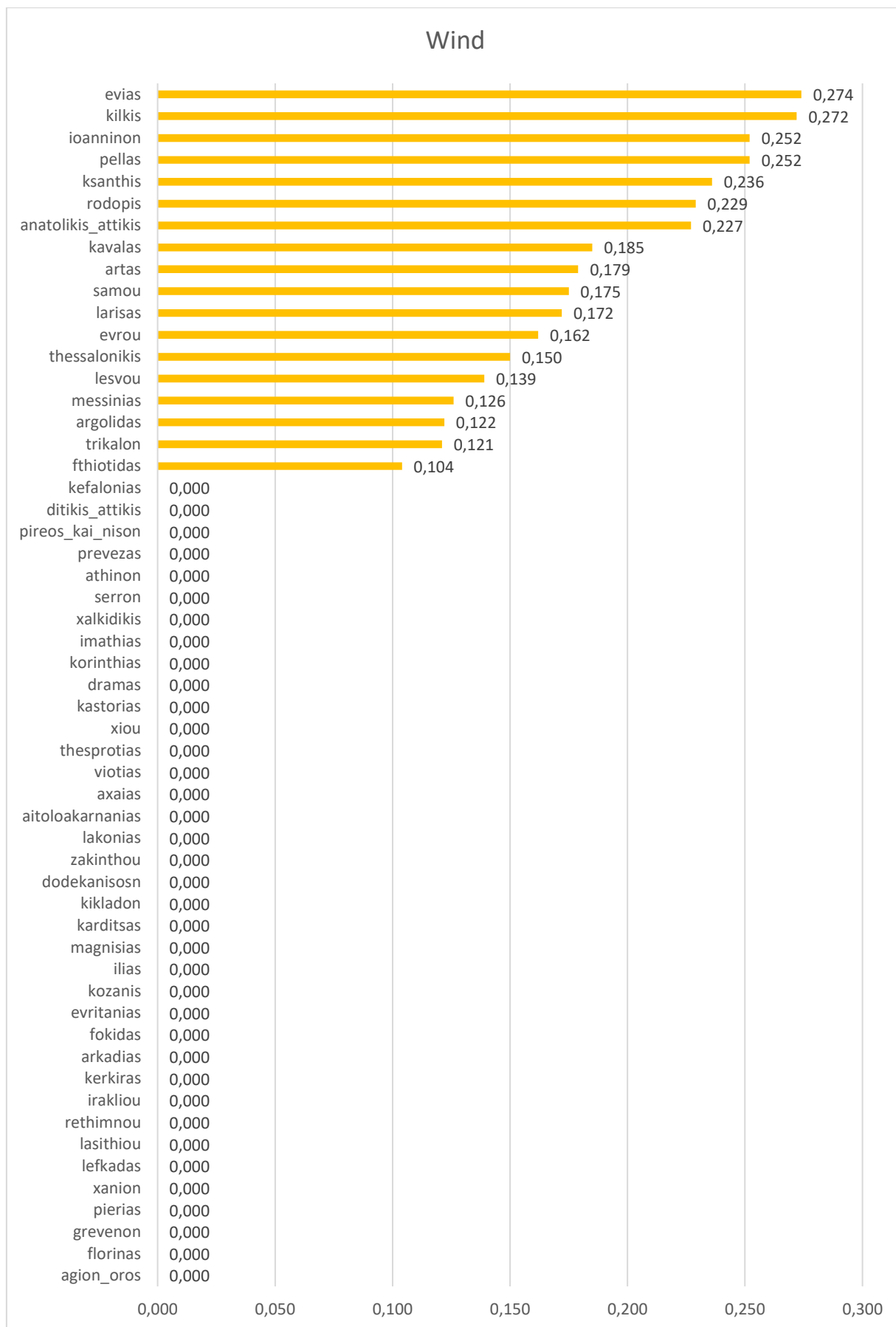




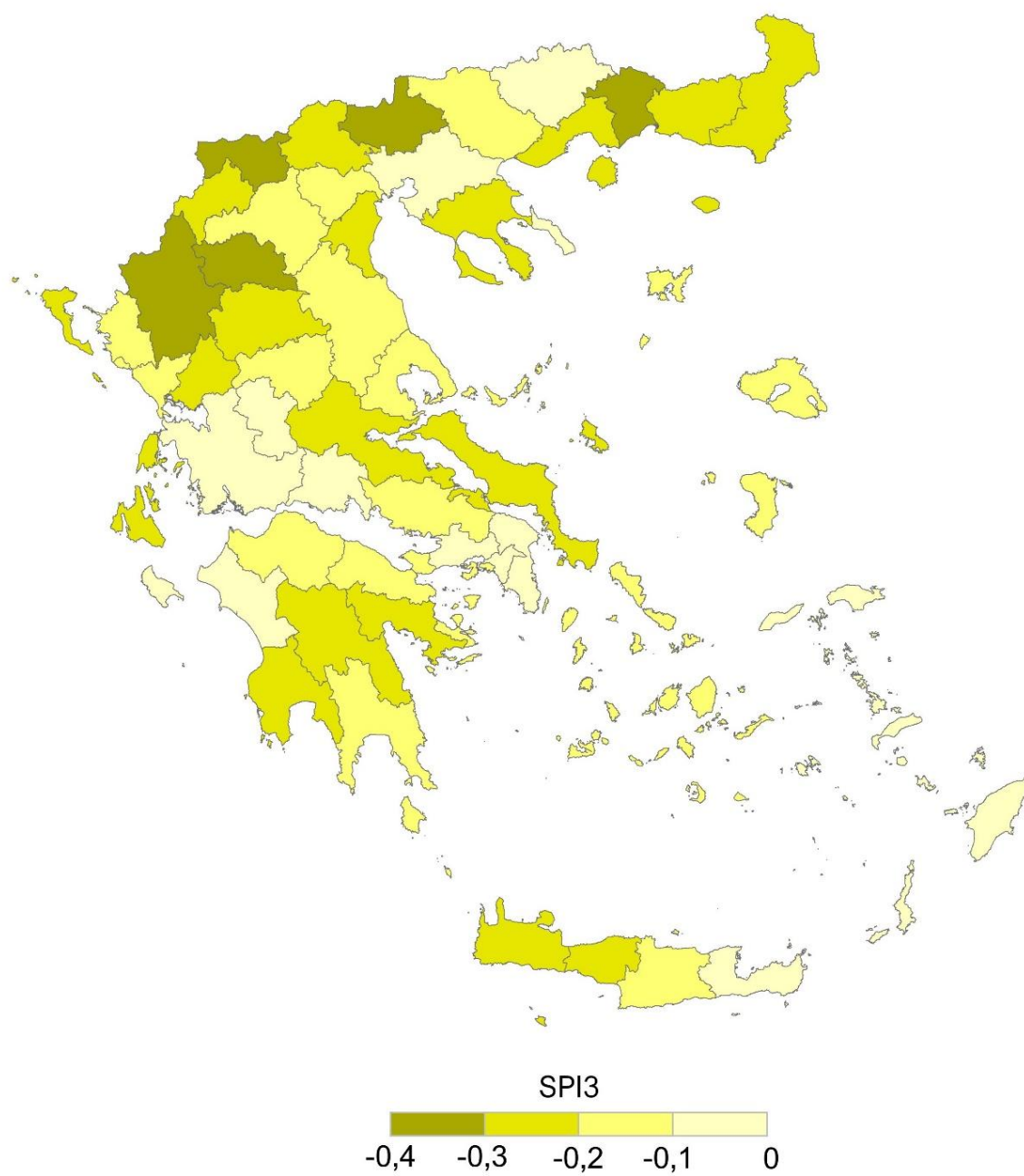
Ραβδόγραμμα 8 Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Σχετικής Υγρασίας



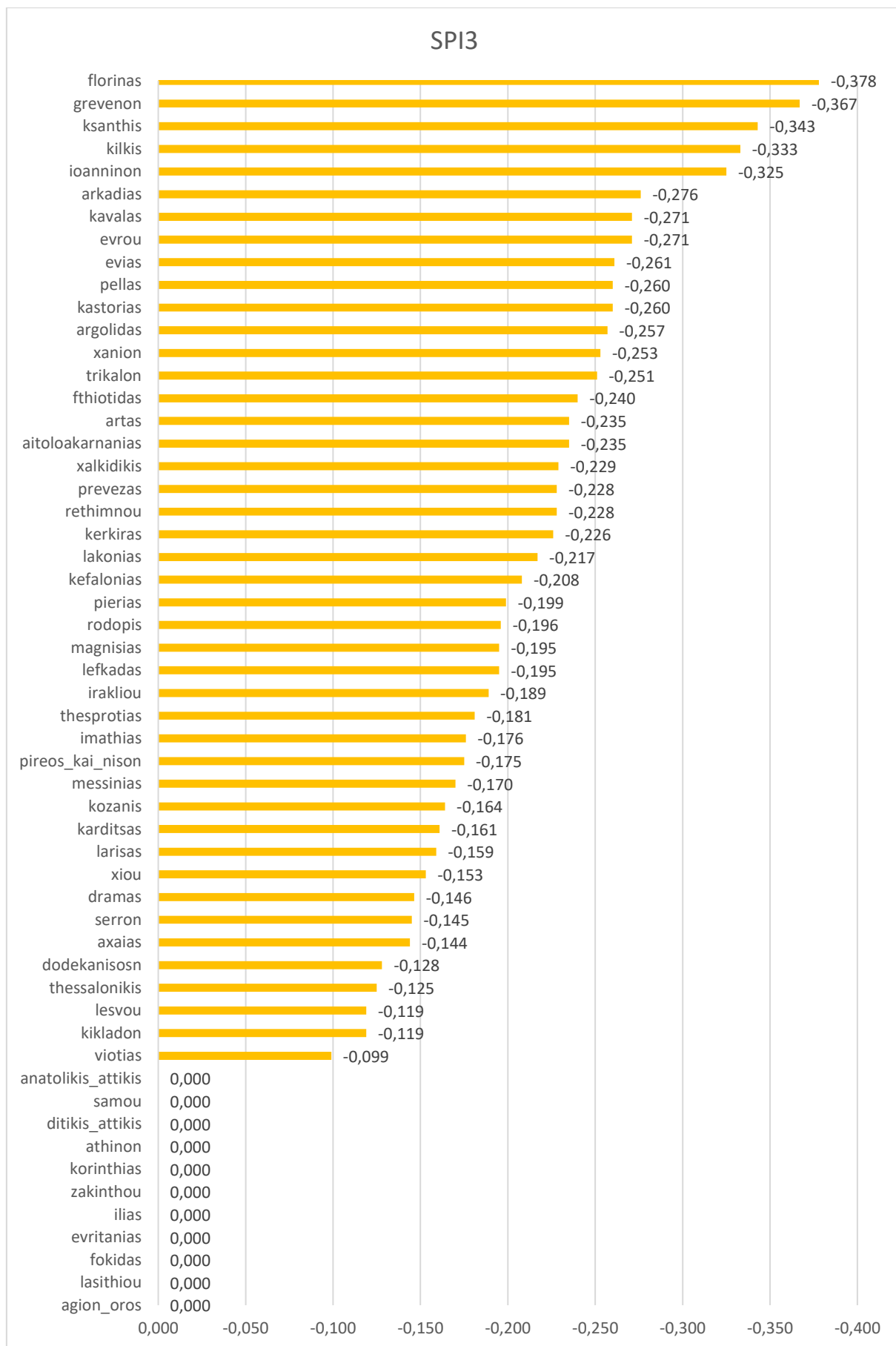
Χάρτης 6 Κανονικοποιημένος Συντελεστής beta Ταχύτητας Ανέμου



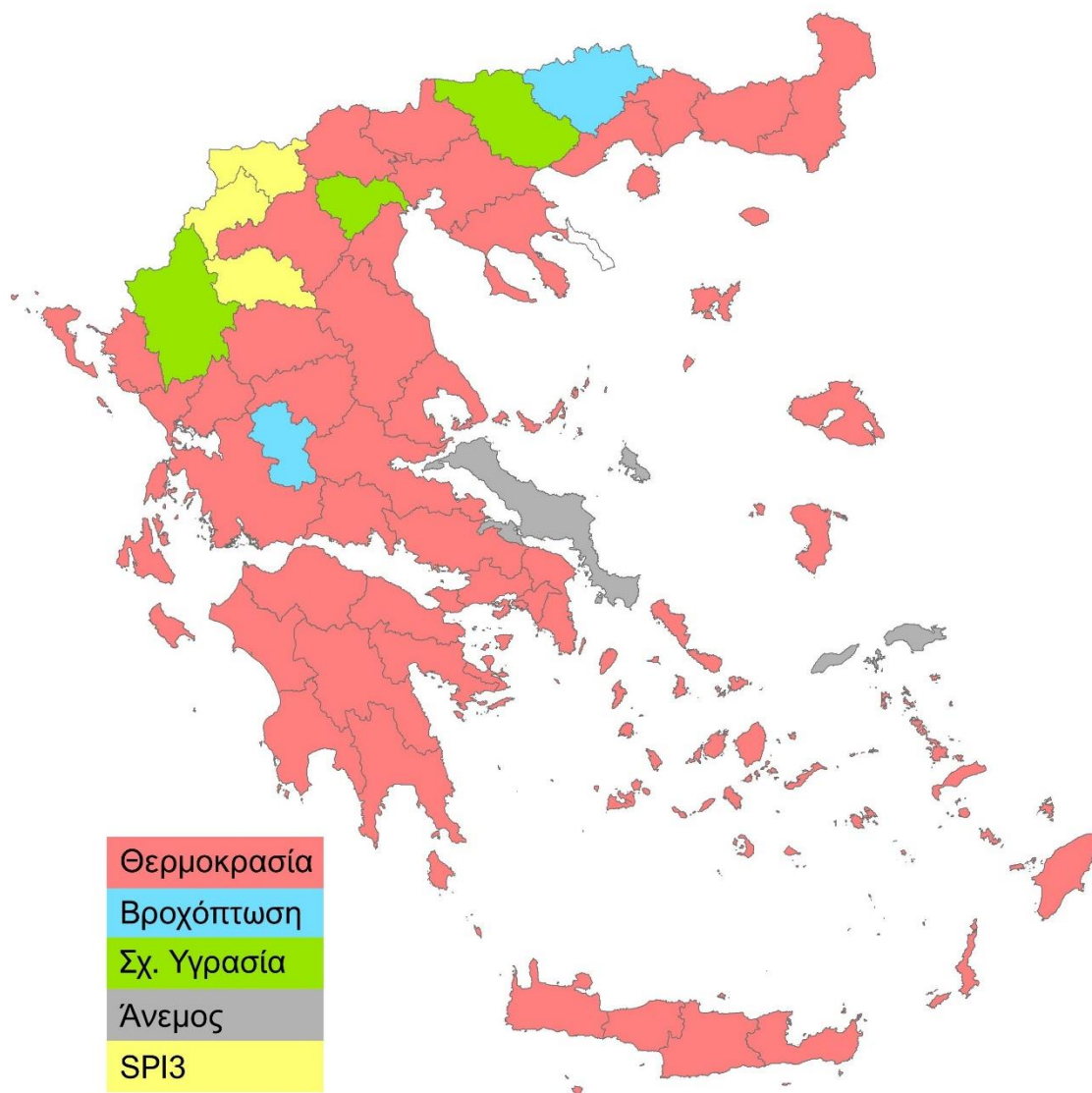
Ραβδόγραμμα 9 Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Ανέμου



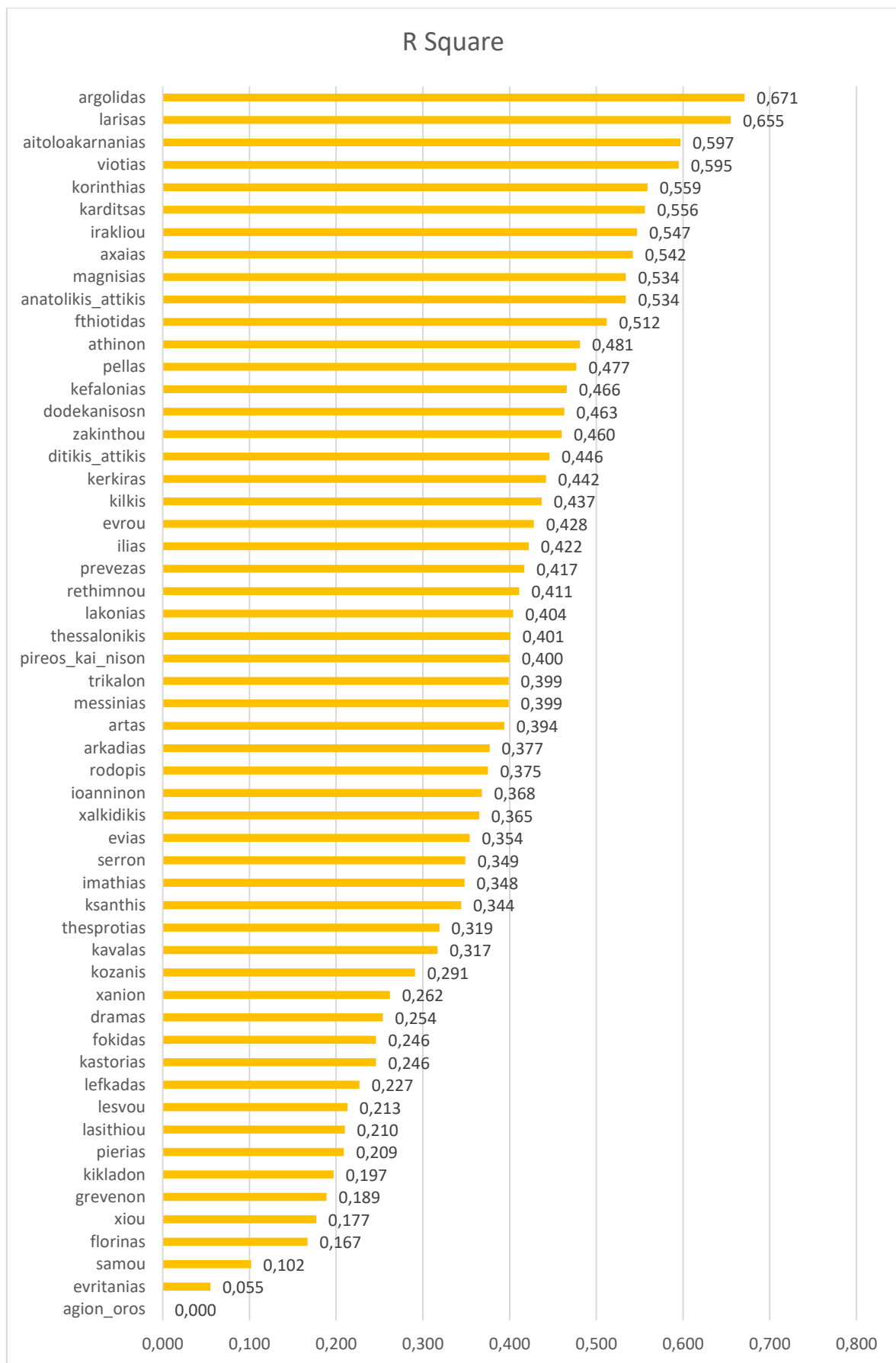
Χάρτης 7 Κανονικοποιημένος Συντελεστής beta Δείκτη Ξηρασίας (SPI3)



Ραβδόγραμμα 10 Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Δείκτη Ξηρασίας (SPI3)



Χάρτης 8 Συγκεντρωτικός Χάρτης Επικρατέστερων Υδρο-Μετεωρολογικών Συντελεστών της Ελλάδας



Ραβδόγραμμα 11 Συντελεστές Προσδιορισμού (R square)

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### Στατιστική Ανάλυση Καμένων Εκτάσεων

Όσον αφορά το σύνολο το περιστατικών παρατηρούμε από το ραβδόγραμμα 1 (Σύνολο Περιστατικών ανά Νομό), πως υπάρχει μια κλιμακωτή αύξηση των περιστατικών με ελάχιστη αυτή του Άγιου Όρους και μέγιστη του νομού Λάρισας.

Κατάταξη Περιστατικών							
Μέγιστες				Ελάχιστες			
Νομός	(-)	Type	R <sup>2</sup>	Νομός	(-)	Type	R <sup>2</sup>
Νομός Λάρισας	12.451	TEMP	0,655	Άγιον Όρος	60	-	-
Νομός Ηλείας	12.286	TEMP	0,417	Νομός Ευρυτανίας	485	PREC	0,055
Νομός Αιτωλ/νίας	9.943	TEMP	0,522	Νομός Αθηνών	571	TEMP	0,481
Νομός Αχαΐας	9.756	TEMP	0,452	Νομός Δυτ. Αττικής	988	TEMP	0,446
Νομός Μεσσηνίας	9.509	TEMP	0,399	Νομός Φωκίδος	1.096	TEMP	0,339

Πίνακας 10 Κατάταξη Μέγιστων και Ελάχιστων Περιστατικών

Παρατηρούμε πως στην κατηγορία των μέγιστων περιστατικών, οι **γειτονικοί νομοί Ηλείας, Αιτωλοακαρνανίας, Αχαΐας και Μεσσηνίας**, έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό τη θερμοκρασία και ως επικρατέστερο παράγοντα συσχέτισης με το σύνολο των καμένων εκτάσεων, με τιμές συντελεστή beta **0,417, 0,522, 0,459 και 0,357** αντίστοιχα. Όσον αφορά τα ελάχιστα περιστατικά δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός πως το Άγιον Όρος είναι στη χαμηλότερη θέση καθώς είναι τόπος θρησκευτικού χαρακτήρα μειωμένης κατοίκησης σε σχέση με την έκτασή της.

Στο ραβδόγραμμα 2 (Σύνολο Καμένης Έκτασης ανά Νομό) παρατηρούμε τεράστια διαφορά του νομού Ηλίας (μεγα-πυρκαγιές 2007) σε σχέση με τους υπόλοιπους νομούς.

Κατάταξη Καμένων Εκτάσεων							
Μέγιστες				Ελάχιστες			
Νομός	(στρ.)	Type	R <sup>2</sup>	Νομός	(στρ.)	Type	R <sup>2</sup>
Νομός Ηλείας	1.221.283	TEMP	0,422	Νομός Ευρυτανίας	4.249	PREC	0,055
Νομός Λάρισας	655.756	TEMP	0,655	Νομός Ημαθίας	14.064	RH	0,348
Νομός Εύβοιας	584.387	WIND	0,354	Νομός Πιερίας	15.714	TEMP	0,209
Νομός Λακωνίας	505.787	TEMP	0,404	Νομός Λευκάδος	18.273	TEMP	0,227
Νομός Φθιώτιδας	340.216	TEMP	0,512	Νομός Χαλκιδικής	24.442	TEMP	0,365

Πίνακας 11 Κατάταξη Μέγιστων και Ελάχιστων Καμένων Εκτάσεων

Σημαντική παρατήρηση είναι πως και στους 5 πρώτους νομούς της κατάταξης (Πίνακας 11), υπάρχει ως κοινό χαρακτηριστικό ο παράγοντας της θερμοκρασίας, πλην της Εύβοιας, που έχει ως επικρατέστερη αυτή του ανέμου, με τιμή συντελεστή beta **0,274**. Στον αντίποδα, ο νομός Ευρυτανίας κατέχει την τελευταία θέση με **4.249** στρέμματα καμένων εκτάσεων και με επικρατέστερο μετεο-παράγοντα την βροχόπτωση με τιμή **-0,235**. Από το ραβδόγραμμα 3 (Ποσοστό Καμένης Έκτασης ανά Έκταση Νομού) τα αποτελέσματα μέγιστων και ελάχιστων φαίνονται στον πίνακα 12.



Κατάταξη Ποσοστού Καμένης Έκτασης ανά Έκταση Νομού							
Μέγιστες				Ελάχιστες			
Νομός	(%)	Type	R <sup>2</sup>	Νομός	(%)	Type	R <sup>2</sup>
Νομός Ηλείας	46,45	TEMP	0,422	Νομός Ευρυτανίας	0,23	PREC	0,055
Νομός Σάμου	24,86	WIND	0,102	Νομός Ημαθίας	0,83	RH	0,266
Νομός Ζακύνθου	23,16	TEMP	0,460	Νομός Χαλκιδικής	0,84	TEMP	0,365
Νομός Χίου	20,04	TEMP	0,177	Νομός Πιερίας	1,04	TEMP	0,209
Νομός Αν. Αττικής	18,83	TEMP	0,534	Νομός Φωκίδος	1,28	TEMP	0,246

Πίνακας 12 Κατάταξη Μέγιστων και Ελάχιστων Ποσοστών Καμένων Εκτάσεων ανά Έκταση Νομών

Στην πρώτη θέση αναμενόμενος ο Νομός Ηλείας και πάλι λόγω των μεγα-πυρκαγιών του 2007. Το ποσοστό του **46,45%** (περίπου 50% του νομού) έχει υποστεί καταστροφές από τις πυρκαγιές. Ασφαλώς μέσα στο πέρασμα των ετών υπάρχει η αναγέννηση της βλάστησης, όμως το ποσό αυτό σηματοδοτεί τη μερική καταστροφή που υπέστη η Ηλεία και οι κάτοικοί της. Στην κατώτατη θέση και πάλι ο νομός Ευρυτανίας με ποσοστό **0,23%** λόγω της μικρής ποσότητας καμένης έκτασης.

Στο ραβδόγραμμα 4 (Σύνολο Καμένης Έκτασης ανά Έτος) παρατηρούμε τις μεγάλες καταστροφές που επλήγησαν τη χώρα κατά τα Έτη 2000, 2007, 2009, 2012 και 2016. Ως μέγα καταστροφικό έτος θεωρείται το **2007**, και οι μεγα-πυρκαγιές των νομών **Ηλείας, Αχαΐας, Λακωνίας, Αργολίδας, Κορινθίας, Ανατολικής Αττικής, Εύβοιας και Φθιώτιδας**.

Το καλοκαίρι του 2007, μια σειρά από δασικές πυρκαγιές είχαν ως αποτέλεσμα να χάσουν την ζωή τους **84 άνθρωποι** και να καούν **1.500 σπίτια** και το ύψος των καμένων εκτάσεων ανήρθε στα **2.644.222 στρέμματα** καμένων εκτάσεων γης σύμφωνα πάντα με τα επίσημα δεδομένα του Πυροσβεστικού Σώματος της Ελλάδας. Η κατάταξη των μέγιστων και ελάχιστων ετών δίνονται στον πίνακα 13.

Κατάταξη Συνολικής Καμένης Έκτασης ανά Έτος			
Μέγιστες (στρ.)		Ελάχιστες (στρ.)	
2007	2.644.222	2002	81.822
2000	1.559.851	2003	84.767
2012	500.406	2005	88.734
2009	450.746	2004	134.567
2001	428.254	2010	152.303

Πίνακας 13 Κατάταξη Συνολικής Καμένης Έκτασης ανά Έτος

Από το ραβδόγραμμα 5 (Σύνολο Καμένης Έκτασης ανά Μήνα) παρατηρούμε πως κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου (1<sup>η</sup> Μαΐου – 31<sup>η</sup> Οκτωβρίου) υπάρχει κλιμακωτή αύξηση των καμένων εκτάσεων με την κορύφωση να λαμβάνει χώρα τους μήνες **Ιούλιο** και **Αύγουστο** με συνολική καμένη έκταση να ανέρχεται στα **2.565.611** και **3.998.958** στρέμματα καμένης έκτασης. Επίσης, αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι πως κατά τη φθίνουσα πορεία των καμένων εκτάσεων, εκτός της αντιπυρικής περιόδου, υπάρχει μια αυξητική τάση κατά τους μήνες Φεβρουάριο έως και Απρίλιο. Πιθανό αίτιο αυτής, η παράνομη καύση αγροτικών υπολειμμάτων από ιδιώτες παραγωγούς, για το ξεκίνημα νέων καλλιεργειών.

## Στατιστική Ανάλυση Υδρο-Μετεωρολογικών Παραμέτρων

Σύμφωνα με το διάγραμμα 1 (Τάση βροχόπτωσης περιόδου 2000-2020) υπάρχει μια μέση τιμή **66,18mm** βροχής και μια μικρή ανοδική τάση στην ποσότητα της βροχόπτωσης της τάξης του **0,0333 mm/μήνα**, με ακραία φαινόμενα βροχοπτώσεων αλλά και ανομβρίας αντίστοιχα. Στον πίνακα 14 δίνονται οι μέγιστες και ελάχιστες βροχοπτώσεις σύμφωνα με το ERA5-land.

Κατάταξη Μέσης Μηνιαίας Βροχόπτωσης Επικράτειας Περιόδου 2000-2020			
Μέγιστη (mm)		Ελάχιστη (mm)	
12/2002	209,39	07/2007	2,76
01/2019	192,70	08/2013	4,24
10/2010	182,03	07/2012	4,72
02/2018	175,84	08/2010	5,24
12/2001	167,10	07/2011	5,95

Πίνακας 14 Κατάταξη Μέσης Βροχόπτωσης Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

Από τα αποτελέσματα του άνωθεν πίνακα, παρατηρούμε πως στις μέγιστες τιμές υπήρξαν δύο συνεχόμενα έτη, αυτά του '18 και '19, δίνοντας ανησυχία στους ειδικούς όσο και στους πολίτες, ιδιαιτέρως στους παραγωγούς και στην πολιτική προστασία. Από την άλλη, όσον αφορά τις ελάχιστες μηνιαίες καταγραφές, το έτος 2007, και μάλιστα τον μήνα Ιούλιο όπου ήταν και ο μήνας εκδήλωσης των τεράστιων καταστροφών από πυρκαγιές στην Ελλάδα, καταγράφηκε η ελάχιστη μέση μηνιαία βροχόπτωση με τιμή **2,76mm**.

Από το διάγραμμα 2 (Τάση Θερμοκρασίας Περιόδου 2000-2020) βλέπουμε την αυξητική τάση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας με τιμή **0,007°C/μήνα** και μέση τιμή τους **14,56 °C**. Οι μέγιστες και ελάχιστες καταγραφές δίνονται στον πίνακα 15.

Κατάταξη Μέσης Μηνιαίας Θερμοκρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020			
Μέγιστη (°C)		Ελάχιστη (°C)	
07/2012	26,75	02/2003	1,84
08/2010	25,86	01/2000	2,12
07/2007	25,68	01/2017	2,15
08/2012	25,62	12/2001	2,35
08/2019	25,42	01/2012	2,68

Πίνακας 15 Κατάταξη Μέσης Μηνιαίας Θερμοκρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

Στην κλάση των μέγιστων θερμοκρασιών, οι τιμές για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο θεωρούνται αναμενόμενες. Ο Ιούλιος του 2012 καταλαμβάνει τη μέγιστη τιμή, όπου σύμφωνα με τη Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) των Η.Π.Α., υπήρξε ο πιο θερμός μήνας των τελευταίων χρόνων. Στην ξηρά, η μέση θερμοκρασία ήταν υψηλότερη κατά **0,92°C** από το μέσο παγκόσμιο όρο του αιώνα που πέρασε με το βόρειο ημισφαίριο να ήταν κατά **1,19°C** άνω του μέσου όρου.

Από το διάγραμμα 3 (Τάση Σχετικής Υγρασίας Περιόδου 2000-2020) εξάγεται η πτωτική τάση στη τιμή της μέσης μηνιαίας σχετικής ατμοσφαιρικής υγρασίας, για την περίοδο 2000-2020 της τάξης του **0,0036%/μήνα** με μέση μηνιαία τιμή **67,72%**. Ακολουθεί ο πίνακας 16 με τις μέγιστες και ελάχιστες παρατηρήσεις.

Κατάταξη Μέσης Μηνιαίας Σχετικής Υγρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020			
Μέγιστη (%)		Ελάχιστη (%)	
01/2009	82,35	07/2007	25,68
12/2009	82,24	07/2012	26,75
01/2001	81,98	08/2017	25,04
01/2014	81,87	08/2013	25,10
11/2019	81,59	08/2012	25,62

Πίνακας 16 Κατάταξη Μέσης Μηνιαίας Σχετικής Υγρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

Ιδιαίτερη παρατήρηση ως προς τις μέγιστες καταγραφές δεν υπάρχει, καθώς είναι απολύτως φυσιολογικό αυτές να σημειώνονται κατά τους μήνες Νοέμβριο έως και Φεβρουάριο. Αντιθέτως, σημαντική παρατήρηση έχει να προστεθεί για τις ελάχιστες καταγραφές και μάλιστα για τη χαμηλότερη, τον Ιούλιο του 2007 όπου και σημειώθηκε η μεγαλύτερη οικολογική καταστροφή από τις αγροτοδοασικές πυρκαγιές.

Σύμφωνα με το διάγραμμα 4 (Τάση Ταχύτητας Αέρα Περιόδου 2000-2020) υπάρχει μια μικρή αύξηση στην μέση μηνιαία τιμή της ταχύτητας του ανέμου της τάξης του **0,00045m/s/μήνα** με μια μέση τιμή τα **0,99m/s**. Ο πίνακας 17 δίνει τις τιμές των μέγιστων και ελάχιστων αντίστοιχα.

Κατάταξη Μέσης Μηνιαίας Ταχύτητας Ανέμου Επικράτειας Περιόδου 2000-2020			
Μέγιστη (m/s)		Ελάχιστη (m/s)	
12/2016	1,87	04/2019	0,48
07/2006	1,84	04/2017	0,51
11/2011	1,82	04/2000	0,51
08/2017	1,73	10/2009	0,52
07/2013	1,70	05/2007	0,53

Πίνακας 17 Κατάταξη Μέσης Μηνιαίας Ταχύτητας Ανέμου Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

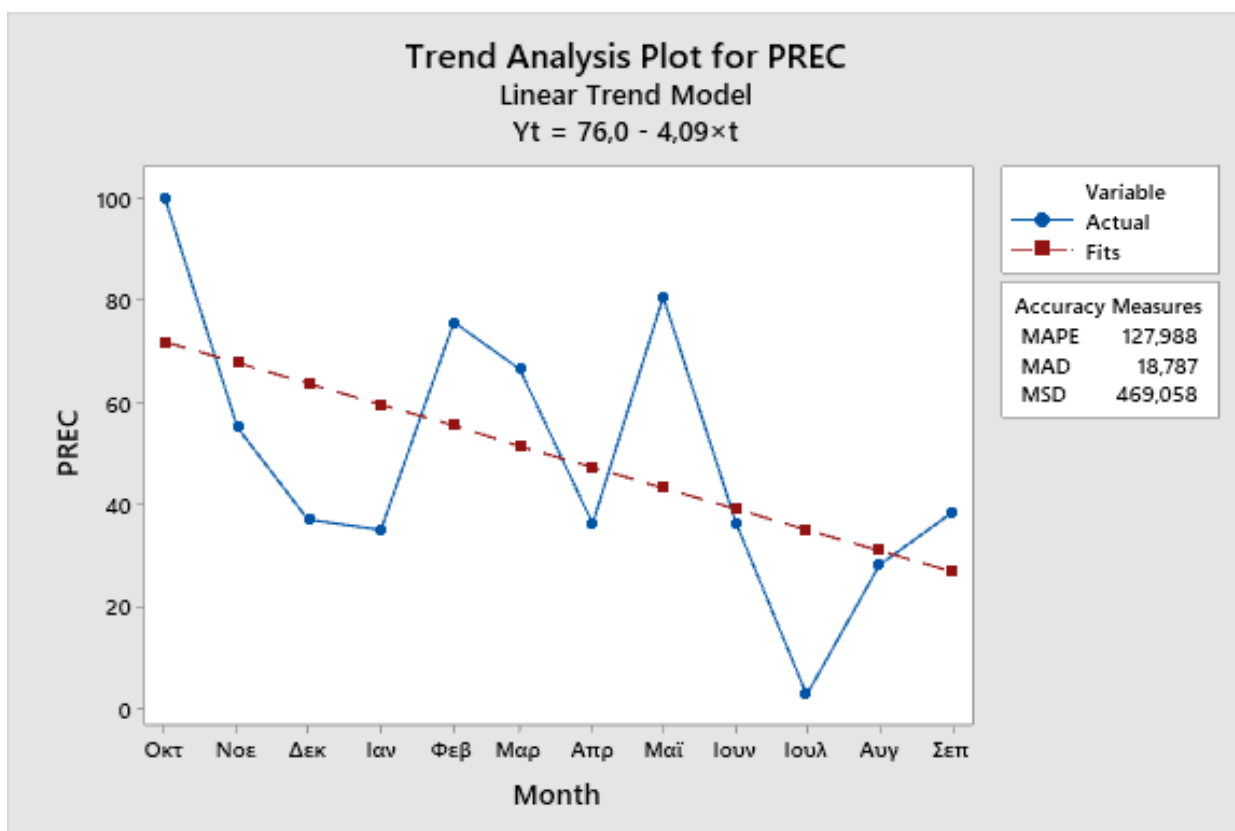
Για τις μέγιστες αναφορές, δε φαίνεται να συνδέονται με ακραία περιστατικά με τις αντίστοιχες ημερομηνίες. Όπως προαναφέρθηκε και εισαγωγικά (σελ. 16), ο άνεμος θεωρείται παράγοντας επιτόπιας επήρειας κατά την εκδήλωση των πυρκαγιών και όχι έμμεσος παράγοντας, επομένως οι ριπές ανέμου είναι εκείνες που έχουν άμεση σχέση με κάποιο συμβάν και όχι η μέση τιμή αυτού.

Όσον αφορά την τελευταία παράμετρο, το διάγραμμα 5 (Τάση Δείκτη Ξηρασίας (SPI3) Περιόδου 2000-2020) μας δίνει μια ανοδική τάση της τάξης του **0,0033/έτος** και μέση τιμή **0,00**. Η κατάταξη των ξηρότερων και υγρότερων μηνών δίνεται στον πίνακα 18.

Κατάταξη Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Επικράτειας Περιόδου 2000-2020			
Ξηρότερος (-)		Υγρότερος (-)	
01/2007	-2,79	07/2018	3,04
05/2000	-2,28	08/2018	2,62
08/2012	-2,08	09/2002	2,23
11/2011	-2,02	11/2010	2,03
10/2001	-1,98	02/2003	1,71

Πίνακας 18 Κατάταξη Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

Παρατηρούμε πως η χρονοσειρά των βροχοπτώσεων δίνει ως ξηρότερη περίοδο τον Ιανουάριο του 2007 με τιμή **-2,79**. Αν παρατηρήσουμε το διάγραμμα 9 (Χρονοσειρά Υδρολογικού Έτους 2007 Επικράτειας) βλέπουμε τον μήνα Ιανουάριο να υπάρχει μια τιμή μέσης βροχόπτωσης **35,08mm** μικρότερης ακόμα και από τον μήνα Ιούνιο με μέση τιμή **36,38mm** δημιουργώντας έτσι μια ξηρή αντιπυρική περίοδο, ικανή να προκαλέσει την καταστροφή η οποία και υπέστη η χώρα. Από την άλλη, όσον αφορά τις υγρότερες περιόδους, τα έτη 2002, 2003, 2010 και 2018 παρατηρήθηκαν οι ελάχιστες ποσότητες καμένων εκτάσεων με τιμές **81.822**, **84.767**, **152.303** και **193.816** αντίστοιχα.



Διάγραμμα 9 Χρονοσειρά Υδρολογικού Έτους 2007 Επικράτειας

Επίσης, από το διάγραμμα 6 (*Τάση Καμένων Εκτάσεων υπό Λογαριθμική Κλίμακα Περιόδου 2000-2020*) εξάγουμε αυξητική τάση (0,001) της ποσότητας των καμένων εκτάσεων με μέση τιμή τα **35.239 στρέμματα** πάντα σύμφωνα με τα δεδομένα του Πυροσβεστικού Σώματος της Ελλάδας. Στον πίνακα 19 δίνονται οι ακόλουθες κατατάξεις.

Κατάταξη Καμένων Εκτάσεων Επικράτειας Περιόδου 2000-2020			
Μέγιστες (στρ.)		Ελάχιστες (στρ.)	
08/2007	2.059.615	12/2002	10
07/2000	891.635	02/2000	54
07/2007	434.458	01/2003	90
08/2000	329.001	01/2004	174
08/2009	324.690	01/2009	240

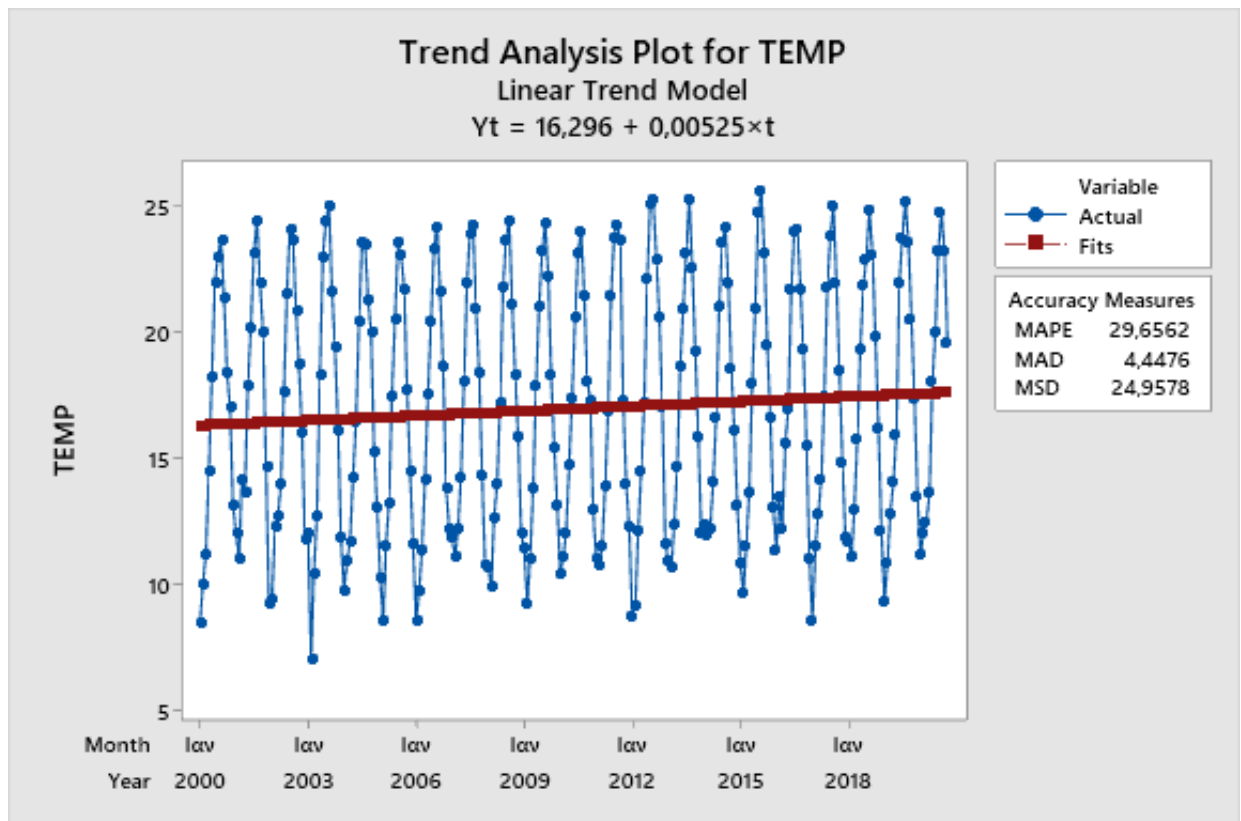
Πίνακας 19 Κατάταξη Καμένων Εκτάσεων Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

Ακόμα, από το διάγραμμα 7 (*Τάση περιστατικών Περιόδου 2000-2020*) είναι εμφανής η μειωτική τάση του αριθμού των περιστατικών στην επικράτεια, της τάξης του 0.736/μήνα με μια μέση τιμή ανά μήνα περίπου στις **848 κλήσεις** στο **199**. Σε αντιπαράθεση με την ποσότητα των πυρκαγιών δημιουργείται το διάγραμμα 8 (*Τάση Καμένων Εκτάσεων ανά Περιστατικά Περιόδου 2000-2020*), δίνοντας έτσι την αναλογία της καμένης έκτασης ανά περιστατικό και έχουμε την αυξητική τάση αυτής κατά **0,0006/μήνα** και μέση τιμή **23,7** καμένης έκτασης ανά περιστατικό. Δηλαδή, από την μειωτική τάση των περιστατικών και την αυξητική τάση των καμένων εκτάσεων, καταλαβαίνουμε πως η ραγδιαιότητα των πυρκαγιών είναι εντονότερη ανά έτος, και η ταχύτητα εξάπλωσης ακόμα γρηγορότερη, κάνοντας έτσι το φυσικό φαινόμενων των πυρκαγιών ένα πρόβλημα υψίστης σημασίας για την επόμενη δεκαετία. Μέσω του ραβδογράμματος 6 (*Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta θερμοκρασίας*) παρατηρούμε πως για το **96,3%** των Νομών (εξαιρουμένου του Αγίου Όρους), δηλαδή 52/54 νομούς της επικράτειας, σημαντικότερος παράγοντας/μεταβλητή στο μέγεθος της καμένης έκτασης είναι η θερμοκρασία. Τα ακρότατα αυτών δίνονται στον πίνακα 20.

Κατάταξη Συντελεστών επί της Θερμοκρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020							
Μέγιστα				Ελάχιστα			
Νομός	beta	B	R <sup>2</sup>	Νομός	beta	B	R <sup>2</sup>
Κεφαλονιάς	0,809	0,183	0,466	Δράμας	0,145	0,020	0,254
Βοιωτίας	0,726	0,125	0,595	Σερρών	0,162	0,017	0,349
Λάρισας	0,714	0,127	0,655	Φλώρινας	0,170	0,027	0,167
Ηρακλείου	0,712	0,100	0,547	Σάμου	0,173	0,034	0,102
Αργολίδας	0,655	0,092	0,671	Ιωαννίνων	0,175	0,026	0,368

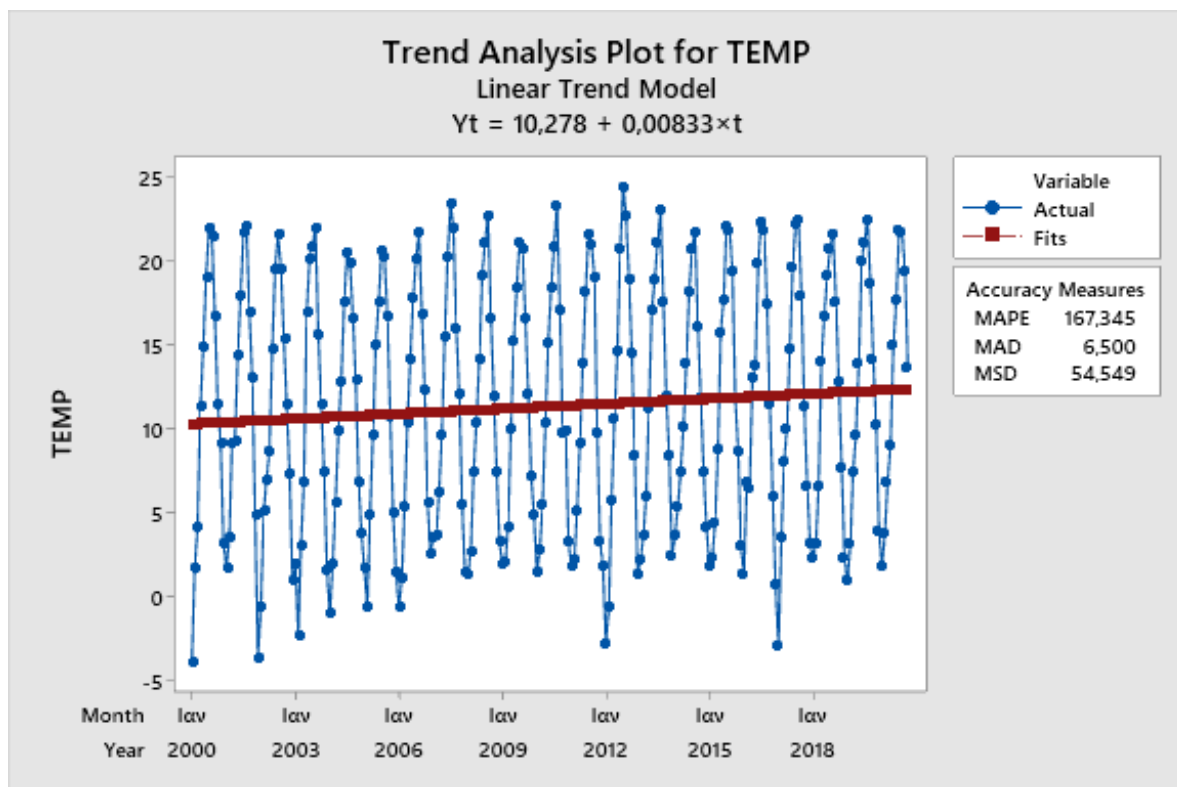
Πίνακας 20 Κατάταξη Συντελεστών beta, B και R<sup>2</sup> επί της Θερμοκρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

Την πρώτη θέση κατέχει η Κεφαλονιά με τιμή **0,809** και συντελεστή προσδιορισμού (R<sup>2</sup>) **0,466**, ένδειξη μέτριας (αρκετά καλής) συσχέτισης, καθώς σε προβλήματα πολλών μεταβλητών οι τιμές αυτών κυμαίνονται συνήθως από **0,45÷0,65**. Από τη στατιστική ανάλυση έχουμε πως η σταθερά B της θερμοκρασίας είναι **0,183**, πράγμα που σημαίνει πως για αυξητική μεταβολή 1°C έχουμε τον αντιλογαριθμο του 0,183, δηλαδή περίπου **1,52** στρέμματα επιπλέον καμένης έκτασης (με την προϋπόθεση ότι οι άλλες μεταβλητές παραμένουν σταθερές). Επίσης, η μέση μηνιαία θερμοκρασία για την περίοδο 2000-2020 είναι στους **16,95°C** με αυξητική τάση της τάξης του **0,005°C/μήνα**.



Διάγραμμα 10 Τάση Μέσης Μηνιαίας Θερμοκρασίας Νομού Κεφαλονιάς Περιόδου 2000-2020

Στην τελευταία θέση έχουμε το νομό Δράμας με τιμή **0,145** και συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2$ ) **0,254**. Λαμβάνοντας επίσης τον αντιλογάριθμο της σταθεράς **B** έχουμε **1,04** στρέμματα επιπλέον καμένης έκτασης. Για το νομό Δράμας η μέση μηνιαία θερμοκρασία είναι **11,32°C** με αύξηση **0,00833°C/μήνα**.



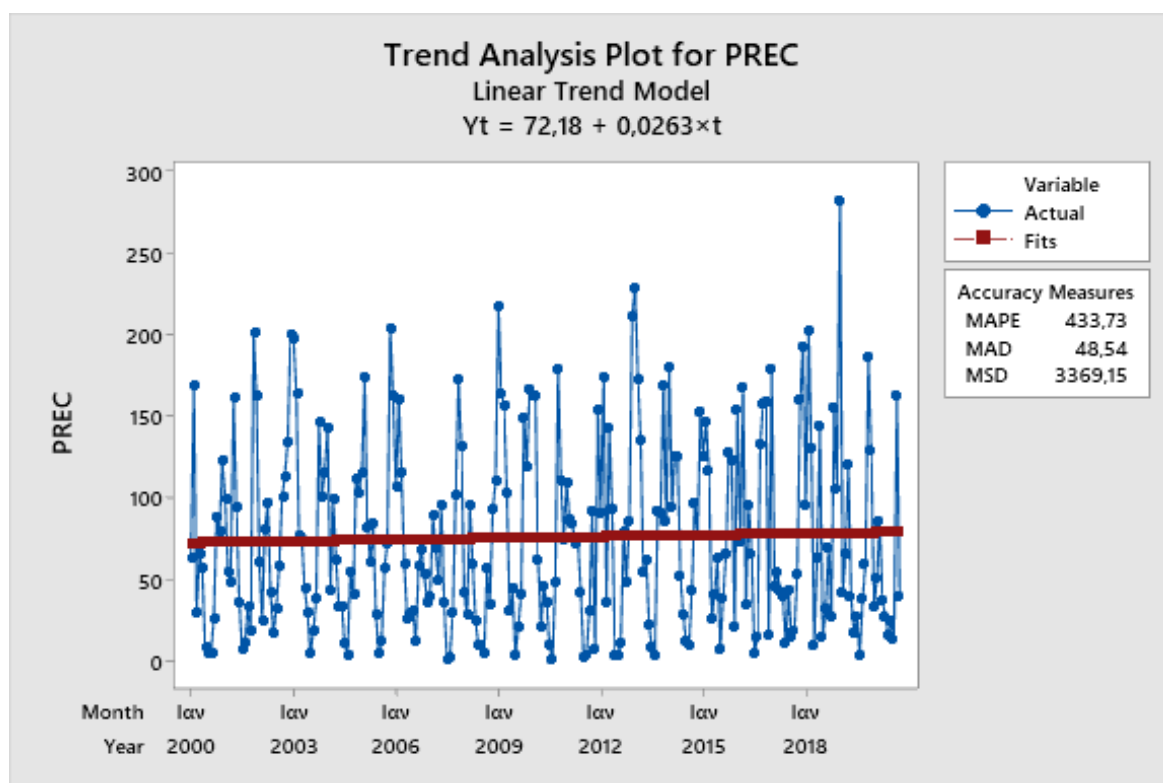
Διάγραμμα 11 Τάση Μέσης Μηνιαίας Θερμοκρασίας Νομού Δράμας Περιόδου 2000-2020

Όσον αφορά την βροχόπτωση (*prec*), από το ραβδόγραμμα 7 (*Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Βροχόπτωσης*), στους 21/54 νομούς (**38,9%**) της επικράτειας, η βροχόπτωση φαίνεται να είναι σημαντικότερος παράγοντας στην ποσότητα των καμένων εκτάσεων της υπό μελέτης περιόδου, η κατάταξη των οποίων δίνεται στον πίνακα 21.

Κατάταξη Συντελεστών επί της Βροχόπτωσης Επικράτειας Περιόδου 2000-2020							
Μέγιστα				Ελάχιστα			
Νομός	beta	B	R <sup>2</sup>	Νομός	beta	B	R <sup>2</sup>
Ηλείας	-0,308	-0,004	0,422	Θεσπρωτίας	-0,094	-0,001	0,319
Κορινθίας	-0,274	-0,007	0,559	Καβάλας	-0,101	-0,002	0,317
Κοζάνης	-0,273	-0,009	0,291	Αιτωλοακαρνανίας	-0,145	-0,002	0,597
Ζακύνθου	-0,253	-0,004	0,460	Δωδεκανήσων	-0,149	-0,003	0,463
Ευρυτανίας	-0,235	-0,006	0,055	Αχαΐας	-0,166	-0,003	0,542

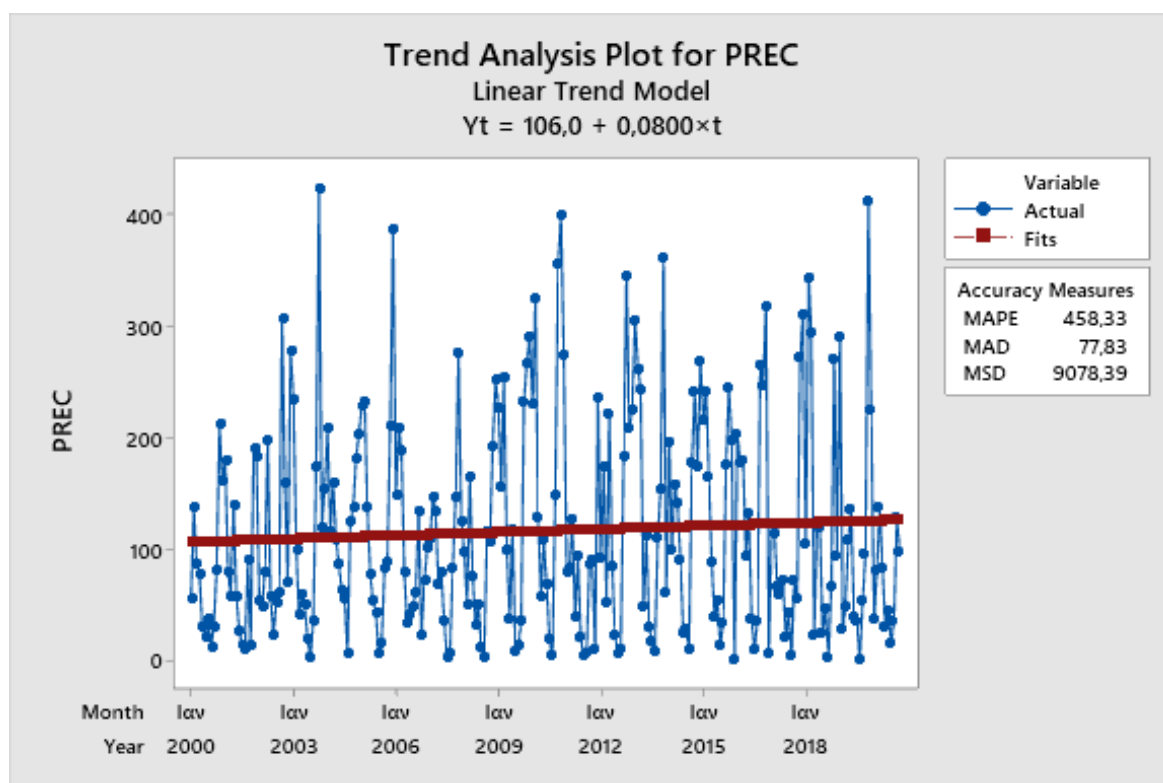
Πίνακας 21 Κατάταξη Συντελεστών επί της Βροχόπτωσης Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

Επικρατέστερος νομός δείχνει να είναι η Ηλεία, με συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2$ ) **0,422**, συντελεστή *beta* ίσο με **-0,308** και σταθερά **B -0,004**, δηλαδή **1,01** στρέμματα λιγότερης καμένης έκτασης για μειωτική μεταβολή **1,00mm** βροχόπτωσης. Ακόμα, λαμβάνουμε πληροφορίες όπως για τη μέση μηνιαία βροχόπτωση με τιμή **75,48mm** και τάση αύξησης αυτής κατά **0,0026mm/μήνα**.



Διάγραμμα 12 Τάση Μέσης Μηνιαίας Βροχόπτωσης Νομού Ηλείας Περιόδου 2000-2020

Από την άλλη, στην τελευταία θέση βλέπουμε το νομό Θεσπρωτίας, με συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2$ ) **0,319**, συντελεστή *beta* ίσο με **-0,094** και σταθερά **B -0,001**, δηλαδή **1,00** στρέμματα λιγότερης καμένης έκτασης για μειωτική μεταβολή **1,00mm** βροχόπτωσης, με μέση μηνιαία τιμή στα **116,06mm** και αυξητική τάση **8,00%**.



Διάγραμμα 13 Τάση Μέσης Μηνιαίας Βροχόπτωσης Νομού Θεσπρωτίας Περιόδου 2000-2020

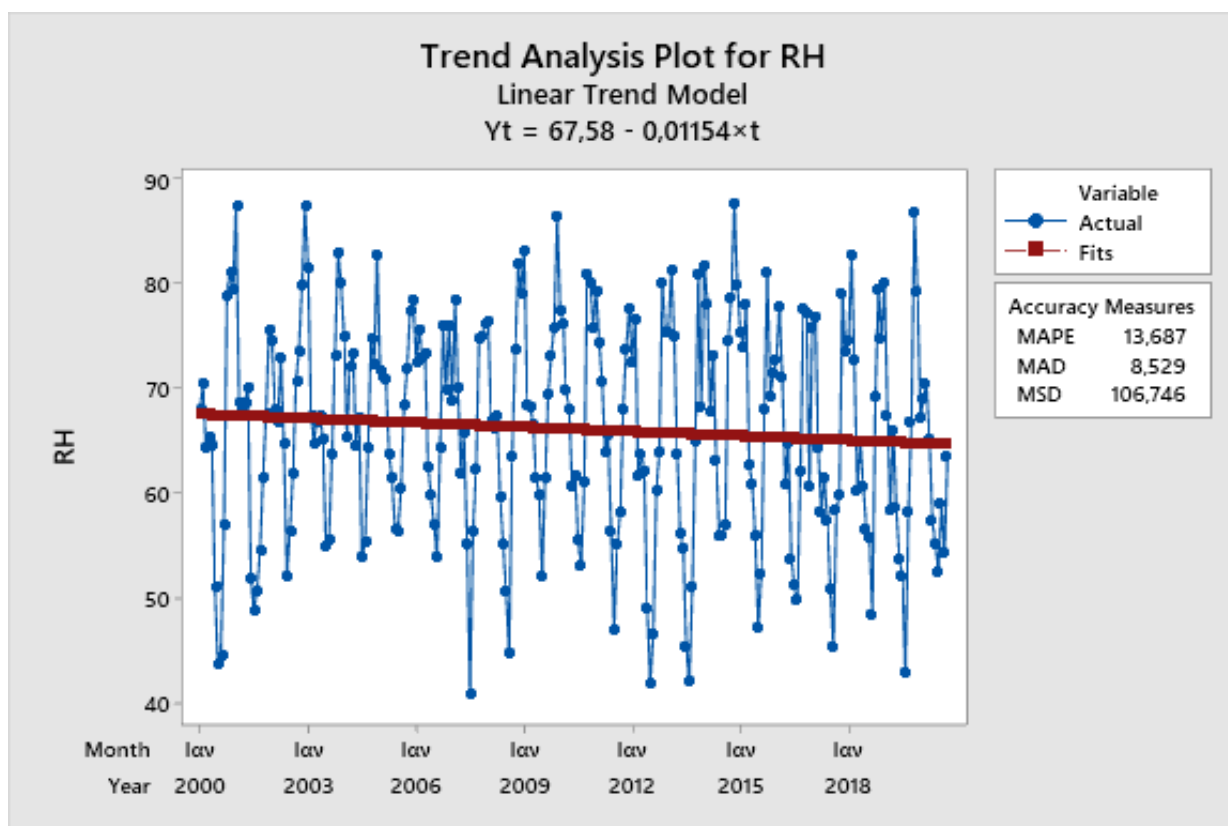


Σειρά έχει η σχετική υγρασία, με τη συσχέτιση της σπουδαιότητάς της αναφορικά με την καμένη έκταση να αφορά το **66,7%** (36/54) των νομών, τα αποτελέσματα των οποίων δίνονται στο ραβδόγραμμα 8 (*Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Σχετικής Υγρασίας*) και η κατάταξη αυτών δίνεται στον πίνακα 22.

Κατάταξη Συντελεστών επί της Σχετικής Υγρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020							
Μέγιστα				Ελάχιστα			
Νομός	beta	B	R <sup>2</sup>	Νομός	beta	B	R <sup>2</sup>
Ιωαννίνων	-0,395	-0,039	0,368	Μαγνησίας	-0,121	-0,012	0,534
Κεφαλονιάς	-0,378	-0,059	0,466	Ξάνθης	-0,127	-0,018	0,344
Κιλκίς	-0,338	-0,039	0,437	Λάρισας	-0,131	-0,015	0,655
Δυτικής Αττικής	-0,304	-0,033	0,446	Καρδίτσας	-0,132	-0,017	0,556
Πειραιώς & Νήσων	-0,302	-0,041	0,400	Λέσβου	-0,135	-0,013	0,213

Πίνακας 22 Κατάταξη Συντελεστών επί της Σχετικής Υγρασίας Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

Παρατηρούμε πως αν και ο νομός Ιωαννίνων δείχνει να έχει τον επικρατέστερο συντελεστή *beta*, δεν δείχνει όμως να έχει και τόσο ισχυρό συντελεστή προσδιορισμού (R<sup>2</sup>) όσο ο αμέσως επόμενος (νομός Κεφαλονιάς) με τιμές **0,68** και **0,466** αντίστοιχα. Η τιμή αυτού (νομός Ιωαννίνων) δίνει μειωτική ποσότητα καμένης έκτασης για 1% μεταβολή της σχετικής υγρασίας ίση με **1,09** στρέμματα λιγότερα, ενώ του νομού Κεφαλονιάς δίνει **1,15** στρέμματα, διαφορά της τάξης του **0,011% ανά μήνα**.



Διάγραμμα 14 Τάση Μέσης Μηνιαίας Σχετικής Υγρασίας Νομού Ιωαννίνων Περιόδου 2000-2020

Ο νομός Μαγνησίας, κατέχοντας τη χαμηλότερη θέση με τιμή **-0,121** και σταθερά **B -0,012**, αποδίδει **1,03** στρέμματα λιγότερης καμένης έκτασης. Μια εποπτική εικόνα δίνεται στον χάρτη 5 (*Εξαρτώμενοι Νομοί Σχετικής Υγρασίας Σύμφωνα με Συντελεστές beta*).

Έπειτα ακολουθεί ο παράγοντας του ανέμου, ο οποίος στο **33,3%** των νομών φαίνεται να εμφανίζει κάποια συσχέτιση (*18/54 των νομών*), τα αποτελέσματα του οποίου δίνονται στο ραβδόγραμμα 9 (*Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Ανέμου*) και παρουσιάζεται η κατάταξη αυτών στον πίνακα 23.

Κατάταξη Συντελεστών επί του Ανέμου Επικράτειας Περιόδου 2000-2020							
Μέγιστα				Ελάχιστα			
Νομός	beta	B	R <sup>2</sup>	Νομός	beta	B	R <sup>2</sup>
Εύβοιας	0,274	0,324	0,354	Φθιώτιδας	0,104	0,504	0,512
Κιλκίς	0,272	0,916	0,437	Τρικάλων	0,121	0,604	0,399
Πέλλας	0,252	0,878	0,477	Αργολίδας	0,122	0,313	0,671
Ιωαννίνων	0,252	1,406	0,368	Μεσσηνίας	0,126	0,189	0,399
Ξάνθης	0,236	0,582	0,344	Λέσβου	0,139	0,086	0,213

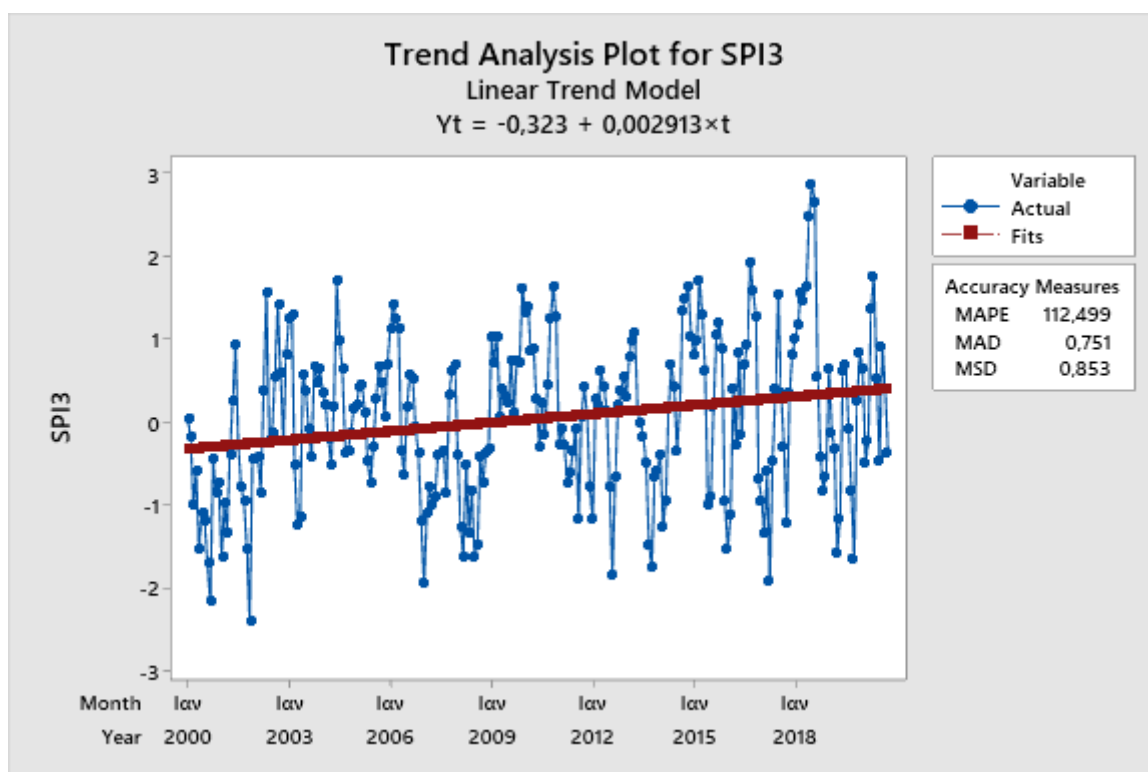
Πίνακας 23 Κατάταξη Συντελεστών επί του Ανέμου Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

Την πρώτη θέση κατέχει ο νομός Εύβοιας, με τιμή που ανέρχεται σε **0.274** και σταθερά B ίση με **0,324**, δηλαδή **2,11** στρέμματα επιπλέον καμένης έκτασης για μεταβολή ταχύτητας ανέμου ίση με **1m/s**. Βέβαια, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, πως στη δεύτερη θέση βρίσκεται το Κιλκίς με σχετικά ισότιμο συντελεστή *beta* (0,272) αλλά ισχυρότερο συντελεστή προσδιορισμού (0,437) και απόδοσης **8,16** στρέμματα επιπλέον καμένης αγροτοδοσικής γης. Στην κατώτερη θέση βρίσκεται ο νομός Φθιώτιδας με τιμή **0,104** και εκτιμώμενη καμένης έκταση γης τα **3,19** στρέμματα. Ο χάρτης 6 (*Εξαρτώμενοι Νομοί Μέσω Ανέμου Σύμφωνα με Συντελεστές beta*) δίνει την εικόνα της κατάστασης. Στο **81.5%** των νομών (44/54) η καμένη έκταση φαίνεται να παρουσιάζει συσχέτιση με το δείκτη ξηρασίας SPI3, οι τιμές των οποίων εξάγονται από το ραβδόγραμμα 10 (*Κανονικοποιημένοι Συντελεστές beta Δείκτη Ξηρασίας (SPI3)*), και τα αποτελέσματα των οποίων δίνονται στον ακόλουθο πίνακα κατάταξης.

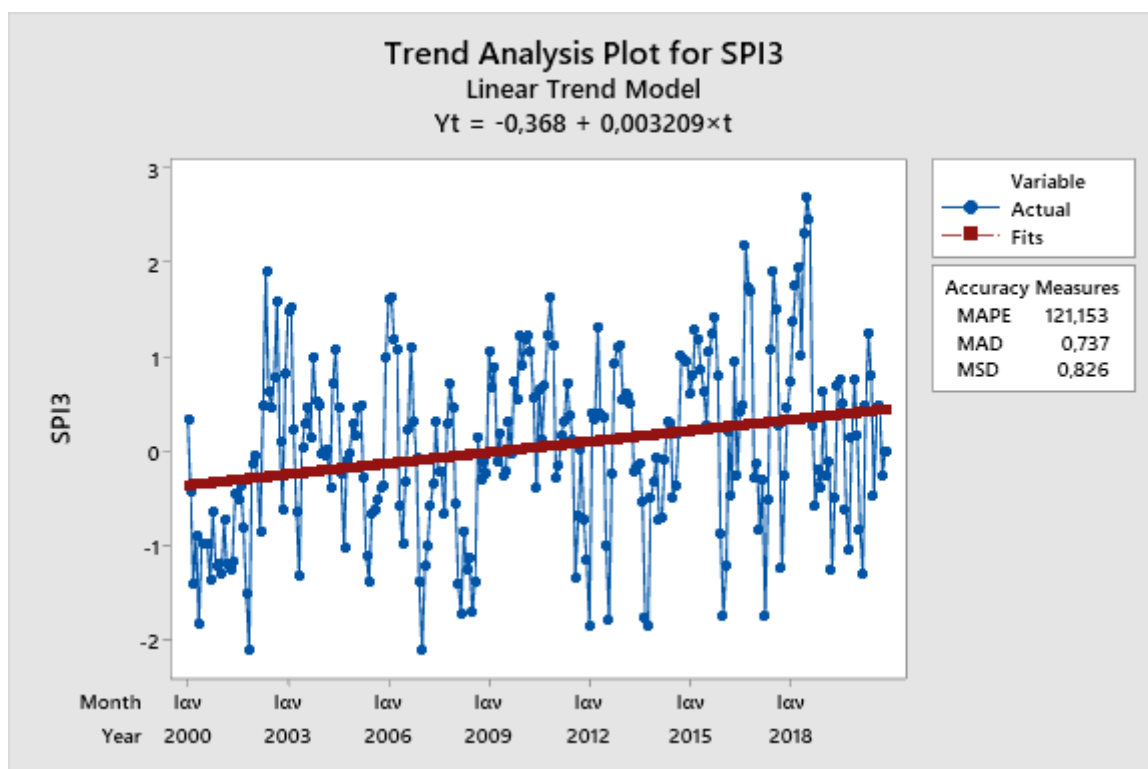
Κατάταξη Συντελεστών επί του Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Επικράτειας Περιόδου 2000-2020							
Μέγιστα				Ελάχιστα			
Νομός	beta	B	R <sup>2</sup>	Νομός	beta	B	R <sup>2</sup>
Φλώρινας	-0,378	-0,479	0,167	Βοιωτίας	-0,099	-0,127	0,595
Γρεβενών	-0,367	-0,406	0,189	Κυκλάδων	-0,119	-0,104	0,197
Ξάνθης	-0,343	-0,374	0,344	Λέσβου	-0,119	-0,108	0,213
Κιλκίς	-0,333	-0,349	0,437	Θεσσαλονίκης	-0,125	-0,138	0,401
Ιωαννίνων	-0,325	-0,378	0,368	Δωδεκανήσων	-0,128	0,146	0,463

Πίνακας 24 Κατάταξη Συντελεστών επί του Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

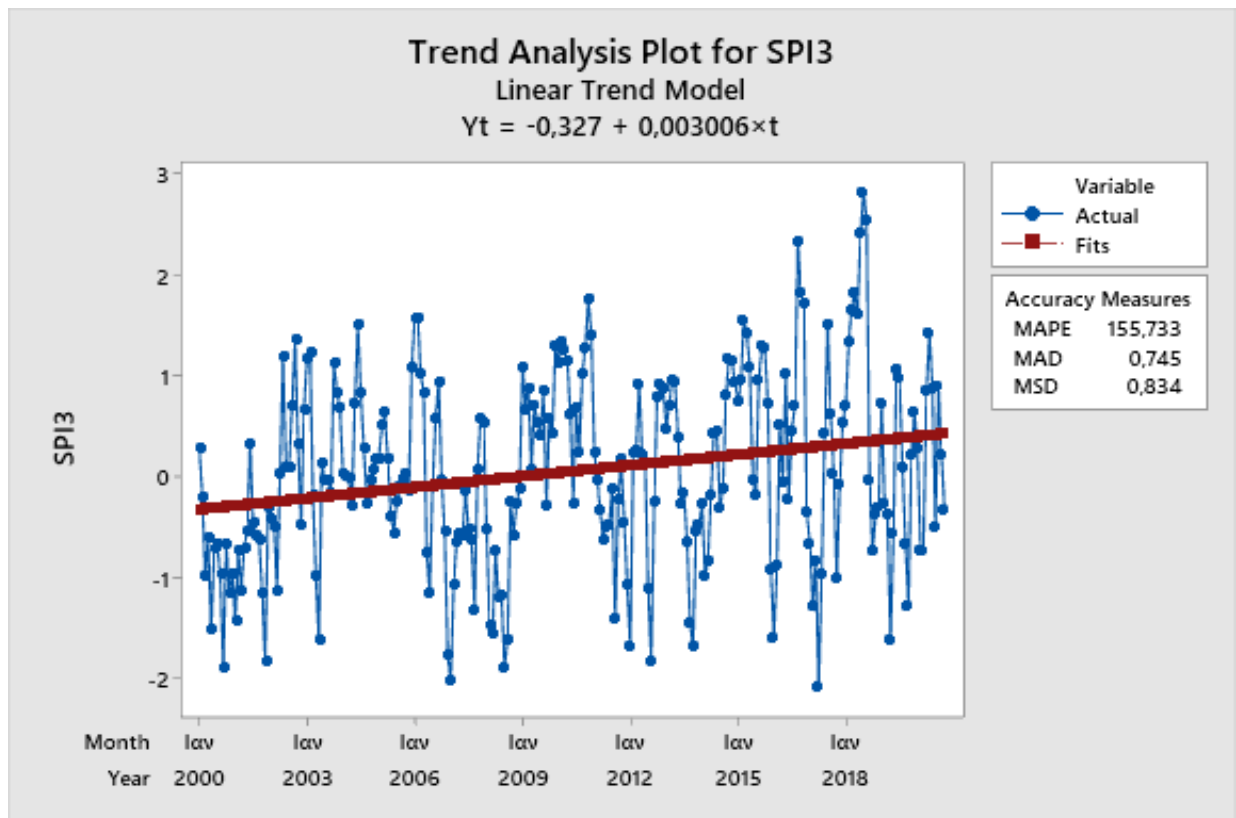
Άμεσα εξαχθέν είναι πως οι γειτονικοί νομοί Φλώρινας, Γρεβενών ακόμα και Καστοριάς που δεν είναι στις 5 μέγιστες παρατηρήσεις, (έχοντας ως επικρατέστερο παράγοντα τον δείκτη ξηρασίας, με τιμές *beta*, B και R<sup>2</sup> **-0,260**, **-0,302** και **0,246** αντίστοιχα), παρουσιάζουν ως κοινό χαρακτηριστικό την κανονική βροχόπτωση κατά McKee et al. (1993) μέσα από το πέρασμα της περιόδου 2000-2020. Οι τάσεις των δεικτών ξηρασίας δίνονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 15 Τάση Μέσης Μηνιαίας Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Νομού Φλώρινας Περίοδου 2000-2020



Διάγραμμα 16 Τάση Μέσης Μηνιαίας Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Νομού Γρεβενών Περίοδου 2000-2020



Διάγραμμα 17 Τάση Μέσης Μηνιαίας Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Νομού Καστοριάς Περιόδου 2000-2020

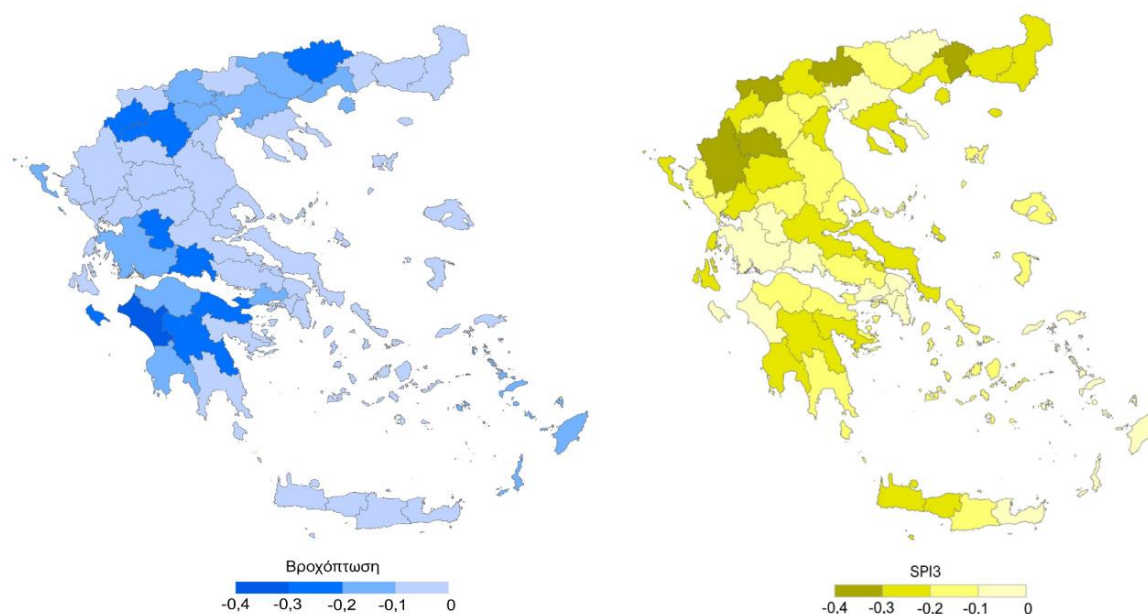
Στο διάγραμμα 15 (Τάση Μέσης Μηνιαίας Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Νομού Φλώρινας Περιόδου 2000-2020) με μέση τιμή **0,04** κατηγορίας επεισοδίου από τον πίνακα 2 (Κλίμακα Ταξινόμησης Δείκτη SPI κατά McKee et al. (1993)) **Κανονικές Βροχοπτώσεις** και αυξητική τάση **0,29%** αποδίδοντας **3,01 στρέμματα** λιγότερης καμένης έκτασης. Από την άλλη, στο διάγραμμα 16 (Τάση Μέσης Μηνιαίας Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Νομού Γρεβενών Περιόδου 2000-2020) ο νομός Γρεβενών βρίσκεται με μέση τιμή **0,04**, κατηγορίας επεισοδίου από τον πίνακα 2 (Κλίμακα Ταξινόμησης Δείκτη SPI κατά McKee et al. (1993)) **Κανονικές Βροχοπτώσεις** και αυξητική τάση **0,32%** και εκτιμώμενη **2,55 στρέμματα** λιγότερη έκταση. Τέλος, στο διάγραμμα 17 (Τάση Μέσης Μηνιαίας Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Νομού Καστοριάς Περιόδου 2000-2020) για την Καστοριά, με μέση τιμή **0,05** κατηγορίας επεισοδίου από τον πίνακα 2 (Κλίμακα Ταξινόμησης Δείκτη SPI κατά McKee et al. (1993)) **Κανονικές Βροχοπτώσεις** και αυξητική τάση **0,30%**, υπολογίζουμε λιγότερα από **2,00 στρέμματα** καμένης γης λόγω των υγρών καταστάσεων. Στον χάρτη 7 (Εξαρτώμενοι Νομοί Μέσω Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Σύμφωνα με Συντελεστές beta) δίνεται εποπτικά η κατάσταση επιρροής της

Εν κατακλείδι, στον χάρτη 8 (Συγκεντρωτικός Χάρτης Επικρατέστερων Υδρο-Μετεωρολογικών Συντελεστών της Ελλάδας) παρουσιάζονται τα επικρατέστερα υδρο-μετεωρολογικά αναφορικά με την καμένη έκταση, δίνοντας έτσι μια γενική εικόνα κοινών χαρακτηριστικών ανάμεσα σε γειτονικούς νομούς. Επίσης στο ραβδόγραμμα 11 (Συντελεστές Προσδιορισμού ( $R^2$  square)) παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών προσδιορισμού για τον εκάστοτε νομό κατά φθίνουσα κλίμακα.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βροχόπτωση είναι ο παράγοντας εκείνος ο οποίος θα τροφοδοτήσει την καύσιμη ύλη μέσα από το πέραςμα του υδρολογικού έτους και θα καταστήσει έτσι ένα πεδίο ικανό, μέσω μιας ξηροθερμικής περιόδου, για ανεξέλεγκτη πυρκαγιά αλλά και ταυτόχρονα, η έλλειψη βροχόπτωσης, χωρίς απαραίτητα την ξηροθερμική περίοδο, δημιουργεί ισότιμα αποτελέσματα. Παρατηρούμε λοιπόν, μια τάση αρνητικής επιρροής επάνω στο σύνολο των καμένων εκτάσεων κυρίως στη δυτική και Πελοπόννησο, τη δυτική Στερεά Ελλάδα, όπως επίσης σε ολόκληρη σχεδόν τη Μακεδονία. Μια εικόνα της κατάστασης δίνεται στον χάρτη 4 (*Εξαρτώμενοι Νομοί Μέσω Βροχόπτωσης Σύμφωνα με Συντελεστές beta*).

Ο δείκτης ξηρασίας SPI3, εξάγεται μέσω των χρονοσειρών της βροχόπτωσης. Παρατηρούνται περιοδικά φαινόμενα έντονης ξηρασίας αλλά και βροχοπτώσεων μέσα στην περίοδο μελέτης, με μια τάση αύξησης της μέσης τιμής οδηγώντας έτσι την επικράτεια σε πιο υγρή κατάσταση. Δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός, πως στην Ήπειρο και τη Δυτική Μακεδονία, τα μεγάλα ποσά ύψους βροχής δίνουν σχετικά μεγάλες συσχετίσεις επί του δείκτη ξηρασίας. Οι βροχοπτώσεις αυτές, όπως προαναφέρθηκε, είναι ικανές να τροφοδοτήσουν τα δασικά οικοσυστήματα με πλούσια βλάστηση, περιμένοντας έτσι κάποια ίσως ξηροθερμική περίοδο, ικανή να προκαλέσει ανεπανόρθωτες καταστροφές. Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή (σελ. 26), ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι ο SPI3, με τον αριθμό τρία (3) να σηματοδοτεί την τριμηνιαία χρονοκαθυστέρηση (lag time) τα αποτελέσματα του οποίου δίνονται στον ακόλουθο χάρτη, σε αντιπαράθεση με τη βροχόπτωση.



Χάρτης 9 Αντιπαράθεση Βροχόπτωσης - Δείκτη Ξηρασίας SPI3 Επικράτειας Περιόδου 2000-2020

Σημαντικός παράγοντας για τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς είναι η θερμοκρασία της καύσιμης ύλης. Η ενέργεια που απαιτείται για την ανάφλεξη αυτής μειώνεται καθώς οι θερμοκρασίες αυξάνονται και έτσι η καύσιμη ύλη γίνεται θερμότερη. Η ανάφλεξη γίνεται γρηγορότερα όπως και η εξάπλωση της φωτιάς. Η θερμοκρασία του αέρα και η ηλιακή ακτινοβολία είναι αυτά που θα καθορίσουν την θερμοκρασία της καύσιμης ύλης.

Επομένως, οι παρατεταμένες θερμές ημέρες, επηρεάζουν στα μέγιστα το φαινόμενο των αγροτοδοασικών πυρκαγιών. Από την παρούσα έρευνα άμεσα αντιληπτό γίνεται η έντονη επιρροή της αύξησης της μέση μηνιαίας θερμοκρασίας στον Θεσσαλικό κάμπο, γειτονικό τμήμα της Στερεάς Ελλάδας καθώς και του νομού Ηρακλείου και Ζακύνθου. Μια εικόνα της κατάστασης δίνεται στον χάρτη 3 (*Εξαρτώμενοι Νομοί Μέσω Θερμοκρασίας Σύμφωνα με Συντελεστές beta*).

Με την αύξηση της θερμοκρασίας, ανάλογη είναι και η μείωση της σχετικής υγρασίας και αντιστρόφως. Τα ποσοστά της υψηλότερης σχετικής υγρασίας συνήθως καταγράφονται τους χειμερινούς μήνες κατά την ανατολή, εκεί που η θερμοκρασία βρίσκεται στη χαμηλότερη τιμή της. Αντίθετα, έπειτα την ανατολή του ηλίου, η μείωση της υγρασίας είναι ταχύτατη μέχρι του ελαχίστου όπου και σημειώνεται τη στιγμή που η θερμοκρασία είναι στο μέγιστο. Επομένως, η σχετική υγρασία κατέχει την ελάχιστη τιμή τις θερινές ημέρες λόγω υψηλών θερμοκρασιών και παρατεταμένης ηλιοφάνειας.

Η διακύμανση της σχετικής υγρασίας της νεκρής καύσιμης ύλης είναι από **2%** έως και **30%** και η εξάρτησή της ευθύνεται κυρίως από τη σχετική υγρασία του αέρα και λιγότερο από τη θερμοκρασία. Ανάλογα τη διάστασή της, υπάρχει μια καθυστέρηση στη υγρασία της καύσιμης ύλης, που είναι ανάλογη της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Για παράδειγμα, πευκοβελόνες, φύλλα και χόρτα με διαμέτρους μικρότερες των **0,6cm** αντιδρούν πιο άμεσα στις περιβαλλοντικές αλλαγές (συνήθως 1-2 ώρες).

Είναι λοιπόν εμφανής η μεγάλη σημασία της ποσότητας λεπτής νεκρής φυτικής (καύσιμης) ύλης και της υγρασίας που περιέρχεται επί αυτής, όσον αφορά την συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Ως επί το πλείστον, η έναρξη μέσω της ανάφλεξης των πυρκαγιών, είναι λόγω της ξηρότητας της καύσιμης ύλης. Κατά την εξέλιξη της πυρκαγιάς, υπάρχει επιδείνωση στις φλόγες με αποτέλεσμα την συνέχεια της καύσης σε διαμέτρους καύσιμης ύλης άνω του μέσου όρου αλλά και ζώσας ύλης. Μια σφαιρική εικόνα της επήρειας της σχετικής υγρασίας δίνεται στον χάρτη 5 (*Εξαρτώμενοι Νομοί Σχετικής Υγρασίας Σύμφωνα με Συντελεστές beta*).

Όπως προαναφέρθηκε, ο πιο κρίσιμος παράγοντας για τη συμπεριφορά μιας αγροτοδοασικής πυρκαγιάς είναι ο άνεμος. Η αύξηση στην ταχύτητα του ανέμου αυξάνει την ποσότητα του οξυγόνου, δίνει κλίση στις φλόγες θερμαίνοντας παρακείμενες περιοχές και κατευθύνει το μέτωπο με μεγαλύτερο ρυθμό, έτσι η ταχύτητα διάδοσης αυξάνεται, υπάρχει μια συνεχής ανάφλεξη νέας καύσιμης ύλης και το φαινόμενο παίρνει μεγάλες διαστάσεις. Επομένως, τα υπάρχοντα διάκενα καύσιμης ύλης επί το πεδίου δεν υφίστανται ως εμπόδιο στην εξάπλωση της πυρκαγιάς.

Η συνεισφορά του ανέμου διαφέρει στο είδος της καύσιμης ύλης. Είναι μεγαλύτερη για λεπτά καύσιμα όπως μικρά κλαδιά, πόες και χόρτα, όπως και για μη συμπιεσμένα καύσιμα. Όταν η ξηρασία δε βρίσκεται σε επικίνδυνο σημείο, η κίνηση του μετώπου της φωτιάς σε διατεταγμένη βλάστηση μεγάλου ύψους, η παρουσία δυνατών ανέμων κρίνεται αναγκαία. Κατά κανόνα, οι ταχύτητες των ανέμων μειώνονται έπειτα τη δύση του ηλίου, με αποτέλεσμα την αύξηση της σχετικής υγρασίας και άρα της υγρασίας της καύσιμης ύλης, διευκολύνοντας έτσι το έργο των κατασβεστικών δυνάμεων, επίγειων ή/και εναέριων. Το φαινόμενο αυτό, της επιρροής του ανέμου, γίνεται έντονα αντιληπτό στη Δυτική Αττική και Εύβοια (γειτονικοί νομοί) ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες κατά την πνοή των ετήσιων ανέμων (μελέτμια). Μια γενική εικόνα δίνεται από τον χάρτη 6 (*Εξαρτώμενοι Νομοί Μέσω Ανέμου Σύμφωνα με Συντελεστές beta*).

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arianoutsou, M., 2001. The role of fire in the Mediterranean forests: past, present and future perspectives. In: SCBD, Assessment, Conservation and Sustainable use of forest Biodiversity, pp. 76-78, CBD Technical Series 3, Montreal, 130p
- Arianoutsou, M. and Papanastasis, V.P. 2004. Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems. Millpress. Rotterdam
- Cambridge Advanced Learner's Dictionary (3<sup>η</sup> έκδοση). Cambridge University Press. 2008
- ESPIRITO-SANTO M.D., F. REGO and J.C. COSTA, 1993. Vegetation dynamics in the Serra dos Canderros (Central Portugal). In: Fire in Mediterranean Ecosystems (edited by L. Trabaud and R. Prodon). Ecosystem Research Report no 5, Commission of the European Communities. Brussels - Luxembourg
- Naveh, Z., 1967. Mediterranean ecosystems and vegetation types in California and Israel. Ecology
- Naveh, Z., 1975. The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. Vegetatio 29: 199-208. Naveh, Z., 1991. The role of fire in Mediterranean vegetation. Βοτανικά Χρονικά
- VALEO C., K. BEATY and R. HESSLEIN, 2003. Influences of forest fires on climate change studies in the central boreal forest of Canada. J. Hydrology
- Καϊλίδης, Δ.Σ., & Π. Καρανικόλα, (2004), Δασικές Πυρκαγιές 1900 – 2000, Εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη.
- Καλαμποκίδης Δ., Ηλιόπουλος Ν. Γλιγλινός Δ., (2013), Πυρο-Μετεωρολογία και Συμπεριφορά Δασικών Πυρκαγιών σε ένα Μεταβαλλόμενο Κλίμα, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, 1<sup>η</sup> Έκδοση
- Κωνσταντινίδης Π. και Γκαζογιάννης Σ. (2001): «Επιλογή δασικών ειδών για αναδασώσεις σε πυρόπληκτες περιοχές (με εκτενή εισαγωγή στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα)». Χορηγός Έκδοσης: Ταχυδρομικό Ταμιευτήριο. Θεσσαλονίκη
- Κ. Τσαγκάρη, Γ. Καρέτσος, Ν. Προύτσος, 2011, Δασικές Πυρκαγιές Ελλάδας 1983-2008, Έκδ. WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ
- Κ. Τσαγκάρη, Γ. Καρέτσος, Ν. Προύτσος, 2011, Χωροχρονική παρουσίαση των δασικών πυρκαγιών της Θεσσαλίας (1983-2005) , Έκδ. Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Αθήνα
- Μπαλτάς Ευάγγελος, 2013, Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία, Εκδόσεις Ζήτη, 2<sup>η</sup> Έκδοση
- Ξανθόπουλος, Γ. και Βαρελά, Β., 1999. Κατανομή της επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα με βάση τα στοιχεία της περιόδου 1983-1993. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 10-II (τ.2)
- Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας, ([www.fireservice.gr](http://www.fireservice.gr))
- Φλόκας Α., 1992, Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Εκδόσεις Ζήτη, 1<sup>η</sup> Έκδοση