



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
<<ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ>>**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ  
ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ  
1979-2020**

**Ιωάννης Χ. Δασκάλου**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΛΩΛΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ (ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)**

**ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2023**



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη .....	6
Abstract.....	7
Λίστα Ακρωνυμίων.....	8
<b>Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή .....</b>	<b>9</b>
1.1 Περί Φωτιάς .....	9
1.2 Οι Πυρκαγιές στη Μεσόγειο.....	10
1.2.1 Επιπτώσεις των πυρκαγιών και χρήση του όρου “Καθεστώς πυρκαγιάς”.....	10
1.2.2 Κατανομή πυρκαγιών στην περιοχή της Μεσογείου .....	11
1.2.3 Κατανομή πυρκαγιών στην περιοχή της Ελλάδας .....	13
1.3 Δείκτες κινδύνου πυρκαγιάς που βασίζονται σε καιρικές συνθήκες.....	15
1.3.1 Ο δείκτης Angstrom (Angstrom Index, AI) .....	15
1.3.2 Ο δείκτης υγρασίας καύσιμης ύλης (Fuel Moisture Index, FMI) .....	16
1.3.3 Ο δείκτης Nesterov (Nesterov Index, NI) .....	16
1.3.4 Ο δείκτης ξηρασίας Keetch-Byram (Keetch-Byram Drought Index, KBDI).....	17
1.3.5 Ο δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς MacArthur (MacArthur’s Forest Fire Danger Index, FFDI) .....	17
1.3.6 Ο δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς Fosberg (Fosberg Fire Weather Index, FFWI) .....	18
1.3.7 Ο δείκτης κανονικοποιημένης αναλογίας καύσης (Normalized Burn Ratio, NBR).....	18
1.3.8 Ο Καναδικός δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς (Canadian Forest Fire Weather Index System, FWI).....	20
Fine Fuel Moisture Code.....	22
The Duff Moisture Code.....	24
The Drought Code.....	26
Initial Spread Index.....	28
The Build Up Index.....	29
The Fire Weather Index .....	29
1.4 Σύντομη περιγραφή τρόπου μελέτης και στόχου της παρούσας εργασίας.....	31
<b>Κεφάλαιο 2 Δεδομένα-Μεθοδολογία .....</b>	<b>33</b>
2.1 Δεδομένα .....	33
2.2 Μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων .....	34
2.2.1 Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis).....	34
2.2.2 Ανάλυση Κατά Συστάδες (Cluster Analysis).....	37
Μη Ιεραρχική μέθοδος κατά Συστάδες K-Means.....	38

Η Μέθοδος του “Άλματος” (“Jump” Method) .....	39
2.3 Ορισμός Ημερών και Περιστατικών ακραία υψηλού δείκτη FWI .....	40
2.4 Εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης .....	42
2.4.1 Δεδομένα δείκτη FWI .....	42
2.4.2 Δεδομένα μεγάλης κλίμακας.....	43
2.5 Εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες και τις Μεθόδου «Άλματος» .....	46
<b>Κεφάλαιο 3 Αποτελέσματα</b> .....	<b>47</b>
3.1 Χωρική κατανομή του FWI στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας.....	47
3.2 Διαχρονική διακύμανση του δείκτη FWI, κατά μήνα, στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας.....	51
3.2.1 Μάιος.....	51
3.2.2 Ιούνιος .....	53
3.2.3 Ιούλιος .....	55
3.2.4 Αύγουστος.....	57
3.2.5 Σεπτέμβριος.....	59
3.2.6 Οκτώβριος .....	61
3.3 Στατιστική μελέτη ημερών και περιστατικών ακραία υψηλού δείκτη FWI.....	63
3.4 Ομαδοποίηση περιστατικών ακραία υψηλού δείκτη FWI.....	69
Ομάδα (Cluster) 1.....	71
Ομάδα (Cluster) 2.....	78
Ομάδα (Cluster) 3.....	85
Ομάδα (Cluster) 4.....	92
Ομάδα (Cluster) 5.....	99
<b>Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα</b> .....	<b>106</b>
<b>Αναφορές-Βιβλιογραφία</b> .....	<b>108</b>

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη μεταπτυχιακή μου εργασία, θα ήθελα να αφιερώσω αυτή την παράγραφο ώστε να ευχαριστήσω τα άτομα τα οποία συνέβαλαν στη πραγμάτωση αυτής. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Λώλη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και επιβλέποντα της παρούσης εργασίας. Η άρτια καθοδήγηση, οι στοχευμένες παρατηρήσεις και γενικά η άριστη συνεργασία χαρακτήρισαν τη πορεία ολοκλήρωσης της εργασίας αυτής. Για τον κ. Χρήστο η λέξη «Άνθρωπος» προπορεύεται της λέξης «Καθηγητής». Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπόλοιπους καθηγητές που πλαισιώνουν το μεταπτυχιακό τμήμα για την σημαντική συνεισφορά τους στην απόκτηση γνώσεων. Τέλος, θα πρέπει να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς φοιτητές όπου με τα εποικοδομητικά τους σχόλια συνείσφεραν στη βελτίωση της εργασίας.

Ιωάννης Χ. Δασκάλου

## Περίληψη

Αρκετοί είναι οι δείκτες οι οποίοι συνεισφέρουν στην εκτίμηση του κινδύνου των πυρκαγιών ανά τον κόσμο, με τον δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς (Fire Weather Index, FWI) να είναι ο πιο διαδεδομένος. Στην παρούσα εργασία γίνεται μελέτη του παραπάνω δείκτη, για την περιοχή της Ελλάδας για τη χρονική περίοδο 1979-2020. Αρχικά, η μελέτη επικεντρώνεται στη χωρική κατανομή του δείκτη FWI για την περιοχή της Ελλάδας και έπειτα στη διαχρονική μεταβολή του. Στη συνέχεια, γίνεται προσπάθεια σύνδεσης των ημερών για τις οποίες ο FWI παίρνει ακραίες τιμές, με τις κυριότερες μετεωρολογικές παραμέτρους, έχοντας ως σκοπό την εύρεση μοτίβων και στατιστικών τα οποία θα συνεισφέρουν στην περαιτέρω κατανόηση και εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές του δείκτη FWI για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο για την περιοχή των νοτίων Βαλκανίων, καθώς και ημερήσιες τιμές δεδομένων τα οποία περιλαμβάνουν τα γεωδυναμικά ύψη στα 500hPa και 1000hPa, τη σχετική υγρασία στα 850hPa και τη θερμοκρασία στην ίδια στάθμη, στην ευρύτερη περιοχή της νοτιοανατολικής Ευρώπης από τη βάση δεδομένων ERA5. Τα δεδομένα αυτά επεξεργάστηκαν με τη μέθοδο της Παραγοντικής Ανάλυσης και της Ανάλυσης κατά Συστάδες με σκοπό τη μείωση της διαστατικότητας των δεδομένων και την κατηγοριοποίηση τους σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά.

Αναφορικά με τη μελέτη της χωρικής κατανομής του δείκτη FWI για την περιοχή της Ελλάδας, προέκυψε ότι το μέγιστο των τιμών παρατηρείται το μήνα Αύγουστο, ενώ οι μήνες Μάιος και Οκτώβριος αποτελούν μεταβατικούς μήνες δείχνοντας έτσι την ισχυρή εξάρτηση του δείκτη από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, όπως την υγρασία και τη βροχόπτωση. Επιπλέον, η Αττική, η Κρήτη, η νοτιοανατολική Πελοπόννησος και η πλειοψηφία των νησιών του Αιγαίου, αποτελούν περιοχές κατά τις οποίες ο δείκτης παίρνει επαναλαμβανόμενες υψηλές τιμές, καθιστώντας τον κίνδυνο έναρξης και εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς σημαντικό. Σύμφωνα, με τη στατιστική μελέτη των ημερών και των περιστατικών για τα οποία ο δείκτης FWI παίρνει ακραίες τιμές, ξεχώρισαν οι μήνες Ιούλιος και Αύγουστος ως οι μήνες με το μεγαλύτερο αριθμό ημερών και περιστατικών, ενώ ο διαχωρισμός της περιόδου των 42 ετών σε δύο επιμέρους περιόδους (1979-1999, 2000-2020) έδειξε ότι κατά το δεύτερο μισό υπάρχει αυξητική τάση στον αριθμό ημερών και περιστατικών, σε σχέση με το πρώτο, αποδεικνύοντας ότι η πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιών είναι εντονότερη με την πάροδο των ετών. Τέλος, καταλήξαμε ότι η επικρατέστερη κυκλοφορία, για την οποία ο δείκτης FWI παίρνει ακραίες τιμές, είναι ο συνδυασμός του χαμηλού νοτιοανατολικά της Ελλάδας με τον αντικυκλώνα στην κεντρική και δυτική Ευρώπη. Η διάταξη των ισοβαρών στην κατώτερη ατμόσφαιρα μας υπέδειξε τη διεύθυνση αλλά και την ένταση του ανέμου για την οποία παρατηρούνται ακραίες τιμές για τον δείκτη. Επιπλέον, αναδείχθηκε η επίδραση της ανόδου της θερμοκρασίας αλλά και η πτώση της σχετικής υγρασίας στη στάθμη των 850hPa στη συμπεριφορά του δείκτη.

## Abstract

Several indices contribute to the assessment of the risk of wildfires worldwide, with the Fire Weather Index (FWI) being the most widespread. In this study, the above-mentioned index is examined for the region of Greece during the period 1979-2020. Initially, the study focuses on the spatial distribution of the FWI index for Greece, followed by its temporal distribution. Subsequently, an attempt is made to establish a connection between days with extreme FWI values and the main meteorological parameters, aiming to identify patterns and statistics that will contribute to a better understanding and estimation of fire risk.

In this study, daily values of the FWI index were used for the months of May to October for the region of the southern Balkans, as well as daily values of data including geopotential heights at 500hPa and 1000hPa, relative humidity at 850hPa, and temperature at the same level, for the broader area of southeastern Europe, obtained from the ERA5 database. These data were processed using Factor Analysis and Cluster Analysis methods in order to reduce data dimensionality and categorize them into groups with common characteristics.

Regarding the study of the spatial distribution of the FWI index for Greece, it was found that the maximum values occur in August, while May and October are transitional months, indicating a strong dependence of the index on meteorological parameters such as humidity and precipitation. Additionally, Attica, Crete, southeastern Peloponnese, and most islands in the Aegean Sea are areas where the index reaches frequently high values, making the risk of fire initiation and spread significant. According to the statistical analysis of the days and incidents with extreme FWI values, July and August were found to be the months with the highest number of occurrences, while dividing the 42-year period into two sub-periods (1979-1999, 2000-2020) revealed an increasing trend in the number of days and incidents during the second half, compared to the first half, demonstrating that the probability of wildfires occurring becomes more frequent as the years go by. Finally, it was concluded that the prevailing circulation pattern associated with extreme FWI values is the combination of a low-pressure system southeast of Greece with an anticyclone over central and western Europe. The synoptic conditions in the lower atmosphere indicated the direction and intensity of the wind associated with extreme FWI values. Furthermore, the influence of rising temperatures and decreasing relative humidity at the 850hPa level on the behavior of the index was highlighted.

## Λίστα Ακρωνυμίων

<b>FWI:</b>	Fire Weather Index
<b>AI:</b>	Angstrom Index
<b>FMI:</b>	Fuel Moisture Index
<b>NI:</b>	Nesterov Index
<b>KBDI:</b>	Keetch-Byram Drought Index
<b>NFDRS:</b>	National Fire Danger Rating System
<b>FFDI:</b>	MacArthur's Forest Fire Danger Index
<b>DF:</b>	Drought Factor
<b>FFWI:</b>	The Fosberg Fire Weather Index
<b>NBR:</b>	Normalized Burn Ratio
<b>NDVI:</b>	Normalized Difference Vegetation Index
<b>USGS:</b>	U.S. Geological Survey
<b>CFFDS:</b>	Canadian Forest Fire Danger Rating System
<b>DC:</b>	Drought Code
<b>BI:</b>	Built-up Index
<b>DMC:</b>	Duff Moisture Code
<b>ISI:</b>	Initial Spread Index
<b>Mc:</b>	Moisture Content
<b>RP:</b>	Rainfall Phase
<b>ER:</b>	Effective Rainfall
<b>EV:</b>	Evapotranspiration
<b>DSR:</b>	Danger Severity Rating
<b>SSR:</b>	Seasonal Severity Rating
<b>FOT30:</b>	Frequency Over Threshold 30
<b>LOFS:</b>	Length Over the Fire Season
<b>EFFIS:</b>	European Forest Fire Information System
<b>NIR:</b>	Near Infrared
<b>SWIR:</b>	Shortwave Infrared
<b>dNBR:</b>	danger Normalized Burn Ratio
<b>GH500:</b>	Γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa
<b>GH1000:</b>	Γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 1000hPa
<b>RH850:</b>	Σχετική υγρασία στη στάθμη των 850hPa
<b>T850:</b>	Θερμοκρασία στη στάθμη των 850hPa



# Κεφάλαιο 1

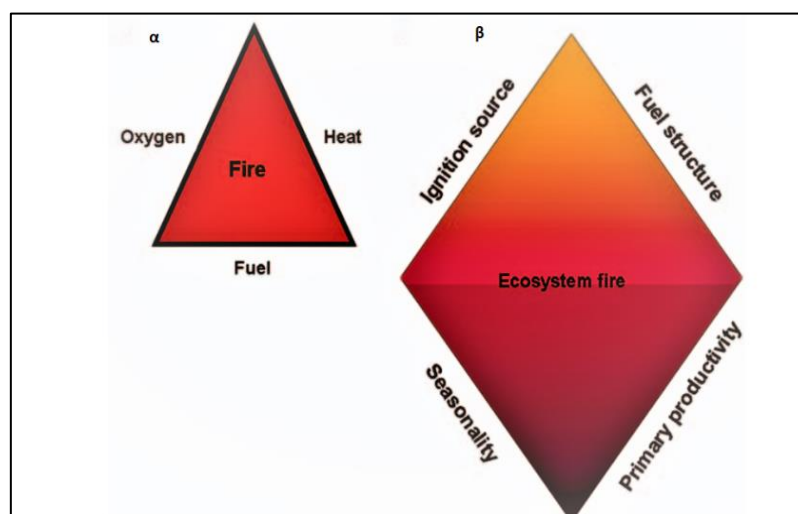
## Εισαγωγή

---

### 1.1 Περί φωτιάς

Η φωτιά ως ύπαρξη χρονολογείται από τα αρχικά στάδια της δημιουργίας των φυτών πάνω στη Γη. Στην Αρχαία Ελλάδα, η φωτιά αποτελούσε ένα ιερό σύμβολο το οποίο, σύμφωνα με την μυθολογία, κατέληξε στα χέρια των ανθρώπων αφότου ο Προμηθέας το έκλεψε από τους θεούς του Ολύμπου, προκαλώντας με αυτή την πράξη την τιμωρία του από τον Δία. Γίνεται επομένως, αντιληπτό ότι η φωτιά κατείχε κεντρική θέση στη ζωή των ανθρώπων ήδη από την απαρχή της δημιουργίας τους. Η παραγωγή φωτιάς από τον άνθρωπο υπήρξε ένα σημείο καμπής στην ιστορία του πολιτισμού του. Με τη δύναμή της, ο άνθρωπος μπόρεσε να λιώσει και να μεταμορφώσει την πιο ανθεκτική ύλη, το μέταλλο, σε εργαλεία σφραγίζοντας την επιτυχή προσπάθεια προς επιβίωση.

Από επιστημονική πλευρά, φωτιά είναι μια εκτεταμένη διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια της Γης και παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανομή και σύνθεση του οικοσυστήματος (Bond et al. 2005). Επιπλέον, η φωτιά μπορεί να θεωρηθεί ως το ορατό φαινόμενο της διαδικασίας της καύσης, πρόκειται δηλαδή για μια χημική αντίδραση κατά την οποία εκλύεται μεγάλο ποσό θερμότητας. Για την πραγματοποίηση της αντίδρασης αυτής απαιτείται ο συνδυασμός τριών βασικών στοιχείων, της θερμότητας, του οξυγόνου και της καύσιμης ύλης. Το τρίπτυχο αυτό μπορεί να παρασταθεί με ένα τρίγωνο, το οποίο αναφέρεται ως <<Το τρίγωνο της φωτιάς>> όπου κάθε πλευρά του περιέχει ένα από τα παραπάνω βασικά στοιχεία. Αν ένα από αυτά λείπει τότε το τρίγωνο παύει να υφίσταται και συνεπώς δεν μπορεί να υπάρξει και η φωτιά.



**Εικόνα 1** (α) Το τρίγωνο της φωτιάς και (β) Η φωτιά από πλευράς οικοσυστήματος (Πηγή: Pausas 2009).

Η καύσιμη ύλη είναι αυτή που τροφοδοτεί τη φωτιά όταν φτάσει στο κρίσιμο σημείο ανάφλεξης των 300°C (Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, [fria.gr](http://fria.gr)). Τα καύσιμα αυτά μπορεί στην αρχική τους μορφή να είναι είτε υγρά είτε στερεά, όμως στην πραγματικότητα τα αέρια που εκλύονται από τις δύο παραπάνω μορφές υπό την κατάλληλη θερμοκρασία είναι αυτά που αναφλέγονται (Veasey et al. 2005). Αναλύοντας την φωτιά από πλευράς οικοσυστήματος, μπορούμε να πούμε τα εξής: για την εκκίνηση αλλά και την διάδοση της φωτιάς θα πρέπει να υπάρχει μια μεγάλη και σταθερή παραγωγή καύσιμης ύλης μέσα στο οικοσύστημα. Όμως δεν αρκεί μόνο αυτό καθώς χρειάζονται και οι κατάλληλες κλιματικές συνθήκες για την μετατροπή της καύσιμης ύλης σε παράγοντα ικανό να τροφοδοτήσει μια φωτιά. Έτσι η έννοια της εποχικότητας για την μετατροπή αυτή είναι αναγκαία. Κρίσιμο και αναγκαίο παράγοντα εκκίνησης μιας φωτιάς είναι και η πηγή ανάφλεξης όπως και η δομή της καύσιμης ύλης (Pausas 2009).

Κατανοώντας τη φύση και τα στοιχεία που είναι αναγκαία για τη φωτιά, μπορούμε να ορίσουμε την έννοια της πυρκαγιάς. Ακολουθώντας τον ορισμό, πυρκαγιά είναι μια μη προγραμματισμένη και ανεξέλεγκτη φωτιά σε περιοχές με αρκετή καύσιμη ύλη όπως δάση, χορτολιβαδικές εκτάσεις κ.α. η οποία δημιουργεί κατά κύριο λόγο αρνητικές επιπτώσεις.

## **1.2 Οι πυρκαγιές στη Μεσόγειο**

### **1.2.1 Επιπτώσεις των πυρκαγιών και χρήση του όρου "Καθεστώς πυρκαγιάς"**

Οι πυρκαγιές εκδηλώνονται σε κάθε περιοχή η οποία καλύπτεται από βλάστηση, επηρεάζοντας τη μορφή αλλά και τις διαδικασίες οι οποίες διενεργούνται μέσα στα οικοσυστήματα (Flannigan et al. 2003). Συνήθως, για την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς, υπεύθυνοι είναι τρεις παράγοντες: ο άνθρωπος, οι εκάστοτε καιρικές συνθήκες και το κλίμα της περιοχής. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια τάση μετανάστευσης ιδιαίτερα των νέων ανθρώπων προς τα μεγάλα αστικά κέντρα, αφήνοντας την ύπαιθρο εγκαταλελειμμένη, γεγονός το οποίο συμβάλλει στην αύξηση των πυρκαγιών. Ακόμη, η ανανέωση των χώρων βόσκησης με τη βοήθεια της φωτιάς είναι μια κοινή πρακτική, η οποία χρησιμοποιείται για πάρα πολύ καιρό από τους κτηνοτρόφους στην περιοχή της Μεσογείου, κάνοντας την πράξη αυτή το κύριο αίτιο έναρξης πυρκαγιών στις περιοχές αυτές (Dimitrakopoulos et al. 2011). Επιπλέον, οι πυρκαγιές επηρεάζουν το κλίμα καθώς μέσω της διαδικασίας της καύσης απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (Bowman et al. 2009).

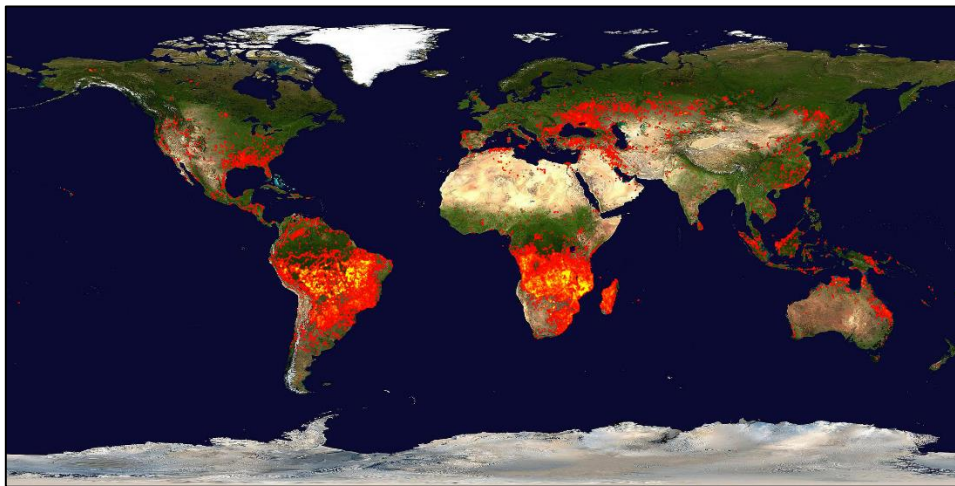
Βέβαια, οι επιπτώσεις των πυρκαγιών δεν περιορίζονται μόνο στην καταστροφή των οικοσυστημάτων και του περιβάλλοντος, αλλά επιφέρουν οικονομικές, κοινωνικές και το σημαντικότερο ανθρώπινες απώλειες. Οι πυρκαγιές παρόλα αυτά μπορούν να έχουν και ευεργετική δράση. Σύμφωνα με αυτές έχουν διαμορφωθεί τα οικοσυστήματα αλλά και διάφορα είδη της χλωρίδας, αποκτώντας ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την πυρανθεκτική ικανότητά τους. Είναι λοιπόν εμφανές ότι οι πυρκαγιές και γενικά οι φωτιές έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην βιοποικιλότητα και την εξελικτική πορεία των ειδών (Pausas 2008).

Ο ρόλος αυτός των πυρκαγιών στην διαμόρφωση των ειδών αναφέρεται ως καθεστώς πυρκαγιάς ή αλλιώς ‘fire regime’ (Agee 1996, Miller et al. 2003). Ο όρος αυτός αναφέρεται σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών που αφορούν την σοβαρότητα του επεισοδίου, το πότε συμβαίνει αλλά και την συχνότητα εμφάνισης του. Για να μπορέσουμε να ταξινομήσουμε μια πυρκαγιά ανάλογα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, θα πρέπει να κοιτάξουμε προσεκτικά τα ‘regimes’ των πυρκαγιών που έλαβαν χώρα παλαιότερα δίνοντας βάση στην συχνότητά εμφάνισής τους αλλά και στις επιπτώσεις που είχαν (Hardy 2005). Ένα καθεστώς πυρκαγιάς ορίζεται επομένως από χαρακτηριστικά τα οποία αναφέρονται στην χωρική και χρονική κατανομή. Η χρονική κατανομή αναφέρεται στην εποχικότητα δηλαδή την επικίνδυνη για έναρξη πυρκαγιάς εποχή ανά τα χρόνια (Le Page 2010), ενώ η χωρική κατανομή αναφέρεται στη γεωγραφική περιοχή και την έκταση της πυρκαγιάς.

Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα καθεστώτα δεν ήταν και ούτε είναι κάτι σταθερό, αλλά έχουν μια δυναμική μεταβολή. Η επιρροή του ανθρώπου πάνω στο ανάγλυφο της Γης, αλλά και η συνεχόμενη αλλαγή του κλίματος, κάνει τα καθεστώτα πυρκαγιάς να μεταβληθούν και αυτά και απαιτείται συνεχώς μια δυναμική μελέτη για την κατανόηση τους (Pausas 2012).

### 1.2.2 Κατανομή πυρκαγιών στην περιοχή της Μεσογείου

Οι περιοχές οι οποίες επηρεάζονται περισσότερο από πυρκαγιές, φυσικής είτε ανθρωπογενούς προέλευσης βρίσκονται κυρίως στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Η νότια Αμερική, η κεντρική και νότια Αφρική αλλά και γενικά αρκετές περιοχές με Μεσογειακό κλίμα είναι αυτές που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη δραστηριότητα όσον αφορά τις πυρκαγιές αλλά και την μεγαλύτερη συνολική καμένη έκταση.

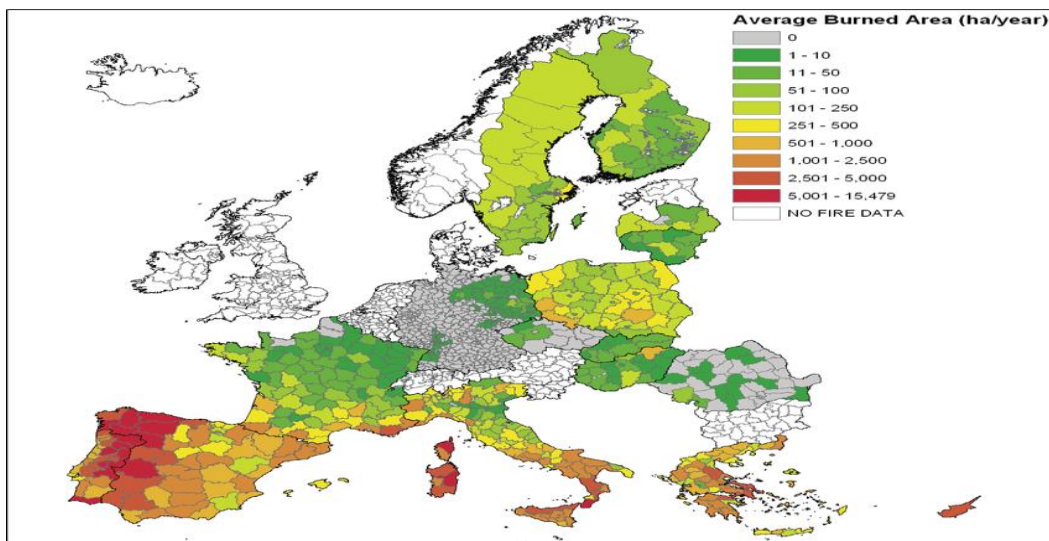


**Εικόνα 2.** Περιοχές που επηρεάζονται περισσότερο από πυρκαγιές (Κατανομή αριθμού πυρκαγιών για την περίοδο 19/8/2015-28/8/2015) (Πηγή:<https://www.nasa.gov/topics/earth/features/wildfires.html>).

Σύμφωνα με εκτεταμένες μελέτες, έχει αποδειχθεί ότι ο κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς στην περιοχή της Μεσογείου έχει αυξηθεί κατακόρυφα τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της αύξησης των εκτάσεων που έχουν καλυφθεί από δέντρα σε σχέση με παλαιότερα, που η καύσιμη ύλη ήταν αρκετά πιο περιορισμένη (Παπαδόπουλος 2007). Χαρακτηριστικά μπορεί

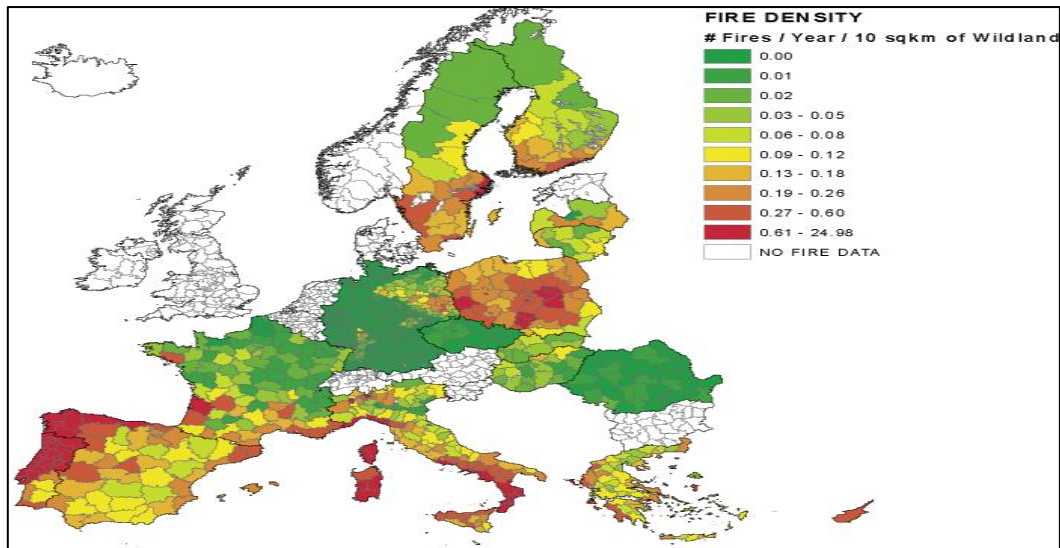
να αναφερθεί ότι στην περιοχή της Ευρώπης παραπάνω από  $2 \times 10^6$  ha θαμνώδους έκτασης έχει καλυφθεί από δάση, και περισσότερα από 800,000 ha έκτασης, που χρησιμοποιούνταν για αγροτική καλλιέργεια, έχουν καλυφθεί από δέντρα. Ακόμη, περιοχές με μηδενική κάλυψη από φυτά (πάνω από 450,000 ha) έχουν μετατραπεί σε θαμνώδεις περιοχές (San-Miguel-Ayanz et al. 2012).

Στην Ευρώπη, οι περιοχές οι οποίες επηρεάζονται περισσότερο από την εκδήλωση πυρκαγιών είναι κυρίως περιοχές πέριξ της Μεσογείου δηλαδή η Ελλάδα, η Ισπανία, η Ιταλία, η Πορτογαλία και η Γαλλία. Σύμφωνα με τους Barbosa et al. (2008), κατά την περίοδο 2000-2005 σημειώθηκαν περίπου 95,000 πυρκαγιές σε 23 χώρες της Ευρώπης καίγοντας σχεδόν 600,000 ha δασικής έκτασης ετησίως. Από αυτόν τον αριθμό πυρκαγιών, πάνω από τα 2/3, δηλαδή πάνω από 65,000 πυρκαγιές, έλαβαν χώρα στις προαναφερθείσες 5 χώρες (Ελλάδα, Ισπανία, Ιταλία, Πορτογαλία και Γαλλία) καίγοντας περίπου 500,000 ha κάθε χρόνο. Επιπλέον, η ίδια ποσότητα καμένης έκτασης ανά έτος έχει παρατηρηθεί και κατά τη περίοδο 1980-2000 σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία και τους San-Miguel-Ayanz et al. (2012).



**Εικόνα 3.** Χάρτης καμένων εκτάσεων σε εκτάρια ανά έτος στην περιοχή της Ευρώπης (Biro et al. 2009).

Η μέση ετήσια καμένη έκταση, παρατηρούμε ότι συνδέεται με την πυκνότητα πυρκαγιών ανά την Ευρώπη παρουσιάζοντας κοινά στοιχεία. Όπως και στην Εικόνα 3 έτσι και στην Εικόνα 4, η μεγαλύτερη χωρική πυκνότητα των πυρκαγιών παρατηρείται στο νότιο τμήμα στις ευάλωτες χώρες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Βέβαια, μεγάλο αριθμό πυρκαγιών παρουσιάζουν και μερικές χώρες προς τον βορά όπως η νότια Σουηδία και η Γερμανία. Θα περίμενε κανείς λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών στις περιοχές αυτές ο αριθμός των πυρκαγιών να είναι μικρότερος, όμως, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, η εκκίνηση μιας πυρκαγιάς και το καθεστώς πυρκαγιάς δεν εξαρτώνται αποκλειστικά από την υψηλή θερμοκρασία την δεδομένη χρονική στιγμή, αλλά και από άλλους παράγοντες όπως η διαθέσιμη καύσιμη ύλη, η μορφή του οικοσυστήματος αλλά και η πληθυσμιακή κατανομή η οποία ανάλογα με τις οικονομικές δραστηριότητες διαμορφώνει τις εκτάσεις γης (Catry et al. 2010).

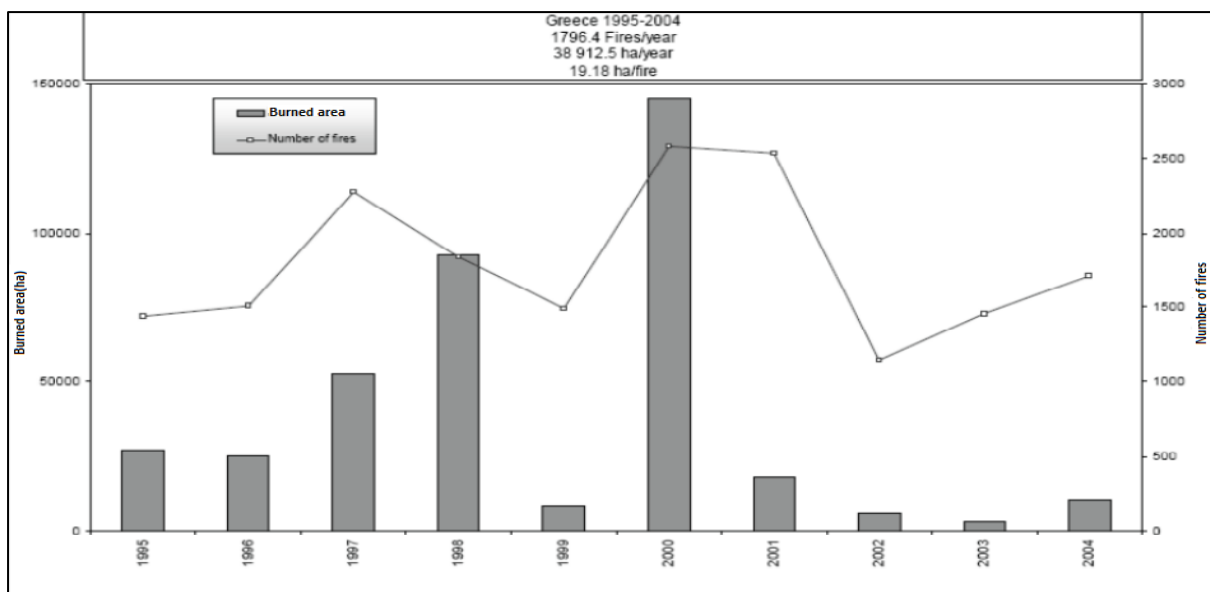


**Εικόνα 4.** Χωρική πυκνότητα πυρκαγιών (Αριθμός πυρκαγιών ανά έτος ανά 10km<sup>2</sup>) στην περιοχή της Ευρώπης κατά την περίοδο 1998-2007. (Πηγή: Birot et al. 2009).

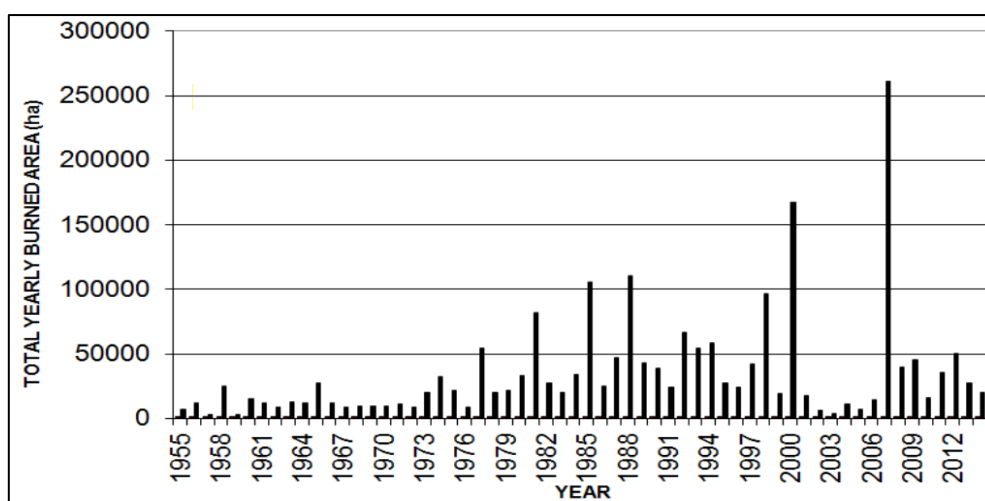
### 1.2.3 Κατανομή πυρκαγιών στην περιοχή της Ελλάδας

Η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα της Μεσογείου η οποία ανήκει στις περιοχές υψηλού κινδύνου για την εκδήλωση πυρκαγιάς. Παρότι οι πυρκαγιές είναι ένα φαινόμενο που εμφανίζεται από τα αρχαία χρόνια, τελευταία έχει λάβει αρνητικές διαστάσεις, προκαλώντας μεγάλες καταστροφές, τόσο σε επίπεδο οικοσυστήματος, όσο και κοινωνιών. Σύμφωνα με την Εικόνα 5, η οποία παρουσιάστηκε από τους Dimitrakopoulos and Mitsopoulos (2006), βρέθηκε ότι κατά μέσο όρο στην περιοχή της Ελλάδας για την περίοδο 1995-2004, υπήρξαν 1796 πυρκαγιές ανά έτος οι οποίες είχαν ως αποτέλεσμα να καούν περίπου 38912 ha/έτος. Επίσης, παρότι ο αριθμός των πυρκαγιών ήταν περίπου ίδιος κατά τα έτη 2000 και 2001, η συνολική καμένη έκταση είχε τεράστια διαφορά.

Αναλύοντας την συνολική καμένη έκταση, αυτή τη φορά από το 1955 έως το 2014 (Εικόνα 6) ένα πράγμα γίνεται αμέσως αντιληπτό ότι η συνολικά καμένη έκταση στην Ελλάδα αυξάνεται ανά έτος παρουσιάζοντας μάλιστα έξαρση από την δεκαετία του 70 και έπειτα. Την περίοδο αυτή, μεγάλος αριθμός ανθρώπων θέλησε να φύγει από τα μεγάλα αστικά κέντρα και έτσι ξεκίνησε το αλόγιστο χτίσιμο αυθαίρετων οικείων σε δάση και εκτάσεις που χαρακτηρίζονταν από πλεόνασμα καύσιμης ύλης. Το αποτέλεσμα, αναπόφευκτα, ήταν η ακραία αύξηση του αριθμού των καμένων εκτάσεων με αποκορύφωμα το 2007 όπου οι πυρκαγιές έκαψαν παραπάνω από 262,000 ha (2620 km<sup>2</sup>), κατέστρεψαν περίπου 2000 σπίτια και στοίχησαν τη ζωή σε 80 ανθρώπους (Xanthopoulos 2015). Η τιμή αυτή, των καμένων εκτάσεων, είναι η μεγαλύτερη που έχει καταγραφεί από το 1970 και μετά (Iliadis et al. 2002).



**Εικόνα 5.** Αριθμός πυρκαγιών και καμένης έκτασης στην περιοχή της Ελλάδας (Dimitrakopoulos and Mitsopoulos 2006).



**Εικόνα 6.** Συνολική καμένη έκταση σε ha στην περιοχή της Ελλάδας για την περίοδο 1955-2014 (Xanthopoulos 2015).

### 1.3 Δείκτες κινδύνου πυρκαγιάς που βασίζονται σε καιρικές συνθήκες

Οι μετεωρολογικές συνθήκες παίζουν σπουδαίο ρόλο ως προς την αντιμετώπιση αλλά και την εξήγηση διάφορων μοτίβων που αφορούν τη διασπορά αλλά και την έναρξη των πυρκαγιών. Οι χώρες της Μεσογείου αποτελούν ιδιαίτερα κρίσιμες περιοχές όσον αφορά την εκδήλωση πυρκαγιών τα τελευταία χρόνια. Γι' αυτό τον λόγο η κατανόηση των μετεωρολογικών συνθηκών και έπειτα η δημιουργία δεικτών που τις εκφράζουν, είναι ιδιαίτερα σημαντική. Εν αρχή, κατασκευάστηκαν δείκτες οι οποίοι θα αξιοποιούσαν διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους όπως υγρασία, άνεμος, θερμοκρασία κ.α. και μέσω αυτών θα υπήρχε εκτίμηση και προειδοποίηση για την ένταση όταν αυτές θα λάμβαναν ανεξέλεγκτες διαστάσεις (Jimenez 2015). Η χρησιμότητα αυτών των δεικτών βρήκε εφαρμογή σε διάφορους κρίσιμους τομείς όπως το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφόρησης για τις δασικές πυρκαγιές (EFFIS). Η χρησιμότητα των δεικτών αυτών σήμερα έχει ξεφύγει από το πλαίσιο της απλής προειδοποίησης για εκδήλωση πυρκαγιάς. Αντ' αυτού έχουν γίνει ένα εργαλείο το οποίο δίνει πληροφορίες για την σχέση μεταξύ του κλίματος και των πυρκαγιών που έλαβαν χώρα παλαιότερα, αξιοποιώντας τα στοιχεία αυτών στην πρόβλεψη μελλοντικών πυρκαγιών (Stocks et al. 1998, Brown et al. 2004). Οι δείκτες οι οποίοι ακολουθούν αποτελούν εργαλεία τα οποία λαμβάνουν ως είσοδο διαφορετικές μετεωρολογικές παραμέτρους έχοντας όμως ένα κοινό σκοπό, την κατανόηση της συμπεριφοράς των πυρκαγιών.

#### 1.3.1 Ο δείκτης Angstrom (Angstrom Index, AI)

Ο δείκτης Angstrom δημιουργήθηκε στη Σουηδία και συμβολίζεται ως AI (Angstrom Index). Είναι ένας δείκτης που εκφράζει τον άμεσο κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς (Arpaci et al. 2013) και χαρακτηρίζεται κυρίως από την απλότητά του, καθώς λαμβάνει υπόψην του μόνο την θερμοκρασία και την υγρασία και όχι την υγρασία η οποία περιέχεται στην καύσιμη ύλη, τον άνεμο ή την βροχόπτωση (Jiménez 2015). Αν συνδυάσουμε την υγρασία και τη θερμοκρασία τότε ο δείκτης μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$AI = \left(\frac{H}{20}\right) \times \left[\frac{27 - T}{10}\right] \quad (1.1)$$

όπου  $H$  είναι η σχετική υγρασία (%) και  $T$  η θερμοκρασία του αέρα σε °C. Όταν ο δείκτης είναι μικρότερος του 2 τότε έχουμε μεγάλη πιθανότητα για πυρκαγιά ενώ όταν ο δείκτης είναι μεγαλύτερος του 4 τότε η εκδήλωση πυρκαγιάς είναι σχεδόν απίθανη. Για τιμές μεταξύ 2.4 και 4, οι συνθήκες δεν είναι και τόσο ευνοϊκές ενώ για τιμές από 2 έως 2.5 οι συνθήκες χαρακτηρίζονται ως ευνοϊκές για την εκδήλωση πυρκαγιάς.

### 1.3.2 Ο δείκτης υγρασίας καύσιμης ύλης (Fuel Moisture Index, FMI)

Ο δείκτης υγρασίας καύσιμης ύλης είναι απλός και εύκολα κατανοητός ενώ και ο υπολογισμός του είναι εύκολος από την στιγμή που κάποιος γνωρίζει τη θερμοκρασία και την σχετική υγρασία (Sharples et al. 2009). Είναι ένας δείκτης αδιάστατος, ο οποίος δεν υπολογίζει επακριβώς την υγρασία την καύσιμης ύλης αλλά δίνει μια σχετική εκτίμηση. Παρότι ο δείκτης αυτός είναι πολύ εύκολο να υπολογιστεί, δεν υστερεί σε τίποτα σε σχέση με άλλους δείκτες που λαμβάνουν περισσότερες παραμέτρους υπόψιν και είναι πιο δύσκολο να υπολογιστούν (Jiménez 2015).

Ο FMI μπορεί να υπολογιστεί με την εξής μαθηματική σχέση:

$$FMI = 10 - 0.25 \times (T - H) \quad (1.2)$$

όπου T η θερμοκρασία του αέρα σε (°C) και H είναι η σχετική υγρασία (%).

### 1.3.3 Ο δείκτης Nesterov (Nesterov Index, NI)

Ο δείκτης Nesterov (NI) δημιουργήθηκε στη Σοβιετική Ένωση. Αναπαριστά μια εμπειρική συνάρτηση, η οποία συνδυάζει την παρατήρηση των καιρικών συνθηκών με την εκδήλωση πυρκαγιάς και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$NI = \sum_{\forall p_i \leq 3mm}^i T_i \times (T_i - T_{d_i}) \quad (1.3)$$

όπου  $T_i$  η μέση ημερήσια θερμοκρασία  $T_{d_i}$  η θερμοκρασία δρόσου και  $p_i$  η ημερήσια βροχόπτωση. Ο δείκτης NI είναι ένας αθροιστικός δείκτης που έχει νόημα μόνο όταν η ημερήσια βροχόπτωση δεν υπερβαίνει τα 3mm. Σε διαφορετική περίπτωση ο δείκτης μηδενίζεται. Οι τιμές που παίρνει ο δείκτης χωρίζονται σε 5 κλάσεις όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1. Επειδή ο δείκτης μερικές φορές έχει ασταθή συμπεριφορά, έχει προταθεί η εισαγωγή μιας σταθεράς K, η οποία λαμβάνει υπόψη την ποσότητα της βροχόπτωσης και την ξηρασία πριν από αυτή (Jiménez 2015). Η σταθερά K παίρνει τιμές από 0 έως 1 και διορθώνει την παραπάνω σχέση ως εξής:

$$NI = NI_i * K_i \quad (1.4)$$

**Πίνακας 1.** Συσχέτιση του δείκτη NI με την κατηγορία κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς.

<i>NI</i>	<i>Κατηγορία κινδύνου</i>
<300	Πολύ μικρή
300-1000	Χαμηλή
1000-4000	Μεσαία
4000-10000	Υψηλή
>10000	Ακραία



### 1.3.4 Ο δείκτης ξηρασίας Keetch-Byram (Keetch-Byram Drought Index, KBDI)

Ο δείκτης ξηρασίας Keetch-Byram (KBDI) είναι ένας δείκτης, η έννοια του οποίου πρωτοεισήχθηκε το 1988 από το Εθνικό Σύστημα Αξιολόγησης Κινδύνου Πυρκαγιάς (NFDRS) των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο Δείκτης αυτός αποτελεί ένα μέτρο εκτίμησης της ξηρασίας και χρησιμοποιείται στην μετατροπή των σχέσεων υπολογισμού του κινδύνου πυρκαγιάς, συνυπολογίζοντας την ξηρότητα της καύσιμης ύλης (Burgan, 1993). Για την χρήση του δείκτη βέβαια, γίνονται κάποιες παραδοχές:

1. Η υγρασία του εδάφους είναι ισοδύναμη με χωρητικότητα νερού βάθους περίπου 200mm.
2. Η δεύτερη παραδοχή αναφέρει ότι ο ρυθμός απώλειας υγρασίας σε μια περιοχή εξαρτάται από το είδος της χλωρίδας που καλύπτει την περιοχή αυτή η οποία με την σειρά της εξαρτάται από τη μέση βροχόπτωση.
3. Ο ρυθμός εξάτμισης της υγρασίας του εδάφους με το χρόνο είναι συνάρτηση της σχετικής εξατμισοδιαπνοής, η οποία προκύπτει από την εκθετική συνάρτηση της μέγιστης θερμοκρασίας.

Επιπλέον, αναλύσεις σχετικά με την ευαισθησία του KBDI έχουν δείξει ότι μειώνεται εκθετικά με τη μείωση της μέγιστης υγρασίας στο έδαφος και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μέγιστη θερμοκρασία του αέρα (Dennison et al. 2003). Ο δείκτης παίρνει τιμές από 0 έως 800 και μετριέται σε ίντσες. Το μέγιστο της κλίμακας αναφέρεται σε εντελώς ξηρό έδαφος ενώ το ελάχιστο σε έδαφος το οποίο είναι κορεσμένο (Jiménez 2015).

### 1.3.5 Ο δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς MacArthur (MacArthur's Forest Fire Danger Index, FFDI)

Ο δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς MacArthur (FFDI) δημιουργήθηκε πριν από κάποιες δεκαετίες και σκοπός του ήταν ο προσδιορισμός της επικινδυνότητας για την εκδήλωση πυρκαγιάς στη περιοχή της Αυστραλίας (Lucas 2010). Η εξίσωση η οποία δίνει τον FFDI λαμβάνει υπόψιν της τη θερμοκρασία (T), την ταχύτητα του ανέμου (v), τη σχετική υγρασία (RH) και έναν παράγοντα ο οποίος αντιπροσωπεύει την διαθεσιμότητα της καύσιμης ύλης και λέγεται Παράγοντας Ξηρασίας (DF) (Dowdy et al. 2009):

$$FFDI = 2e^{(-0.45+0.987\ln(DF)-0.0345RH+0.00338T+0.0234v)} \quad (1.5)$$

Ο δείκτης αυτός έχει ως ελάχιστο της κλίμακας το 0 (χαμηλός κίνδυνος) και μέγιστο το 50+ (εξαιρετικά μεγάλος κίνδυνος). Σύμφωνα με εκτενή ανάλυση από τους Dowdy et al. (2009), βρέθηκε ότι ο δείκτης FFDI έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με τον FWI (κεφ. 1.3.8) με τη διαφορά ότι ο FWI έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στην ταχύτητα του ανέμου και τη βροχόπτωση ενώ ο FFDI στη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία.

### 1.3.6 Ο δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς Fosberg (Fosberg Fire Weather Index, FFWI)

Ο δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς Fosberg (FFWI) δημιουργήθηκε το 1978 από τον Fosberg. Είναι ένας μη γραμμικός δείκτης ο οποίος λαμβάνει υπόψιν του τις εξής μετεωρολογικές παραμέτρους: θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ταχύτητα ανέμου. Δε λαμβάνει υπόψιν πιο περίπλοκες παραμέτρους όπως η κατάσταση της καύσιμης ύλης κάνοντάς τον έναν απλό προς υπολογισμό δείκτη (Goodrich 2002). Οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης είναι από 0 έως 100 και ο τρόπος υπολογισμού φαίνεται στην εξίσωση (1.6):

$$FFWI = \frac{\eta\sqrt{1 + U^2}}{0.3002} \quad (1.6)$$

όπου  $U$  η ταχύτητα του ανέμου και  $\eta$  ο συντελεστής απόσβεσης υγρασίας ο οποίος δίνεται μέσω της σχέσης:

$$\eta = 1 - 2\left(\frac{m}{30}\right) + 1.5\left(\frac{m}{30}\right)^2 - 0.5\left(\frac{m}{30}\right)^3 \quad (1.7)$$

όπου  $m$  η περιεχόμενη υγρασία ισοδυναμίας η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία ( $T$ ) και τη σχετική υγρασία ( $RH$ ) ως εξής:

$$m = \begin{cases} 0.03229 + 0.281073RH - 0.000578RH * T \text{ με } RH < 10\% \\ 2.22749 + 0.160107RH - 0.01478T \text{ με } 10\% < RH < 50\% \\ 21.0606 + 0.005565RH^2 - 0.00035RH * T - 0.483199RH \text{ με } RH > 50\% \end{cases} \quad (1.8)$$

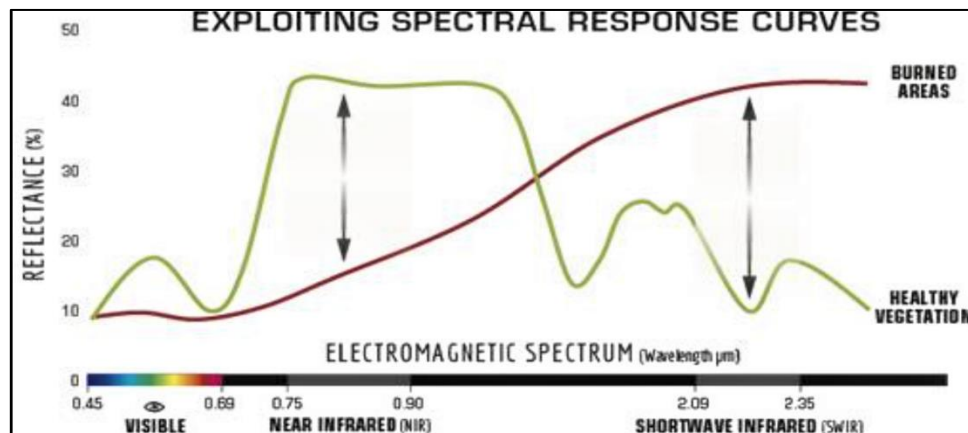
### 1.3.7 Ο δείκτης κανονικοποιημένης αναλογίας καύσης (Normalized Burn Ratio, NBR)

Αρκετές έρευνες έχουν εκπονηθεί ώστε να εκτιμηθούν οι ζημιές που αφήνει πίσω της μια ακραία περίπτωση πυρκαγιάς, μια από τις οποίες οδήγησε στη δημιουργία του δείκτη κανονικοποιημένης αναλογίας καύσης (NBR) (Roy et al. 2006). Ο δείκτης αυτός εμφανίζει αρκετά κοινά χαρακτηριστικά ως προς τη λειτουργία του με τον δείκτη βλάστησης (NDVI), ο οποίος χρησιμοποιείται στις δορυφορικές εικόνες, με μόνη διαφορά ότι ο NBR συνδυάζει πληροφορίες στο φάσμα του κοντινού υπέρυθρου (Near Infrared, NIR) και του μικρού μήκους κύματος υπέρυθρου, 1-3 $\mu$ m, (Shortwave Infrared, SWIR) για την εκτίμηση των καμένων εκτάσεων (Escuin et al. 2008).

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω Εικόνα 7, οι καμένες εκτάσεις παρουσιάζουν χαμηλή ανακλαστικότητα στο NIR και υψηλή στο SWIR μέρος του φάσματος. Το αντίθετο παρατηρείται για την υγιή βλάστηση. Ο δείκτης μπορεί επομένως να υπολογισθεί μέσω του τύπου:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (1.9)$$

Ο δείκτης παίρνει μέγιστες τιμές (100) όταν υπάρχει υγιής βλάστηση, ενώ όταν πρόκειται για καμένη έκταση τότε ο δείκτης είναι κοντά στο 0.



**Εικόνα 7.** Σύγκριση της ανακλαστικότητας του φάσματος της υγιούς βλάστησης με αυτή των καμένων εκτάσεων (Πηγή: U.S. Forest service, <https://www.fs.usda.gov/>).

Για να εξεταστεί η σοβαρότητα των επιπτώσεων μιας πυρκαγιάς χρησιμοποιείται ο δείκτης dNBR, ο οποίος εξάγεται από τις διαφορές που έχει ο δείκτης πριν και μετά το επεισόδιο μιας πυρκαγιάς ως εξής:

$$dNBR = PrefireNBR - PostfireNBR \quad (1.10)$$

Οι τιμές του δείκτη ενδέχεται να διαφέρουν από περιστατικό σε περιστατικό και για το λόγο αυτό θα πρέπει να εξακριβώνεται η ορθότητά του και από παρατηρήσεις στο πεδίο του συμβάντος. Σύμφωνα με το Γεωλογικό Κέντρο Ερευνών των Ηνωμένων Πολιτειών (USGS) έχει προταθεί μια κατηγοριοποίηση της κλίμακας σοβαρότητας των επιπτώσεων που δημιουργεί μια πυρκαγιά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.

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

**Εικόνα 8.** Κατηγοριοποίηση των επιπτώσεων από μια πυρκαγιά, σύμφωνα με το USGS (Πηγή: U.S. Forest service, <https://www.fs.usda.gov/>).

### 1.3.8 Ο Καναδικός δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς (Canadian Forest Fire Weather Index, FWI)

Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε μια προσπάθεια συγκέντρωσης των πιο γνωστών και χρησιμοποιημένων δεικτών ανά τον κόσμο. Κάθε περιοχή έχει τη δική της διαμόρφωση και το δικό της χαρακτηριστικό κλίμα, συνεπώς τα καθεστάτα πυρκαγιάς είναι διαφορετικά. Άρα θα είναι ανούσιο κάποιος να χρησιμοποιεί ένα μόνο δείκτη ώστε να μπορεί να προβλέψει τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς και τις τελικές επιπτώσεις που αυτή θα άφηνε πίσω της. Η ποικιλία συνεπώς, είναι άκρως αναγκαία.

Το 1971 αναπτύχθηκε στον Καναδά ο Καναδικός δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς (FWI) ο οποίος αποτελεί μέρος του Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDS) (van Wagner 1987) και αποτελεί τον πλέον χρησιμοποιούμενο δείκτη παγκοσμίως. Σήμερα ο δείκτης βρίσκεται χρησιμότητα σε αρκετά μέρη, όπως στις Μεσογειακές χώρες και φυσικά στην Ελλάδα όπου θα είναι και η περιοχή μελέτης του δείκτη αυτού στην παρούσα εργασία.

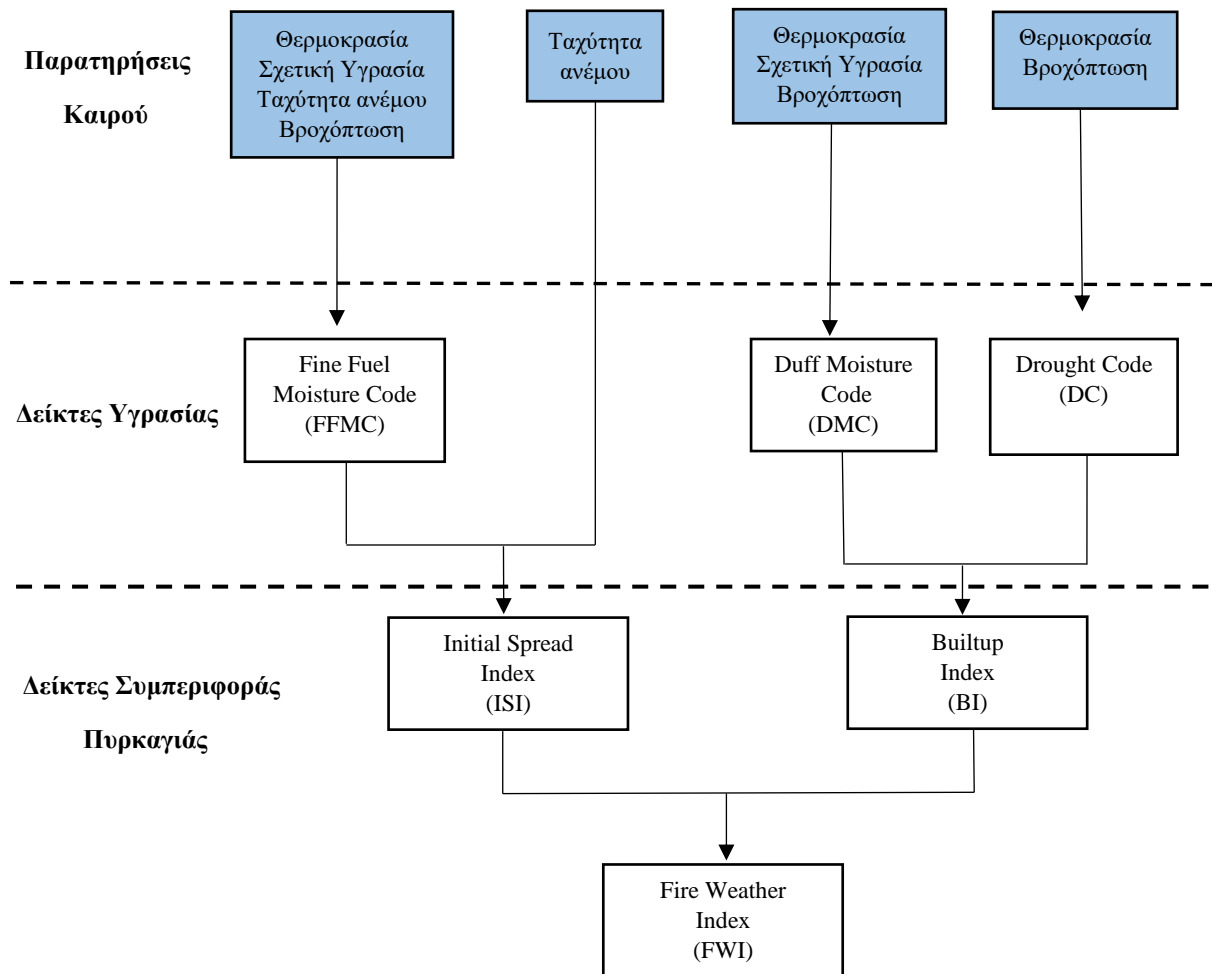
Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιεί μετεωρολογικές παραμέτρους, τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, την ημερήσια βροχόπτωση και την ταχύτητα ανέμου, οι οποίες πρέπει να μετρώνται πάντα στις 1500-1700 LST σύμφωνα με το συμφωνηθέν πρωτόκολλο (van Wagner 1987). Επίσης, όσον αφορά την κλίμακά του, αυτός παίρνει ελάχιστη τιμή το μηδέν η οποία αντιστοιχεί σε πολύ χαμηλό επίπεδο επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς, ενώ η ακραία κατάσταση επικινδυνότητας συμβαίνει όταν ο δείκτης έχει τιμές μεγαλύτερες του 50. Οι ενδιάμεσες τιμές φαίνονται στον Πίνακα 2 (Dowdy et al. 2009).

**Πίνακας 2.** Κατηγοριοποίηση κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς με βάση τον FWI (Πηγή: Dowdy et al. 2009).

Fire danger rating	FFDI range
Low	0–5
Moderate	5–12
High	12–24
Very high	24–50
Extreme	≥ 50

Ο FWI αποτελείται από έξι συστατικούς υποδείκτες, οι οποίοι αξιολογούν την περιεχόμενη υγρασία σε διάφορες στρώσεις της καύσιμης ύλης και την επίδραση του ανέμου στη συμπεριφορά και την εξάπλωση των πυρκαγιών. Οι έξι υποδείκτες μπορούν να διαιρεθούν ως εξής: οι τρεις από αυτούς αναφέρονται στην περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης ύλης που εξαρτάται από την ημερήσια πορεία της. Οι υπόλοιποι τρεις αναφέρονται στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς, δηλαδή, στο ρυθμό εξάπλωσής της, στην ένταση και στο ρυθμό με τον οποίο καίγεται η καύσιμη ύλη (van Wagner 1987). Η αποδοτικότητα του δείκτη στηρίζεται στις τρεις υποδιαιρέσεις που αφορούν τη περιεχόμενη υγρασία και αυτό, διότι μπορούν να ανιχνεύσουν με μεγάλη ακρίβεια την υγρασία σε κάθε στρώμα της καύσιμης ύλης, δίνοντας πολύτιμες πληροφορίες για την ανάφλεξη και την εξάπλωση της φωτιάς (Wotton, 2009). Ονομαστικά αυτοί οι δείκτες είναι:

- **Fine Fuel Moisture Code (FFMC)**
- **Drought Code (DC)**
- **Duff Moisture Code (DMC)**
- **Builtup Index (BI)**
- **Initial Spread Index (ISI)**
- **Fire Weather Index (FWI)**



Σχήμα 1. Σχηματική αναπαράσταση του Canadian Forest Fire Weather Index (CFFWI) System.

### Fine Fuel Moisture Code

Ο FFMC είναι ένας αριθμητικός δείκτης ο οποίος εκφράζει τη καύσιμη ύλη που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους και αποτελεί τον παράγοντα που μας δείχνει την ευκολία ως προς την ανάφλεξη της (Dimitrakopoulos et al. 2011). Διευκρινίζεται ότι, ως επιφανειακά καύσιμα εννοούμε την ύλη η οποία καταλαμβάνει στρώμα περί τα 1-2cm και η οποία εξαρτάται έντονα από τη θερμοκρασία, τη ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία και τέλος τη βροχόπτωση. Όσον αφορά τη κλίμακα, ο δείκτης παίρνει τιμές από 0 έως 99 και αποτελεί τον μοναδικό δείκτη ο οποίος έχει καθορισμένα όρια τιμών. Γενικά, συνήθως τιμή κλίμακας του δείκτη για την ανάφλεξη της ύλης είναι το 70, ενώ η μέγιστη τιμή κλίμακας η οποία πιθανώς να παρατηρηθεί είναι το 96 (De Groot 1987).

Ο αρχικός υπολογισμός του δείκτη ξεκινά λαμβάνοντας την τιμή που είχε την προηγούμενη μέρα και η οποία μετατρέπεται μέσω του παρακάτω τύπου στη μεταβλητή moisture content ( $mc_i$ ) ως εξής:

$$mc_i = 147.2 \times \frac{101 - FFMC}{59.5 + FFMC} \quad (1.11)$$

Κατασκευάζοντας αρκετές εμπειρικές καμπύλες μεταξύ του FFMC και του moisture content, αποδεικνύεται ότι ο ρυθμός ημερήσιας μεταβολής εκφράζεται από τη κλίση της ημι-λογαριθμικής καμπύλης ξήρανσης/ύγρανσης, η οποία ονομάζεται λογαριθμική καμπύλη ξήρανσης/ύγρανσης και συμβολίζεται με  $k$ . Το πρώτο βήμα με τον υπολογισμό της  $k$  γίνεται με τη παρακάτω εξίσωση:

$$k_{0d} = 0.424 \left[ 1 - \left( \frac{H}{100} \right)^{1.7} \right] + 0.0694 \times W^{0.5} \times \left[ 1 - \left( \frac{H}{100} \right)^a \right] \quad (1.12)$$

όπου  $H$  η σχετική υγρασία,  $k_{0d}$  ο λογαριθμικός ρυθμός ξήρανσης υπό θερμοκρασία 21.5 °C και  $W$  η ταχύτητα του ανέμου η οποία στην παραπάνω εξίσωση είναι σε τετραγωνική ρίζα διότι έχει μεγαλύτερη επίδραση στην ξήρανση της καύσιμης ύλης, όταν έχει μικρές τιμές, (Jiménez 2015).

Γνωρίζοντας ότι ο ρυθμός ύγρανσης της ατμόσφαιρας εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία τότε, σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση μπορούμε να γράψουμε:

$$k_{0w} = 0.424 \left[ 1 - \left( \frac{100 - H}{100} \right)^{1.7} \right] + 0.0694 \times W^{0.5} \times \left[ 1 - \left( \frac{100 - H}{100} \right)^a \right] \quad (1.13)$$

όπου  $k_{0w}$  ο λογαριθμικός ρυθμός ύγρανσης σε κανονική θερμοκρασία.

Οι δύο παραπάνω ρυθμοί εξαρτώνται άμεσα από τη θερμοκρασία και έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε το ρυθμό  $k$ :

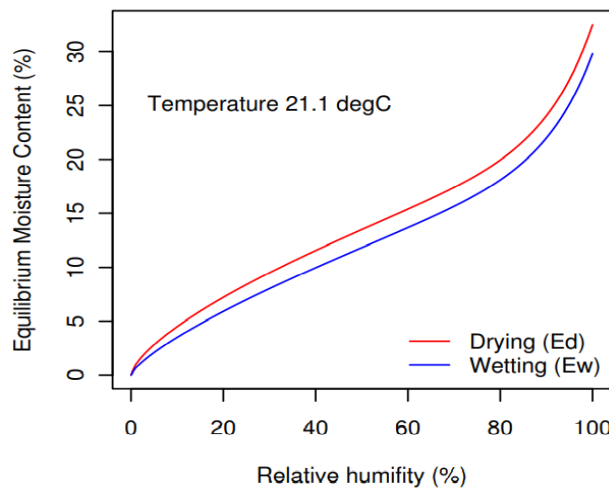
$$k_i = k_{0i} \times 0.581e^{0.0365T} \quad (1.14)$$

με  $i = d$  όταν επρόκειτο για ξήρανση και  $i = w$  όταν έχουμε ύγρανση.

Ένα τελευταίο βήμα έμεινε για τον υπολογισμό της περιεχόμενης υγρασίας ( $mc_i$ ) και αυτό είναι η μελέτη των καμπυλών της. Αυτές συμβολίζονται γενικά με ( $E$ ) και διαχωρίζονται σε  $E_d$  όταν πρόκειται για τη ξηρή κατάσταση και  $E_w$  όταν πρόκειται για την υγρή (Jiménez 2015).

$$E_d = 0.942H^{0.679} + 11e^{(H-100)/10} + 0.18(21.1 - T)(1 - e^{-0.115H}) \quad (1.15)$$

$$E_w = 0.618H^{0.753} + 10e^{(H-100)/10} + 0.18(21.1 - T)(1 - e^{-0.115H}) \quad (1.16)$$



**Εικόνα 9.** Ισόθερμες καμπύλες περιεχόμενης υγρασίας υπό θερμοκρασία 21.1°C.  $E_d$  για ξηρές συνθήκες και  $E_w$  για υγρές όσον αφορά την σχετική υγρασία  $H$  (Πηγή: Jiménez 2015).

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση μπορεί να οριστεί ο τύπος που θα δίνει την περιεχόμενη υγρασία  $mc$ :

$$mc = \begin{cases} E_d + (m_0 - E_d) \times 10^{-k_d} & , m_0 > E_d \\ m_0 & , E_w < m_0 < E_d \\ E_w - (E_w - m_0) \times 10^{-k_w} & , m_0 < E_w \end{cases} \quad (1.17)$$

Όπως αρχικά είχε αναφερθεί, ο FFMC εξαρτάται από τις συνθήκες τις προηγούμενης μέρας, έτσι αν η χθεσινή περιεχόμενη υγρασία  $m_0$  είναι μεγαλύτερη από το  $E_d$  τότε η καύσιμη ύλη έχει μια τάση προς ξήρανση, ενώ αν η  $m_0$  είναι μικρότερη από το  $E_w$  τότε έχει τάση προς

ύγρανση. Στην περίπτωση που η χθεσινή περιεχόμενη υγρασία βρίσκεται ανάμεσα από  $E_w$  και  $E_d$  τότε δεν παρατηρούνται μεταβολές στην περιεχόμενη υγρασία (Jiménez 2015).

Δεν θα μπορούσε να μη ληφθεί υπόψιν στους υπολογισμούς και η επίπτωση της βροχόπτωσης στην περιεχόμενη υγρασία.

$$\frac{\Delta mc}{r_f} = 42.5e^{-\frac{100}{251-m_0}}(1 - e^{-6.93r}) \quad (1.18)$$

Στην παραπάνω εξίσωση (1.18), το  $\Delta mc$  είναι η μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας λόγω της ενεργού βροχής  $r_f$ . Επιπλέον, όταν η χθεσινή περιεχόμενη υγρασία και η βροχόπτωση παίρνουν μεγάλες τιμές τότε θα πρέπει να προστεθεί μια διόρθωση στον παραπάνω τύπο. Η διόρθωση αυτή γίνεται όταν ο δείκτης  $FFMC \leq 5$  και  $m_0 > 150$ .

$$0.0015(m_0 - 150)^2 r_f^{0.5} \quad (1.19)$$

Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε βέβαια, ότι η βλάστηση απορροφά ένα μέρος της βροχόπτωσης και συνεπώς η συνολική ποσότητα βροχής  $r_0$  (σε mm) θα πρέπει να μειωθεί κατά ένα παράγοντα 0.5 ώστε να έχουμε την ενεργό βροχή  $r_f$ .

$$r_f = r_0 - 0.5 \quad (1.20)$$

Παρατηρώντας την εξίσωση (1.20) μπορούμε να πούμε, ότι ποσότητες βροχόπτωσης μικρότερες από 0.5mm δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν στον υπολογισμό του FFMC. Σαφώς, όταν επικρατούν ξηρές συνθήκες, η εξίσωση που εκφράζει τη βροχόπτωση δεν θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν (Jiménez 2015).

### **The Duff Moisture Code**

Ο Duff Moisture Code (DMC) είναι μια αριθμητική κλίμακα της μέσης περιεχόμενης υγρασίας σε ένα χαλαρά συμπιεσμένο οργανικό υπόστρωμα το οποίο καταλαμβάνει περί τα 5-10 cm βάθος (De Groot 1987). Επίσης, ο δείκτης αυτός μας δίνει μια ένδειξη για την ευκολία ως προς την ανάφλεξη του υποστρώματος από κεραυνούς (Dimitrakopoulos et al. 2011). Ακόμη, ο DMC έχει μεγάλο χρόνο αντίδρασης στις μεταβολές του καιρού, περίπου 12 μέρες ώστε η περιεχόμενη υγρασία να φτάσει στο 63% (Johnson et al. 2013).

Σε αντίθεση με τον FFMC, ο DMC επεξεργάζεται την περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης ύλης η οποία υπόκειται σε αργή ξήρανση και για τον λόγο αυτό το χρονικό περιθώριο στο οποίο οι συνθήκες είναι κατάλληλες για την ξήρανση είναι ιδιαίτερα σημαντικό (Jiménez 2015). Η ύλη αυτή εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και τη σχετική υγρασία ενώ, επειδή βρίσκεται σε κάποιο βάθος, δεν επηρεάζεται από τον άνεμο (De Groot 1987).

Σύμφωνα με τον Jiménez 2015 η περιεχόμενη υγρασία του υποστρώματος που χαρακτηρίζει ο DMC, αυξάνεται περισσότερο με μια ήπια βροχόπτωση, ενώ όχι τόσο με



ισχυρή, καθώς δεν μπορεί να τη συγκρατήσει. Έτσι η ενεργός βροχόπτωση  $r_e$  σε σχέση με τη συνολική απορροφώμενη  $r_0$  δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$r_e = 0.92r_0 - 1.27 \quad (1.21)$$

Αν  $r_0 > 1.5mm$  τότε, σύμφωνα με την παραπάνω σχέση η συνολική ποσότητα περιεχόμενης υγρασίας δίνεται από τον τύπο:

$$M_r = M_0 + \frac{1000r_e}{48.77 + br_e} \quad (1.22)$$

Όμως για να υπολογίσουμε το  $M_r$  χρειαζόμαστε την περιεχόμενη σε ποσότητα υγρασία της προηγούμενης μέρας,  $M_0$ , όπως και τη σταθερά  $b$ . Η υγρασία της προηγούμενης μέρας δίνεται από τη σχέση:

$$M_0 = 20 + e^{\left(5.6348 - \frac{P_0}{43.43}\right)} \quad (1.23)$$

όπου  $P_0$ , είναι η τιμή που είχε ο DMC την προηγούμενη μέρα. Η σταθερά  $b$  δίνεται από τη σχέση:

$$b = \begin{cases} 100/(0.5 + 0.3P_0) & , P_0 \leq 33 \\ 14 - 1.3 \ln(P_0) & , 33 \leq P_0 \leq 65 \\ 6.2 \ln(P_0) - 17.2 & , P_0 > 65 \end{cases} \quad (1.24)$$

Ο DMC υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$P = P_r + 100K \quad (1.25)$$

Ο  $P_r$  είναι ο νέος, δείκτης DMC της προηγούμενης μέρας ο οποίος επηρεάστηκε λόγω της συνολικής ποσότητας περιεχόμενης υγρασίας και της συνολικής βροχόπτωσης. Ο δείκτης αυτός θεωρητικά δεν παίρνει αρνητικές τιμές και υπολογίζεται ως εξής:

$$P_r = 244.72 - 43.43 \ln(M_r - 20) \quad (1.26)$$

Επίσης, ο δείκτης ( $K$ ) αποτελεί το ρυθμό ξήρανσης της καύσιμης ύλης και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$K = 1.894(T + 1.11)(100 - H)L_e \times 10^{-6} \quad (1.27)$$

Ο ρυθμός ξήρανσης έχει μονάδες  $\log_{10}(M/Day)$  και εξαρτάται από τη θερμοκρασία ( $T$ ) και ένα εμπειρικό παράγοντα ( $L_e$ ) που χαρακτηρίζει τη διάρκεια της ημέρας σε ώρες ( $h$ ). Οι τιμές του δείκτη, όπως διαμορφώνονται για το βόρειο ημισφαίριο ( $30^\circ-90^\circ$ ), φαίνονται στον Πίνακα 3.

**Πίνακας 3.** Μηνιαίες τιμές για τη διάρκεια της ημέρας,  $L_e$ , για τον υπολογισμό του DMC. Οι παραπάνω τιμές ισχύουν για το Βόρειο ημισφαίριο για γεωγραφικό πλάτος 30°-90° (Van Wagner 1985).

Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
6.5	7.5	9.0	12.8	13.9	13.9	12.4	10.9	9.4	8.0	7.0	6.0

### **The Drought Code**

Ο DC είναι ένας αριθμητικός δείκτης ο οποίος εκφράζει την υγρασία σε ένα οργανικό στρώμα καύσιμης ύλης, το οποίο βρίσκεται σε βάθος περί τα (10-20) cm. Ο δείκτης αυτός εξαρτάται έντονα από τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση ενώ σε αντίθεση με τον FFMC δεν εξαρτάται από τη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας αλλά ούτε και από την ταχύτητα του ανέμου και αυτό, λόγω του βάθους της καύσιμης ύλης (De Groot 1987). Επομένως, για να εμπλουτιστεί με υγρασία το στρώμα αυτό θα πρέπει να έχουμε ικανή ποσότητα βροχόπτωσης. Πάνω από περίπου 3mm ημερήσιας βροχής χρειάζονται ώστε να διαπεράσουν τα παραπάνω στρώματα και να καταλήξουν σε αυτό. Συνεπώς, ένα επεισόδιο βροχόπτωσης μπορεί να επηρεάζει την τιμή του DC για αρκετές μέρες μετά τη λήξη του (Girardin et al. 2004).

Η επικινδυνότητα και η εξάπλωση μιας πυρκαγιάς αδιαμφισβήτητα εξαρτάται από τα επιφανειακά στρώματα ύλης και την υγρασία που έχουν αποθηκεύσει αυτά. Όσο ξηρότερα είναι, τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση και ο ρυθμός εξάπλωσης της. Υπάρχει η πιθανότητα όμως, τα κατώτερα στρώματα να είναι αρκετά ξηρά ενώ τα ανώτερα να έχουν ποσότητες υγρασίας. Τότε μπορεί η φωτιά στα ανώτερα στρώματα να δείχνει περιορισμένη και ανίσχυρη αλλά στα κατώτερα να σιγοκαίει για μέρες και έτσι, όταν βρεθούν οι κατάλληλες συνθήκες να επιδεινωθεί κατάσταση. Η χρησιμότητα του DC συνεπώς, έγκειται στο παραπάνω, στη προειδοποίηση της μεγαλύτερης ξηρότητας των κάτω στρωμάτων της ύλης για την αποφυγή έξαρσης μιας πυρκαγιάς (Muraro and Lawson 1970).

Ο υπολογισμός του δείκτη ξεκινά από κάποιο επεισόδιο βροχόπτωσης (RP) σύμφωνα με τον εξής τύπο:

$$RP = \left[ \frac{800}{e^{(DC_{d-1}/400)}} \right] + 3.937 * ER \quad (1.28)$$

όπου,  $DC_{d-1}$  είναι η τιμή του δείκτη της προηγούμενης μέρας. Η σταθερά (400) αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να συγκρατήσει το στρώμα σε %, ενώ το 800 είναι η μέγιστη τιμή η οποία μπορεί να λάβει το επεισόδιο βροχόπτωσης (Girardin et al. 2004). Το σύμβολο ER είναι η ενεργός βροχόπτωση και έχει τύπο:

$$ER = 0.83P - 1.27, \quad (1.29)$$

Όπου P η βροχόπτωση. Ο υπολογισμός της ενεργού βροχόπτωσης έχει νόημα μόνο όταν η βροχόπτωση (P) είναι μεγαλύτερη από 2.8mm (Jiménez 2015). Σύμφωνα με τους παραπάνω δύο τύπους μπορεί να υπολογιστεί η ξηρότητα του στρώματος (D):

$$D = 400 \ln \left( \frac{800}{RP} \right) \quad (1.30)$$

Στη περίπτωση που έχουμε ξηρές συνθήκες τότε θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν και την εξατμισοδιαπνοή (EV):

$$EV = 0.36T + L_f \quad (1.31)$$

Όπου T η θερμοκρασία η οποία υπολογίζεται κατά το μεσημέρι, και  $L_f$  ο εποχικός παράγοντας διάρκειας ημέρας (seasonal day length factor), (Girardin et al. 2004).

Συνεπώς συνδυάζοντας την εξίσωση (1.30) και (1.31) μπορούμε να υπολογίσουμε τον DC:

$$DC = D + 0.5 * EV \quad (1.32)$$

Ολοκληρώνοντας την αναφορά στους τρεις δείκτες οι οποίοι αναφέρονται στη περιεχόμενη υγρασία των διάφορων επιφανειακών στρωμάτων, θα ήταν χρήσιμο να συμπτύξουμε τα χαρακτηριστικά τους στον Πίνακα 4.

**Πίνακας 4.** Σύνοψη των χαρακτηριστικών των τριών δεικτών περιεχόμενης υγρασίας (De Groot 1987).

<sup>1</sup> Αποτελεί μια ανοιχτή κλίμακα και οι τιμές είναι ενδεικτικές για τη σύγκριση μεταξύ τους.

<sup>2</sup> Η τιμή αυτή μπορεί να διαφέρει και εξαρτάται από τη βροχόπτωση κατά τους χειμερινούς μήνες.

ITEM	FFMC	DMC	DC
<b>Fuel Association</b>	Litter and other cured fine fuels	Loosely-compacted organic layers of moderate depth	Deep, compact organic layers
<b>Fire Potential Indicator</b>	Ease of Ignition	Probability of lightning fires; fuel consumption in moderate duff	Mop-up difficulty; fuel consumption of deep organic material
<b>Depth (cm; inches)</b>	1-2 cm (.4" to .8")	5-10 cm (2"-4")	10-20 cm (4"-8")
<b>Fuel Loading (t/ha; t/ac)</b>	5 t/ha; 2.2 t/ac	50 t/ha; 22 t/ac	440 t/ha; 196 t/ac
<b>Required Weather Inputs:</b>			
<b>Dry-Bulb Temperature</b>	X	X	X
<b>Relative Humidity</b>	X	X	
<b>Windspeed</b>	X		
<b>Rain</b>	X	X	X
<b>24 hr Rainfall Threshold (mm; inches)</b>	0.5 mm-0.03"	1.4 mm-0.06"	2.8 mm-0.11"
<b>Timelag Constant</b>	16 hrs	12 days	52 days
<b>Value Range</b>	0-99	0-350 <sup>1</sup>	0-1200 <sup>1</sup>
<b>Maximum Probable Value</b>	96	150	800
<b>Spring Starting Value</b>	85	6	15 <sup>2</sup>

## Initial Spread Index

Ο κύριος σκοπός της αναφοράς των παραπάνω δεικτών, αλλά και των δύο που ακολουθούν είναι για να καταλήξουμε στα χαρακτηριστικά που διέπουν τον FWI. Ο πρώτος εκ των δύο δεικτών που δεν έχουν ως αποκλειστικό αντικείμενο την υγρασία, είναι ο ISI. Ο δείκτης αυτός αναφέρεται σε μια αριθμητική κλίμακα, η οποία μας δίνει το ρυθμό με τον οποίο αναμένεται μια πυρκαγιά να εξαπλωθεί (Dimitrakopoulos et al. 2011). Ο ISI χρησιμοποιεί την ταχύτητα του ανέμου και τη συνδυάζει με τον δείκτη FFMC ώστε να καθορίσει την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Αναλύοντας την ονομασία του δείκτη θα καταλήξουμε σε δύο σημαντικά συμπεράσματα. Το πρώτο είναι αυτό που συνδέεται με τις δύο τελευταίες λέξεις του ονόματος, Spread Index, το οποίο μας τονίζει ότι ο ρυθμός με τον οποίο εξαπλώνεται μια πυρκαγιά έχει άμεση σύνδεση με τη ταχύτητα του ανέμου αλλά και τη διαθέσιμη υγρασία της καύσιμης ύλης. Ο χαρακτηρισμός “Initial”, δίνει να εννοηθεί ότι η εξάπλωση μιας πυρκαγιάς δεν εξαρτάται μόνο από τους παραπάνω δύο παράγοντες, αλλά και από τη διαθέσιμη καύσιμη ύλη και την κατάσταση της στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους. Γίνεται αντιληπτό ότι ο όρος αυτός δε συνδέεται τόσο με τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς στα αρχικά στάδια δημιουργίας της, αλλά με το ρυθμό διάδοσής της όταν τα πρώτα εκατοστά της καύσιμης ύλης είναι ξηρά χωρίς να έχουν προλάβει να είναι και τα παρακάτω (van Wagner 1987).

Ενδελεχείς μελέτες, κυρίως στον Καναδά, αλλά και παρατηρήσεις, οδήγησαν στη δημιουργία ενός εμπειρικού τύπου που εκφράζει την επίπτωση του ανέμου στην εξάπλωση της πυρκαγιάς:

$$f(W) = e^{0.05039W} \quad (1.33)$$

όπου  $W$ , η ταχύτητα του ανέμου σε km/h η οποία μετράται 10m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους.

Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε και τη συμμετοχή του FFMC στη κατασκευή του δείκτη. Έτσι μπορούμε να γράψουμε:

$$f(F) = (91.9e^{-0.1386mc}) \left[ 1 + \frac{mc^{5.31}}{4.93 \times 10^7} \right] \quad (1.34)$$

Στη παραπάνω εξίσωση έχει χρησιμοποιηθεί η σχέση, εκπεφρασμένη σε επί τις εκατό (%), της περιεκτικότητας υγρασίας (moisture content) η οποία δίνεται από τη σχέση (1.10) (Jiménez 2015).

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (1.33) και (1.34) προκύπτει η εξίσωση που δίνει τον Initial Spread Index.

$$R = 0.208f(W)f(F) \quad (1.35)$$

## The Build Up Index

Ο δεύτερος δείκτης που χρειάζεται για να εκφραστεί ο FWI είναι ο BUI. Αυτός αποτελεί ένα συνδυασμό του DMC (Duff Moisture Code) και του DC (Drought Code). Προτού παρουσιάσουμε τη σχέση για τον BUI, ας σκεφτούμε τη σχέση μεταξύ DMC και DC. Κατά την περίοδο της Άνοιξης επικρατούν μεγάλα ποσοστά υγρασίας, συνεπώς ο DMC αυξάνει. Όμως, καθώς πηγαίνουμε προς την επικίνδυνη περίοδο για την εκδήλωση πυρκαγιών, η θερμοκρασία ανεβαίνει και η υγρασία στην καύσιμη ύλη μειώνεται. Έτσι, παρότι ο DMC αυξομειώνεται αρκετές φορές μέχρι να πιάσει ένα ελάχιστο, ο DC αυξάνει συνεχώς καθώς πηγαίνουμε προς τις ζεστές μέρες του καλοκαιριού. Συνεπώς, για τη κατασκευή ενός αποδοτικού τύπου, θα πρέπει να προσδώσουμε μεγαλύτερο βάρος στον DMC παρά στον DC (van Wagner 1987). Σύμφωνα με τα παραπάνω γράφουμε:

$$U = \frac{0.8PD}{P + 0.4D} \quad , \forall P \leq 0.4D \quad (1.36)$$

όπου U ο BUI και P,D οι DMC και DC αντίστοιχα. Σύμφωνα με τον van Wagner (1987), ο δείκτης BUI ακολουθεί κάποιες παραδοχές:

1. Ο BUI είναι μηδέν όταν ο DMC είναι μηδέν, ανεξάρτητα με την τιμή του DC.
2. Το αναλογικό βάρος του DC είναι μεταβλητό και αυξάνει καθώς η αναλογία του DMC και του DC πλησιάζει το 1.
3. Ο BUI είναι πάντα μεγαλύτερος από τον DMC, αλλά όχι μεγαλύτερος από το διπλάσιο του. Η παραπάνω παραδοχή ισχύει μόνο στις περιπτώσεις που  $DMC \neq 0$ .
4. Μετά από μια βροχόπτωση, ο BUI αυξάνει με μεγαλύτερο ρυθμό από τον DMC, έτσι όσο μεγαλύτερος ο DC σε σχέση με τον DMC τόσο γρηγορότερα θα φτάσει ο BUI την αρχική του τιμή πριν τη βροχόπτωση.
5. Ο BUI αποκτά χαρακτηριστικά εποχικότητας αν αναλογιστούμε ότι ο DC έχει αυξητική τάση τους μήνες του καλοκαιριού.

## The Fire Weather Index

Ακολουθώντας το *Σχήμα 1* και συνδέοντας τους παραπάνω δείκτες, μπορούμε πλέον να ορίσουμε τον FWI. Με μια πρώτη ματιά, κοιτάζοντας το όνομα που του έχει δοθεί, γίνεται αντιληπτό ότι σχετίζεται άμεσα με τις πυρκαγιές (Fire), αποτελεί δηλαδή έναν αριθμητικό δείκτη ο οποίος αντιπροσωπεύει τη δυναμική εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Το δεύτερο το οποίο γίνεται αντιληπτό είναι ότι σχετίζεται και με τις καιρικές

συνθήκες (Weather). Ο βαθμός ξήρανσης της καύσιμης ύλης, η ταχύτητα του ανέμου αλλά και γενικά κάθε σημαντικός παράγοντας που συνδέεται με τις καιρικές συνθήκες είναι απόλυτα απαραίτητος για την κατανόηση του δείκτη αυτού και την εξαγωγή μιας αξιόπιστης μέτρησής του. Συνεπώς, η σύνδεση και ανάλυση των παραπάνω δεικτών ήταν επιτακτικά αναγκαία για την σύνθεση του FWI. Αριθμητικά μιλώντας, η ένταση δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$I = Hwr \quad (1.37)$$

όπου, **I** η ένταση της πυρκαγιάς, **H** παραγόμενη θερμότητα ανά μονάδα μάζας της καύσιμης ύλης, **w** είναι το βάρος του διαθέσιμου καυσίμου και **r** ο ρυθμός με τον οποίο διασπείρεται η πυρκαγιά σε μονάδες απόστασης ανά χρόνο (Jiménez 2015). Κρατώντας τη μορφή και διαφοροποιώντας, ως προς τις μεταβλητές, την εξίσωση (1.37) μπορούμε να υπολογίσουμε τον FWI. Έτσι, η τιμή της μεταβλητής **w** αντιπροσωπεύεται από τον BUI, ενώ η **r** από τον ISI. Για τον παραπάνω σκοπό, ο BUI έχει μετατραπεί ώστε να μετρά κατευθείαν την ποσότητα της καύσιμης ύλης η οποία καταναλώνεται, μέσω διαφόρων εκτενών εξισώσεων οι οποίες δεν θα παρουσιαστούν στη παρούσα εργασία (van Wagner 1987).

Ο FWI δημιουργήθηκε, αρχικά, για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών στις εκτάσεις του Καναδά λαμβάνοντας υπόψιν τα χαρακτηριστικά της βλάστησης, τις καιρικές συνθήκες και τα τοπικά καθεστώτα πυρκαγιάς (fire regimes). Εκτός του Καναδά, οι Viegas et al. (1992) έκαναν κάποιες δοκιμές στις νότιες κυρίως χώρες της Ευρώπης ως προς το κατά πόσο ο FWI ανταποκρίνεται στις συνθήκες στα μέρη αυτά. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά, παρά τη μεγάλη διαφορά των δύο περιοχών και έτσι συνέχισαν με έρευνες σε περιοχές με μεγαλύτερη ξηρότητα όπως η Ελλάδα (Dimitrakopoulos and Bemmerzouk 2003). Παρά την καλή προσαρμοστικότητα του δείκτη και στην Ελλάδα, υπήρχε ανάγκη για περαιτέρω μελέτες, καθώς η ξηρότητα της περιοχής μας ίσως να επηρέαζε τη διάρκεια της επικίνδυνης περιόδου για την εκδήλωση πυρκαγιάς. Σήμερα, ο FWI χρησιμοποιείται ως ένας δείκτης που μας δείχνει την επικινδυνότητα, όπως και τη δυσκολία για την κατάσβεση μιας πυρκαγιάς, αποτελώντας συνάμα και έναν οδηγό κατάσβεσης που δείχνει τη μέθοδο που πρέπει να ακολουθήσουν οι αρμόδιοι πυρόσβεσης για τον περιορισμό της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς (Wotton 2009).

Η χρησιμότητα του FWI οδήγησε στη δημιουργία ευέλικτων δεικτών οι οποίοι απορρέουν από αυτόν και παρέχουν συγκεκριμένες πληροφορίες για συγκεκριμένα μεγέθη. Αυτοί φαίνονται παρακάτω:

- Ο **DSR (Danger Severity Rating)** είναι ένας δείκτης που υπολογίζεται ως μια εκθετική συνάρτηση του FWI. Χρησιμοποιείται για τη καλύτερη κατανόηση της προσπάθειας που πρέπει να καταβληθεί για το περιορισμό μιας πυρκαγιάς. Ο δείκτης αυτός σχεδιάστηκε για να μεσοποιείται, είτε ως προς τον χρόνο, είτε ως προς τον χώρο, ώστε να εκφράζει καλύτερα την επικινδυνότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς σε ένα συγκεκριμένο μέρος (Jiménez 2015). Η εξίσωση η οποία τον διέπει είναι η παρακάτω:

$$DSR = 0.0272FWI^{1.77} \quad (1.38)$$

- Η μεσοποίηση του DSR οδήγησε στη δημιουργία ενός δείκτη που εκφράζει την εποχοποίηση του κινδύνου πυρκαγιάς και αυτός είναι ο **SSR (Seasonal Severity Rating)**
- Ο **FWI90 (90-th percentile FWI)** ο οποίος λαμβάνει υπόψιν κυρίως τις ακραίες τιμές του δείκτη. Με βάση αυτό, η επικινδυνότητα για την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς εκτιμάται από μέσα ποσοστά, με το εννεηκοστό, 90-th, να είναι το επικρατέστερο και να ορίζεται ως σημείο αναφοράς (Andrews et al. 2003, Carvalho et al. 2008).
- **FOT30 (Frequency Over Threshold 30)**. Ο δείκτης αυτός εκφράζει ένα ποσοστό από το σύνολο των ημερών, της επικίνδυνης περιόδου για την εκδήλωση πυρκαγιάς, στο οποίο ο FWI υπερβαίνει τη τιμή 30.
- Ο **LOFS (Length Of the Fire Season)** είναι ένας δείκτης ο οποίος αντιπροσωπεύει τις μέρες του έτους που ανήκουν στην αντιπυρική περίοδο. Θα πρέπει στο σημείο αυτό να διευκρινίσουμε ότι η έναρξη και η λήξη της αντιπυρικής περιόδου καθορίζεται από το εξής: θα πρέπει η τιμή του FWI να είναι,  $FWI > 15$  και  $FWI < 15$  για τουλάχιστον δύο συνεχόμενες εβδομάδες (Jiménez 2015).

#### 1.4 Σύντομη περιγραφή τρόπου μελέτης και στόχου της παρούσας εργασίας

Κύριος στόχος της εργασίας αυτής είναι η μελέτη των κλιματικών χαρακτηριστικών, τα οποία σχετίζονται με τον κίνδυνο εκδήλωσης μιας πυρκαγιάς για τα 42 συνεχόμενα έτη της περιόδου 1979-2020. Η έρευνα ξεκίνησε με την επεξεργασία των τιμών του δείκτη FWI για τη περιοχή της Ελλάδας. Αρχικά, αφού βρέθηκε η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των ημερών, μελετήθηκε η χωρική κατανομή του δείκτη επικινδυνότητας πυρκαγιάς στην περιοχή της Ελλάδας. Στη συνέχεια, αξιοποιώντας τις αποχές του δείκτη FWI και εφαρμόζοντας τη μέθοδο της Παραγοντικής Ανάλυσης, μελετήθηκε η διαχρονική διακύμανση του δείκτη στην περιοχή της Ελλάδας για τους 6 μήνες μελέτης (Μάιο-Οκτώβριο). Η μελέτη αυτή θα βοηθήσει να κατανοήσουμε καλύτερα την μεταβολή του δείκτη και θα υποδείξει πιθανές περιοχές οι οποίες είναι ευάλωτες ως προς την εκδήλωση πυρκαγιάς.

Επιπλέον, με τη μελέτη των στατιστικών στοιχείων των ημερών και των περιστατικών για τις οποίες ο δείκτης FWI παίρνει ακραίες τιμές, θα ανακαλύψουμε σημαντικές τάσεις αυτών, κατανοώντας τη κατανομή τους ανά τους μήνες και ανά τα έτη.

Η μελέτη συνεχίστηκε χρησιμοποιώντας δεδομένα κυκλοφορίας, και συγκεκριμένα γεωδυναμικά ύψη στις στάθμες 500hPa, και 1000hPa αλλά και της θερμοκρασίας και της υγρασίας στα 850hPa. Με τη βοήθεια της Παραγοντικής Ανάλυσης και της Ανάλυσης κατά Συστάδες μειώθηκε η διαστατικότητα των δεδομένων και κατηγοριοποιήθηκαν σε ομάδες

(clusters) με κοινά χαρακτηριστικά. Η υγρασία και η θερμοκρασία αποτελούν, όπως αναφέρθηκε και στο παραπάνω κεφάλαιο, βασικό και καθοριστικό παράγοντα για την έναρξη και τη διασπορά των πυρκαγιών και συνεπώς η μελέτη τους ήταν επιτακτική. Το γεωδυναμικό ύψος σε δύο ξεχωριστές στάθμες είναι αυτό που μας υπέδειξε το μοτίβο ως προς τη κυκλοφορία πάνω από την περιοχή μελέτης, κατανοώντας, μεταξύ άλλων και τη διεύθυνση του ανέμου. Ο άνεμος είναι και αυτός, όπως και οι άλλες δύο παράμετροι (θερμοκρασία, υγρασία), καθοριστικός παράγοντας αύξησης της επικινδυνότητας εκδήλωσης μιας πυρκαγιάς.



# Κεφάλαιο 2

## Δεδομένα-Μεθοδολογία

---

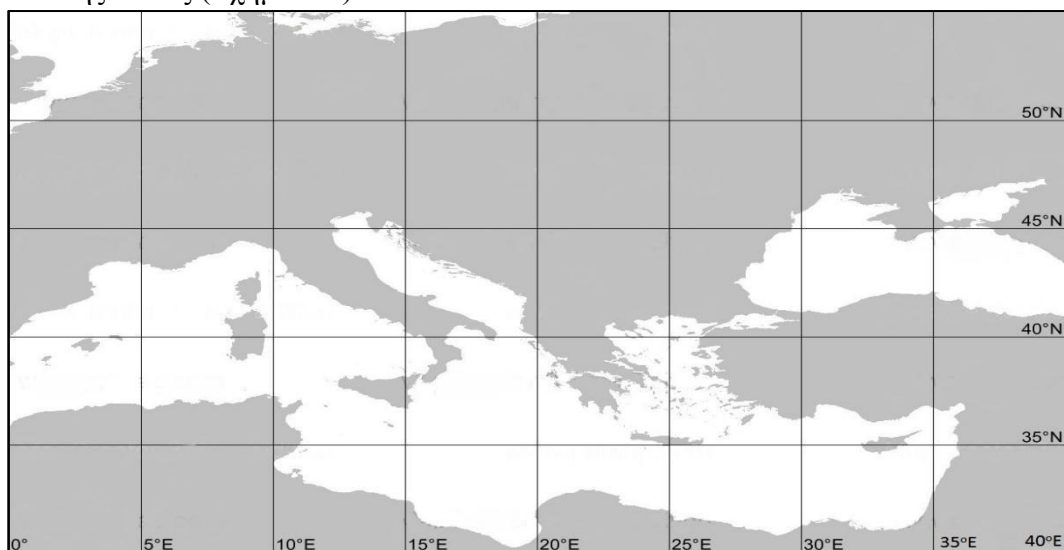
### 2.1 Δεδομένα

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα κάτωθι δεδομένα για την 42-ετή περίοδο 1979-2020:

- A. Ημερήσιες τιμές δεδομένων στην ευρύτερη περιοχή της ΝΑ Ευρώπης ( $0^{\circ}$ - $40^{\circ}$ Δ και  $30^{\circ}$ Β- $55^{\circ}$ Β) (Σχήμα 2.1) με πυκνότητα πλέγματος  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ , τα οποία περιλαμβάνουν τα γεωδυναμικά ύψη στα 500hPa (GH500) και 1000hPa (GH1000), τη σχετική υγρασία στα 850hPa (RH850) και τη θερμοκρασία στην ίδια στάθμη (T850). Οι τιμές αυτές είναι για τα έτη που αναφέρθηκαν παραπάνω και καλύπτουν τους μήνες από Μάιο-Οκτώβριο.
- B. Ημερήσιες τιμές του δείκτη FWI για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο και για την περιοχή των νοτίων Βαλκανίων ( $19^{\circ}$ Ε- $29^{\circ}$ Ε και  $34.75^{\circ}$ Ν- $42^{\circ}$ Ν) με πυκνότητα πλέγματος  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ .

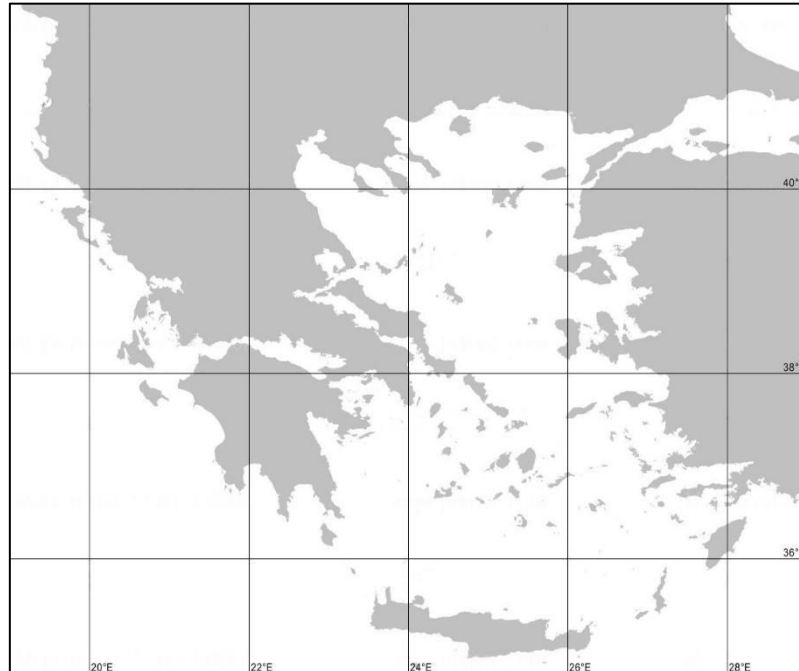
Τα δεδομένα που αναφέρθηκαν παραπάνω αποκτήθηκαν από τη βάση δεδομένων ERA5. Η βάση αυτή, με τη βοήθεια δορυφορικών και επίγειων μετρήσεων, προσφέρει δεδομένα διαφόρων μεταβλητών, τόσο για την ατμόσφαιρα όσο και για την επιφάνεια της γης (ξηρά και θάλασσα).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, για την εργασία αυτή, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από δύο γεωγραφικές περιοχές. Η πρώτη αναφέρεται στη Α. περίπτωση των δεδομένων και περιλαμβάνει μεγάλο μέρος της Ευρώπης, ένα τμήμα της Βορείου Αφρικής και ένα κομμάτι της ανατολικής Ασίας (Σχήμα 2.1).



**Σχήμα 2.1** Χάρτης της περιοχής μελέτης των δεδομένων της περίπτωσης Α.

Η δεύτερη περιοχή αναφέρεται στην περιοχή μελέτης του κινδύνου πυρκαγιάς, ο οποίος μελετάται μέσω του FWI και περιλαμβάνει την περιοχή των νότιων Βαλκανίων και της ανατολικής Τουρκίας.



**Σχήμα 2.2** Χάρτης της περιοχής μελέτης των δεδομένων του FWI.

## 2.2 Μέθοδοι επεξεργασίας των δεδομένων

Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται επεξήγηση των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία για την επεξεργασία των δεδομένων. Η χρησιμότητα τους ήταν μεγάλη διότι ο όγκος των δεδομένων ήταν μεγάλος και έτσι η επεξεργασία δίχως αυτές δεν θα ήταν δυνατή.

### 2.2.1 Παραγοντική Ανάλυση (*Factor Analysis*)

Η ιδέα της Παραγοντικής Ανάλυσης εμφανίζεται για πρώτη φορά από τον Galton, το 1888, όμως η δημοσιοποίηση της τελικής μορφής της μεθόδου έγινε από τους Pearson και Spearman στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Αρκετοί, βέβαια, τα μετέπειτα χρόνια έχουν συμβάλει στη τελειοποίηση της μεθόδου (Morrison 1991).

Παρά τη σημαντικότητα της μεθόδου, η αναγνώρισή της δεν ήταν μεγάλη την περίοδο της ανακάλυψης και αυτό διότι δεν υπήρχε η κατάλληλη τεχνολογική εξέλιξη. Αυτό όμως άλλαξε με τη δημιουργία γρήγορων υπολογιστικών μηχανημάτων και έτσι η επεξεργασία μεγάλου όγκου πληροφορίας βοήθησε τις στατιστικές μεθόδους, όπως είναι και η Παραγοντική Ανάλυση, να βρουν ολοένα και μεγαλύτερο χώρο δράσης.

Η Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis) είναι, μια στατιστική μέθοδος, η οποία χρησιμοποιεί πολλές μεταβλητές από μια σειρά δεδομένων, οι οποίες συσχετίζονται μεταξύ τους, έχοντας ως σκοπό τη μείωση της διαστατικότητας του αριθμού των μεταβλητών αυτών. Αυτή η μείωση επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση των αρχικών συσχετιζόμενων μεταβλητών,  $X_1, X_2, \dots, X_p$  με άλλες μεταβλητές  $F_1, F_2, \dots, F_m$  οι οποίες είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, με το πλήθος  $m < p$  και οι οποίες ονομάζονται *παράγοντες* (Factors), ενώ οι τιμές τους ονομάζονται *τιμές επίδοσης* (Factor scores). Οι τιμές επίδοσης έχουν διακύμανση ίση με τη μονάδα ενώ η μέση τιμή τους είναι μηδέν, δηλαδή είναι κανονικοποιημένες (Manly and Jorge 2017).

Οι γενικά συσχετιζόμενες μεταβλητές εκφράζονται ως γραμμικός συνδυασμός των παραγόντων μέσω της σχέσης:

$$X_i = g_{i1}F_1 + g_{i2}F_2 + \dots + g_{im}F_m + e_i \quad (2.1)$$

όπου, οι συντελεστές  $g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{im}$  ονομάζονται φορτία των παραγόντων (Factor loadings) και εκφράζουν τη συσχέτιση μεταξύ των αρχικών μεταβλητών,  $X_i$  με κάθε ένα από τους παράγοντες.

Οι αρχικές συσχετιζόμενες μεταβλητές διαφέρουν από τους παράγοντες στο εξής: οι μεν πρώτες είναι φυσικά μεγέθη και παρατηρούμενα ενώ οι παράγοντες δεν έχουν πάντοτε σαφή φυσική σημασία και είναι μικρότεροι σε πλήθος από αυτές. Βέβαια, παρά το μικρότερο πλήθος τους, ερμηνεύουν το μεγαλύτερο μέρος της αρχικής πληροφορίας.

Η παραγοντική ανάλυση χαρακτηρίζεται από διαδοχικούς μαθηματικούς υπολογισμούς οι οποίοι μπορούν να ταξινομηθούν στα παρακάτω βήματα:

#### 1. Εφαρμογή Ανάλυσης σε Κύριες Συνιστώσες

- Κανονικοποίηση των αρχικών  $p$  μεταβλητών, ώστε να έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα.
- Υπολογισμός του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών.
- Υπολογισμός των ιδιοτήτων  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  του πίνακα συσχετίσεων και των αντίστοιχων ιδιοδιανυσμάτων  $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \dots, \mathbf{b}_p$ . Η ιδιοτιμή  $\lambda_j$  αποτελεί τη διακύμανση της  $j$ -οστής κύριας συνιστώσας και τα στοιχεία του ιδιοδιανύσματος  $\mathbf{b}_j$  αποτελούν τους συντελεστές, όπως φαίνεται με τη παρακάτω εξίσωση:

$$Z_j = b_{j1}X_1 + b_{j2}X_2 + \dots + b_{jp}X_p \quad (2.2)$$

2. Υπολογισμός των αρχικών μεταβλητών  $X_i$  ως γραμμικός συνδυασμός των κύριων συνιστωσών:

$$X_i = b_{i1}Z_1 + b_{i2}Z_2 + \dots + b_{ip}Z_p \quad (2.3)$$

3. Διατήρηση  $m$  κύριων συνιστωσών

$$X_i = b_{1i}Z_1 + b_{2i}Z_2 + \dots + b_{mi}Z_m + e_i \quad (2.4)$$

όπου  $e_i$  να εκφράζει τον γραμμικό συνδυασμό των υπόλοιπων κύριων συνιστωσών

$$Z_{m+1}, Z_{m+2}, \dots, Z_p. \quad (2.5)$$

4. Μετατροπή των κύριων συνιστωσών  $Z_j$  σε παράγοντες μέσω της διαίρεσής τους με την τυπική απόκλισή τους, η οποία είναι  $\sqrt{\lambda_j}$ , ώστε να έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα. Σύμφωνα με την εξίσωση (2.4) θα έχουμε:

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + e_i \quad (2.6)$$

όπου,  $a_{ij} = \sqrt{\lambda_j}b_{ji}$  και  $F_j = Z_j/\sqrt{\lambda_j}$ . Οι μεταβλητές  $a_{ij}$ ,  $F_j$  ονομάζονται *προσωρινοί παράγοντες* (provisional factors) (Χούσος 2009).

5. Ορθογώνια “varimax” περιστροφή των προσωρινών παραγόντων  $F_j$  με σκοπό την εύρεση νέων παραγόντων  $F_j^*$ , των οποίων τα φορτία θα είναι μεγαλύτερα κατ’ απόλυτη τιμή από τα προηγούμενα ώστε η κατάταξη των αρχικών μεταβλητών σε κάποιον παράγοντα να είναι καλύτερη. Αυτό γίνεται εφικτό με τη μεγιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των φορτίων του κάθε παράγοντα  $F_j \sum_{i=1}^p a_{ij}^2$ , αφού αυτό είναι ένα μέτρο της ολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών που ερμηνεύει ο κάθε  $j$  παράγοντας. Σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορεί να εξαχθεί η εξής εξίσωση, στην οποία χρησιμοποιούνται οι νέοι παράγοντες  $F_j^*$ , οι οποίοι ονομάζονται *περιστραμμένοι παράγοντες* (rotated factors) (Χούσος 2009).

$$X_i = g_{i1}F_1^* + g_{i2}F_2^* + \dots + g_{im}F_m^* + e_i \quad (2.7)$$

Ένα σημαντικό και απαραίτητο βήμα στη Παραγοντική Ανάλυση είναι η επιλογή του αριθμού  $m$  των παραγόντων που θα διατηρηθούν. Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά κριτήρια επιλογής τους:

1. Ο κανόνας Kaiser: Επιλέγουμε μόνο όσους παράγοντες (factors) έχουν ιδιοτιμή μεγαλύτερη του 1.
2. Το διάγραμμα Scree: Στο κριτήριο αυτό επιλέγουμε τους παράγοντες που θα διατηρήσουμε κοιτώντας πόσα σημεία αποκλίνουν από την ευθεία γραμμή του διαγράμματος ιδιοτιμών. Τα σημεία που αποκλίνουν είναι ίσα με τον αριθμό παραγόντων που ψάχνουμε.
3. Το διάγραμμα LEV: Στη περίπτωση αυτή για να επιλέξουμε τον αριθμό των factors πρέπει να κοιτάξουμε στο σημείο του διαγράμματος πέρα από το οποίο η καμπύλη

πλησιάζει την ευθεία γραμμή. Το σημείο αυτό θα μας φανερώσει τον αριθμό τους. Η επιλογή αυτή μοιάζει αρκετά με αυτή του διαγράμματος Scree με την διαφορά όμως ότι στο διάγραμμα LEV έχουμε το λογάριθμο των ιδιοτιμών.

4. Το κριτήριο *MONTECARLO*: Με βάση το κριτήριο αυτό ο αριθμός των επιλεγόμενων παραγόντων θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το 95% εκείνων που προκύπτουν από την επιλογή τυχαίων δεδομένων (Jolliffe 2002, 1986).

Στη παρούσα εργασία, η επιλογή των παραγόντων έγινε με την μέθοδο του διαγράμματος Scree, λαμβάνοντας υπόψη και τη φυσική υπόσταση των αποτελεσμάτων, ενώ χρησιμοποιήθηκε η ορθογώνια “Varimax” περιστροφή των παραγόντων.

### 2.2.2 Ανάλυση κατά Συστάδες (Cluster Analysis)

Η Ανάλυση κατά Συστάδες, όπως και η Παραγοντική Ανάλυση, είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη στατιστική μέθοδος που έχει σκοπό να κατατάξει ένα πλήθος  $n$  παρατηρήσεων, από  $m$  μεταβλητές, σε  $k$  ομάδες. Οι ομάδες αυτές θα πρέπει να έχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό ομοιογένειας αλλά και να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο διαφορετικές μεταξύ τους. Για να μπορεί να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιούνται οι αποστάσεις των παρατηρήσεων στον  $m$ -διάστατο χώρο, ένα μέτρο των οποίων είναι η ευκλείδεια απόσταση η οποία δίνεται στη παρακάτω εξίσωση:

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{l=1,m} (x_{il} - x_{jl})^2} \quad (2.8)$$

όπου  $D_{ij}$  είναι η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ της  $i$  και  $j$  παρατήρησης. Η μεταβλητή  $x_{il}$  είναι η τιμή της  $l$  μεταβλητής για την  $i$  παρατήρηση, ενώ η  $x_{jl}$  είναι η τιμή της  $l$  μεταβλητής για τη  $j$  παρατήρηση. Το  $m$  αντιπροσωπεύει το πλήθος των μεταβλητών που περιγράφουν κάθε παρατήρηση. Στην παραπάνω διαδικασία είναι πιθανή η επίδραση των διαφορετικών κλιμάκων, στις οποίες μετρώνται οι μεταβλητές και για τον λόγο αυτό κανονικοποιούνται έτσι ώστε κάθε μεταβλητή να έχει μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των παρατηρήσεων σε ομάδες, η ιεραρχική και η μη ιεραρχική μέθοδος (K-Means). Οι δύο μέθοδοι έχουν δύο σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η πρώτη διαφορά αναφέρεται στον αριθμό των ομάδων όπου, στη μεν ιεραρχική μέθοδο αυτός δεν είναι γνωστός από πριν, ενώ στη μη ιεραρχική είναι γνωστός. Η δεύτερη διαφορά είναι ότι στην ιεραρχική μέθοδο, όταν κάποιο στοιχείο συμπεριλαμβάνεται σε μια ομάδα, τότε δεν μπορεί να μεταφερθεί σε άλλη κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, ενώ στη μη ιεραρχική μπορεί ανά πάσα στιγμή να αλλάξει ομάδα και μάλιστα περισσότερες από μία φορές. Στη παρούσα εργασία δεν θα μας απασχολήσει η μη ιεραρχική μέθοδος.

## Μη ιεραρχική μέθοδος κατά συστάδες K-Means

Στη μέθοδο αυτή θεωρούμε εξαρχής ότι ο αριθμός των ομάδων που θα πρέπει να διατηρηθούν είναι γνωστός, και για να γίνει αυτό υπάρχουν δύο τρόποι. Είτε θα πρέπει με κάποιο τρόπο να διαπιστωθεί πόσες ομάδες υπάρχουν στα αρχικά μας δεδομένα, είτε θα πρέπει να εφαρμοστεί η μέθοδος αρκετές φορές και με τη χρήση διαφορετικών κριτηρίων κάθε φορά να γίνει η σωστή επιλογή των ομάδων (Χούσος 2009). Τα βήματα τα οποία πρέπει να ακολουθήσουμε στη μέθοδο αυτή είναι τα εξής:

1. Επιλογή των αρχικών κέντρων των  $k$  ομάδων. Αυτό μπορεί να γίνει με την ακόλουθη διαδικασία:
  - i. Επιλογή των  $k$  πρώτων παρατηρήσεων ως αρχικά κέντρα.
  - ii. Υπολογισμός των αποστάσεων των κέντρων μεταξύ τους και των αποστάσεων των υπόλοιπων παρατηρήσεων από τα ήδη υπάρχοντα κέντρα.
  - iii. Εάν η απόσταση δύο κέντρων μεταξύ τους είναι μικρότερη από την απόσταση κάποιας παρατήρησης από ένα από αυτά τα κέντρα, τότε από τα δύο κέντρα, αυτό με τη μικρότερη απόσταση από την παρατήρηση, αντικαθίσταται από αυτή την παρατήρηση.
  - iv. Επανάληψη του βήματος ii και iii έως ότου οι αποστάσεις των κέντρων μεταξύ τους να είναι όλες μεγαλύτερες από τις αποστάσεις κάθε παρατήρησης από κάθε κέντρο.
2. Κατάταξη κάθε παρατήρησης σε μια ομάδα με το εξής κριτήριο: η απόσταση της παρατήρησης από το κέντρο της ομάδας να είναι μικρότερη από την απόστασή της από τα κέντρα των άλλων ομάδων.
3. Μετά την ολοκλήρωση της κατάταξης όλων των παρατηρήσεων, ακολουθεί επαναπροσδιορισμός των κέντρων των ομάδων, λαμβάνοντας ως νέο κέντρο το διάνυσμά των μέσων των παρατηρήσεων της ομάδας.
4. Επανάληψη των βημάτων 2,3 έως ότου οι αποστάσεις των κέντρων μεταξύ τους να είναι όλες μεγαλύτερες από τις αποστάσεις κάθε παρατήρησης από κάθε κέντρο.
5. Για τη παραπάνω διαδικασία υπάρχουν αρκετές παραλλαγές οι οποίες αφορούν την επιλογή των αρχικών κέντρων (βήμα 1). Η επιλογή αυτή μπορεί να γίνει, είτε με τυχαία επιλογή των παρατηρήσεων, είτε με καθορισμό τους από τον ερευνητή, αλλά και με επαναπροσδιορισμό των κέντρων των ομάδων (βήμα 2,3), όπου ο επαναπροσδιορισμός μπορεί να γίνεται αμέσως μόλις μια παρατήρηση φεύγει από μια ομάδα και κατατάσσεται σε μια άλλη (running means) (Χούσος 2009).

## Η Μέθοδος του “Άλματος” (“Jump” Method)

Όπως θα έχει γίνει κατανοητό, το δύσκολο σημείο στην εφαρμογή των διαφόρων μεθόδων είναι η επιλογή ομοιογενών ομάδων οι οποίες μάλιστα, θα πρέπει να είναι και σαφώς διακριτές μεταξύ τους. Έτσι, υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται. Στην παρούσα εργασία όμως χρησιμοποιείται συμβουλευτικά η μέθοδος του “Άλματος”. Αυτή προτείνεται από τους Sugar and James (2003) και βασίζεται στον υπολογισμό της στρέβλωσης (distortion) που αποτελεί ένα μέτρο της διασποράς (dispersion) των παρατηρήσεων σε κάθε ομάδα. Στη μέθοδο αυτή εφαρμόζεται επανειλημμένα η K-Means Ανάλυση κατά Συστάδες, για διαφορετικό πλήθος των ομάδων  $k$  κάθε φορά. Αν θέσουμε ως κριτήριο οι μεταβλητές οι οποίες εκφράζουν κάθε παρατήρηση να είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, τότε για κάθε εφαρμογή της μεθόδου υπολογίζεται η τιμή της στρέβλωσης  $d_k$  σύμφωνα με τη παρακάτω σχέση:

$$d_k = \frac{1}{m} E[(X - c_x)^T \Gamma^{-1} (X - c_x)] \quad (2.9)$$

Στη παραπάνω εξίσωση, το  $m$  είναι το πλήθος των μεταβλητών που περιγράφουν την κάθε παρατήρηση, το  $X$  είναι μία  $m$ -διάστατη τυχαία παρατήρηση, το  $\Gamma$  είναι ο πίνακας των συνδιακυμάνσεων (covariance) των  $m$  μεταβλητών που περιγράφουν την κάθε παρατήρηση, τα  $c_1, c_2, \dots, c_k$  είναι τα κέντρα των  $k$  ομάδων και  $c_x$  το πιο κοντινό κέντρο στην παρατήρηση  $X$ . Τότε η στρέβλωση  $d_k$  είναι η μέση Mahalanobis απόσταση ανά διάσταση. Στην περίπτωση που οι  $m$  μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, ο πίνακας  $\Gamma$  είναι ο μοναδιαίος και η στρέβλωση  $d_k$  γίνεται ίση με τη μέση τετραγωνική ευκλείδεια απόσταση (ή μέσο τετραγωνικό σφάλμα).

$$d_k = \frac{1}{m} E[(X - c_x)^2] \quad (2.10)$$

Σε ένα γράφημα του  $d_k$  ως προς τον αριθμό  $k$  θα μπορούσε κάποιος να διαλέξει τον αριθμό των ομάδων επιλέγοντας το  $k$ , για το οποίο το  $d_k$  θα έπαυε να αλλάζει σημαντικά και η κλίση της καμπύλης στο γράφημα θα γινόταν σχεδόν οριζόντια. Αυτό θα σήμαινε ότι περαιτέρω διαχωρισμός σε ομάδες δεν θα είχε ως αποτέλεσμα την καλύτερη κατάταξη των παρατηρήσεων σε άλλες περισσότερο ομοιογενείς ομάδες, αλλά το σπάσιμο των ήδη ομοιογενών ομάδων σε άλλες μικρότερες.

Σαφώς το δύσκολο σημείο σε ένα τέτοιο γράφημα είναι να αποφασιστεί το ακριβές σημείο όπου η κλίση της καμπύλης γίνεται σχεδόν οριζόντια. Η λύση η οποία προτείνεται είναι ο μετασχηματισμός της καμπύλης του  $d_k$  με την ύψωση του σε μία αρνητική δύναμη. Εκτελώντας το παραπάνω βήμα, αποδεικνύεται ότι η μετασχηματισμένη καμπύλη παρουσιάζει ένα άλμα για την τιμή του  $k$ , που αντιστοιχεί στο καταλληλότερο πλήθος των ομάδων, στις οποίες μπορούν να καταταχθούν οι αρχικές παρατηρήσεις. Αν προβούμε σε επιπλέον μετασχηματισμό στη καμπύλη, τέτοιον ώστε να αφαιρεθούν μεταξύ τους οι συνεχόμενες τιμές των μετασχηματισμένων  $d_k$ , για τον υπολογισμό των αλμάτων, καταλήγουμε σε μία νέα καμπύλη, στην οποία η τιμή του  $k$  για την οποία παρουσιάζεται μέγιστη τιμή του άλματος, αποτελεί το καταλληλότερο πλήθος ομάδων στις οποίες μπορούν να καταταχθούν οι αρχικές παρατηρήσεις.

Τα παραπάνω βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

- Επανεπιλεγμένη εφαρμογή, για διαφορετικό πλήθος ομάδων  $k$ , της Ανάλυσης κατά συστάδες με τη μέθοδο K-Means.
- Υπολογισμό των στρεβλώσεων  $d_k$  για κάθε εφαρμογή της K-Means.
- Επιλογή της δύναμης  $Y$  στην οποία θα υψωθεί η  $d_k$  για να μετασχηματιστεί. Μια τυπική τιμή του  $Y$  είναι η  $m/2$ , όπου  $m$  το πλήθος των μεταβλητών.
- Υπολογισμός των αλμάτων στη μετασχηματισμένη στρέβλωση  $J_k = d_k^{-Y} - d_{k-1}^{-Y}$ .
- Στο διάγραμμα του  $J_k$  ως προς τον αριθμό των  $k$  ομάδων, η τιμή  $k$ , για την οποία αντιστοιχεί η μεγαλύτερη τιμή του  $J_k$ , αποτελεί το καταλληλότερο πλήθος των ομάδων.

## 2.3 Ορισμός Ημερών και Περιστατικών ακραία υψηλού δείκτη FWI

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να αναλύσουμε τον τρόπο επιλογής των ημερών, αλλά και των περιστατικών για τα οποία ο δείκτης FWI παρουσιάζει ακραίες τιμές.

Ο δείκτης FWI παίρνει ένα εύρος τιμών οι οποίες ξεκινάνε από το μηδέν αλλά, όπως και άλλοι δείκτες παραπάνω, δεν υπάρχει άνω όριο στη κλίμακα. Αυτή μπορεί να διαιρεθεί σε συγκεκριμένες κλάσεις, 6 στον αριθμό (σύμφωνα με τη βιβλιογραφία), οι οποίες δείχνουν τη σοβαρότητα για την εκδήλωση και διασπορά μιας πυρκαγιάς και φαίνονται στον Πίνακα 5. Έτσι η πρώτη κλάση αναφέρεται σε τιμές μικρότερες από 5.2 με χαρακτηρισμό κινδύνου ως ‘Πολύ χαμηλός’, η 2<sup>η</sup> από 5.2-11.2 με χαρακτηρισμό ως ‘Χαμηλός’, η 3<sup>η</sup> από 11.2-21.3 με χαρακτηρισμό ως ‘Μέτριος’, η 4<sup>η</sup> από 21.3-38 με χαρακτηρισμό ως ‘Υψηλός’, η 5<sup>η</sup> από 38-50 με χαρακτηρισμό ως ‘Πολύ Υψηλός’ και τέλος η 6<sup>η</sup> η οποία περιέχει τιμές μεγαλύτερες του 50 με χαρακτηρισμό ως ‘Ακραίος’.

**Πίνακας 5.** Κλάσεις κινδύνου πυρκαγιάς.

<b>Κλάσεις Κινδύνου Πυρκαγιάς</b>	<b>FWI</b>
Πολύ χαμηλός	<5.2
Χαμηλός	5.2-11.2
Μέτριος	11.2-21.3
Υψηλός	21.3-38
Πολύ Υψηλός	38-50
Ακραίος	>50



Τα δεδομένα του FWI που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή αποτελούνται από ημερήσιες τιμές για 42 συνεχόμενα έτη, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Κάθε μια από αυτές τις ημερομηνίες αναφέρεται σε 830 σημεία (grid points), τα οποία είναι διαταγμένα έτσι ώστε να καλύπτουν το σύνολο της περιοχής μελέτης. Γνωρίζοντας την τιμή που χαρακτηρίζει μια ακραία τιμή του δείκτη αλλά και το σύνολο των σημείων για την έρευνα αυτή, μπορούμε να ορίσουμε τις **ημέρες** και τα **περιστατικά** για τα οποία ο δείκτης FWI παίρνει ακραίες τιμές. Ως **ημέρα** ακραία υψηλού δείκτη FWI, για την παρούσα εργασία, ορίζεται η μέρα αυτή στην οποία η τιμή του δείκτη FWI είναι μεγαλύτερη από 50 (FWI>50) σε τουλάχιστον 10% των σημείων της περιοχής μελέτης. Όπως γίνεται αντιληπτό, για να πληροί μια ημέρα το κριτήριο αυτό θα πρέπει 83 τουλάχιστον σημεία του χάρτη να έχουν τιμή FWI>50. Όταν υπάρχει ακολουθία τέτοιων ημερών τότε μιλάμε για **περιστατικά**.

Όταν αναφερόμαστε στα περιστατικά τότε θα πρέπει να ορίσουμε ένα χρονικό πλαίσιο τριών ημερών, τη D-1, D, D<sub>END</sub> οι οποίες θα φανούν χρήσιμες ως προς τη κατανόηση των καιρικών συνθηκών που έπαιξαν ρόλο στην έναρξη και τη λήξη των περιστατικών αυτών .

- D-1 είναι η ημέρα πριν την έναρξη του περιστατικού, στην οποία η τιμή του FWI<50 σε λιγότερο από 10% των σημείων του χάρτη.
- D είναι η ημέρα έναρξης του περιστατικού, δηλαδή, η πρώτη στη σειρά μέρα κατά την οποία πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια.
- D<sub>END</sub> είναι η ημέρα μετά τη λήξη του περιστατικού.

Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζεται, για καλύτερη κατανόηση, μια τυχαία περίπτωση ενός περιστατικού 2 ημερών μαζί με τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>:

830 σημεία

		lon →	19	19	19.25	...	29	29	29
		time ↓ lat →	42	41.75	42	...	37	36.75	36.5
D-1	⇒⇒	25/8/1980	27.78	34.39	27.21	...	15.61	15.91	13.04
D	⇒⇒	26/8/1980	54.17	54.19	52.71	...	55.8	50.75	43.48
		27/8/1980	37.67	52.36	48.23	...	23.05	24.7	20.64
D <sub>END</sub>	⇒⇒	28/8/1980	23.92	41.11	7.29	...	18.63	18.99	20.38

**Σχήμα 2.3** Σχηματική απεικόνιση ενός περιστατικού 2 ημερών, σημειώνοντας τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>. Με κόκκινο χρώμα συμβολίζεται το περιστατικό το οποίο επιλέχθηκε από το όριο, τουλάχιστον το 10% των σημείων του χάρτη (δηλαδή θέλουμε τουλάχιστον 83 σημεία) να έχουν τιμές FWI>50.

## 2.4 Εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης

Η χρήση της μεθόδου αυτής έγινε σε δύο διαφορετικές περιοχές μελέτης και για διαφορετικά δεδομένα. Η πρώτη περιοχή αφορά τα Νότια Βαλκάνια και την Ανατολική Τουρκία με τιμές των αποχών του FWI, ενώ η δεύτερη αφορά τη περιοχή που περιλαμβάνει μεγάλο μέρος της Ευρώπης, ένα τμήμα της Βορείου Αφρικής και ένα κομμάτι της Ανατολικής Ασίας με τιμές που αφορούν τα γεωδυναμικά ύψη (GH500 και GH1000), τη σχετική υγρασία (RH850) και τη θερμοκρασία (T850).

### 2.4.1 Δεδομένα δείκτη FWI

Η Παραγοντική Ανάλυση εφαρμόστηκε, αρχικά, στις ημερήσιες αποχές των τιμών του FWI στην περιοχή των νοτίων Βαλκανίων για κάθε μήνα ξεχωριστά. Σκοπός της εφαρμογής της μεθόδου είναι η εύρεση των κύριων τύπων διαχρονικής διακύμανσης και των υποπεριοχών στις οποίες αντιστοιχούν, για κάθε μήνα από Μάιο έως Οκτώβριο. Μέσω των τιμών αυτών, θα μπορούσαμε να κατασκευάσουμε χάρτες για την περιοχή του Σχήματος 2.2 στους οποίους θα γίνεται ξεκάθαρη η κατανομή των υποπεριοχών αυτών στην περιοχή μελέτης.

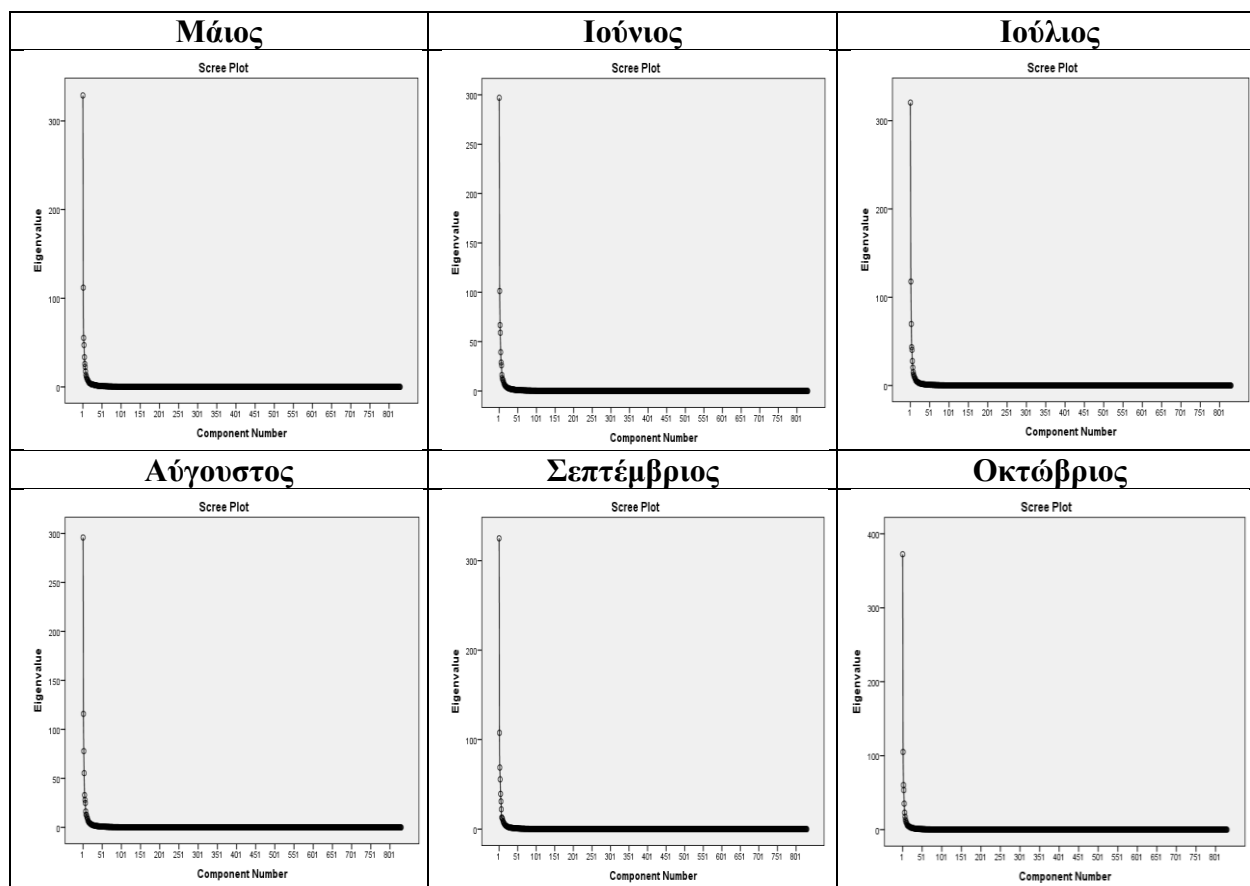
Αρχικά, έπρεπε να διαχωρίσουμε τις τιμές του FWI και να τις τοποθετήσουμε σε πίνακες οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τον κάθε ένα μήνα ξεχωριστά. Για το υπολογισμό των αποχών χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος:

$$x_i - \bar{x} \quad (2.11)$$

Η μεταβλητή  $x_i$  αναφέρεται στην εκάστοτε τιμή της παραμέτρου για μια συγκεκριμένη ημερομηνία σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χάρτη, ενώ  $\bar{x}$  είναι η μέση τιμή η οποία υπολογίζεται ως εξής. Για ένα συγκεκριμένο σημείο του χάρτη βρίσκουμε τη μέση τιμή της παραμέτρου  $x_i$  μιας συγκεκριμένης ημερομηνίας (πχ 10 Μαΐου) για τα 42 χρόνια μελέτης.

Με τη βοήθεια του τύπου (2.11) βρέθηκαν οι αποχές για κάθε μήνα και δημιουργήθηκαν οι πίνακες τους οποίους θα εφαρμόσουμε στην Παραγοντική Ανάλυση.

Η επιλογή των παραγόντων έγινε αρχικά, με τη βοήθεια του διαγράμματος SCREE (Σχήμα 2.4). Η τελική επιλογή έγινε με το εξής κριτήριο, οι τιμές φορτίου, που είναι μεγαλύτερες από 0.7, να είναι περισσότερες από το 1% του συνολικού αριθμού των αρχικών τιμών (κάθε πίνακας ανωμαλιών περιέχει 830 στήλες και 1302 γραμμές για τους μήνες με 31 μέρες ενώ οι μήνες με 30 ημέρες έχουν 1260 γραμμές). Έτσι, κάθε παράγοντας έπρεπε να έχει τουλάχιστον 83 τιμές φορτίου μεγαλύτερες από 0.7 για να θεωρηθεί ότι πληροί το κριτήριο.



**Σχήμα 2.4** Απεικόνιση των διαγραμμάτων SCREE για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο, με σκοπό την αρχική εκτίμηση του αριθμού των παραγόντων για κάθε μήνα ξεχωριστά.

Αφού βρέθηκε ο αριθμός των παραγόντων για κάθε έναν μήνα, τότε αποθηκεύουμε τους πίνακες με τις τιμές φορτίων. Με τη βοήθεια κατάλληλου προγράμματος θα σχεδιαστούν χάρτες, οι οποίοι θα απεικονίζουν τη κατανομή των φορτίων των παραγόντων στην περιοχή μελέτης και αυτοί θα παρουσιαστούν στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

#### 2.4.2 Δεδομένα μεγάλης κλίμακας

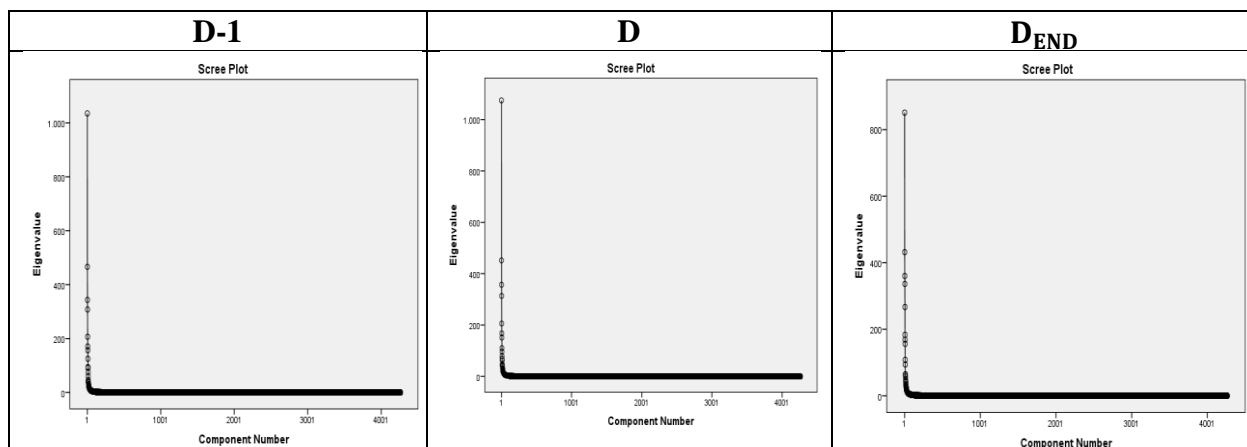
Στο σημείο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα μεγάλης κλίμακας (GH500, GH1000, RH850, T850). Επειδή τα δεδομένα αυτά παρουσιάζουν μια εποχικότητα ανά τα έτη, θα ασχοληθούμε με τις αποχές (ανωμαλίες) των τιμών αυτών.

Αφού κατασκευαστεί ο νέος πίνακας των αποχών, ο οποίος έχει τις ίδιες διαστάσεις με τον αρχικό, στη συνέχεια επιλέγουμε τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub> και δημιουργούμε 3 νέους πίνακες. Οι πίνακες αυτοί έχουν ως στήλες τις τιμές των μεταβλητών για τα 1066 σημεία του χάρτη και γραμμές οι οποίες αντιστοιχούν στις ημερομηνίες των 42 ετών μελέτης (352 γραμμές). Για να μην επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία της Παραγοντικής Ανάλυσης αρκετές φορές, ενώσαμε τους πίνακες των D-1, D, D<sub>END</sub> των 4 παραμέτρων μεγάλης κλίμακας. Έτσι κάθε πίνακας D-1, D, D<sub>END</sub> πλέον έχει  $1066 \cdot 4 = 4264$  στήλες ενώ διατηρεί τον αριθμό των γραμμών όπως είναι φυσικό.

Ημέρα D-1	Πλεγματικά Σημεία															
Ημερομηνίες	1	2	...	1066	1	2	...	1066	1	2	...	1066	1	2	...	1066
		500hPa				1000hPa				RH850				T850		

**Σχήμα 2.5** Σχηματική αναπαράσταση του πίνακα για την D-1 μέρα. Οι στήλες αποτελούν τις τιμές των παραμέτρων για τα 1066 σημεία του χάρτη, ενώ οι γραμμές αποτελούν τις ημερομηνίες της D-1 μέρας κάθε επεισοδίου. Αντίστοιχα δημιουργήθηκαν και οι πίνακες για τις D και D<sub>END</sub> μέρες.

Σε κάθε ένα πίνακα των ημερών D-1, D, D<sub>END</sub> εφαρμόζεται Παραγοντική Ανάλυση με σκοπό τη μείωση του πλήθους των αρχικών μεταβλητών. Στη παρούσα εργασία ο αριθμός των παραγόντων καθορίστηκε αρχικά, από το κριτήριο SCREE. Εφαρμόζοντας το κριτήριο αυτό, παράχθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα για τις 3 μέρες.



**Σχήμα 2.6** Διαγράμματα ιδιοτιμών του πίνακα συσχέτισης για τις 3 ημέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Η τελική επιλογή του αριθμού των παραγόντων έγινε, όπως και παραπάνω, με το εξής κριτήριο: για να θεωρηθεί ικανός ο αριθμός των παραγόντων έπρεπε τουλάχιστον 1% των συνολικών τιμών των φορτίων (4264) που περιείχαν να έχει τιμή πάνω από 0.7. Έτσι αν κάποιος παράγοντας περιείχε λιγότερες από ~43 τιμές, μεγαλύτερες από 0.7, τότε θα έπρεπε να απορριφθεί και να μειωθεί ο αριθμός των παραγόντων ώστε να καταλήξουμε στο σωστό. Σαφώς, εκτός από τις υψηλές τιμές των φορτίων (>0.7), σημαντική ήταν και η συνολική διακύμανση των παραγόντων αυτών, η οποία έπρεπε να είναι σχετικά υψηλή. Κατασκευάζουμε, συνεπώς, 3 πίνακες με τους παράγοντες οι οποίοι έχουν την παρακάτω μορφή.

D-1				
$F_1$	$F_2$	$F_3$	...	$F_n$
Τιμές επίδοσης των παραγόντων που ερμηνεύουν ένα συγκεκριμένο ποσοστό της συνολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών				

**Σχήμα 2.7** Σχηματική αναπαράσταση του πίνακα των παραγόντων όπως προέκυψε από την Παραγοντική Ανάλυση, για τη D-1 μέρα, ο οποίος περιέχει τις τιμές επίδοσης του κάθε παράγοντα (scores). Ομοίως κατασκευάζονται και για τις D, D<sub>END</sub>.

Σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία ο αριθμός των παραγόντων που προέκυψαν είναι:

- Για την D-1: 8 παράγοντες
- Για την D: 9 παράγοντες
- Για την D<sub>END</sub>: 11 παράγοντες

Το επόμενο βήμα αφορά την ένωση των παραπάνω πινάκων, ώστε να εφαρμοστεί η Ανάλυση κατά Συστάδες, με τη μέθοδο που θα αναλυθεί πλήρως παρακάτω. Οι τελικοί πίνακες θα έχουν την παρακάτω μορφή:

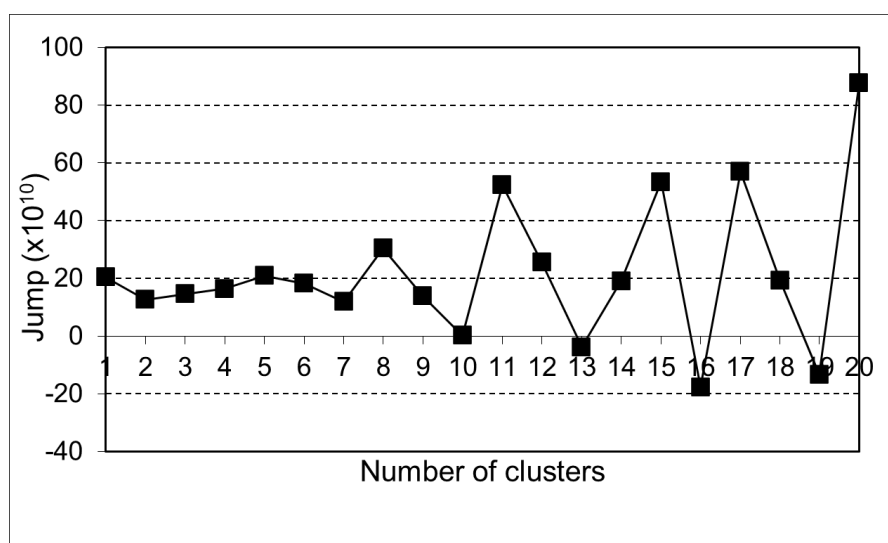
D-1					D					D <sub>END</sub>				
$F_1$	$F_2$	$F_3$	...	$F_n$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	...	$F_m$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	...	$F_k$
Τιμές επίδοσης των παραγόντων														

**Σχήμα 2.8** Ενοποιημένος πίνακας των ημερών D-1, D, D<sub>END</sub>, ο οποίος περιέχει τις τιμές επίδοσης των παραγόντων. Τα σύμβολα n, m, k αναφέρονται στο πλήθος των παραγόντων για τις μέρες D-1, D και D<sub>END</sub> αντίστοιχα.

## 2.5 Εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες και τις Μεθόδου «Άλματος»

Η μέθοδος αυτή θα εφαρμοστεί στον ενοποιημένο πίνακα (Σχήμα 2.8) ο οποίος προέκυψε από την εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης στις αποχές των 4 παραμέτρων μεγάλης κλίμακας για τις σημαντικές μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>. Σκοπός της εφαρμογής της μεθόδου αυτής στα δεδομένα κυκλοφορίας είναι η κατάταξη των μορφών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε “Κ” ομάδες, οι οποίες να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιογενείς αλλά και διαφορετικές μεταξύ τους. Η κατάταξη αυτή θα φανερώσει τους κύριους τύπους κυκλοφορίας οι οποίοι συνέβησαν πριν, κατά τη διάρκεια και έπειτα από την εκδήλωση μιας ακραίας αύξησης του δείκτη επικινδυνότητας πυρκαγιάς. Στη συνέχεια θα εφαρμοστεί το Distortion test (Sugar C. & James G. 2003) ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος αριθμός συστάδων.

Αναλυτικά, αφού εφαρμοστεί επανειλημμένα η Ανάλυση κατά Συστάδες για αριθμό ομάδων από 1 έως 20, βρίσκουμε σε ποια ομάδα ταξινομείται σε κάθε περίπτωση η κάθε μέρα καθώς και την απόσταση της συγκεκριμένης μέρας από το κέντρο της ομάδας.. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα αυτά, με τη βοήθεια του distortion test, καταλήγουμε στο παρακάτω διάγραμμα. Αυτό θα μας υποδείξει, έπειτα από κατάλληλη επιλογή, τον ακριβή αριθμό των κλάσεων.



**Σχήμα 2.9** Γραφική αναπαράσταση των αλμάτων (Jump) σε συνάρτηση με τον αριθμό των κλάσεων (Clusters).

Σύμφωνα με το Σχήμα 2.9, θα αποφασιστεί ο κατάλληλος αριθμός ομάδων ώστε αυτές να είναι όσον το δυνατό διαφορετικές αλλά και ομοιογενείς μεταξύ τους. Σύμφωνα με αυτό τον αριθμό των ομάδων, θα επεξεργαστούμε περαιτέρω τα δεδομένα μας ώστε να κατασκευαστούν οι ζητούμενοι μέσοι χάρτες για τις ημέρες D-1, D και D<sub>END</sub> κάθε ομάδας.

# Κεφάλαιο 3

## Αποτελέσματα

---

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των μεθόδων που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, θα κατασκευαστούν και θα ερμηνευτούν χάρτες αλλά και διαγράμματα που θα μας δώσουν πληροφορίες, οι οποίες θα εκπληρώσουν τον σκοπό εκπόνησης της εργασίας αυτής.

### 3.1 Χωρική κατανομή του FWI στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας

Βρίσκοντας τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση για τις τιμές του δείκτη για τα 42 έτη αναφοράς κατασκευάστηκαν χάρτες ώστε να μπορέσουμε να εξάγουμε τα κύρια χαρακτηριστικά της χωρικής κατανομής του δείκτη FWI στη περιοχή μελέτης.

Αρχικά, παρατηρώντας τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής του δείκτη στα Σχήματα 3.1 και 3.2, βλέπουμε μια σταδιακή αύξηση των τιμών από τον Μάιο έως Αύγουστο και στη συνέχεια μια πτώση. Το μέγιστο παρατηρείται κατά το μήνα Αύγουστο σχεδόν σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης ενώ το ελάχιστο τον Μάιο και τον Οκτώβριο. Την ίδια παρατήρηση μπορούμε να κάνουμε και για την τυπική απόκλιση. Όπως αναφέρθηκε εκτενώς στο πρώτο κεφάλαιο, ο δείκτης FWI εξαρτάται άμεσα από τις μετεωρολογικές παραμέτρους και ιδιαίτερα την υγρασία, τον άνεμο και τη θερμοκρασία. Ο Μάιος αποτελεί ένα μεταβατικό μήνα, κατά τον οποίο ψυχρές αέριες μάζες κυριαρχούν ακόμη στην ανώτερη ατμόσφαιρα, ενώ, λόγω της έντονης θέρμανσης της επιφάνειας από την ηλιακή ακτινοβολία, έχουμε μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Συνεπώς, η αστάθεια είναι σημαντική και οι βροχοπτώσεις, κυρίως στις ηπειρωτικές περιοχές, είναι συχνές. Συμπερασματικά, αφού ο δείκτης εξαρτάται από την υγρασία και κατά συνέπεια από τη βροχόπτωση, εμφανίζονται, χαμηλές τιμές κατά το μήνα αυτόν.

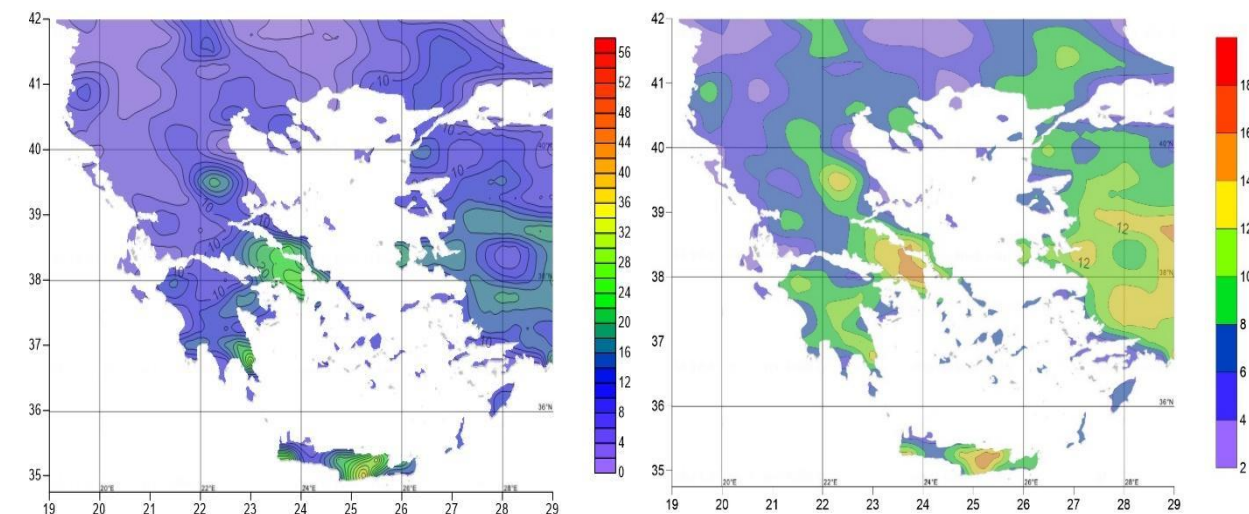
Στους παρακάτω χάρτες παρατηρούμε επίσης, περιοχές οι οποίες έχουν μια τάση να εμφανίζουν μεγάλες τιμές σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Περιοχές όπως η Αττική, η Κρήτη, τα κεντρικά και νότια παράλια της Τουρκίας είναι μερικές από αυτές. Δύο είναι οι κύριοι λόγοι που συνεισφέρουν στις υψηλές αυτές τιμές. Η ξηρασία η οποία παρατηρείται τους καλοκαιρινούς μήνες, αλλά και οι βόρειοι-βορειοανατολικοί άνεμοι που πνέουν την περίοδο αυτή (ετησίως) (Tyrlis and Lelieveld 2013). Αυτοί οι παράγοντες αφαιρούν όλη την υγρασία των επίγειων υλικών, καθιστώντας πολύ εύκολη την έναρξη και επέκταση μιας πυρκαγιάς, αυξάνοντας έτσι το επίπεδο επικινδυνότητας που χαρακτηρίζει το δείκτη FWI.

Όσον αφορά την τυπική απόκλιση, παρατηρούμε γενικά μεγάλες τιμές ανά τους μήνες, ιδιαίτερα από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο. Ας μην ξεχνάμε ότι η τυπική απόκλιση αναφέρεται στη διασπορά των τιμών γύρω από τη μέση τιμή, στη περίπτωση μας δηλαδή το πόσο διαφέρουν οι τιμές του FWI (σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χάρτη) από την μέση τιμή αυτού. Συνεπώς,

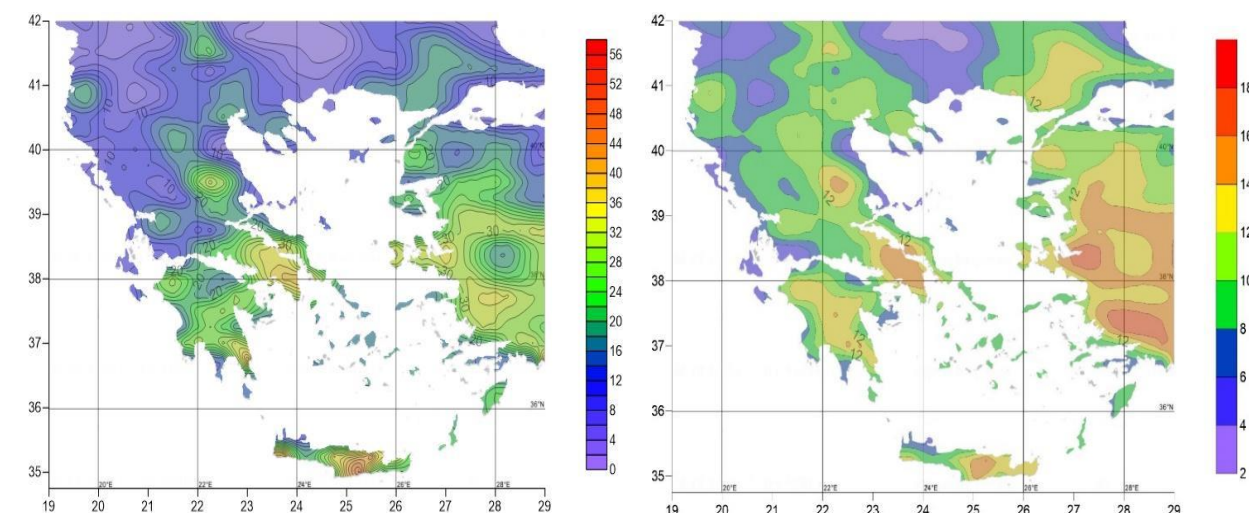
οι μεγάλες τιμές τυπικής απόκλισης υποδηλώνουν ότι υπάρχουν περιοχές οι οποίες επηρεάζονται σημαντικά από την τοπικότητα των φαινομένων. Για παράδειγμα, περιοχές οι οποίες είναι επιρρεπείς σε διακυμάνσεις των ανέμων τοπικής κλίμακας ήτε περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από συχνή αστάθεια αναμένουμε να επηρεάζουν αρκετά την τυπική απόκλιση.



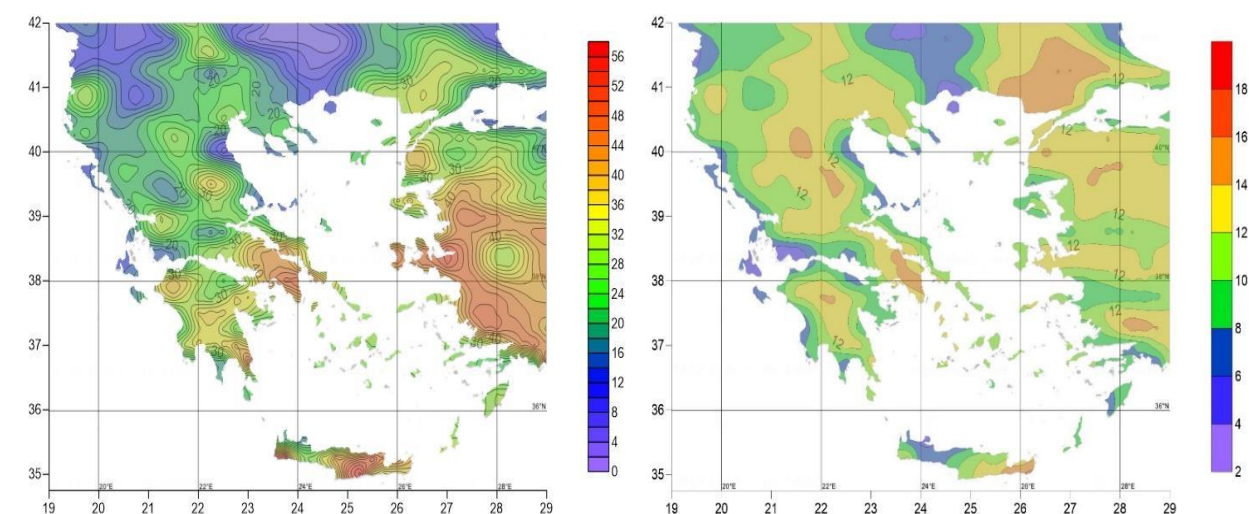
### ΜΑΙΟΣ



### ΙΟΥΝΙΟΣ

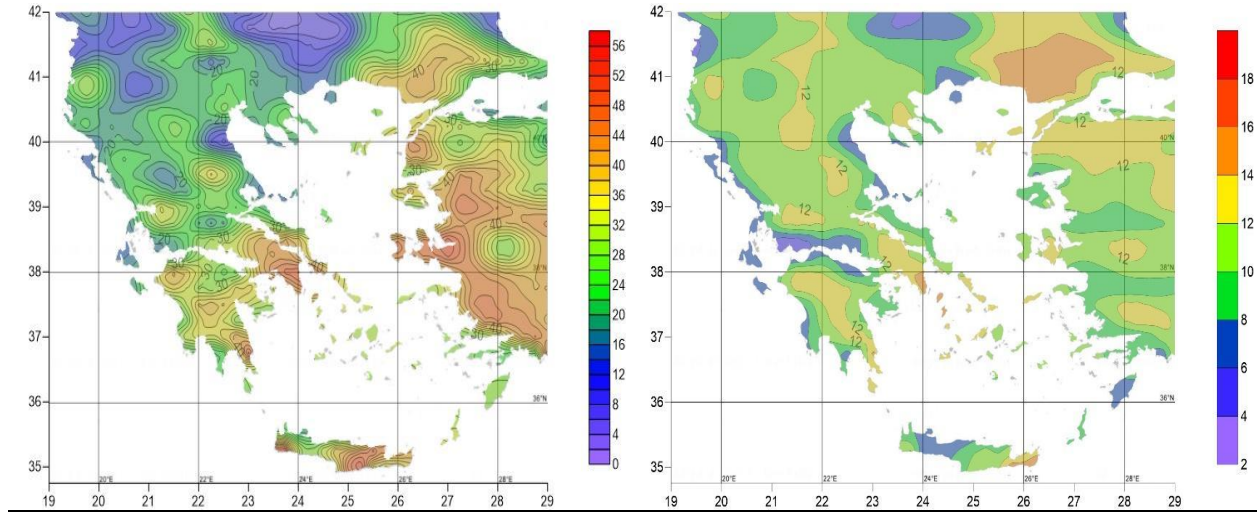


### ΙΟΥΛΙΟΣ

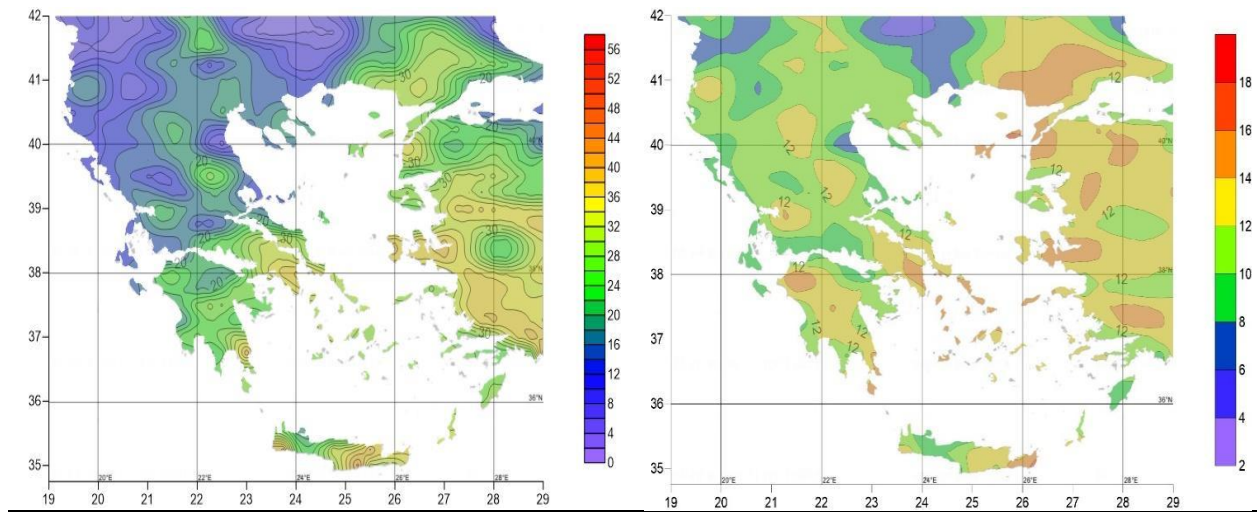


**Σχήμα 3.1** Μέσοι μηνιαίοι χάρτες (αριστερή στήλη) και χάρτες τυπικής απόκλισης (δεξιά στήλη) του δείκτη επικινδυνότητας πυρκαγιάς FWI, για την ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας.

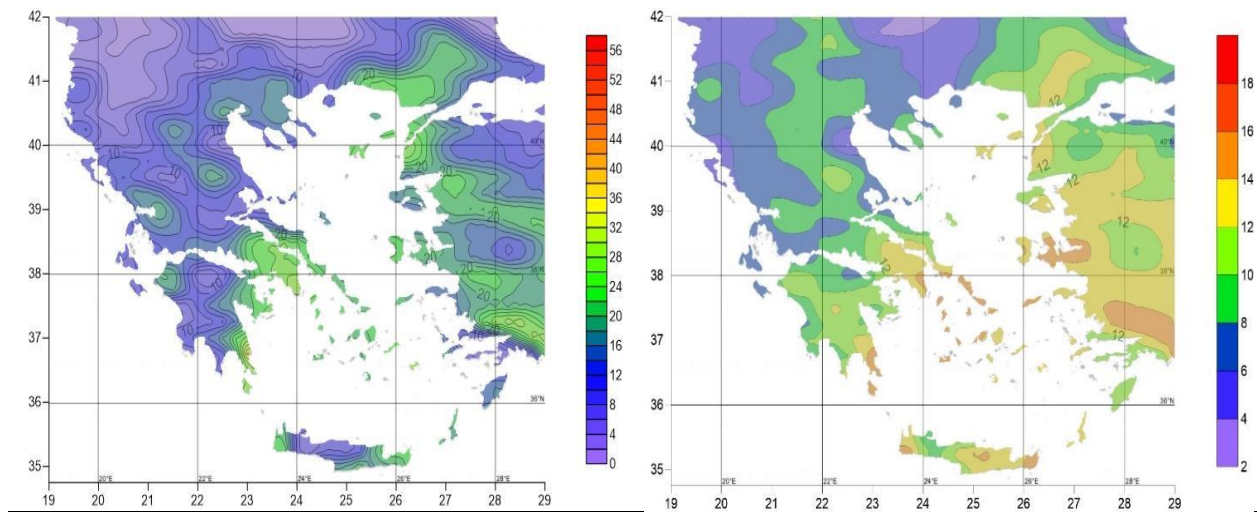
### ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ



### ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ



### ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



Σχήμα 3.1 Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα.

## 3.2 Διαχρονική διακύμανση του δείκτη FWI, κατά μήνα στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας

### 3.2.1 Μάιος

Εφαρμόζοντας την παραγοντική ανάλυση στα δεδομένα των ημερήσιων αποχών του Μαΐου, αποφασίστηκε ότι ο καταλληλότερος αριθμός παραγόντων είναι 4 με συνολική διακύμανση 65.5%.

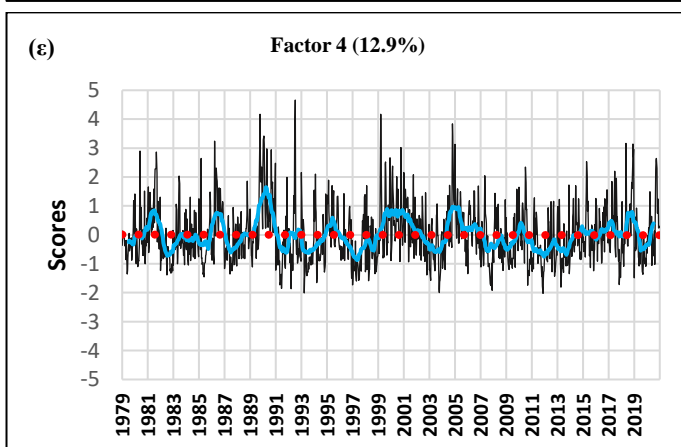
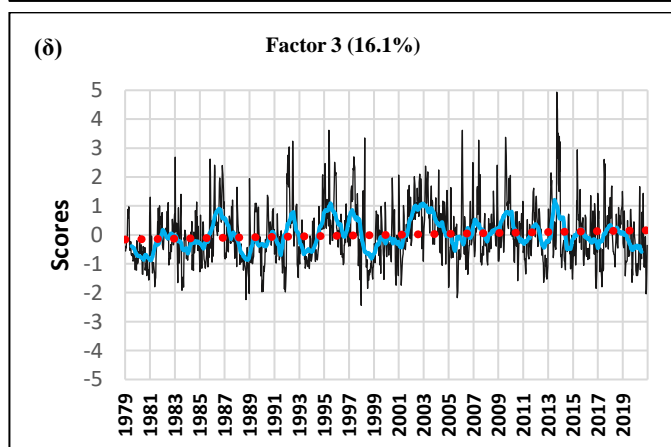
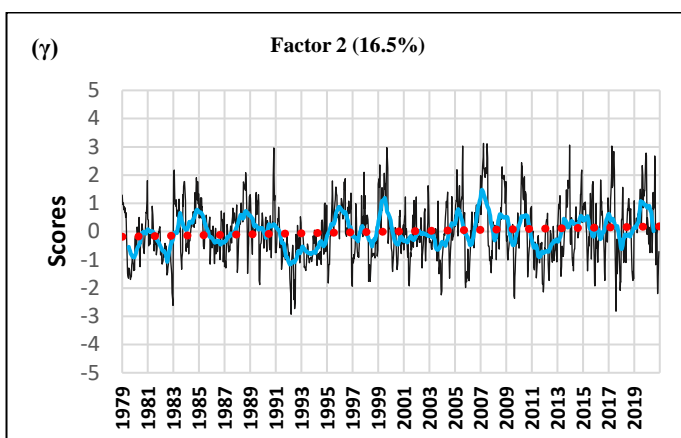
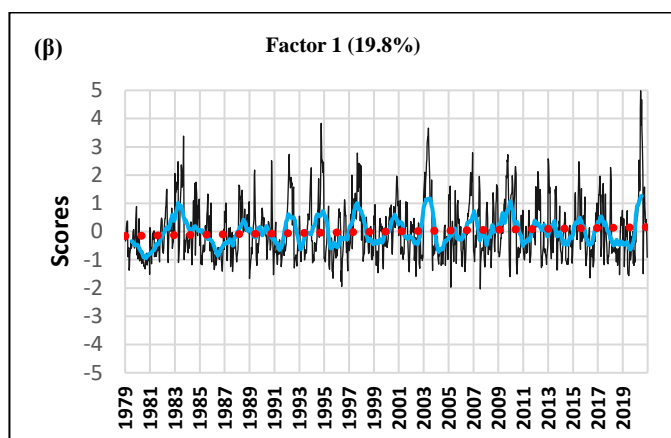
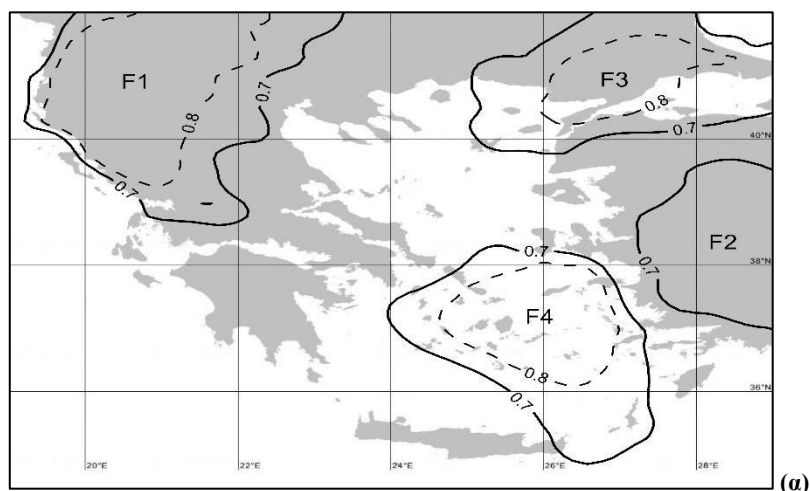
Για το μήνα Μάιο, κατασκευάστηκε το Σχήμα 3.2 το οποίο μας δείχνει τη χωρική κατανομή των loadings (>0.7) για τους 4 παράγοντες, στο Σχήμα 3.2α και τη χρονική διακύμανση των scores για κάθε έναν παράγοντα στα Σχήματα 3.2β,γ,δ,ε.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2α στο οποίο παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των loadings, ο παράγοντας 1 αντιστοιχεί στην περιοχή της βορειοδυτική Ελλάδα, την κεντρική και νότια περιοχή της Αλβανίας και την περιοχή της Βόρειας Μακεδονίας. Ο παράγοντας 2 αντιστοιχεί στη δυτική περιοχή της Μικράς Ασίας ενώ ο παράγοντας 3 στην περιοχή της ανατολικής Θράκης, του βορειοανατολικού Αιγαίου και της θάλασσας του Μαρμαρά. Τέλος, ο παράγοντας 4 αναφέρεται στην περιοχή των Κυκλάδων και στη πλειοψηφία των Δωδεκανήσων.

Στη περιοχή του παράγοντα 1, όπως φαίνεται από τις διακυμάνσεις των scores (Σχήμα 3.2β), βλέπουμε ότι με την πάροδο των ετών έχουμε μια στατιστικά σημαντική (95% επίπεδο εμπιστοσύνης) ανοδική τάση. Επιπλέον, παρατηρούνται υψηλές τιμές στα μέσα της δεκαετίας του '80 και του '90, ενώ το μέγιστο της καμπύλης παρατηρείται το έτος 2020.

Όσον αφορά την περιοχή του παράγοντα 2 αλλά και του παράγοντα 3, παρατηρείται και εδώ μια στατιστικά σημαντική, ανοδική τάση με την πάροδο των ετών, όπως φαίνεται από τις διακυμάνσεις των scores (Σχήμα 3.2γ,δ). Τα μέγιστα και στις 2 διακυμάνσεις παρατηρούνται από τη δεκαετία του 2000 και έπειτα.

Στην περιοχή που οριοθετείται από τον παράγοντα 4, παρατηρείται μια στατιστικά σημαντική, οριακή, πτωτική τάση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2ε της διακύμανσης των scores. Τα μέγιστα της καμπύλης παρατηρούνται πριν τη δεκαετία του 2000'.



**Σχήμα 3.2** (α) Χωρική κατανομή των loadings ( $>0.7$ ) για τον μήνα Μάιο στην ευρύτερη περιοχή των νοτίων Βαλκανίων. (β-ε) Η χρονική διακύμανση των scores (μαύρες καμπύλες). Εμφανίζονται οι εξομαλυμένες καμπύλες (γαλάζιο χρώμα) που προκύπτουν από κινητούς μέσους όρους 31 ημερών και με διακεκομμένη ευθεία η γραμμική τάση όπου είναι στατιστικά σημαντική (95% διάστημα εμπιστοσύνης).

### 3.2.2 Ιούνιος

Εφαρμόζοντας τη παραγοντική ανάλυση στα δεδομένα των ημερών του Ιουνίου, αποφασίστηκε ότι ο καταλληλότερος αριθμός παραγόντων είναι 5 με συνολική διακύμανση 68%.

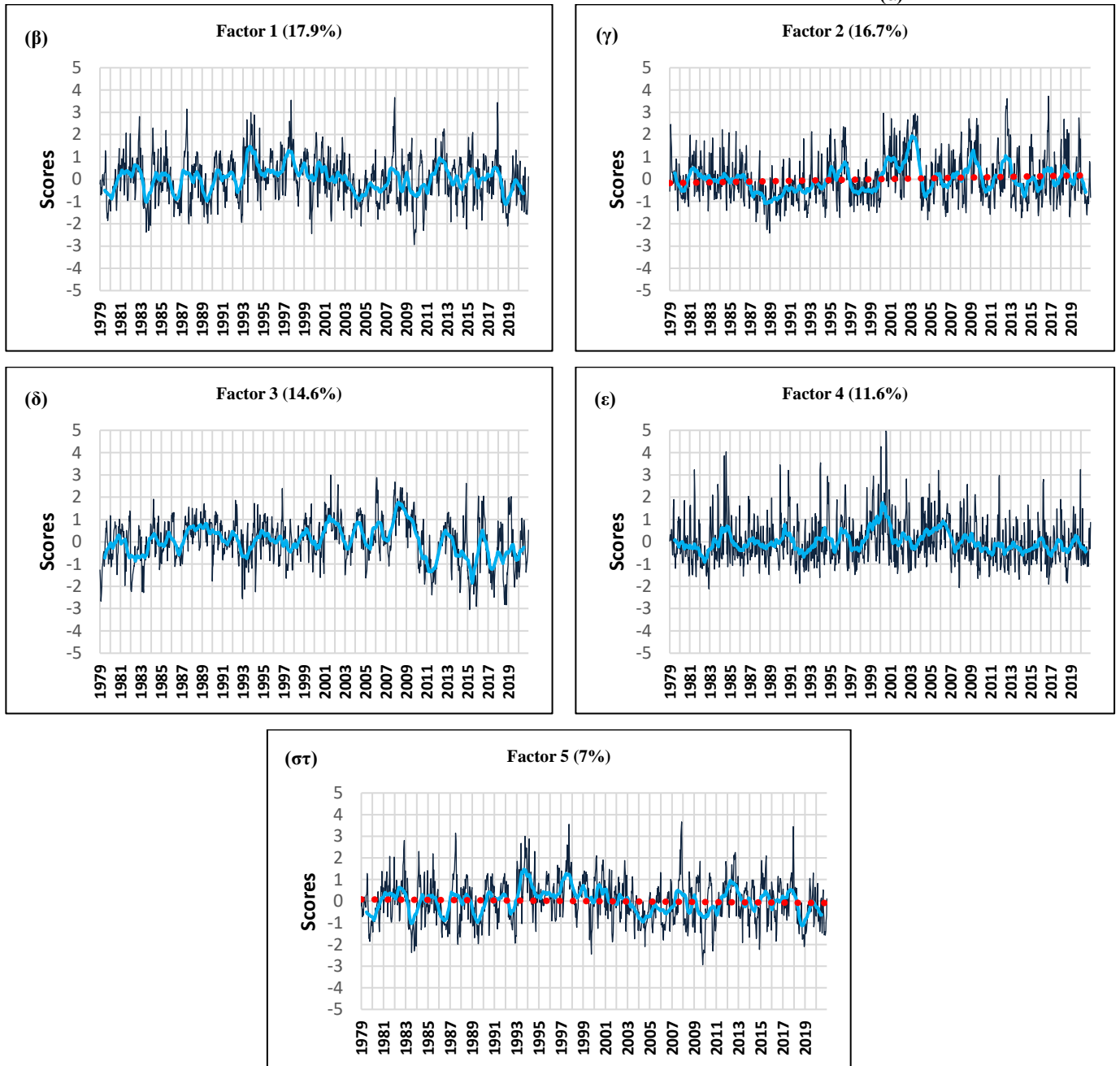
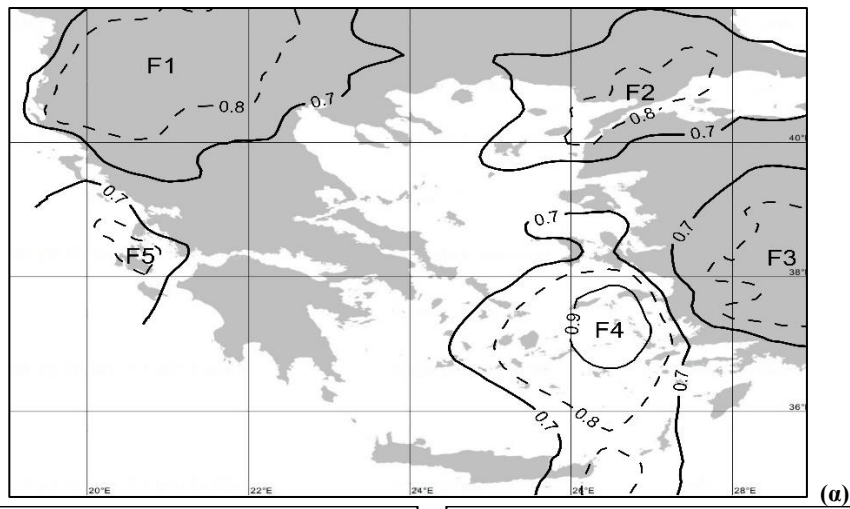
Παρατηρώντας το Σχήμα 3.3α μπορούμε να δούμε τη κατανομή των παραγόντων στην περιοχή μελέτης. Έτσι, βρέθηκε ότι ο παράγοντας 1 αντιστοιχεί στην περιοχή της βορειοδυτικής Ελλάδας, την περιοχή της Αλβανίας και της Βόρειας Μακεδονίας αλλά και την περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας. Ο παράγοντας 2 αντιστοιχεί, στην περιοχή της ανατολικής Θράκης, του βορειοανατολικού Αιγαίου και της θάλασσας του Μαρμαρά. Η περιοχή της κεντρικής και νότιας μικράς Ασίας αντιστοιχεί στον παράγοντα 3, ενώ ο παράγοντας 4 περιλαμβάνει την περιοχή των Κυκλάδων, την πλειοψηφία των Δωδεκανήσων αλλά και ένα μέρος της ανατολικής Κρήτης. Τέλος, ο παράγοντας 5 αντιστοιχεί στην περιοχή των Ιονίων νήσων, με εξαίρεση το νησί της Κέρκυρας.

Με αφορμή την περιοχή που οριοθετείται από τον παράγοντα 5 επισημαίνουμε το εξής: οι τιμές του δείκτη FWI αναφέρονται στην επιφάνεια του εδάφους, εκεί δηλαδή όπου είναι πιθανή η εκδήλωση και η ανάπτυξη μιας πυρκαγιάς. Ο θαλάσσιος χώρος, επομένως, δεν συνεισφέρει κάπου και έτσι εκεί που έχουμε εκτεταμένη περιοχή ύδατος δεν χαράσσονται καμπύλες. Η αφαίρεση των καμπυλών γίνεται μόνο για την περιοχή του νοτίου Ιονίου πελάγους και ενός τμήματος του Λιβυκού. Η μέθοδος αυτή δε θα εφαρμοστεί στην περιοχή του Αιγαίου, καθώς, λόγω της πληθώρας των νησιών, θα χαθούν σημαντικές πληροφορίες για την οριοθέτηση των παραγόντων.

Παρατηρώντας τις διακυμάνσεις των scores για τους παράγοντες 1,3,4 (Σχήματα 3.3β, δ και ε αντίστοιχα) βλέπουμε ότι δεν έχουμε κάποια στατιστικά σημαντική τάση. Παρόλα αυτά, για το Σχήμα 3.3δ διακρίνεται ένα μέγιστο περί το 2009 ενώ έκτοτε ακολουθεί μια πτωτική τάση. Για τον παράγοντα 4 (Σχήμα 3.3ε) παρατηρείται ένα κύριο μέγιστο τη δεκαετία του 2000.

Στην περιοχή του παράγοντα 2, όπως φαίνεται από τις διακυμάνσεις των scores (Σχήμα 3.3ε), βλέπουμε ότι με την πάροδο των ετών έχουμε μια στατιστικά σημαντική (95% επίπεδο εμπιστοσύνης), ανοδική τάση με κύριο μέγιστο περί το 2003.

Αντίθετα με τον παράγοντα 2, ο παράγοντας 5 παρουσιάζει μια στατιστικά σημαντική, πτωτική τάση, όπως φαίνεται από τη διακύμανση των scores του Σχήματος 3.3στ.



**Σχήμα 3.3** (α) Χωρική κατανομή των loadings ( $>0.7$ ) για τον μήνα Ιούνιο στην ευρύτερη περιοχή των νοτίων Βαλκανίων. (β-στ) Η χρονική διακύμανση των scores (μαύρες καμπύλες). Εμφανίζονται οι εξομαλυμένες καμπύλες (γαλάζιο χρώμα) που προκύπτουν από κινητούς μέσους όρους 30 ημερών και με διακεκομμένη ευθεία η γραμμική τάση όπου είναι στατιστικά σημαντική (95% διάστημα εμπιστοσύνης).

### 3.2.3 Ιούλιος

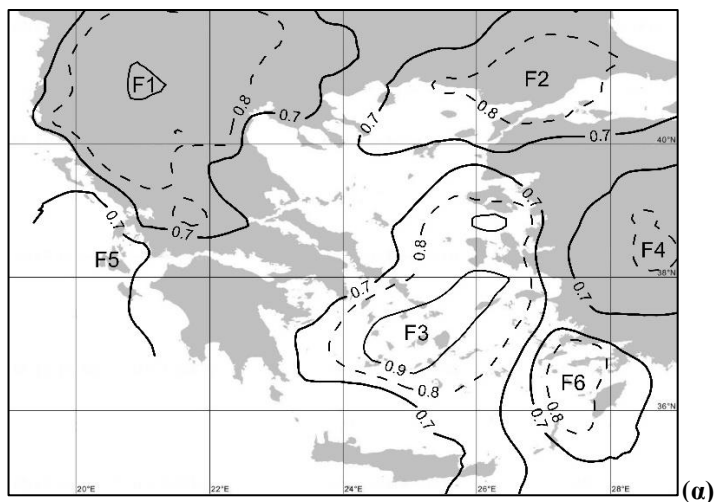
Κατά την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης στα δεδομένα του Ιουλίου, αποφασίστηκε ο κατάλληλος αριθμός παραγόντων είναι 6. Η συνολική διακύμανση αυτών βρέθηκε να είναι 74%.

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.4α, το οποίο μας δίνει τη χωρική κατανομή των loadings, παρατηρούμε ότι η περιοχή της κεντρικής και βορειοδυτικής Ελλάδας, η κεντρική Μακεδονία, η περιοχή της Αλβανίας αλλά και η περιοχή της Βόρειας Μακεδονίας αντιστοιχούν στον παράγοντα 1. Ο παράγοντας 2 αντιστοιχεί στην περιοχή της ανατολικής Θράκης, την νοτιοανατολική περιοχή της Βουλγαρίας και την περιοχή του βορειοανατολικού Αιγαίου, σε συνδυασμό με τη θάλασσα του Μαρμαρά. Αντίστοιχα, ο παράγοντας 3 περικλείει τη περιοχή των Κυκλάδων, ορισμένα από τα νησιά του Βορειοανατολικού Αιγαίου, την πλειοψηφία των Δωδεκανήσων αλλά και ένα μέρος της ανατολικής Κρήτης. Ο παράγοντας 4, αντιστοιχεί στην περιοχή της κεντρικής και νότιας Μικράς Ασίας. Το μεγαλύτερο μέρος των Επτανήσων αντιστοιχεί στον παράγοντα 5, ενώ τέλος ο παράγοντας 6 περικλείει την περιοχή των νοτιοανατολικών Δωδεκανήσων.

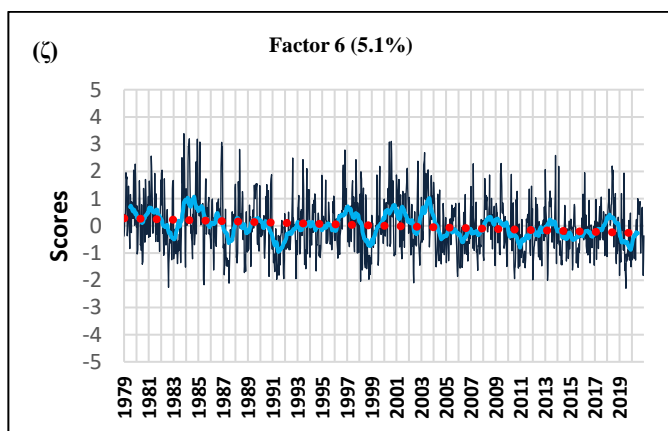
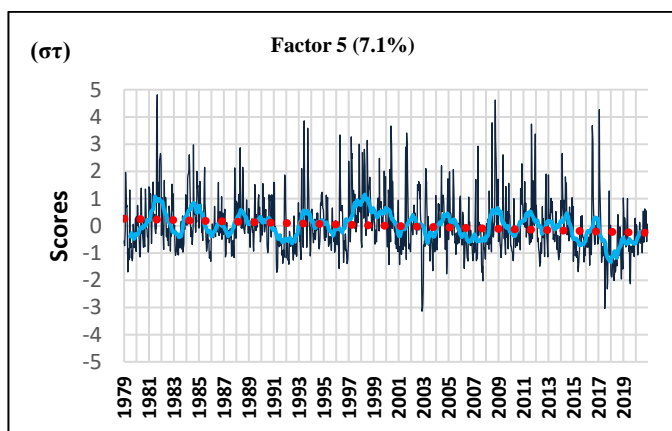
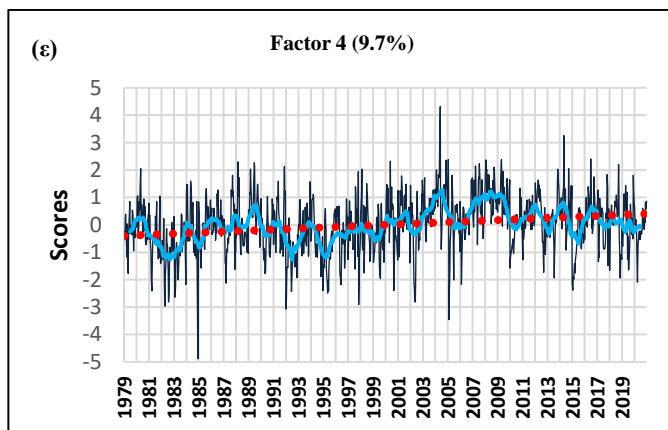
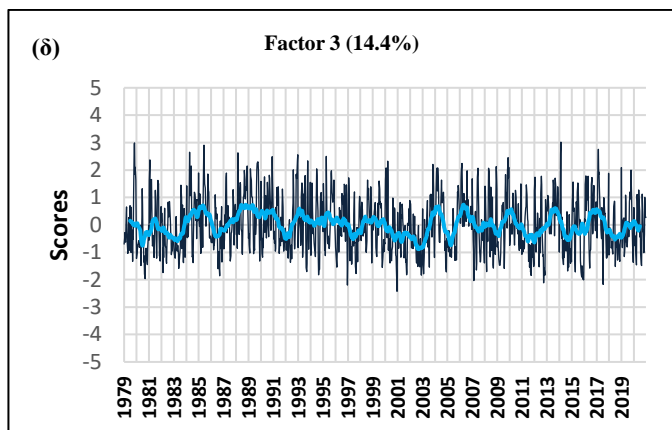
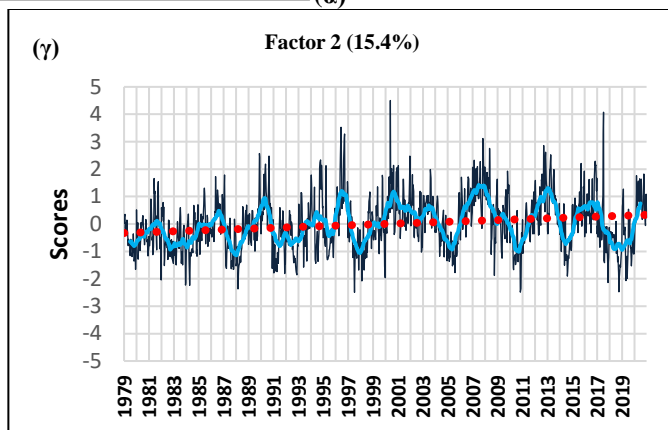
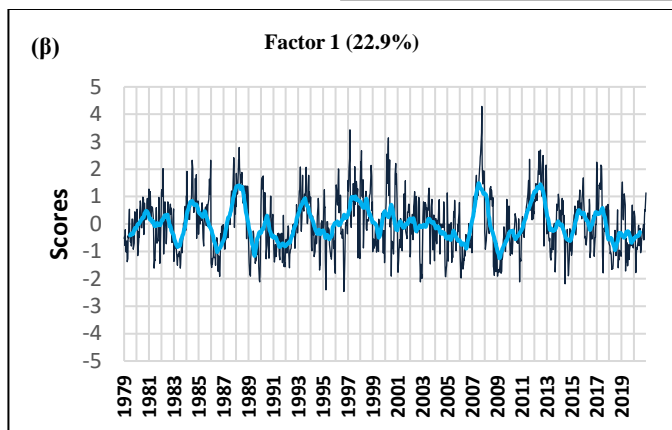
Παρατηρώντας τα Σχήματα 3.4β και 3.4δ, τα οποία αναφέρονται στα scores των παραγόντων 1 και 3 αντίστοιχα, βλέπουμε ότι δεν υπάρχει κάποια σημαντική, στατιστική τάση με τη πάροδο των ετών.

Όσον αφορά τα Σχήματα 3.4γ και 3.4ε, παρατηρούμε ότι η διαχρονική τάση των scores είναι στατικά σημαντική και ανοδική. Για το Σχήμα 3.4γ, παρατηρούμε ότι το κύριο μέγιστο παρατηρείται στα τέλη της δεκαετίας του '90 ενώ έπειτα η τάση των scores μοιάζει να είναι σχεδόν περιοδική με εναλλαγή μεγίστων και ελαχίστων ανά 2-3 έτη. Αναφορικά με το Σχήμα 3.4ε, το ελάχιστο της τάσης παρατηρείται περί τα μέσα της δεκαετίας του '80 ακολουθώντας έκτοτε ανοδική πορεία.

Τέλος, στα Σχήματα 3.4στ και 3.4ζ παρατηρούμε από τις διακυμάνσεις των scores μια στατιστικά σημαντική, πτωτική τάση με τη πάροδο των ετών.



(α)



**Σχήμα 3.4** (α) Χωρική κατανομή των loadings (>0.7) για τον μήνα Ιούλιο στην ευρύτερη περιοχή των νοτίων Βαλκανίων. (β-ζ) Η χρονική διακύμανση των scores (μαύρες καμπύλες). Εμφανίζονται οι εξομαλυμένες καμπύλες (γαλάζιο χρώμα) που προκύπτουν από κινητούς μέσους όρους 31 ημερών και με διακεκομμένη ευθεία η γραμμική τάση όπου είναι στατιστικά σημαντική (95% διάστημα εμπιστοσύνης).

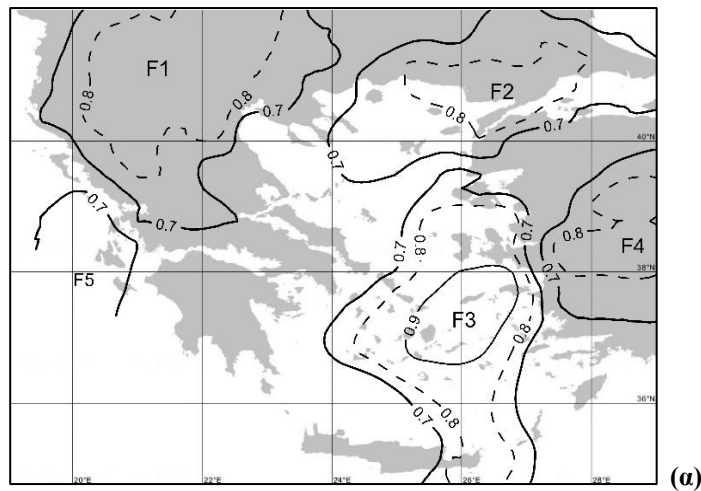


### 3.2.4 Αύγουστος

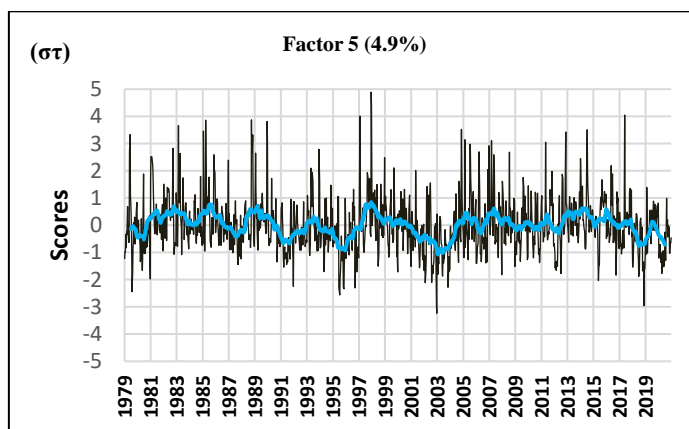
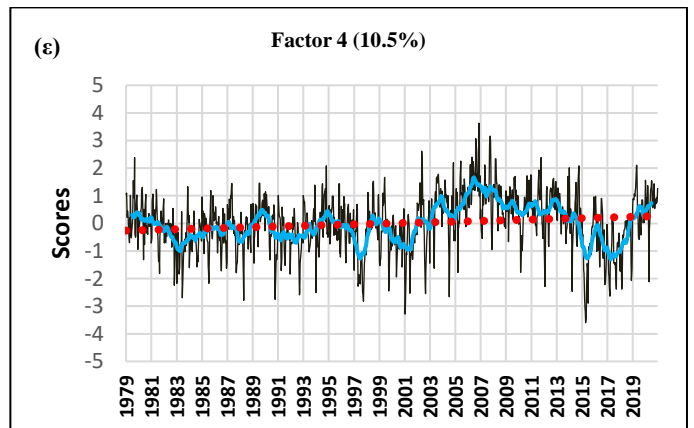
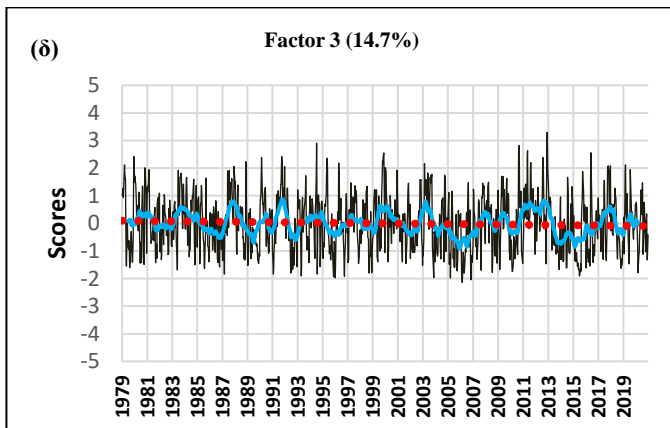
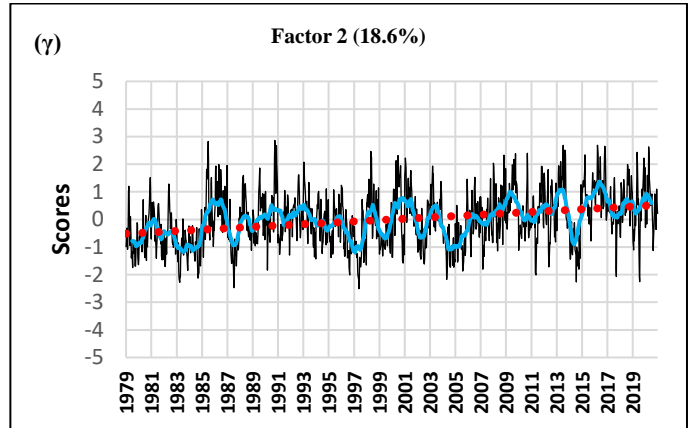
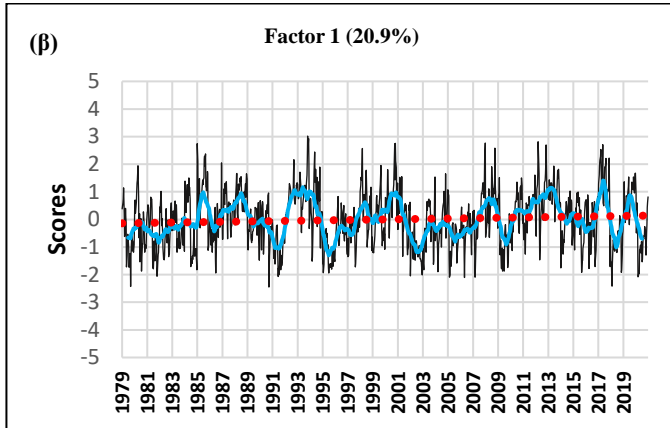
Εφαρμόζοντας τη μέθοδο της Παραγοντικής Ανάλυσης, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, καταλήξαμε ότι ο κατάλληλος αριθμός παραγόντων για τον μήνα Αύγουστο είναι 5 με συνολική διακύμανση 69.7%

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.5α βλέπουμε ότι η περιοχή που αντιστοιχεί στον παράγοντα 1 παρουσιάζει σχεδόν πλήρη ομοιότητα με αυτόν του μήνα Ιουλίου, δηλαδή, αντιστοιχεί στην περιοχή της κεντρικής και βορειοδυτικής Ελλάδας, της κεντρικής Μακεδονίας, της περιοχής της Αλβανίας αλλά και της περιοχής της Βόρειας Μακεδονίας. Ο παράγοντας 2 αντιστοιχεί στην περιοχή της ανατολικής Μακεδονίας, την περιοχή της Θράκης και της θάλασσας του Μαρμαρά αλλά και την περιοχή του βορείου Αιγαίου. Η περιοχή των Κυκλάδων, ορισμένα από τα νησιά του Βορειοανατολικού Αιγαίου, η πλειοψηφία των Δωδεκανήσων αλλά και ένα μέρος της ανατολικής Κρήτης αντιστοιχούν στον παράγοντα 3. Επιπλέον, ο παράγοντας 4 αντιστοιχεί στην περιοχή της κεντρικής Μικράς Ασίας. Τέλος ο παράγοντας 5 περικλείει την πλειοψηφία των Ιονίων νήσων.

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τις διακυμάνσεις των scores ανά τα έτη, η πλειοψηφία των παραγόντων, με εξαίρεση τον παράγοντα 5 παρουσιάζουν σημαντική στατιστική τάση ανά τα έτη. Αναλυτικότερα, οι παράγοντες 1, 2 και 4 παρουσιάζουν αυξητική τάση ενώ ο παράγοντας 3 οριακά πτωτική. Όσον αφορά τον παράγοντα 5, φαίνεται ότι η διακύμανση των scores είναι μάλλον σταθερή με το πέρασμα των ετών, ιδιαίτερα από το 2005 και έπειτα.



(α)



**Σχήμα 3.5** (α) Χωρική κατανομή των loadings ( $>0.7$ ) για τον μήνα Αύγουστο στην ευρύτερη περιοχή των νοτίων Βαλκανίων. (β-στ) Η χρονική διακύμανση των scores (μαύρες καμπύλες). Εμφανίζονται οι εξομαλυμένες καμπύλες (γαλάζιο χρώμα) που προκύπτουν από κινητούς μέσους όρους 31 ημερών και με διακεκομμένη ευθεία η γραμμική τάση όπου είναι στατιστικά σημαντική (95% διάστημα εμπιστοσύνης).

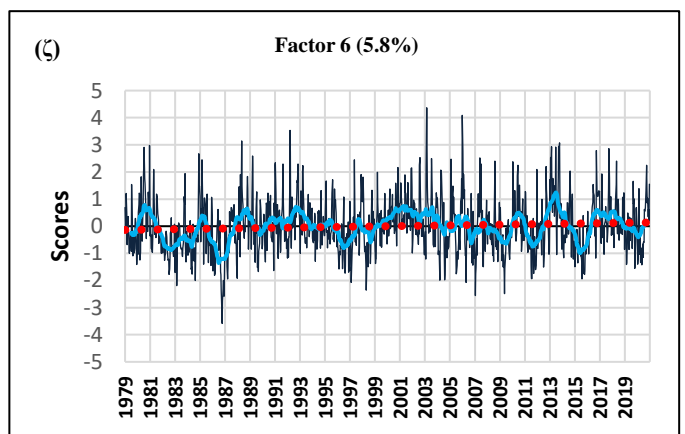
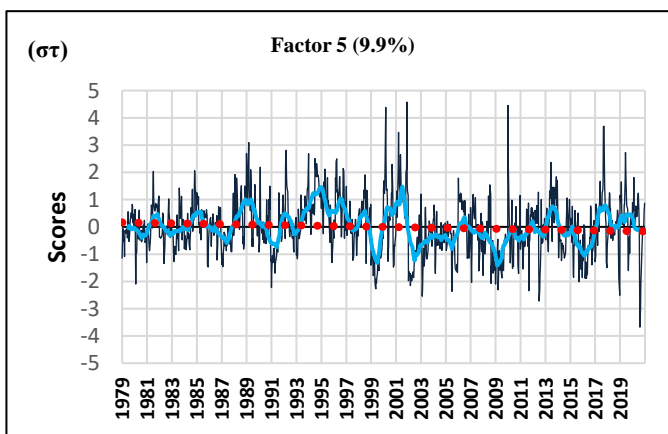
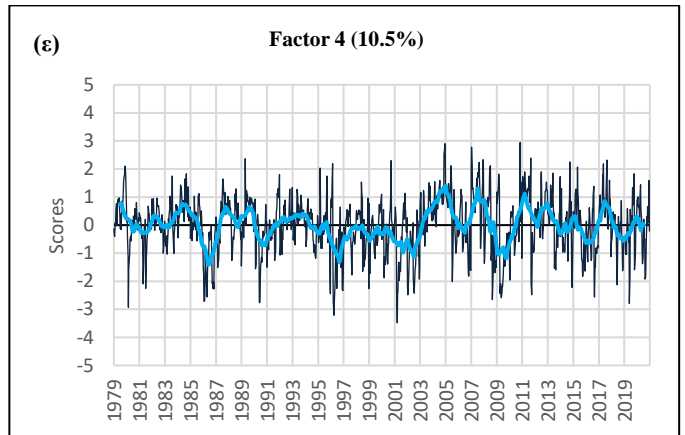
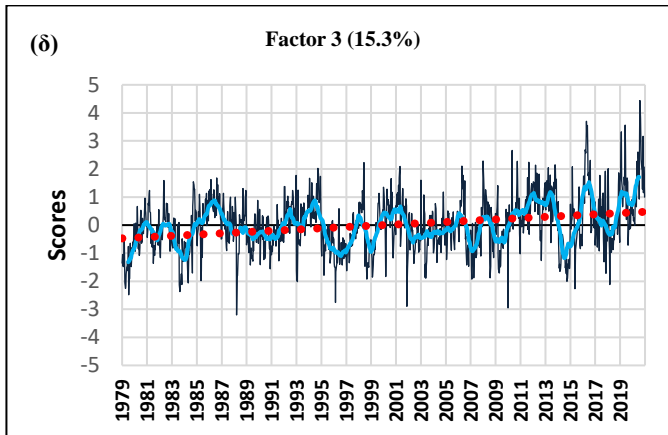
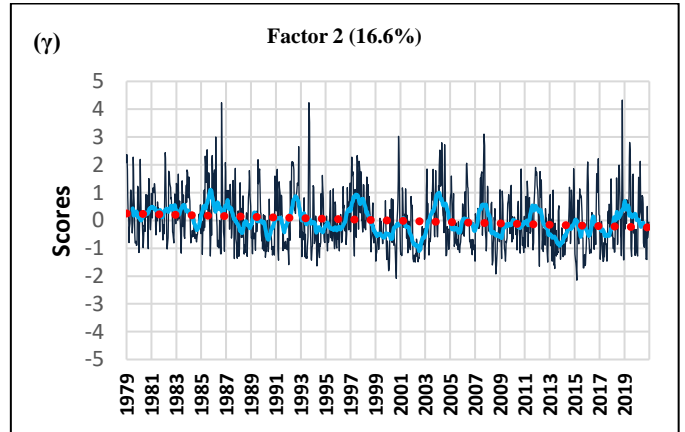
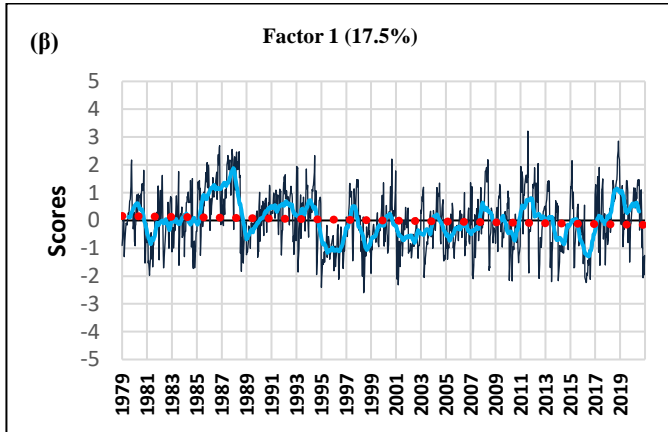
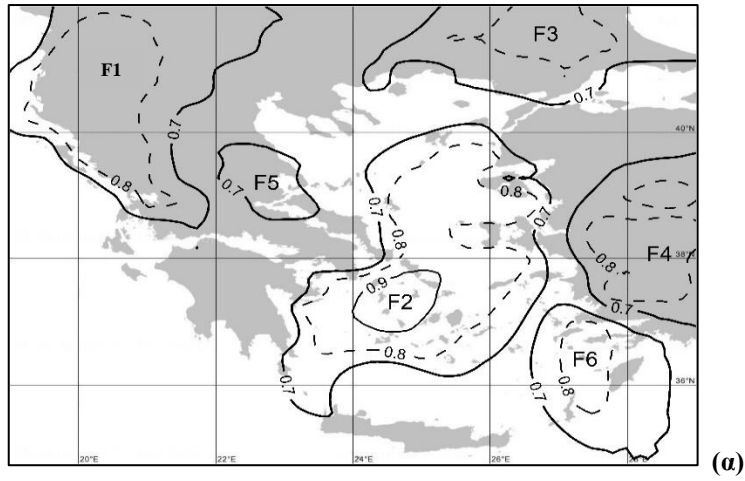
### 3.2.5 Σεπτέμβριος

Κατά την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης στα δεδομένα του FWI για τον μήνα Σεπτέμβριο, βρέθηκε ότι ο καταλληλότερος αριθμός παραγόντων είναι 6 με συνολική διακύμανση 75.6%.

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.6α, μπορούμε να εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα, όσον αφορά τη κατανομή των loading στην περιοχή μελέτης μας: Παρατηρούμε ότι ο παράγοντας 1 αντιστοιχεί στην βορειοδυτική περιοχή της Ελλάδος, την περιοχή της Αλβανίας αλλά και της Βόρειας Μακεδονίας. Ο παράγοντας 2 περικλείει την περιοχή των Κυκλάδων, ορισμένη περιοχή του Αργοσαρωνικού καθώς και την περιοχή του βορείου Αιγαίου. Αναφορικά με τον παράγοντα 3, αυτός αντιστοιχεί στη περιοχή της ανατολικής Μακεδονίας, της Θράκης, την περιοχή της Βουλγαρίας και της βορειοδυτικής Τουρκίας. Ο παράγοντας 4 αναφέρεται στην περιοχή της κεντρικής και νότιας Μικράς Ασίας, ενώ ο παράγοντας 5 αντιστοιχεί στο νότιο κομμάτι της Θεσσαλίας και της βόρειας Εύβοιας. Τέλος ο παράγοντας 6 περικλείει την περιοχή των νότιων Δωδεκανήσων.

Στην περιοχή των παραγόντων 1, 2 και 4 αντίστοιχα, όπως φαίνεται από τις διακυμάνσεις των scores (Σχήματα 3.6β, γ και στ), βλέπουμε ότι με την πάροδο των ετών έχουμε μια στατιστικά σημαντική πτωτική τάση. Αντίθετα, για τις περιοχές που αντιστοιχούν στους παράγοντες 3 και 6, των Σχημάτων 3.6δ και 3.6ζ, παρατηρείται μια ανοδική τάση. Μάλιστα, για την περιοχή του παράγοντα 3, η ανοδική αυτή τάση είναι ιδιαίτερα σημαντική με τα κύρια μέγιστα της καμπύλης διακύμανσης να είναι κοντά στην καταληκτική ημερομηνία έρευνας της παρούσας εργασίας.

Στη περίπτωση του παράγοντα 4, βλέπουμε ότι δεν υπάρχει κάποια στατιστικά σημαντική τάση με το πέρασμα των ετών.



**Σχήμα 3.6** (α) Χωρική κατανομή των loadings ( $>0.7$ ) για τον μήνα Σεπτέμβριο στην ευρύτερη περιοχή των νοτίων Βαλκανίων. (β-ζ) Η χρονική διακύμανση των scores (μαύρες καμπύλες). Εμφανίζονται οι εξομαλυμένες καμπύλες (γαλάζιο χρώμα) που προκύπτουν από κινητούς μέσους όρους 30 ημερών και με διακεκομμένη ευθεία η γραμμική τάση όπου είναι στατιστικά σημαντική (95% διάστημα εμπιστοσύνης).

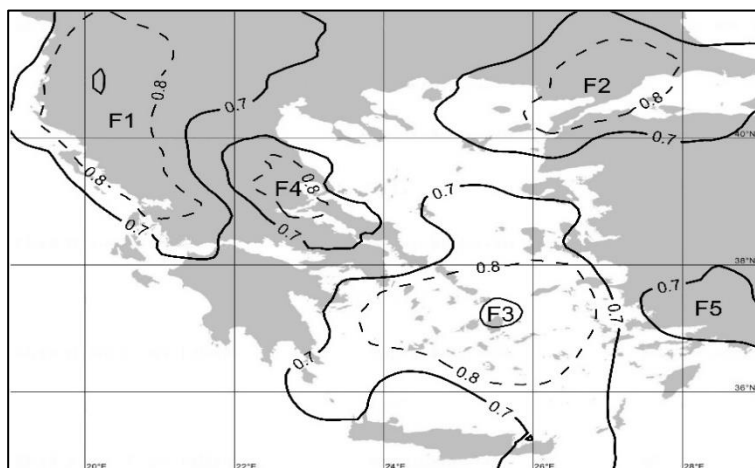
### 3.2.6 Οκτώβριος

Ακολουθώντας τη διαδικασία της Παραγοντικής Ανάλυσης και εφαρμόζοντάς την στα δεδομένα του FWI για το μήνα Οκτώβριο, αποφασίστηκε ότι ο κατάλληλος αριθμός παραγόντων είναι 5 με συνολική διακύμανση 75.4%.

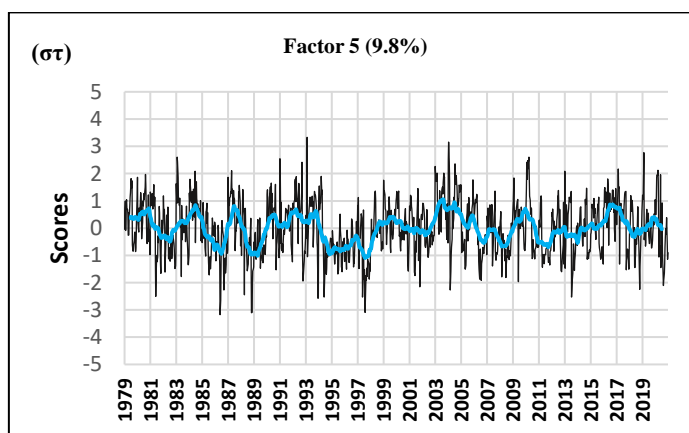
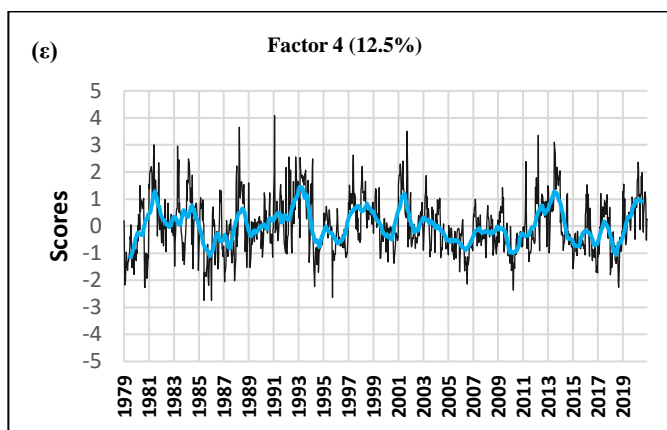
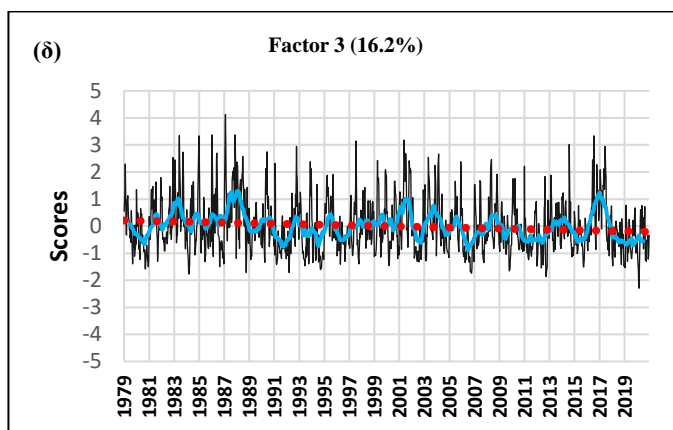
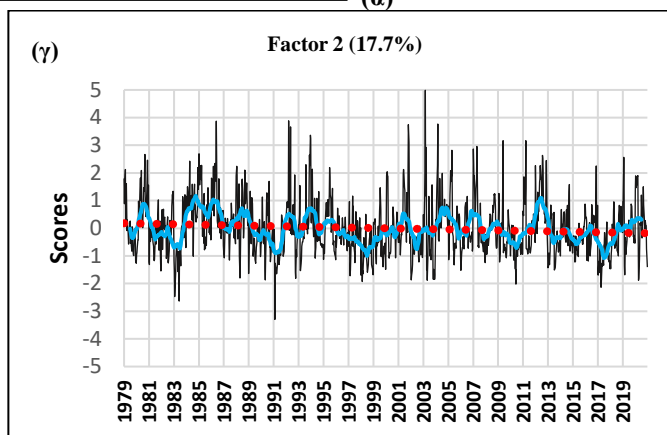
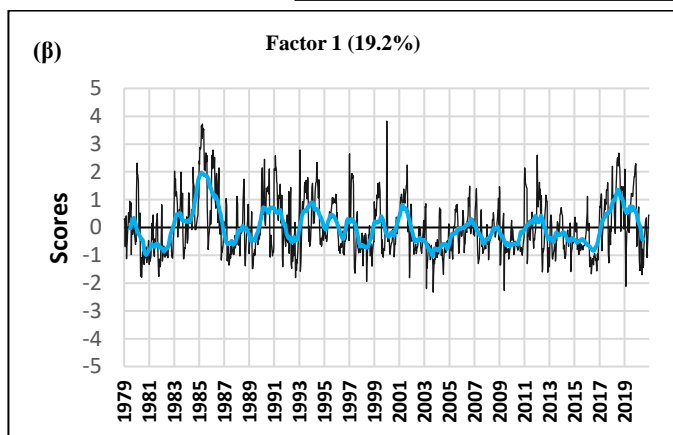
Σύμφωνα το Σχήμα 3.7α, βλέπουμε ότι ο παράγοντας 1 αντιστοιχεί στην περιοχή της βορειοδυτικής Ελλάδας με ένα κομμάτι των Ιονίων νήσων, στην περιοχή της Αλβανίας αλλά και στην περιοχή της Βόρειας Μακεδονίας. Ο παράγοντας 2 περιλαμβάνει την περιοχή της Θράκης και ενός τμήματος του βορείου Αιγαίου, ένα τμήμα της Βουλγαρίας και τη περιοχή της βορειοδυτικής Τουρκίας. Ο παράγοντας 3 αντιστοιχεί στο κεντρικό και νότιο Αιγαίο με εξαίρεση ορισμένων περιοχών των Δωδεκανήσων. Τέλος ο παράγοντας 4 καταλαμβάνει την περιοχή της νότιας Θεσσαλίας, ενός τμήματος της Εύβοιας και της Στερεάς Ελλάδας ενώ, ο παράγοντας 5 αντιστοιχεί στη νότια περιοχή της Μικράς Ασίας.

Στη περιοχή που οριοθετείται από τους παράγοντες 1,4 και 5, δεν παρατηρείται κάποια στατιστικά σημαντική τάση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7β, ε και στ των διακυμάνσεων των scores.

Αντίθετα με το παραπάνω, οι παράγοντες 2 και 3 παρουσιάζουν μια πτωτική τάση με το πέρασμα των χρόνων. Η τάση αυτή είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Για τη διακύμανση των scores του παράγοντα 2, παρατηρούμε ότι παρουσιάζει μέγιστο στα μέσα της δεκαετίας του '80, στις αρχές της δεκαετίας του '90 και 2000, ενώ για τη διακύμανση των scores του παράγοντα 3, τα μέγιστα παρατηρούνται πριν τη δεκαετία του '90.



(α)

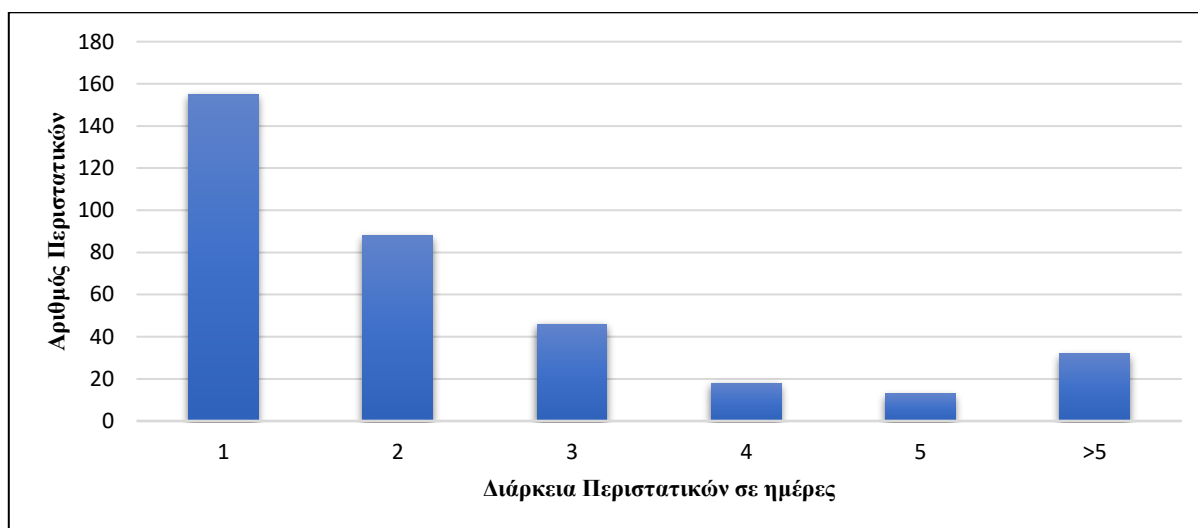


**Σχήμα 3.7** (α) Χωρική κατανομή των loadings ( $>0.7$ ) για τον μήνα Οκτώβριο στην ευρύτερη περιοχή των νοτίων Βαλκανίων. (β-ζ) Η χρονική διακύμανση των scores (μαύρες καμπύλες). Εμφανίζονται οι εξομαλυμένες καμπύλες (γαλάζιο χρώμα) που προκύπτουν από κινητούς μέσους όρους 31 ημερών και με διακεκομμένη ευθεία η γραμμική τάση όπου είναι στατιστικά σημαντική (95% διάστημα εμπιστοσύνης).

### 3.3 Στατιστική μελέτη ημερών και περιστατικών ακραία υψηλού δείκτη FWI

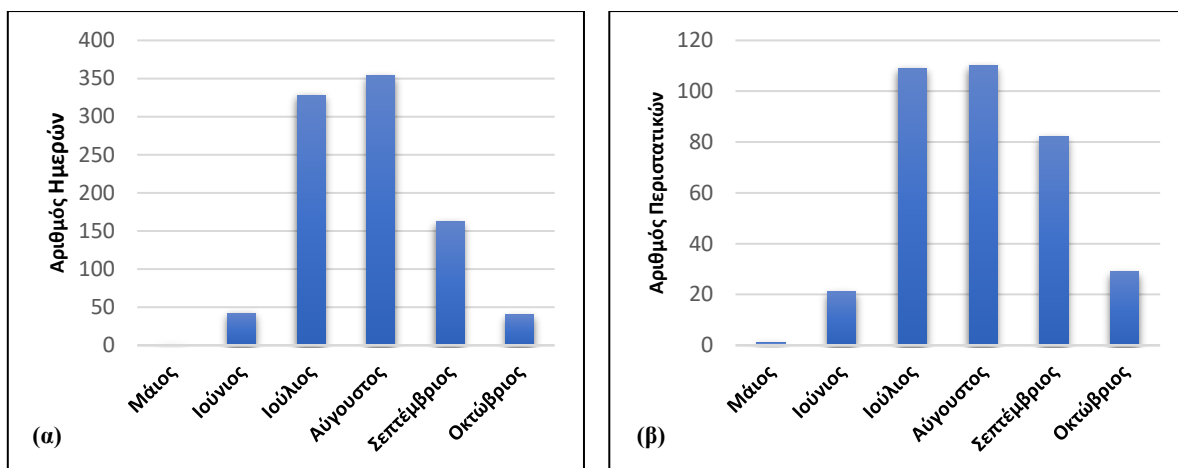
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται μια στατιστική προσέγγιση της κατανομής των ημερών αλλά και των περιστατικών ακραία υψηλού δείκτη FWI για τα 42 έτη μελέτης, αλλά και για τις δυο υποπεριόδους 21 ετών 1979-1999 και 2000-2020. Σκοπός της στατιστικής αυτής μελέτης είναι η ανάδειξη ιδιαίτερων χαρακτηριστικών όπως η διάρκεια και η συχνότητα εμφάνισης των περιστατικών αλλά και των ημερών με ακραία τιμή του δείκτη FWI.

Πραγματοποιώντας την ανάλυση στα δεδομένα του FWI, βρέθηκαν συνολικά 352 περιστατικά ακραία υψηλών τιμών. Αυτά χωρίστηκαν, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.8, σε 6 κλάσεις ανάλογα με τη διάρκειά τους σε μέρες. Τα περιστατικά μιας μέρας αποτελούν την πλειοψηφία (155 περιστατικά). Στη δεύτερη θέση έρχονται τα περιστατικά 2 ημερών και τα οποία είναι 88, ενώ, τα περιστατικά 3 ημερών είναι σχεδόν τα μισά αυτών των 2 ημερών (46 περιστατικά). Τα περιστατικά με τη λιγότερη διάρκεια σε μέρες είναι αυτά των 5 ημερών με 13 περιστατικά. Τέλος, στο Σχήμα 3.8 βλέπουμε ότι τα περιστατικά τα οποία είναι μεγαλύτερα των 5 ημερών είναι 32.



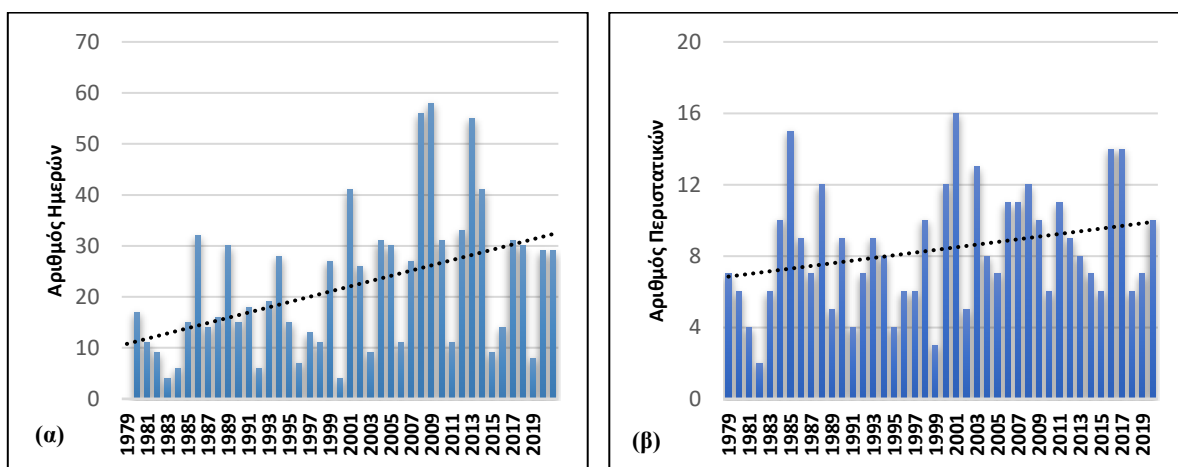
Σχήμα 3.8 Διάγραμμα του αριθμού των περιστατικών ως συνάρτηση της διάρκειάς τους.

Το Σχήμα 3.9 αναφέρεται στη κατανομή των ημερών αλλά και των περιστατικών για τους μήνες Μάιο-Οκτώβριο. Αρχικά παρατηρούμε ότι η κατανομή των ημερών ακολουθεί την κατανομή των περιστατικών, χωρίς μεγάλη διαφοροποίηση. Ειδικότερα, ο Ιούλιος και ο Αύγουστος περιέχουν τον μεγαλύτερο αριθμό ημερών αλλά και περιστατικών σε σχέση με τους άλλους μήνες, με τον αριθμό των περιστατικών να είναι σχεδόν ίδιος για τους δύο αυτούς μήνες. Ο Μάιος είναι ο μήνας με τον μικρότερο αριθμό, παρουσιάζοντας μόλις ένα περιστατικό μιας μέρας. Αυτό δεν θα πρέπει να προξενεί περιέργεια καθώς ο μήνας αυτός χαρακτηρίζεται από ασταθείς συνθήκες και συνεπώς μεγάλα ποσά υγρασίας, όπως αναφέρθηκε στο εδάφιο 3.1, καθιστώντας δύσκολη τη αύξηση των τιμών του δείκτη FWI.



**Σχήμα 3.9** Μηνιαία κατανομή α) του αριθμού ημερών και β) του αριθμού των περιστατικών ακραία υψηλού δείκτη FWI.

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.10, παρατηρούμε ότι ο αριθμός τόσο των ημερών όσο και των περιστατικών παρουσιάζουν μια στατιστικά σημαντική, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ανοδική τάση με το πέρασμα των ετών. Όσον αφορά τη διαχρονική διακύμανση του αριθμού των ημερών, βλέπουμε ότι έχουμε έντονη εμφάνιση μεγίστων το 2009 και 2012. Ο αριθμός των περιστατικών, από την άλλη, δεν παρουσιάζει μέγιστο τα ίδια έτη που σημαίνει ότι υπήρχαν περιστατικά πολλών ημερών. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, κατά τα προαναφερθέντα έτη, υπήρξε ραγδαία αύξηση των καμένων εκτάσεων στη περιοχή της Ελλάδας αλλά και μεγάλος αριθμός πυρκαγιών πράγμα που συμφωνεί με τα ευρήματα της παρούσας εργασίας (<https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/estimates>).



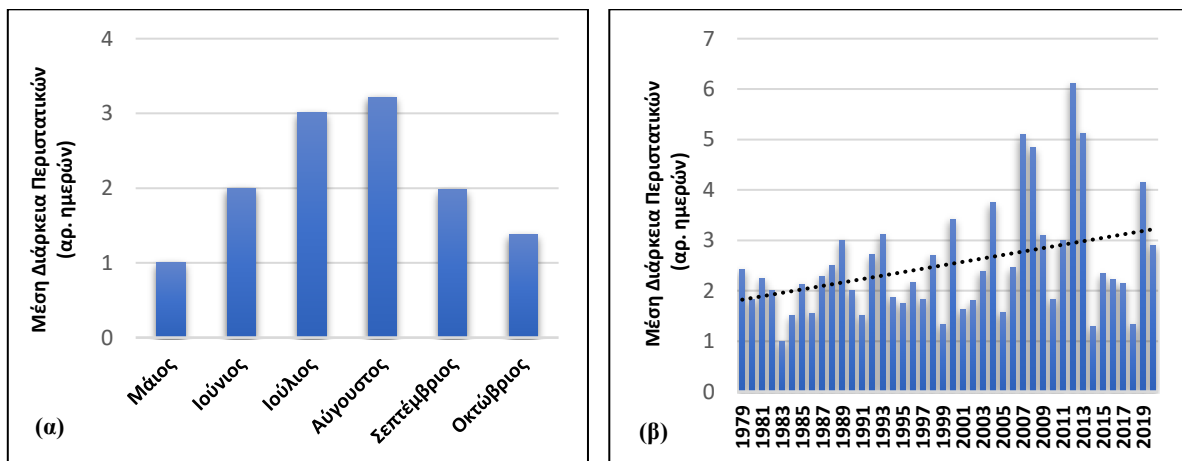
**Σχήμα 3.10** Διαχρονική διακύμανση α) του αριθμού ημερών και β) του αριθμού των περιστατικών ακραίων τιμών του δείκτη FWI. Εμφανίζεται, με μαύρη εστιγμένη γραμμή, η στατιστικά σημαντική γραμμική τάση (95% επίπεδο εμπιστοσύνης)



Στο Σχήμα 3.11α βλέπουμε τη μηνιαία κατανομή της μέσης μηνιαία διάρκειας των περιστατικών και στο 3.11β τη διαχρονική διακύμανσή της. Το μεν πρώτο προκύπτει από το πηλίκο του αριθμού των ημερών με ακραία τιμή του δείκτη FWI προς τον αριθμό των περιστατικών για κάθε μήνα, ενώ το δεύτερο διάγραμμα προκύπτει ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τη διαφορά ότι εδώ υπολογίζεται για κάθε έτος για τα 42 έτη μελέτης.

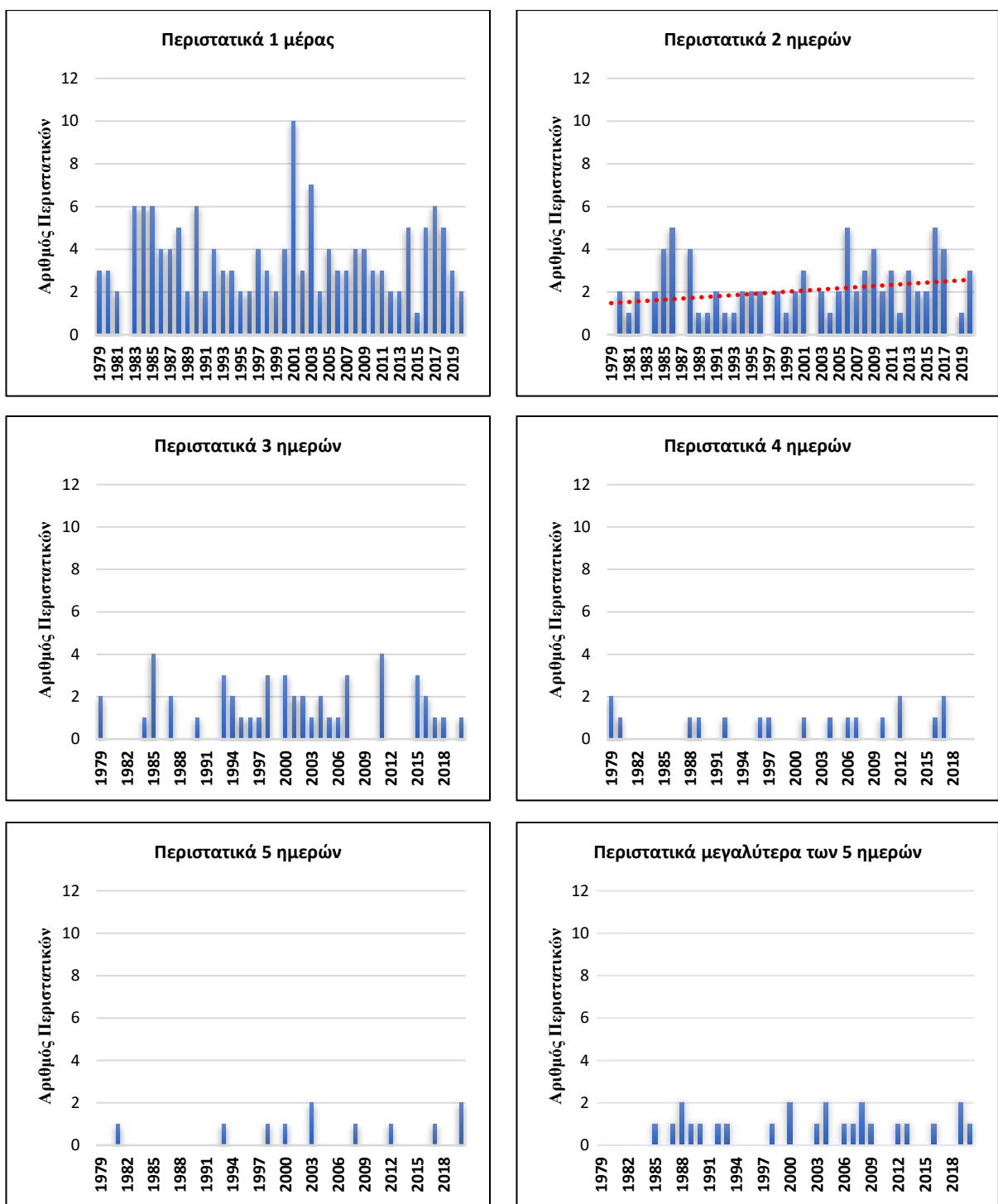
Παρατηρούμε ότι στο Σχήμα 3.11α οι μήνες Ιούλιος και Αύγουστος παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές πράγμα που αναδεικνύει την ύπαρξη πολυήμερων περιστατικών. Επιπλέον, οι μήνες Ιούνιος και Σεπτέμβριος παρουσιάζουν κοινή μέση διάρκεια περιστατικών, ενώ ακολουθεί ο Οκτώβριος και ο Μάιος.

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.11β βλέπουμε ότι η μέση διάρκεια των περιστατικών ακολουθεί ανοδική πορεία με το πέρασμα των χρόνων, με τα έτη 2007 και 2012 να παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μέση διάρκεια των περιστατικών. Αυτό αποτυπώνεται πλήρως και στην ακραία κατάσταση όσον αφορά τον αριθμό των πυρκαγιών αλλά και της καμένης έκτασης που έλαβε χώρα τα έτη αυτά, κυρίως στον Ελλαδικό χώρο (Ρήγα et al. 2010).



**Σχήμα 3.11** α) Μηνιαία κατανομή και β) διαχρονική διακύμανση της μέσης διάρκειας των περιστατικών. Εμφανίζεται η στατικά σημαντική γραμμική τάση (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

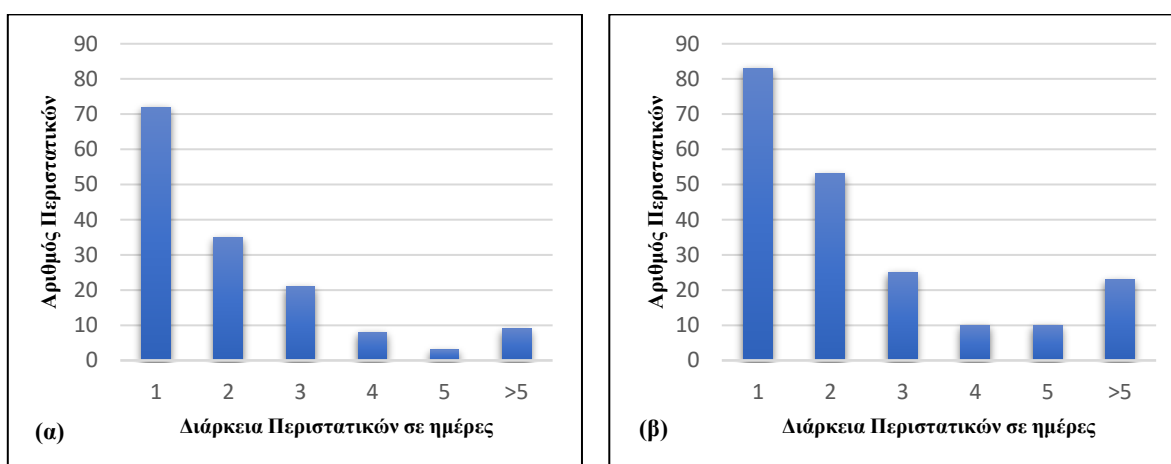
Αναφορικά με το Σχήμα 3.12, μπορούμε να δούμε ότι τα περιστατικά 1 μέρας ακολουθούν μια σχεδόν σταθερή πορεία με την πάροδο των ετών. Αντίθετα, τα περιστατικά 2 ημερών βλέπουμε ότι έχουν μια στατιστικά σημαντική, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, αυξητική τάση με το πέρασμα των ετών. Γενικά, θα παρατηρούσε κανείς ότι η διάρκεια των περιστατικών με μεγάλη διάρκεια αυξάνεται τα τελευταία χρόνια, κάτι το οποίο συμφωνεί με την αυξητική τάση του Σχήματος 3.11β.



Σχήμα 3.12 Διαχρονική διακύμανση του αριθμού περιστατικών.

Στο σημείο αυτό θα χωρίσουμε την περίοδο των 42 ετών σε δύο, χρονικά ίσες, περιόδους 21 ετών. Ο διαχωρισμός αυτός θα αναδείξει περαιτέρω χαρακτηριστικά όσον αφορά την τάση των ημερών και των επεισοδίων των ακραίων τιμών του δείκτη επικινδυνότητας πυρκαγιάς, ενώ θα τονίσει τις διαφορές μεταξύ των δύο περιόδων.

Στο Σχήμα 3.13 παρουσιάζεται η σχέση του αριθμού των περιστατικών με τη διάρκειά τους για τις δυο υποπεριόδους. Παρατηρούμε ότι ο συνολικός αριθμός των περιστατικών για την πρώτη περίοδο είναι εμφανώς μικρότερος από αυτόν της δεύτερης, ιδιαίτερα των περιστατικών με διάρκεια πάνω από 5 ημέρες. Αυτό σημαίνει ότι από το 2000 και έπειτα υπάρχει μια ενίσχυση των επεισοδίων και κατά συνέπεια των συνθηκών που ευνοούν την έναρξη και επέκταση μιας πυρκαγιάς.

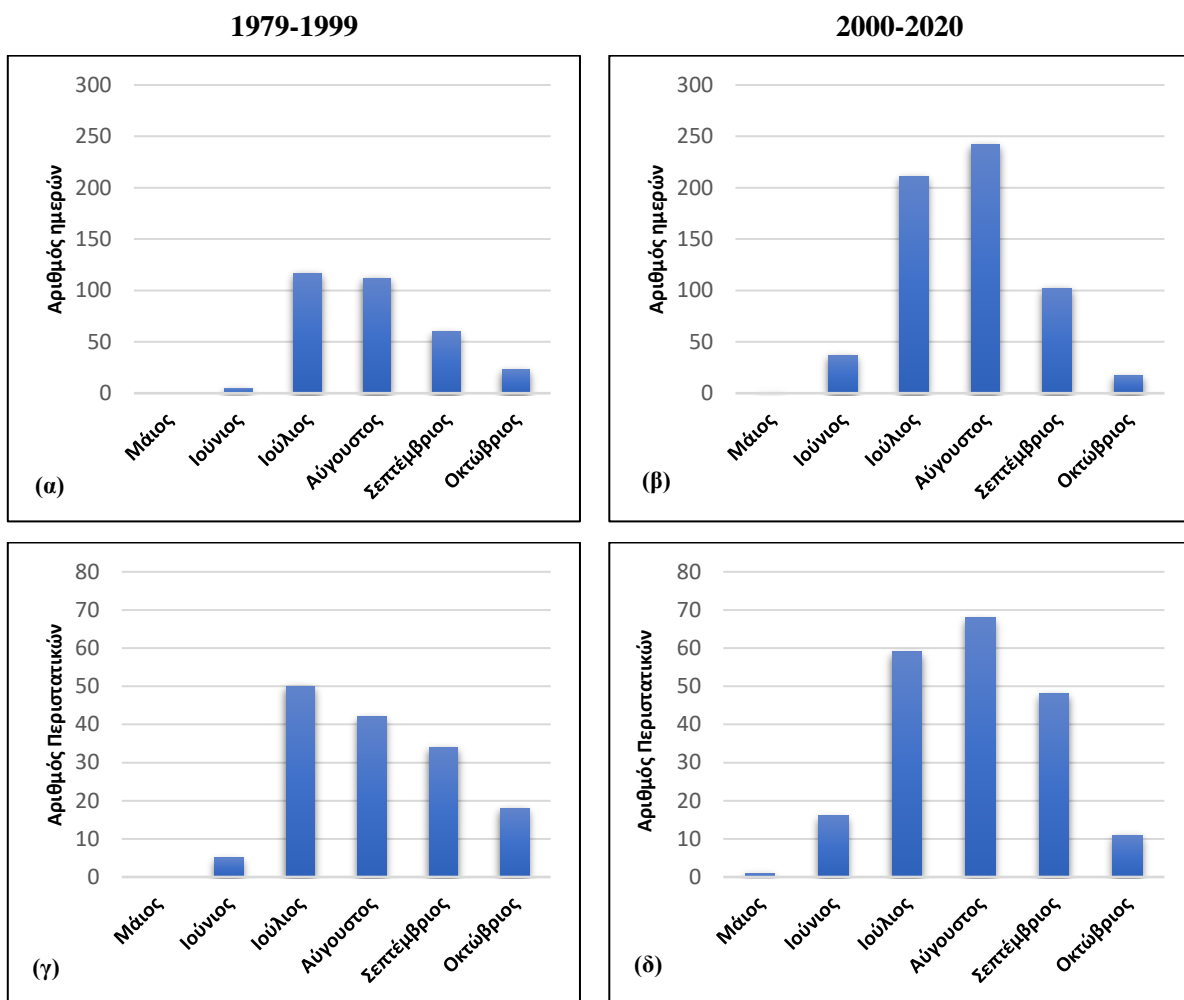


**Σχήμα 3.13** Αριθμός περιστατικών ως συνάρτηση της διάρκειας τους για την περίοδο α) 1979-1999 και β) 2000-2020.

Στο Σχήμα 3.14, βλέπουμε τη μηνιαία κατανομή του αριθμού των ημερών και των περιστατικών για τη περίοδο 1979-1999 (αριστερή στήλη) και 2000-2020 (δεξιά στήλη). Ξεκινώντας από τη μηνιαία κατανομή του αριθμού των ημερών, παρατηρούμε μια σαφή αύξηση αυτών την δεύτερη περίοδο μελέτης σε σχέση με τη πρώτη. Μάλιστα, ο αριθμός είναι σχεδόν διπλάσιος σε κάθε μήνα με εξαίρεση τον Οκτώβριο. Ακόμη, βλέπουμε ότι παρότι το μέγιστο των ημερών στις οποίες έχουμε ακραία συμπεριφορά του δείκτη βρισκόταν στον μήνα Ιούλιο για την περίοδο 1979-1999, αυτό έχει μετατοπιστεί στο μήνα Αύγουστο για την περίοδο 2000-2020.

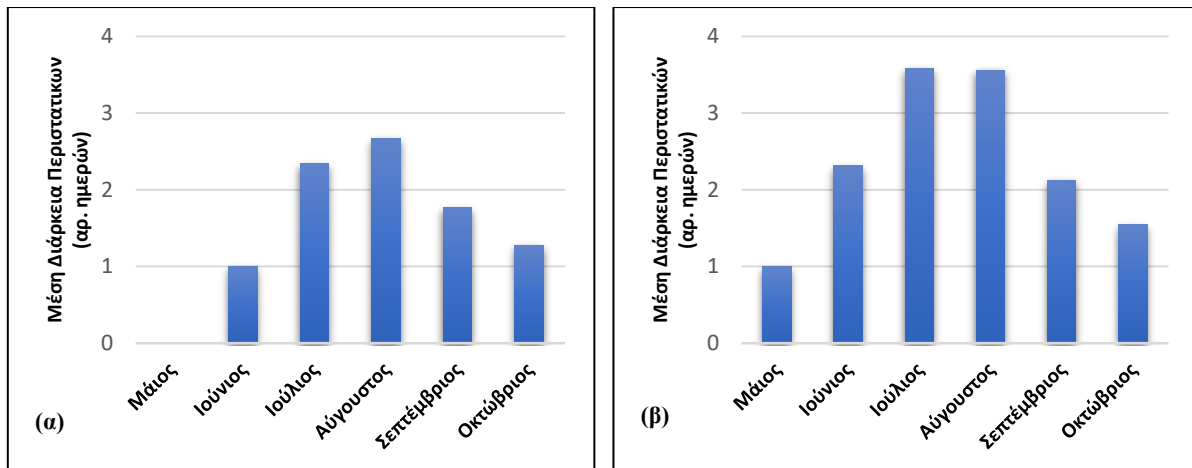
Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και για τη μηνιαία κατανομή των περιστατικών με την εμφανή αύξηση τους, με εξαίρεση και πάλι τον μήνα Οκτώβριο. Το μέγιστο, όπως και στην κατανομή των ημερών, έχει μετατοπιστεί και αυτό στο μήνα Αύγουστο.

Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν την υπόθεση της έντασης των φαινομένων κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η ξηρασία αλλά και οι παρατεταμένες περιόδους υψηλών θερμοκρασιών, ιδιαίτερα τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, οδηγούν το δείκτη επικινδυνότητας FWI να λαμβάνει ακραίες τιμές για μια σειρά ημερών.



**Σχήμα 3.14** Μηνιαία κατανομή του αριθμού των ημερών ακραίου FWI για τη περίοδο α) 1979-1999 και β) 2000-2020 και μηνιαία κατανομή του αριθμού των περιστατικών ακραίου FWI για την περίοδο γ) 1979-1999 και δ) 1999-2020.

Στο Σχήμα 3.15, βλέπουμε τη μέση μηνιαία διάρκεια των περιστατικών κατά μήνα για τις 2 υποπεριόδους. Όπως και με τα γραφήματα τα οποία παρουσιάστηκαν παραπάνω, κυριαρχεί η τάση της αύξησης της μέσης διάρκειας την περίοδο 2000-2020. Η αύξηση είναι εντονότερη τον Ιούνιο και στη δεύτερη θέση έρχεται ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Αυτό συμβαίνει πιθανά λόγω της αύξησης της συχνότητας των επεισοδίων ξηρασίας και των υψηλών θερμοκρασιών ακόμη και στους μήνες οι οποίοι δεν ήταν στο επίκεντρο των συνεχόμενων έντονων φαινομένων, όπως ο Ιούνιος.



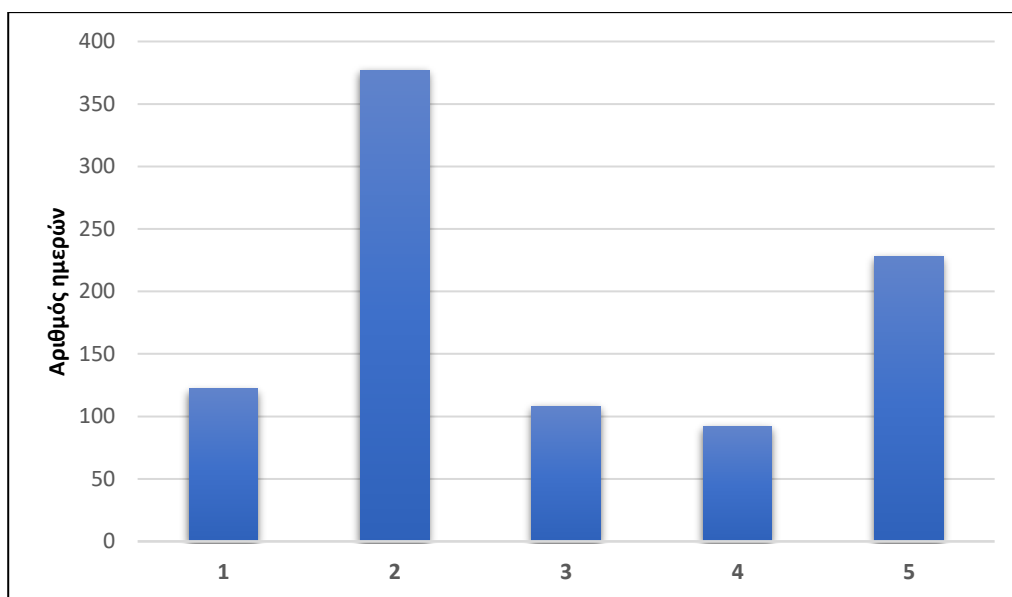
**Σχήμα 3.15** Μηνιαία κατανομή της μέσης διάρκειας των περιστατικών ακραίου FWI για τη περίοδο α) 1979-1999 και β) 2000-2020.

### 3.4 Ομαδοποίηση περιστατικών ακραία υψηλού δείκτη FWI

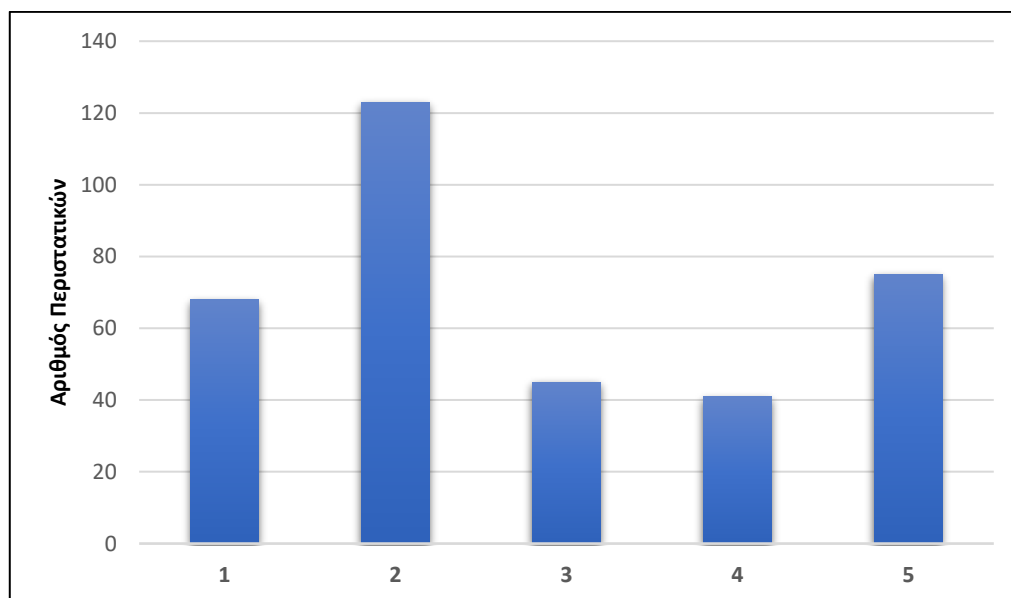
Σύμφωνα με το διάγραμμα των αλμάτων (jump) σαν συνάρτηση των ομάδων (Σχήμα 2.9), το οποίο προέκυψε από την εφαρμογή του distortion test η οποία αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αποφασίστηκε ότι ο κατάλληλος αριθμός ομάδων ώστε αυτές να είναι όσο το δυνατόν διαφορετικές αλλά και ομοιογενείς, είναι 5. Συνεπώς στις 5 αυτές ομάδες μπορεί να κατηγοριοποιηθεί η κυκλοφορία αλλά και οι τιμές του δείκτη FWI με τις αποχές του. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι χάρτες για κάθε ομάδα για 3 σημαντικές ημέρες, τη D-1 που αναφέρεται στην ημέρα πριν την έναρξη του περιστατικού, τη D που είναι η πρώτη μέρα του περιστατικού και την D<sub>END</sub> που αναφέρεται στην ημέρα λήξης του περιστατικού. Συμπληρωματικά, θα παρουσιαστούν γραφήματα για κάθε ομάδα, τα οποία θα αναδείξουν σημαντικά στατιστικά στοιχεία των ομάδων. Τα γραφήματα αυτά θα αναφέρονται στη μηνιαία κατανομή των ημερών και των περιστατικών, στη διαχρονική διακύμανση τους και στη διάρκειά τους.

Στο Σχήμα 3.16 παρουσιάζεται ο αριθμός των ημερών για τις οποίες ο δείκτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς παίρνει ακραίες τιμές. Οι μέρες αυτές είναι ταξινομημένες σε κάθε ομάδα (cluster), όπως υπέδειξε η ανάλυση κατά συστάδες. Έτσι, από τις συνολικά 927 ημέρες, παρατηρούμε ότι ο μεγαλύτερος αριθμός εξ αυτών (377) κατατάσσεται στην ομάδα 2. Αντίθετα, η ομάδα με τον μικρότερο αριθμό ημερών είναι η ομάδα 4.

Η κατανομή των περιστατικών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.17, είναι παρόμοια με αυτή των ημερών. Από το σύνολο των 352 περιστατικών, για τα 42 έτη μελέτης, η πλειοψηφία βρίσκεται και πάλι στην ομάδα 2. Η ομάδα 4 περιέχει, όπως συνέβη και με την κατανομή των ημερών, το χαμηλότερο αριθμό περιστατικών.



**Σχήμα 3.16** Κατανομή του αριθμού των ημερών ακραία υψηλού δείκτη FWI ανά ομάδα (Cluster)



**Σχήμα 3.17** Κατανομή του αριθμού των περιστατικών ακραία υψηλού δείκτη FWI ανά ομάδα (Cluster)

## Ομάδα (Cluster) 1

Σε ότι αφορά την ομάδα 1, ξεκινώντας με το Σχήμα 3.18, όπου φαίνεται η χωρική κατανομή του δείκτη FWI αλλά και των αποχών του, βλέπουμε ότι μεγάλες τιμές του δείκτη απαντώνται κυρίως στην περιοχή της Αττικής, την περιοχή του Αιγαίου και της Κρήτη αλλά και στη δυτική Μικρά Ασία. Οι τιμές αυτές είναι πάνω από το μέσο όρο, όπως φαίνεται και στους χάρτες των αποχών. Αντίθετα, η ηπειρωτική χώρα, ως επί το πλείστον, παρουσιάζει μικρές τιμές, πράγμα που σημαίνει ότι η πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς είναι ελάχιστη.

Στη μέση τροπόσφαιρα (Σχήμα 3.19) επικρατούν κυρίως χαμηλές πιέσεις πάνω από την βορειοανατολική Ευρώπη. Μια σκάφη χαμηλών πιέσεων κινείται νοτιοδυτικά, επηρεάζοντας την ανατολική Ελλάδα την ημέρα της έναρξης του επεισοδίου ενώ μια ράχη υψηλών πιέσεων κυριαρχεί στο δυτικό κομμάτι της Ευρώπης. Στην κατώτερη τροπόσφαιρα (Σχήμα 3.20) παρατηρούμε αρχικά μια γλώσσα του βαρομετρικού χαμηλού των Ινδιών, το οποίο έχει επεκταθεί σχεδόν μέχρι την ανατολική Ελλάδα. Στο σύνολο σχεδόν της Ευρώπης παρατηρείται ένα βαρομετρικό υψηλό. Ο συνδυασμός των δύο βαρομετρικών ευνοεί την ενίσχυση των ανέμων στη περιοχή της ανατολικής Ελλάδας αλλά και της δυτικής Τουρκίας. Ο άνεμος, μάλιστα, στις περιοχές αυτές είναι ισχυρός, όπως φαίνεται από τη διάταξη των ισοβαρών καμπυλών του Σχήματος 3.20. Η διάταξη αυτή είναι χαρακτηριστική και συνήθης τους καλοκαιρινούς μήνες η οποία προκαλεί τους ετησίες (μελέμια).

Η σχετική υγρασία παρουσιάζει αυξημένες τιμές πάνω από τον Ελλαδικό χώρο πάνω από τη μέση τιμή των 42 ετών μελέτης (Σχήμα 3.21). Η θερμοκρασία από την άλλη παρουσιάζει χαμηλές τιμές για την εποχή (Σχήμα 3.22).

Η μικρή τιμή της θερμοκρασίας και οι μεγάλες τιμές υγρασίας για την εποχή δεν θα πρέπει να μας απασχολούν ιδιαίτερα. Όπως έχει ξανά ειπωθεί, οι τιμές του δείκτη FWI δεν εξαρτώνται μόνο από τη θερμοκρασία, αλλά και από τον άνεμο. Η υψηλή ταχύτητα του ανέμου η οποία εμφανίζεται στη περίπτωση αυτή, απάγει την υγρασία των επιφανειακών στρωμάτων του εδάφους, καθιστώντας έτσι την ανάφλεξη των υλικών πιο εύκολη. Ακόμη, ο άνεμος είναι ένας βασικός παράγοντας για την εξάπλωση των πυρκαγιών, και για αυτό τον λόγο η τιμή του δείκτη εκτοξεύεται στις περιοχές αυτές, επισημαίνοντας παράλληλα ότι βρισκόμαστε στους καλοκαιρινούς μήνες.

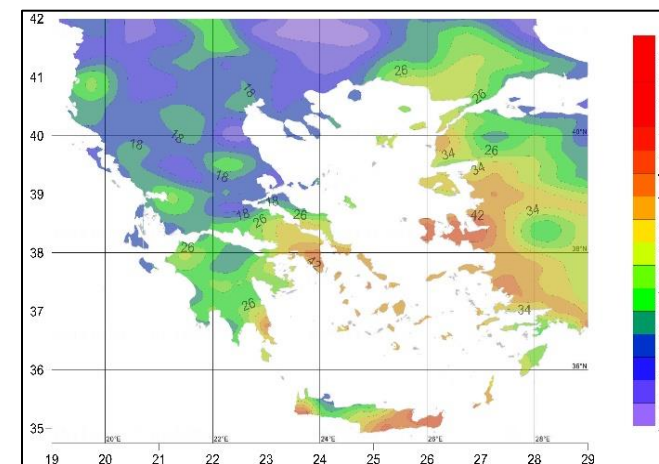
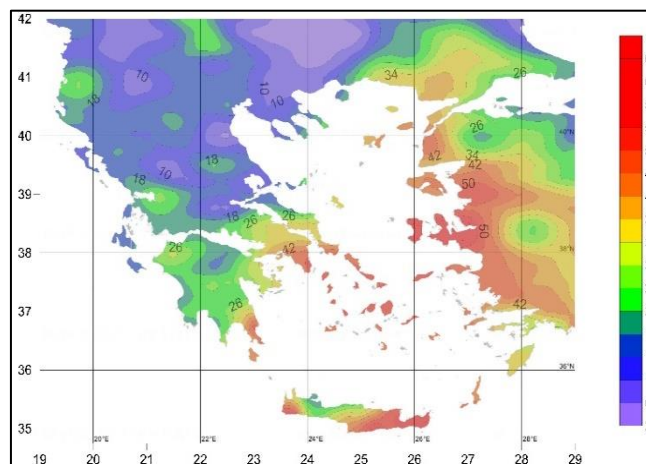
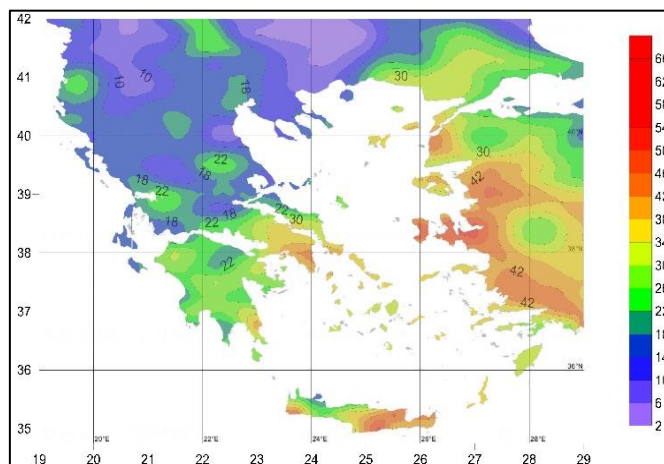
Ο αριθμός των περιστατικών αλλά και των ημερών, για τις οποίες ο δείκτης FWI παίρνει ακραίες τιμές ακολουθούν σχεδόν παρόμοια κατανομή για την ομάδα 1 (Σχήμα 3.23). Το μέγιστο των ημερών, αλλά και των περιστατικών εμφανίζεται το Σεπτέμβριο, ενώ το ελάχιστο τον Ιούνιο, αν εξαιρέσουμε τον Μάιο ο οποίος δεν εμφανίζει κανένα περιστατικό. Η μέση διάρκεια των περιστατικών είναι ομοίως κατανομημένη ανά τους μήνες με μέση διάρκεια περιστατικών περίπου 2 ημέρες. Η διαχρονική πορεία από την άλλη, εμφανίζει στατιστικά σημαντική πτωτική τάση με τα χρόνια, τόσο για τον αριθμό των ημερών, όσο και των περιστατικών. Η μέση διάρκεια των περιστατικών ακολουθεί και αυτή πτωτική τάση.

Ημέρα D-1

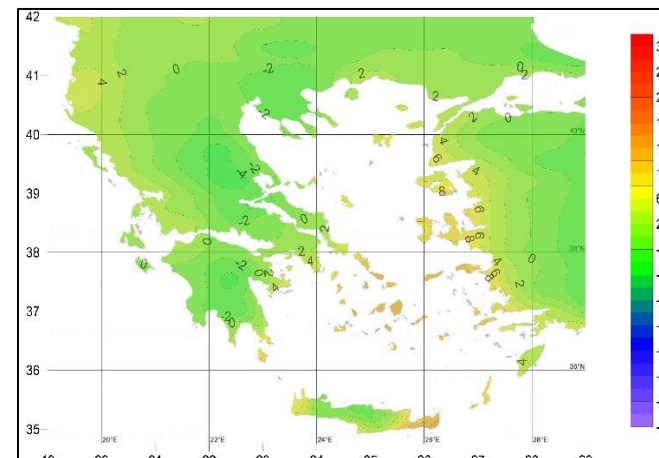
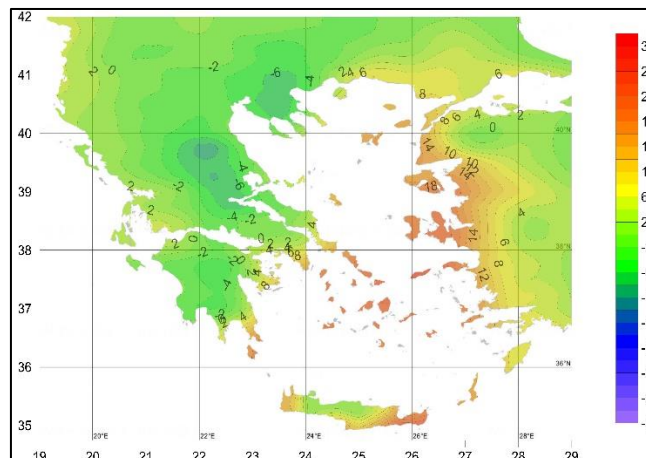
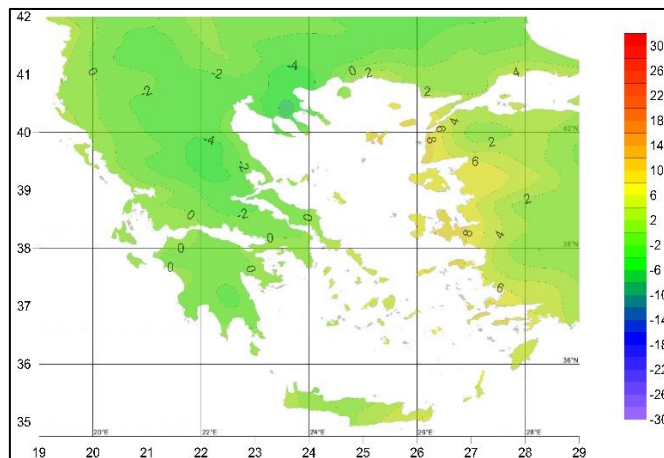
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης DEND

FWI

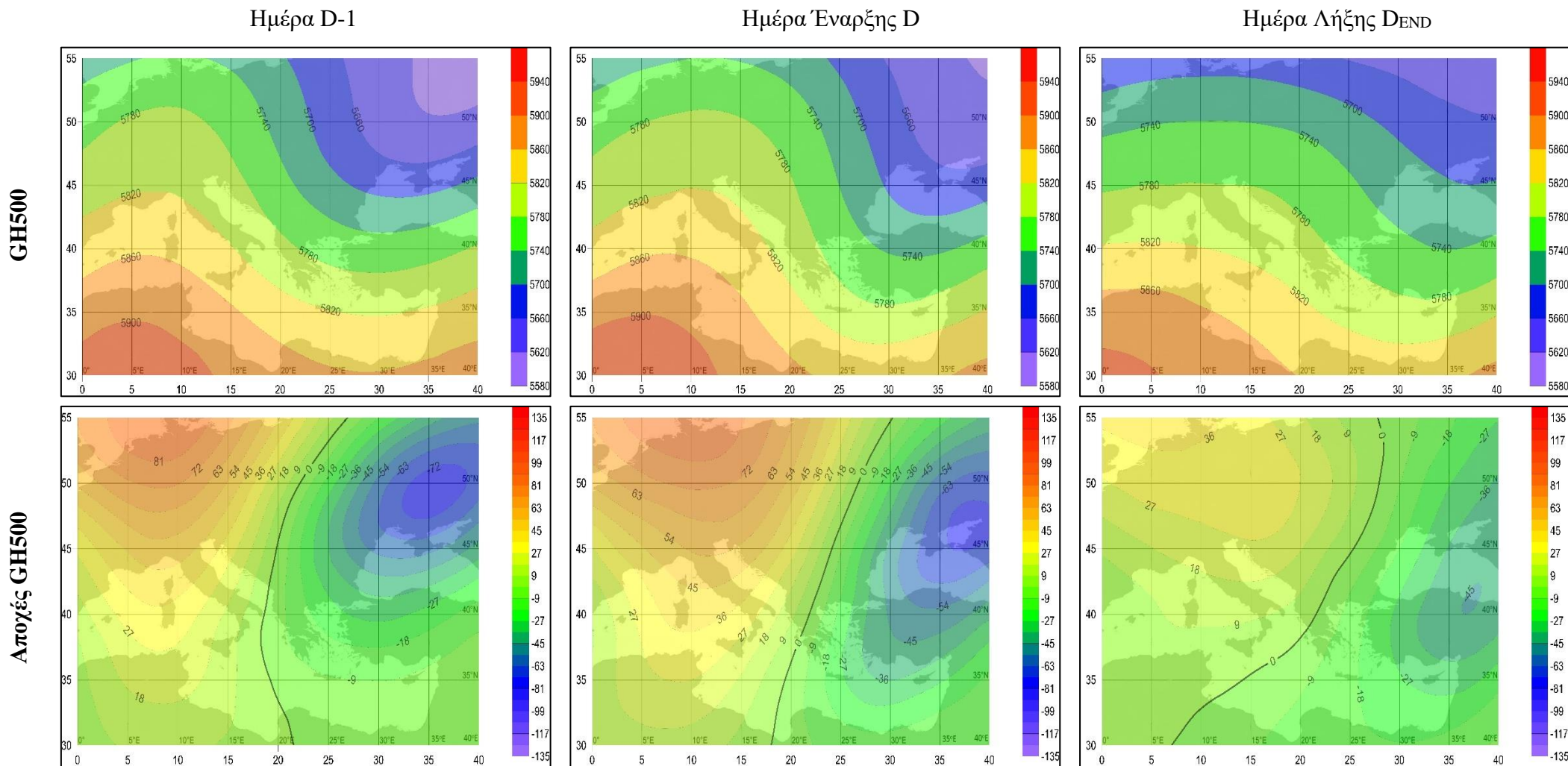


Αποχές FWI



Σχήμα 3.18 Ομάδα 1: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του δείκτη FWI και των αποχών του για τις ημέρες D-1, D, DEND.





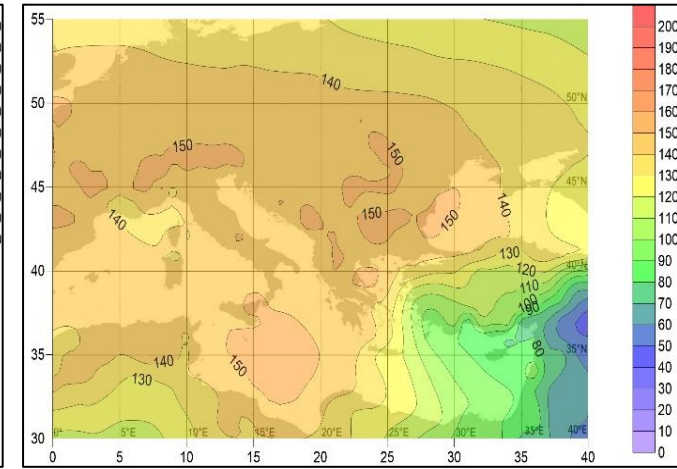
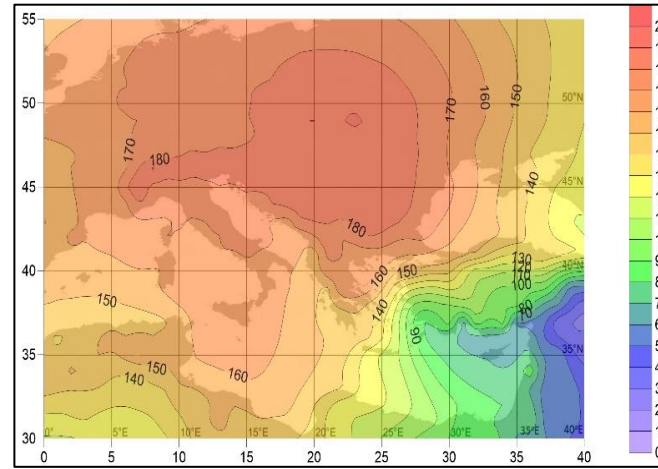
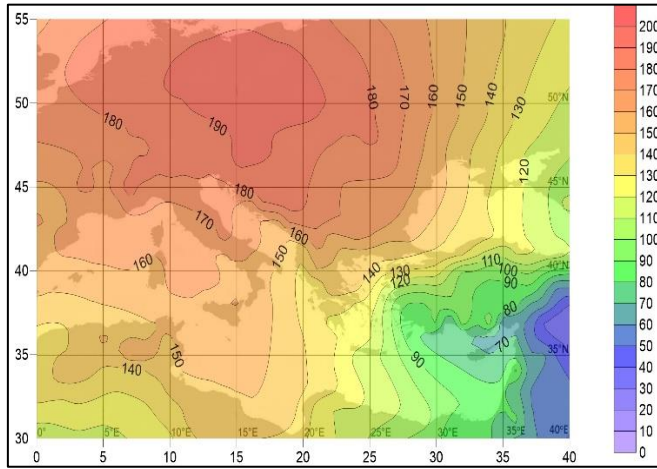
Σχήμα 3.19 Ομάδα 1: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa (gpm) και των αποχών του για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

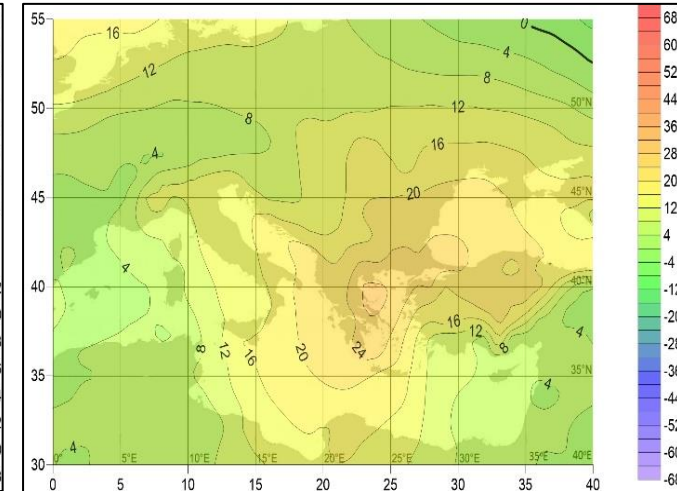
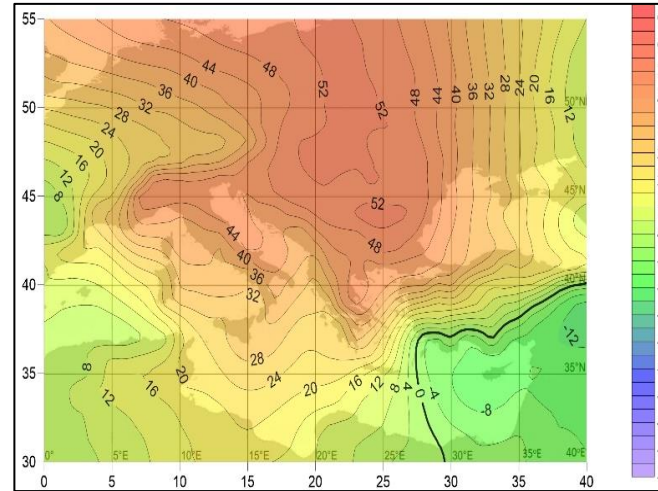
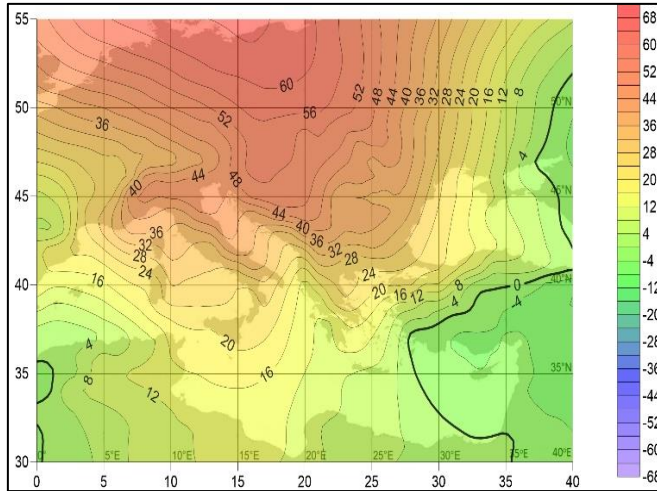
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

GH1000



Αποχές GH1000



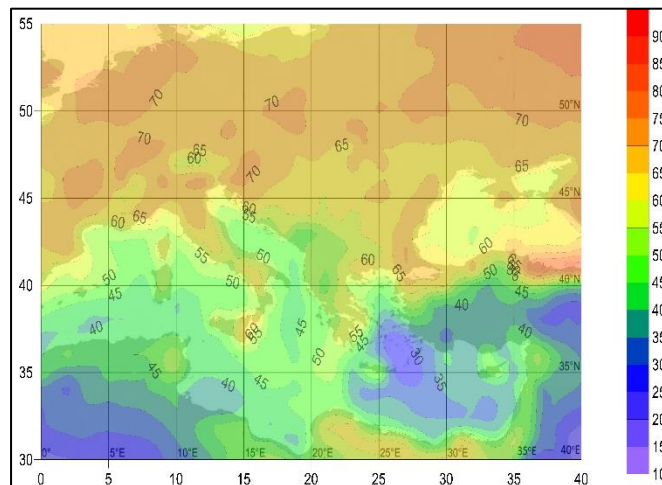
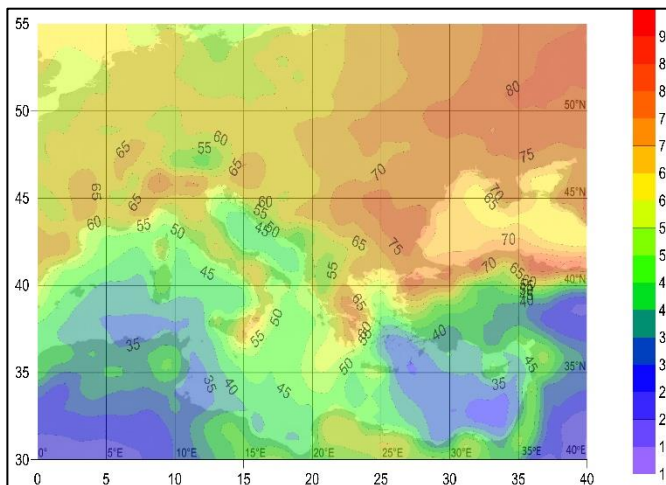
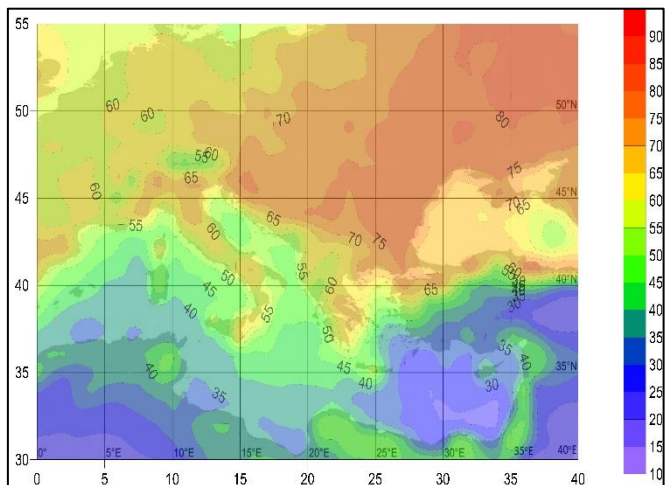
Σχήμα 3.20 Ομάδα 1: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 1000hPa (gpm) και των αποχών του για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

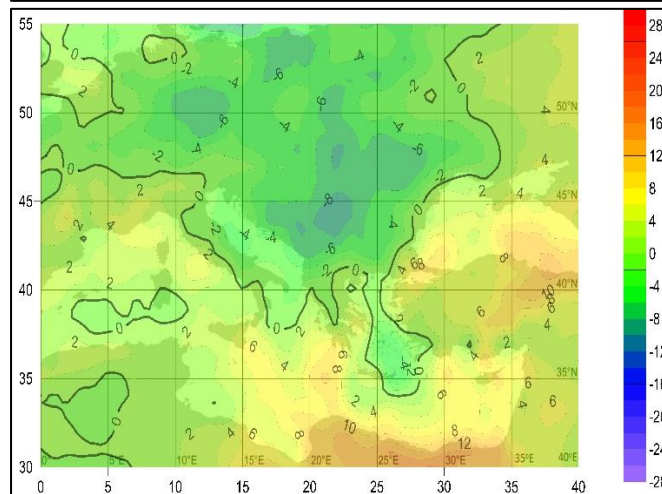
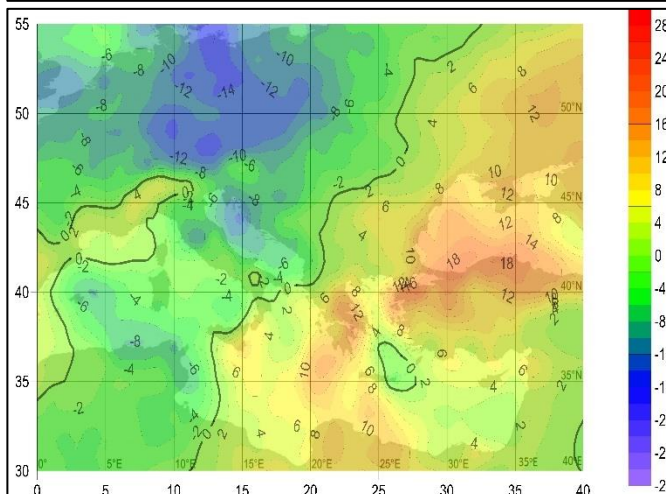
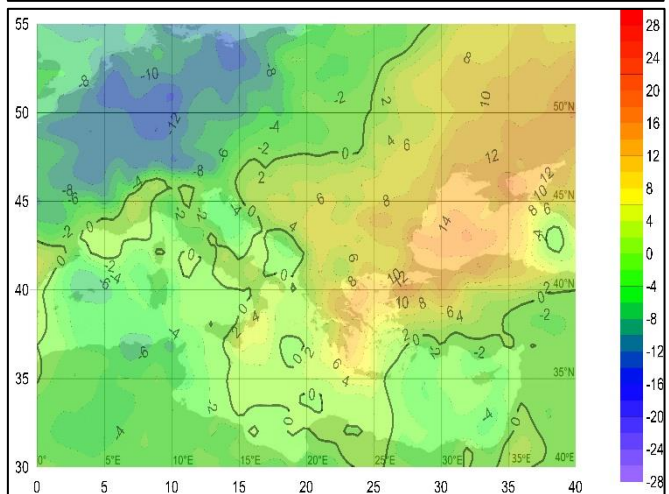
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

RH850



Αποχές RH850

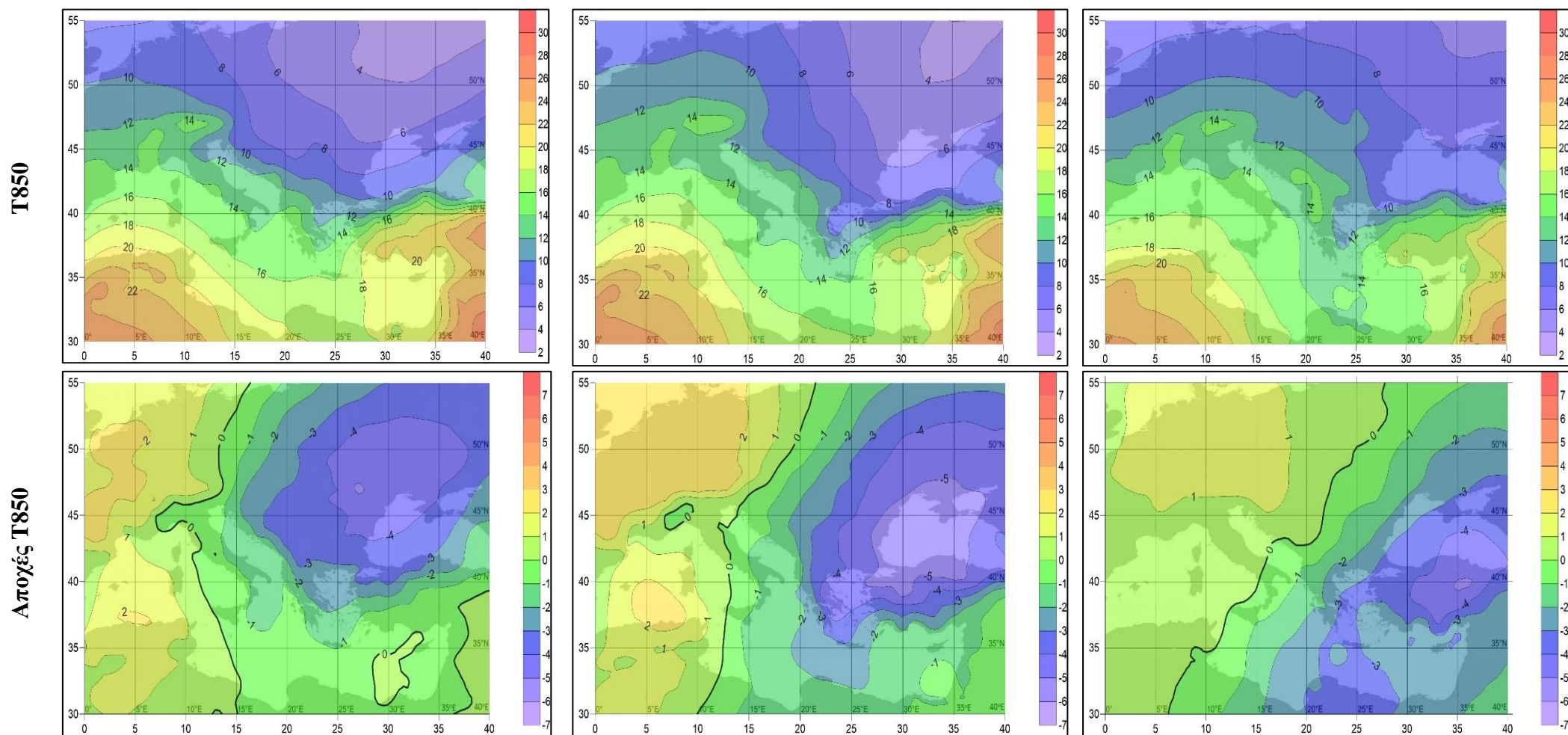


Σχήμα 3.21 Ομάδα 1: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για τη σχετική υγρασία στη στάθμη των 850hPa (%) και των αποχών της για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

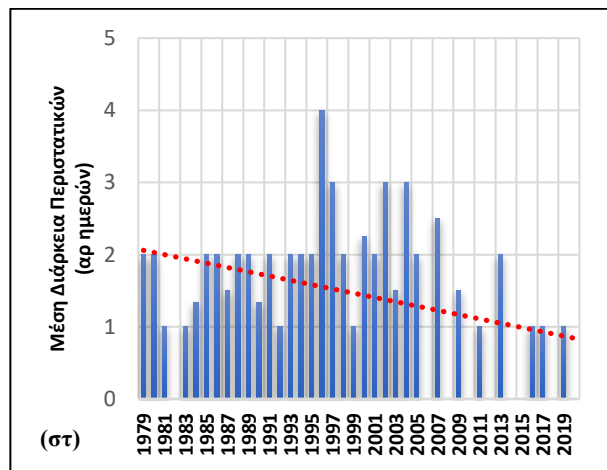
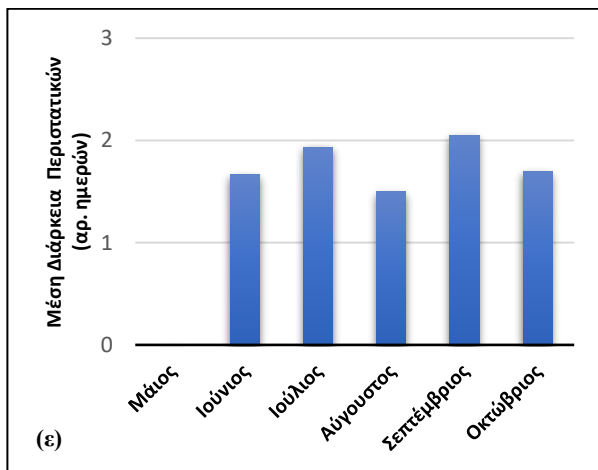
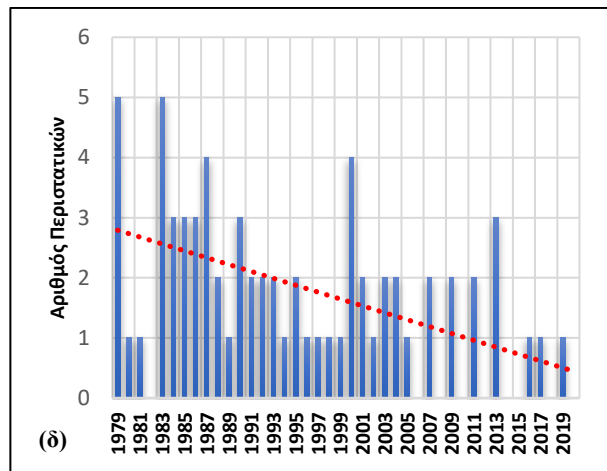
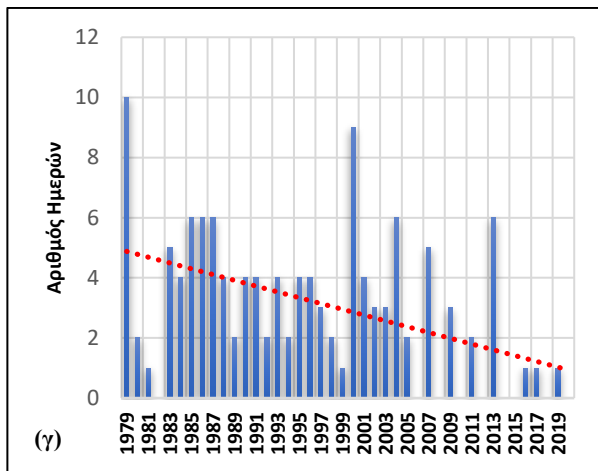
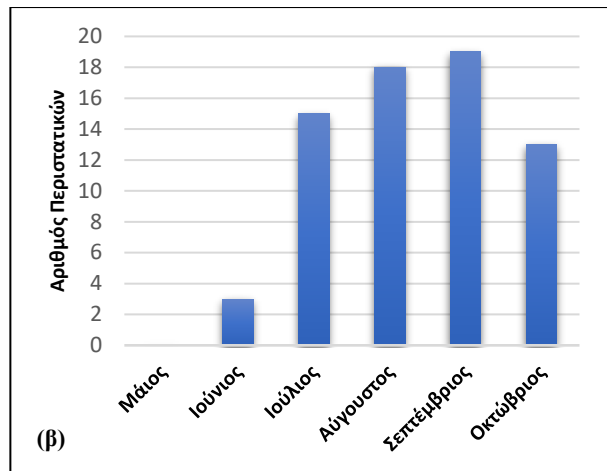
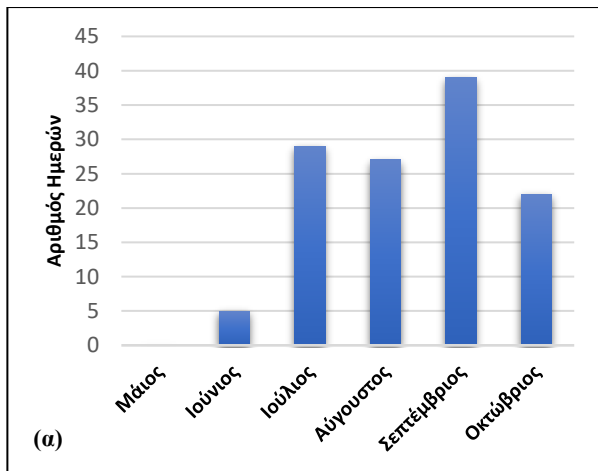
Ημέρα D-1

Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>



Σχήμα 3.22 Ομάδα 1: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για τη θερμοκρασία στη στάθμη των 850hPa (°C) και των αποχών της για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.



**Σχήμα 3.23 Ομάδα 1:** Μηνιαία κατανομή α) του αριθμού των ημερών και β) του αριθμού των περιστατικών, διαχρονική διακύμανση γ) του αριθμού ημερών και δ) του αριθμού των περιστατικών και ε) μηνιαία κατανομή και στ) διαχρονική διακύμανση της μέσης διάρκειας των περιστατικών. Εμφανίζονται οι στατικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

## Ομάδα (Cluster) 2

Στην ομάδα 2 παρατηρείται μια σχεδόν παρόμοια κατανομή του δείκτη FWI στον Ελλαδικό χώρο σε σχέση με την πρώτη ομάδα. Σύμφωνα με το Σχήμα 3.24, οι μεγάλες τιμές εντοπίζονται κυρίως στην ανατολική Ελλάδα με έμφαση κυρίως την Αττική και τα νησιά των Σποράδων. Η Κρήτη επίσης, εμφανίζει υψηλές τιμές αλλά και η δυτική Μικρά Ασία. Στην ομάδα αυτή φαίνεται ότι και ο κορμός της Ελλάδας εμφανίζει σχετικά υψηλές τιμές, κάτι το οποίο απουσίαζε από την πρώτη ομάδα.

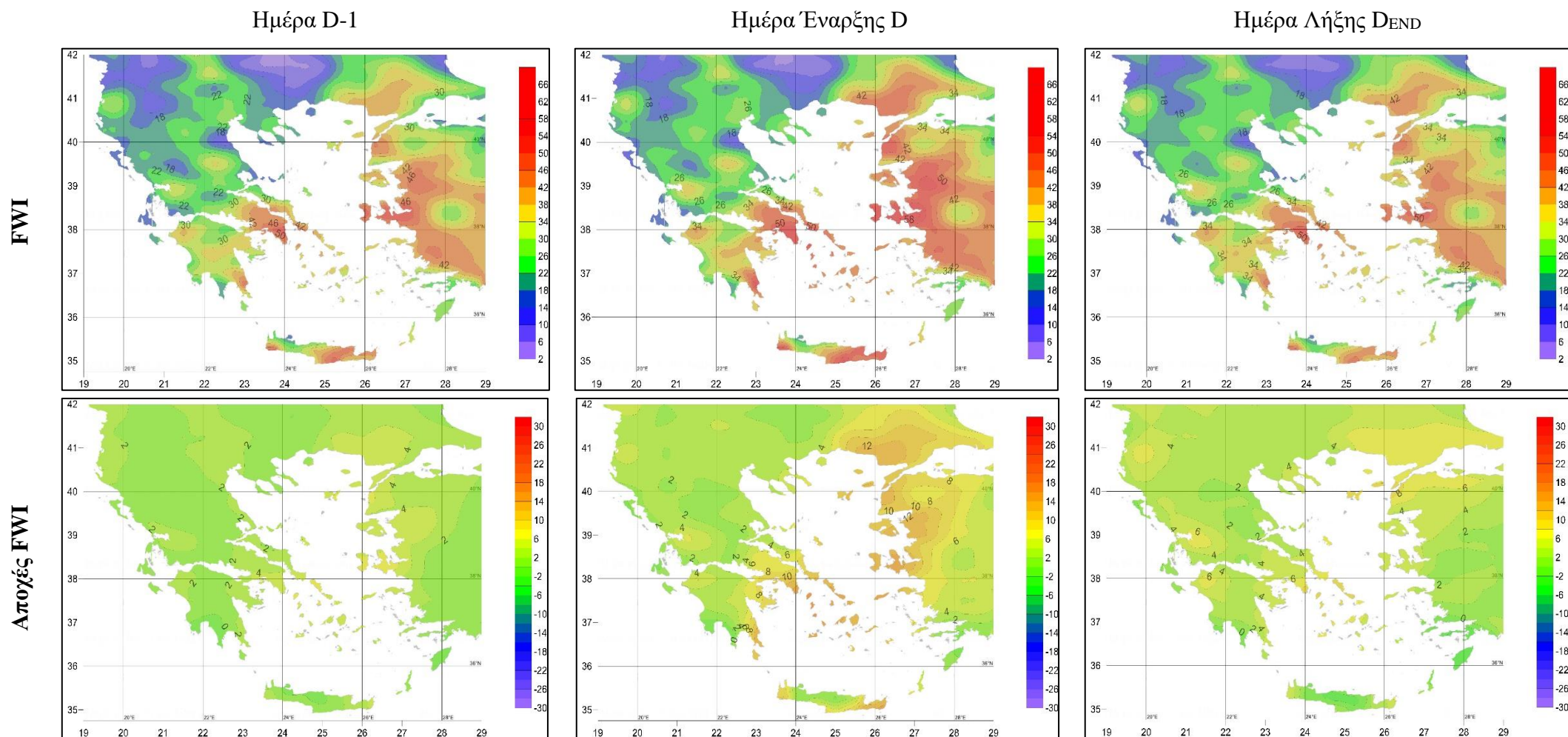
Στη μέση τροπόσφαιρα (Σχήμα 3.25) παρατηρούνται χαμηλές τιμές πίεσης στη Βόρεια Ευρώπη οι οποίες εκτοπίζονται βορειότερα, καθώς πηγαίνουμε προς την ημέρα έναρξης του επεισοδίου, επηρεασμένες από μια ράχη υψηλών πιέσεων η οποία βρίσκεται νοτιοδυτικά με βορειοανατολική κατεύθυνση κίνησης. Στην κατώτερη τροπόσφαιρα (Σχήμα 3.26) η διάταξη είναι παρόμοια με της πρώτης ομάδας με τη διαφορά ότι το χαμηλό της ΝΔ Ασίας είναι περιορισμένο στο δυτικό μέρος. Η διάταξη των ισοβαρών στη στάθμη των 1000hPa προσδίδει ένα βόρειο-βορειοδυτικό ρεύμα αέρα στη περιοχή του Αιγαίου και των ακτών που το περιβάλλουν. Ο άνεμος, όπως φαίνεται από την πύκνωση των ισοβαρών είναι ενισχυμένος στη περιοχή αυτή.

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.27, η σχετική υγρασία παίρνει χαμηλές τιμές σχεδόν σε όλο τον Ελλαδικό χώρο με τις τιμές πάνω από το Αιγαίο να είναι αρκετά μικρές. Οι τιμές αυτές, όπως φαίνεται και από τις αποχές, είναι μικρότερες από τη μέση τιμή τους στη περιοχή αυτή κάτι που υποδηλώνει συνθήκες ξηρασίας. Από πλευράς θερμοκρασίας δεν παρατηρείται κάτι αξιόλογο με τις τιμές να μην διαφοροποιούνται από τη μέση τιμή (Σχήμα 3.28).

Παρατηρώντας το Σχήμα 3.29, βλέπουμε ότι ο αριθμός των περιστατικών ακολουθεί τη πορεία του αριθμού των ημερών. Το μέγιστο των δύο, παρατηρείται τον Αύγουστο ενώ ο Οκτώβριος εμφανίζεται με το μικρότερο αριθμό ημερών και περιστατικών αν εξαιρέσουμε τον Μάιο όπως και στη προηγούμενη ομάδα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαχρονική πορεία των ημερών και των περιστατικών όπου, ιδιαίτερα μετά το 2000, παρατηρούνται διαδοχικές μέγιστες τιμές.

Σε αντίθεση με την ομάδα 1, η μέση διάρκεια των περιστατικών δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένη για τους 6 μήνες μελέτης. Η διάρκεια με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης αντιστοιχεί στον Αύγουστο με μέση διάρκεια επεισοδίου περίπου 4 ημέρες. Η μέση διάρκεια των περιστατικών κατά έτος είναι περίπου 2 ημέρες με εξαίρεση τα έτη 2009-2013 όπου και εμφανίζονται οι μέγιστες διάρκειες.

Όπως και στην ομάδα 1, έτσι και εδώ ο άνεμος είναι αυτός που δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες για την έναρξη και την επέκταση μιας πυρκαγιάς. Φαίνεται συνεπώς και πάλι ο σημαντικός ρόλος του ανέμου στη συμπεριφορά του δείκτη FWI ως προς την κατάταξη της επικινδυνότητας.



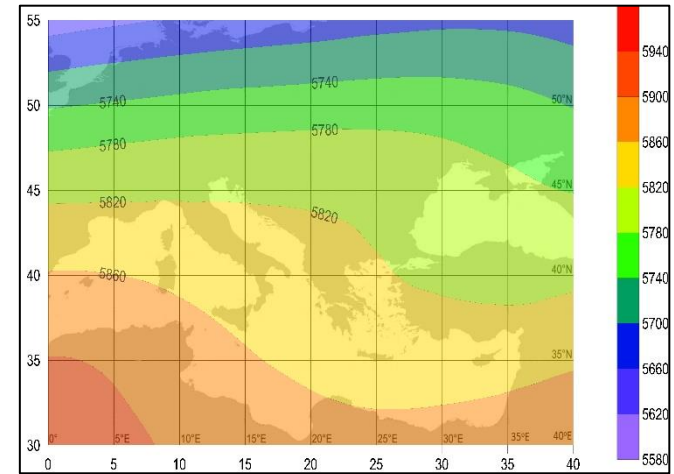
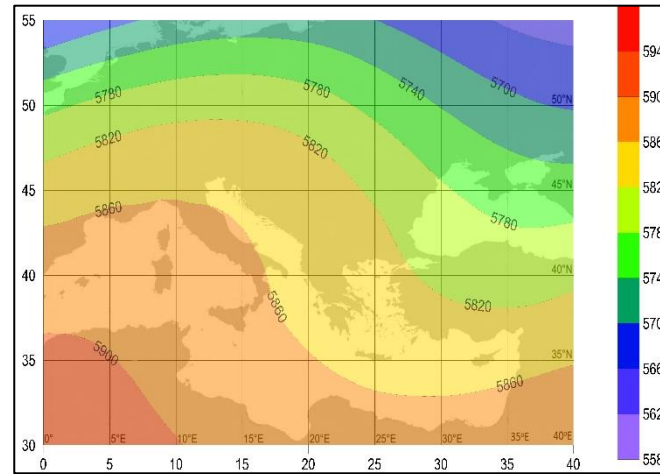
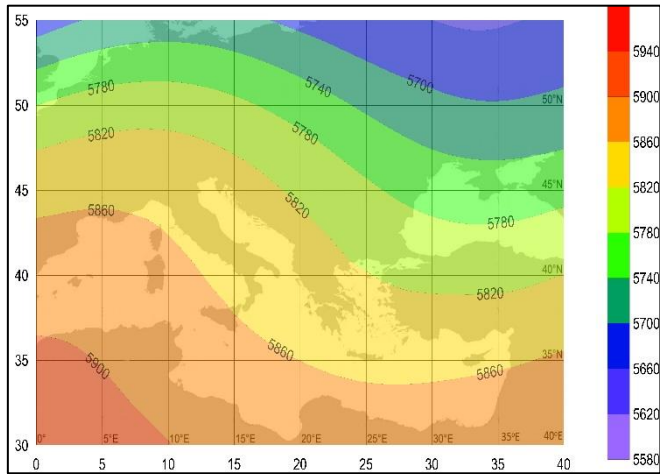
Σχήμα 3.24 Ομάδα 2: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του δείκτη FWI και των αποχών του για τις ημέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

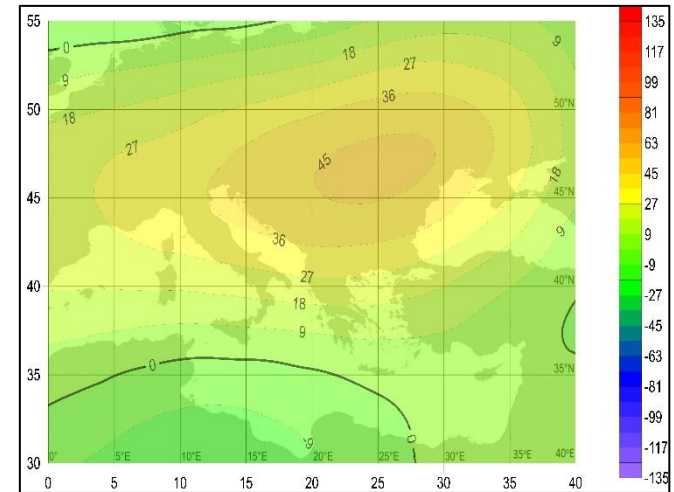
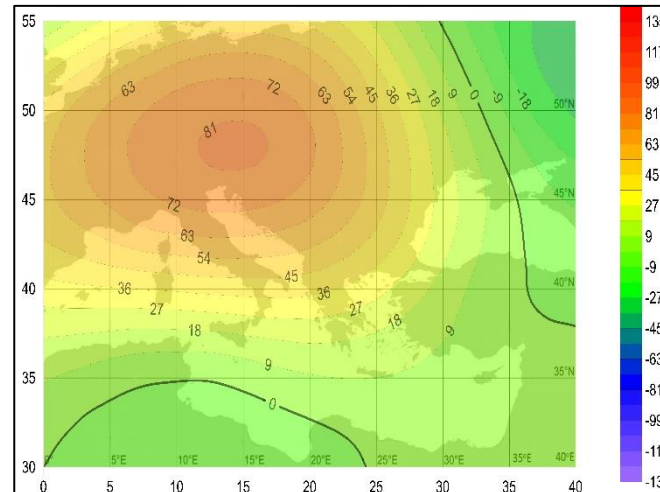
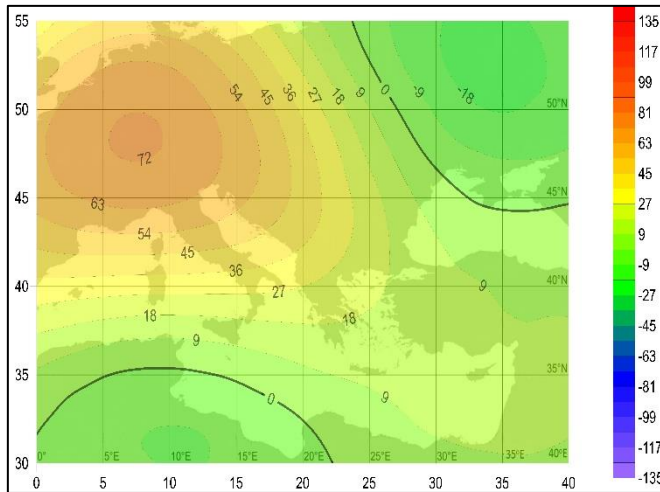
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

GH500



Αποχές GH500



Σχήμα 3.25 Ομάδα 2: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa (gpm) και των αποχών του για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

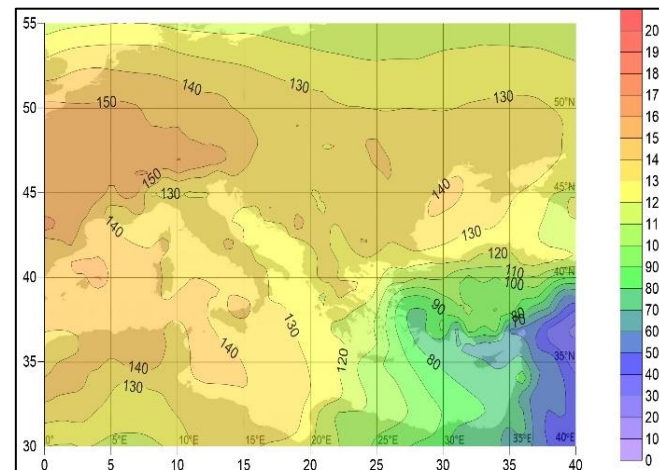
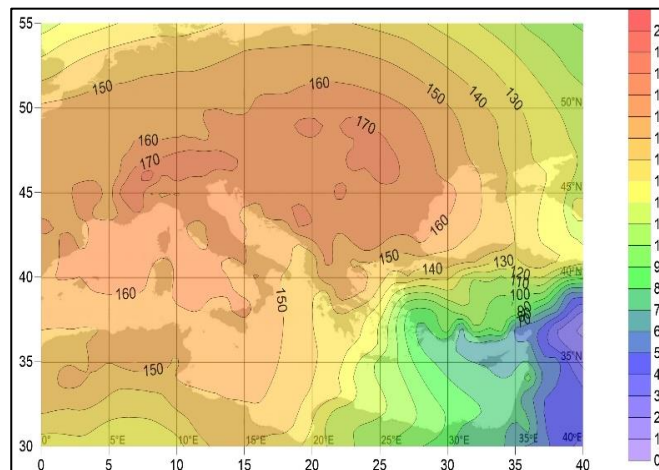
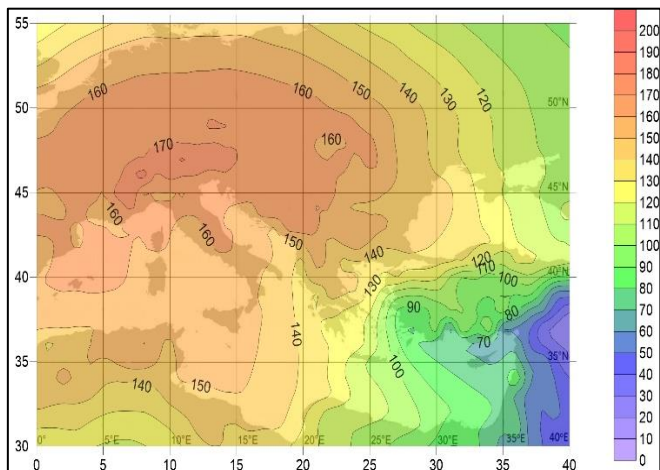


Ημέρα D-1

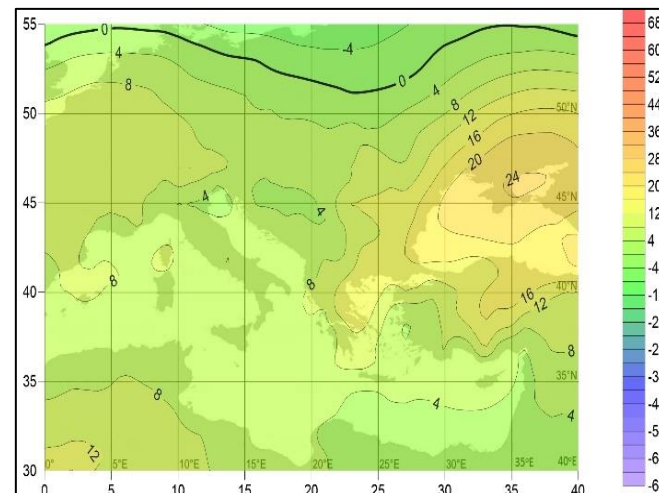
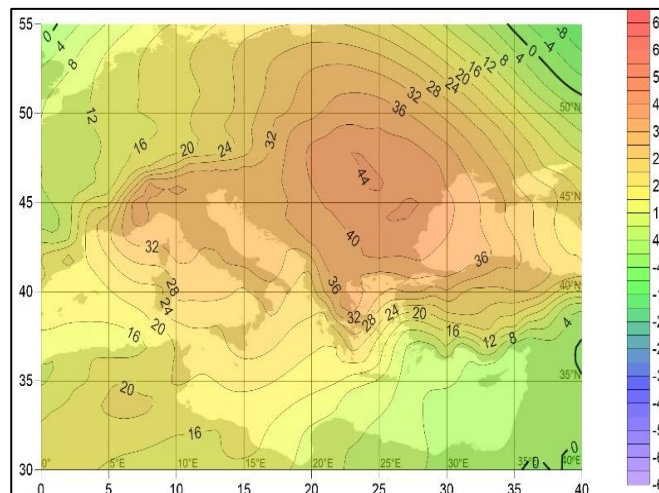
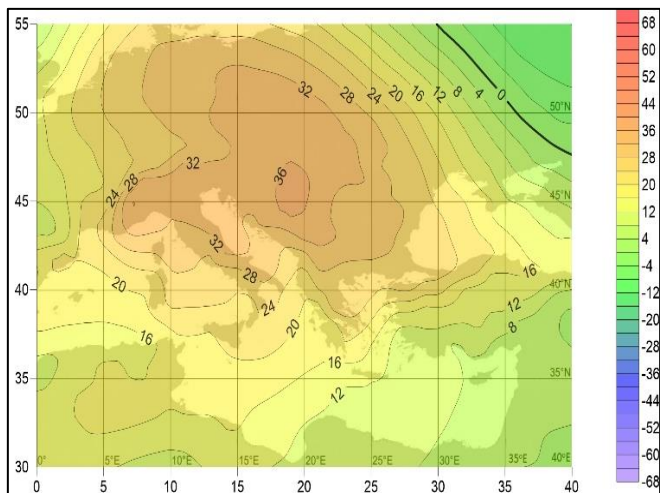
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

GH1000



Αποχές GH1000



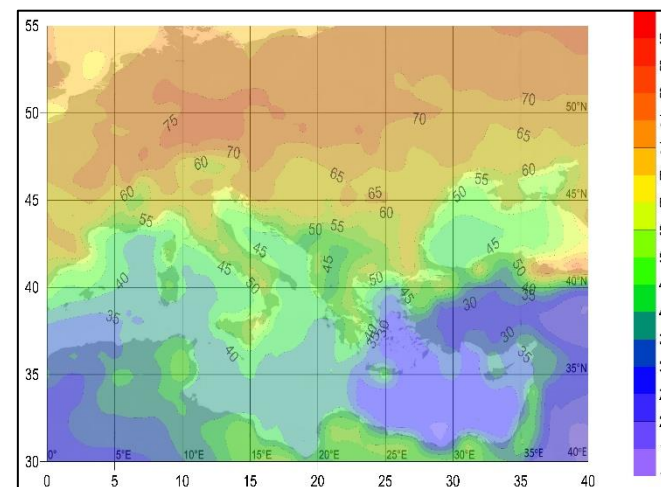
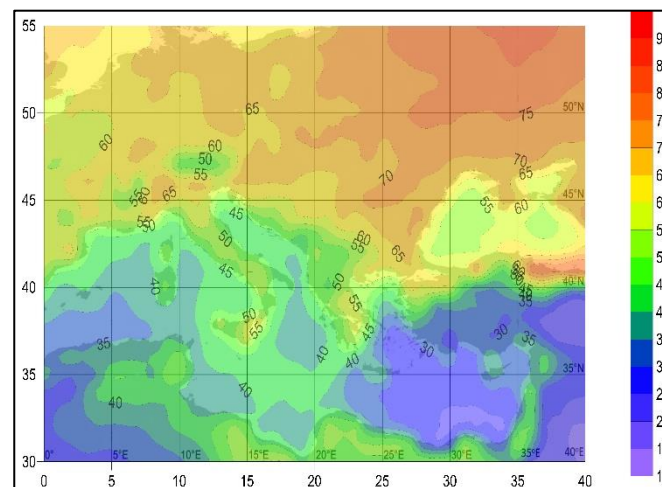
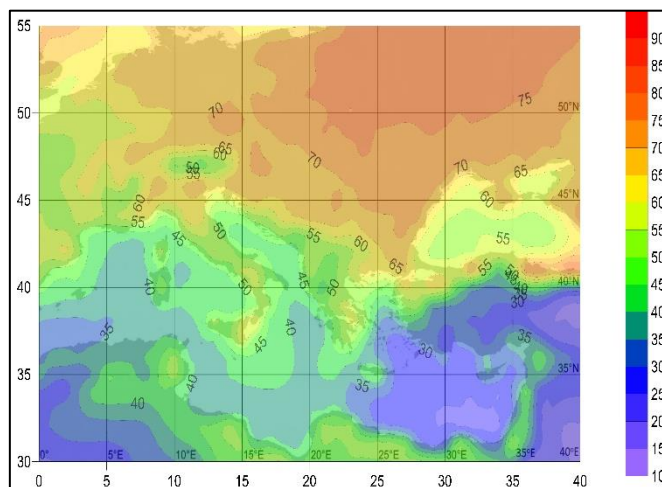
Σχήμα 3.26 Ομάδα 2: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 1000hPa (gpm) και των αποχών του για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

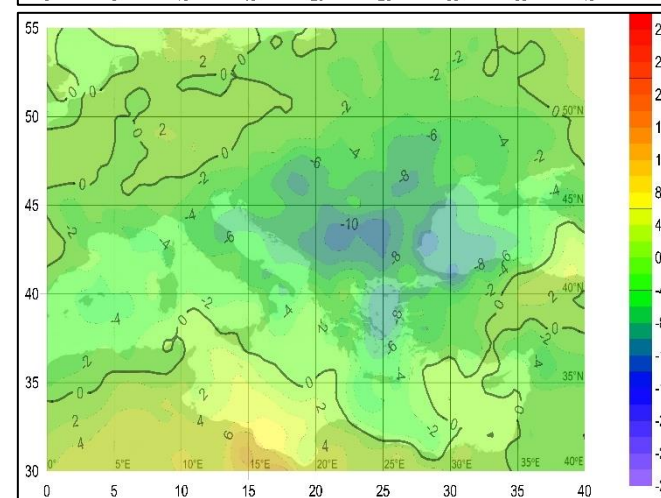
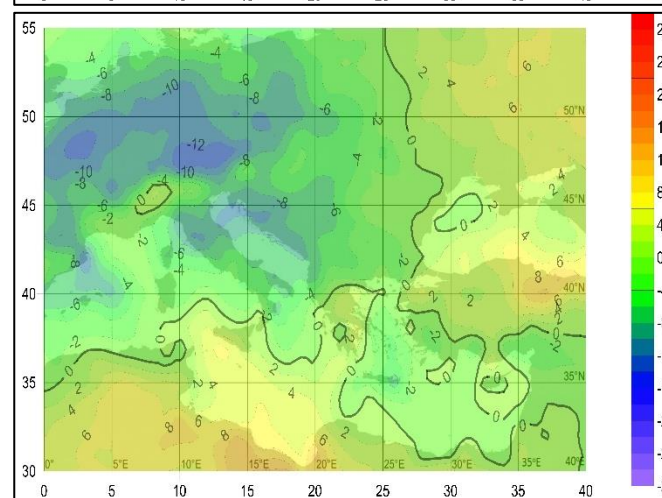
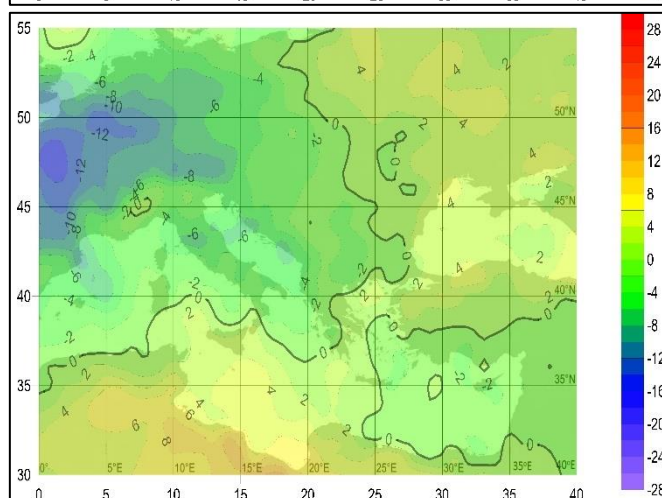
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

RH850



Αποχές RH850

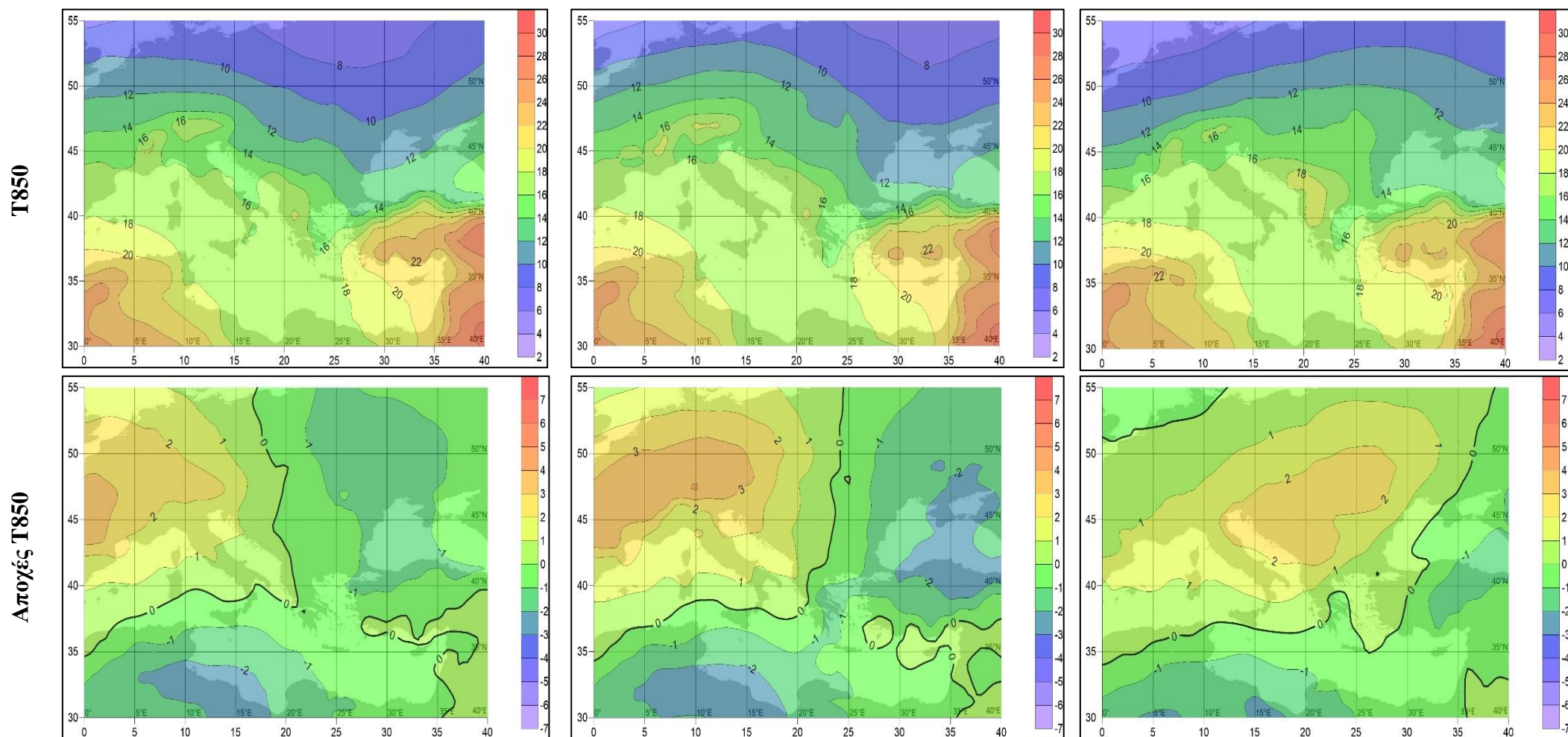


Σχήμα 3.27 Ομάδα 2: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για τη σχετική υγρασία στη στάθμη των 850hPa (%) και των αποχών της για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

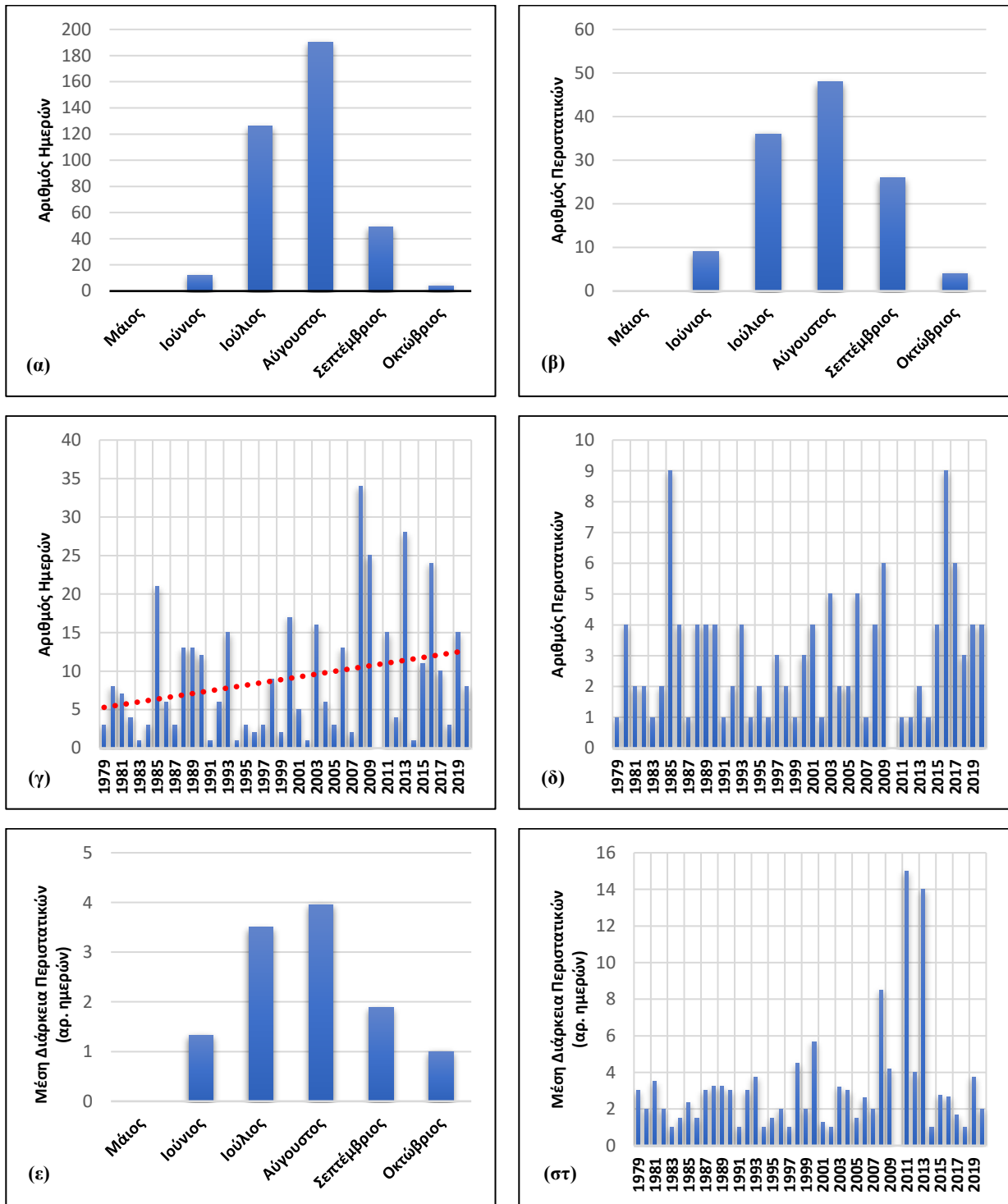
Ημέρα D-1

Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>



Σχήμα 3.28 Ομάδα 2: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για τη θερμοκρασία στη στάθμη των 850hPa (°C) και των αποχών της για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.



**Σχήμα 3.29 Ομάδα 2:** Μηνιαία κατανομή α) του αριθμού των ημερών και β) του αριθμού των περιστατικών, διαχρονική διακύμανση γ) του αριθμού ημερών και δ) του αριθμού των περιστατικών και ε) μηνιαία κατανομή και στ) διαχρονική διακύμανση της μέσης διάρκειας των περιστατικών. Εμφανίζονται οι στατικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

### Ομάδα (Cluster) 3

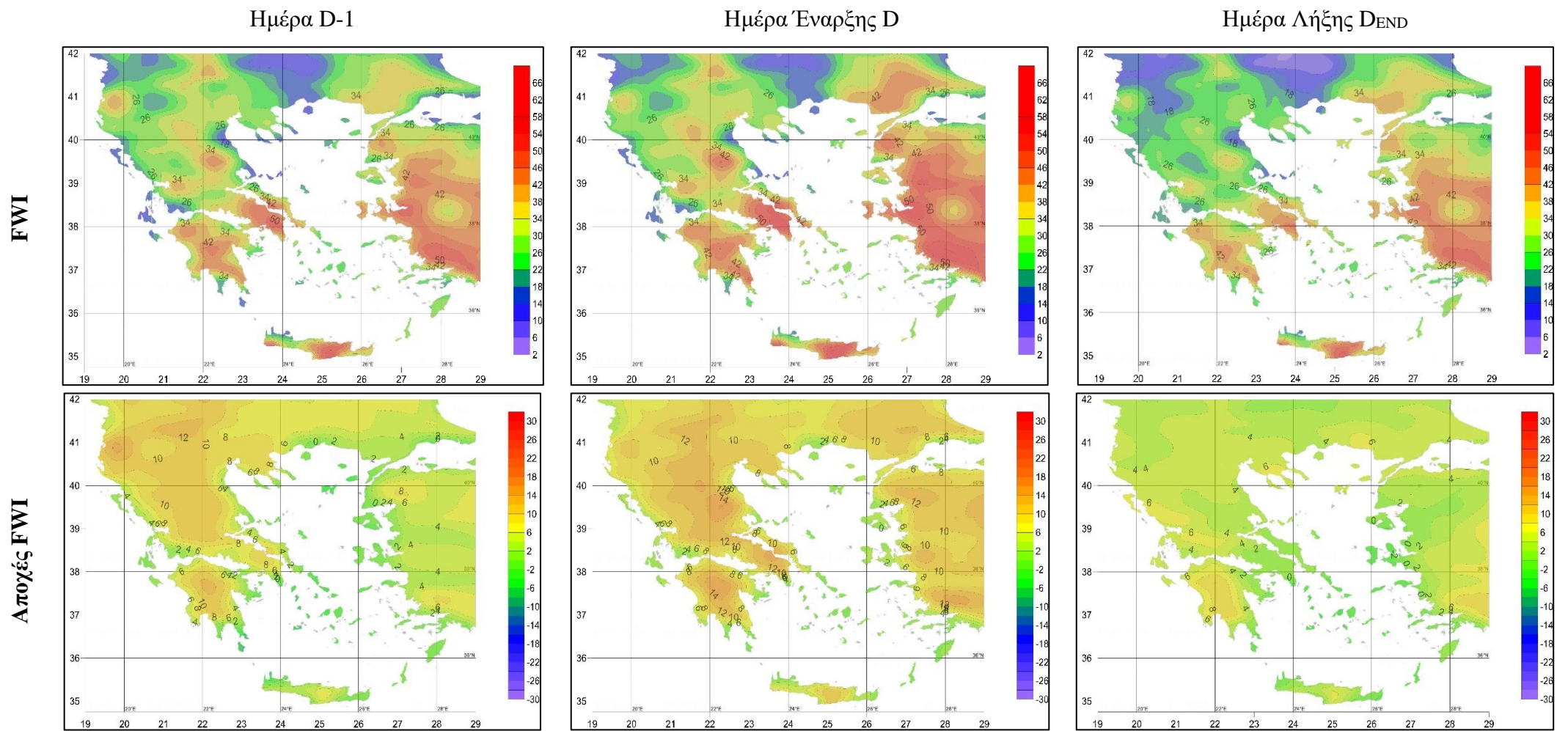
Σχετικά με την ομάδα 3, παρατηρώντας το Σχήμα 3.30, ο δείκτης FWI βλέπουμε ότι παίρνει μεγάλες τιμές σε όλη σχεδόν την έκταση του ελλαδικού χώρου και όχι μόνο στις επιρρεπείς περιοχές όπως η Αττική και η Κρήτη. Οι τιμές της επικινδυνότητας φαίνεται να αυξάνουν όσο προχωρούμε προς την ημέρα έναρξης του επεισοδίου, ενώ υποχωρούν με το πέρας αυτού. Οι αποχές ακολουθούν την ίδια κατανομή, παίρνοντας μάλιστα μεγάλες τιμές όσο προχωρούμε προς την έναρξη του επεισοδίου μαρτυρώντας την ισχυρή έντασή του.

Στη μέση τροπόσφαιρα (Σχήμα 3.31) παρατηρούνται χαμηλές πιέσεις στη βόρεια Ευρώπη ενώ η νότια κυριαρχείται από υψηλές. Και σε αυτή την ομάδα παρατηρείται στην κατώτερη τροπόσφαιρα ο συνδυασμός του αντικυκλώνα στην κεντρική και δυτική Ευρώπη με το χαμηλό της ΝΔ Ασίας, το οποίο μάλιστα είναι ενισχυμένο (Σχήμα 3.32). Το υψηλό παρατηρούμε ότι κινείται ανατολικά κατά την ημέρα του επεισοδίου. Η διάταξη των ισοβαρών φανερώνει ότι δεν επικρατούν ενισχυμένοι άνεμοι, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τις προηγούμενες ομάδες.

Παρατηρώντας το χάρτη της σχετικής υγρασίας (Σχήμα 3.33) βλέπουμε ότι είναι σα να χωρίζεται σε δύο μέρη, το βόρειο το οποίο χαρακτηρίζεται από μεγάλες τιμές υγρασίας και το νότιο με πολύ μικρές τιμές. Η περιοχή της Ελλάδας ανήκει στο δεύτερο μέρος. Επιπλέον, η θερμοκρασία βλέπουμε ότι παίρνει υψηλές τιμές όσο προχωρούμε προς την έναρξη του επεισοδίου.

Στην ομάδα αυτή απαντάται ο δεύτερος μικρότερος αριθμός ημερών και περιστατικών. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.35, η πλειοψηφία των ημερών βρίσκεται στον μήνα Ιούλιο, ενώ ο μικρότερος αριθμός ημερών για τις οποίες ο FWI παίρνει ακραία τιμή αντιστοιχεί στον Ιούνιο και στον Οκτώβριο. Παρόμοια κατανομή παρουσιάζει και ο αριθμός των περιστατικών. Σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall, το οποίο εφαρμόστηκε στα δεδομένα, προκύπτει ότι η διαχρονική πορεία του αριθμού των περιστατικών παρουσιάζει μια στατιστικά σημαντική, ανοδική τάση. Η μέση μηνιαία διάρκεια των περιστατικών κυμαίνεται από 1 έως 2.5 περίπου ημέρες με τη δεύτερη να είναι επικρατέστερη στους 3 από τους 6 μήνες.

Στην ομάδα αυτή βλέπουμε ότι κυριαρχεί η υψηλή θερμοκρασία και η χαμηλή σχετική υγρασία σε αντίθεση με τις προηγούμενες δύο ομάδες που κυριαρχούσαν οι έντονοι άνεμοι. Οι δύο αυτές παράμετροι είναι βασικοί παράγοντες για τη ξήρανση της καύσιμης ύλης, καθιστώντας τον κίνδυνο έναρξης μιας πυρκαγιάς σημαντικό.



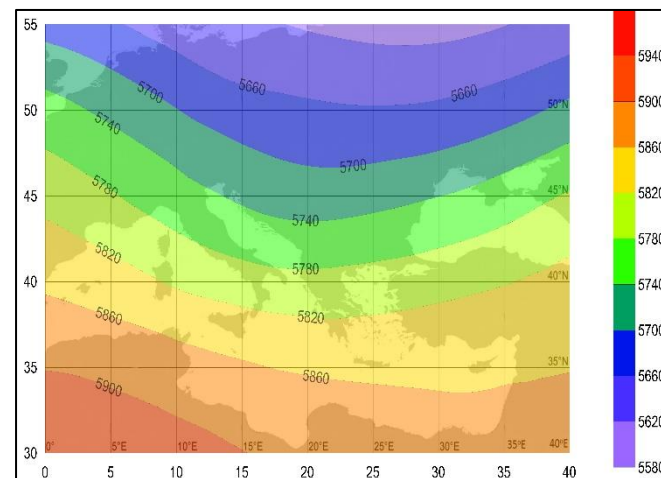
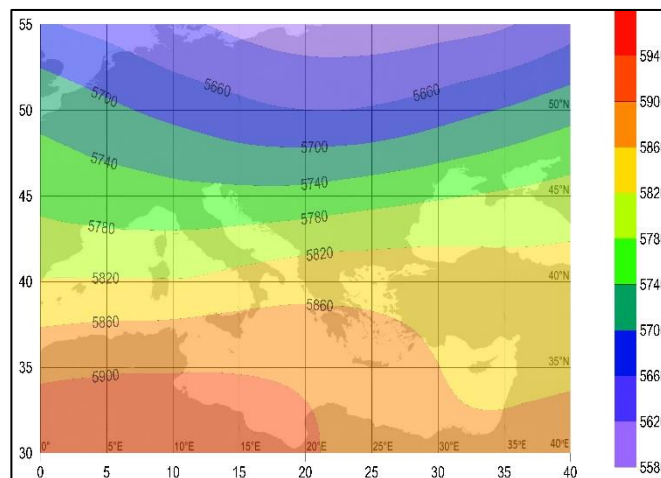
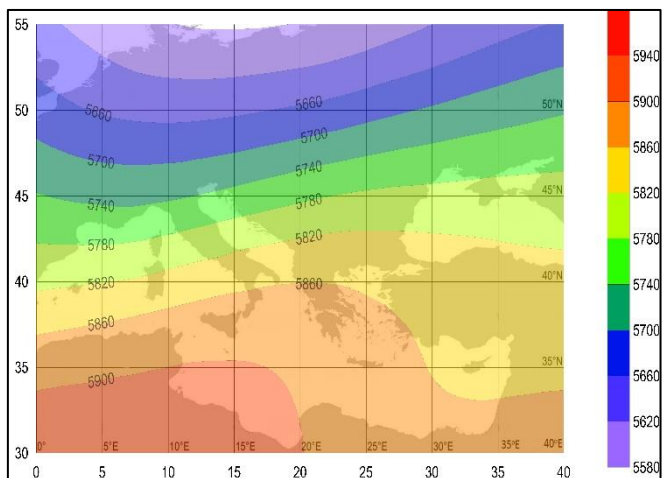
Σχήμα 3.30 Ομάδα 3: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του δείκτη FWI και των αποχών του για τις ημέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

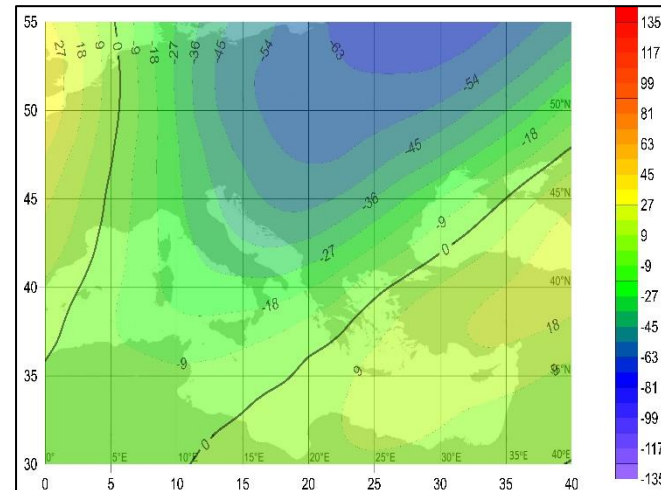
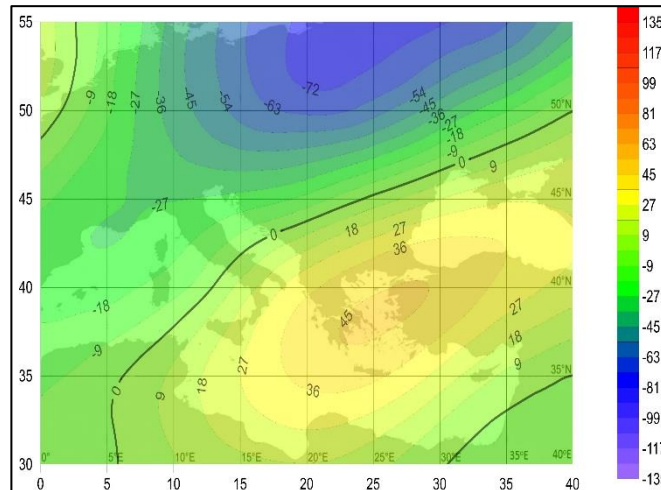
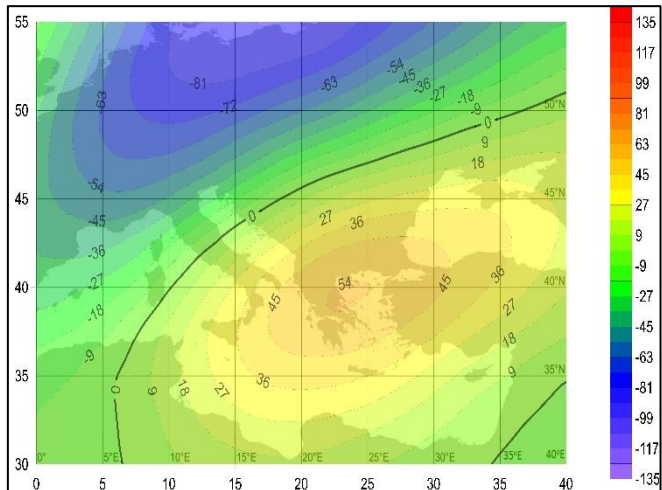
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

GH500



Αποχές GH500



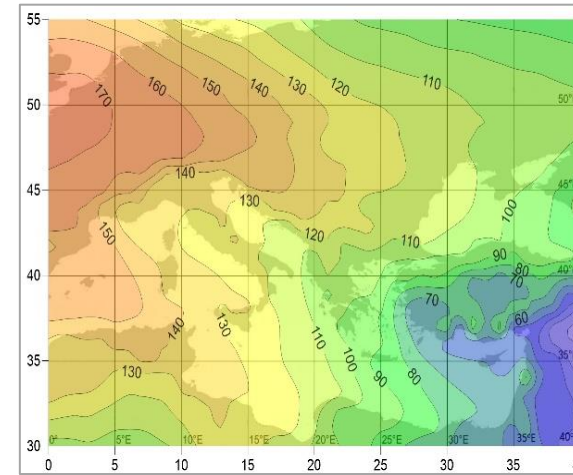
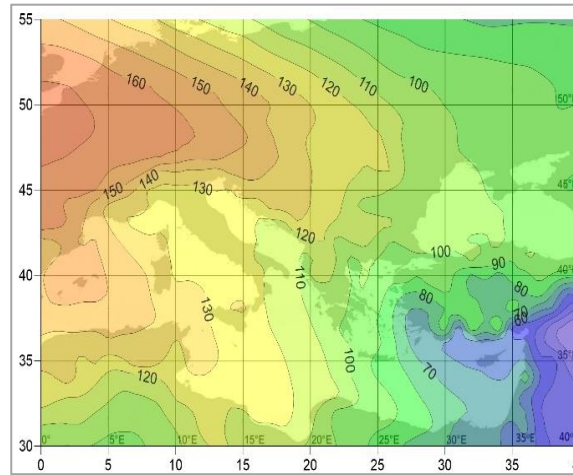
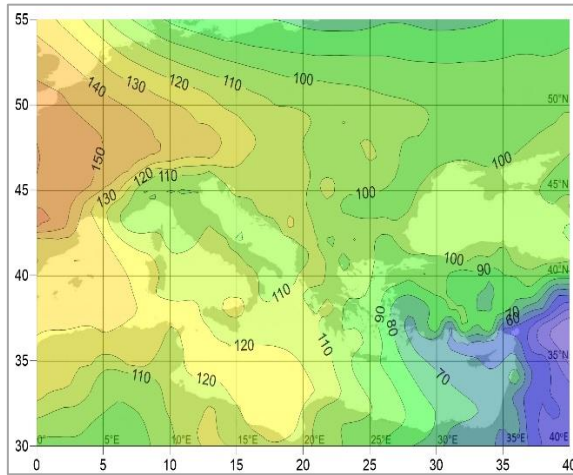
Σχήμα 3.31 Ομάδα 3: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa (gpm) και των αποχών του για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

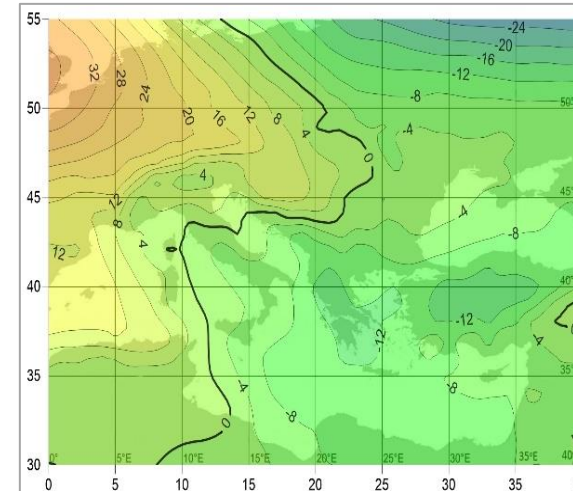
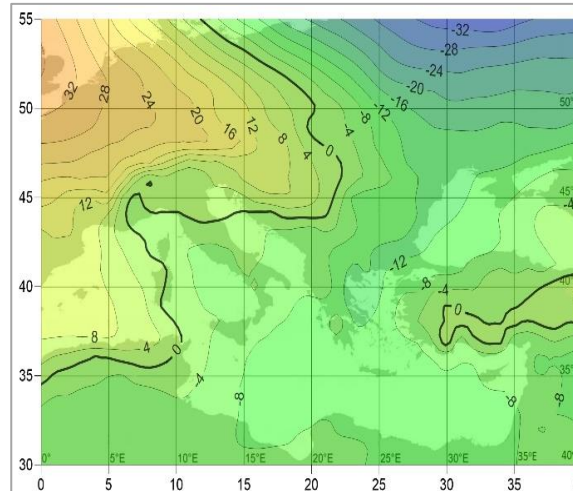
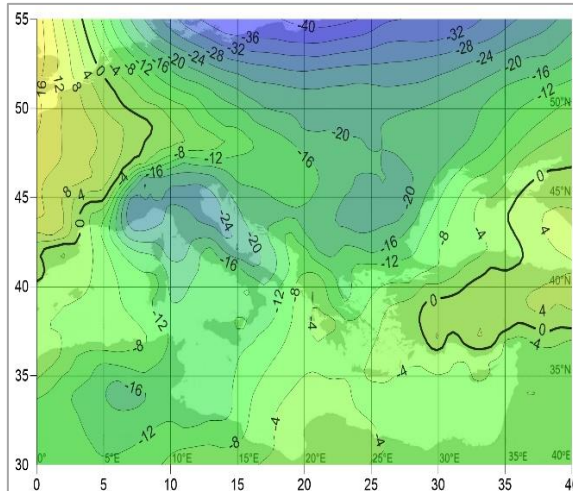
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

GH1000



Αποχές GH1000



Σχήμα 3.32 Ομάδα 3: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 1000hPa (gpm) και των αποχών του για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

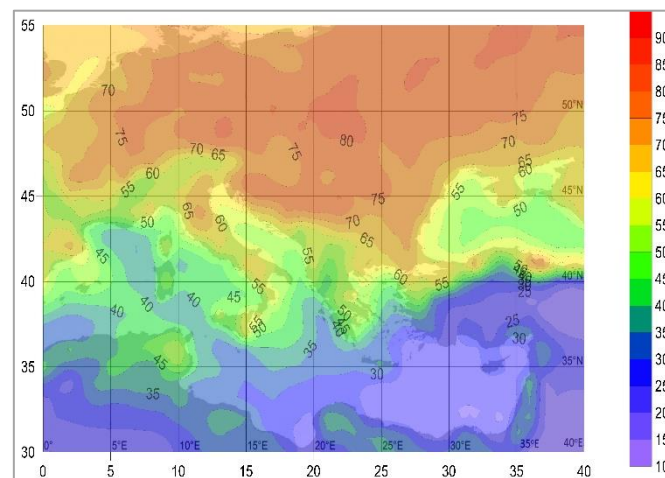
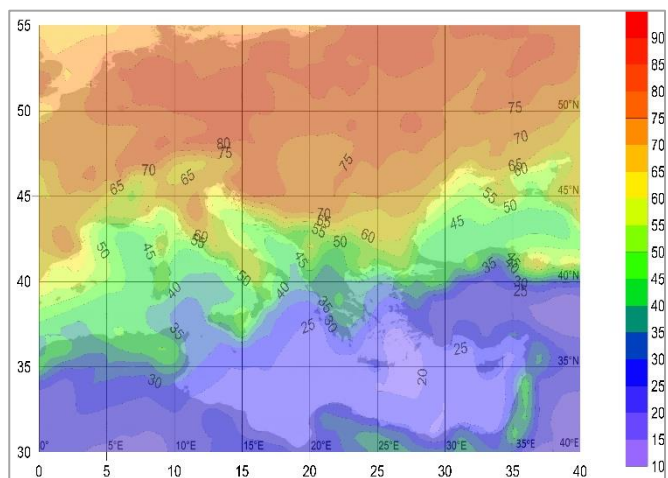
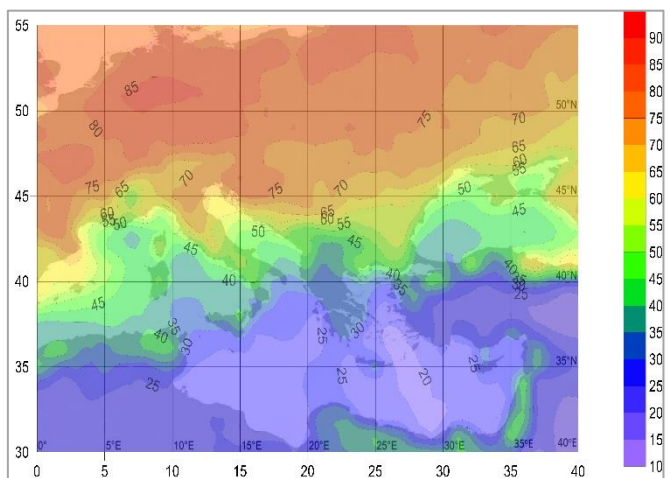


Ημέρα D-1

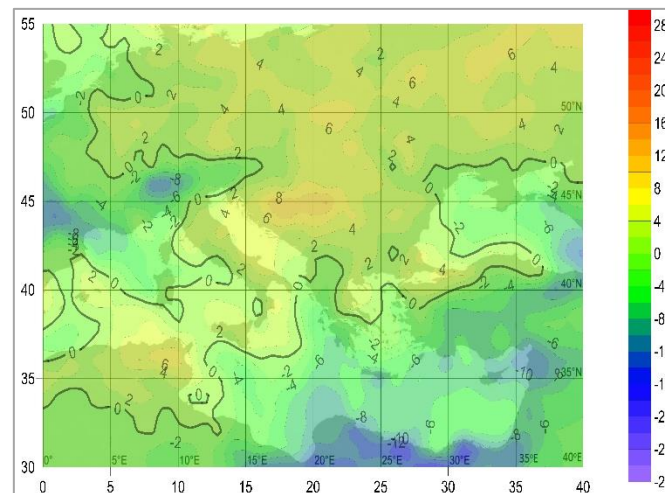
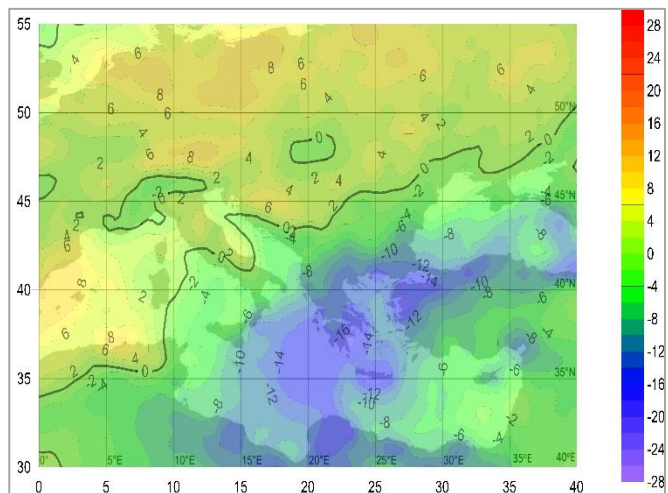
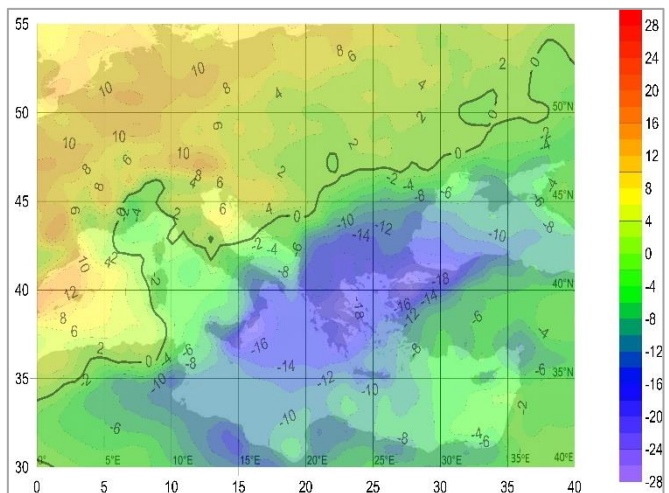
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

RH850



Αποχές RH850

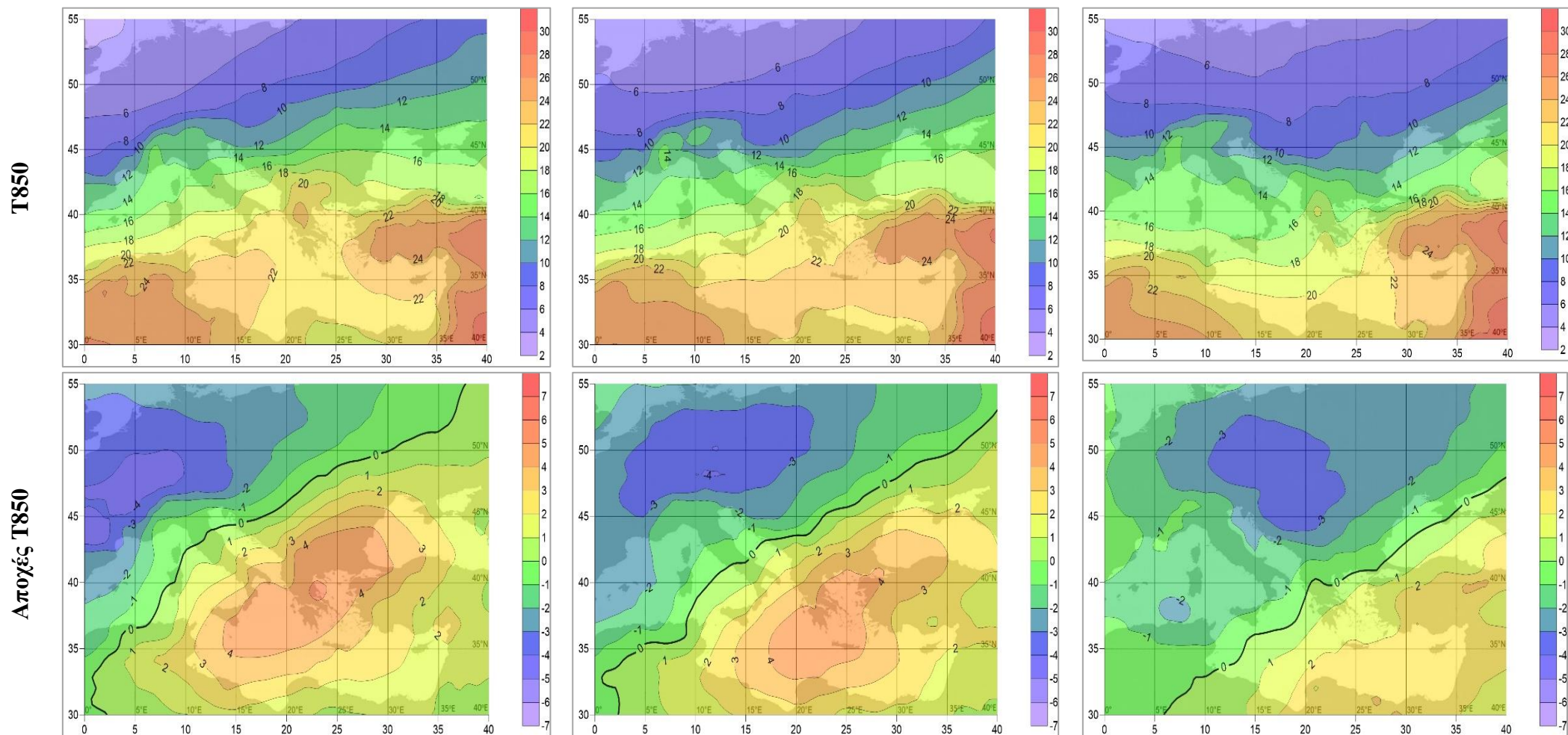


Σχίμα 3.33 Ομάδα 3: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για τη σχετική υγρασία στη στάθμη των 850hPa (%) και των αποχών τις για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

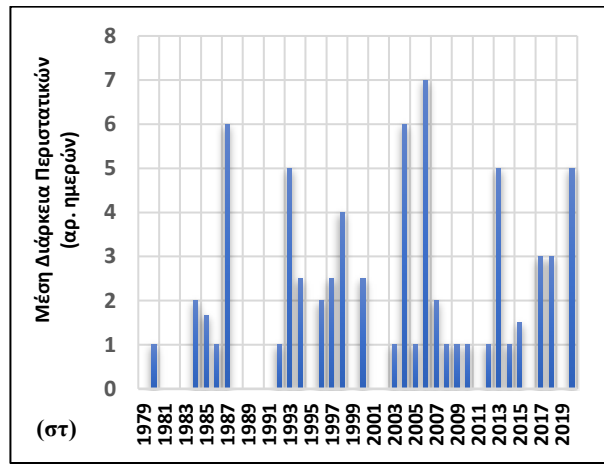
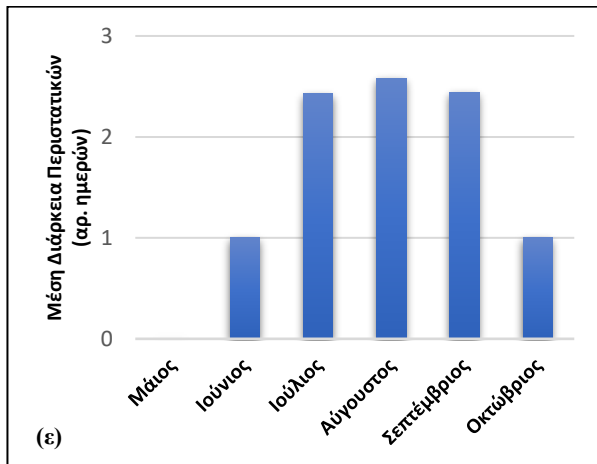
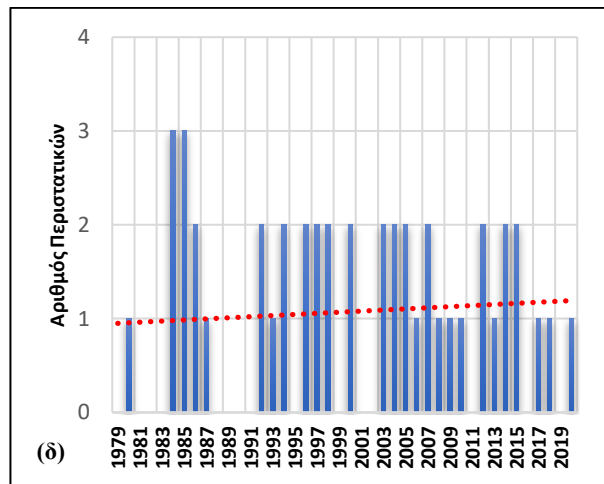
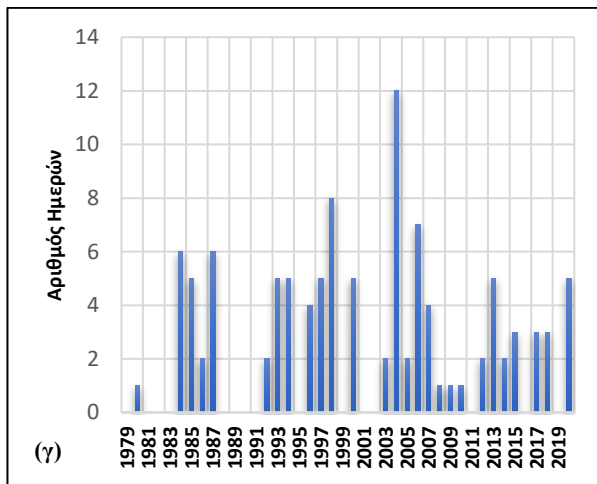
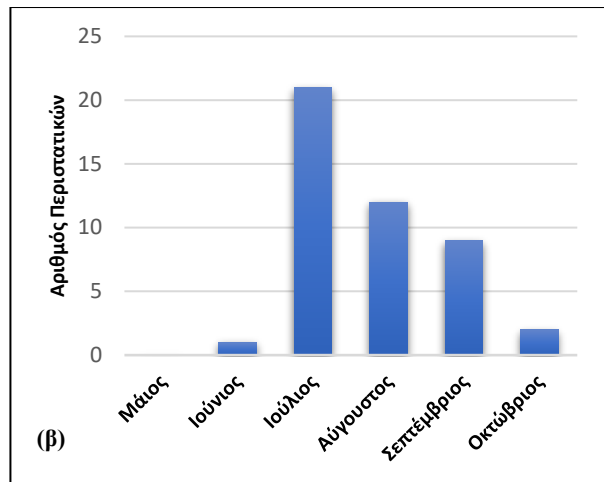
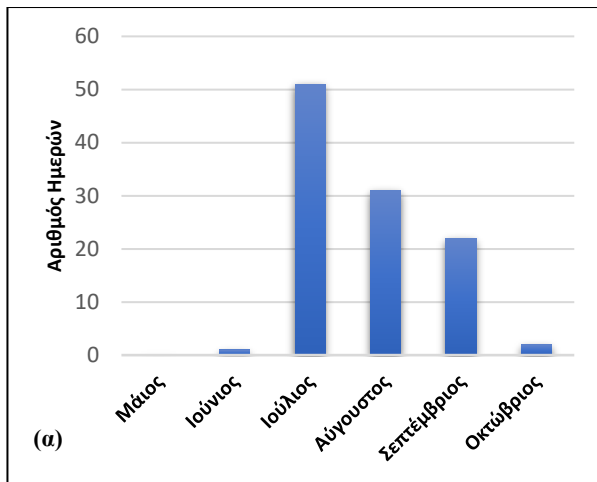
Ημέρα D-1

Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>



Σχήμα 3.34 Ομάδα 3: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για τη θερμοκρασία στη στάθμη των 850hPa (°C) και των αποχών τις για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.



**Σχήμα 3.35 Ομάδα 3:** Μηνιαία κατανομή α) του αριθμού των ημερών και β) του αριθμού των περιστατικών, διαχρονική διακύμανση γ) του αριθμού ημερών και δ) του αριθμού των περιστατικών και ε) μηνιαία κατανομή και στ) διαχρονική διακύμανση της μέσης διάρκειας των περιστατικών. Εμφανίζονται οι στατικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

## Ομάδα (Cluster) 4

Σχετικά με την ομάδα 4, στη μέση τροπόσφαιρα (Σχήμα 3.37) επικρατούν χαμηλές πιέσεις στη βόρεια Ευρώπη. Μια σκάφη χαμηλών πιέσεων με άξονα ο οποίος εκτείνεται από τη Β. Ευρώπη έως τη Τυνησία, κινείται ανατολικά με το νότιο τμήμα της να επηρεάζει τον Ελλαδικό χώρο την ημέρα του επεισοδίου. Στη κατώτερη τροπόσφαιρα (Σχήμα 3.38) παρατηρείται ένα χαμηλό στη δυτική Μικρά Ασία το οποίο κινείται δυτικά, ευρισκόμενο πάνω από τη περιοχή του Αιγαίου την ημέρα έναρξης του επεισοδίου. Οι άνεμοι την ημέρα του επεισοδίου στρέφονται σε δυτικούς-βορειοδυτικούς μέτριας έντασης. Οι άνεμοι αυτοί, εμπλουτισμένοι με υγρασία από τη περιοχή της θάλασσας του Ιονίου, αυξάνουν τη σχετική υγρασία στη δυτική Ελλάδα, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.39. Αντίθετα, λόγω των καταβατικών ανέμων, η ανατολική Ελλάδα παρουσιάζει μικρές τιμές σχετικής υγρασίας. Οι αποχές φανερώνουν ένα σχετικά υγρό καιρό στην δυτική Ελλάδα ενώ στην ανατολική ξηρό.

Σύμφωνα με τη παραπάνω διάταξη, και αξιοποιώντας τους χάρτες κατανομής των τιμών του FWI (Σχήμα 3.36), παρατηρούμε το εξής: την ημέρα πριν την έναρξη του επεισοδίου παρατηρούνται υψηλές τιμές του δείκτη σε όλη σχεδόν την ελληνική επικράτεια. Καθώς βαδίζουμε προς την κρίσιμη ημέρα D, οι τιμές του δείκτη στη δυτική Ελλάδα μειώνονται δραστικά λόγω της αύξησης της σχετικής υγρασίας και τη σχετική μείωση της θερμοκρασίας. Η ανατολική Ελλάδα, από την άλλη, παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές λόγω της ξηρότητας του περιβάλλοντος από τους ανέμους. Έτσι, η προειδοποίηση επικινδυνότητας που απορρέει από το δείκτη FWI χωρίζει την Ελλάδα σε δύο μέρη, την δυτική όπου ο κίνδυνος εκδήλωσης πυρκαγιάς είναι αμελητέος και την ανατολική Ελλάδα όπου ο κίνδυνος είναι αυξημένος.

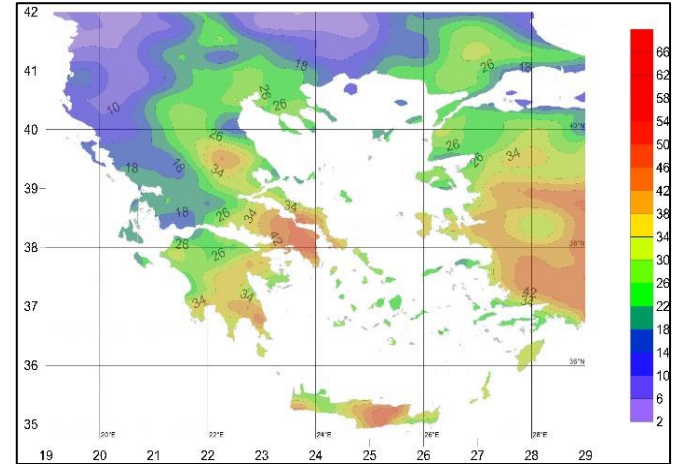
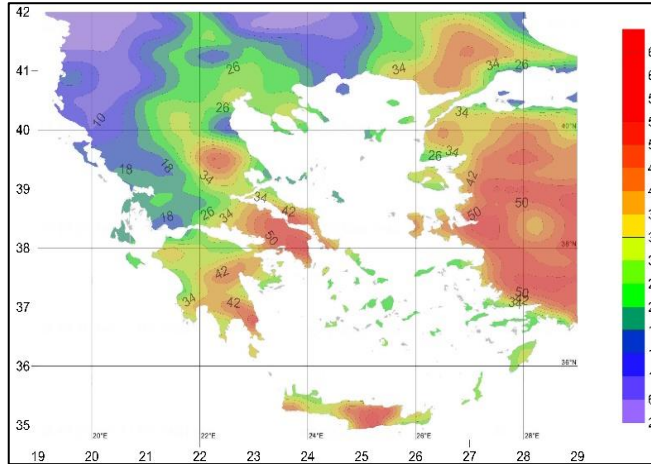
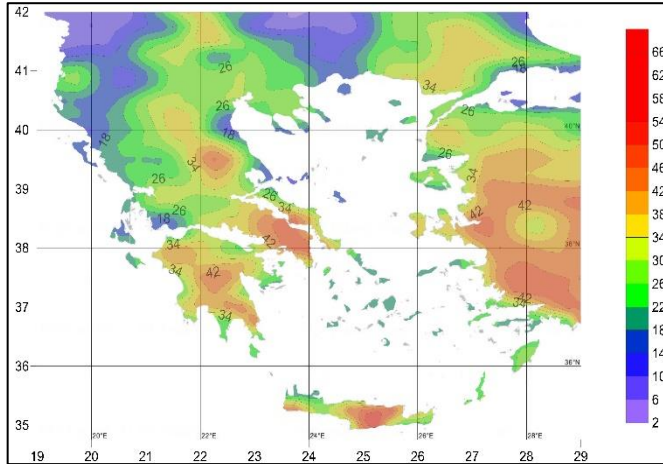
Όσον αφορά τα στατιστικά στοιχεία της ομάδας αυτής (Σχήμα 3.41) παρατηρούμε, εξ αρχής, ότι περιλαμβάνει τον μικρότερο αριθμό ημερών και περιστατικών. Βλέπουμε ότι οι μέρες κατανέμονται και στους 6 μήνες μελέτης, ενώ ο Ιούλιος περιέχει, με διαφορά, τον μεγαλύτερο αριθμό ημερών για τις οποίες ο δείκτης FWI παίρνει ακραία τιμή. Παρόμοια κατανομή βλέπουμε και στον αριθμό των επεισοδίων με τον Ιούλιο και πάλι να έχει, με μικρότερη όμως διαφορά από τις ημέρες, τον μεγαλύτερο αριθμό περιστατικών. Η μέση μηνιαία διάρκεια των περιστατικών ποικίλει, με μέγιστη τιμή τις 3.5 περίπου μέρες ανά περιστατικό. Η πλειοψηφία των ετών δεν περιέχουν παραπάνω από 5 ημέρες, με μόνη διαφορά το έτος 2007, το οποίο εμφανίζει 32 ημέρες. Τέλος, η διαχρονική διακύμανση της διάρκειας των περιστατικών δείχνει ότι αυτή δεν υπερβαίνει τις 2 ημέρες, με εξαίρεση τα έτη 1992 και 2007 όπου και παρατηρείται η μέγιστη διάρκεια.

Ημέρα D-1

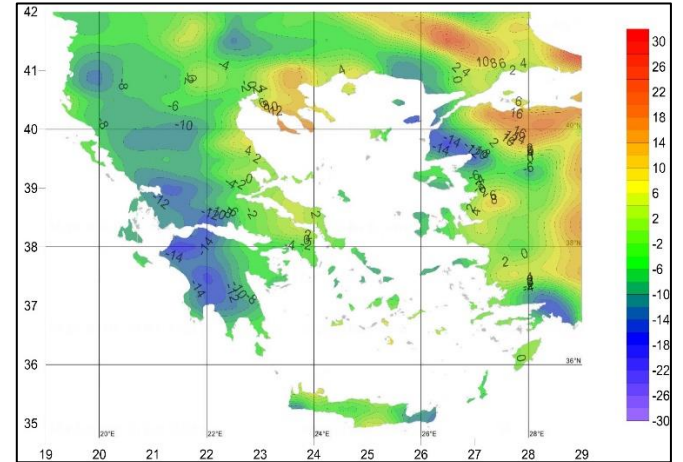
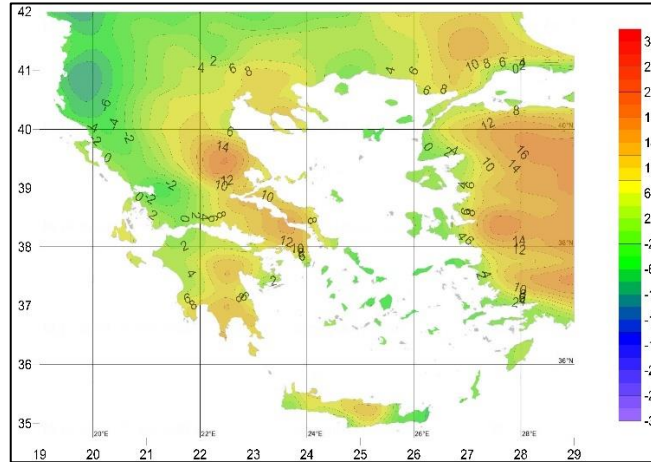
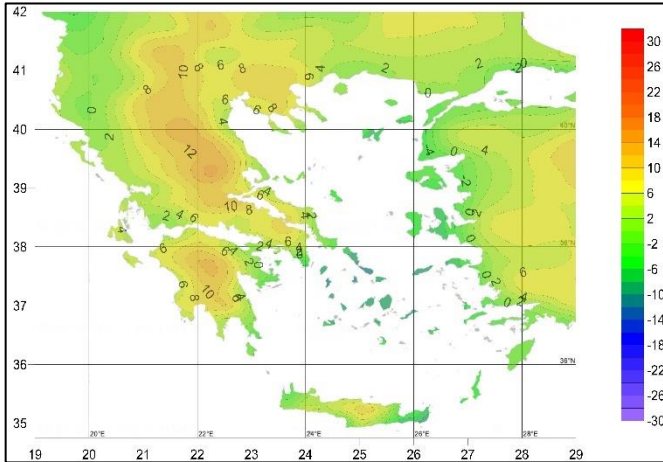
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

FWI



Αποχές FWI



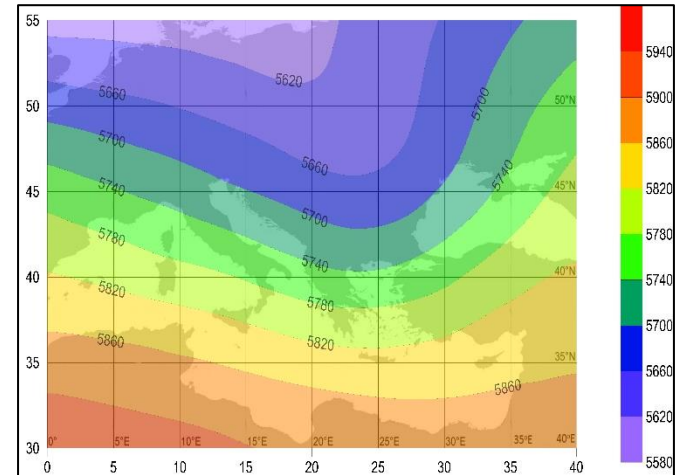
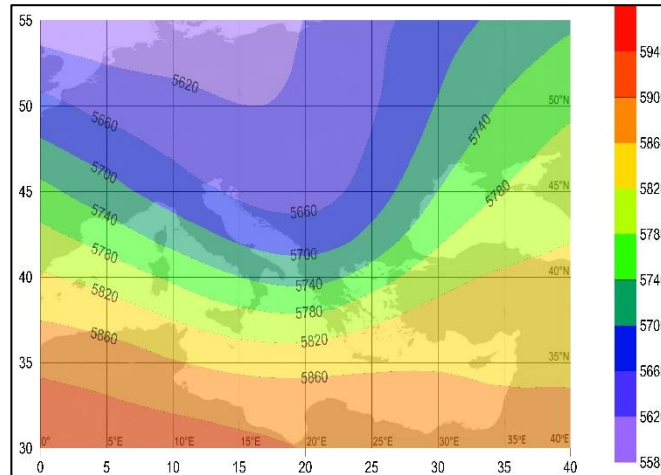
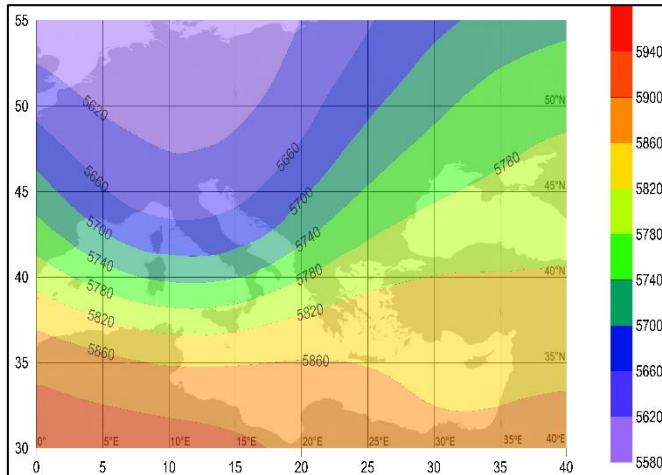
Σχήμα 3.36 Ομάδα 4: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του δείκτη FWI και των αποχών του για τις ημέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

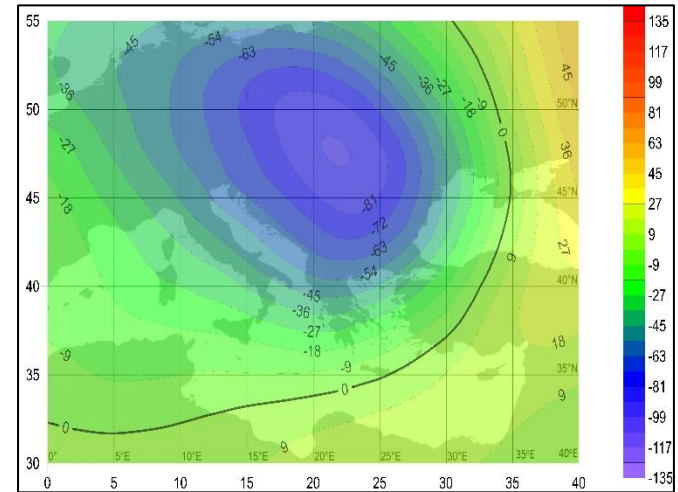
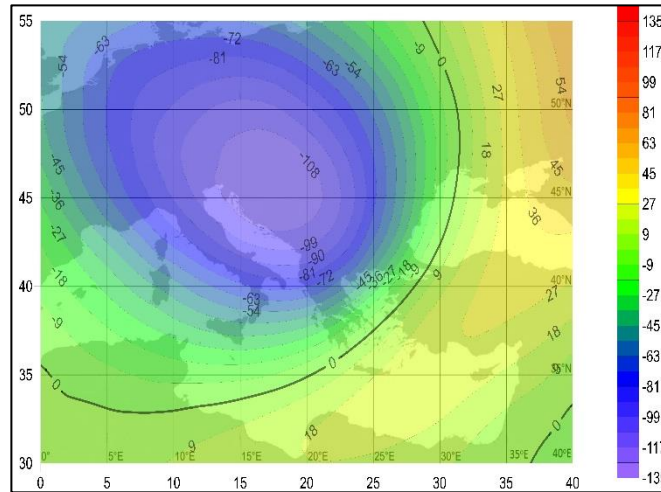
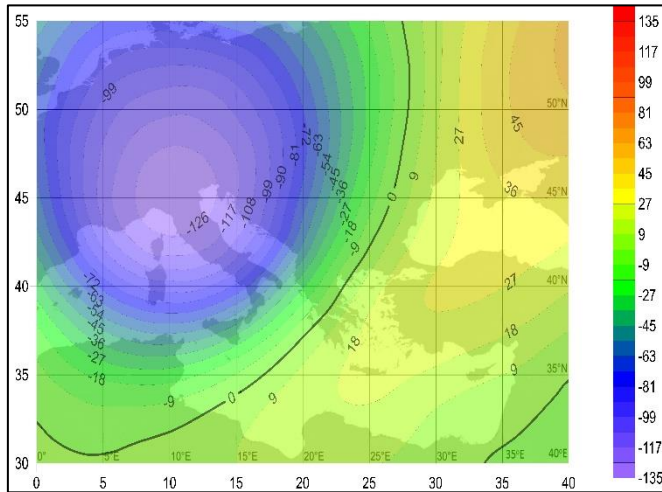
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

GH500



Αποχές GH500



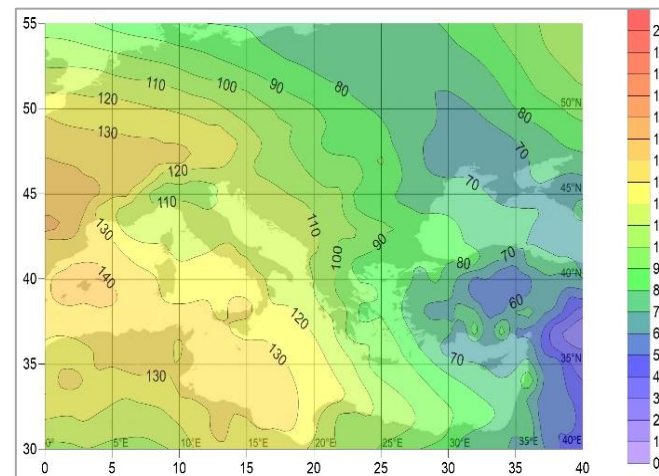
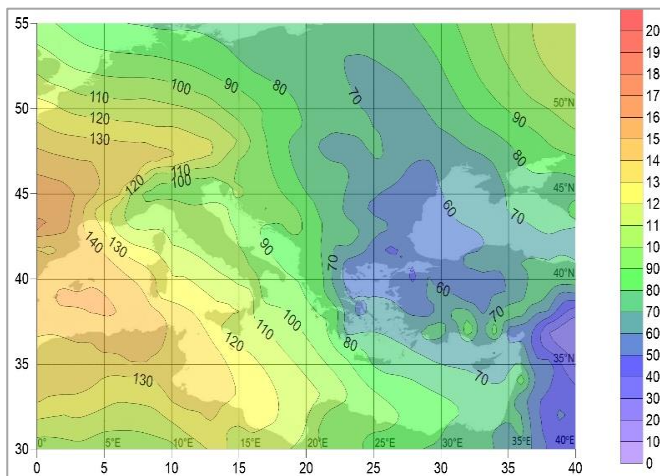
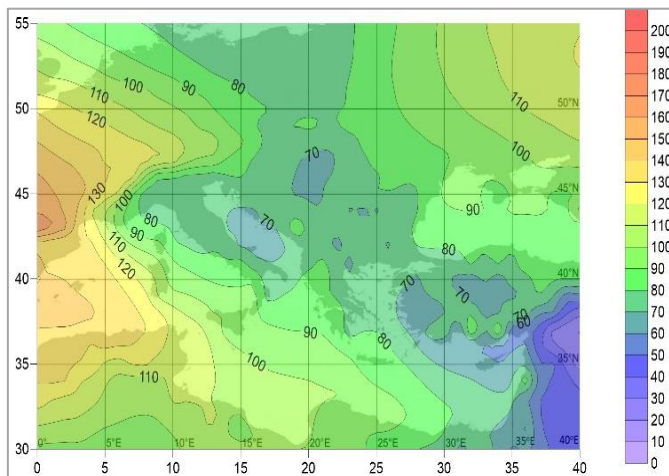
Σχήμα 3.37 Ομάδα 4: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa (gpm) και των αποχών του για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

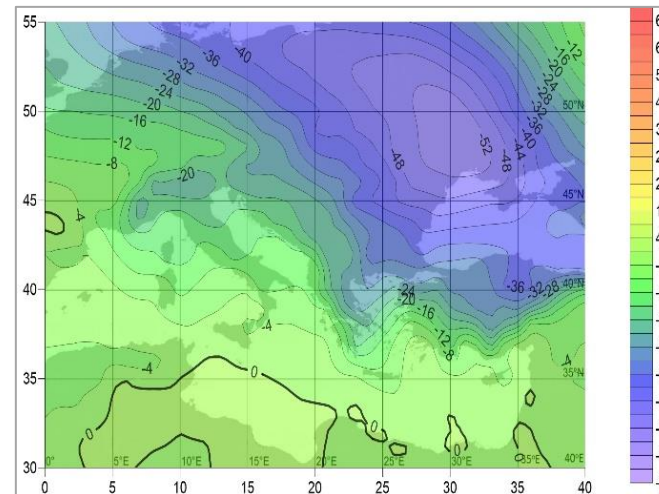
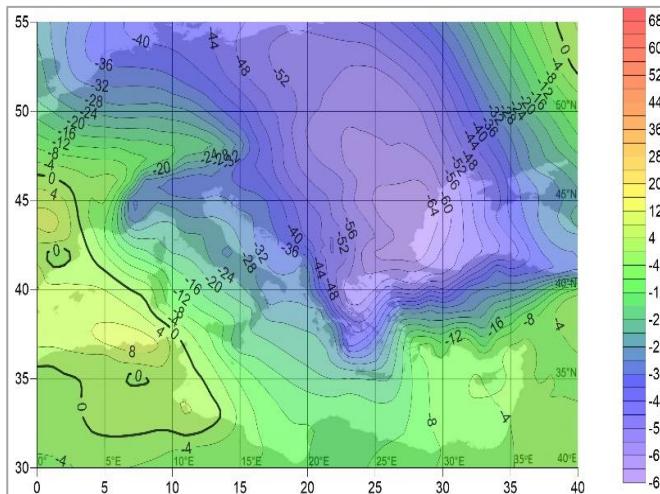
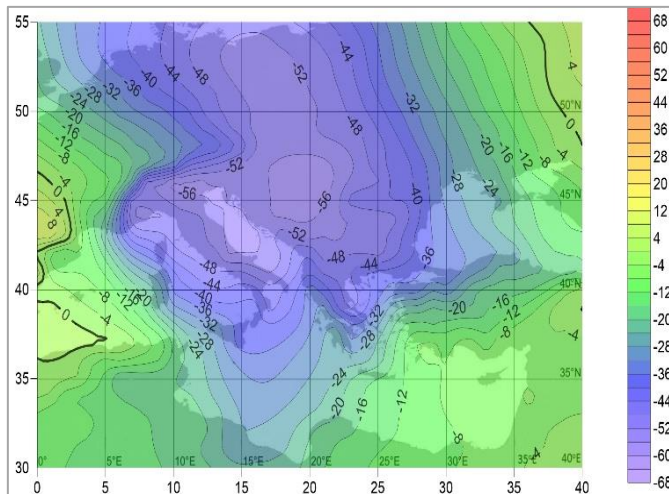
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης DEND

GH1000



Αποχές GH1000



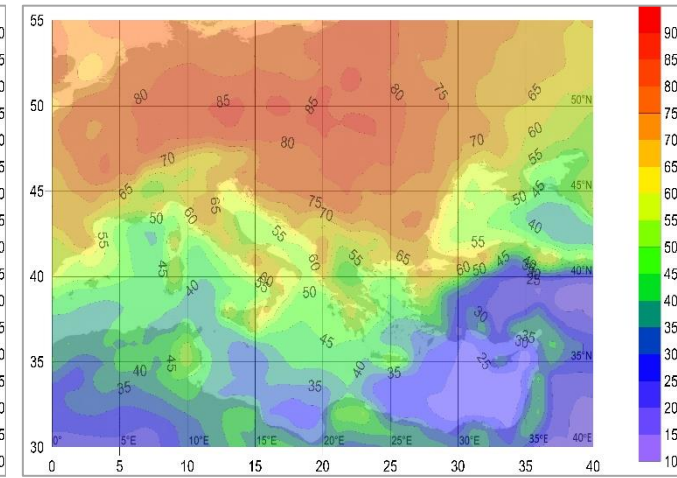
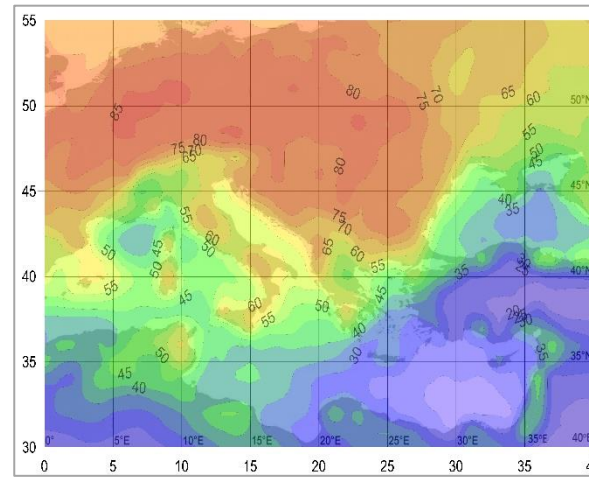
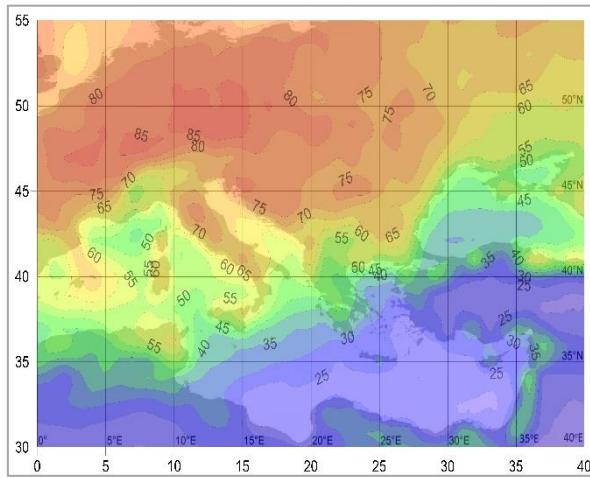
Σχίμα 3.38 Ομάδα 4: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 1000hPa (gpm) και των αποχών του για τις μέρες D-1, D, DEND.

Ημέρα D-1

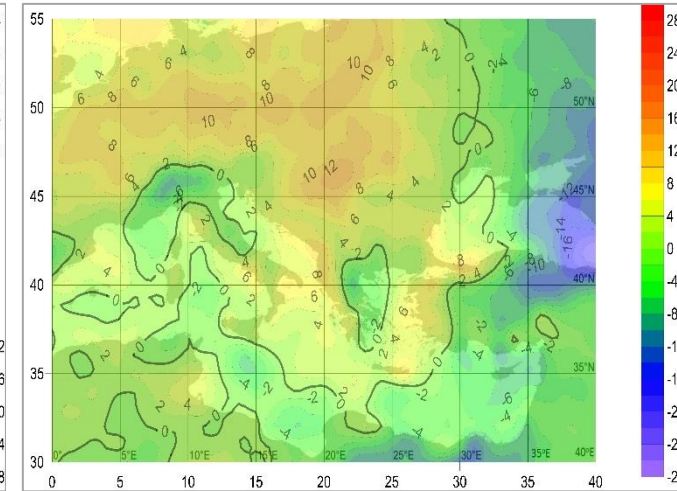
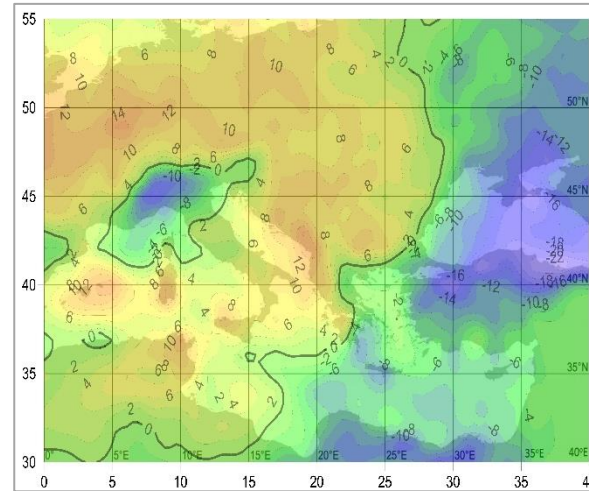
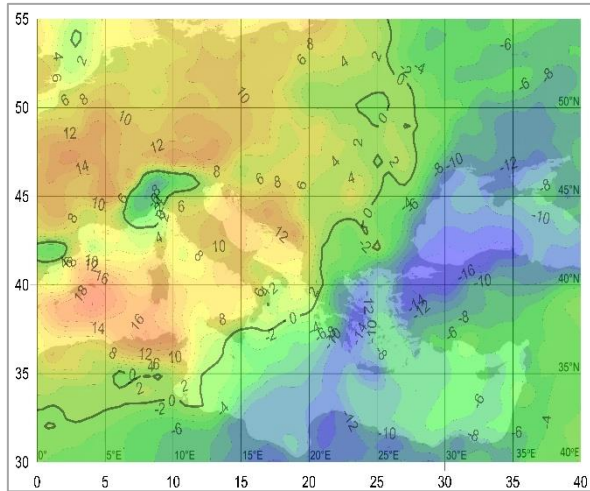
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

RH850



Αποχές RH850



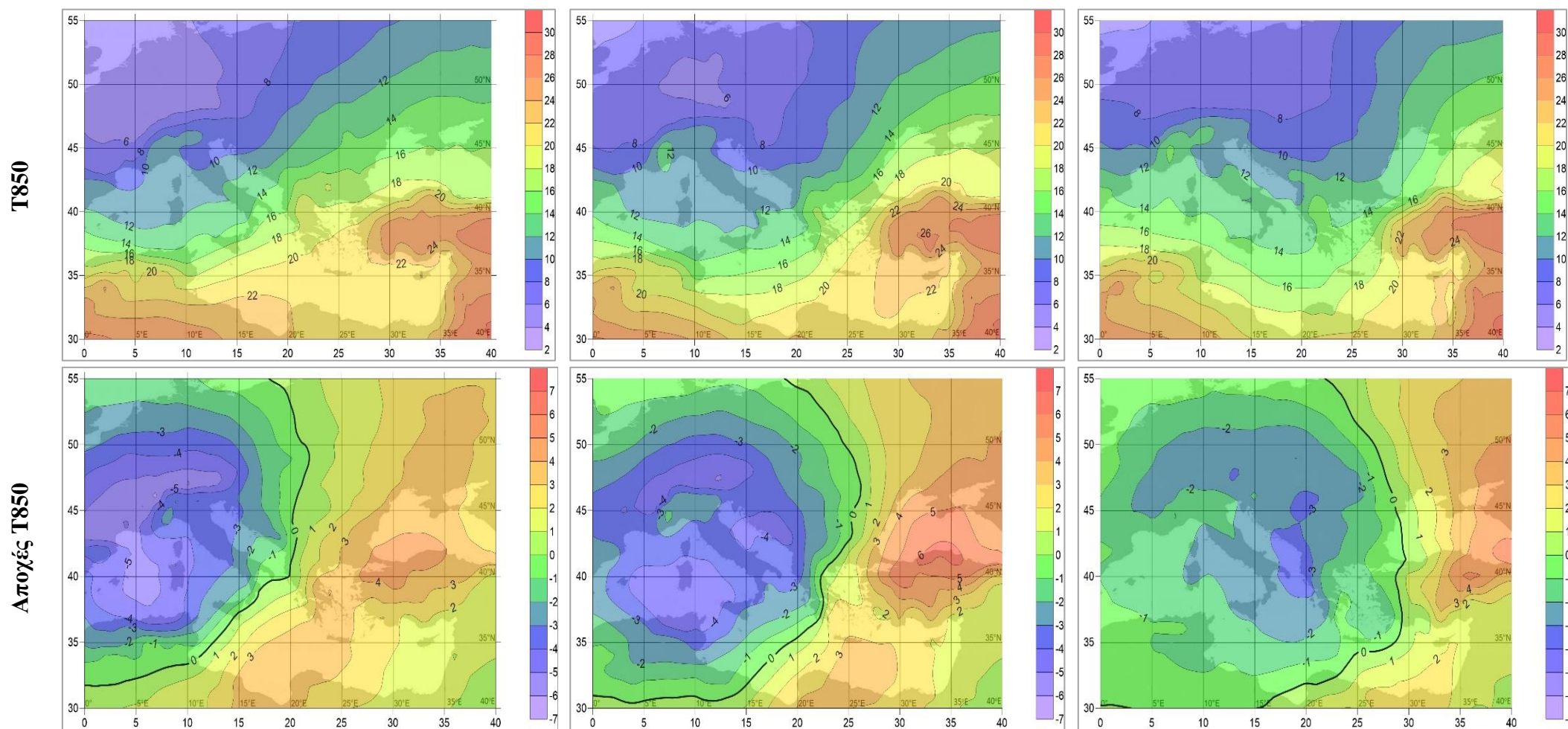
Σχήμα 3.39 Ομάδα 4: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για τη σχετική υγρασία στη στάθμη των 850hPa (%) και των αποχών της για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.



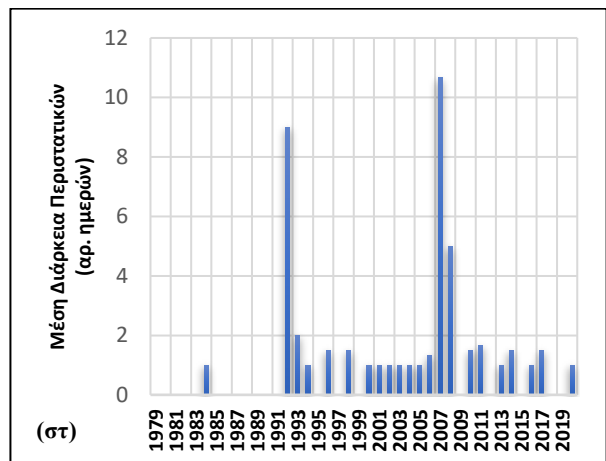
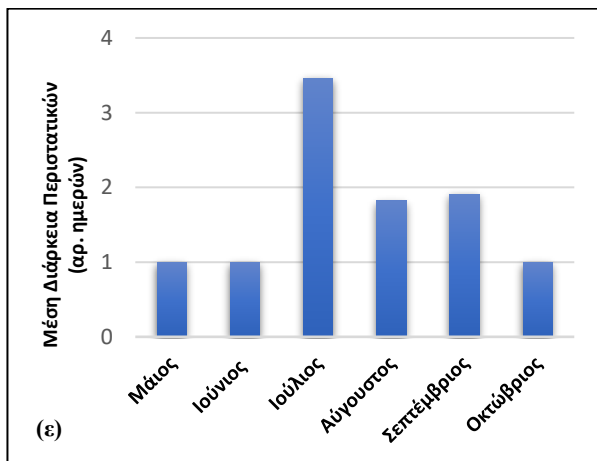
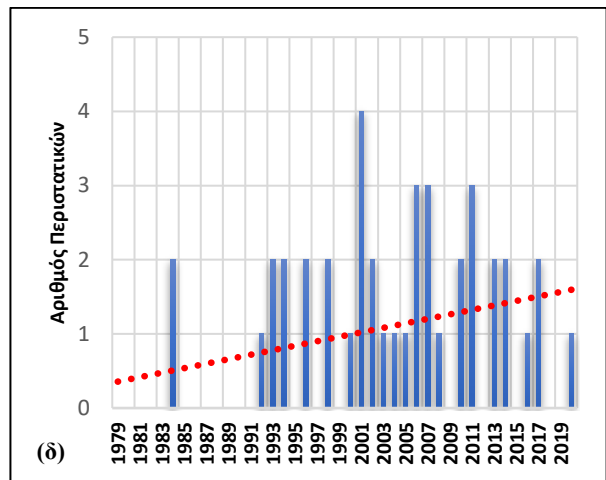
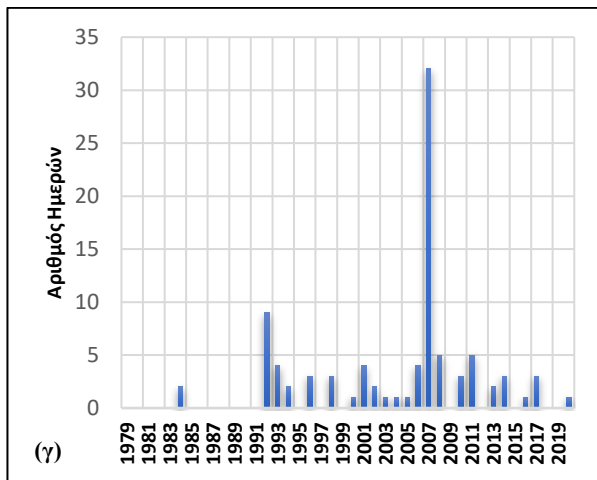
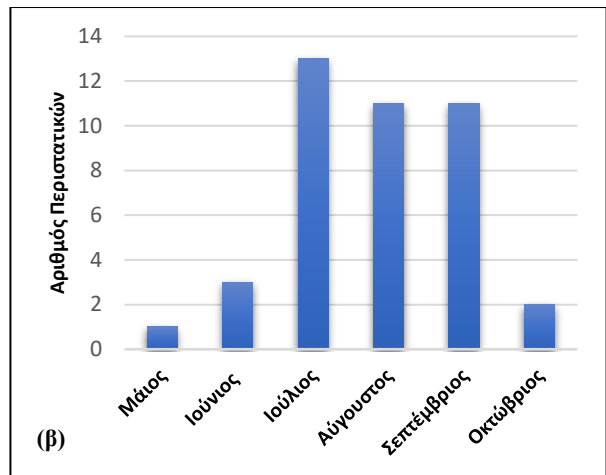
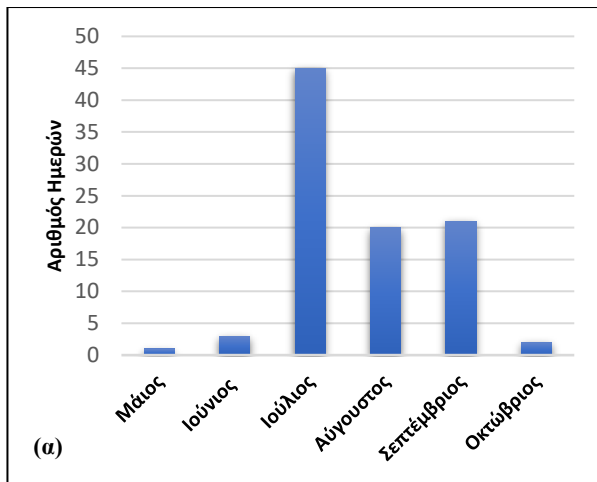
Ημέρα D-1

Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>



Σχήμα 3.40 Ομάδα 4: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για τη θερμοκρασία στη στάθμη των 850hPa (°C) και των αποχών της για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.



**Σχήμα 3.41 Ομάδα 4:** Μηνιαία κατανομή α) του αριθμού των ημερών και β) του αριθμού των περιστατικών, διαχρονική διακύμανση γ) του αριθμού ημερών και δ) του αριθμού των περιστατικών και ε) μηνιαία κατανομή και στ) διαχρονική διακύμανση της μέσης διάρκειας των περιστατικών. Εμφανίζονται οι στατικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

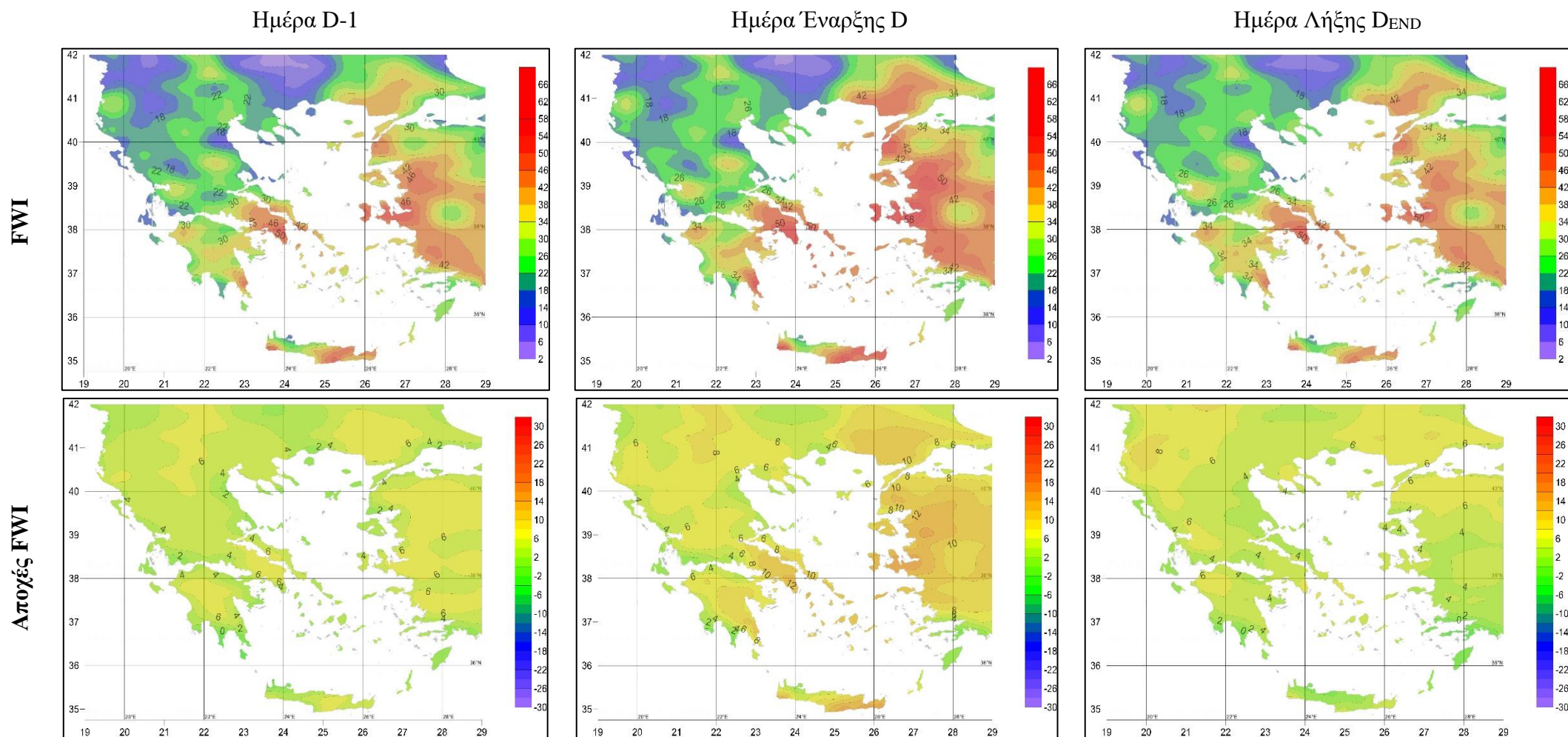
## Ομάδα (Cluster) 5

Σχετικά με την ομάδα 5, στο Σχήμα 3.42 βλέπουμε ότι ο δείκτης παίρνει και πάλι μεγάλες τιμές στα παράλια που βρέχονται από τη θάλασσα του Αιγαίου, με εξαίρεση αυτά της νότιας Μακεδονίας. Η ομάδα αυτή διαφοροποιείται από τις άλλες στο εξής: οι τιμές του δείκτη για την επικινδυνότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς διαφοροποιούνται ελάχιστα καθώς πηγαίνουμε από τη D-1 προς τη μέρα έναρξης του επεισοδίου D. Η λήξη του επεισοδίου δεν διαφέρει ούτε αυτή στο μεγαλύτερο μέρος του ελλαδικού χώρου, με τη μόνη διαφορά να παρατηρείται στις ευάλωτες περιοχές όπως Αττική και τα δυτικά παράλια της Μικράς Ασίας.

Στη μέση τροπόσφαιρα (Σχήμα 3.43) επικρατούν, ως επί το πλείστον, μεγάλες τιμές πίεσης πάνω από την Ευρώπη με τις χαμηλές πιέσεις να περιορίζονται αρκετά βόρεια. Μια ράχη υψηλών πιέσεων, με άξονα ο οποίος ξεκινά από τη περιοχή της Τυνησίας και καταλήγει στη βόρεια Ευρώπη, κινείται βορειοανατολικά, επηρεάζοντας τη περιοχή της Ελλάδας την ημέρα έναρξης του επεισοδίου. Στη κατώτερη τροπόσφαιρα (Σχήμα 3.44) το χαμηλό της ΝΔ Ασίας εμφανίζεται αρκετά ενισχυμένο το οποίο επεκτείνεται έως τη νοτιοανατολική Ελλάδα. Ο συνδυασμός του χαμηλού με τον αντικυκλώνα πάνω από τη περιοχή της Ευρώπης δημιουργούν ένα βόρειο ρεύμα αέρα στη περιοχή του Αιγαίου με ένταση η οποία αυξάνεται όσο προχωρούμε προς την ημέρα έναρξης του επεισοδίου. Η δυτική Ελλάδα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.44, βρίσκεται υπό την επήρεια υψηλών πιέσεων.

Η σχετική υγρασία (Σχήμα 3.45) παίρνει μικρές τιμές ιδιαίτερα στη δυτική Ελλάδα. Οι αποχές είναι αρνητικές, κάτι που σημαίνει ξηρότερες συνθήκες από το μέσο όρο όλων των ετών. Όσον αφορά τη θερμοκρασία (Σχήμα 3.46), βλέπουμε ότι ένα κύμα ζέστης κατακλύζει τον ηπειρωτικό κορμό της Ελλάδας με το Αιγαίο να παρουσιάζει μικρότερες τιμές εμφανώς επηρεασμένες από τις ψυχρότερες αέριες μάζες από τα βόρεια.

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.47, βλέπουμε ότι η πλειοψηφία των ημερών βρίσκεται κατανεμημένη στους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, ενώ η μηνιαία κατανομή των περιστατικών παρουσιάζει μια πιο ομαλή κατανομή ανά τους μήνες, με εξαίρεση τον Μάιο. Η διαχρονική διακύμανση των ημερών παρουσιάζει μια στατιστικά σημαντική, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ανοδική τάση. Το έτος 2007 ξεχωρίζει καταλαμβάνοντας το μεγαλύτερο ποσοστό ημερών. Τέλος, από τη διαχρονική διακύμανση της διάρκειας των περιστατικών βλέπουμε ότι περίπου από το 2000 και έπειτα αυτή παρουσίασε σημαντική αύξηση, ενισχύοντας το επιχείρημα αύξησης της σοβαρότητας και επικινδυνότητας των επεισοδίων.



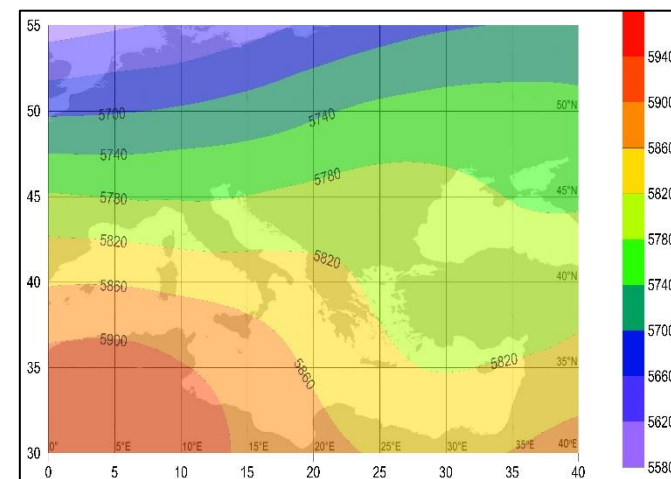
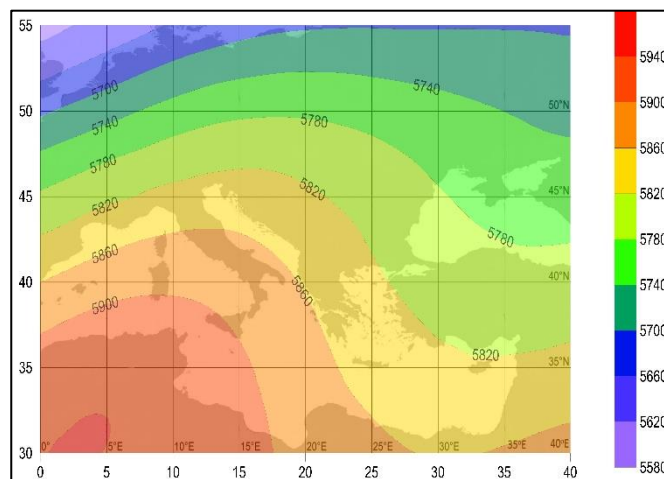
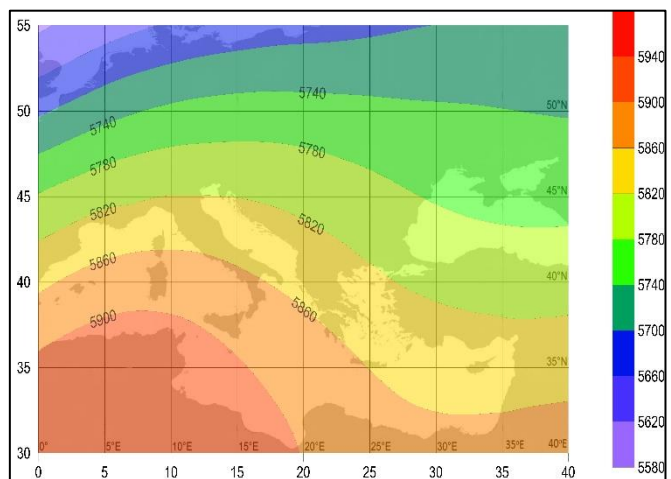
Σχήμα 3.42 Ομάδα 5: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του δείκτη FWI και των αποχών του για τις ημέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

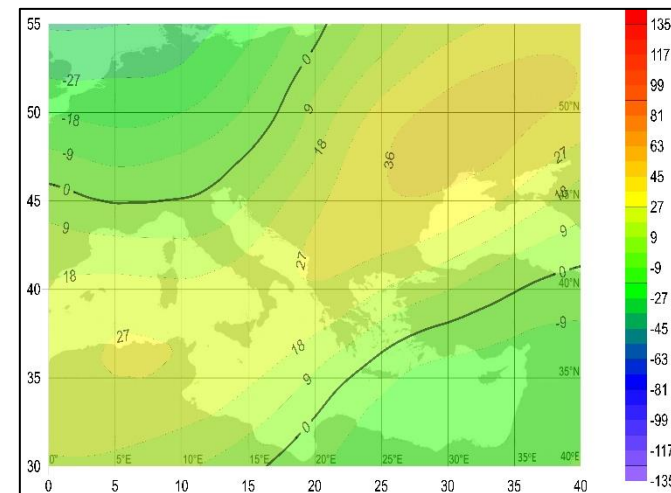
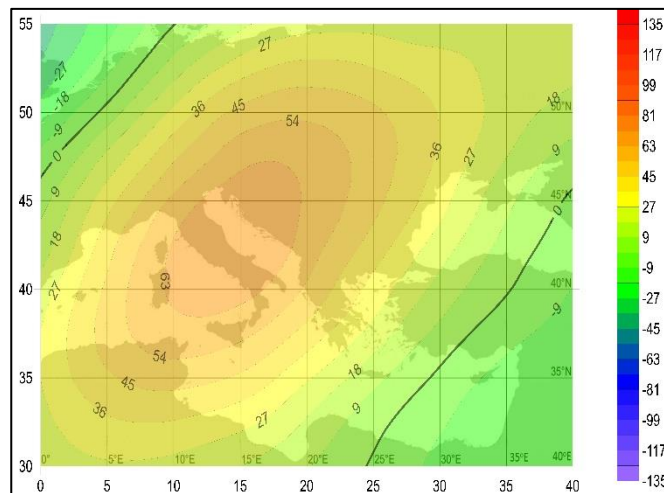
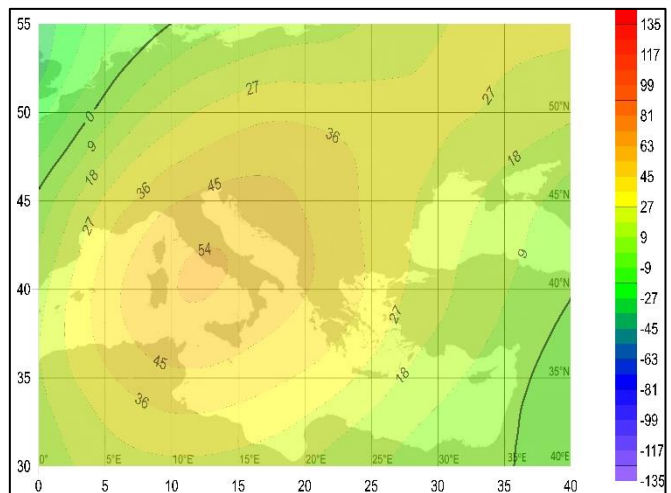
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

GH500



Αποχές GH500



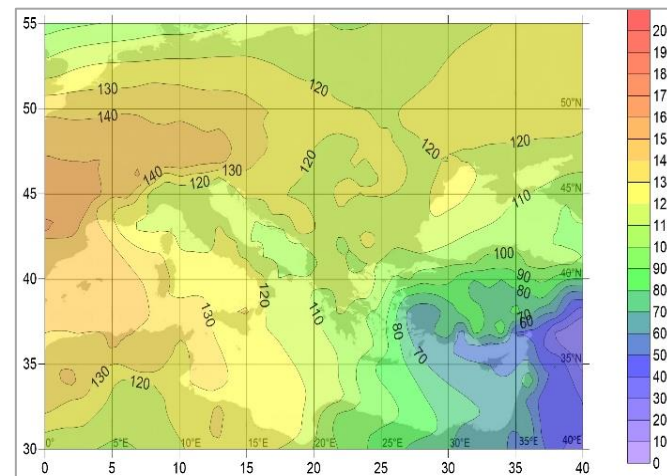
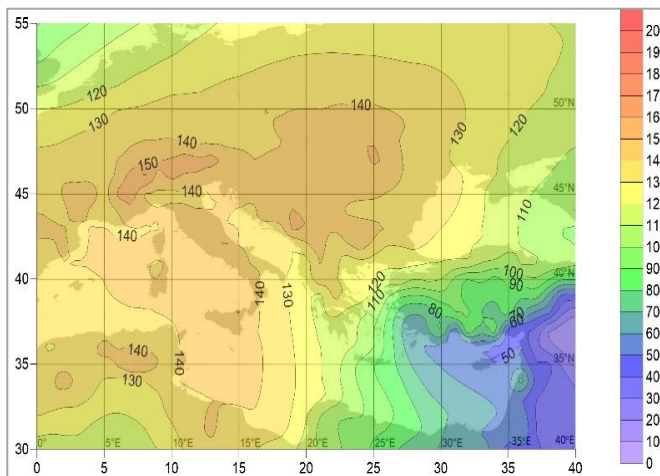
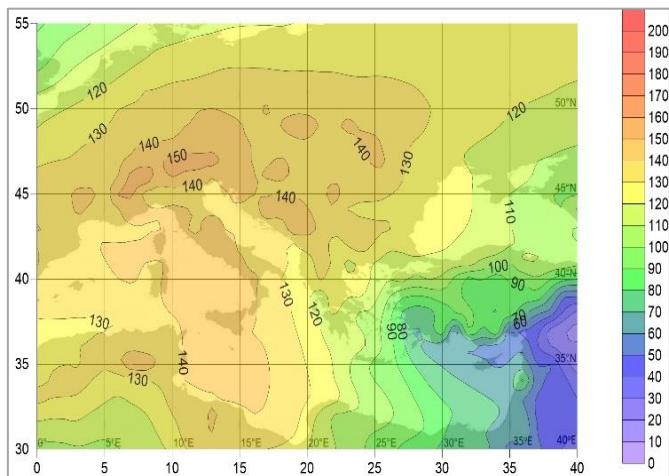
Σχήμα 3.43 Ομάδα 5: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa (gpm) και των αποχών του για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

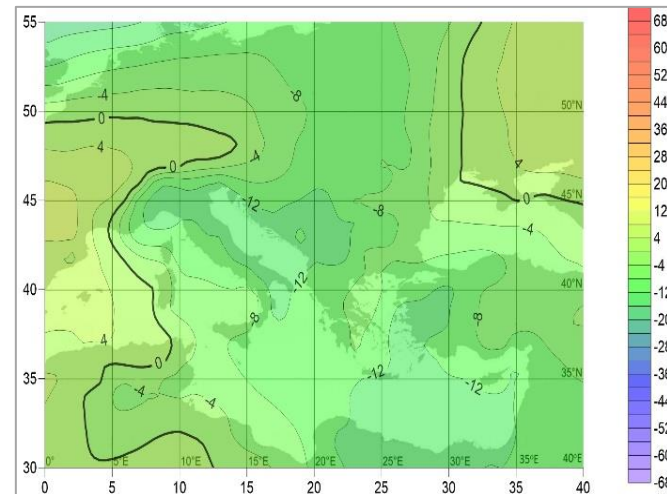
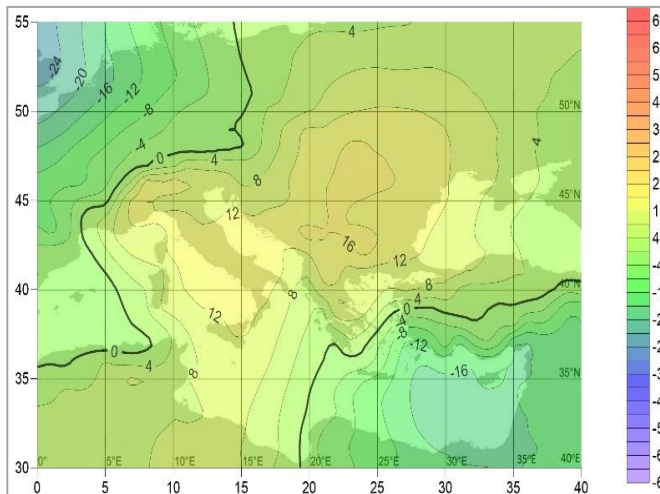
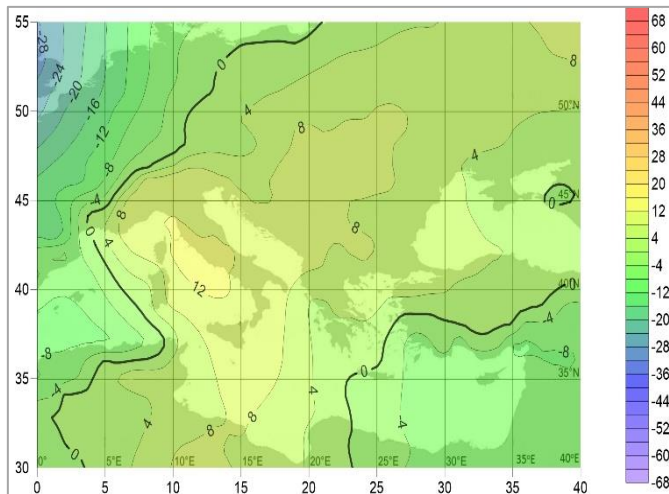
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης DEND

GH1000



Αποχές GH1000



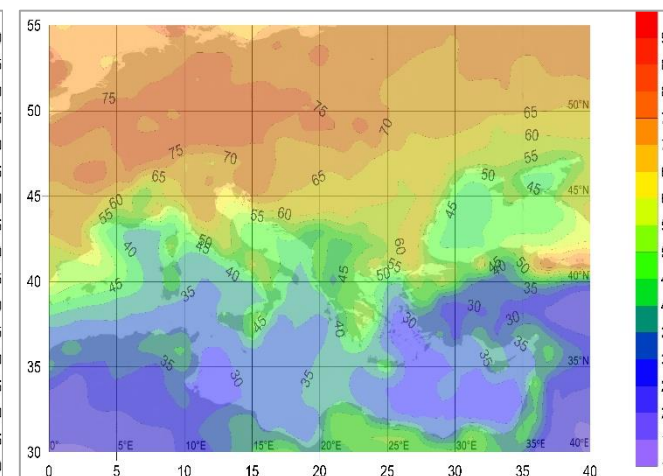
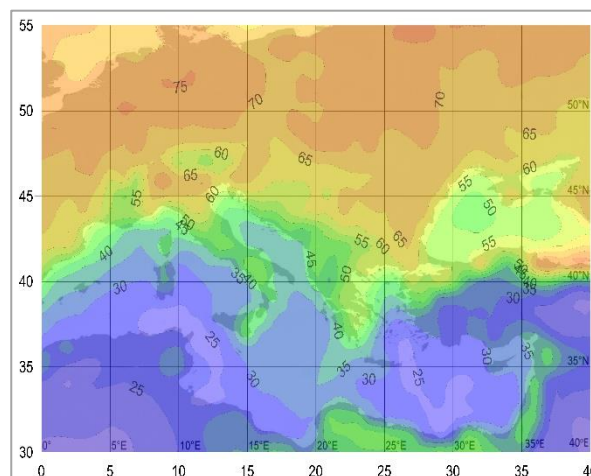
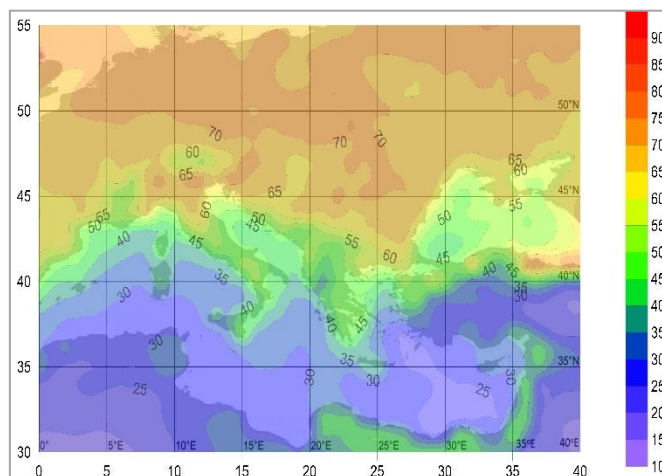
Σχήμα 3.44 Ομάδα 5: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 1000hPa (gpm) και των αποχών του για τις μέρες D-1, D, DEND.

Ημέρα D-1

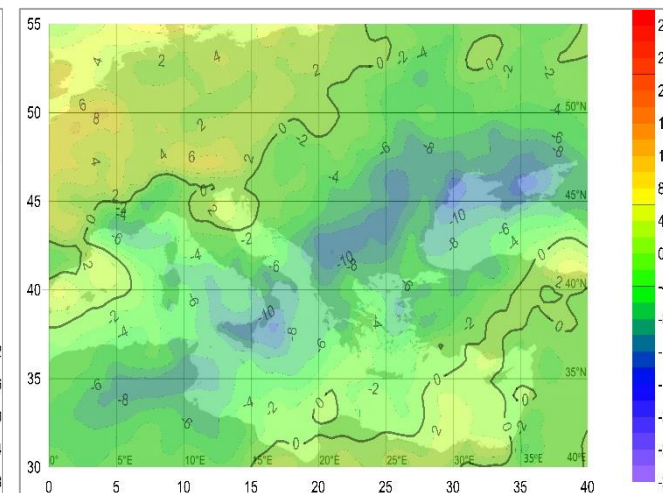
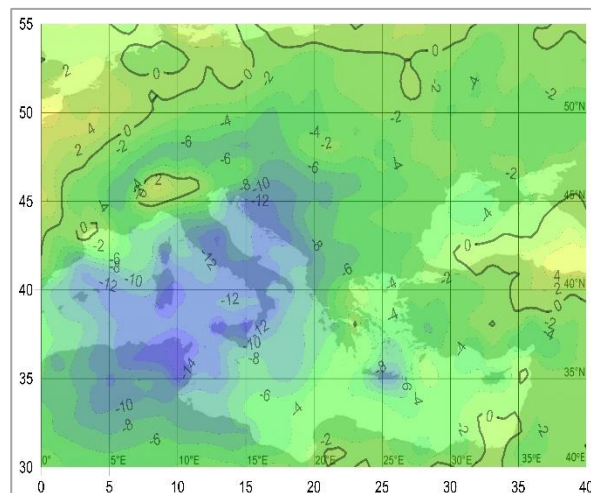
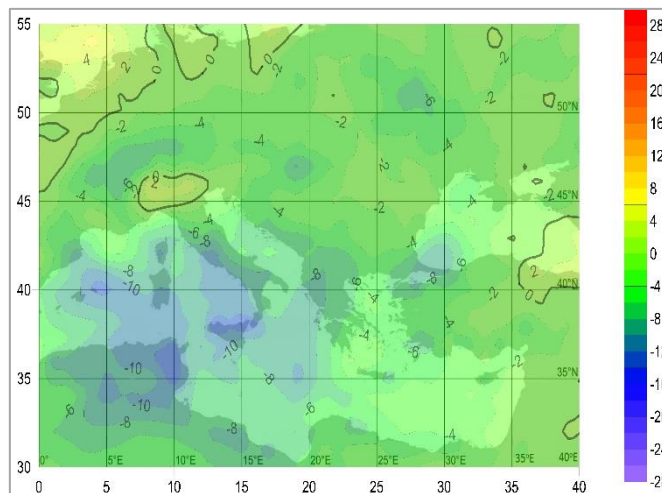
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>

RH850



Αποχές RH850

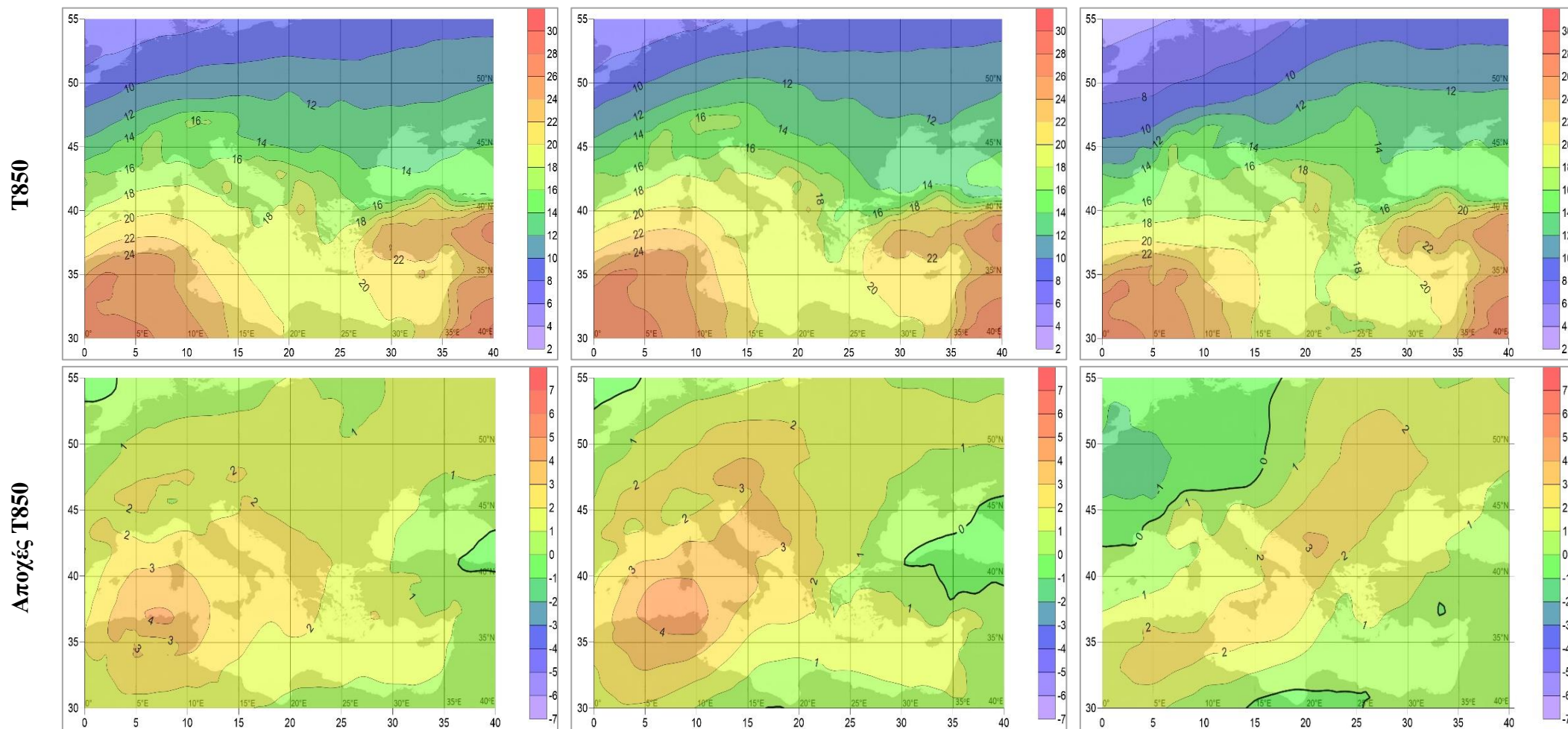


Σχίμα 3.45 Ομάδα 5: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για τη σχετική υγρασία στη στάθμη των 850hPa (%) και των αποχών της για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.

Ημέρα D-1

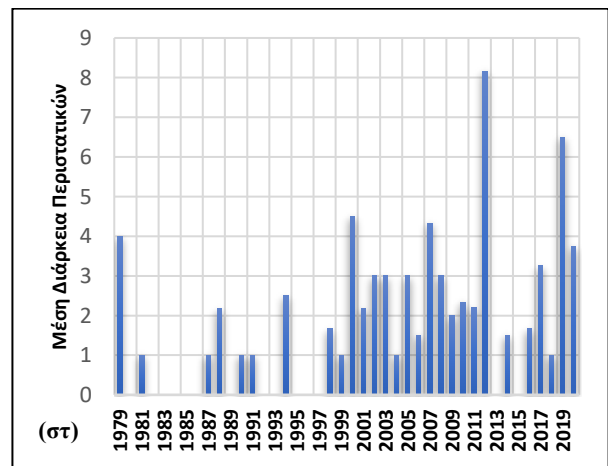
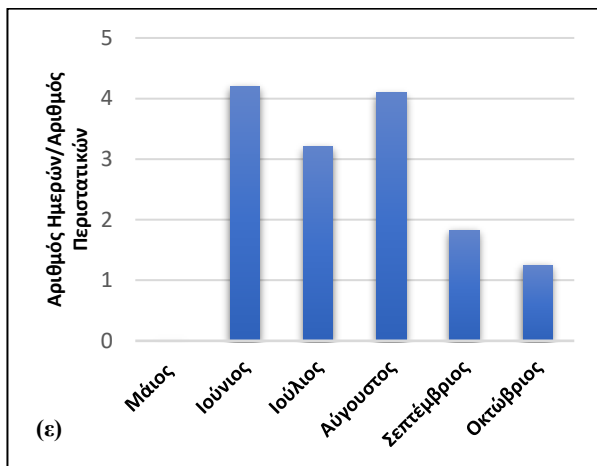
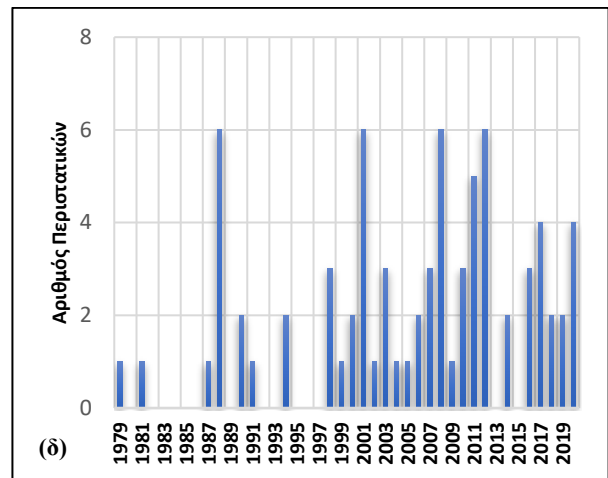
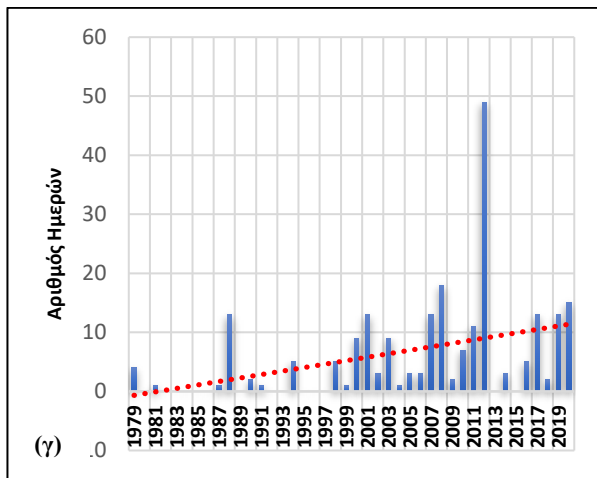
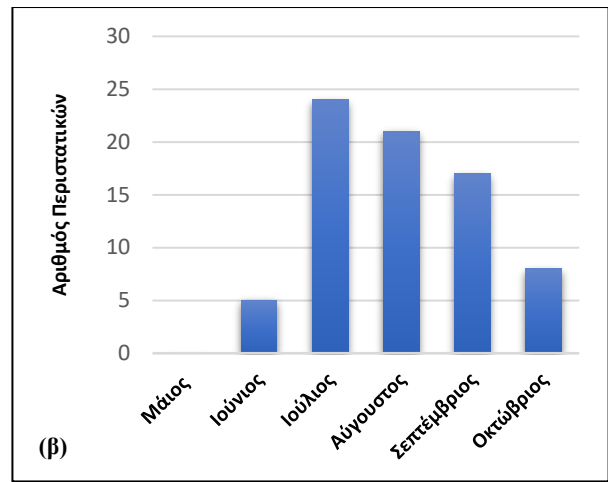
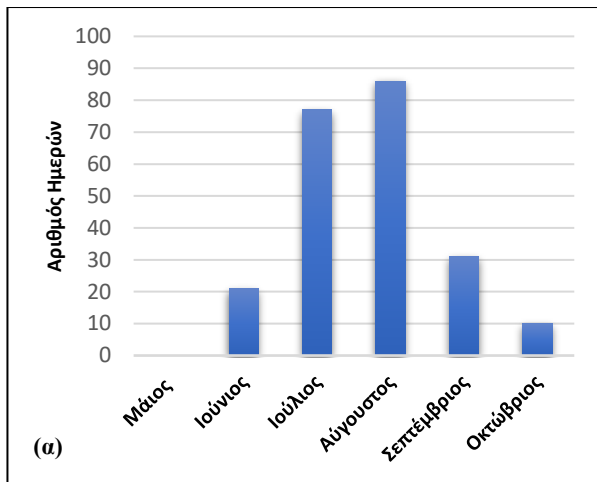
Ημέρα Έναρξης D

Ημέρα Λήξης D<sub>END</sub>



Σχήμα 3.46 Ομάδα 5: Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών για τη θερμοκρασία στη στάθμη των 850hPa (°C) και των αποχών της για τις μέρες D-1, D, D<sub>END</sub>.





**Σχήμα 3.47 Ομάδα 5:** Μηνιαία κατανομή α) του αριθμού των ημερών και β) του αριθμού των περιστατικών, διαχρονική διακύμανση γ) του αριθμού ημερών και δ) του αριθμού των περιστατικών και ε) μηνιαία κατανομή και στ) διαχρονική διακύμανση της μέσης διάρκειας των περιστατικών. Εμφανίζονται οι στατικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

# Κεφάλαιο 4

## Συμπεράσματα

---

Στη παρούσα εργασία μελετήθηκαν τα κλιματικά χαρακτηριστικά του FWI για τη περιοχή της Ελλάδας. Οι μέθοδοι οι οποίοι εφαρμόστηκαν στα δεδομένα κυκλοφορίας, αλλά και στα δεδομένα του δείκτη FWI οδήγησαν σε βασικά συμπεράσματα όσον αφορά στο τύπο κυκλοφορίας ο οποίος ευνοεί την επικράτηση ακραίων τιμών του δείκτη αλλά και στην ανάδειξη περιοχών οι οποίες είναι επιρρεπείς σε ακραίες τιμές.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα αυτά, μπορούμε να πούμε τα εξής:

- Όσον αφορά την εποχική μεταβολή αυτή παρουσιάζει μια σταδιακή αύξηση από Μάιο προς Αύγουστο στον Ελλαδικό χώρο. Οι μικρότερες τιμές παρουσιάζονται τον Μάιο και τον Οκτώβριο αποδεικνύοντας την έντονη εξάρτηση του δείκτη από τη βροχόπτωση και την υγρασία.

Σε ότι αφορά τη χωρική κατανομή του δείκτη, η Αττική, η Κρήτη, η νοτιοανατολική Πελοπόννησος και η πλειοψηφία των νησιών του Αιγαίου αποτελούν “hot spots” όσον αφορά την κλιμάκωση του δείκτη. Η αυξημένη αυτή επικινδυνότητα η οποία εμφανίστηκε μέσα από αυτή την ανάλυση επιβεβαιώνεται από τα στατιστικά στοιχεία του EFFIS που αφορούν την εκδήλωση πυρκαγιών αλλά και της καμένης έκτασης. (<https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/estimates>)

- Μελετώντας τη **διαχρονική διακύμανση του δείκτη FWI** στον ελλαδικό χώρο παρατηρούμε ότι στην περιοχή της θάλασσας του Μαρμαρά και του βορειοανατολικού Αιγαίου οι τιμές του δείκτη παρουσιάζουν αυξητική πορεία στους 5 από τους 6 μήνες μελέτης. Επιπλέον, αυξητική πορεία ακολουθούν και οι τιμές που σχετίζονται με τη περιοχή του νοτιοανατολικού Αιγαίου για τους 4 από τους 6 μήνες μελέτης
- Μελετώντας τη **στατιστική των ημερών και των περιστατικών ακραίων τιμών FWI**, βλέπουμε αρχικά ότι η πλειοψηφία των περιστατικών είναι διάρκειας 1 ημέρας, ενώ οι μήνες Ιούλιος και Αύγουστος περιλαμβάνουν τον μεγαλύτερο αριθμό περιστατικών και ημερών, για τις οποίες ο δείκτης FWI παίρνει ακραία τιμή. Επιπλέον, παρατηρείται σημαντική αύξηση του αριθμού των ημερών όπως και των περιστατικών με την πάροδο των ετών. Παρόμοια ανοδική τάση παρατηρήσαμε και στη διαχρονική πορεία της διάρκειας των περιστατικών. Τέλος, συγκρίνοντας τις περιόδους 1979-1999 και 2000-2020, παρατηρήθηκε ότι κατά τη δεύτερη περίοδο παρουσιάζεται μεγαλύτερος αριθμός ημερών και περιστατικών ακραίου FWI σε σχέση με την πρώτη, ενισχύοντας τις υποθέσεις περί ενίσχυσης της έντασης των ακραίων συνθηκών.
- Παρατηρώντας τις 5 ομάδες στις οποίες ταξινομήθηκαν οι μετεωρολογικές συνθήκες που ευνοούν τις ακραίες τιμές του FWI, μπορούμε να πούμε ότι όλες έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό την ύπαρξη ενός χαμηλού στα νοτιοανατολικά της Ελλάδας, σε

συνδυασμό με ένα βαρομετρικό υψηλό πάνω από τη κεντρική Ευρώπη.

Στις 3 από τις 5 περιπτώσεις, η διάταξη αυτή δημιουργεί ισχυρούς βορειοανατολικούς ανέμους στη περιοχή του Αιγαίου μέτριας έως μεγάλης έντασης, ενισχύοντας τον δείκτη επικινδυνότητας.

Στη μία εκ των 5 ομάδων η κυκλοφορία ευνοεί τη διέλευση θερμότερων αερίων μαζών από τα νότια, ανεβάζοντας τη θερμοκρασία και απόρροια αυτού είναι η αύξηση του δείκτη επικινδυνότητας στον ελλαδικό χώρο, χωρίς την έντονη συνεισφορά του ανέμου.

Όσον αφορά στην τάση των ημερών και των περιστατικών, για τις 5 ομάδες μελέτης, μόνο η πρώτη ομάδα παρουσιάζει πτωτική τάση. Πιο συγκεκριμένα, σε δύο ομάδες παρουσιάζεται ανοδική τάση αναφορικά με τις ημέρες, ενώ σε άλλες δύο, ανοδική τάση όσον αφορά τα περιστατικά. Οι τάσεις αυτές είναι στατιστικά σημαντικές, όπως υπέδειξε το στατιστικό τεστ Mann-Kendall.

- Η παραπάνω ανάλυση ανέδειξε τα έτη 2009 και 2012 ως αυτά με το μεγαλύτερο αριθμό ημερών και περιστατικών για τα 42 έτη αναφοράς, επιβεβαιώνοντας τα στοιχεία για τη σφοδρότητα των πυρκαγιών τα έτη αυτά.

Ολοκληρώνοντας τη σύνοψη των αποτελεσμάτων δεν θα ήταν δυνατόν να παραλείψουμε τις προοπτικές περεταίρω έρευνας για την παρούσα εργασία, οι οποίες αναδείχθηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησής της. Η εργασία αυτή επικεντρώθηκε κυρίως στη περιοχή του ελλαδικού χώρου όπου και μελετήθηκε η κυκλοφορία αλλά και η συμπεριφορά του δείκτη. Διαχωρίζοντας την Ελλάδα σε περιοχές και μελετώντας ξεχωριστά καθεμία από αυτές, θα αναδειχθούν περαιτέρω χαρακτηριστικά που οφείλονται στη τοπικότητα των φαινομένων, όπως η βροχόπτωση και θα κάνει αντιληπτή καλύτερα τη συμπεριφορά του δείκτη FWI.

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης των δεδομένων και πιο συγκεκριμένα των περιστατικών ξεχώρισαν μερικές περιπτώσεις για τις οποίες ο δείκτης FWI έπαιρνε ακραίες τιμές για μεγάλο αριθμό ημερών. Η λεπτομερέστερη εξέταση των πολυήμερων αυτών περιστατικών, αλλά και η σύνδεσή τους με πραγματικά δεδομένα πυρκαγιών, τα οποία μπορούν να αποκτηθούν από την Πυροσβεστική Υπηρεσία, θα διαδραματίσει σπουδαίο ρόλο στην κατανόηση επακριβώς των συνθηκών οι οποίες ξεκίνησαν και τροφοδότησαν στη συνέχεια τις πυρκαγιές.

Ξεφεύγοντας από το πλαίσιο των κλιματικών χαρακτηριστικών, θα μπορούσε κανείς να ασχοληθεί με τη φύση του δείκτη. Παρότι ο δείκτης λαμβάνει υπόψιν μετεωρολογικές παραμέτρους για τον υπολογισμό του, δεν λαμβάνει τόσο υπόψιν την τοπογραφία και τη χρήση γης μέσα σε ένα οικοσύστημα. Η προσεκτική μελέτη αυτών των χαρακτηριστικών θα αναβάθμιζε την αξιοπιστία του δείκτη ως προς την εξαγωγή της επικινδυνότητας, βοηθώντας στην έγκαιρη καταστολή των πυρκαγιών.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ- ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Agee, J. K. (1996). Fire ecology of Pacific Northwest forests. Island press.
2. Andrews, P., Loftsgaarden, D., and Bradshaw, L. (2003). Evaluation of fire danger rating indexes using logistic regression and percentile analysis. *International Journal of Wildland Fire*, (12): σσ. 213–22
3. Arpacı, Alexander, Chris S. Eastaugh, and Harald Vacik. (2013) "Selecting the best performing fire weather indices for Austrian ecoregions." *Theoretical and Applied Climatology* 114.3: σσ.393-406.
4. Barbosa, P., Camia, A., Kucera, J., Liberta, G., Palumbo, I., San-Miguel-Ayanz, J., & Schmuck, G. (2008). Assessment of forest fire impacts and emissions in the European Union based on the European Forest Fire Information System. *Developments in Environmental Science*, 8, σσ. 197-208..
5. Birot Yves, Eric Rigolot, and Johann Georg Goldammer. (2009) "Living with wildfires: what science can tell us. A contribution of the science-policy dialogue. Conclusions.
6. Brown, T., Hall, B., and Westerling, A. (2004). The impact of twenty-first century climate change on wildland fire danger in the western United States: An applications perspective. *Climatic Change*, 62: σσ.365–388.
7. Bowman, D. M., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., ... & Pyne, S. J. (2009). Fire in the Earth system. *science*, 324(5926), 481-484.
8. Burgan, Robert E. (1993). "A method to initialize the Keetch-Byram Drought Index." *Western Journal of Applied Forestry* 8.4: σσ.109-115.
9. Carvalho, A., Flannigan, M. D., Logan, K., Miranda, A. I., and Borrego, C. (2008). Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System. *Int. J. Wildland Fire*, (17): σσ. 328–338.
10. Catry, F. X., Rego, F. C., Silva, J. S., Moreira, F., Camia, A., Ricotta, C., & Conedera, M. (2010). 2.1 Fire Starts and Human Activities. *Towards Integrated Fire Management Outcomes of the European Project Fire Paradox*, 9.
11. De Groot, W. J. (1987). "Interpreting the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System, Fourth Cent. Reg. Fire Weather Comm." *Sci. Tech. Semin.*, σσ. 3-14.
12. Dennison, P., Roberts, D., Thorgusen, S., Regelbrugge, J., Weise, D., Christopher, L. (2003). Modeling seasonal changes in live fuel moisture and equivalent water thickness using a cumulative water balance index. *Remote Sensing of the Environment* (88), σσ. 442-452
13. Dimitrakopoulos AP, Bemmerzouk AM. (2003). Predicting live herbaceous moisture content from a seasonal drought index. *International Journal of Biometeorology* 47: σσ. 73–79.
14. Dimitrakopoulos, A. P., Bemmerzouk, A. M., & Mitsopoulos, I. D. (2011). Evaluation of the Canadian fire weather index system in an eastern Mediterranean environment. *Meteorological Applications*, 18(1), σσ. 83-93.
15. Dimitrakopoulos, AP and ID Mitsopoulos (2006): "Global Forest Resources Assessment 2005 – Report on fires in the Mediterranean Region". Working Paper FM/8/E FAO, Rome, Italy.

16. Dowdy, Andrew James, et al. 2009. Australian fire weather as represented by the McArthur forest fire danger index and the Canadian forest fire weather index. Melbourne: Centre for Australian Weather and Climate Research.
17. Escuin, S., R. Navarro, and P. Fernández (2008). "Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images." *International Journal of Remote Sensing* 29.4: σσ. 1053-1073.
18. Flannigan, M., Stocks, B., & Weber, M. (2003). Fire regimes and climatic change in Canadian forests (pp. 97-119). Springer New York.
19. Girardin, M. P., Tardif, J., Flannigan, M. D., Wotton, B. M., & Bergeron, Y. (2004). Trends and periodicities in the Canadian Drought Code and their relationships with atmospheric circulation for the southern Canadian boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(1), 103-119.
20. Goodrick, Scott L. (2002). "Modification of the Fosberg fire weather index to include drought." *International Journal of Wildland Fire* 11.4: σσ. 205-211.
21. Hardy, C. C. (2005). Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest ecology and management*, 211(1-2), σσ. 73-82.
22. Iliadis, LS, AK Papastavrou and PD Lefakis (2002): "A computer-system that classifies the prefectures of Greece in forest fire risk zones using fuzzy sets". In: *Forest Policy and Economics*, 4, σσ. 43–54
23. Jimenez, J. B. (2015). Downscaling of climate scenarios for wildfire danger assessment: Development and Applications. Phd Thesis, University of Cantabria, Institute of Physics of Cantabria (IFCA), Santander.
24. Johnson, Edward A., David M. Keith, and Yvonne E. Martin (2013). "Comparing measured duff moisture with a water budget model and the duff and drought codes of the Canadian Fire Weather Index." *Forest Science* 59.1: σσ. 78-92.
25. Jolliffe IT. (1986): *Principal Component Analysis*, Springer-Verlag, New York, σσ.271.
26. Jolliffe IT. (2002): *Principal Component Analysis, Second Edition*, Springer-Verlag, New York, σσ. 111-118.
27. Keeley, Jon E., C. J. Fotheringham, and Marco Morais (1999). "Reexamining fire suppression impacts on brushland fire regimes." *Science* 284.5421: σσ:1829-1832.
28. Le Page, Y. O. (2010). Seasonality of vegetation fires as modified by human action: observing the deviation from ecoclimatic fire regimes. *Global ecology and Biogeography* 19(4): 575– 588.
29. Lucas, C. (2010). On developing a historical fire weather data-set for Australia. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, (60), σσ. 1-14
30. Manly BFJ, Navarro Alberto Jorge A. (2017): *Multivariate Statistical Methods: A Primer*, Fourth Edition, Chapman & Hall, London ,σσ. 121
31. Miller, R., Heyerdahl, E., & Hopkins, K. (2003). Fire regimes, pre-and post-settlement vegetation, and the modern expansion of western juniper at Lava Beds National Monument, California. Oregon State University Agricultural Experiment Station, Corvallis, USA.
32. Morrison F.D. (1991): *Multivariate statistical methods*. Mc Graw-Hill, New York.

33. Muraro, S. and Lawson, B. (1970). Prediction of duff moisture distribution for prescribed burning. Info. Rep. BG-X-46, Canadian Forest Service, Pacific Forest Research Centre, Canada.
34. Pausas, J. G., & Fernández-Muñoz, S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic change*, 110(1), σσ. 215-226.
35. Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience*, 59(7), σσ.593-601.
36. Roy, David P., Luigi Boschetti, and Simon N. Trigg. (2006). "Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ratio." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 3.1: σσ. 112-116.
37. San-Miguel-Ayanz, J., Schulte, E., Schmuck, G., and Camia, A. (2013). The European Forest Fire Information System in the context of environmental policies of the European Union. *Forest Policy and Economics* , SI (29), σσ. 19-25
38. San-Miguel-Ayanz, Jesús, et al. (2012). "Land cover change and fire regime in the European Mediterranean region." *Post-fire management and restoration of southern European forests*. Springer, Dordrecht. Σσ. 21-43.
39. Sharples, J., McRae, R., Weber, R., and Gill, A. (2009). A simple index for assessing fuel moisture content. *Environmental Modelling and Software*,(24): σσ.637–646
40. Stocks, B., Lawson, B., Alexander, M., Van Wagner, C., McAlpine, R., Lynham, T., and Dube, D. (1989). The Canadian Forest Fire Danger Rating System - An Overview. *For. Chron.*, 65(6): σσ.450–457
41. Sugar A.C. and James M.G. (2003): Finding the Number of Clusters in a Dataset: An information Theoretic Approach. *Journal of the American Statistical Association*. 98, σσ. 750- 763.
42. Tyrlis, E., & Lelieveld, J. (2013). Climatology and dynamics of the summer Etesian winds over the eastern Mediterranean. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 70(11), 3374-3396.
43. van Wagner, C. E. . (1987). Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index. *Forestry Tech. Ανάκτηση από Canadian Forestry Service, Ottawa,Canada: <http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/19927.pdf>*.
44. Van Wagner, C.E., and T.L. Pickett. (1985). Equations and FORTRAN Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Ottawa: Canadian Forest Service
45. Veasey, D. Alan, et al. (2005) *Confined space entry and emergency response*. John Wiley & Sons.
46. Viegas D, Viegas P, Ferreira A. (1992). Moisture content of fine forest fuels and fire occurrence in central Portugal. *International Journal of Wildland Fire* 2: σσ. 69–85.
47. Wotton, B. M. (2009). Interpreting and using outputs from the Canadian Forest. *Environmental and Ecological Statistics* (16), σσ. 107- 131, [URL:https://link.springer.com/article/10.1007/s10651-007-0084-2](https://link.springer.com/article/10.1007/s10651-007-0084-2).
48. Xanthopoulos, G. (2015). Wildfire and safety issues in Greece. pp.157-175. In “Current International Perspectives on Wildland Fires, Mankind and the Environment.” B. Leblon and M. C. Alexander (editors). Nova Publishers, New York, USA. 262 p.
49. Παπαδόπουλος, Αριστοτέλης. (2007). "Μελέτη της επίδρασης του καιρού στις δασικές πυρκαγιές."

50. Ρήγα Χ., Σκριμεζέας, Π., & Κατσαφάδος, Π. (2010). Διερεύνηση των επιπτώσεων πυρκαγιών του νομού Ηλείας στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον= Analysis of the atmospheric conditions of the fires in 2007 and examination of their impacts on the atmospheric environment. Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών, 17-24.
51. Χούσος, Η. (2009). Συμβολή στην έγκαιρη και έγκυρη πρόγνωση ακραίων καιρικών φαινομένων στον ελληνικό χώρο με τη χρήση πολυμεταβλητών στατιστικών μεθόδων.
52. <https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/estimates>
53. Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, [fria.gr](http://fria.gr)
54. [https://www.researchgate.net/figure/Average-annual-distribution-of-the-number-of-fires-in-the-EU-by-province\\_fig3\\_281080707](https://www.researchgate.net/figure/Average-annual-distribution-of-the-number-of-fires-in-the-EU-by-province_fig3_281080707) [accessed 25 Apr, 2023]
55. <https://www.fs.usda.gov/>
56. <https://www.nasa.gov/topics/earth/features/wildfires.html>