



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ
ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ Κ ΚΑΙ TOTAL TOTALS ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1959-2021

ΡΟΥΣΣΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

798

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΛΩΛΗΣ



ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ABSTRACT.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Βασικές μετεωρολογικές παράμετροι.....	7
1.2.1 Βαρομετρικά συστήματα	8
1.3 Στατική Αστάθεια	10
1.4 Δείκτες αστάθειας	14
1.4.1 Δείκτης Showalter (Showalter Index, SI)	14
1.4.2 Δείκτης Ανύψωσης (Lifted Index, LI)	14
1.4.3 Δείκτης Boyden (Boyden Index, BI)	15
1.4.4 Διαθέσιμη Δυναμική Ενέργεια Ανωμεταφοράς (Convective Available Potential Energy, CAPE)	15
1.4.5 Αποτροπή Ανωμεταφοράς (Convective Inhibition, CIN).....	15
1.5 Δείκτης K (K).....	16
1.6 Δείκτης Total Totals (TT)	17
1.7 Μεσόγειος Θάλασσα.....	18
1.8 Σκοπός της εργασίας	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	20
2.1 Δεδομένα.....	20
2.2 Μεθοδολογία.....	21
2.2.1 Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis)	21
2.2.2 Ανάλυση κατά Συστάδες (Cluster Analysis)	25
2.2.2.1 Μη Ιεραρχική Ανάλυση κατά Συστάδες (K – Means).....	25
2.2.2.2. Η Μέθοδος του «Άλματος» (“Jump” Method).....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	29
3.1 Μέση χωρική κατανομή των δύο δεικτών αστάθειας κατά δίμηνο	29
3.1.1 Μέση χωρική κατανομή του δείκτη K κατά δίμηνο	29
3.1.2 Μέση χωρική κατανομή του δείκτη Total Totals κατά δίμηνο.....	33
3.2 Μέση ενδοετήσια διακύμανση των δύο δεικτών αστάθειας.....	36
3.2.1 Μέση ενδοετήσια διακύμανση του δείκτη K.....	37
3.2.2 Μέση ενδοετήσια διακύμανση του δείκτη Total Totals	38
3.2.3 Μέσες ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποχών των δύο δεικτών από τις τιμές της περιόδου 1959-2021 για τρεις χρονικές υποπεριόδους	40

3.3 Διαχρονική διακύμανση των δύο δεικτών αστάθειας κατά δίμηνο	43
3.3.1 Διαχρονική διακύμανση του δείκτη K κατά δίμηνο	44
3.3.2 Διαχρονική διακύμανση του δείκτη Total Totals κατά δίμηνο.....	55
3.4 Διαχρονική διακύμανση των δεικτών K και Total Totals στις κοινές περιοχές ομαδοποίησης της Παραγοντικής Ανάλυσης.....	67
3.5 Περιπτώσεις ακραίων τιμών των δύο δεικτών και σύνδεσή τους με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει τίτλο «Μελέτη των κλιματικών χαρακτηριστικών των δεικτών αστάθεια K και Total Totals στην περιοχή της Μεσογείου για την περίοδο 1959 – 2021. Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ατμοσφαιρικές Επιστήμες και Περιβάλλον». Την επίβλεψη αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής είχε αναλάβει ο Αναπληρωτής Καθηγητής του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, κύριος Χρήστος Λώλης τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, τα εύστοχα σχόλιά του καθώς και για την υπομονή και επιμονή του σε κάθε εμπόδιο που βρέθηκε στην πορεία της εργασίας αυτής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθούν κλιματικά οι δύο δείκτες αστάθειας K και Total Totals στην περιοχή της Μεσογείου για μια περίοδο 63 ετών (1959 – 2021). Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα (12 UTC), των δύο δεικτών, του γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 1000 hPa και 500 hPa και της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa σε πλέγμα $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Μέσω της Παραγοντικής Ανάλυσης (Factor Analysis), βρέθηκαν 2 τύποι μέσης ενδοετήσιας πορείας για κάθε έναν από τους δύο δείκτες και επίσης μελετήθηκε ο τρόπος με τον οποίο κατανομονται χωρικά οι δείκτες κατά δίμηνο. Επιπλέον, βρέθηκε η διαχρονική διακύμανση του κάθε δείκτη κατά δίμηνο καθώς και οι κοινές περιοχές που παρουσιάζουν συμμεταβολή και στους δύο δείκτες. Τέλος, έγινε ορισμός των ημερών που χαρακτηρίζονταν από ακραία υψηλή αστάθεια και μέσω της Ανάλυσης κατά Συστάδες (Cluster Analysis), βρέθηκαν 7 ομάδες, κάθε μία εκ των οποίων αντιστοιχούσε σε έναν τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούσε την ύπαρξη ακραία υψηλών τιμών των δύο δεικτών αστάθειας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η χωρική κατανομή των δεικτών το χειμώνα και το φθινόπωρο χαρακτηρίζεται με μέγιστο στις θαλάσσιες περιοχές, ενώ το καλοκαίρι και την άνοιξη χαρακτηρίζεται με μέγιστο στις ηπειρωτικές περιοχές. Επίσης παρατηρείται αυξητική τάση των δύο δεικτών τα τελευταία χρόνια το καλοκαίρι στη βορειοδυτική Αφρική και νοτιοδυτική Ασία. Τέλος, οι συνθήκες ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν υψηλές τιμές των δεικτών χαρακτηρίζονται κυρίως από κυκλωνική κυκλοφορία στην κατώτερη τροπόσφαιρα, σε συνδυασμό με σκάφη χαμηλών πιέσεων (trough) στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to study climatologically the two instability indices K and Total Totals in the Mediterranean region for a period of 63 years (1959 - 2021). Daily data (12 UTC) of the two indices, geopotential height at the 1000 hPa and 500 hPa isobaric surfaces and temperature at the 850 hPa isobaric surface in a $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ grid, were used for the Mediterranean region. Through Factor Analysis, two types of mean intra-annual variation were found for each of the two indices and the way in which the indices are spatially distributed for the six bimonthly periods of the year was also studied. In addition, the inter-annual variation of each index for each bimonthly period was found as well as the common areas of co-variation in both indices. Finally, the days characterized by extreme high instability were defined and through Cluster Analysis, 7 clusters were found, each of them corresponding to a type of atmospheric circulation that favored the existence of extreme high values of the two instability indices. According to the results, the spatial distribution of the indices in winter and autumn is characterized by a maximum in sea areas, while in summer and spring it is characterized by a maximum in continental areas. There is also an increasing trend of both indices in recent years in summer over northwest Africa and southwest Asia. Finally, atmospheric circulation conditions favoring high values of the indices are mainly characterized by cyclonic circulation in the lower troposphere, combined with troughs in the upper atmosphere.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Η μελέτη του καιρού και του κλίματος, απασχολούσε ανέκαθεν την ανθρωπότητα. Αυτό συνέβαινε, διότι αυτοί οι δύο παράγοντες έπαιζαν και παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζοντας άμεσα την καθημερινότητα. Ειδικότερα, αυτό που απασχολεί περισσότερο και έχει γίνει αντικείμενο μελέτης και έρευνας πολλές φορές, είναι τα έντονα καιρικά φαινόμενα των κακοκαιριών. Κατά τη διάρκεια μιας κακοκαιρίας εμφανίζεται στην ατμόσφαιρα μια πληθώρα μετεωρολογικών φαινομένων τα οποία χαρακτηρίζονται από υετό και πολύ ισχυρό άνεμο. Τα παραπάνω συνιστούν το φαινόμενο της καταιγίδας η οποία συνοδεύεται από έντονη βροχόπτωση, ισχυρούς ριπαίους ανέμους, ηλεκτρικές εκκενώσεις και ορισμένες φορές και χαλαζοπτώσεις. Οι προϋποθέσεις που απαιτούνται για τη δημιουργία καταιγίδας είναι η υψηλή ατμοσφαιρική αστάθεια, η οποία θα αναλυθεί εκτενώς παρακάτω, και η μεγάλη ποσότητα υδρατμών στα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα. Σύμφωνα με τους Dotzek et al. (2009) το καιρικό φαινόμενο της καταιγίδας είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο τόσο για τη ζωή και την υγεία των ανθρώπων, όσο και για τις περιουσίες τους (πλημμύρες, καταστροφές καλλιεργειών κ.ά.). Επιπλέον, λόγω του γεγονότος ότι οι καταιγίδες είναι ένα φαινόμενο το οποίο συνδέεται με ηλεκτρικές εκκενώσεις, γίνονται εύκολα ανιχνεύσιμες μέσω των κεραυνών. Για τους λόγους αυτούς, ο κλάδος της Μετεωρολογίας εξετάζει διεξοδικότερα και με περισσότερο ενδιαφέρον τη στατική αστάθεια η οποία μεταξύ άλλων αποτελεί βασική παράμετρο που ευνοεί την εκδήλωση καταιγίδων.

1.2 Βασικές μετεωρολογικές παράμετροι

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιασθούν ορισμένες παράμετροι και ατμοσφαιρικές καταστάσεις, οι οποίες συνδέονται με την ανάλυση που θα ακολουθήσει και των οποίων η γνώση κρίνεται απαραίτητη για την πληρέστερη κατανόηση της παρούσας εργασίας.

Θερμοκρασία αέρα (T): η θερμοκρασία γενικά, φανερώνει τη θερμική κατάσταση ενός σώματος και έχει άμεση σχέση με τη μέση κινητική ενέργεια των μορίων του. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, τόσο μεγαλύτερες είναι και οι μέσες ταχύτητες. Στη μετεωρολογία ειδικότερα, με τον όρο θερμοκρασία του αέρα σε έναν τόπο, εννοείται η θερμοκρασία αυτού «υπό σκιά», εντός ειδικού στεγάστρου (μετεωρολογικός κλωβός), σε ύψος 1.5-2 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο η θερμοκρασία μετριέται και για ανώτερες στάθμες της ατμόσφαιρας και όχι μόνο στα 2 μέτρα. Η σπουδαιότερη στάθμη μέτρησης της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα είναι στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa. Το ύψος όπου συναντάται το επίπεδο αυτό εξαρτάται με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, αλλά κατά προσέγγιση είναι περίπου στα 1500 μέτρα από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η στάθμη αυτή αποτελεί την πιο μικρή κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια της θάλασσας όπου η θερμοκρασία του μένει ανεπηρέαστη από τις θερμικές αλλαγές που εμφανίζονται στο οριακό στρώμα. Παραδείγματος χάριν, σε αυτό το ύψος δεν παρατηρείται ουσιαστικά διαφορά στη θερμοκρασία μεταξύ ημέρας και νύχτας για ένα συγκεκριμένο τόπο. Έτσι, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στην πρόγνωση καιρού, καθιστώντας γνωστό στον ερευνητή το θερμοκρασιακό καθεστώς των επόμενων ημερών, αν επί παραδείγματι γίνει μια θερμή ή ψυχρή εισβολή η οποία θα θερμάνει ή θα ψυχράνει αντίστοιχα την ατμόσφαιρα. Μονάδες μέτρησης της θερμοκρασίας είναι οι βαθμοί Κελσίου (Celsius, °C), οι βαθμοί Κέλβιν (Kelvin, K) και οι βαθμοί Φαρενάιτ (Fahrenheit, °F). Η τιμή της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κέλβιν, ονομάζεται «απόλυτη θερμοκρασία» και είναι και η μονάδα μέτρησής της στο SI. Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετατροπές της θερμοκρασίας από τη μία μονάδα μέτρησης στην άλλη.

Celsius → Kelvin: $K=C+273.15$, και μέσω της ίδιας εξίσωσης, από βαθμούς Κέλβιν, βρίσκουμε βαθμούς Κελσίου.

Celsius → Fahrenheit: $F=32+95C$.

Fahrenheit → Celsius: $C=59(F-32)$

Θερμοκρασία σημείου δρόσου (Dew point temperature): ονομάζεται η θερμοκρασία στην οποία πρέπει να ψυχθεί ο αέρας υπό σταθερή πίεση ώστε να καταστεί κορεσμένος υδρατμών.

Γεωδυναμικό – Γεωδυναμικό Ύψος (Geopotential - Geopotential height): ορίζεται ως γεωδυναμικό το στοιχειώδες έργο που απαιτείται κατά την ανύψωση της μονάδας της μάζας ($m = 1$) από την επιφάνεια της θάλασσας κατά το στοιχειώδες ύψος dz , μέσα στο βαρυτικό πεδίο της Γης και δίνεται από τη σχέση $dW=g \cdot dz$, όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας. Ολοκληρώνοντας την παραπάνω σχέση για τιμές του ύψους μεταξύ 0 και z , παίρνουμε την εξίσωση 1.1:

$$G(z) = \int_0^z g dz = \bar{g}z. \quad (1.1)$$

Η εξίσωση 1.1 δίνει το δυναμικό του πεδίου βαρύτητας της Γης, ή απλά το γεωδυναμικό G , σε κάποιο σημείο της ατμόσφαιρας ύψους z και γίνεται αντιληπτό ότι στη μέση στάθμη της θάλασσας ($z=0$), θα ισχύει και $G=0$.

Ως γεωδυναμικό ύψος ορίζεται η συνάρτηση $H(z) = \frac{G(z)}{g_0}$. Μονάδα μέτρησης του είναι το γεωδυναμικό μέτρο (gpm) και για αυτό ισχύει η σχέση $1gpm = 9.81 J/kg$.

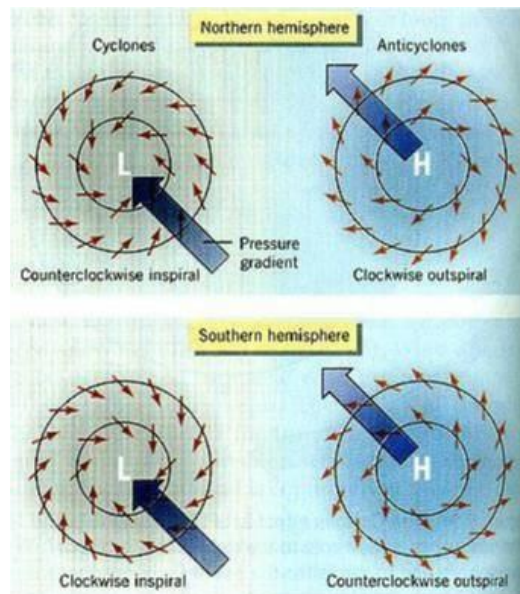
1.2.1 Βαρομετρικά συστήματα

Τα βαρομετρικά συστήματα είναι συστήματα πιέσεων τα οποία αναγνωρίζονται σε ένα χάρτη μέσω των ισοβαρών καμπυλών. Ισοβαρείς ονομάζονται οι καμπύλες που υπάρχουν σε έναν χάρτη καιρού και ενώνουν μεταξύ τους περιοχές, οι οποίες βρίσκονται κάτω από την ίδια πίεση, την ίδια στιγμή ή περίοδο. Πάνω στους χάρτες καιρού οι ισοβαρείς καμπύλες απεικονίζουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις καιρικές καταστάσεις που επικρατούν σε κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, πάνω από τις διάφορες περιοχές. Οι ισοβαρείς σε έναν χάρτη είναι κλειστές καμπύλες, οι οποίες δεν συμπίπτουν ούτε τέμνονται και συνήθως χαράσσονται ανά 4 hPa. Οι καμπύλες αυτές, δε χαράσσονται μόνο στην επιφάνεια της γης, αλλά χαράσσονται και σε διάφορες στάθμες της ατμόσφαιρας.

Βαρομετρικό χαμηλό ή ύφεση (depression): είναι ένα σύστημα κυκλικών ή ελλειπτικών ισοβαρών, στο οποίο η πίεση ελαττώνεται από την περιφέρεια προς το κέντρο. Κατά την επικράτηση ενός βαρομετρικού χαμηλού επικρατούν συνθήκες κακοκαιρίας. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των ανοδικών κινήσεων του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στην ύφεση οι οποίες προκαλούνται εξαιτίας της σύγκλισης των αερίων μαζών στο κέντρο της ύφεσης. Το διάνυσμα του ανέμου σε ένα βαρομετρικό χαμηλό έχει διεύθυνση σχεδόν παράλληλη με τις ισοβαρείς. Επιπλέον, οι υφέσεις ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους διαχωρίζονται στις μετωπικές, θερμικές και ορογραφικές. Στους χάρτες πιέσεων, τα βαρομετρικά χαμηλά συμβολίζονται με το γράμμα L (Low). Στο βόρειο ημισφαίριο, ο άνεμος γύρω από ένα βαρομετρικό χαμηλό πνέει σε φορά αντίθετη από τους δείκτες του ρολογιού, ενώ στο νότιο ημισφαίριο η φορά είναι ίδια με των δεικτών του ρολογιού.

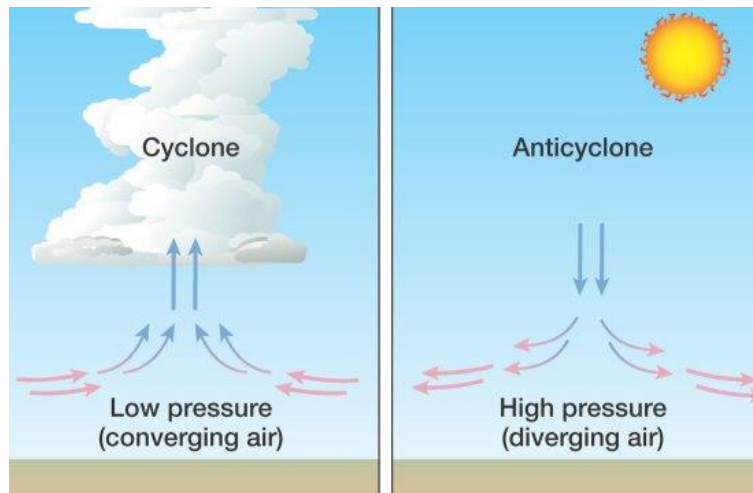
Βαρομετρικό υψηλό ή Αντικυκλώνας (anticyclone): καλείται ένα σύστημα ισοβαρών, κυκλικών ή ελλειπτικών, στο οποίο η πίεση αυξάνεται από την περιφέρεια προς το κέντρο. Κατά την επικράτηση ενός βαρομετρικού υψηλού επικρατούν συνθήκες καλοκαιρίας. Αυτό συμβαίνει λόγω του γεγονότος

ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας μέσα στο σύστημα ενός βαρομετρικού υψηλού κινείται καθοδικά εξαιτίας των αποκλίσεων των αέριων μαζών. Στο κέντρο του αντικυκλώνα επικρατούν συνθήκες νηνεμίας και σε συνδυασμό με τις καθοδικές κινήσεις ευνοείται ο σχηματισμός θερμοκρασιακής αναστροφής. Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους και την κινητική τους συμπεριφορά, οι αντικυκλώνες χωρίζονται στους μόνιμους, τους εποχικούς και τους κινητούς. Επιπλέον, ανάλογα με την τιμή της θερμοκρασίας που επικρατεί στο κέντρο τους, χωρίζονται σε ψυχρούς και θερμούς αντικυκλώνες. Στους χάρτες πίεσεων, τα βαρομετρικά υψηλά συμβολίζονται με το γράμμα Η (High). Σε αντιδιαστολή με αυτά που ισχύουν στην ύφεση, στον αντικυκλώνα στο βόρειο ημισφαίριο, ο άνεμος πνέει σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού, ενώ στο νότιο ημισφαίριο η φορά είναι αντίθετη από τους δείκτες του ρολογιού.



Σχήμα 1.1: Αναπαράσταση της πνοής των ανέμων γύρω από ένα βαρομετρικό χαμηλό και υψηλό στο βόρειο ημισφαίριο (επάνω) και στο νότιο ημισφαίριο (κάτω)

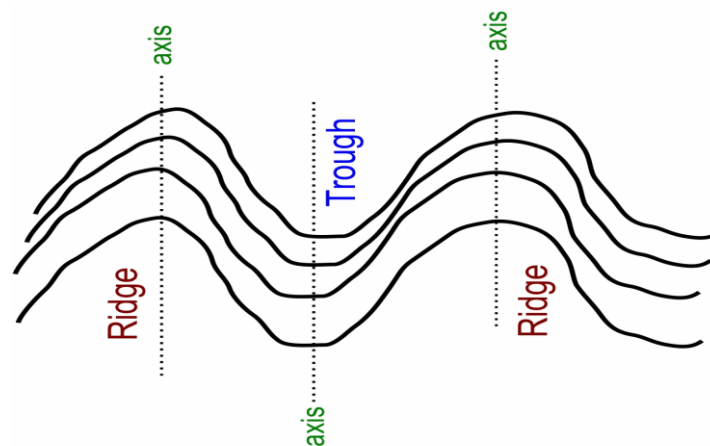
Στο Σχήμα 1.1, το μεγάλο βέλος υποδεικνύει τη βαθμίδα της πίεσης με κατεύθυνση από τις υψηλές προς τις χαμηλές πιέσεις. Κατά την επικράτηση συνθηκών ύφεσης, η βαθμίδα της πίεσης φαίνεται ότι «σπρώχνει» τον αέρα προς το κέντρο του χαμηλού στριμώνοντάς τον σε ολοένα και μικρότερη περιοχή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί η σύγκλιση και ανοδικές κινήσεις του αέρα όπως αναφέρθηκε παραπάνω δημιουργώντας καταιγιδοφόρα νέφη, ενώ στον αντικυκλώνα συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο με τον αέρα εν τέλει να πραγματοποιεί καθοδικές κινήσεις αποκλίνοντας από το κέντρο του υψηλού. Η κατάσταση αυτή φαίνεται στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2: Αναπαράσταση της σύγκλισης (αριστερά) και απόκλισης (δεξιά) των ανέμων σε συνθήκες βαρομετρικού χαμηλού ή υψηλού αντίστοιχα (πηγή: Hellenic Weather)

Σφήνα υψηλών πιέσεων (ridge): είναι η αντικυκλωνική προεξοχή που εισχωρεί ανάμεσα σε δύο περιοχές χαμηλών πιέσεων (R).

Σκάφη χαμηλών πιέσεων (trough): είναι η προεξοχή χαμηλών πιέσεων που εισχωρεί μεταξύ δύο περιοχών υψηλών πιέσεων (T).



Σχήμα 1.3: Σύστημα Trough – Ridge (πηγή: kolydas.eu)

1.3 Στατική Αστάθεια

Όπως σε όλα τα συστήματα στη φύση, έτσι και στην ατμόσφαιρα, η κατακόρυφη ισορροπία που επικρατεί περιγράφεται είτε ως ευσταθής είτε ως ασταθής. Ο διαχωρισμός μεταξύ ευσταθούς και ασταθούς ισορροπίας επιτυγχάνεται μέσω μιας μικρής εξωτερικής διατάραξης της ισορροπίας αυτής, στην οποία αναπτύσσεται αυτόματα επιτάχυνση που τείνει να επαναφέρει ή να εκτρέψει πιο πολύ το σύστημα αυτό από την ισορροπία του, αντίστοιχα (Μεταξάς και Μπαρτζώκας, 2012). Ειδικότερα, ευστάθεια λέγεται η κατάσταση της ατμόσφαιρας όπου δεν παρατηρούνται ανοδικές κινήσεις, καθώς σε οποιαδήποτε κατακόρυφη κίνηση θα δημιουργηθεί μια ροπή επαναφοράς επιβραδύνοντας την εκάστοτε αέρια μάζα. Τα παραπάνω αποτελούν ένα φαινόμενο που συνδέεται με το σχηματισμό ομίχλης και την εμφάνιση επεισοδίων ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Αντιθέτως, το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής αστάθειας, παρατηρείται όταν στην ατμόσφαιρα επικρατούν ανοδικές κινήσεις, οι οποίες προέρχονται από δυνάμεις που επιταχύνουν κατακόρυφα τις αέριες μάζες. Οι

προαναφερθείσες κινήσεις έχουν ως αποτέλεσμα δημιουργία νεφών και υετού. Υπάρχει ωστόσο και το ενδεχόμενο κατά το οποίο δεν εμφανίζεται ούτε επιτάχυνση ούτε επιβράδυνση σε μια κατακόρυφη κίνηση, στην περίπτωση αυτή επικρατεί αδιάφορη ισορροπία (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου, 1994). Η ατμοσφαιρική στατική ευστάθεια, αποτελεί έναν καίριο παράγοντα της διαμόρφωσης των χαρακτηριστικών του καιρού και του κλίματος για κάθε περιοχή. Η ύπαρξη ατμοσφαιρικής ευστάθειας συνεπάγεται ηλιόλουστο και ξηρό καιρό και αποτελεί ισχυρό παράγοντα αντικυκλογένεσης, ενώ η επικράτηση της αστάθειας ευνοεί γενικά το συννεφιασμένο και βροχερό καιρό, δημιουργώντας παράλληλα τις κατάλληλες συνθήκες για κυκλογένεση (Lolis et al. 2012). Ο βαθμός ευστάθειας (ή αστάθειας) της ατμόσφαιρας, καθορίζεται κυρίως από τα κατακόρυφα προφίλ της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα.

Κύρια προϋπόθεση για τη δημιουργία των φαινομένων της καταιγίδας, είναι η ύπαρξη ικανοποιητικής ποσότητας υδρατμών στην ατμόσφαιρα ώστε, σε συνδυασμό με τις ανοδικές κινήσεις λόγω αστάθειας, να αναπτυχθούν τα καταιγιδοφόρα νέφη. Για να επικρατεί αστάθεια, άρα και ανοδικές κινήσεις, πρέπει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος να είναι χαμηλότερη από αυτήν της αέριας μάζας ούτως ώστε εκείνη να ανέλθει στην ατμόσφαιρα. Οι ανοδικές κινήσεις, πολλές φορές είναι αποτέλεσμα επιφανειακής θέρμανσης, διότι σε αυτήν την περίπτωση ο αέρας που εφάπτεται στο έδαφος θα αποκτά ολοένα και υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτή η πιο υψηλή θερμοκρασία καθιστά τον αέρα στα χαμηλότερα σημεία της ατμόσφαιρας αραιότερο και επομένως ξεκινάει την ανύψωσή του. Ένα ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη της ατμοσφαιρικής αστάθειας είναι η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα περιβάλλοντος γ (environmental lapse rate), δηλαδή η βαθμίδα πτώσης της θερμοκρασίας κατά την κατακόρυφο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και συμβολίζεται ως:

$$\gamma = -\frac{\partial T}{\partial Z}. \quad (1.2)$$

Αντίστοιχα με το περιβάλλον, υπάρχουν και θερμοβαθμίδες για τις αέριες μάζες που κινούνται μέσα στην ατμόσφαιρα. Οι θερμοβαθμίδες αυτές αλλάζουν ανάλογα με το αν η αέρια μάζα που ανέρχεται στην ατμόσφαιρα είναι κορεσμένη ή όχι σε υδρατμούς. Στην περίπτωση ακόρεστης αέριας μάζας που ανέρχεται στην ατμόσφαιρα, τότε ο ρυθμός αδιαβατικής ψύξης ονομάζεται ξηρή κατακόρυφη αδιαβατική θερμοβαθμίδα γ_d (dry adiabatic lapse rate). Για αυτήν τη θερμοβαθμίδα ισχύουν τα εξής:

$$\gamma_d = -\frac{dT}{dz} = \frac{g}{c_p} \cong 10 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}. \quad (1.3)$$

όπου:

c_p : ειδική θερμοχωρητικότητα του ξηρού αέρα υπό σταθερή πίεση

g : επιτάχυνση της βαρύτητας

Όταν η αέρια μάζα η οποία ανέρχεται είναι κορεσμένη σε υδρατμούς, τότε ο ρυθμός αδιαβατικής ψύξης της ονομάζεται υγρή κατακόρυφη αδιαβατική θερμοβαθμίδα γ_s (moist adiabatic lapse rate). Για τη συγκεκριμένη θερμοβαθμίδα έχουν ισχύ τα παρακάτω:

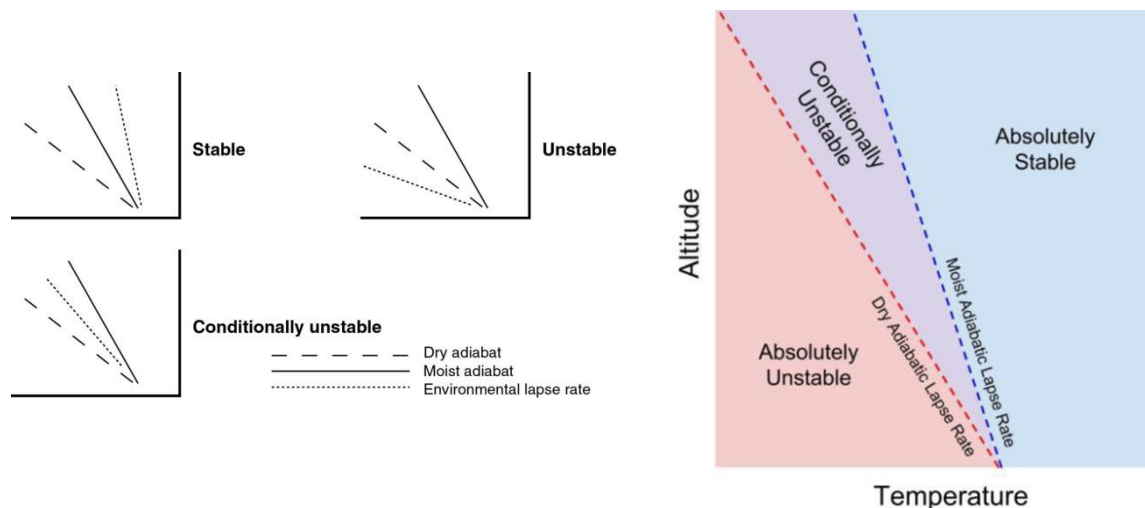
$$\gamma_s = -\frac{dT}{dz} \cong 6 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{km}. \quad (1.4)$$

Ανάλογα με τη σχέση που έχουν μεταξύ τους οι τρεις θερμοβαθμίδες γ , γ_d και γ_s διακρίνονται τρεις διαφορετικές καταστάσεις στην ατμόσφαιρα.

- απόλυτα ευσταθής ατμόσφαιρα (absolute stable atmosphere), όταν $\gamma < \gamma_s < \gamma_d$

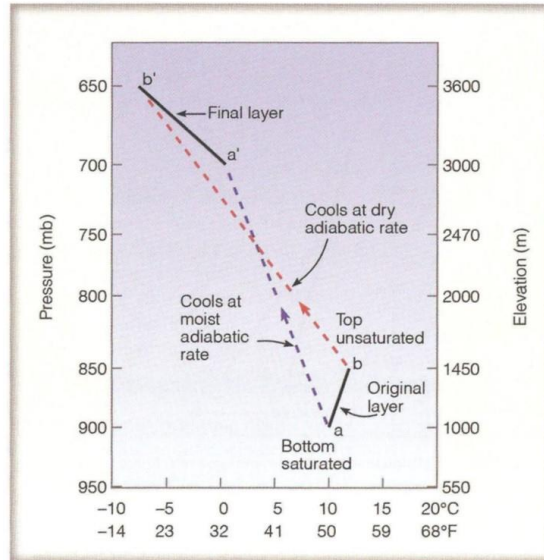
- απόλυτα ασταθής ατμόσφαιρα (absolute unstable atmosphere), όταν $\gamma > \gamma_d > \gamma_s$
- υπό όρους ασταθής ατμόσφαιρα (conditionally unstable atmosphere), όταν $\gamma_d > \gamma > \gamma_s$

Οι παραπάνω περιπτώσεις ατμοσφαιρικής ισορροπίας, παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.4, τόσο κάθε μια ξεχωριστά όσο και όλες μαζί σε κοινό διάγραμμα.



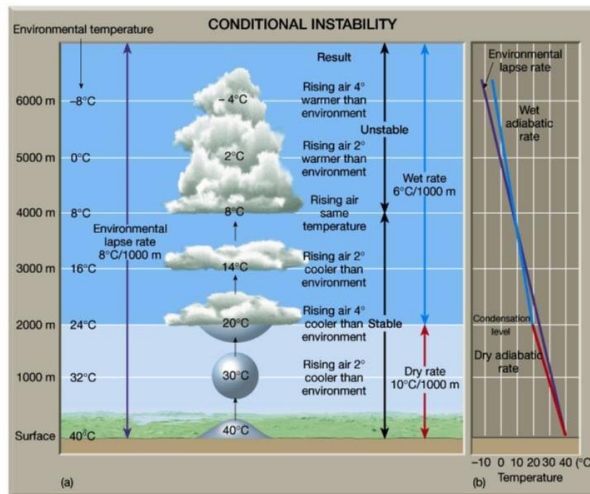
Σχήμα 1.4: Αναπαράσταση των περιπτώσεων στατικής ευστάθειας ή αστάθειας στην ατμόσφαιρα μέσω διαγραμμάτων, ανάλογα με τις τρεις σχέσεις που παρουσιάζουν οι θερμοβαθμίδες

Τέλος υπάρχουν και ορισμένες περιπτώσεις κατά τις οποίες μια αέρια μάζα ενδέχεται να αλλάξει τη θερμοβαθμίδα της κατά τη διάρκεια της ανύψωσής της. Πρόκειται για την ανωμεταφορική αστάθεια (convective instability) και για την υπό όρους ή λανθάνουσα αστάθεια (Pepler, 1988). Στην περίπτωση της ανωμεταφορικής αστάθειας θεωρούμε ένα ευσταθές στρώμα με πιο υψηλή τιμή της σχετικής υγρασίας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, να μετατρέπεται σε ασταθές καθώς ανυψώνεται. Αυτό συμβαίνει λόγω ύπαρξης κατακόρυφης βαθμίδας της σχετικής υγρασίας στο ατμοσφαιρικό στρώμα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της εσωτερικής κατακόρυφης θερμοβαθμίδας του. Αυτή η μεταβολή είναι απόρροια του γεγονότος ότι τα επιμέρους στοιχεία του στρώματος ψύχονται με διαφορετικό βαθμό κατά την ανύψωση (είτε γ_s είτε γ_d). Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.5, το ευσταθές στρώμα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους ($T_a < T_b$), ψύχεται με διαφορετικές θερμοβαθμίδες καθώς ανέρχεται, με αποτέλεσμα σε μια πιο υψηλή στάθμη να έχει προκύψει ένα ασταθές στρώμα ($T_{a'} > T_{b'}$).



Σχήμα 1.5: Ανωμεταφορική αστάθεια που «μετατρέπει» ένα στρώμα από ευσταθές σε ασταθές καθώς αυτό ανέρχεται στην ατμόσφαιρα

Στη δεύτερη περίπτωση, αυτήν της υπό όρους ή λανθάνουσας αστάθειας, συμβαίνει η αέρια μάζα να ξεκινάει την ανύψωσή της ακόρεστη από υδρατμούς ψυχόμενη αδιαβατικά με γ_d μέχρις ότου καταστεί κορεσμένη υδρατμών και συνεχίσει την αδιαβατική ψύξη της με γ_s . Το σημείο στο οποίο η αέρια μάζα γίνεται κορεσμένη υδρατμών και συνεχίζει την ανύψωσή της με την υγρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα, ονομάζεται επίπεδο συμπύκνωσης λόγω ανύψωσης (Lifted Condensation Level, LCL).



Σχήμα 1.6: Αναπαράσταση της υπό όρους (λανθάνουσας) αστάθειας με την εναλλαγή της θερμοβαθμίδας από γ_d σε γ_s

Το επίπεδο συμπύκνωσης LCL μπορεί να προσδιορισθεί με τη δημιουργία και τη χρήση ενός τεφιγράμματος, το οποίο αποτελεί ένα θερμοδυναμικό διάγραμμα και περιλαμβάνει δεδομένα (θερμοκρασία, σημείο δρόσου), της ατμόσφαιρας για ένα συγκεκριμένο τόπο και συγκεκριμένη μέρα. Τα δεδομένα της ανώτερης ατμόσφαιρας λαμβάνονται από μετεωρολογικά μπαλόνια μέσω της διαδικασίας της ραδιοβόλισης. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη ούτως ώστε να γνωρίσουμε την κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και των υδρατμών (Elliot and Gaffen, 1991). Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και σημαντική, διότι έχει βοηθήσει πολύ την επιστημονική κοινότητα

και επιπλέον, μπορεί να προβλέψει ημέρες αστάθειας ανάλογα με τις παρατηρήσεις που θα γίνουν καθ' ύψος. Ωστόσο, το δίκτυο των ραδιοβολίσεων είναι πάρα πολύ αραιό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα κάποιες μελέτες να «πάσχουν» από ανεπάρκεια δεδομένων και αξιοπιστίας.

1.4 Δείκτες αστάθειας

Η ποσοτικοποίηση του βαθμού αστάθειας επιτυγχάνεται με τον ορισμό των λεγόμενων δεικτών αστάθειας. Οι δείκτες αστάθειας έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν τόσο την έρευνα όσο και την επιχειρησιακή πρόγνωση των έντονων καιρικών φαινομένων με την ποσοτικοποίηση της θερμοδυναμικής αστάθειας καθ' ύψος με τη βοήθεια δεδομένων ραδιοβόλισης. Σε διεθνή κλίμακα ένας αρκετά μεγάλος αριθμός δεικτών αστάθειας έχει προταθεί για διαγνωστικούς σκοπούς (Γαλούνη, 2014). Οι δείκτες αυτοί δεν είναι τίποτα άλλο παρά εμπειρικές σχέσεις, οι οποίες έχουν προταθεί από κάποιους ερευνητές για την ύπαρξη, ή μη, πιθανότητας εκδήλωσης μιας καταιγίδας. Ως επί το πλείστον, για τον υπολογισμό των δεικτών χρησιμοποιούνται δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας της ατμόσφαιρας. Ωστόσο μερικοί πολυπλοκότεροι δείκτες εξαρτώνται και από το διατμητικό άνεμο, τον άνεμο δηλαδή ο οποίος εμφανίζει μεγάλες αλλαγές στο μέτρο και τη διεύθυνση της ταχύτητάς του καθ' ύψος (Ζιακόπουλος, 2015). Επιπλέον, ο κάθε ένας από τους δείκτες αστάθειας, έχει διάφορες κρίσιμες τιμές οι οποίες αν ξεπεραστούν, αλλάζουν και τα φαινόμενα που θα λάβουν χώρα σε έναν τόπο. Υπάρχει συνεπώς ένα κάτω όριο για τον κάθε δείκτη το οποίο ορίζει την πιθανότητα εκδήλωσης όμβρων, καταιγίδων και άλλων ακραίων μετεωρολογικών φαινομένων. Ωστόσο, σε αυτό το «κατώφλι», σημαντικό ρόλο παίζει και η γεωγραφική θέση της αντίστοιχης περιοχής που μελετάται, καθώς επίσης και η εποχή του έτους και οι συνοπτικές καταστάσεις που επικρατούν (Michalopoulou and Jacovides, 1987; Haklander and Van Delden, 2003). Η μελέτη των δεικτών αστάθειας έχει απασχολήσει έντονα και την ελληνική επικράτεια. Διερευνώντας ορισμένες από τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά στο παρελθόν, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στο παρελθόν έχει γίνει λεπτομερής σύγκριση και ανάλυση των δεικτών αστάθειας στον ελληνικό χώρο (Dalezios and Papamanolis, 1991).

Παρακάτω θα γίνει μια σύντομη αναφορά σε ορισμένους δείκτες αστάθειας οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά στην έρευνα, πριν γίνει η εκτεταμένη αναφορά στους δύο δείκτες ενδιαφέροντος της συγκεκριμένης εργασίας, τον K και τον Total Totals.

1.4.1 Δείκτης Showalter (Showalter Index, SI)

Ο δείκτης SI (Showalter, 1953), αποτελεί μια θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa και της θερμοκρασίας μιας μάζας αέρα που ανέρχεται από την ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa σε αυτή των 500 hPa.

$$SI = T_{500}^{περ} - T_{850 \rightarrow 500}^{μαζ} \quad (1.5)$$

Ένας περιορισμός στη χρήση αυτού του δείκτη είναι ότι δε γίνεται να ληφθεί υπόψη, στην περίπτωση όπου επικρατούν συνθήκες θερμοκρασιακής αναστροφής μεταξύ των ισοβαρικών επιφανειών των 500 hPa και των 850 hPa. Μια ενδεικτική τιμή του SI είναι ότι εάν λάβει τιμές μικρότερες από -6, τότε είναι αρκετά πιθανή η εκδήλωση ενός σίφωνα.

1.4.2 Δείκτης Ανύψωσης (Lifted Index, LI)

Ο δείκτης LI, ορίζεται κατά παρόμοιο τρόπο, με τη διαφορά ότι η ανερχόμενη αέρια μάζα που καταλήγει στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa, έχει ξεκινήσει από το επίπεδο της ισοβαρικής επιφάνειας των 1000 hPa (Galway, 1956). Επομένως για τον LI ισχύει η εξίσωση 1.6

$$LI = T_{500}^{περ} - T_{1000 \rightarrow 500}^{μαζ} \quad (1.6)$$

Όπως γίνεται αντιληπτό και από την εξίσωση 1.6, ο LI δεν μπορεί να μετρηθεί αλλά μόνο να υπολογισθεί με βάση τιμές μετρήσεων. Η πιθανότητα ύπαρξης ακραίων περιπτώσεων αστάθειας (π.χ. δημιουργία σίφωνα), ενισχύεται στην περίπτωση όπου η τιμή του LI «πέσει» κάτω από -4.

1.4.3 Δείκτης Boyden (Boyden Index, BI)

Ο δείκτης Boyden, υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση 1.7:

$$BI = \Delta Z_{1000 \text{ hPa} - 700 \text{ hPa}} - T_{700 \text{ hPa}} - 200. \quad (1.7)$$

όπου $\Delta Z = (z_2 - z_1)$ είναι το πάχος του ατμοσφαιρικού στρώματος μεταξύ δύο σταθμών πιέσεων (700 hPa και 1000 hPa στην προκειμένη περίπτωση). Το πάχος αυτό εξαρτάται από τη μέση θερμοκρασία \bar{T} όπως φαίνεται στην εξίσωση 1.8 και υπολογίζεται ως εξής

$$\Delta Z = (z_2 - z_1) = \frac{R\bar{T}}{g} \ln \frac{P_1}{P_2} \text{ με } P_1 > P_2 \text{ και } z_2 > z_1. \quad (1.8)$$

Σύμφωνα με τον Boyden (1963), η χρήση του ομώνυμου δείκτη γινόταν ούτως ώστε να προσδιορισθεί η πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας κατά τη διέλευση μετώπου πάνω από το Ηνωμένο Βασίλειο. Η τιμή 94 για τον BI θεωρείται ως ένα κατώφλι για καταιγιδοφόρα δραστηριότητα στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Για την περιοχή της Μεσογείου (ή σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο), ο δείκτης η χρήση του δείκτη αυτού πρέπει να είναι προσεκτική διότι οι οριακές τιμές για την ύπαρξη των διάφορων μετεωρολογικών φαινομένων ενδέχεται να μεταβάλλονται.

1.4.4 Διαθέσιμη Δυναμική Ενέργεια Ανωμεταφοράς (Convective Available Potential Energy, CAPE)

Ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος τρόπος μελέτης της αστάθειας, είναι μέσω της ποσότητας CAPE (Convective Available Potential Energy, Διαθέσιμη Δυναμική Ενέργεια Ανωμεταφοράς). Το μέγεθος αυτό είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τα κατακόρυφα ατμοσφαιρικά προφίλ τόσο της θερμοκρασίας όσο και της υγρασίας και για το λόγο αυτό αλλάζει χωρικά και χρονικά ανάλογα με τις μεταβολές των δύο παραπάνω μεταβλητών. Ακόμα, ο CAPE έχει αποτελέσει ερευνητικό βοήθημα αρκετών μετεωρολόγων στην προσπάθεια τους για μελέτη του κλίματος της περιοχής αναφοράς της παρούσας εργασίας, της περιοχής της Μεσογείου. Κατά τη διάρκεια των περιπτώσεων όπου η τιμή του CAPE είναι υψηλότερη από 3500, τότε έχουμε εξαιρετικά ασταθή ατμόσφαιρα και πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδων και σιφώνων. Οι Ricard et al. (2012), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η τα περιστατικά βροχόπτωσης στις ορεινές περιοχές της Μεσογείου που διήρκησαν πολλές μέρες, ήταν αποτέλεσμα υψηλών τιμών αυτού του δείκτη. Ακόμα λόγω του γεγονότος ότι ο CAPE δεν εξετάζει δεδομένα για μεμονωμένες στάθμες αλλά για ολόκληρη την ατμόσφαιρα, θεωρείται ως ένας από τους καλύτερους δείκτες ευστάθειας ή αστάθειας της ατμόσφαιρας (Ζιακόπουλος, 2015). Ακόμη παρόμοια μελέτη με αυτή της παρούσης εργασίας έχει πραγματοποιηθεί και για το δείκτη CAPE (Lolis, 2017).

1.4.5 Αποτροπή Ανωμεταφοράς (Convective Inhibition, CIN)

Ο CIN αποτελεί μια ποσότητα που μας δείχνει το ποσό της ενέργειας που απαιτείται ούτως ώστε μια μάζα αέρα να ανυψωθεί από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς (Level of Free Convection, LFC). Το LFC είναι το επίπεδο στο οποίο μια ήδη ανυψωμένη αέρια μάζα, ξεκινάει επιταχυνόμενη κίνηση μέχρι να φτάσει στο επίπεδο ισορροπίας. Τόσο η ποσότητα CAPE όσο και η ποσότητα CIN, υπολογίζονται από εμβαδά σε συγκεκριμένες περιοχές ενός τεφιγράμματος. Οι κλιματολογικές μελέτες των CAPE και CIN παρέχουν μια

σαφέστερη εικόνα της δημιουργίας και της ραγδιότητας της ατμοσφαιρικής ανωμεταφοράς (Riemann-Campe et al. 2009).

1.5 Δείκτης K (K)

Ο δείκτης K, αποτελεί έναν από τους περισσότερο χρησιμοποιούμενους διαδομένους δείκτες αστάθειας στην επιστημονική κοινότητα. Υπολογίζεται με τη χρήση δεδομένων θερμοκρασίας και θερμοκρασίας δρόσου, σύμφωνα με την εξίσωση 1.9 (Jacovides and Yonetani, 1990).

$$K = (T_{850hPa} - T_{500hPa}) + (T_{d850hPa}) - (T_{700hPa} - T_{d700hPa}). \quad (1.9)$$

Όπως παρατηρείται στην εξίσωση 1.9, ο δείκτης K είναι μια συνάρτηση της καθ' ύψους μεταβολής της θερμοκρασίας (α' όρος), της περιεκτικότητας σε υγρασία της κατώτερης τροπόσφαιρας (β' όρος) και της καθ' ύψους επέκτασης του υγρού στρώματος (γ' όρος) (George, 1960). Μπορεί, λοιπόν να εκτιμηθεί πως ο δείκτης K αυξάνεται με την αύξηση της υγρασίας στο ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa, με την αύξηση της σχετικής υγρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 700 hPa και τέλος με την ελάττωση της στατικής ευστάθειας μεταξύ των ισοβαρικών επιφανειών 850 hPa και 500 hPa (Chrysoulakis et al. 2003). Ο δείκτης K είναι αποτέλεσμα προσθαφαιρέσεων τιμών θερμοκρασίας, επομένως μονάδα μέτρησής του είναι οι βαθμοί θερμοκρασίας, είτε Κελσίου (°C) είτε Κέλβιν (K). Σύμφωνα με τους Andersson et al. (1989) όταν ο δείκτης K λάβει τιμή μεγαλύτερη από 20°C, τότε είναι αρκετά πιθανό να εκδηλωθούν καταιγίδες. Μια αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι πως εφόσον ο υπολογισμός του K περιλαμβάνει τη διαφορά θερμοκρασίας και θερμοκρασίας δρόσου στη στάθμη των 700 hPa, ο ξηρός αέρας στο συγκεκριμένο επίπεδο θα έχει ως επακόλουθο χαμηλές τιμές του δείκτη. Παρόλα αυτά, η ύπαρξη καταιγίδων δε θα πάψει να υφίσταται, αν και μόνο αν, κάτω από τη συγκεκριμένη στάθμη επικρατούν υψηλές τιμές υγρασίας και συνδυάζονται με ανωμεταφορικές κινήσεις και συνθήκες αστάθειας. Η παραπάνω κατάσταση αποτελεί ενδεχομένως ένα από τα μειονεκτήματα στη χρήση του δείκτη K. Ωστόσο, σε αντιδιαστολή με το παραπάνω μειονέκτημα, έρχεται ο εύκολος υπολογισμός του δείκτη K. Δε χρειάζεται τίποτε περισσότερο από δεδομένα σημείων πλέγματος, τα οποία πολύ εύκολα μπορούν να ληφθούν και επεξεργασθούν από βάσεις δεδομένων και ραδιοβολίσεις. Επομένως αυτό τον καθιστά έναν καλό δείκτη για τη μελέτη των γενικών χωρικών χαρακτηριστικών της ατμοσφαιρικής ευστάθειας στην κατώτερη τροπόσφαιρα σε μεγάλη περιοχή αναφοράς, δίχως να λαμβάνονται υπόψη πιθανές εδαφολογικές ιδιομορφίες (Lolis, 2007).

Στον Πίνακα 1.1 φαίνονται οι κρίσιμες τιμές του δείκτη K μαζί με τα φαινόμενα, που συναντώνται σε κάθε εύρος τιμών (Sturtevant, 1995).

Πίνακας 1.1: Η αναμενόμενη καιρική κατάσταση που θα επικρατεί στην ατμόσφαιρα, ανάλογα με τις τιμές του δείκτη K

Τιμές δείκτη K (°C)	Αναμενόμενη καιρική κατάσταση
<15	Καμία σημαντική δραστηριότητα (ευστάθεια)
15-25	Πιθανή σταθερή βροχόπτωση, μεμονωμένες καταιγίδες
26-30	Πιθανή σταθερή βροχόπτωση, αρκετά διάσπαρτες καταιγίδες
31-35	Σταθερή βροχόπτωση, διάσπαρτες καταιγίδες
>35	Πολυάριθμες καταιγίδες

1.6 Δείκτης Total Totals (TT)

Σύμφωνα με τον Miller (1967), ο δείκτης Total Totals είναι άθροισμα δύο άλλων δεικτών, του Vertical Total (VT), που αποτελεί το μέτρο της υπό συνθήκη αστάθειας πάνω από το οριακό στρώμα και του Cross Total (CT), ο οποίος είναι το μέτρο της υγρασίας στην κατώτερη και μέση ατμόσφαιρα. Για τους VT και CT ισχύουν εξισώσεις 1.10:

$$VT = T_{850hPa} - T_{500hPa} \quad \& \quad CT = T_{d850} - T_{500}. \quad (1.10)$$

Προσθέτοντας τις παραπάνω ισότητες και δεδομένου ότι $TT = VT + CT$, καταλήγουμε στην εξίσωση 1.11 η οποία είναι η εξίσωση υπολογισμού του δείκτη Total Totals και έχει ως εξής:

$$TT = (T_{850hPa} - T_{500hPa}) + (T_{d850hPa} - T_{500hPa}) = T_{850hPa} + T_{d850hPa} - 2T_{500hPa}. \quad (1.11)$$

Ακριβώς όπως ο δείκτης K, έτσι και ο Total Totals έχει μονάδες μέτρησης βαθμούς θερμοκρασίας, είτε σε Κελσίου (°C) είτε σε Κέλβιν (K). Οι τιμές και αυτού του δείκτη λαμβάνονται εύκολα από βάσεις δεδομένων και ραδιοβολίσεις, και ως εκ τούτου, μπορούν εύκολα να πραγματοποιηθούν κλιματολογικές μελέτες της ευστάθειας της ατμόσφαιρας κάνοντας χρήση του δείκτη Total Totals. Ο δείκτης συμπεριλαμβάνει στον υπολογισμό του τη θερμοκρασιακή διαφορά που δημιουργείται μεταξύ των ισοβαρικών επιπέδων των 850 hPa και των 500 hPa καθώς επίσης και την υγρασία του χαμηλότερου επιπέδου της ατμόσφαιρας πάνω από το οριακό στρώμα. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.5 για το δείκτη K, έτσι και στο δείκτη Total Totals η χρήση πρέπει να είναι αρκετά προσεκτική και να προϋποθέτει ύπαρξη ενδεδειγμένης ποσότητας υδρατμών στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Αυτό πρέπει να συμβεί για το λόγο ότι μπορεί ο δείκτης να λάβει υψηλή τιμή η οποία θα προέρχεται εξ ολοκλήρου από τον όρο του Vertical Total, ενώ ο Cross Totals δε θα έχει σχεδόν καθόλου επιρροή στην υψηλή αυτή τιμή του Total Totals. Ως εκ τούτου, η υψηλή τιμή του δείκτη σε συνδυασμό με την απουσία της κατάλληλης ποσότητας υδρατμών, θα δημιουργήσει μια σύγχυση καθώς η πιθανότητα εμφάνισης καταιγίδας θα είναι ιδιαίτερα μικρή, παρά την προειδοποιητική τιμή του δείκτη (Πεξάρας, 2012).

Ο δείκτης Total Totals, μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκ των προτέρων για την κατηγοριοποίηση των επερχόμενων ημερών σε καταιγιδόφορες ή μη (Khole and Biswas, 2007). Παρόλο που δεν περιγράφει εξ ολοκλήρου τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, μπορεί να δώσει μια σημαντική πιθανότητα εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων με τη χρήση των κρίσιμων τιμών του δείκτη. Παρακάτω, στον Πίνακα 1.2 φαίνονται οι οριακές τιμές του δείκτη Total Totals μαζί με την αναμενόμενη καιρική κατάσταση για κάθε μια από αυτές (Βλάχου και Χριστοδούλου, 2010).

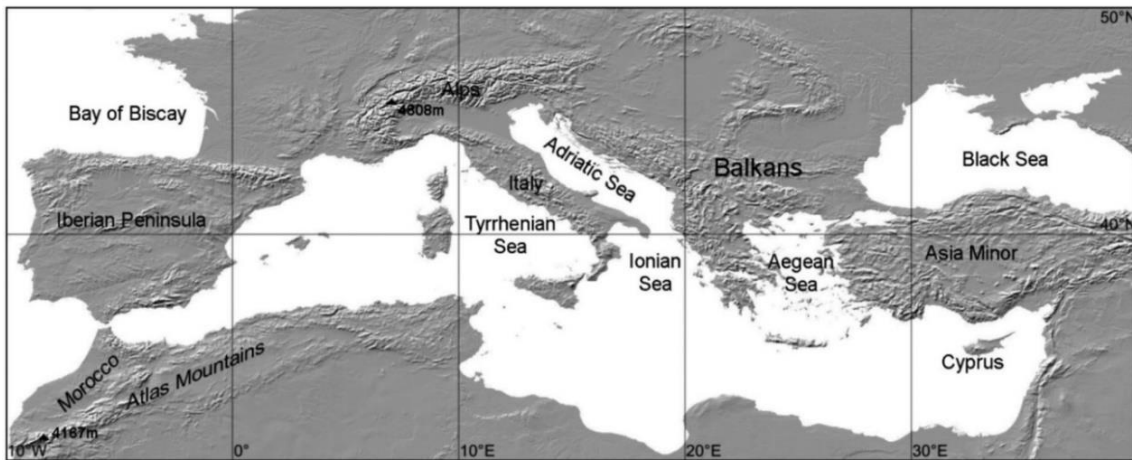
Πίνακας 1.2: Η αναμενόμενη καιρική κατάσταση που θα επικρατεί στην ατμόσφαιρα, ανάλογα με τις τιμές του δείκτη Total Totals

Τιμές δείκτη Total Totals (°C)	Αναμενόμενη καιρική κατάσταση
<44	Καμία σημαντική δραστηριότητα (ευστάθεια)
44-45	Μεμονωμένες καταιγίδες
46-47	Διάσπαρτες καταιγίδες (μερικές μέτριας έντασης)
48-49	Διάσπαρτες καταιγίδες (μερικές μέτριας έντασης και μεμονωμένες ισχυρές)
50-51	Διάσπαρτες καταιγίδες (μερικές ισχυρές και μεμονωμένοι σίφωνες)

52-58	Διάσπαρτες έως και πολυάριθμες καταιγίδες μέτριας έντασης (μερικές διάσπαρτες ισχυρές και μερικοί σίφωνες)
>59	Πολυάριθμες καταιγίδες μέτριας έντασης, διάσπαρτες ισχυρές και σίφωνες

1.7 Μεσόγειος Θάλασσα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, η περιοχή όπου εστιάζεται το ενδιαφέρον στην παρούσα εργασία, είναι η Μεσόγειος Θάλασσα. Η μελέτη των κλιματικών χαρακτηριστικών της Μεσογείου είναι πολύ σημαντική και ενδιαφέρουσα τόσο διότι εκεί ζουν και δραστηριοποιούνται εκατομμύρια άνθρωποι όσο και γιατί αποτελεί αξιόλογο κομμάτι της ναυσιπλοΐας.



Σχήμα 1.7: Η υπό μελέτη περιοχή της Μεσογείου Θάλασσας

Παρόλο που γίνεται αναφορά στην περιοχή της Μεσογείου Θάλασσας, η μελέτη δεν περιορίζεται αποκλειστικά και μόνο στο υδάτινο κομμάτι της λεκάνης της Μεσογείου. Στο Σχήμα 1.8 φαίνεται ότι μέσα στον υπό μελέτη χώρο βρίσκεται η κεντρική και νότια Ευρώπη, όλες οι βόρειες ακτές της Αφρικής, η Μικρά Ασία, καθώς επίσης η Μαύρη Θάλασσα και ο Βискаϊκός κόλπος. Πρόκειται επομένως για μια μεταβατική ζώνη μεταξύ της Ευρωπαϊκής και της Αφρικανικής Ηπείρου. Στην περιοχή αυτή κυριαρχεί το λεγόμενο «Μεσογειακό κλίμα» το οποίο συμπεριλαμβάνεται και στην ταξινόμηση Köppen's. Η περιοχή αυτή έχει πολλά μορφολογικά, γεωγραφικά, ιστορικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά τα οποία σύμφωνα με τους Lionello et al. (2006), καθιστούν το κλίμα της ιδιαίτερα ενδιαφέρον. Το συγκεκριμένο, αποτελεί ένα ιδιαίτερο υποτροπικό κλίμα το οποίο χαρακτηρίζεται από ξηρά, ζεστά και ηλιόλουστα καλοκαίρια, και ήπιους ελαφρώς βροχερούς χειμώνες. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Galanaki et al. (2018), οι ετήσιες ημέρες εμφάνισης καταιγίδων στη Μεσόγειο έχουν άμεση εξάρτηση από τον εποχικό ηλιακό κύκλο και από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής. Οι Lolis et al. (2012), κατέληξαν σε 3 χαρακτηριστικούς τύπους αστάθειας στη Μεσόγειο, καθένας εκ των οποίων έχει άμεση επιρροή από την εποχή και την περιοχή στην οποία συναντάται. Ο Lolis (2007), μελέτησε τα κλιματικά χαρακτηριστικά του δείκτη K στην περιοχή της Μεσογείου ανακαλύπτοντας ορισμένα πολύ ενδιαφέροντα πράγματα για την αστάθεια στην περιοχή αυτή.

1.8 Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να βρεθούν τα κλιματικά χαρακτηριστικά των δεικτών K και Total Totals στην περιοχή της Μεσογείου κατά την περίοδο 1959 – 2021. Αρχικά θα μελετηθεί η

μέση χωρική κατανομή των δύο δεικτών κατά δίμηνο, ενώ στη συνέχεια θα μελετηθεί η μέση ενδοετήσια διακύμανση των συγκεκριμένων δεικτών. Στη συνέχεια, θα μελετηθεί η διαχρονική διακύμανση και οι πιθανές τάσεις των δύο δεικτών κατά την υπό μελέτη περίοδο, εστιάζοντας στις περιοχές με κοινή διακύμανση των δύο δεικτών. Τέλος, στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας, μελετώνται οι συνθήκες της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας οι οποίες ευνοούν την επικράτηση ακραία υψηλών τιμών αστάθειας στην υπό μελέτη περιοχή.

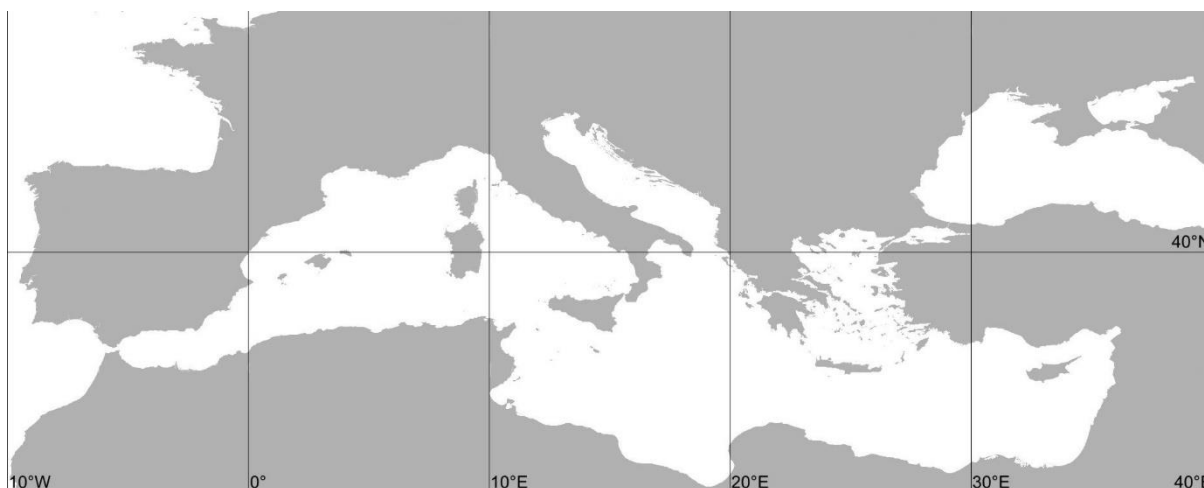
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Δεδομένα

Για την εκπόνηση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, ελήφθησαν ημερήσιες τιμές για τις παρακάτω παραμέτρους, από 1 Ιανουαρίου 1959 έως και 31 Δεκεμβρίου 2021, για τις 12 UTC

- 1) Δείκτης K
- 2) Δείκτης Total Totals
- 3) Γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa (GH 500)
- 4) Γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa (GH 1000)
- 5) Θερμοκρασία στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa (T 850)

Οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων, αφορούν στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, και συγκεκριμένα μεταξύ των μεσημβρινών 10°W και 40°E (51 σημεία που αφορούν στο γεωγραφικό μήκος) και μεταξύ των παραλλήλων 30°N και 50°N (21 σημεία που αφορούν στο γεωγραφικό πλάτος). Τα δεδομένα αυτά είχαν ανάλυση πλέγματος 1°×1°, και από αυτό προκύπτει και ο συνολικός αριθμός των σημείων ενδιαφέροντος, τα οποία είναι 1071 (21×51). Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται ο χάρτης που παρουσιάζει ολόκληρη την περιοχή που θα γίνει η ανάλυση της εργασίας.



Σχήμα 2.1: Η περιοχή ενδιαφέροντος της μελέτης αυτής

Οι τιμές αυτές, ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων ERA5. Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων, συνδυάζει τεράστιες ποσότητες ιστορικών παρατηρήσεων σε παγκόσμιες εκτιμήσεις, χρησιμοποιώντας προηγμένα συστήματα μοντελοποίησης και αφομοίωσης δεδομένων. Ακόμα η ERA5 αποτελεί την πέμπτη γενιά ατμοσφαιρικών αναλύσεων του ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecast) για το κλίμα παγκοσμίως, με τα πρώτα δεδομένα του να έρχονται από τον Ιανουάριο του 1940. Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων αντικαθιστά την ERA – Interim, η οποία σταμάτησε να παράγεται στις 31 Αυγούστου 2019. (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>). Μερικές από τις διαφορές μεταξύ των ERA5 και ERA – Interim, είναι η καλύτερη χωρική και χρονική ανάλυση των δεδομένων της ERA5 καθώς πραγματοποιεί καλύτερη αναπαράσταση των βαρυτικών κυμάτων, των τροπικών κυκλώνων και άλλων διαφόρων ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών σε συνοπτική και μέση κλίμακα. Τέλος, ένα ακόμη πλεονέκτημα στη χρήση της ERA5 είναι πως τα δεδομένα της δυνητικής θερμοκρασίας στη στρατόσφαιρα είναι ιδιαίτερα βελτιωμένα και η κατάσταση αυτή «μαρτυρά» καλύτερη συνέπεια του προγνωστικού μοντέλου ECMWF (Hoffmann et al. 2019) Πέραν από τις

παραμέτρους που έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία, η βάση δεδομένων ERA5, παρέχει μια πληθώρα ατμοσφαιρικών, χερσαίων και ωκεάνιων κλιματικών παραμέτρων. Μερικές από αυτές επιγραμμικά είναι, η οριζόντια ταχύτητα του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους (συνιστώσες u και v), η θερμοκρασία και το σημείο δρόσου στα 2 μέτρα από το έδαφος, η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας και η συνολική βροχόπτωση (<https://cds.climate.copernicus.eu/>).

2.2 Μεθοδολογία

Ένα από τα αρχικά ζητήματα στην κλιματική μελέτη των δύο δεικτών αστάθειας ήταν η χωρική τους κατανομή στο χρόνο. Η συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε να γίνει ανά δίμηνο του έτους (Ιανουάριος-Φεβρουάριος, Μάρτιος-Απρίλιος, Μάιος-Ιούνιος, Ιούλιος-Αύγουστος, Σεπτέμβριος-Οκτώβριος, Νοέμβριος-Δεκέμβριος), οπότε και έπρεπε να κατασκευαστούν οι κατάλληλοι χάρτες μέσω των τιμών και τυπικών αποκλίσεων για κάθε δείκτη σε κάθε μια περίοδο μελέτης. Για να γίνει αυτό, χωρίστηκαν αρχικά τα δεδομένα του κάθε δείκτη σε δίμηνα και στη συνέχεια ορίστηκε η μέση τιμή κάθε σημείου ως η μέση τιμή όλων των ημερομηνιών για το συγκεκριμένο σημείο. Αντίστοιχα, έγινε η ίδια διεργασία και για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης κάθε ενός δείκτη.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η μέση ενδοετήσια πορεία (από 1/1 έως 31/12 του έτους) του κάθε δείκτη ούτως ώστε να βρεθεί ο τρόπος που μεταβάλλεται κάθε δείκτης μέσα στο έτος στην υπό μελέτη περιοχή. Αυτή η διαδικασία έγινε μέσω της Παραγοντικής Ανάλυσης και θα αναλυθεί λεπτομερώς στην υποπαράγραφο 2.2.1. Επιπλέον, ένα καίριο ζήτημα αποτέλεσε η διαχρονική διακύμανση κάθε δείκτη ανά δίμηνο καθώς και η μελέτη της συμμεταβολής των δύο δεικτών ανά δίμηνο επίσης. Για τη μελέτη της διαχρονικής διακύμανσης εφαρμόστηκε η Παραγοντική Ανάλυση με τρόπο που θα παρουσιασθεί στην υποπαράγραφο 2.2.1, ενώ η σύγκριση των διακυμάνσεων των δύο δεικτών, πραγματοποιήθηκε για τις περιοχές στις οποίες οι δείκτες παρουσιάζουν υψηλό βαθμό συνδιακύμανσης κατά δίμηνο.

Ακόμα, στο τελευταίο μέρος της εργασίας, γίνεται ανάλυση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας των ημερών οι οποίες χαρακτηρίστηκαν ως ακραίες για τιμές των δεικτών αστάθειας K και Total Totals. Ως ημέρες ακραίας αστάθειας, χαρακτηρίστηκαν εκείνες οι οποίες πληρούσαν δύο κριτήρια. Μια ημέρα ορίζεται ως ημέρα ακραίας αστάθειας όταν τουλάχιστον στο 10% των πλεγματικών σημείων οι τιμές των δύο δεικτών ανήκουν στο άνω 5% των τιμών. Για να θεωρηθεί μια από τις παραπάνω ημερομηνίες ως ακραία και να ληφθεί υπόψιν στη συνέχεια της εργασίας, πρέπει να είναι κοινή και να εμφανίζεται τόσο στο δείκτη K όσο και στο δείκτη Total Totals.

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.1, τα σημεία που μελετώνται στην εργασία είναι 1071. Αυτά, σε συνδυασμό με τις 22995 ημερομηνίες της περιόδου μελέτης (63 έτη × 365 ημέρες κάθε έτος), δημιουργούν έναν αρκετά μεγάλο όγκο δεδομένων προς ανάλυση. Γίνεται επομένως αντιληπτό, ότι για την πραγματοποίηση της εργασίας αυτής, ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν μια σειρά από στατιστικές μέθοδοι, με σκοπό αρχικά να μειωθούν οι διαστάσεις του προβλήματος και έπειτα να ομαδοποιηθούν τα αποτελέσματα και να μπορούν να μελετηθούν ευκολότερα. Οι στατιστικές αυτές μέθοδοι είναι η Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis) και η Ανάλυση κατά Συστάδες (Cluster Analysis).

2.2.1 Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis)

Οι Manly (1986) και Jolliffe (1986), αναφέρουν ότι η Παραγοντική Ανάλυση είναι μια μέθοδος ελάττωσης της διαστατικότητας που εκφράζει μια ομάδα p μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_p , σε όρους ενός μικρότερου αριθμού νέων ορθογώνιων μεταβλητών ούτως ώστε να βρεθεί η σχέση μεταξύ αυτών και

των αρχικών p μεταβλητών. Κάθε μία από τις p αρχικές μεταβλητές, μπορεί να γραφεί ως γραμμική συνάρτηση των m νέων μεταβλητών, όπου $m < p$. Η γραμμική συνάρτηση φαίνεται στην εξίσωση 2.1:

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

όπου:

- F_1, F_2, \dots, F_m είναι οι νέες μεταβλητές, δηλαδή οι παράγοντες, (factors) και οι τιμές τους είναι τα factor scores που περιγράφουν την πορεία του κάθε factor και
- $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}$ είναι τα φορτία των παραγόντων (factors' loadings), και είναι αυτά τα οποία εκφράζουν τη συσχέτιση της αρχικής μεταβλητής X_i με τον αντίστοιχο factor F_i

Ο τελευταίος παράγοντας της γραμμικής συνάρτησης e_i , αποτελεί μια ιδιαίτερη τιμή που εκφράζει το μέρος της απόκλισης X_i το οποίο δεν περιγράφεται από τους m παράγοντες. Ωστόσο, οι παράγοντες αναλύουν ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό της αρχικής πληροφορίας, συνεπώς ο e_i , πολλές φορές δεν παίζει σημαντικό ρόλο στη μείωση της διαστατικότητας του προβλήματος. Το άθροισμα των τετραγώνων των loadings, $(\sum_{j=1}^m \alpha_{ij}^2)$, ονομάζεται "communality" της X_i , και αποτελεί το τμήμα της διακύμανσής της το οποίο περιγράφεται από το σύνολο των παραγόντων. Οι τιμές των κανονικοποιημένων παραγόντων (factors' scores) έχουν μηδενική μέση τιμή και διακύμανση μονάδα (Manly and Jorge, 2017). Ένα ακόμη βήμα, ώστε οι αρχικές μεταβλητές να καταταξιωθούν όσο το δυνατόν καλύτερα στους παράγοντες, είναι η τεχνική της περιστροφής. Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται παίρνοντας τους αρχικούς παράγοντες F_1, F_2, \dots, F_m , και κάνοντας γραμμικούς συνδυασμούς αυτών με σκοπό να δημιουργηθούν νέοι ασυσχέτιστοι παράγοντες έστω F_{m*} .

$$F_{1*} = d_{11}F_1 + d_{12}F_2 + \dots + d_{1m}F_m$$

$$F_{2*} = d_{21}F_1 + d_{22}F_2 + \dots + d_{2m}F_m$$

.

.

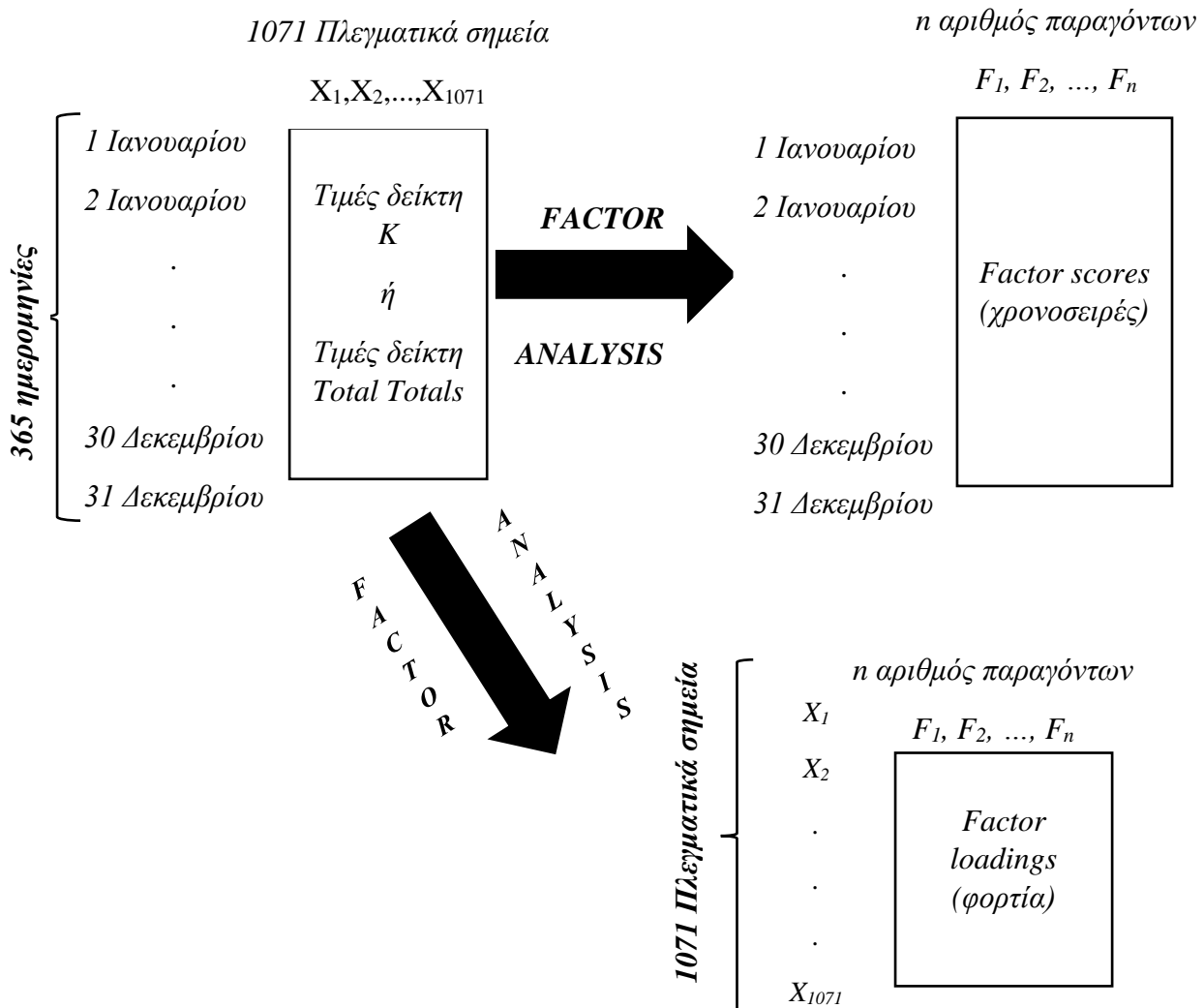
.

$$F_{m*} = d_{m1}F_1 + d_{m2}F_2 + \dots + d_{mm}F_m$$

Για την πραγματοποίηση της διεργασίας αυτής, το μόνο που απαιτείται είναι η κατάλληλη επιλογή των παραγόντων d_{im} . Ανάμεσα σε διάφορους τύπους περιστροφών, συναντάται και η περιστροφή varimax (Manly and Jorge, 2017) της οποίας γίνεται χρήση και στην παρούσα εργασία. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια τα οποία συνεισφέρουν στην επιλογή του αριθμού των παραγόντων που θα επιλεγθούν. Ένα από αυτά είναι το κριτήριο SCREE (Cattell, 1966). Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, ο αριθμός των παραγόντων που θα διατηρηθούν είναι τόσος, όσα είναι και τα σημεία που αποκλίνουν από την ευθεία γραμμή, σε ένα διάγραμμα στο οποίο αναπαρίστανται οι ιδιοτιμές του πίνακα συσχετίσεων σε φθίνουσα σειρά. Το κριτήριο αυτό δημιούργησε ο ψυχολόγος Raymond B. Cattell το 1966 και το χρησιμοποίησε σε πολλές μελέτες συμπεριφοράς, μέχρις ότου να βρει εφαρμογή σε όλες τις επιστήμες οι οποίες εφάρμοζαν την Παραγοντική Ανάλυση. Παρεμφερές κριτήριο με το SCREE, είναι το κριτήριο LEV. Η ειδοποιός διαφορά των δύο μεθόδων είναι πως στο κριτήριο LEV δε χρησιμοποιούνται οι ιδιοτιμές αυτές καθ' αυτές, αλλά γίνεται χρήση των λογαρίθμων τους. Υπάρχει επίσης και το κριτήριο Guttman σύμφωνα με το οποίο το πλήθος των παραγόντων που θα επιλεγθούν είναι ίσο με τον αριθμό των ιδιοτιμών του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών, των οποίων η τιμή τους είναι μεγαλύτερη από ένα. Ωστόσο, όποιο κριτήριο

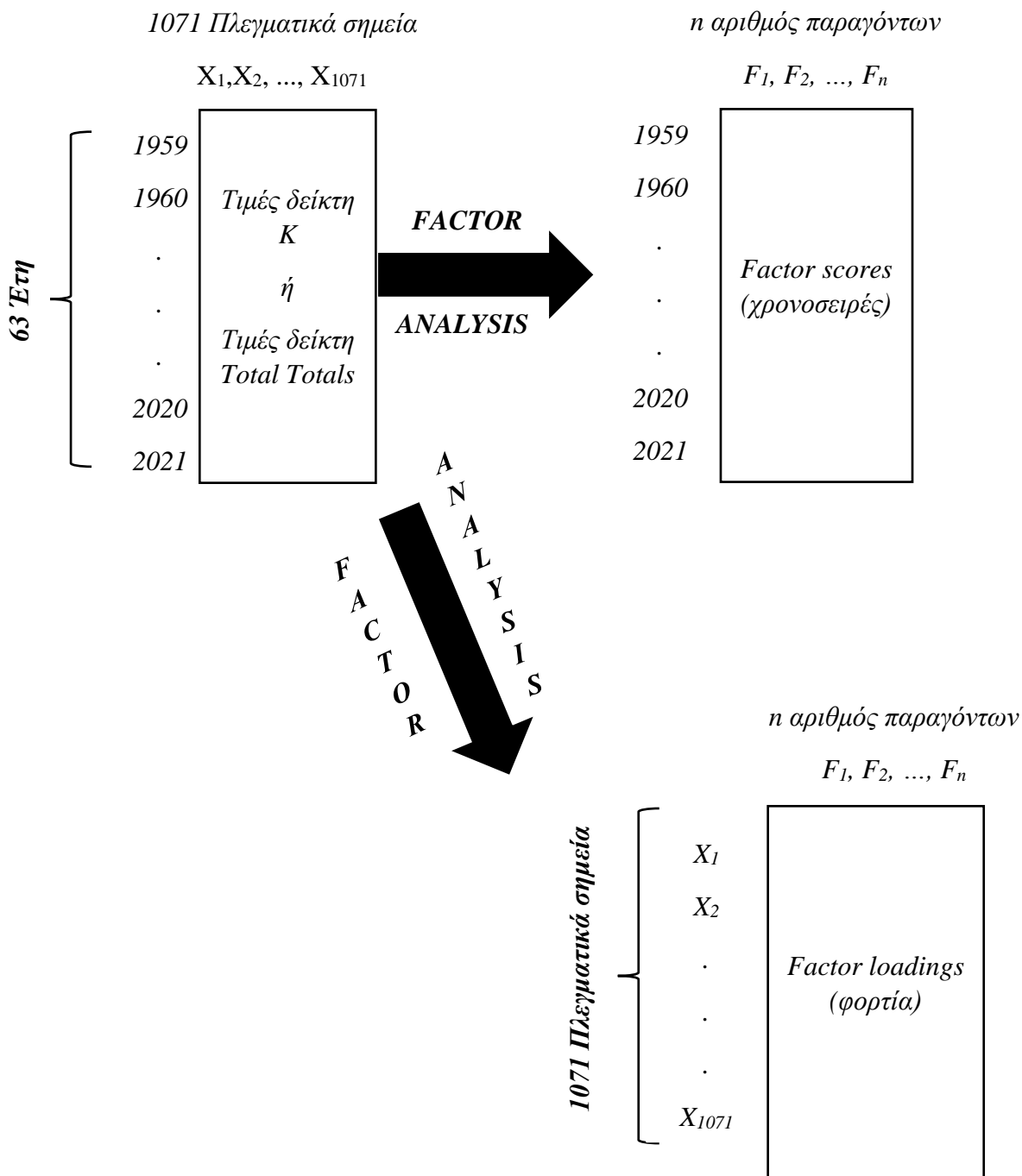
και αν επιλεγεί εν τέλει, θα πρέπει το συνολικό ποσοστό διακύμανσης να είναι γύρω στο 80% τουλάχιστον. Επιπλέον, τα αποτελέσματα πρέπει να είναι λογικά και να επιδέχονται φυσική ερμηνεία. Όλα τα παραπάνω θεωρούνται αυστηρά κριτήρια και στην πράξη όπως έχει διατυπωθεί από πολλούς ερευνητές (Bartzokas and Metaxas, 1993). Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται το κριτήριο SCREE ενώ γίνεται και έλεγχος για τη φυσική σημασία των αποτελεσμάτων θέτοντας την προϋπόθεση για κάθε έναν παράγοντα, τα loadings τα οποία είναι κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερα από 0.7 να εμφανίζονται τουλάχιστον τόσες φορές όσο είναι και το 1% των συνολικών σημείων του πλέγματος. Επομένως, για τα 1071 σημεία του πλέγματος, το 1% αυτών προκύπτει περίπου να είναι 11. Η μέθοδος της Παραγοντικής Ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία δύο φορές (από μία σε κάθε δείκτη) για τη μελέτη της μέσης ενδοετήσιας πορείας των δεικτών, ενώ ακόμη εφαρμόστηκε άλλες 12 φορές (από 6 σε κάθε ένα από τα δίμηνα για κάθε δείκτη) με σκοπό να μελετηθεί η διαχρονική διακύμανση των δύο δεικτών στην υπό εξέταση χρονική περίοδο.

Αρχικά, για την ανάλυση της μέσης ενδοετήσιας πορείας ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Από τα δεδομένα του κάθε δείκτη, βρέθηκε η μέση τιμή κάθε ημερομηνίας του έτους ούτως ώστε να καταλήξουν να υπάρχουν 365 ημερομηνίες από 1 Ιανουαρίου έως και 31 Δεκεμβρίου (αφού πρώτα είχαν αφαιρεθεί οι 29^{ες} Φεβρουαρίου που υπήρχαν ανά τετραετία). Προέκυψε επομένως ένας πίνακας στον οποίο εφαρμόστηκε η Παραγοντική Ανάλυση που περιλάμβανε 365 ημερομηνίες και 1071 πλεγματικά σημεία.



Σχήμα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση της Παραγοντικής Ανάλυσης που εφαρμόστηκε για τη μελέτη της μέσης ενδοετήσιας πορείας για κάθε έναν από τους δύο δείκτες αστάθειας

Τα αποτελέσματα των loadings, σχεδιάζονται σε χάρτες οι οποίοι δείχνουν σε ποια γεωγραφική περιοχή αντιστοιχεί ο κάθε παράγοντας, ενώ κατασκευάζονται και τα διαγράμματα των scores τα οποία δείχνουν την ενδοετήσια διακύμανση του κάθε παράγοντα. Ακόμα, η Παραγοντική Ανάλυση εφαρμόστηκε, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για τη μελέτη της διαχρονικής διακύμανσης των δύο δεικτών καθώς και για την εύρεση περιοχών συνδιακύμανσης των δύο δεικτών. Η εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης σε αυτό το κομμάτι έγινε για κάθε ένα δίμηνο για κάθε δείκτη. Αρχικά βρέθηκε για κάθε δίμηνο, η μέση τιμή του κάθε σημείου για όλες της ημερομηνίες του αντίστοιχου διμήνου του κάθε έτους. Από την παραπάνω μεσοποίηση προέκυψαν τιμές 63 ετών (μια μέση τιμή για τα δίμηνα κάθε έτους), οπότε εφαρμόστηκε η Παραγοντική Ανάλυση για τα 63 έτη και τα 1071 πλεγματικά σημεία.



Σχήμα 2.3: Σχηματική αναπαράσταση της Παραγοντικής Ανάλυσης που εφαρμόστηκε για τη μελέτη της διαχρονικής διακύμανσης για κάθε έναν από τους δύο δείκτες αστάθειας

Από τα αποτελέσματα αυτής της Παραγοντικής Ανάλυσης, θα κατασκευαστούν χάρτες των loadings που θα δείχνουν τις περιοχές στις οποίες αντιστοιχούν οι παράγοντες και διαγράμματα των scores που θα δείχνουν τη διαχρονική διακύμανση των παραγόντων. Εν συνεχεία θα γίνει η σύγκριση των δύο δεικτών με τον έλεγχο της συµµεταβολής τους κατά τα 63 έτη µελέτης.

2.2.2 Ανάλυση κατά Συστάδες (Cluster Analysis)

Η ανάλυση κατά συστάδες (Sharma, 1996) είναι µια ιδιαίτερα διαδεδοµένη στατιστική µέθοδος, η οποία έχει σκοπό την κατάταξη ενός πλήθους n παρατηρήσεων, των οποίων η περιγραφή γίνεται από m μεταβλητές, σε k οµοιογενείς οµάδες, ούτως ώστε να παρουσιάζεται όσο το δυνατόν µεγαλύτερος βαθµός οµοιογένειας σε κάθε οµάδα. Εντούτοις τα χαρακτηριστικά της κάθε οµάδας θα πρέπει να διαφέρουν από τις υπόλοιπες οµάδες όσο γίνεται περισσότερο. Για την πραγµατοποίηση του στόχου αυτού, γίνεται χρήση των αποστάσεων των παρατηρήσεων στο m -διάστατο χώρο, το οποίο δεν είναι τίποτα άλλο παρά η ευκλείδεια απόσταση όπως φαίνεται στην εξίσωση 2.2.

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{l=1}^m (x_{i,l} - x_{j,l})^2} \quad (2.2)$$

όπου D_{ij} και m , είναι η ευκλείδεια απόσταση και ο αριθµός των μεταβλητών όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ενώ $x_{i,1}$ είναι η τιµή της πρώτης μεταβλητής ($l = 1$) της i παρατήρησης και $x_{j,1}$ είναι η τιµή της πρώτης μεταβλητής ($l = 1$) της j παρατήρησης. Λόγω της ενδεχόµενης διαφορετικής κλίµακας µέτρησης της κάθε μεταβλητής, οι μεταβλητές κανονικοποιούνται ούτως ώστε να έχουν µηδενική µέση τιµή και διακύµανση ίση µε 1 µε σκοπό να αποφευχθούν πιθανά σφάλµατα. Δύο είναι οι τεχνικές κατάταξης των παρατηρήσεων σε οµάδες, η ιεραρχική, και η µη ιεραρχική (K-Means). Η ειδοποιός διαφορά των δύο µεθόδων είναι πως στη µη ιεραρχική κατάταξη, ο αριθµός των οµάδων που πρέπει να επιλεγεί είναι γνωστός από την αρχή της ανάλυσης των παρατηρήσεων. Αυτό δε συµβαίνει ωστόσο στην ιεραρχική ανάλυση, όπου ο αριθµός αυτός επιλέγεται στο τέλος της ανάλυσης των παρατηρήσεων. Στην παρούσα εργασία, γίνεται ενασχόληση µόνο µε τη µη ιεραρχική ανάλυση σε συστάδες και αυτή είναι εκείνη η οποία θα αναλυθεί στο επόµενο εδάφιο.

2.2.2.1 Μη Ιεραρχική Ανάλυση κατά Συστάδες (K – Means)

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, χαρακτηριστικό της µεθόδου αυτής, είναι το γεγονός ότι ο αριθµός των οµάδων που πρόκειται να διατηρηθούν είναι γνωστός εξ αρχής. Για το λόγο αυτό, πρέπει είτε να βρεθεί πόσες οµάδες θα διατηρηθούν από τα αρχικά δεδοµένα, είτε πρέπει να εφαρμοστεί αυτή η µέθοδος πολλές φορές, για διαφορετικό αριθµό οµάδων κάθε φορά, ώστε να επιλεγεί µε τα κατάλληλα κριτήρια ο αριθµός των οµάδων που θα διατηρηθούν. Τα στάδια αυτής της διαδικασίας, περιγράφονται ακολούθως.

- 1) Επιλογή των αρχικών κέντρων των k οµάδων. Αυτό επιτυγχάνεται ακολουθώντας τα επόµενα βήµατα:
 - α) Επιλογή των k πρώτων παρατηρήσεων ως αρχικά κέντρα.
 - β) Υπολογισµός των αποστάσεων των κέντρων μεταξύ τους και των αποστάσεων των υπόλοιπων παρατηρήσεων από τα ήδη υπάρχοντα κέντρα.
 - γ) Σε περίπτωση που η απόσταση των δύο κέντρων μεταξύ τους είναι µικρότερη από την απόσταση κάποιας παρατήρησης από ένα από αυτά τα κέντρα, τότε από τα δυο κέντρα, αυτό µε τη µικρότερη απόσταση από την παρατήρηση, αντικαθίσταται από αυτήν την παρατήρηση.

- δ) Τα βήματα β και γ επαναλαμβάνονται μέχρι οι αποστάσεις των κέντρων μεταξύ τους, να είναι όλες μεγαλύτερες από τις αποστάσεις κάθε παρατήρησης από το κέντρο.
- 2) Κατάταξη κάθε παρατήρησης σε μια ομάδα, με το κριτήριο η απόσταση της παρατήρησης από το κέντρο της ομάδας να είναι μικρότερη από την απόσταση της από τα κέντρα των άλλων ομάδων.
 - 3) Αφού ολοκληρωθεί η κατάταξη όλων των παρατηρήσεων, επαναπροσδιορίζονται τα κέντρα των ομάδων, λαμβάνοντας ως νέο κέντρο το διάνυσμα των μέσων παρατηρήσεων της ομάδας.
 - 4) Επανάληψη των βημάτων 2 και 3 μέχρι να εξαιρεθούν και να μην υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στα προηγούμενα και στα νέα κέντρα των ομάδων.

Η διαδικασία που περιγράφηκε, εμφανίζει ορισμένες παραλλαγές σχετικά με την επιλογή των κέντρων στο βήμα 1, η οποία μπορεί να γίνει είτε με τυχαία επιλογή των παρατηρήσεων είτε με τον καθορισμό τους από τον εκάστοτε ερευνητή. Ακόμη, σχετικά με τον επαναπροσδιορισμό των κέντρων των ομάδων στα βήματα 2 και 3, μπορεί να γίνει αμέσως όταν μια παρατήρηση φύγει από μια ομάδα και καταταχθεί σε μια άλλη (running means).

2.2.2.2. Η Μέθοδος του «Άλματος» (“Jump” Method)

Όπως ενδεχομένως να έχει ήδη γίνει αντιληπτό, σημαντικό στάδιο της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η επιλογή του πλήθους των ομοιογενών και διαφορετικών μεταξύ τους ομάδων στις οποίες θα γίνει η κατάταξη των παρατηρήσεων. Για την πραγματοποίηση αυτής της επιλογής έχουν υιοθετηθεί διάφοροι τρόποι. Στη συγκεκριμένη μελέτη, έχει χρησιμοποιηθεί η Μέθοδος του «Άλματος» (“Jump” Method), η οποία έχει προταθεί από τους Sugar and James (2003). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στον υπολογισμό της στρέβλωσης (distortion), που δεν είναι τίποτα άλλο παρά ένα μέτρο της διασποράς (dispersion) των παρατηρήσεων της κάθε ομάδας. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, γίνεται επανειλημμένη εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες για διαφορετικό αριθμό k κάθε φορά. Για κάθε μια από τις εφαρμογές και στην περίπτωση όπου οι μεταβλητές που περιγράφουν την κάθε παρατήρηση είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, γίνεται ο υπολογισμός της στρέβλωσης d_k σύμφωνα με την εξίσωση 2.3.

$$d_k = \frac{1}{m} \min_{c_1, \dots, c_k} E[(X - c_x)^T \Gamma^{-1} (X - c_x)] \quad (2.3)$$

όπου m: το πλήθος των μεταβλητών που περιγράφουν κάθε παρατήρηση
 X: μια m-διάστατη τυχαία παρατήρηση
 Γ: ο πίνακας των συνδιακυμάνσεων (covariance) των m μεταβλητών και
 c_1, c_2, \dots, c_k : 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 όπου ο πίνακας Γ είναι μοναδιαίος και οι m μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, τότε η στρέβλωση d_k γίνεται ίση με τη μέση τετραγωνική ευκλείδεια απόσταση ή αλλιώς ίση με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

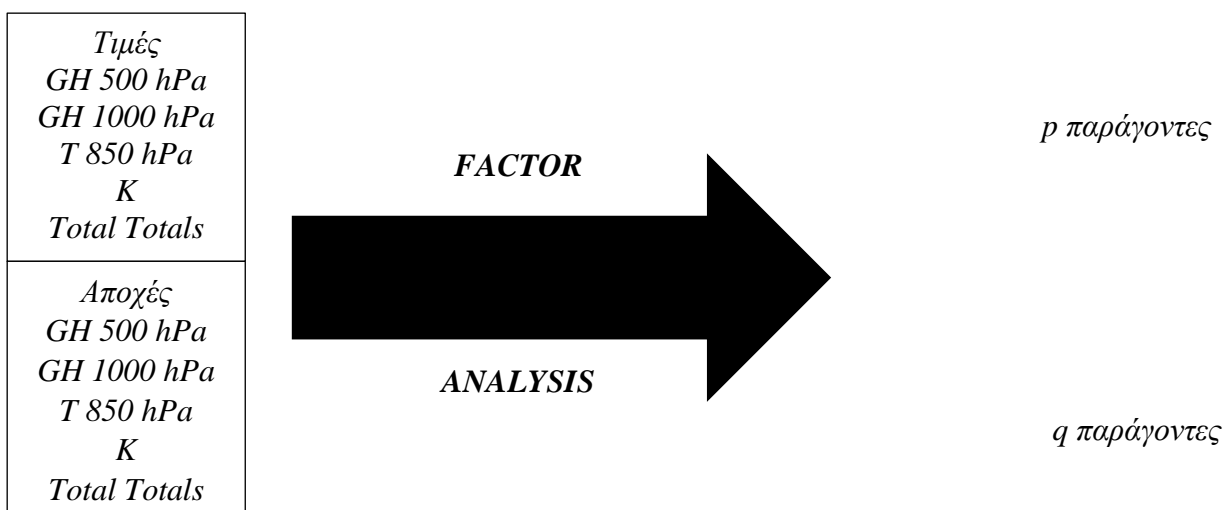
$$d_k = \frac{1}{m} \min_{c_1, \dots, c_k} E[(X - c_x)^2] \quad (2.4)$$

Σε μια γραφική παράσταση της στρέβλωσης d_k σε συνάρτηση με τον αριθμό k, η επιλογή του αριθμού των ομάδων είναι δυνατό να επιλεγεί διαλέγοντας το k τέτοιο ώστε για τη συγκεκριμένη τιμή, η στρέβλωση d_k θα έπαυε να μεταβάλλεται σημαντικά και η κλίση της καμπύλης στο διάγραμμα θα έτεινε να γίνει οριζόντια. Συνεπώς, επιπλέον διαχωρισμός των ομάδων δε θα είχε φυσικό νόημα, διότι δε θα δημιουργούνταν νέες ομάδες ακόμη πιο ομοιογενείς, αλλά θα έσπαγαν οι ήδη ομοιογενείς

ομάδες σε άλλες μικρότερες. Ωστόσο, σε ένα τέτοιο διάγραμμα έγκειται μια δυσκολία στον ακριβή υπολογισμό του σημείου όπου η καμπύλη γίνεται σχεδόν οριζόντια και για αυτό το λόγο γίνεται ο μετασχηματισμός της καμπύλης του d_k υψώνοντάς το σε μια αρνητική δύναμη. Έχει αποδειχθεί πως στην τιμή του k που είναι το καταλληλότερο πλήθος των ομάδων, η μετασχηματισμένη καμπύλη παρουσιάζει ένα άλμα. Κάποιος επιπλέον μετασχηματισμός της καμπύλης, αφαιρώντας μεταξύ τους τις συνεχόμενες τιμές των μετασχηματισμένων d_k , για τον υπολογισμό των αλμάτων, καταλήγει σε μια νέα καμπύλη, όπου η τιμή του k που παρουσιάζεται το μέγιστο άλμα, είναι το καταλληλότερο πλήθος των ομάδων στις οποίες θα γίνει η κατάταξη των αρχικών παρατηρήσεων. Στη μέθοδο που περιγράφηκε, πραγματοποιούνται τα ακόλουθα βήματα:

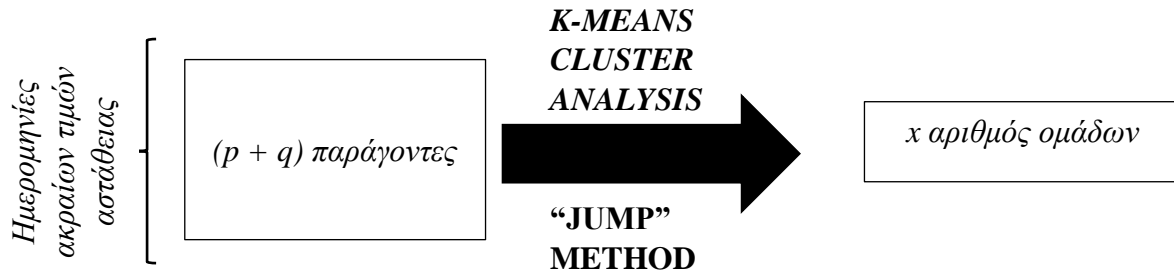
- 1) Επαναλαμβανόμενη εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες (K – Means) κάθε φορά για διαφορετική τιμή του k
- 2) Για κάθε εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες γίνεται υπολογισμός των στρεβλώσεων d_k
- 3) Επιλογή τιμή της δύναμης Y στην οποία θα υψωθεί η d_k , για να γίνει ο μετασχηματισμός της. Η τυπική τιμή της είναι $Y = m/2$, όπου m είναι το πλήθος των μεταβλητών.
- 4) Υπολογισμός αλμάτων στη μετασχηματισμένη στρέβλωση $J_k = d_k^{-Y} - d_{k-1}^{-Y}$.
- 5) Στη γραφική παράσταση του J_k ως προς τον αριθμό των k ομάδων, η τιμή k στην οποία αντιστοιχεί η μεγαλύτερη τιμή του J_k , είναι το πιο κατάλληλο πλήθος των ομάδων, οι οποίες υπάρχουν στα αρχικά δεδομένα και όπου μπορούν να καταταγούν οι παρατηρήσεις.

Στη συγκεκριμένη εργασία η Ανάλυση κατά Συστάδες εφαρμόστηκε στους πίνακες των τιμών των ημερομηνιών οι οποίες ορίστηκαν ως ημέρες υψηλής αστάθειας με τον τρόπο που αναλύθηκε στην παράγραφο 2.2, με σκοπό να γίνει μελέτη και ανάλυση των συνθηκών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν την ύπαρξη ακραία υψηλών τιμών της αστάθειας. Για την εφαρμογή της συγκεκριμένης στατιστικής μεθόδου, αρχικά εφαρμόστηκε η Παραγοντική Ανάλυση στα δεδομένα του γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 500 hPa και 1000 hPa, της θερμοκρασίας στα 850 hPa και στις τιμές των δύο δεικτών αστάθειας. Ομοίως, έγινε εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης στις τιμές των αποχών των παραπάνω δεδομένων ούτως ώστε να γίνει χρήση του συνολικού αριθμού των παραγόντων στην Ανάλυση κατά Συστάδες. Οι αποχές υπολογίστηκαν με αφαίρεση της μέσης τιμής κάθε ημερομηνίας για κάθε παράμετρο, από την εκάστοτε τιμή για ένα συγκεκριμένο πλεγματο σημείο.



Σχήμα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση της εφαρμογής της Παραγοντικής Ανάλυσης στα δεδομένα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και αστάθειας.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε στα scores των $p + q$ παραγόντων η Ανάλυση κατά Συστάδες ώστε να ομαδοποιηθούν οι περιπτώσεις ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοούν την εμφάνιση ακραία υψηλής αστάθειας σε διάφορες περιοχές της Μεσογείου.



Σχήμα 2.5: Σχηματική αναπαράσταση της εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες στους παράγοντες

Σε αυτόν τον x αριθμό των ομάδων θα κατανεμηθούν όλα τα περιστατικά των ακραίων τιμών της αστάθειας και στη συνέχεια θα δημιουργηθούν οι μέσοι χάρτες για τις παραμέτρους στις οποίες έγινε η Παραγοντική Ανάλυση στο πρώτο στάδιο (κανονικές τιμές των παραμέτρων και οι αποχές τους). Τέλος για κάθε μία ομάδα, μελετάται η μηνιαία και διαχρονική κατανομή της συχνότητας εμφάνισής της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μέση χωρική κατανομή των δύο δεικτών αστάθειας κατά δίμηνο

Για τη χωρική κατανομή του κάθε ενός δείκτη, το έτος χωρίστηκε σε δίμηνα ούτως ώστε να είναι ευκολότερος ο σχολιασμός και η ανάλυση των αποτελεσμάτων καθώς τα δεδομένα πλέον θα αφορούν σε χρονικά διαστήματα με πολλά κοινά κλιματικά χαρακτηριστικά. Παραδείγματος χάριν το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου αποτελείται από μέρες που χαρακτηρίζονται από αρκετά θερμότερη επιφάνεια του εδάφους σε σχέση με την ανώτερη ατμόσφαιρα. Ακόμα τα δίμηνα Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου και Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου έχουν κλασικά χειμερινά κλιματικά χαρακτηριστικά, όπως αντίστοιχα απόλυτα θερινά χαρακτηριστικά έχουν οι μήνες του διμήνου Ιουλίου – Αυγούστου. Τέλος, τα δίμηνα των μεταβατικών μηνών Μαρτίου – Απριλίου και Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου, αποτελούνται και αυτά από μέρες οι οποίες δεν εμφανίζουν τεράστιες διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά πάντα τα κλιματικά χαρακτηριστικά της αστάθειας.

3.1.1 Μέση χωρική κατανομή του δείκτη K κατά δίμηνο

Κατά τους δύο πρώτους μήνες του έτους (Σχήμα 3.2) παρατηρείται πως σε όλο το ηπειρωτικό κομμάτι της μελετώμενης περιοχής, η αστάθεια σύμφωνα με το δείκτη K είναι χαμηλότερη σε σχέση με το θαλάσσιο και αυτό γιατί κατά το χειμώνα στην ξηρά σημειώνονται χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι στη θάλασσα. Επιπλέον, οι τιμές αστάθειας του διμήνου αυτού είναι γενικότερα χαμηλές τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα. Αυτό συμβαίνει λόγω του γεγονότος ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα αυτούς τους μήνες, με αποτέλεσμα να ψύχεται διαρκώς η επιφάνεια του εδάφους και κατά συνέπεια οι αέριες μάζες που βρίσκονται χαμηλά, ευνοώντας με αυτόν τον τρόπο ευσταθείς ατμοσφαιρικές συνθήκες. Επιπροσθέτως, μια περιοχή ελάχιστα πιο βόρεια από την Ιταλία, έχει ιδιαίτερα χαμηλές τιμές αστάθειας και σύμφωνα με το χάρτη της τυπικής απόκλισης αυτό δεν αλλάζει ιδιαίτερα μέσα στο δίμηνο. Η περιοχή αυτή είναι η οροσειρά των Άλπεων και όπως αναμένεται έχει ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες τη συγκεκριμένη περίοδο του έτους.

Στο δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου (Σχήμα 3.3), παρατηρείται ότι η αστάθεια τείνει να γίνει υψηλότερη στα ηπειρωτικά από ότι στη θάλασσα. Αυτό συμβαίνει διότι η ηλιακή δραστηριότητα αυξάνεται σταδιακά αυτήν την περίοδο, ξεκινώντας να ζεσταίνεται μέρα με τη μέρα περισσότερο το έδαφος με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνθήκες μέτριας αστάθειας. Ακόμη και σε αυτό το δίμηνο κάνουν την εμφάνισή τους οι μικρές τιμές του δείκτη αστάθειας πάνω από την αρκετά ψυχρή οροσειρά των Άλπεων.

Στη συνέχεια, μελετώντας το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου (Σχήμα 3.4), γίνεται αντιληπτό ότι χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα ψηλές τιμές αστάθειας σύμφωνα με το δείκτη K. Κατά τους δύο αυτούς μήνες (τέλος άνοιξης και αρχές θέρους), η ηλιακή ακτινοβολία λαμβάνει από τις πιο έντονες τιμές μέσα στο έτος στο βόρειο ημισφαίριο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έντονη επιφανειακή θέρμανση του εδάφους, η οποία σε συνδυασμό με την παρουσία ψυχρών ακόμα αερίων μαζών στην ανώτερη ατμόσφαιρα δημιουργεί τις καταλληλότερες συνθήκες για να υπάρξει αστάθεια. Επιπλέον, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.4a, υψηλές τιμές αστάθειας εμφανίζονται κυρίως στα ηπειρωτικά (κεντρική και ανατολική Ευρώπη, Ιταλία και Βαλκάνια) και όχι τόσο στις υδάτινες περιοχές. Αυτό είναι άμεση απόρροια της υψηλής θερμοχωρητικότητας του νερού, όπου δεν του επιτρέπει να αλλάξει γρήγορα τη θερμοκρασία του ώστε να θερμάνει και τις αέριες μάζες που βρίσκονται άνωθεν του, κάτι το οποίο δεν ισχύει με τις ηπειρωτικές περιοχές όπου η επιφανειακή θερμοκρασία έχει τη δυνατότητα να μεταβληθεί αρκετά γρήγορα, θερμαίνοντας ταυτόχρονα και τις αέριες μάζες που

βρίσκονται στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας δημιουργώντας έτσι το έντονο φαινόμενο της αστάθειας. Επιπλέον χαρακτηριστικό της έντονης αστάθειας κατά το δίμηνο αυτό, είναι οι αρκετά χαμηλές τιμές της τυπικής απόκλισης στις περιοχές όπου επικρατούν γενικά υψηλές τιμές αστάθειας για το δείκτη K, δείχνοντας ότι καθ' όλη τη διάρκεια του, οι τιμές δεν μεταβάλλονται σημαντικά παραμένοντας σε υψηλά επίπεδα.

Μελετώντας το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου (Σχήμα 3.5) φαίνεται πως η γενική μορφή του έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με την προηγούμενη περίοδο του έτους με ιδιαίτερα υψηλές τιμές στις ηπειρωτικές περιοχές σε σχέση με τις θαλάσσιες λόγω της εντονότατης θέρμανσης του εδάφους κατά τους θερινούς μήνες. Ωστόσο μεταξύ της Κύπρου και της βορειοανατολικής Αφρικής, κυριαρχεί μια περιοχή ιδιαίτερα χαμηλών τιμών αστάθειας για το δείκτη K. Οι ετησίες είναι κύριοι υπεύθυνοι για αυτές τις χαμηλές τιμές της αστάθειας καθώς δεδομένου ότι είναι επιφανειακοί και δροσεροί βόρειοι – βορειοανατολικοί άνεμοι, κατεβάζουν τη θερμοκρασία στην περιοχή αυτή μη δημιουργώντας φαινόμενα αστάθειας. Οι ετησίες δημιουργούνται εξαιτίας του συνδυασμού του θερμικού χαμηλού που επικρατεί στη νοτιοδυτική Ασία με τον αντικυκλώνα που βρίσκεται στην κεντρική Ευρώπη και στη Μεσόγειο. Λόγω του επιφανειακού χαρακτήρα του θερμικού χαμηλού, οι ετησίες είναι και εκείνοι επιφανειακοί άνεμοι. Ακόμη, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως οι χαμηλές τιμές της αστάθειας δεν επικρατούν σε όλη τη διάρκεια του διμήνου λόγω των υψηλών τιμών της τυπικής απόκλισης στην αντίστοιχη περιοχή. Αυτό σημαίνει πως οι τιμές στο σημείο αυτό μεταβάλλονται αρκετά γύρω από τη μέση τιμή σε αυτήν τη χρονική περίοδο.

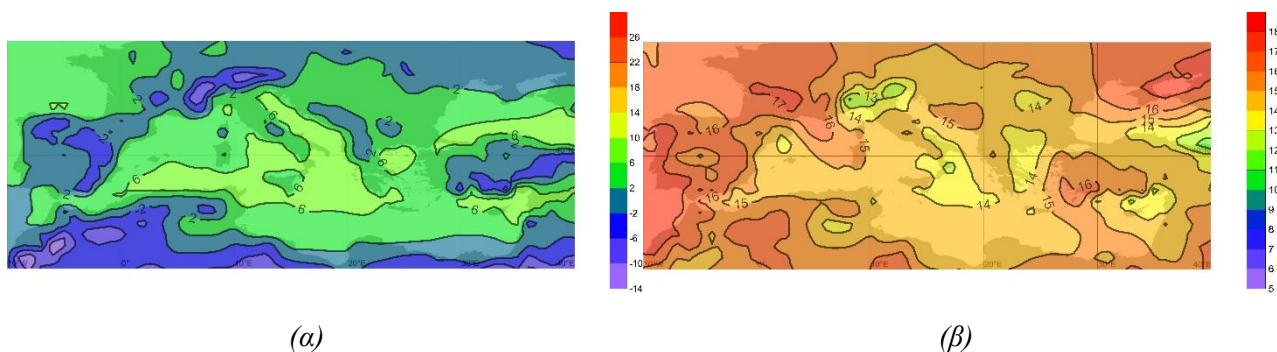


Σχήμα 3.1: Σχηματική αναπαράσταση του ετησία

Στο επόμενο δίμηνο, το οποίο συμπεριλαμβάνει τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο (Σχήμα 3.6), παρατηρείται μια αντιστροφή των όσων έχουν αναφερθεί μέχρι εδώ. Πιο συγκεκριμένα, οι μεγαλύτερες τιμές αστάθειας του δείκτη K, επικρατούν στις θαλάσσιες περιοχές και όχι τόσο στις ηπειρωτικές πλέον. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας του ότι αυτή την περίοδο του έτους η επιφάνεια της θάλασσας είναι θερμότερη από αυτή της ξηράς. Δεδομένου ότι αναφερόμαστε στους μήνες που ακολουθούν το θέρος, η θάλασσα λόγω υψηλής θερμοχωρητικότητας, είναι φυσικό να έχει πιο υψηλές θερμοκρασίες από τις ηπειρωτικές περιοχές που ψύχονται γρηγορότερα. Μάλιστα η αστάθεια έχει μεγαλύτερες τιμές στο δυτικό κομμάτι της Μεσογείου και αυτό συμβαίνει, διότι σε αυτή την περιοχή εμφανίζονται τη συγκεκριμένη εποχή πιο συχνά ψυχρές αέριες μάζες στην ανώτερη ατμόσφαιρα ενισχύοντας την κατακόρυφη θερμοβαθμίδα.

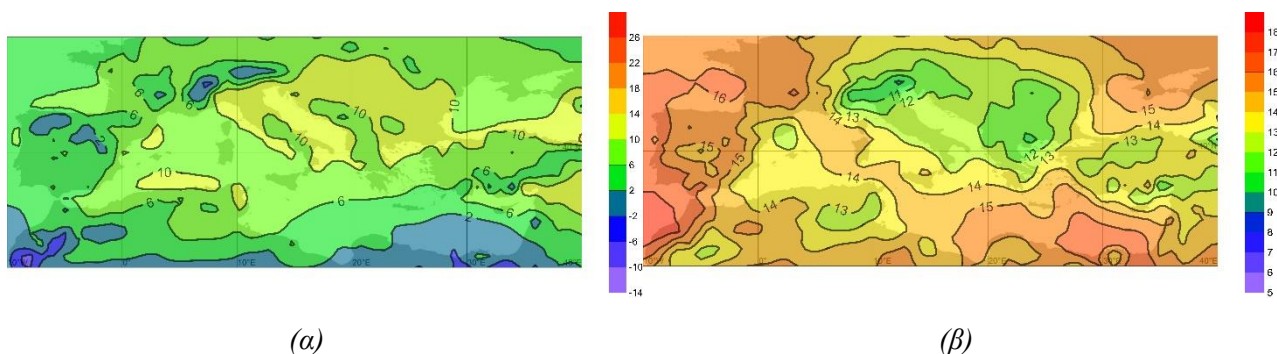
Τέλος, μελετώντας το δίμηνο Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου (Σχήμα 3.7), παρατηρούνται αρκετές ομοιότητες και ελάχιστες διαφορές με την περίοδο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου. Ο δείκτης K παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές αστάθειας στα ηπειρωτικά από ότι στις θαλάσσιες περιοχές χωρίς ωστόσο να παρουσιάζεται η διαφορά που φαίνεται στο πρώτο δίμηνο. Επίσης, όπως είχε παρατηρηθεί και για το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου, η περιοχή των Άλλεων παρουσιάζει και εδώ ιδιαίτερα χαμηλές τιμές αστάθειας, για όλη τη διάρκεια του διμήνου, κάτι το οποίο αποτελεί άμεση συνέπεια των εξαιρετικά χαμηλών θερμοκρασιών της περιοχής αυτής.

Ιανουάριος – Φεβρουάριος



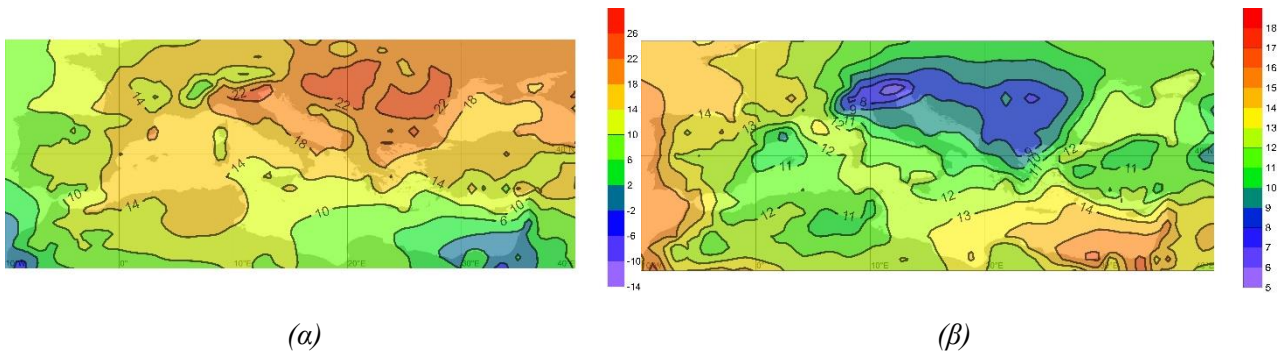
Σχήμα 3.2: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τοπικής απόκλισης (β) του δείκτη K ($^{\circ}\text{C}$) για το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου

Μάρτιος – Απρίλιος



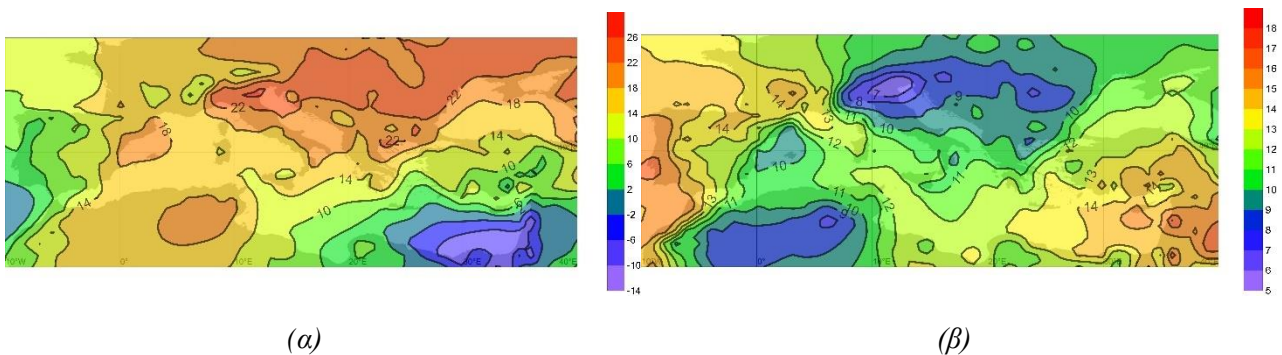
Σχήμα 3.3: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τοπικής απόκλισης (β) του δείκτη K ($^{\circ}\text{C}$) για το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου

Μάιος – Ιούνιος



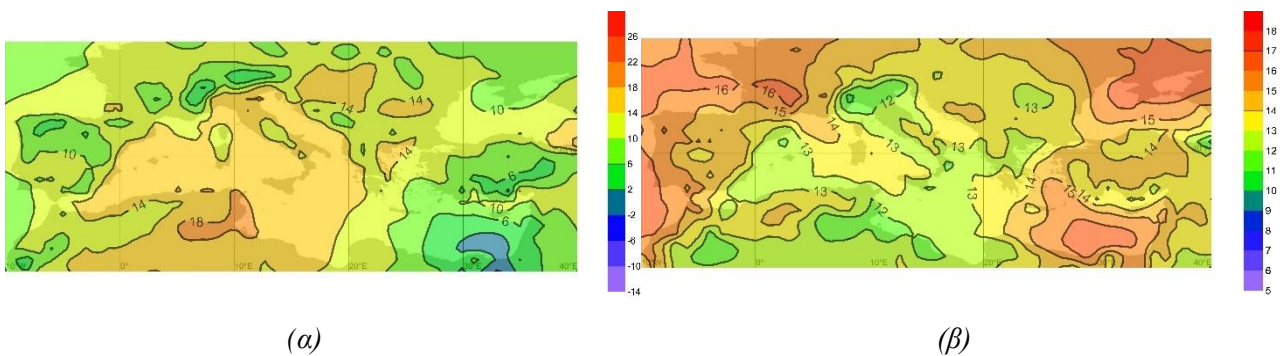
Σχήμα 3.4: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τοπικής απόκλισης (β) του δείκτη K ($^{\circ}\text{C}$) για το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου

Ιούλιος – Αύγουστος

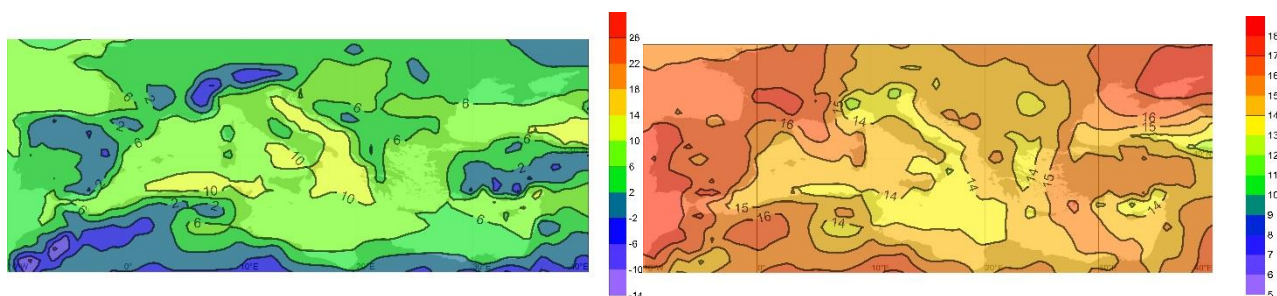


Σχήμα 3.5: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τοπικής απόκλισης (β) του δείκτη K ($^{\circ}\text{C}$) για το δίμηνο Ιουλίου - Αυγούστου

Σεπτέμβριος – Οκτώβριος



Σχήμα 3.6: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τοπικής απόκλισης (β) του δείκτη K ($^{\circ}\text{C}$) για το δίμηνο Σεπτεμβρίου - Οκτωβρίου



(α)

(β)

Σχήμα 3.7: Χάρτες οι οποίες παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τυπικής απόκλισης (β) του δείκτη K ($^{\circ}\text{C}$) για το δίμηνο Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου

3.1.2 Μέση χωρική κατανομή του δείκτη Total Totals κατά δίμηνο

Μελετώντας το δείκτη Total Totals για το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου (Σχήμα 3.8), παρατηρείται πως στις ηπειρωτικές περιοχές η αστάθεια παρουσιάζει μικρότερες τιμές από ότι η θάλασσα και αυτό συμβαίνει, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, λόγω της μικρής θερμοχωρητικότητας του εδάφους το οποίο του επιτρέπει να ψύχεται γρηγορότερα από το νερό. Ακόμη, εμφανίζονται ξανά οι ιδιαίτερα χαμηλές τιμές αστάθειας πάνω από τις Άλπεις εξαιτίας των πολύ μικρών θερμοκρασιών που επικρατούν στην περιοχή αυτή το χειμώνα.

Ακολουθως, όσον αφορά το δίμηνο της άνοιξης των μηνών Μαρτίου και Απριλίου (Σχήμα 3.9), φαίνεται πως σταδιακά η αστάθεια αφήνει τη θαλάσσια περιοχή και μεταφέρεται προς την ηπειρωτική και αυτό διότι καθώς πλησιάζουν οι μήνες του θέρους, η ηλιακή ακτινοβολία ολοένα και αυξάνεται, θερμαίνοντας το έδαφος (άρα και τις αέριες μάζες πάνω από αυτό) περισσότερο από το νερό. Η κατάσταση αυτή δημιουργεί θερμοκρασιακή διαφορά καθ' ύψος σχηματίζοντας έτσι συνθήκες αστάθειας στα ηπειρωτικά, πλην της περιοχής των Άλπεων στις οποίες η θερμοκρασία διατηρείται σε χαμηλά ακόμη επίπεδα, μη επιτρέποντας μεγάλες τιμές στο δείκτη.

Κατόπιν, περνώντας στο τρίτο δίμηνο του έτους, αυτό των μηνών Μαΐου και Ιουνίου (Σχήμα 3.10), γίνεται αντιληπτή η εντονότατη αστάθεια που επικρατεί σε όλα τα ηπειρωτικά της υπό μελέτη περιοχής, η οποία σε συνδυασμό με τις πολύ μικρές τιμές της τυπικής απόκλισης φανερώνει πως σε όλη τη διάρκεια του διμήνου αυτού, σύμφωνα με το δείκτη Total Totals, επικρατούν συνθήκες αστάθειας. Η έντονη θέρμανση της επιφάνειας του εδάφους σε συνδυασμό με τα ακόμη ψυχρά ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα είναι η αιτία για την τόσο υψηλή κατακόρυφη θερμοβαθμίδα κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο. Τέλος φαίνεται πως και σε αυτήν την περίπτωση, η αστάθεια είναι μεγαλύτερη στο δυτικό κομμάτι της περιοχής της Μεσογείου.

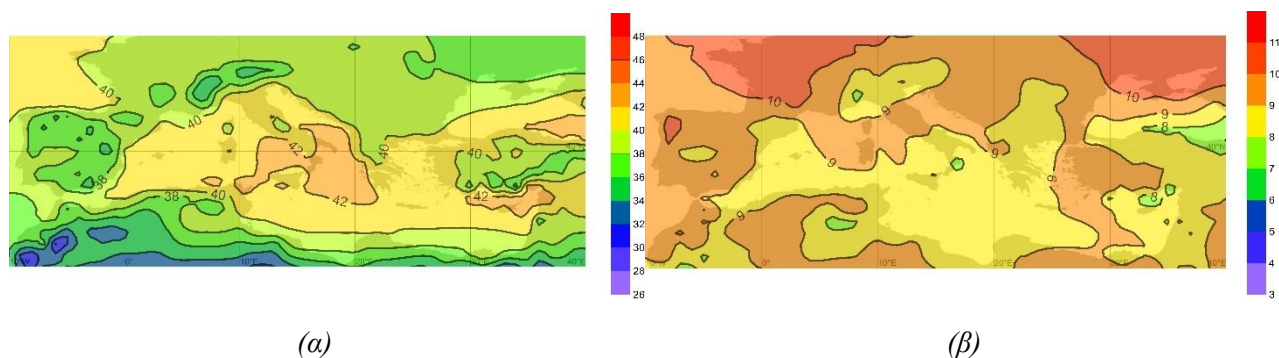
Ακολουθως, όσον αφορά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο (Σχήμα 3.11), είναι φανερό ότι η χωρική κατανομή του δείκτη έχει παρόμοια μορφή με αυτήν του προηγούμενου διμήνου. Παρατηρείται και εδώ ιδιαίτερα υψηλή τιμή της αστάθειας στα ηπειρωτικά σε σχέση με τις θαλάσσιες περιοχές χωρίς ωστόσο να εμφανίζονται οι τόσο υψηλές τιμές που επικρατούν την περίοδο Μαΐου – Ιουνίου. Επίσης, παρουσιάζεται και σε αυτόν το δείκτη αστάθειας κατά τη θερινή περίοδο του έτους, μια περιοχή εξαιρετικά χαμηλών τιμών του, οι οποίες προέρχονται λόγω του ετησίου που πνέει στην περιοχή τη συγκεκριμένη περίοδο, ρίχνοντας αρκετά τη θερμοκρασία της κατώτερης τροπόσφαιρας χωρίς να επιτρέπει τη δημιουργία ατμοσφαιρικής αστάθειας. Όπως αναφέρθηκε στην υποπαράγραφο 3.1.1, ένας από τους παράγοντες που ευνοούν τη δημιουργία ετησίων ανέμων είναι το θερμικό χαμηλό που βρίσκεται πάνω από τη νοτιοδυτική Ασία. Η επίδραση αυτού του χαμηλού διαπιστώνεται

στο Σχήμα 3.11α, λόγω των χαμηλών τιμών αστάθειας, ένα γεγονός το οποίο υποδηλώνει πως στη συγκεκριμένη περιοχή υπάρχει μια αιτία η οποία ρίχνει τη θερμοκρασία. Τέλος, στο Σχήμα 3.11, παρατηρείται πως στην περιοχή της οροσειράς του Άτλαντα στη βορειοδυτική Αφρική, υπάρχει μια περιοχή η οποία εμφανίζει αρκετά μεγάλες τιμές του δείκτη αστάθειας Total Totals. Αυτό συμβαίνει γιατί λόγω του υψομέτρου η θερμή επιφάνεια του εδάφους επηρεάζει περισσότερο τη θερμοκρασία στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του δείκτη. Επιπλέον, κοιτώντας το Σχήμα 3.11β θα δει κανείς ότι η τυπική απόκλιση στη συγκεκριμένη περιοχή έχει σχεδόν τις μικρότερες δυνατές τιμές της, υποδηλώνοντας τη «σταθερότητα» των τιμών του δείκτη στη συγκεκριμένη περιοχή της οροσειράς του Άτλαντα σε όλη την περίοδο του διμήνου αυτού.

Στο επόμενο δίμηνο των μηνών Σεπτεμβρίου και Οκτωβρίου (Σχήμα 3.12), ένα πλέον φθινοπωρινό δίμηνο, η κατάσταση για την αστάθεια έχει διαμορφωθεί με εντελώς αντίθετο τρόπο από ότι στις προηγούμενες περιόδους. Πάνω από τη θάλασσα βρίσκονται οι υψηλότερες τιμές της αστάθειας σε σχέση με τα ηπειρωτικά και αυτό συμβαίνει λόγω ότι έχουν προηγηθεί οι θερμοί μήνες του καλοκαιριού έχοντας θερμάνει τη θάλασσα η οποία λόγω μεγάλης θερμοχωρητικότητας διατηρεί τη θερμοκρασία της για μεγαλύτερη περίοδο και έτσι ευνοείται ο σχηματισμός αστάθειας. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό του διμήνου αυτού είναι η προς ανατολάς ελάττωση των τιμών του δείκτη ατμοσφαιρικής αστάθειας.

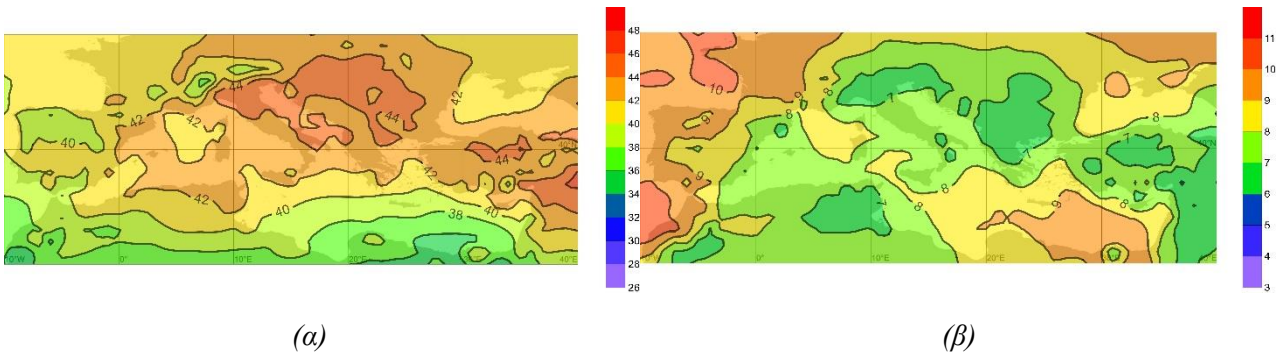
Τέλος, η περίοδος Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου (Σχήμα 3.13) θυμίζει αρκετά την περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου, καθώς ο δείκτης αστάθειας εμφανίζει τις μικρότερες του τιμές πάνω από τα ηπειρωτικά λόγω του γεγονότος ότι ψύχονται με μεγαλύτερο βαθμό από τη θάλασσα μιας και πλέον η ηλιακή δραστηριότητα μέρα με τη μέρα γίνεται και μικρότερη, θερμαίνοντας όλο και λιγότερο. Παράλληλα, εμφανίζεται και πάλι η αρκετά χαμηλή τιμή του δείκτη Total Totals στην περιοχή των Άλπεων, εξαιτίας των ιδιαίτερα μικρών θερμοκρασιών που επικρατούν στην οροσειρά αυτή.

Ιανουάριος – Φεβρουάριος



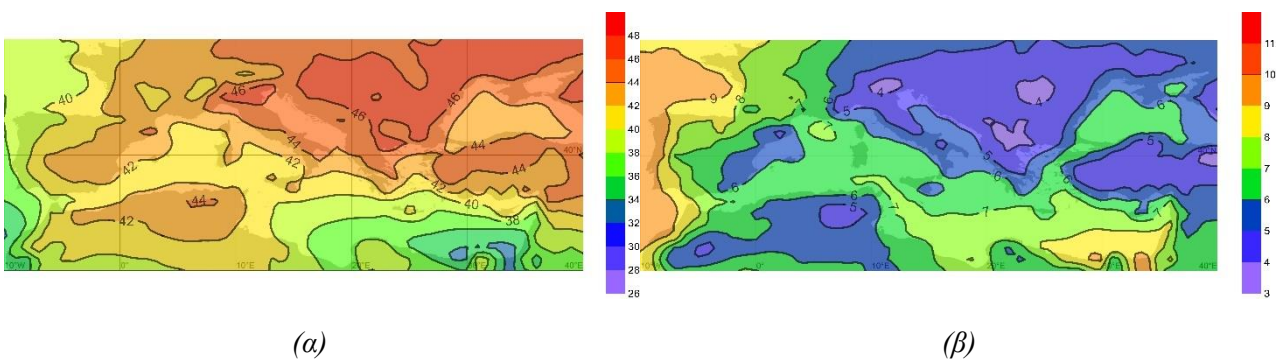
Σχήμα 3.8: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τυπικής απόκλισης (β) του δείκτη Total Totals (°C) για το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου

Μάρτιος – Απρίλιος



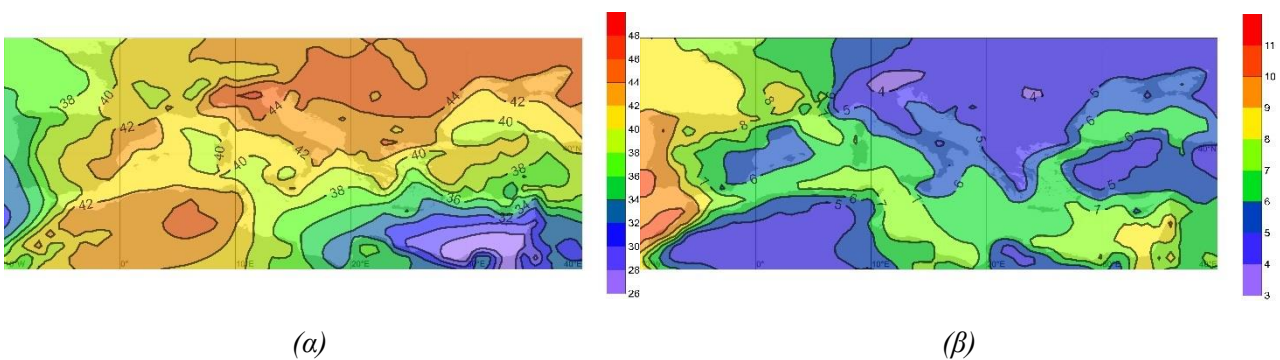
Σχήμα 3.9: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τυπικής απόκλισης (β) του δείκτη Total Totals (°C) για το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου

Μάιος – Ιούνιος



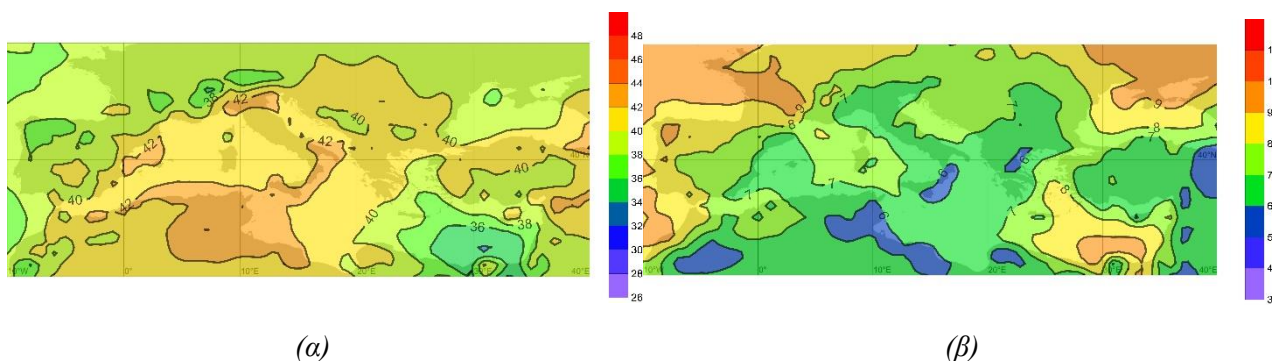
Σχήμα 3.10: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τυπικής απόκλισης (β) του δείκτη Total Totals (°C) για το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου

Ιούλιος – Αύγουστος



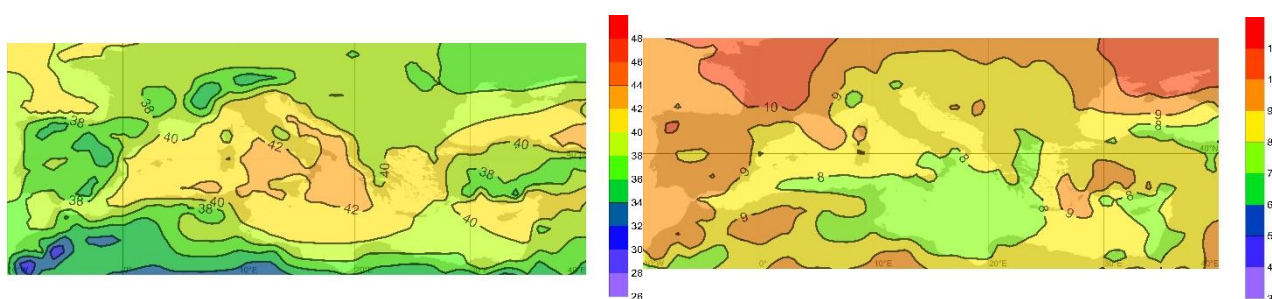
Σχήμα 3.11: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τυπικής απόκλισης (β) του δείκτη Total Totals (°C) για το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου

Σεπτέμβριος – Οκτώβριος



Σχήμα 3.12: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τυπικής απόκλισης (β) του δείκτη Total Totals (°C) για το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου

Νοέμβριος – Δεκέμβριος



Σχήμα 3.13: Χάρτες οι οποίοι παρουσιάζουν τη χωρική κατανομή της μέσης τιμής (α) και της τυπικής απόκλισης (β) του δείκτη Total Totals (°C) για το δίμηνο Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζεται ο συντελεστής συσχέτισης των «χωροσειρών» των δύο δεικτών αστάθειας για κάθε δίμηνο. Βλέπουμε ότι οι συντελεστές συσχέτισης είναι πολύ υψηλοί (άνω του 0.9) για όλα τα δίμηνα αποδεικνύοντας το μεγάλο βαθμό χωρικής συμμεταβλητότητας των δύο δεικτών από κλιματολογική άποψη.

Πίνακας 3.1: Ο συντελεστής συσχέτισης των χωρικών κατανομών των δύο δεικτών αστάθειας κατά δίμηνο

Δίμηνο	Συντελεστής συσχέτισης
Ιανουάριος – Φεβρουάριος	0.96
Μάρτιος – Απρίλιος	0.93
Μάιος – Ιούνιος	0.96
Ιούλιος – Αύγουστος	0.96
Σεπτέμβριος – Οκτώβριος	0.91
Νοέμβριος – Δεκέμβριος	0.95

3.2 Μέση ενδοετήσια διακύμανση των δύο δεικτών αστάθειας

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο θα αναλυθεί η μέση ενδοετήσια πορεία που ακολουθεί ο κάθε δείκτης. Θα παρουσιαστεί πότε εμφανίζονται μέγιστες και ελάχιστες τιμές μέσα στο έτος στις διάφορες υποπεριοχές της Μεσογείου τόσο για το δείκτη K όσο και για το δείκτη Total Totals.

3.2.1 Μέση ενδοετήσια διακύμανση του δείκτη K

Κατά την εφαρμογή της Παραγοντικής Ανάλυσης για την εύρεση της μέσης ενδοετήσιας πορείας του δείκτη K, προέκυψαν τρεις παράγοντες, καθώς σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην υποπαράγραφο 2.2.1, για την τελική επιλογή του αριθμού των παραγόντων θα πρέπει για κάθε έναν παράγοντα, τα loadings τα οποία είναι κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερα από 0.7 να εμφανίζονται τουλάχιστον τόσες φορές όσο είναι και το 1% των συνολικών σημείων του πλέγματος. Η κάλυψη του ποσοστού της ολικής διακύμανσης των τριών παραγόντων παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Κάλυψη του ποσοστού της ολικής διακύμανσης που ερμηνεύονται από το σύνολο των τριών παραγόντων για το δείκτη K

Παράγοντας (Factor)	Ποσοστό ολικής διακύμανσης (επί τοις εκατό %)	Αθροιστικό ποσοστό ολικής διακύμανσης (επί τοις εκατό %)
1	53.5	53.5
2	25.0	78.5
3	9.2	87.7

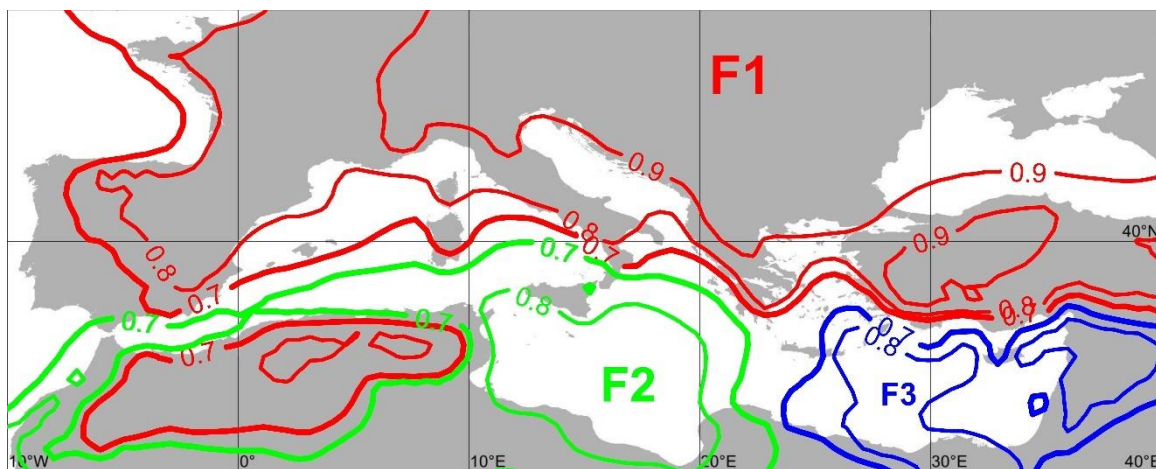
Μπορεί επομένως να εξαχθεί το συμπέρασμα πως η ανάλυση της μέσης ενδοετήσιας πορείας του δείκτη K με τρεις παράγοντες, επιδέχεται φυσική ερμηνεία και παρόλη τη μείωση της διαστατικότητας του προβλήματος, η αρχική πληροφορία έχει διατηρηθεί σε αρκετά μεγάλο βαθμό. Επομένως η εφαρμογή αυτής της στατιστικής μεθόδου δεν οδηγεί σε απώλεια χρήσιμης πληροφορίας.

Παρατηρώντας το χάρτη του Σχήματος 3.14 σε συνδυασμό με τα διαγράμματα στο Σχήμα 3.15, γίνεται σαφές πως ο δείκτης K στη Μεσόγειο εμφανίζει τρεις χαρακτηριστικούς τύπους μέσης ενδοετήσιας πορείας. Ο πρώτος τύπος ο οποίος περιγράφεται από τον παράγοντα 1, είναι ένας ξεκάθαρα ηπειρωτικός τύπος που επικρατεί πάνω από ολόκληρη την περιοχή του τμήματος της Ευρώπης που μελετάται, πάνω από την νοτιοδυτική Ασία ενώ παράλληλα περιγράφει την περιοχή της οροσειράς του Άτλαντα στη βορειοδυτική Αφρική. Ο συγκεκριμένος παράγοντας παρουσιάζει μέγιστα κατά τους θερμούς μήνες του έτους (μέσα Μάη έως και τέλη Αυγούστου). Η συγκεκριμένη περίοδος χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες θερμαίνουν ταχύτερα το έδαφος και κατά συνέπεια τις αέριες μάζες πάνω από αυτό προκαλώντας ανύψωση του αέρα δημιουργώντας έτσι συνθήκες αστάθειας. Ακόμα όμοια με την ηπειρωτική Ευρώπη πορεύονται και τα βουνά της οροσειράς του Άτλαντα και αυτό συμβαίνει καθώς λόγω του υψομέτρου η θερμική επιφάνεια του εδάφους επηρεάζει περισσότερο τη θερμοκρασία στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του δείκτη. Επίσης, κατά το χειμώνα ο παράγοντας 1 εμφανίζει ελάχιστο λόγω της πολύ μικρής ηλιακής ακτινοβολίας που επικρατεί και αδυνατεί να θερμάνει σε μεγάλο βαθμό τα ηπειρωτικά.

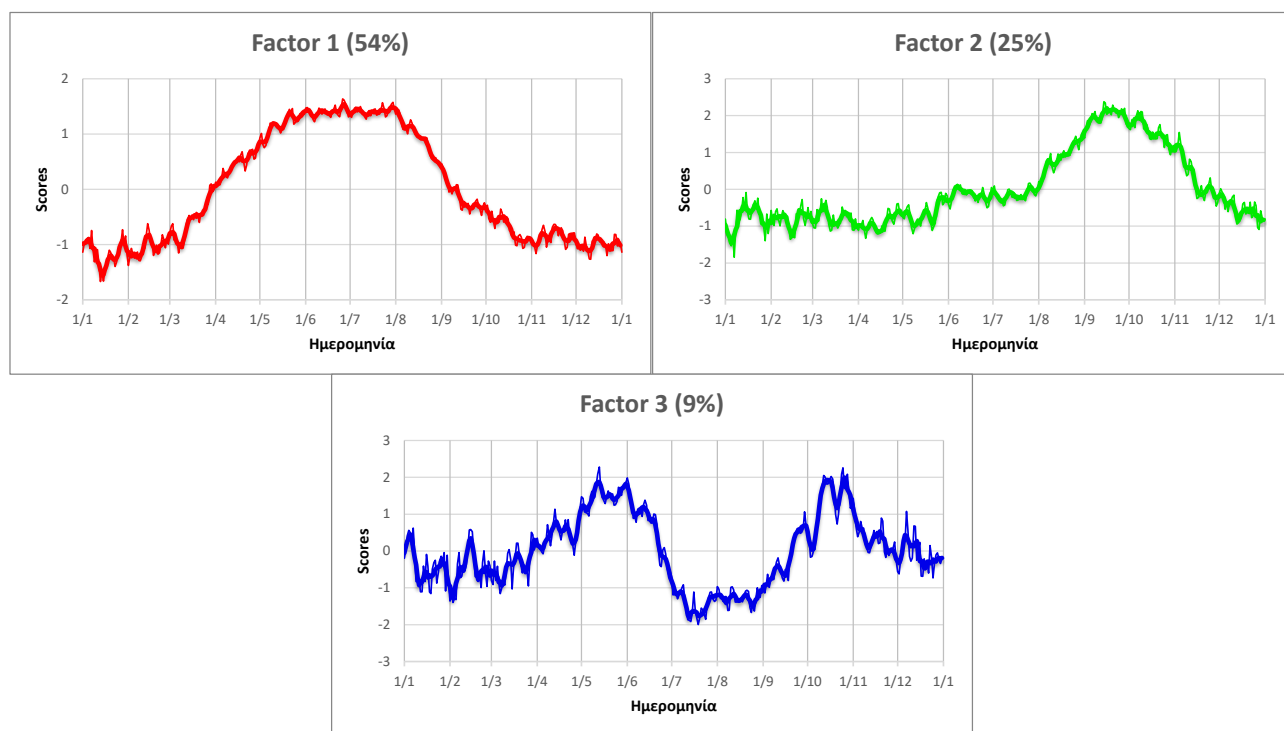
Ο δεύτερος παράγοντας, είναι ένας τύπος ενδοετήσιας πορείας του δείκτη K που επικρατεί ως επί το πλείστον στη θάλασσα και συγκεκριμένα στο νοτιοδυτικό τμήμα της Μεσογείου. Επίσης, σύμφωνα με το Σχήμα 3.15 φαίνεται παρουσιάζει μέγιστο κατά τους φθινοπωρινούς μήνες και αυτό λόγω του γεγονότος ότι σε αυτήν την περίοδο του έτους, η θάλασσα είναι θερμότερη από την επιφάνεια του εδάφους εξαιτίας του θέρους που έχει προηγηθεί. Επίσης τον υπόλοιπο χρόνο ο δείκτης K, στη συγκεκριμένη περιοχή εμφανίζει χαμηλές τιμές διότι η θάλασσα δεν είναι τόσο θερμή.

Τέλος, ο τρίτος παράγοντας είναι ένας τύπος ενδοετήσιας πορείας του δείκτη αστάθειας K, ο οποίος επικρατεί στις ακτές της βορειοανατολικής Αφρικής, στην Κύπρο και στη νοτιοδυτική Ασία, κατά κύριο λόγο στα θαλάσσια τμήματα. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.15, εμφανίζει δύο μέγιστα. Το ένα είναι κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, ενώ το άλλο είναι κατά τους φθινοπωρινούς μήνες

από τον Οκτώβριο έως περίπου τα μέσα Νοέμβρη. Το θερινό ελάχιστο η ύπαρξη του οποίου διαμορφώνει και την ύπαρξη των δύο μεγίστων εκατέρωθεν (εαρινού και φθινοπωρινού) οφείλει την ύπαρξή του στη δράση των ετησίων και στις ξηρές μάζες που αυτοί μεταφέρουν στην κατώτερη τροπόσφαιρα στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου.



Σχήμα 3.14: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες ή ίσες του 0.7) για την ενδοετήσια διακύμανση του δείκτη *K* στην περιοχή της Μεσογείου.



Σχήμα 3.15: Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των factor scores για το δείκτη *K* στην περιοχή της Μεσογείου. Οι έντονες καμπύλες έχουν προκύψει από εξομάλυνση με κινητούς μέσους όρους 5 ημερών.

3.2.2 Μέση ενδοετήσια διακύμανση του δείκτη Total Totals

Εφαρμόζοντας την Παραγοντική Ανάλυση με σκοπό να βρεθούν οι κύριοι τύποι της μέσης ενδοετήσιας πορείας του δείκτη Total Totals, προέκυψαν τρεις παράγοντες καθώς και σε αυτήν την περίπτωση, για την τελική επιλογή του αριθμού των παραγόντων θα πρέπει για κάθε έναν παράγοντα, τα loadings τα οποία είναι κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερα από 0.7 να εμφανίζονται τουλάχιστον τόσες

φορές όσο είναι και το 1% των συνολικών σημείων του πλέγματος. Η κάλυψη του ποσοστού της ολικής διακύμανσης των τριών παραγόντων παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Κάλυψη του ποσοστού της ολικής διακύμανσης που ερμηνεύονται από το σύνολο των τριών παραγόντων για το δείκτη Total Totals

Παράγοντας (Factor)	Ποσοστό ολικής διακύμανσης (επί τοις εκατό %)	Αθροιστικό ποσοστό ολικής διακύμανσης (επί τοις εκατό %)
1	39.1	39.1
2	20.5	59.6
3	19.5	79.1

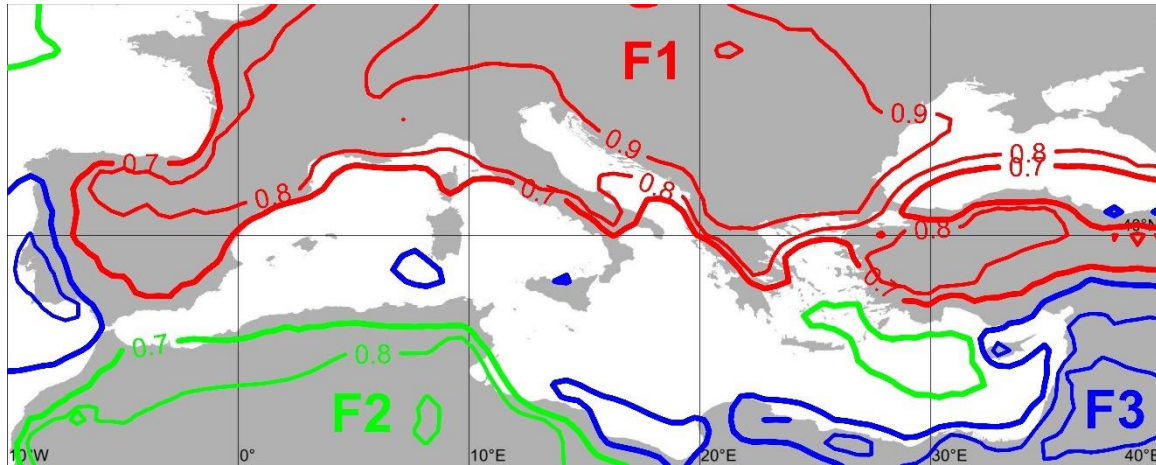
Στα Σχήματα 3.16 και 3.17 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των loadings και τα διαγράμματα των scores αντίστοιχα, για τους τρεις παράγοντες του δείκτη Total Totals.

Παρατηρώντας το χάρτη του Σχήματος 3.16 γίνεται αντιληπτό ότι ο δείκτης Total Totals έχει και εκείνος τρεις χαρακτηριστικούς τύπους ενδοετήσιας πορείας όπως έχει και ο δείκτης K, σύμφωνα με όσα βρέθηκαν στην υποπαράγραφο 3.2.1.

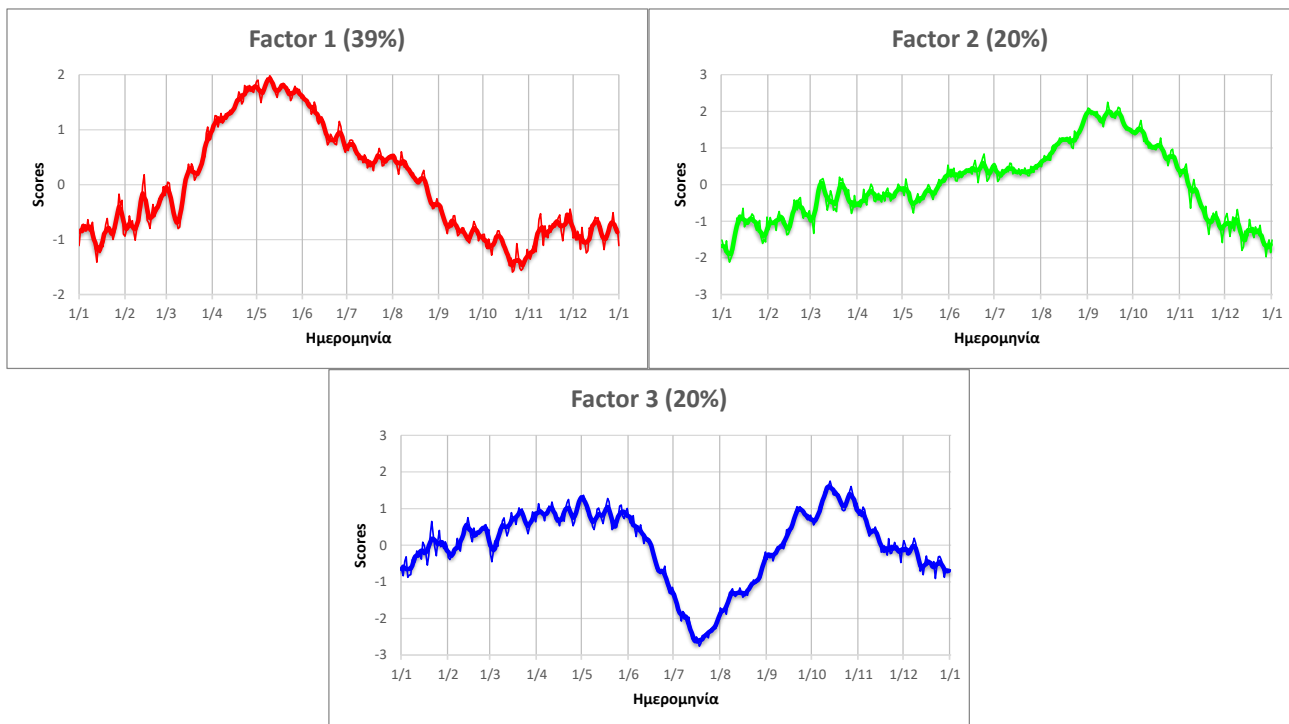
Ξεκινώντας με τον παράγοντα 1, φαίνεται πως επικρατεί κατ' αποκλειστικότητα πάνω από ηπειρωτικές περιοχές (Ευρώπη και Μικρά Ασία), ενώ τα μέγιστα του εμφανίζονται κυρίως τους μήνες Μάιο και Ιούνιο. Σύμφωνα με τα όσα αναλύθηκαν στην παράγραφο 3.1 αυτοί οι μήνες χαρακτηρίζονται από τις υψηλότερες τιμές αστάθειας λόγω της έντονης επιφανειακής θέρμανσης συνδυαστικά με την ψυχρή ακόμα εκείνη την εποχή ανώτερη ατμόσφαιρα.

Περνώντας στον παράγοντα 2, πρόκειται για έναν τύπο ενδοετήσιας πορείας ο οποίος εμφανίζεται στη βορειοδυτική Αφρική, ενώ παράλληλα επικρατεί και στη θάλασσα και πιο συγκεκριμένα στο Αιγαίο Πέλαγος. Ο συγκεκριμένος τύπος έχει ανοδικές τάσεις κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, εμφανίζοντας την κορύφωσή του αμέσως μετά, δηλαδή κατά τους μήνες Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η άνοδος οφείλεται στην έντονη επιφανειακή θέρμανση της βορειοδυτικής Αφρικής η οποία εκείνη την περίοδο έχει ιδιαίτερα θερμό έδαφος λόγω υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας.

Εν συνεχεία, ο παράγοντας 3 επικρατεί κυρίως πάνω από τη βορειοανατολική Αφρική, τη νοτιοδυτική Ασία και την Πορτογαλία. Πρόκειται για έναν τύπο ενδοετήσιας πορείας ο οποίος χαρακτηρίζεται από ελάχιστο κατά το θέρος. λόγω της πνοής των ετησίων ανέμων, όπως εξηγήθηκε και στο υποκεφάλαιο 3.1.1.



Σχήμα 3.16: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες ή ίσες του 0.7) για την ενδοετήσια διακύμανση του δείκτη Total Totals, στην περιοχή της Μεσογείου



Σχήμα 3.17: Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των factor scores για το δείκτη Total Totals στην περιοχή της Μεσογείου. Οι έντονες καμπύλες έχουν προκύψει από εξομάλυνση με κινητούς μέσους όρους 5 ημερών.

3.2.3 Μέσες ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποχών των δύο δεικτών από τις τιμές της περιόδου 1959-2021 για τρεις χρονικές υποπεριόδους

Στη συνέχεια μελετήθηκε η μέση ενδοετήσια πορεία των αποχών του κάθε δείκτη στις περιοχές όπου τα loadings ήταν πάνω από 0.7. Η μελέτη έγινε για την περίοδο των 63 ετών χωρισμένη σε τρεις υποπεριόδους 21 ετών η κάθε μια, με σκοπό να βρεθεί αν κάποια 21ετία βρισκόταν πάνω ή κάτω από τις κλιματικές τιμές των 63 χρόνων μελέτης. Για παράδειγμα, στο δείκτη K, το τμήμα του παράγοντα 1 που βρίσκεται στη βορειοδυτική Αφρική, παρουσιάζεται ξεχωριστά από τον υπόλοιπο παράγοντα. Με παρόμοια λογική, στο δείκτη Total Totals ο παράγοντας 2 χωρίζεται στις περιοχές της βορειοδυτικής Αφρικής και της ανατολικής Μεσογείου, ενώ ο παράγοντας 3 χωρίζεται στην

περιοχή της Πορτογαλίας και τις ακτές του Ατλαντικού Ωκεανού και στην περιοχή νοτιοδυτικής Ασίας και βορειοδυτικής Αφρικής.

Δείκτης K

Τα διαγράμματα του Σχήματος 3.18 εμφανίζονται να έχουν κοινή κλίμακα και αυτό για να είναι να είναι πιο εύκολο να εντοπιστούν οι διαφορές των υποπεριόδων και αν υπάρχει μεγάλη ή μικρή απόκλιση από την ολική περίοδο.

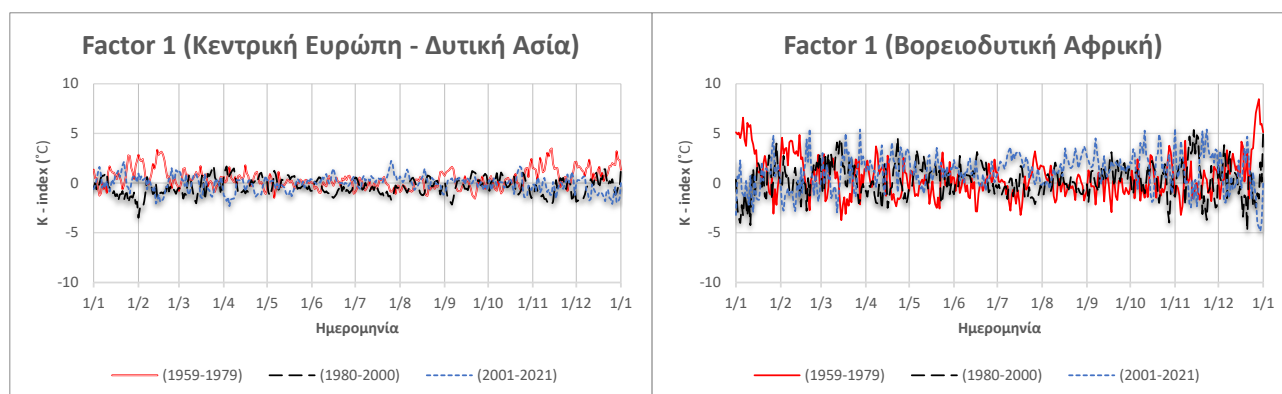
Παρατηρείται από το Σχήμα 3.18 ότι στις περιοχές της κεντρικής Ευρώπης και νοτιοδυτικής Ασίας του παράγοντα 1, οι υπάρχουσες διαφορές είναι ιδιαίτερα μικρές σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές. Μόνο μια μικρή θετική απόκλιση παρουσιάζει η 21ετία 1959 – 1979 κατά τους χειμερινούς μήνες.

Στο τμήμα τη βορειοδυτικής Αφρικής του παράγοντα 1, και οι 3 υποπεριόδους εμφανίζουν κάποιες μεταβολές. Η τελευταία περίοδος (2001 – 2021), με εξαίρεση τους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο, εμφανίζει τιμές πάνω από τις κλιματικές της ολικής περιόδου, ενώ για τις πρώτες δύο υποπεριόδους δεν μπορεί να εξαχθεί σαφές συμπέρασμα διότι οι μεταβολές τους ποικίλουν αρκετά μέσα στο έτος.

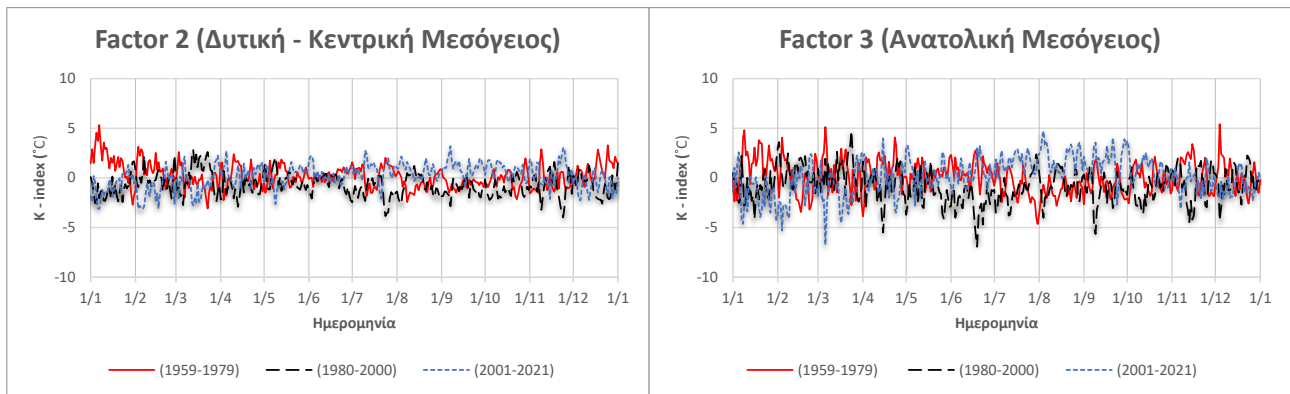
Στη συνέχεια, για την περιοχή του παράγοντα 2, ισχύει ότι και για την περιοχή της κεντρικής Ευρώπης και νοτιοδυτικής Ασίας. Οι μεταβολές είναι μικρές, ενώ παράλληλα δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη περίοδος η οποία έχει ξεκάθαρα μόνο θετικές ή αρνητικές τιμές.

Τέλος, για την περιοχή του παράγοντα 3, φαίνεται πως η δεύτερη υποπερίοδος (1980 – 2000), εμφανίζεται να έχει αρνητική διαφορά από την ολική περίοδο με μόνη εξαίρεση τους μήνες Φεβρουάριο και Απρίλιο. Οι δύο εναπομείνουσες υποπεριόδους έχουν εξίσου τόσο θετικές όσο και αρνητικές διαφορές από την ολική περίοδο.

Η περιοχή της βορειοδυτικής Αφρικής (παράγοντας 1) και της ανατολικής Μεσογείου (παράγοντας 3) εμφανίζουν τις εντονότερες διαφορές μεταξύ όλων των περιοχών του δείκτη K.



Σχήμα 3.18: Αποχές της ενδοετήσιας διακύμανσης του δείκτη K, για τις τρεις υποπεριόδους από την ολική περίοδο για τις περιοχές όπου ο κάθε παράγοντας έχει loadings πάνω από 0.7



Σχήμα 3.18(Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Αποχές της ενδοετήσιας διακύμανσης του δείκτη K, για τις τρεις υποπεριόδους από την ολική περίοδο για τις περιοχές όπου ο κάθε παράγοντας έχει loadings πάνω από 0.7

Δείκτης Total Totals

Τα διαγράμματα του Σχήματος 3.19 εμφανίζονται να έχουν κοινή κλίμακα και αυτό για να είναι να είναι πιο εύκολο να εντοπιστούν οι διαφορές των υποπεριόδων και αν υπάρχει μεγάλη ή μικρή απόκλιση από την ολική περίοδο.

Στις περιοχές της κεντρικής Ευρώπης και δυτικής Ασίας που καλύπτει ο παράγοντας 1, φαίνεται από το Σχήμα 3.19 ότι οι διαφορές είναι ιδιαίτερα μικρές σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές. Μόνο μια μικρή θετική απόκλιση παρουσιάζει η 21ετία 1959 – 1979 κατά τους χειμερινούς μήνες.

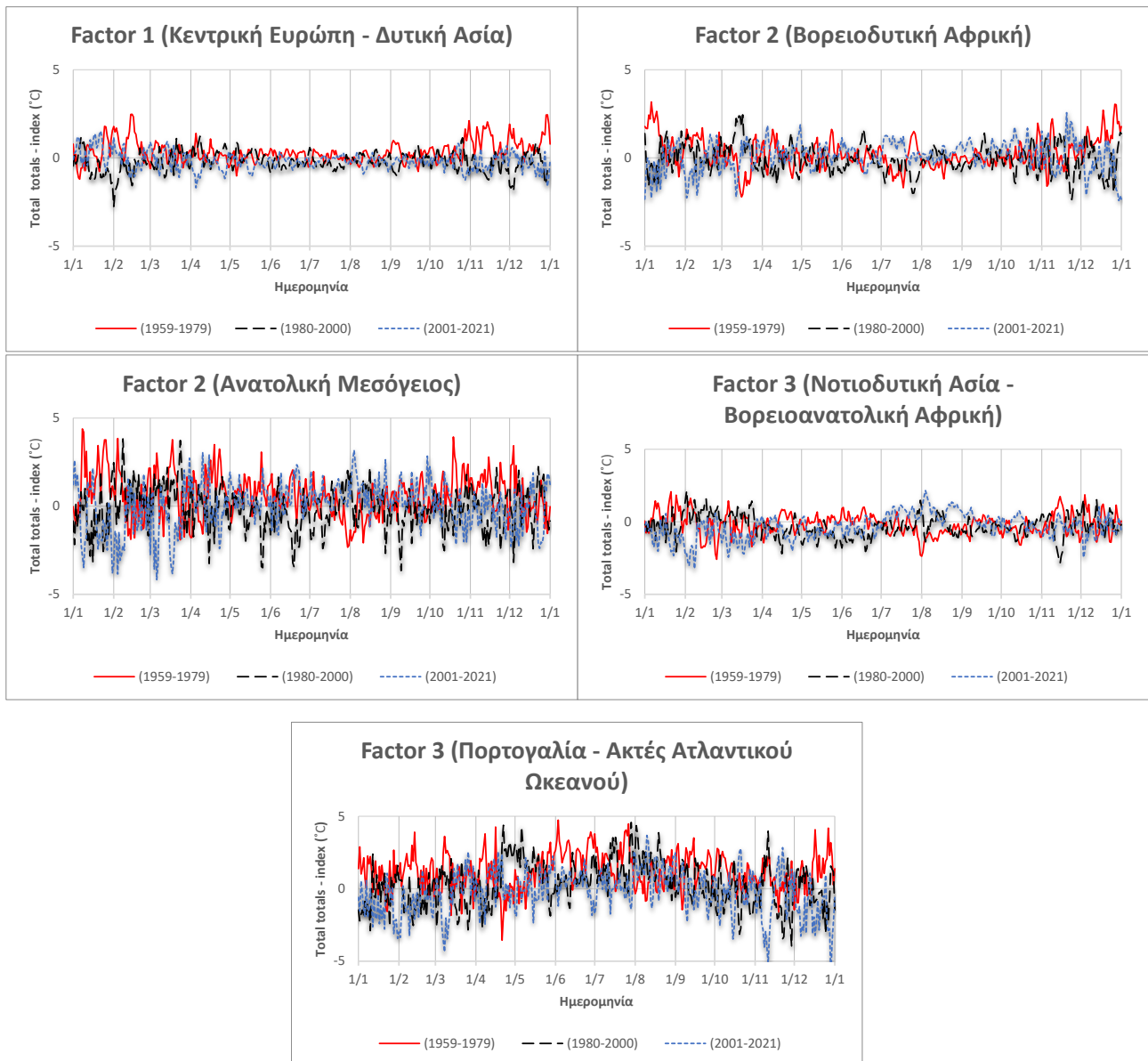
Ακολουθώντας, στο τμήμα της βορειοδυτικής Αφρικής που καλύπτει ο παράγοντας 2, δεν εμφανίζεται κάποια σημαντική συνεχόμενη θετική ή αρνητική απόκλιση από την ολική περίοδο.

Για το τμήμα του παράγοντα 2 που καλύπτει την ανατολική Μεσόγειο, φαίνεται από το αντίστοιχο διάγραμμα του Σχήματος 3.19 πως η 21ετία 1959 – 1979 βρίσκεται πάνω από τις κλιματικές μέσες τιμές της 63ετίας για την πλειοψηφία των μηνών. Οι δύο άλλες υποπεριόδους, έχουν τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές οπότε δεν παρουσιάζουν κάποια αξιόλογη απόκλιση.

Στη συνέχεια, μελετώντας την περιοχή της νοτιοδυτικής Ασίας και βορειοανατολικής Αφρικής που καλύπτει ο παράγοντας 3, φαίνεται πως επικρατεί μια κατάσταση παρόμοια με αυτή του παράγοντα 1 για την κεντρική Ευρώπη και δυτική Ασία, καθώς οι αποκλίσεις από την ολική περίοδο είναι μικρές και εξίσου θετικές και αρνητικές.

Τέλος, για την περιοχή της Πορτογαλίας και των ακτών του Ατλαντικού του παράγοντα 3, η υποπερίοδος 1959 – 1979, εμφανίζεται αρκετές φορές να έχει θετικές αποκλίσεις από την ολική περίοδο, ενώ οι άλλες δύο εμφανίζουν τιμές τόσο μεγαλύτερες από την ολική περίοδο όσο και μικρότερες.

Η περιοχή της ανατολικής Μεσογείου (παράγοντας 2) και της Πορτογαλίας και των ακτών του Ατλαντικού Ωκεανού (παράγοντας 3) εμφανίζουν τις εντονότερες διαφορές μεταξύ όλων των περιοχών του δείκτη Total Totals.



Σχήμα 3.19: Αποχές της ενδοετήσιας διακύμανσης του δείκτη Total Totals, για τις τρεις υποπεριόδους από την ολική περίοδο για τις περιοχές όπου ο κάθε παράγοντας έχει loadings πάνω από 0.7

3.3 Διαχρονική διακύμανση των δύο δεικτών αστάθειας κατά δίμηνο

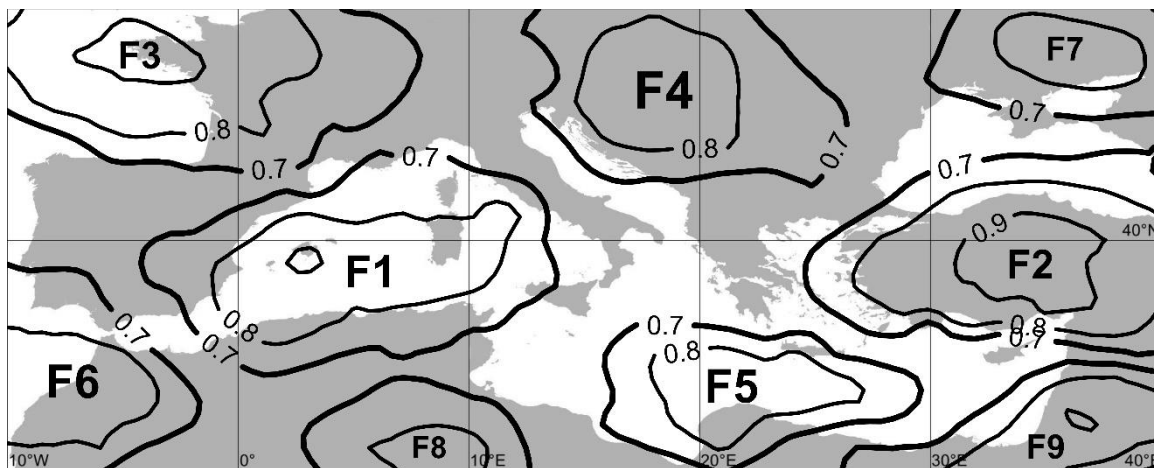
Στο επόμενο στάδιο της εργασίας, πραγματοποιήθηκε μελέτη της διαχρονικής διακύμανσης του κάθε δείκτη ανά δίμηνο, όπως έχουν ήδη χωριστεί. Αυτό γίνεται ούτως ώστε να βρεθεί πως κυμαίνεται ο κάθε δείκτης μέσα στα χρόνια για τα δίμηνα και για συγκεκριμένες περιοχές που θα οριστούν από Παραγοντική Ανάλυσης που εφαρμόστηκε. Κάτω από το χάρτη των loadings για κάθε παράγοντα, θα παρουσιασθούν τα διαγράμματα των scores, στα οποία είναι σχεδιασμένη και η γραμμή τάσης, όπου αυτή θεωρήθηκε στατιστικά σημαντική με βάση το τεστ Mann-Kendall. Ακόμα, σε κάθε διάγραμμα η έντονη καμπύλη αντιπροσωπεύει τον κινητό μέσο όρο 5 ετών για κάθε έτος. Επιπλέον, η διαδικασία αυτή αποτελεί το κλειδί για να πραγματοποιηθεί μια σύγκριση των δεικτών σε κοινές γεωγραφικές περιοχές που έχουν και οι δύο ομαδοποίηση σημείων με παρόμοια διαχρονική διακύμανση.

3.3.1 Διαχρονική διακύμανση του δείκτη K κατά δίμηνο

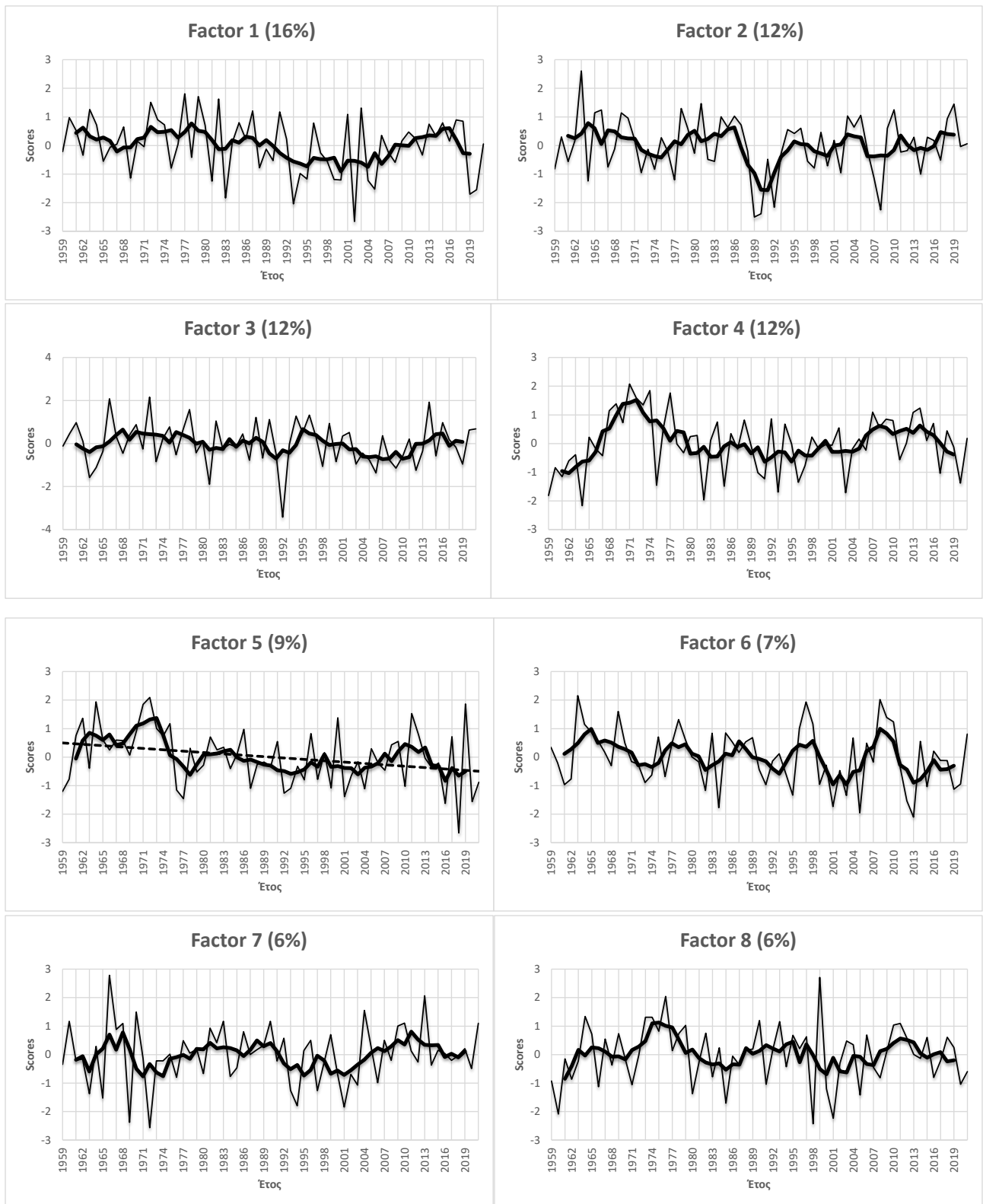
Ιανουάριος – Φεβρουάριος

Για το δίμηνο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου, προέκυψαν 9 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 86% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.20 και 3.21 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και η χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

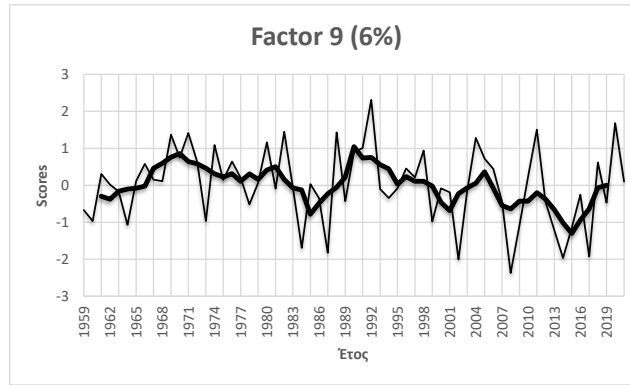
Οι 9 παράγοντες φαίνεται στο Σχήμα 3.20 ότι καλύπτουν ολόκληρη σχεδόν την περιοχή της Μεσογείου για τα 63 αυτά έτη κάθε ένας εκ των οποίων παίρνει τα χαρακτηριστικά του από την εκάστοτε περιοχή πάνω από την οποία επικρατεί. Επιπλέον, από τα διαγράμματα του Σχήματος 3.21 βλέπουμε ότι οι 8 από τους 9 παράγοντες δεν παρουσιάζουν κάποια αξιόλογη μεταβολή, είτε αυξητική είτε πτωτική, κατά την πάροδο των χρόνων. Ωστόσο ο παράγοντας 5, δείχνει να φθίνει όσο περνάνε τα χρόνια. Συνεπώς, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι κατά το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου ο δείκτης K, δεν παρουσιάζει κάποια σημαντική διαχρονική μεταβολή με μόνη εξαίρεση την περιοχή της νοτιοδυτικής Μεσογείου που επικρατεί ο παράγοντας 5 και στην οποία παρατηρείται στατιστικά σημαντική μείωση του δείκτη κατά την υπό μελέτη περίοδο.



Σχήμα 3.20: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη K, κατά το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου



Σχήμα 3.21: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Κ, κατά το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου

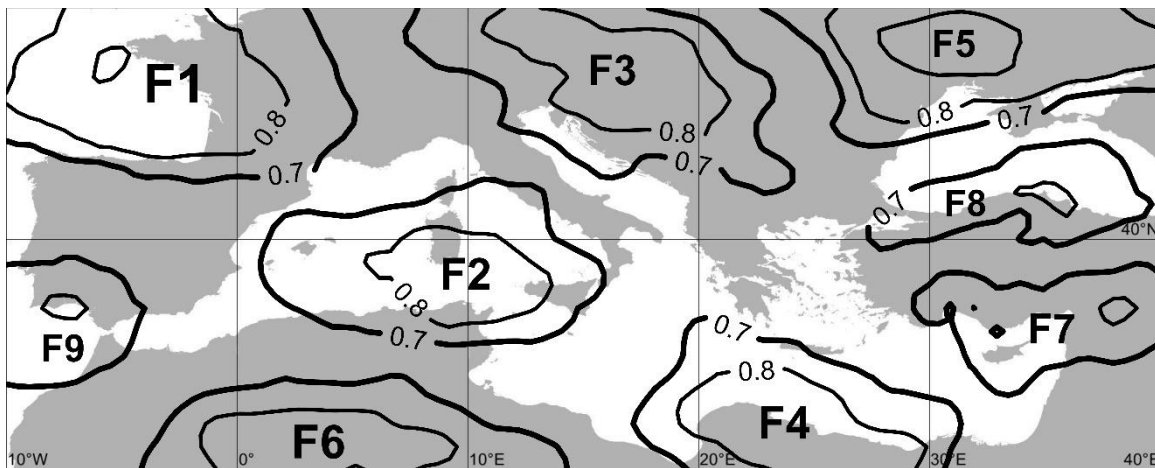


Σχήμα 3.21 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη K, κατά το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου

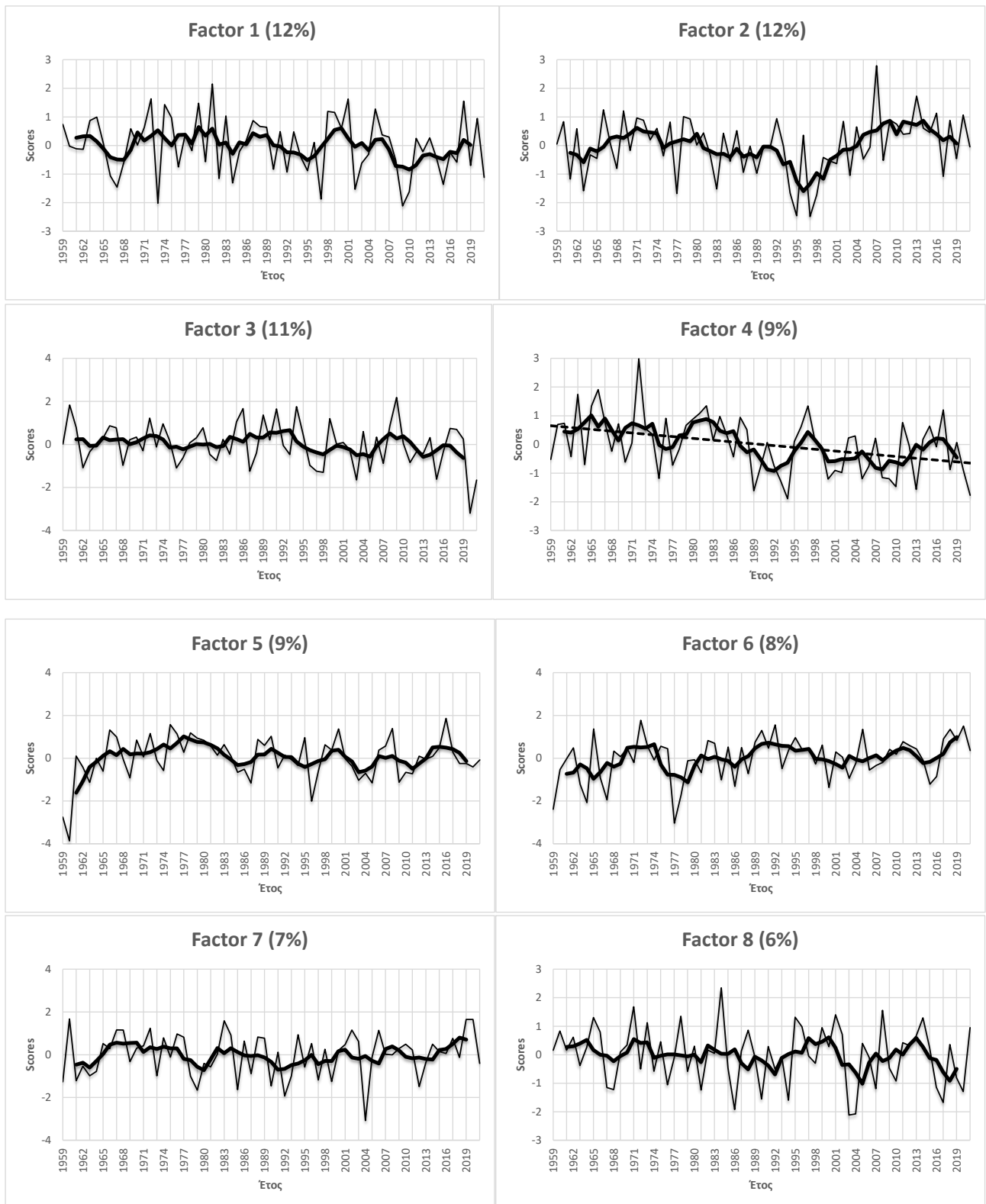
Μάρτιος – Απρίλιος

Για το δίμηνο Μαρτίου - Απριλίου, προέκυψαν 9 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 79% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.22 και 3.23 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και η χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

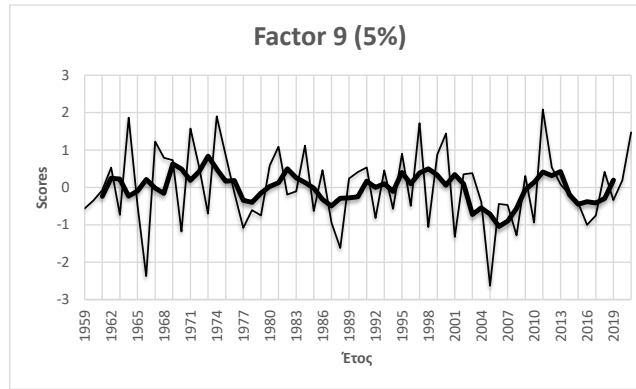
Σύμφωνα με το Σχήμα 3.22, φαίνεται πως και κατά το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου, η περιοχή της Μεσογείου καλύπτεται ολόκληρη σχεδόν από τα loadings των 9 παραγόντων για τα χρόνια από το 1959 έως και το 2021, με τον κάθε παράγοντα να επηρεάζεται από τα κλιματικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής πάνω από την οποία επικρατεί. Ακόμα, όπως γίνεται αντιληπτό από τα διαγράμματα του Σχήματος 3.23, οι 8 εκ των 9 παραγόντων δε μεταβάλλονται σημαντικά κατά την πάροδο των χρόνων σε αντίθεση με τον παράγοντα 4, ο οποίος παρουσιάζει μια στατιστικά σημαντική πτωτική τάση. Επομένως, ο δείκτης K, δεν παρουσιάζει σημαντική διαχρονική τάση για το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου, με μόνη εξαίρεση στο παραπάνω να αποτελεί και πάλι η περιοχή της δυτικής Μεσογείου πάνω από την οποία επικρατεί ο παράγοντας 4 όπου ο δείκτης έχει στατιστικά σημαντική πτωτική τάση στην υπό μελέτη περίοδο.



Σχήμα 3.22: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη K, κατά το δίμηνο Μαρτίου - Απριλίου



Σχήμα 3.23: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη K, κατά το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου

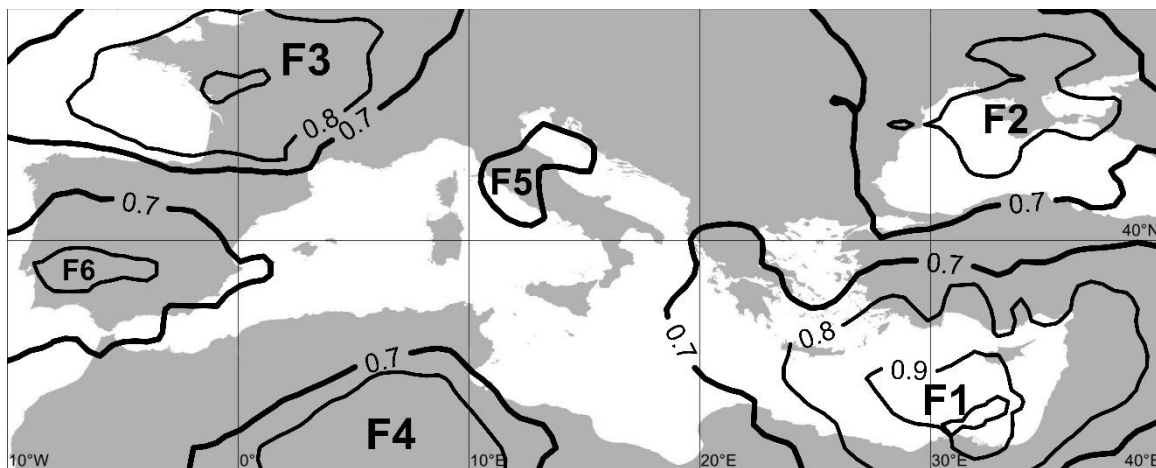


Σχήμα 3.23 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη K, κατά το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου

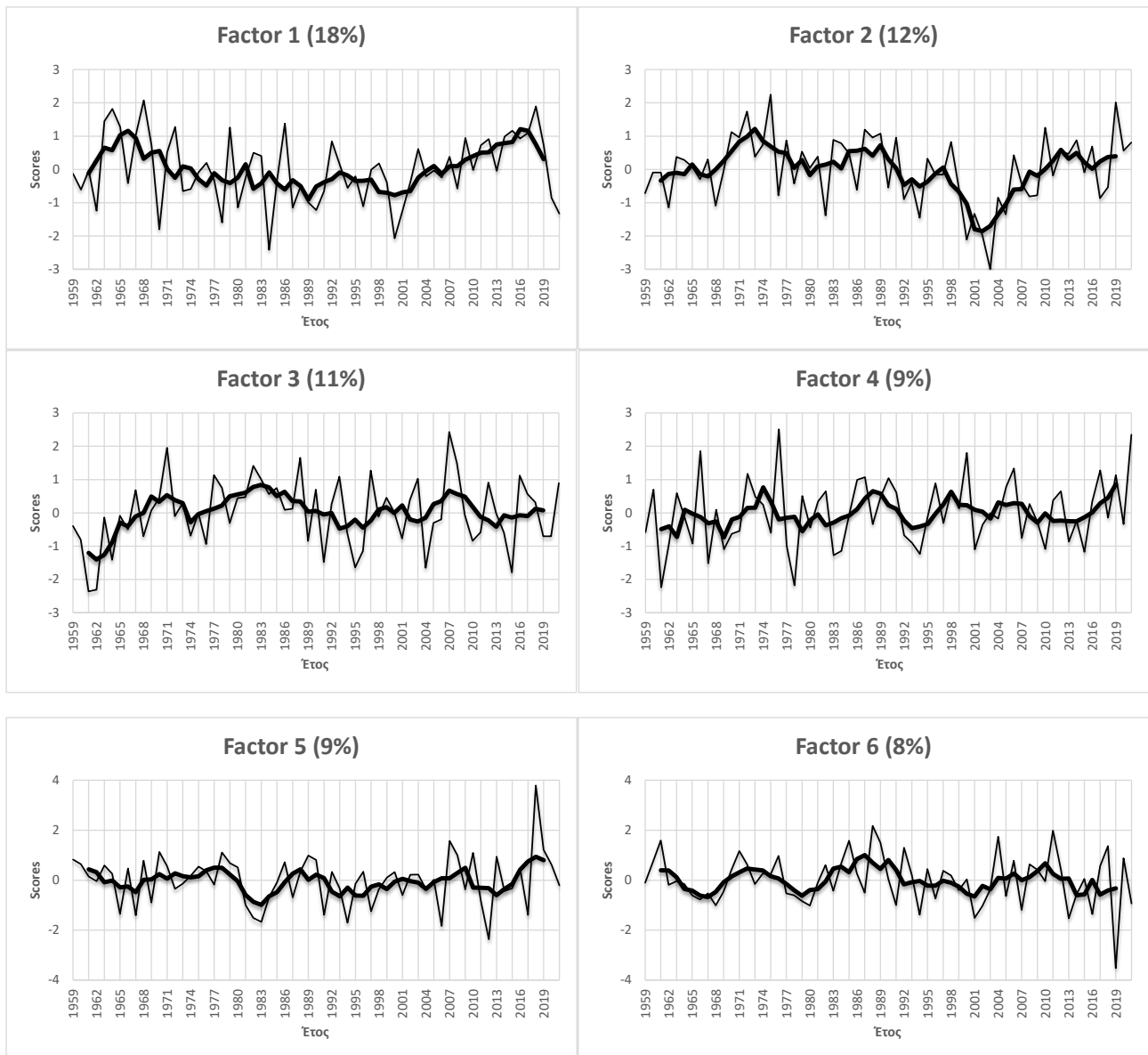
Μάιος – Ιούνιος

Για το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου, προέκυψαν 6 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 67% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.24 και 3.25 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και η χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

Παρατηρώντας το Σχήμα 3.24, φαίνεται ότι κατά το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου, το τμήμα της δυτικής Μεσογείου και της κεντρικής Ευρώπης δεν καλύπτονται εξ ολοκλήρου από υψηλά loadings σε κάποιο παράγοντα. Ωστόσο, η διαχρονική πορεία του δείκτη K αποκαλύπτει ότι έχει μια σταθερή πορεία μέσα στα έτη, καθώς κανένας από τους 6 παράγοντες δεν παρουσιάζει κάποια στατιστικά σημαντική τάση διαχρονικά, είτε ανοδική είτε καθοδική. Αξιοσημείωτη επίσης είναι η πτώση που εμφανίζεται στον παράγοντα 2 κατά την περίοδο 1998 έως 2007, χωρίς ωστόσο αυτή να επηρεάζει τη συνολική μεταβολή του συγκεκριμένου παράγοντα διαχρονικά. Επομένως, για αυτό το δίμηνο ο δείκτης αστάθειας K παραμένει σχετικά στα ίδια επίπεδα με μόνο υψηλής συχνότητας διακύμανσης διαχρονικά για όλες τις περιοχές.



Σχήμα 3.24: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη K, κατά το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου



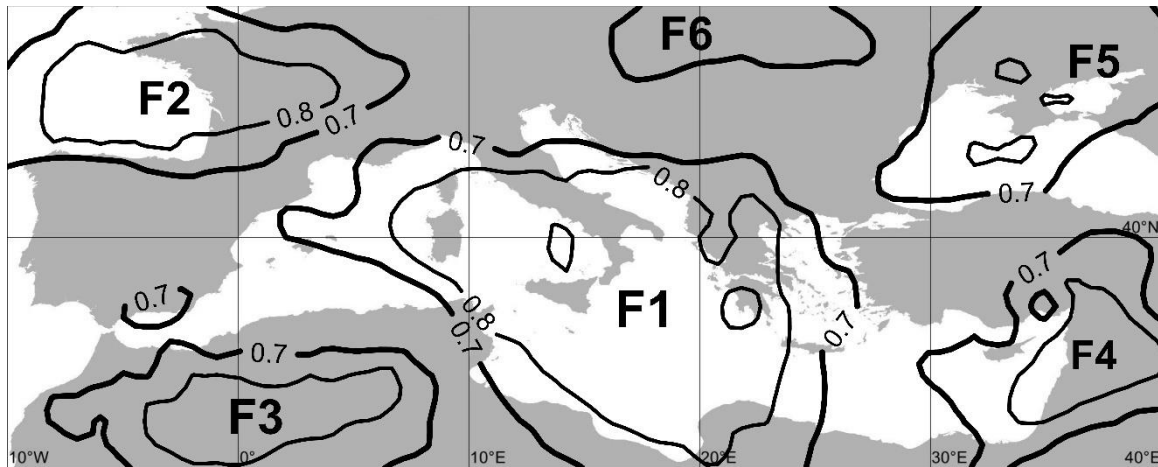
Σχήμα 3.25: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη K, κατά το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου

Ιούλιος – Αύγουστος

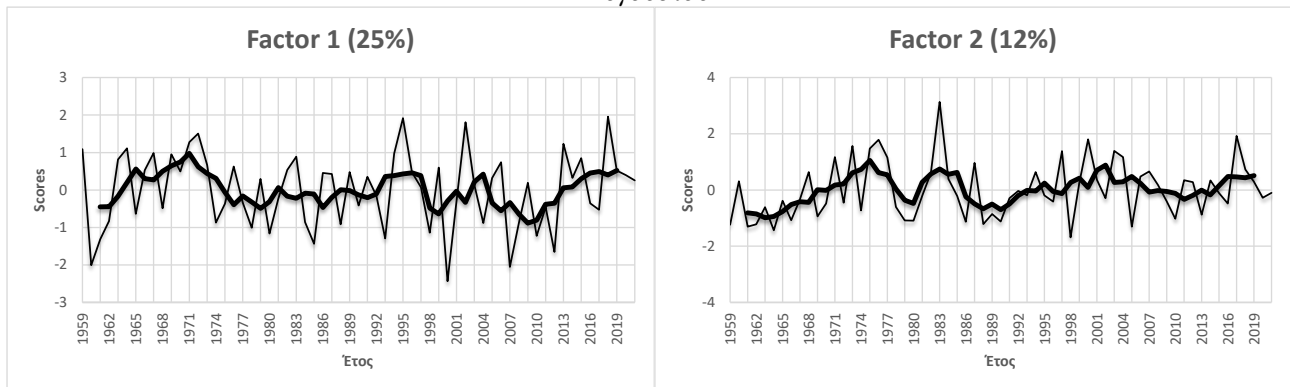
Για το δίμηνο Ιουλίου - Αυγούστου, προέκυψαν 6 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 72% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.26 και 3.27 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και η χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

Κατά το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου, φαίνεται από το Σχήμα 3.26 ότι καλύπτεται το μεγαλύτερο μέρος τη περιοχής της Μεσογείου από υψηλά loadings. Ακόμα από τα διαγράμματα του Σχήματος 3.27, προκύπτει πως οι παράγοντες 3 και 4 παρουσιάζουν μια στατιστικά σημαντική αυξητική τάση στη διαχρονική διακύμανσή τους. Οι περιοχές αυτές, καλύπτουν την περιοχή της βορειοδυτικής Αφρικής καθώς επίσης και της νοτιοδυτικής Ασίας και βορειοανατολικής Αφρικής αντίστοιχα. Αντιθέτως, ο παράγοντας 5, ο οποίος επικρατεί στον Εύξεινο Πόντο καθώς και στις βόρειες ακτές αυτού, παρουσιάζει μια στατιστικά σημαντική πτωτική τάση, όπως φαίνεται στο αντίστοιχο διάγραμμα του Σχήματος 3.27. Επομένως ο δείκτης K δεν εμφανίζεται σταθερός διαχρονικά όσον αφορά το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου καθώς σε δύο από τις 6 περιοχές αυξάνεται

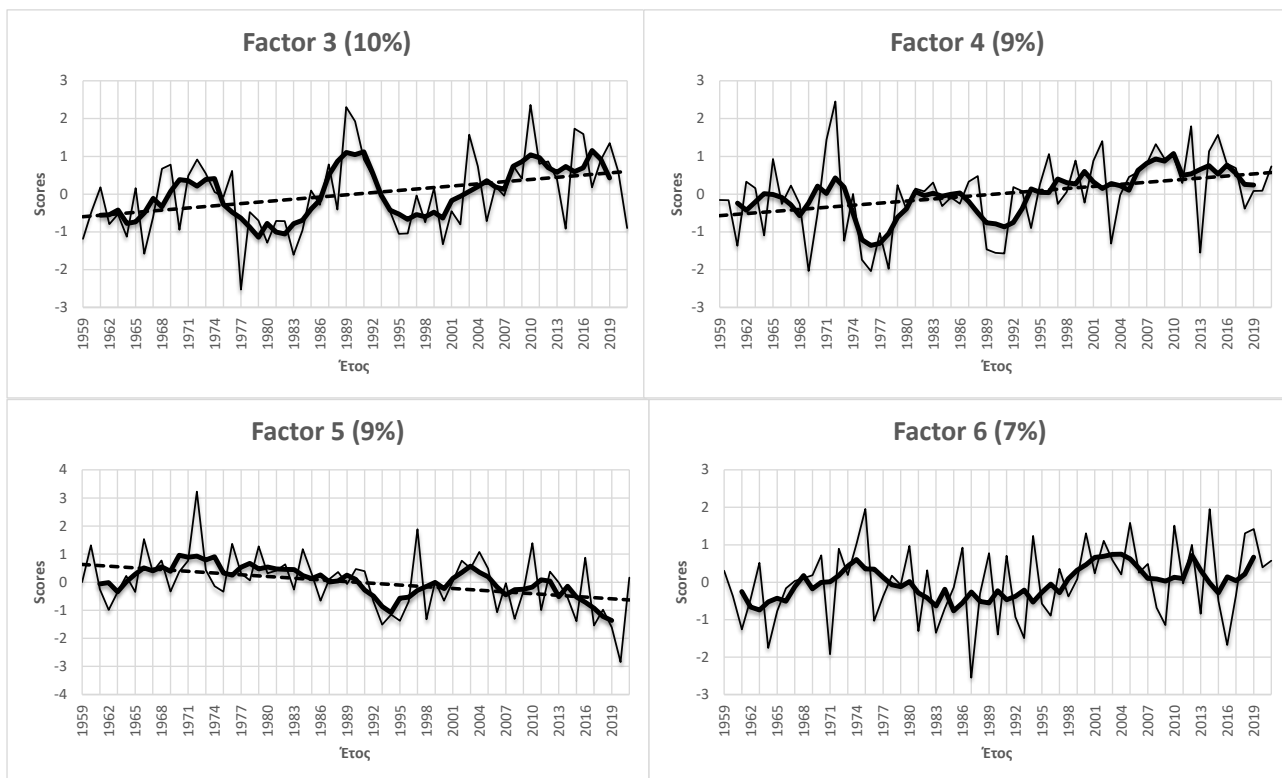
διαχρονικά ενώ σε μια μειώνεται, οπότε μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια διαχρονικά μεταβαλλόμενη ποσότητα για τη συγκεκριμένη περιοχή.



Σχήμα 3.26: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη *K*, κατά το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου



Σχήμα 3.27: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη *K*, κατά το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου

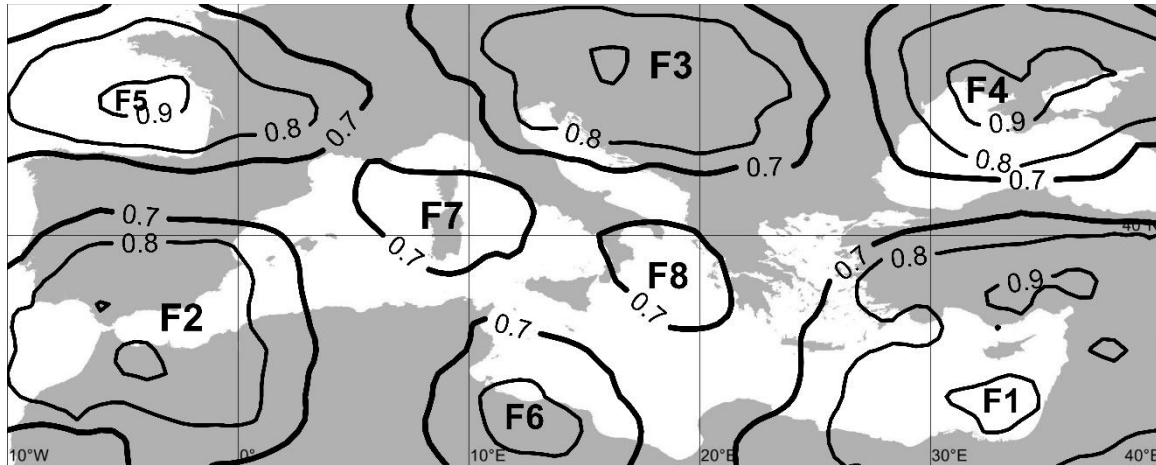


Σχήμα 3.27(Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη K, κατά το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου

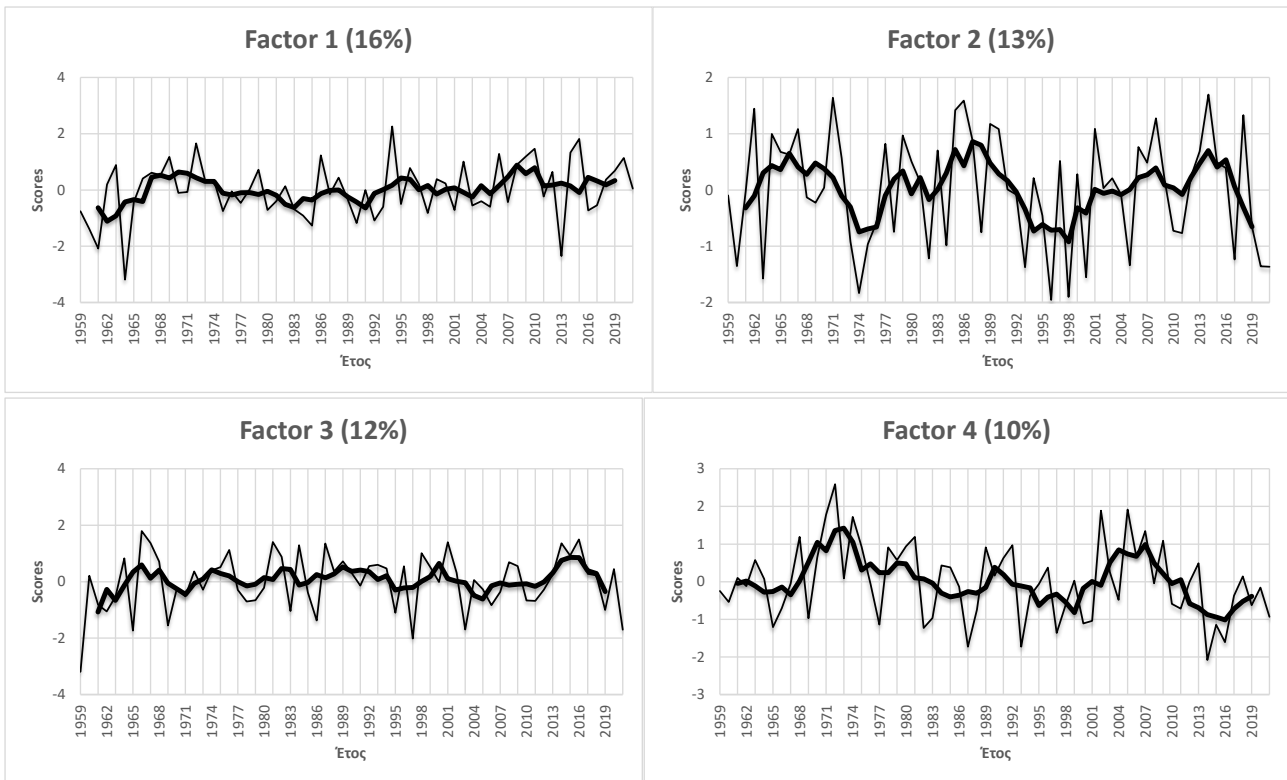
Σεπτέμβριος – Οκτώβριος

Για το δίμηνο Σεπτεμβρίου - Οκτωβρίου, προέκυψαν 8 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 80% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.28 και 3.29 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και η χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

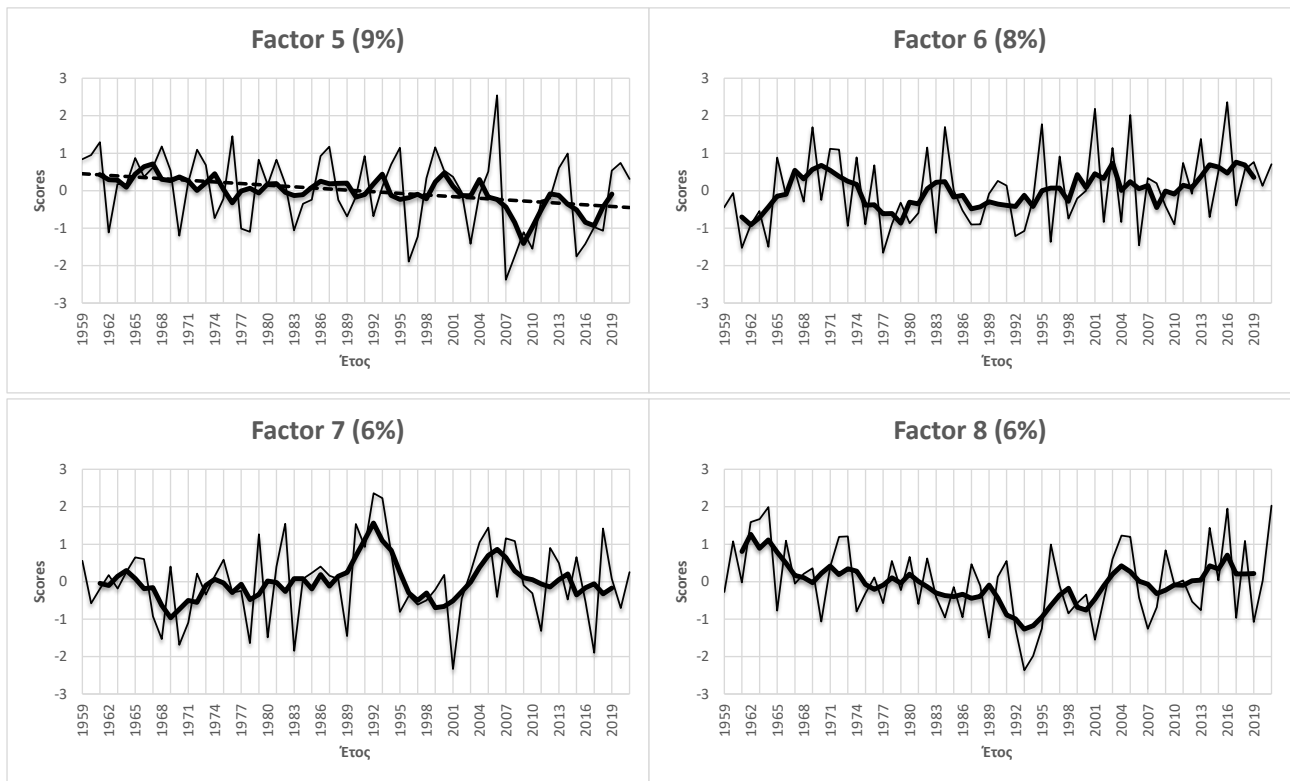
Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από το Σχήμα 3.28, υψηλά loadings καλύπτουν σχεδόν ολόκληρη την περιοχή της Μεσογείου για την περίοδο Σεπτεμβρίου - Οκτωβρίου. Επιπλέον, από τα διαγράμματα στο Σχήμα 3.29 φαίνεται πως οι 7 από τους 8 παράγοντες δεν παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντική μεταβολή είτε ανοδική είτε πτωτική. Ο μόνος παράγων ο οποίος παρουσιάζει μια φθίνουσα πορεία διαχρονικά, είναι ο 5 ο οποίος επικρατεί στην περιοχή της δυτικής Ευρώπης και του Βισκαϊκού κόλπου. Επομένως, το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου, παραμένει ως επί το πλείστον σταθερό όσον αφορά τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη αστάθειας K, μιας και σχεδόν όλοι του οι παράγοντες δεν εμφανίζουν κάποια σημαντική μακράς κλίμακας μεταβολή με την πάροδο των χρόνων.



Σχήμα 3.28: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη K, κατά το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου



Σχήμα 3.29: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη K, κατά το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου

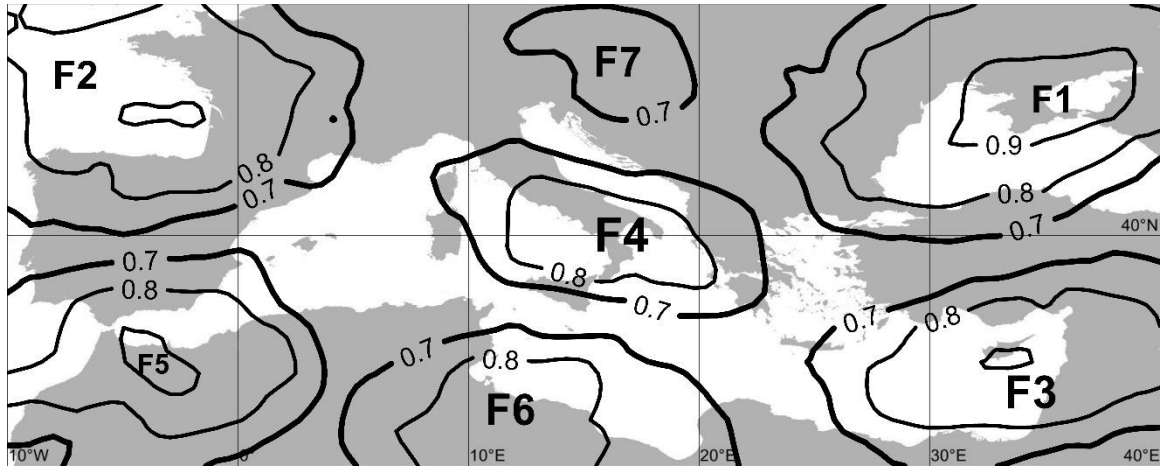


Σχήμα 3.29 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη K, κατά το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου

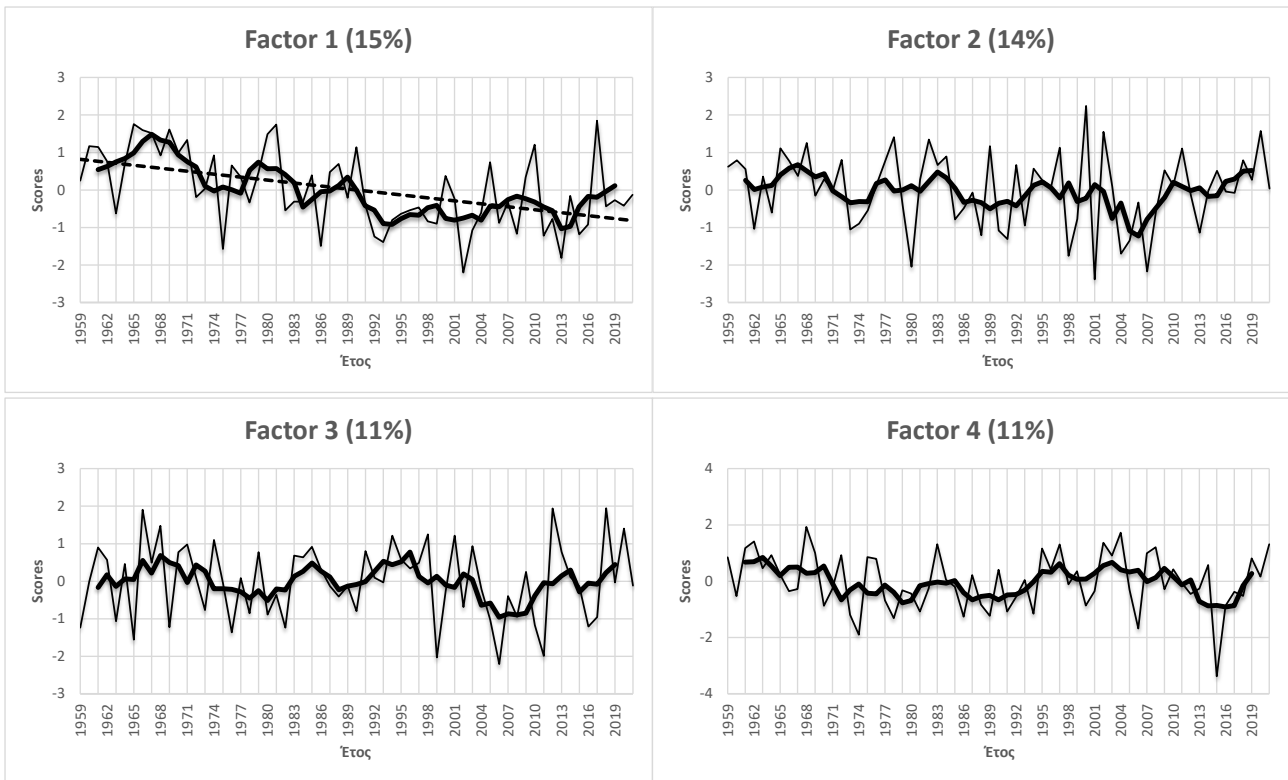
Νοέμβριος – Δεκέμβριος

Για το δίμηνο Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου, προέκυψαν 7 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 79% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.30 και 3.31 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και η χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

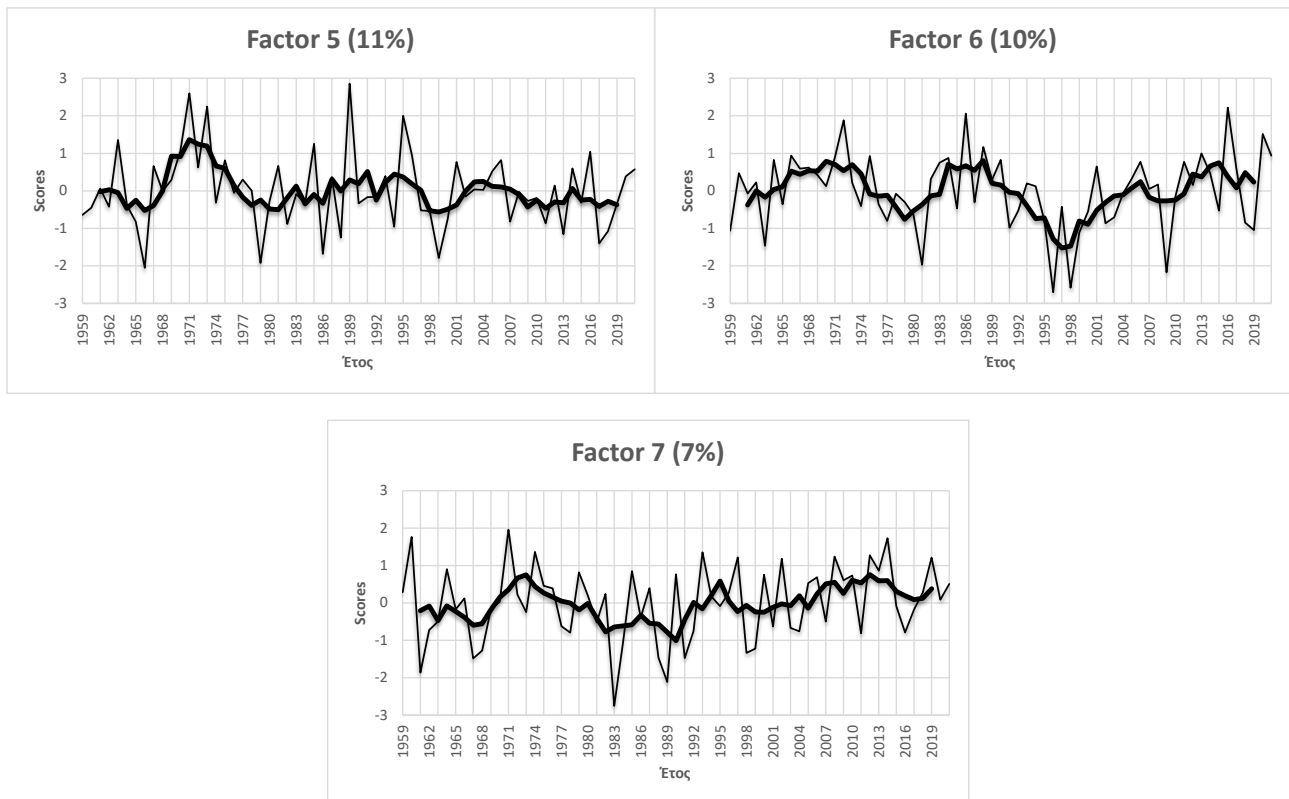
Σύμφωνα με το Σχήμα 3.30 τα υψηλά loadings των 9 παραγόντων καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της υπό μελέτη περιοχής. Επιπλέον, οι 7 από τους 8 παράγοντες παραμένουν χωρίς μακράς κλίμακας ουσιαστική μεταβολή διαχρονικά με τον παράγοντα 1 μόνο να παρουσιάζει στατιστικά σημαντική καθοδική πορεία διαχρονικά. Ο παράγων 1, επικρατεί πάνω από τη Μαύρη Θάλασσα και τα παράλια αυτής. Ακόμη πρέπει να υπογραμμιστούν και τα δύο ελάχιστα που εμφανίζει ο παράγων 6, που κυριαρχεί στο κεντρικό κομμάτι της βόρειας Αφρικής, κατά τις περιόδους 1974 – 1985 και 1992 – 2004. Επομένως, μπορεί να ειπωθεί πως και για το συγκεκριμένο δίμηνο ο δείκτης K, δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη μεταβολή είτε αυξητική είτε μειωτική, με εξαίρεση τη φθίνουσα πορεία του παράγοντα 1 στον Εύξεινο Πόντο που σχολιάστηκε προηγουμένως. Συνεπώς, η περίοδος Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου είναι γενικά σταθερή διαχρονικά όσον αφορά το δείκτη αστάθειας K.



Σχήμα 3.30: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη *K*, κατά το δίμηνο Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου



Σχήμα 3.31: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη *K*, κατά το δίμηνο Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου

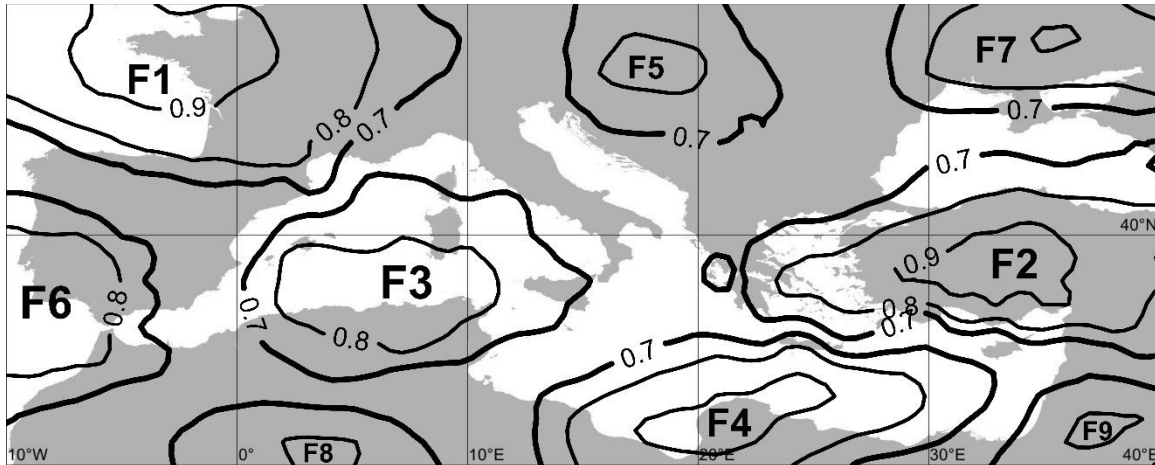


Σχήμα 3.31(Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη K, κατά το δίμηνο Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου

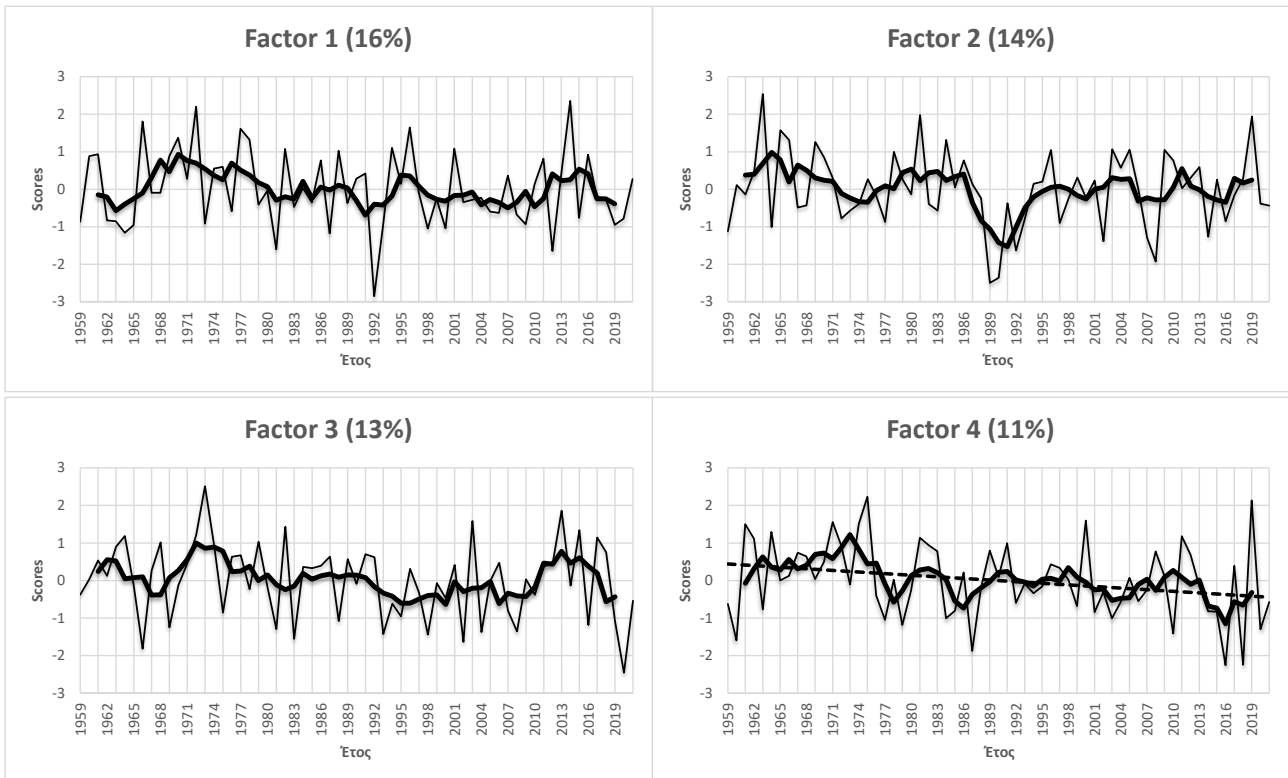
3.3.2 Διαχρονική διακύμανση του δείκτη Total Totals κατά δίμηνο Ιανουάριος – Φεβρουάριος

Για το δίμηνο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου, προέκυψαν 9 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 86% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.32 και 3.33 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και η χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

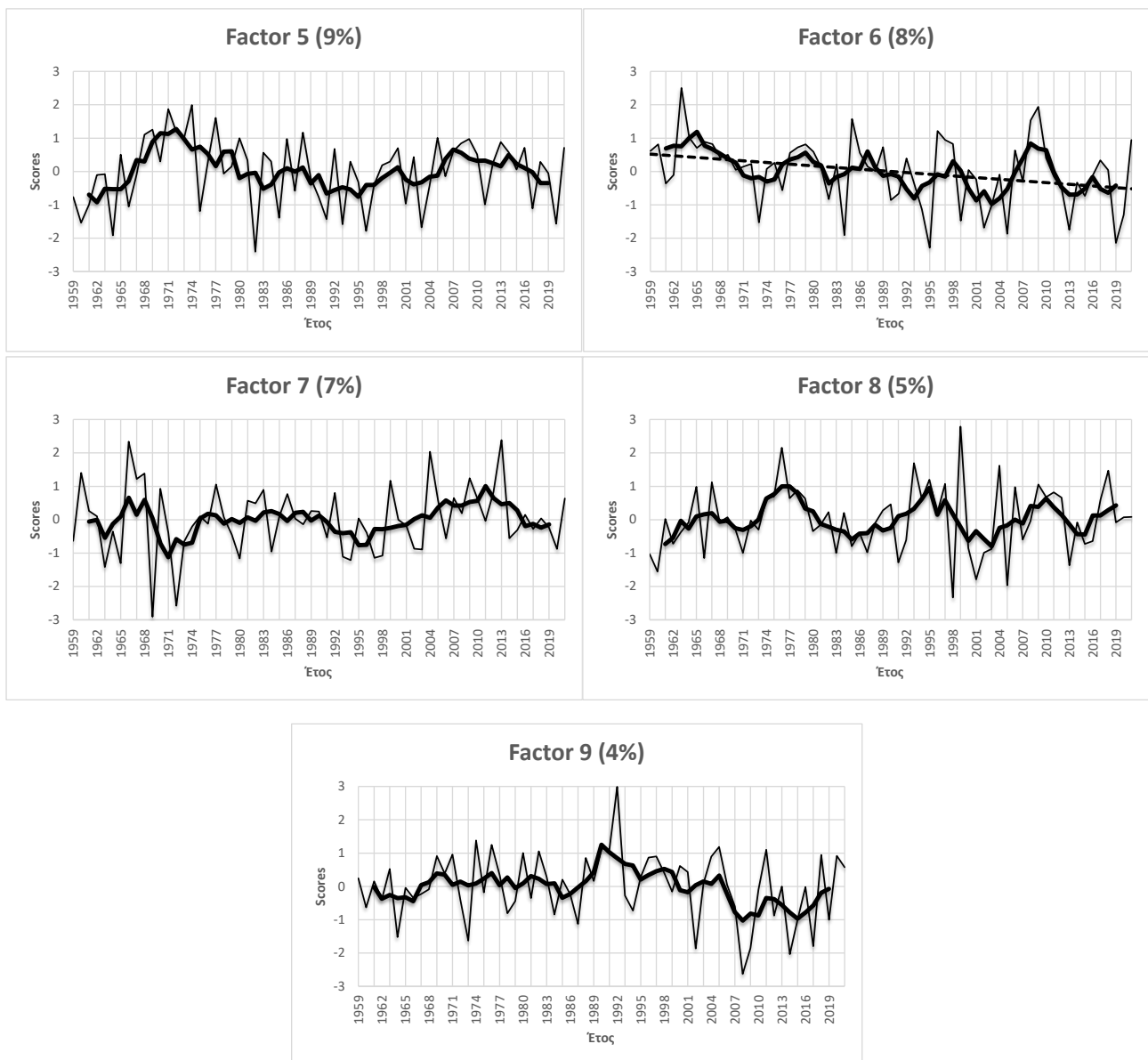
Μελετώντας το χάρτη του Σχήματος 3.32, φαίνεται ότι υψηλά loadings καλύπτουν ολόκληρη την υπό μελέτη περιοχή. Επιπλέον, μέσω των διαγραμμάτων του Σχήματος 3.33, διακρίνεται πως οι 7 από τους 9 παράγοντες δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική μεταβολή είτε αυξητική είτε πτωτική. Μόνο οι παράγοντες 4 και 6 παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική φθίνουσα πορεία κατά τη συγκεκριμένη περίοδο. Ο παράγων 4 επικρατεί στη βόρεια – βορειοανατολική Αφρική και στα παράλια των περιοχών αυτών, ενώ ο παράγων 6 επικρατεί στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ιβηρικής χερσονήσου και στο βορειοδυτικό τμήμα της Αφρικής. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, ο δείκτης Total Totals μπορεί να χαρακτηριστεί γενικά χωρίς μεγάλες μακράς κλίμακας μεταβολές, αφού μόνο 2 από τους συνολικά 9 παράγοντες παρουσιάζουν μια φθίνουσα διαχρονική πορεία.



Σχήμα 3.32: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου



Σχήμα 3.33: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου



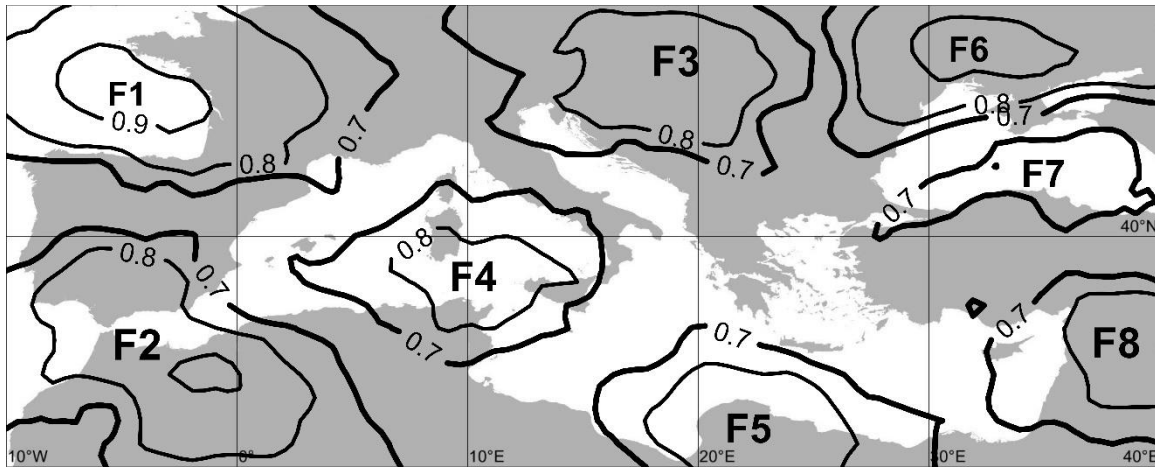
Σχήμα 3.33 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου

Μάρτιος – Απρίλιος

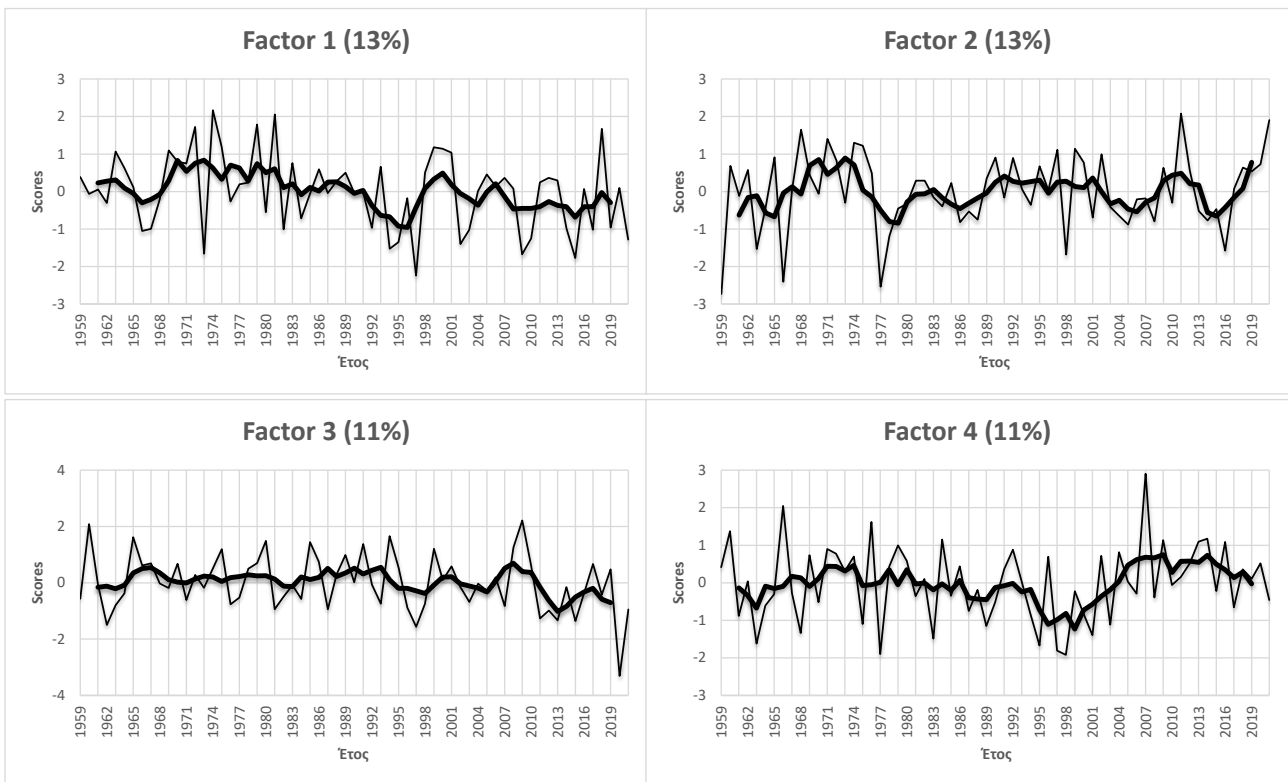
Για το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου, προέκυψαν 8 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 81% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.34 και 3.35 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και η χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

Στο χάρτη του Σχήματος 3.34 φαίνεται πως κατά το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου υψηλά loadings καλύπτουν ολόκληρη την υπό μελέτη περιοχή με μόνες εξαιρέσεις την περιοχή της Ελλάδας και της Τουρκίας. Ακόμη, φαίνεται από τα διαγράμματα του Σχήματος 3.35 πως η διαχρονική πορεία των 6 εκ των 8 παραγόντων του δείκτη, δεν παρουσιάζουν καμία άξια αναφοράς μακράς κλίμακας μεταβολή κατά την πάροδο των χρόνων. Μόνο οι παράγοντες 5 και 6 εμφανίζουν στατιστικά σημαντική φθίνουσα και αύξουσα πορεία αντίστοιχα. Ο παράγων 5 επικρατεί πάνω από τη βορειοανατολική Αφρική, ενώ ο 6 επικρατεί βόρεια της Μαύρης Θάλασσας σε περιοχές των χωρών της Ρουμανίας, της Μολδαβίας, της Ουκρανίας και της Ρωσίας. Τέλος, για τη συγκεκριμένη περίοδο

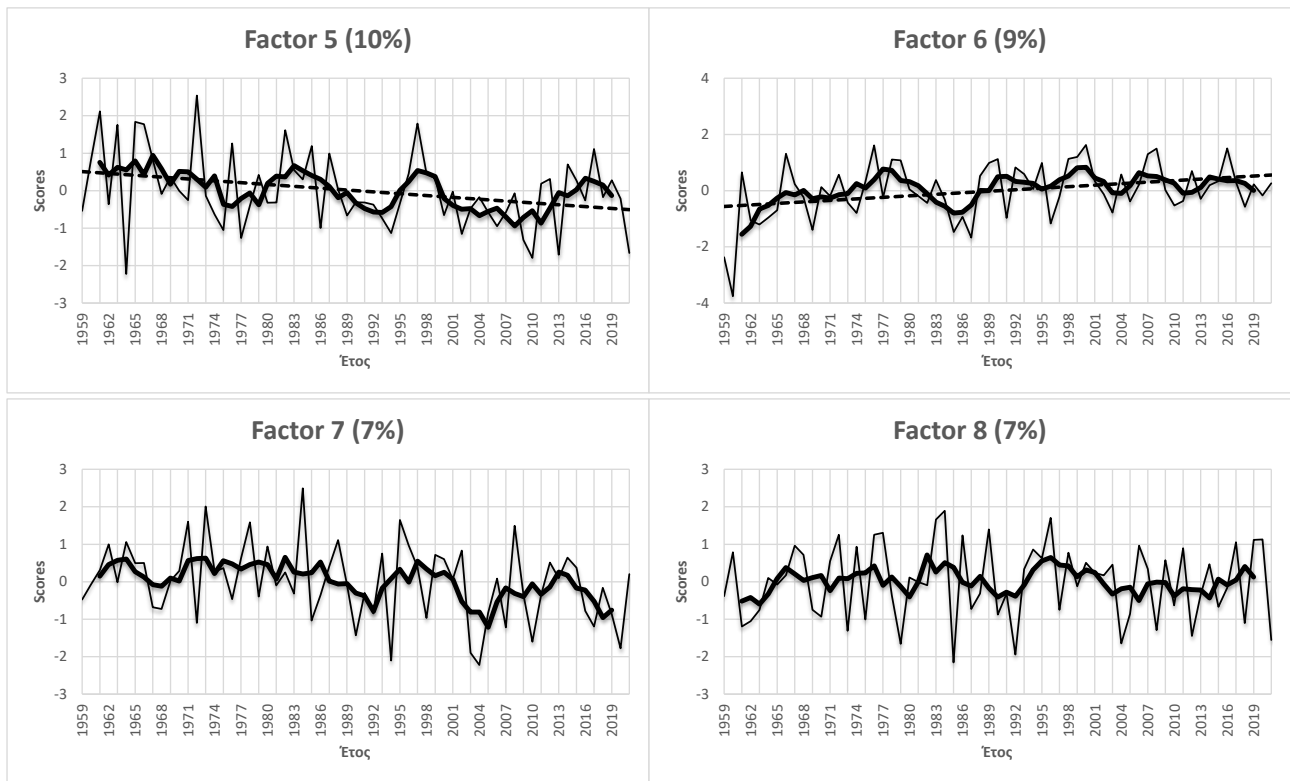
και δεδομένου ότι η πλειοψηφία των παραγόντων δεν παρουσιάζει σημαντική μακράς κλίμακας διαχρονική μεταβολή, μπορεί να θεωρηθεί πως ο δείκτης Total Totals παραμένει χωρίς αξιόλογη τάση στη Μεσόγειο κατά τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο.



Σχήμα 3.34: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου



Σχήμα 3.35: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου

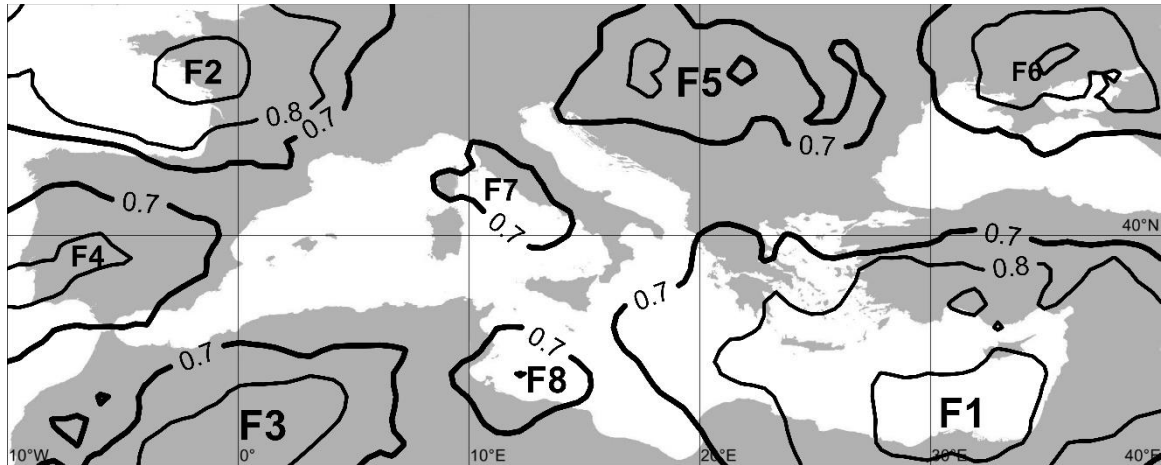


Σχήμα 3.35 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου

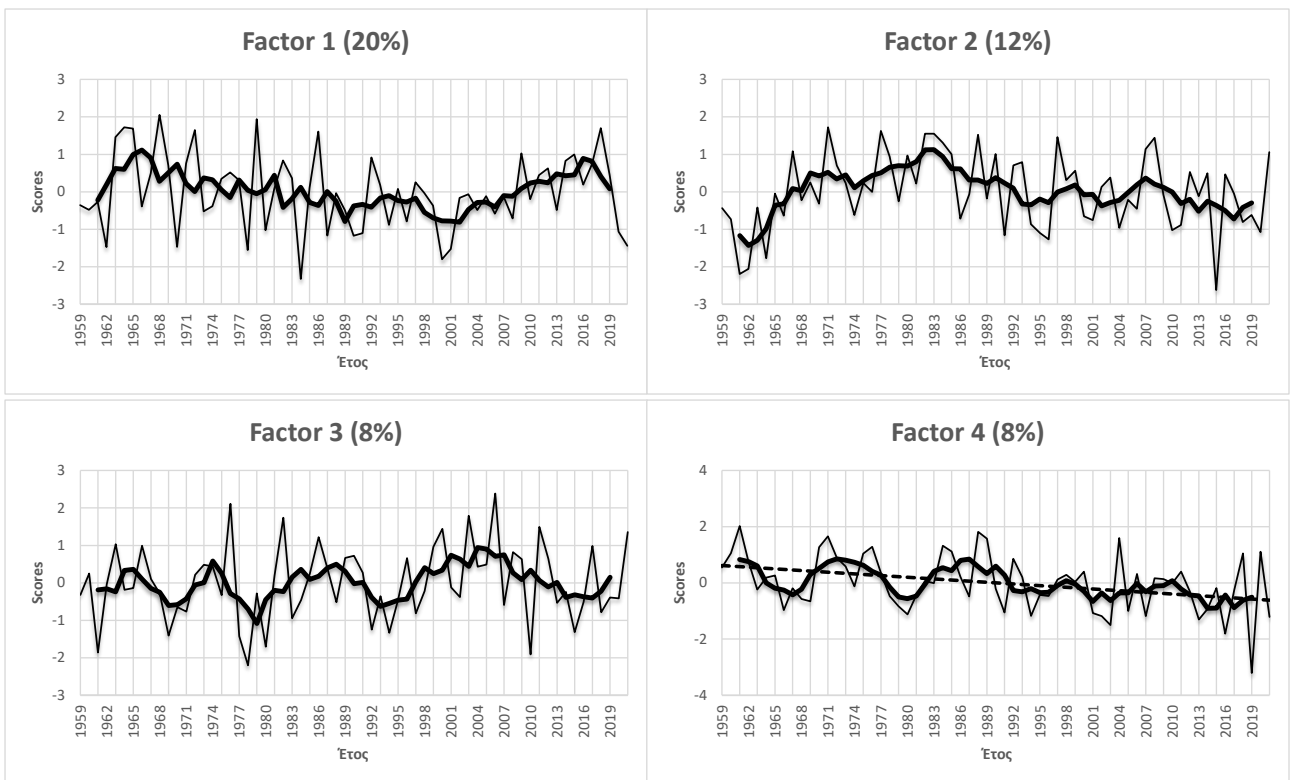
Μάιος – Ιούνιος

Για το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου, προέκυψαν 8 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 76% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.36 και 3.37 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και η χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

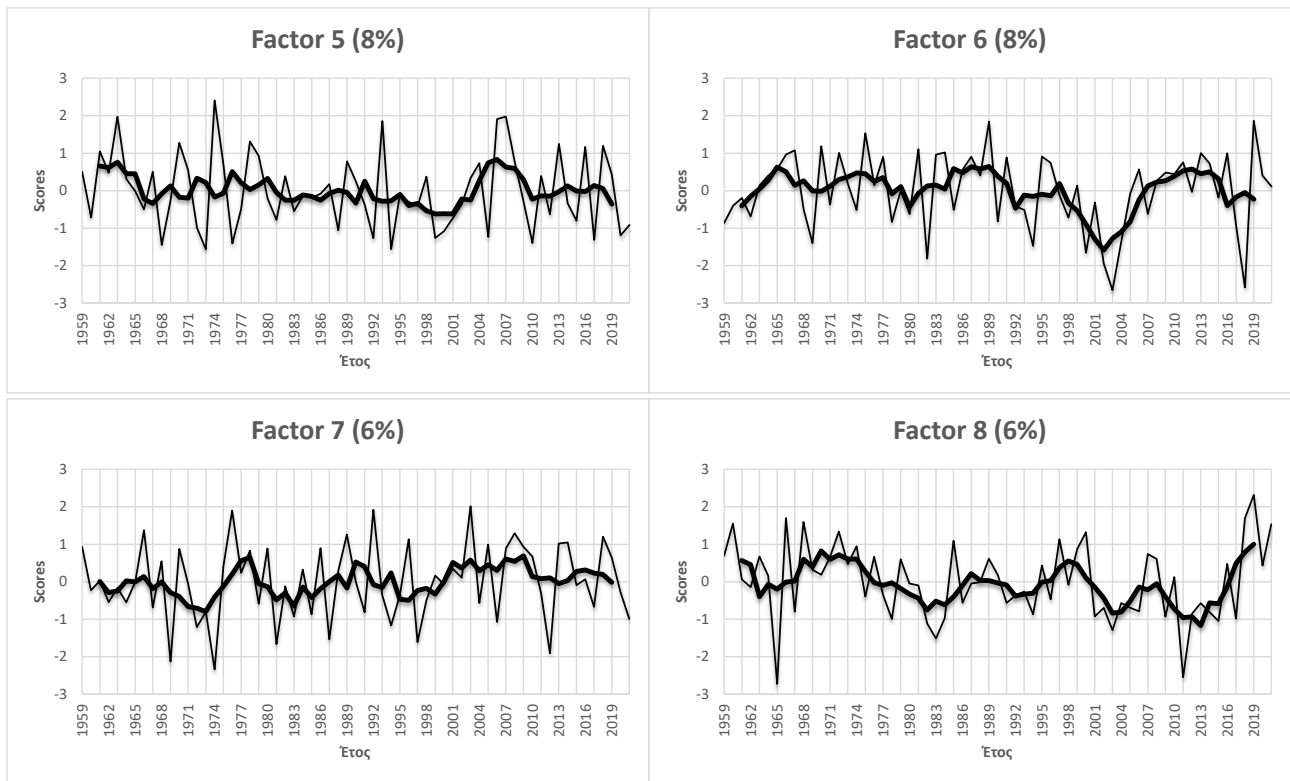
Σύμφωνα με το χάρτη του Σχήματος 3.36 τα υψηλά loadings των 8 παραγόντων καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της υπό μελέτη περιοχής. Επιπλέον, όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα στο Σχήμα 3.37 ο δείκτης δεν παρουσιάζει κάποια μακράς κλίμακας διαχρονική μεταβολή, με εξαίρεση τον παράγοντα 4, ο οποίος επικρατεί πάνω από την Ιβηρική Χερσόνησο και το στενό του Γιβραλτάρ. Μπορεί επομένως να θεωρηθεί πως ο δείκτης Total Totals παραμένει χωρίς αξιόλογη τάση στη Μεσόγειο κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο.



Σχήμα 3.36: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου



Σχήμα 3.37: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Μαΐου - Ιουνίου

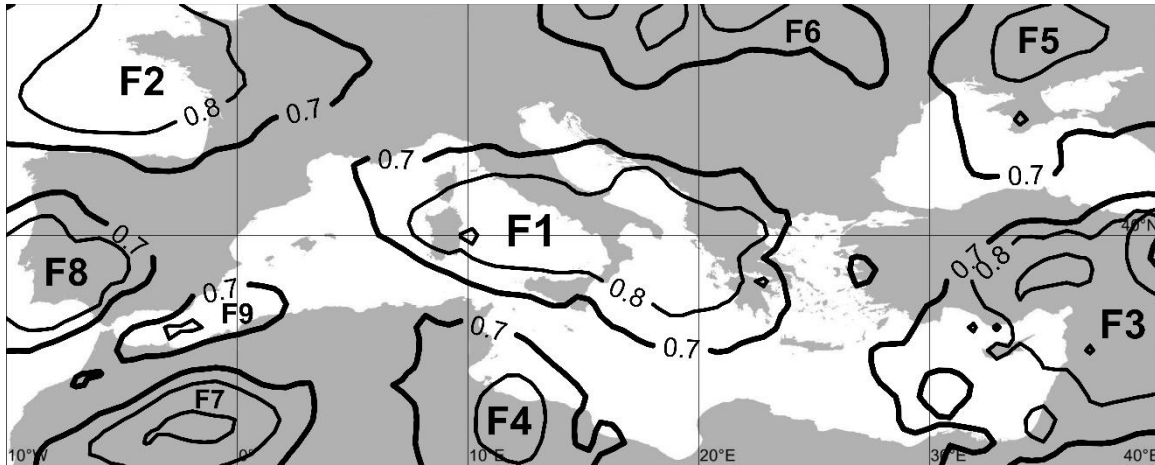


Σχήμα 3.37(Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Μαΐου - Ιουνίου

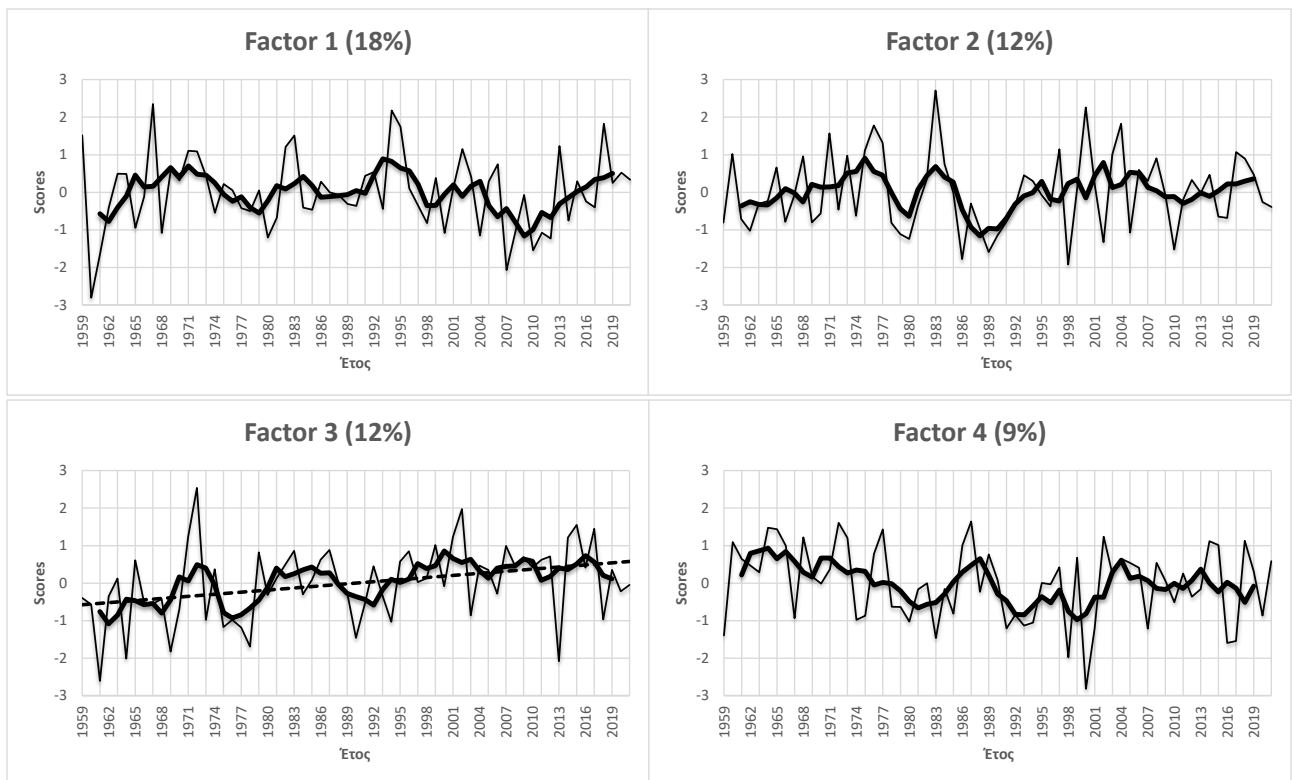
Ιούλιος – Αύγουστος

Για το δίμηνο Ιουλίου - Αυγούστου, προέκυψαν 9 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 81% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.38 και 3.39 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

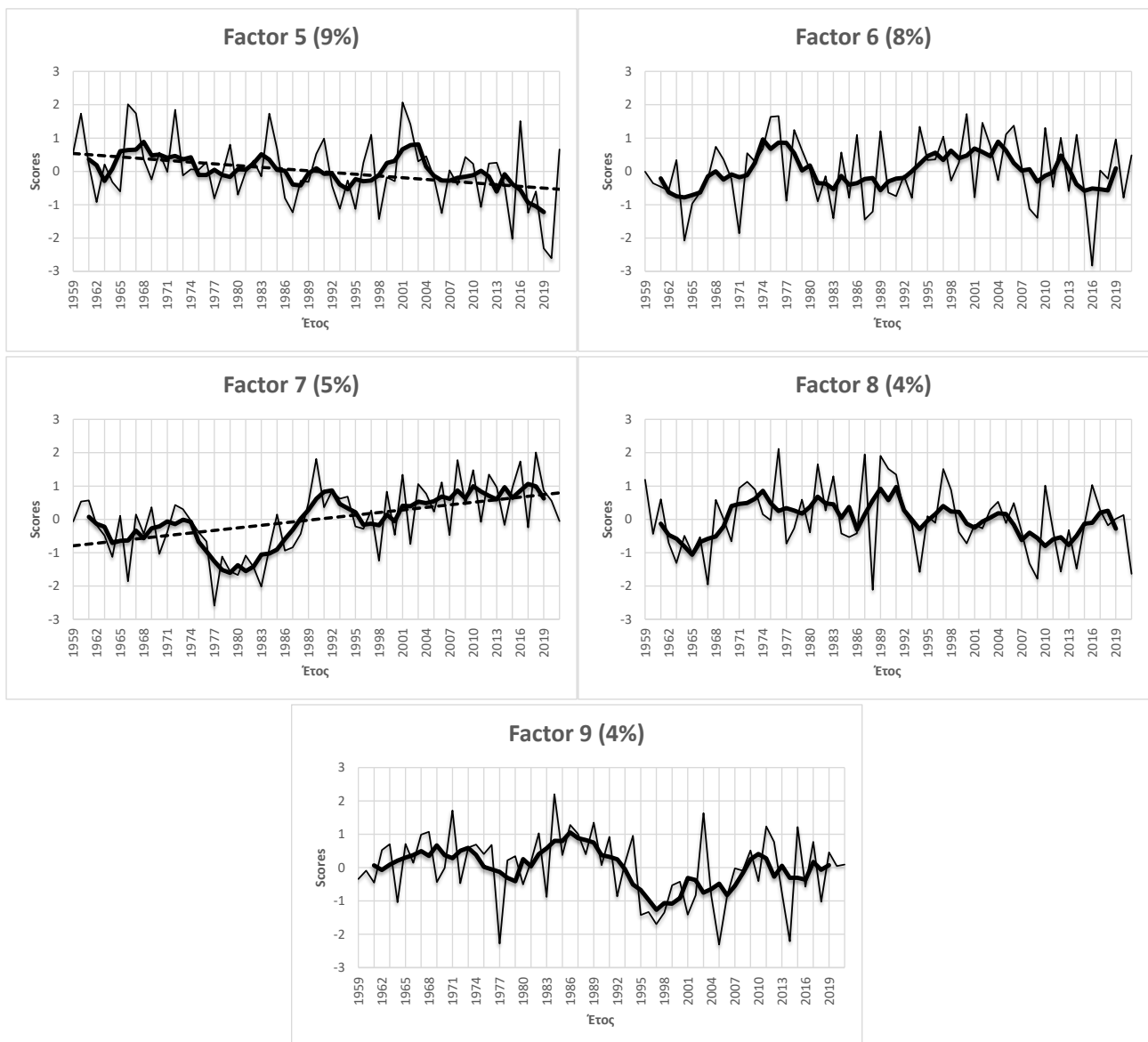
Παρατηρώντας το χάρτη του Σχήματος 3.38 φαίνεται ότι υψηλά loadings του δείκτη καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της υπό μελέτη περιοχής κατά το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου. Ακόμη, μέσω των διαγραμμάτων του Σχήματος 3.39 φαίνεται πως οι 3 από τους 9 παράγοντες παρουσιάζουν κάποια μακράς κλίμακας διαχρονική μεταβολή. Αυτοί είναι οι παράγοντες 3, 5, και 7 οι οποίοι επικρατούν πάνω από τη νοτιοδυτική Ασία και την Κύπρο, τη Μαύρη Θάλασσα και τα παράλια της, καθώς και στη βορειοδυτική Αφρική. Οι παράγοντες 3 και 7 είναι εκείνοι οι οποίοι παρουσιάζουν αυξητική τάση, ενώ ο παράγων 5 εμφανίζει πτωτική πορεία. Επομένως, βγαίνει το συμπέρασμα πως ο δείκτης Total Totals δεν παραμένει σταθερός διαχρονικά καθώς το 1/3 των παραγόντων εμφανίζει μακράς κλίμακας διαχρονική μεταβολή.



Σχήμα 3.38: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Ιουλίου - Αυγούστου



Σχήμα 3.39: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου

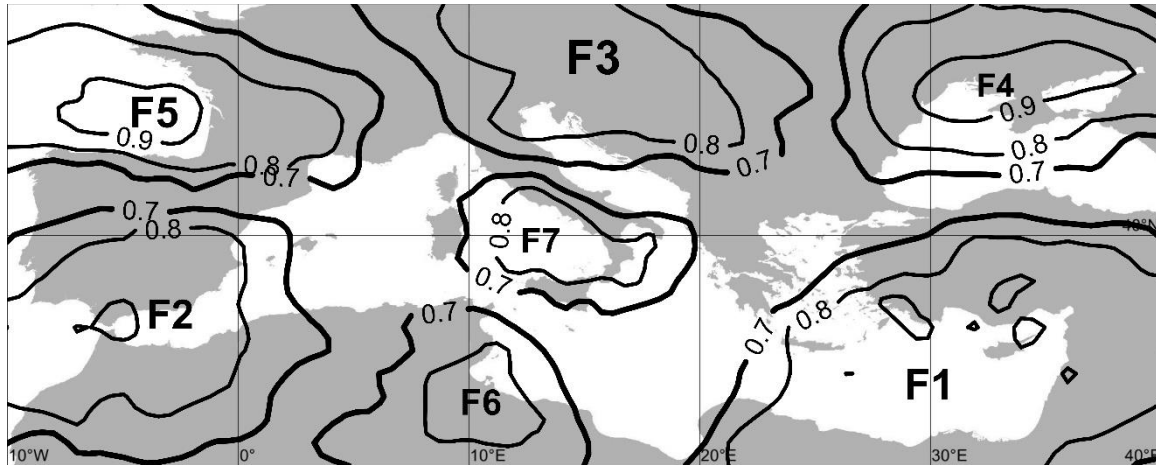


Σχήμα 3.39(Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου

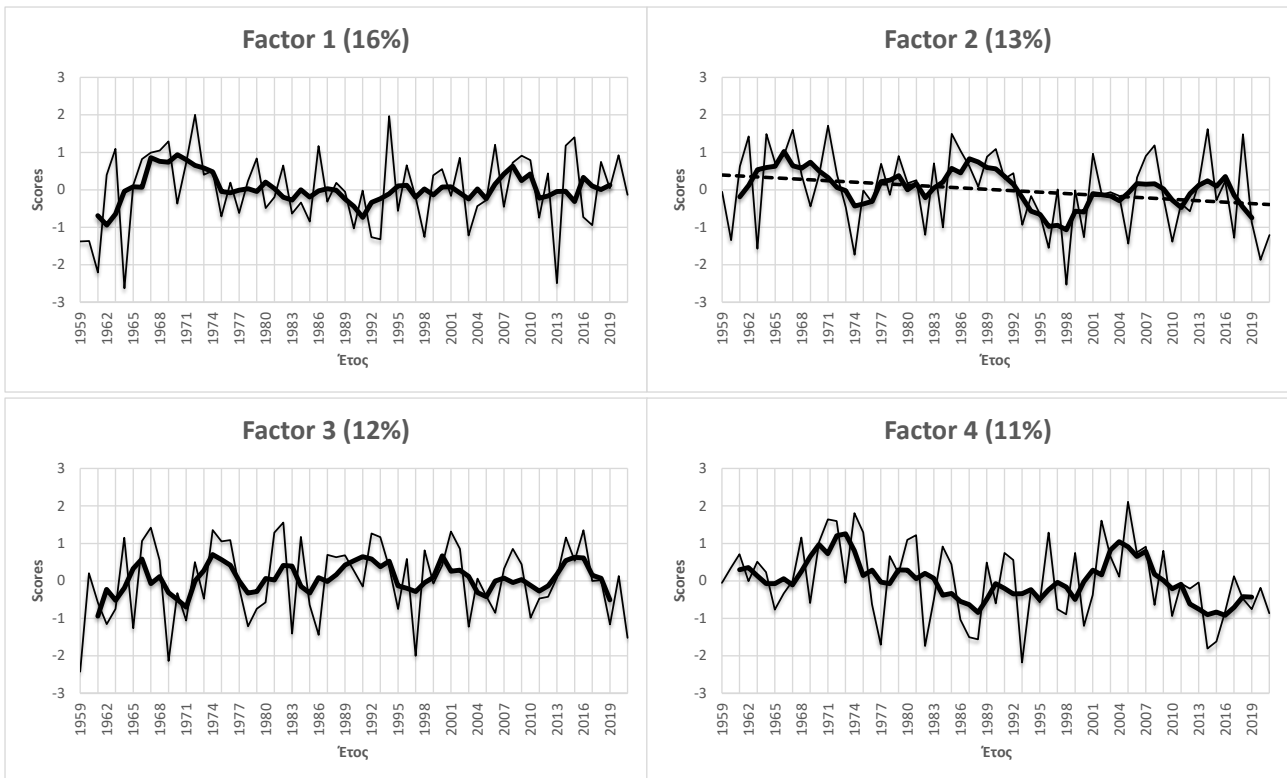
Σεπτέμβριος – Οκτώβριος

Για το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου, προέκυψαν 7 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 77% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.40 και 3.41 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης.

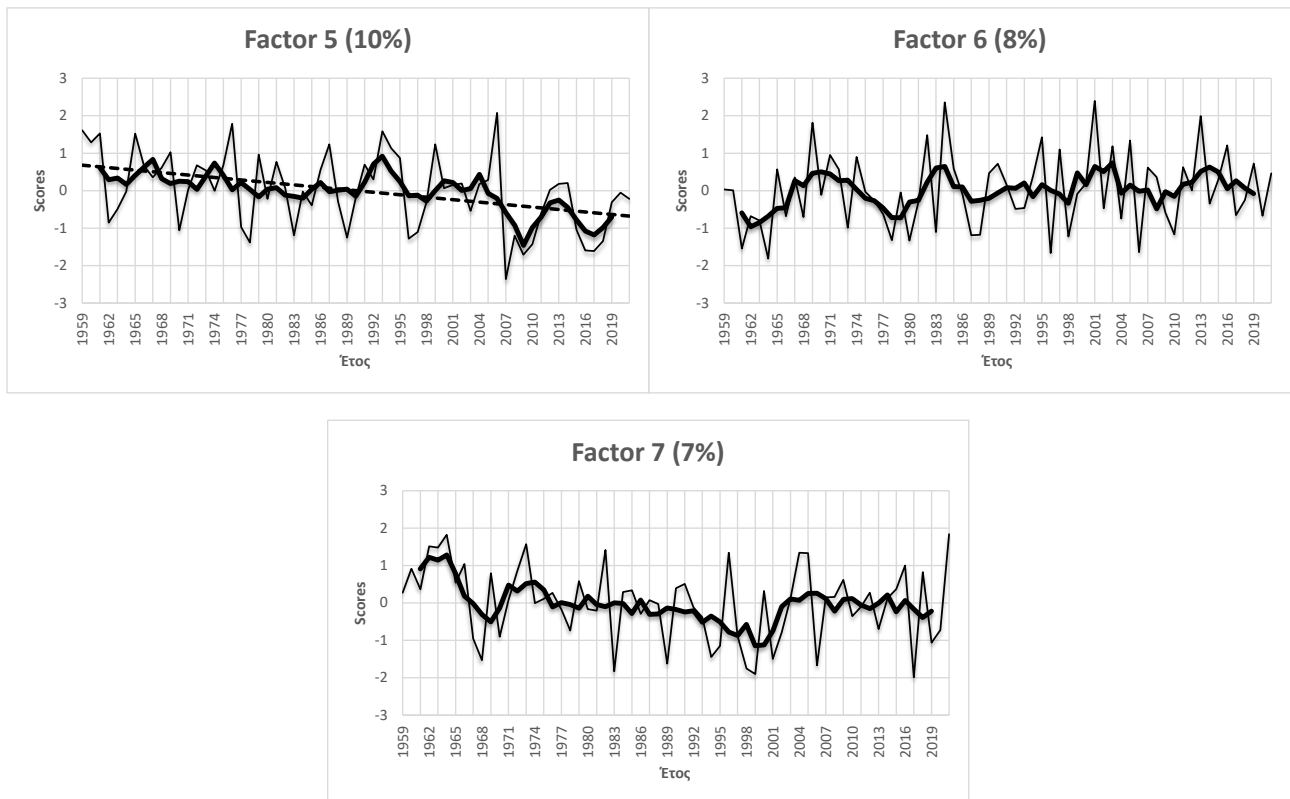
Με βάση το χάρτη του Σχήματος 3.40, γίνεται φανερό πως υψηλά loadings του δείκτη καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της υπό μελέτη περιοχής. Επιπροσθέτως, μελετώντας τα διαγράμματα του Σχήματος 3.41 φαίνεται πως οι 5 από τους 7 παράγοντες δεν παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντική μεταβολή διαχρονικά,, εκτός από τους παράγοντες 2 και 5. Ο παράγων 2 επικρατεί στη βορειοδυτική Αφρική και εκτείνεται έως το νότιο κομμάτι της Ιβηρικής χερσονήσου, ενώ ο παράγων 5 επικρατεί πάνω από το Βισκαϊκό κόλπο και σε ένα αρκετά μεγάλο τμήμα της Γαλλίας. Οι δύο αυτοί παράγοντες εμφανίζουν πτωτική πορεία αμφότεροι.



Σχήμα 3.40: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου



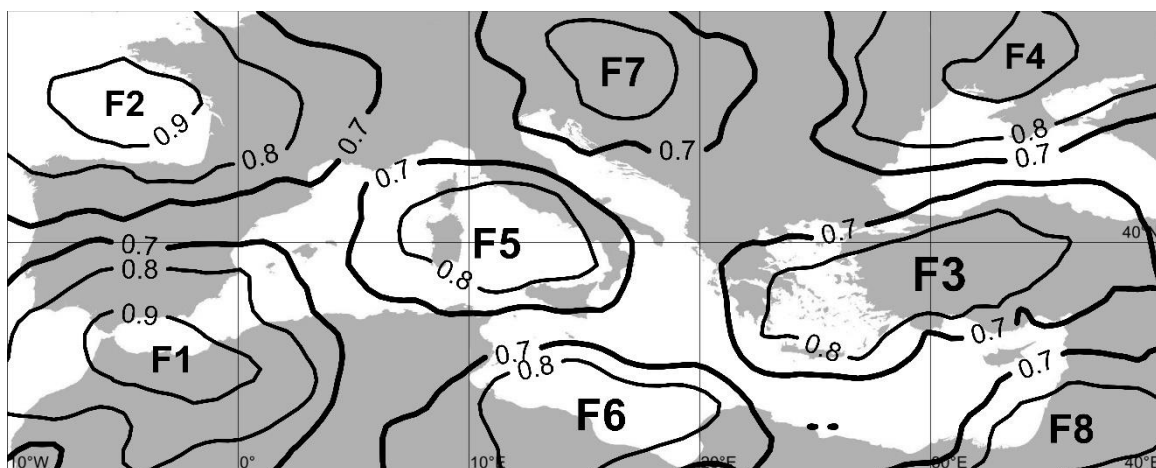
Σχήμα 3.41: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου



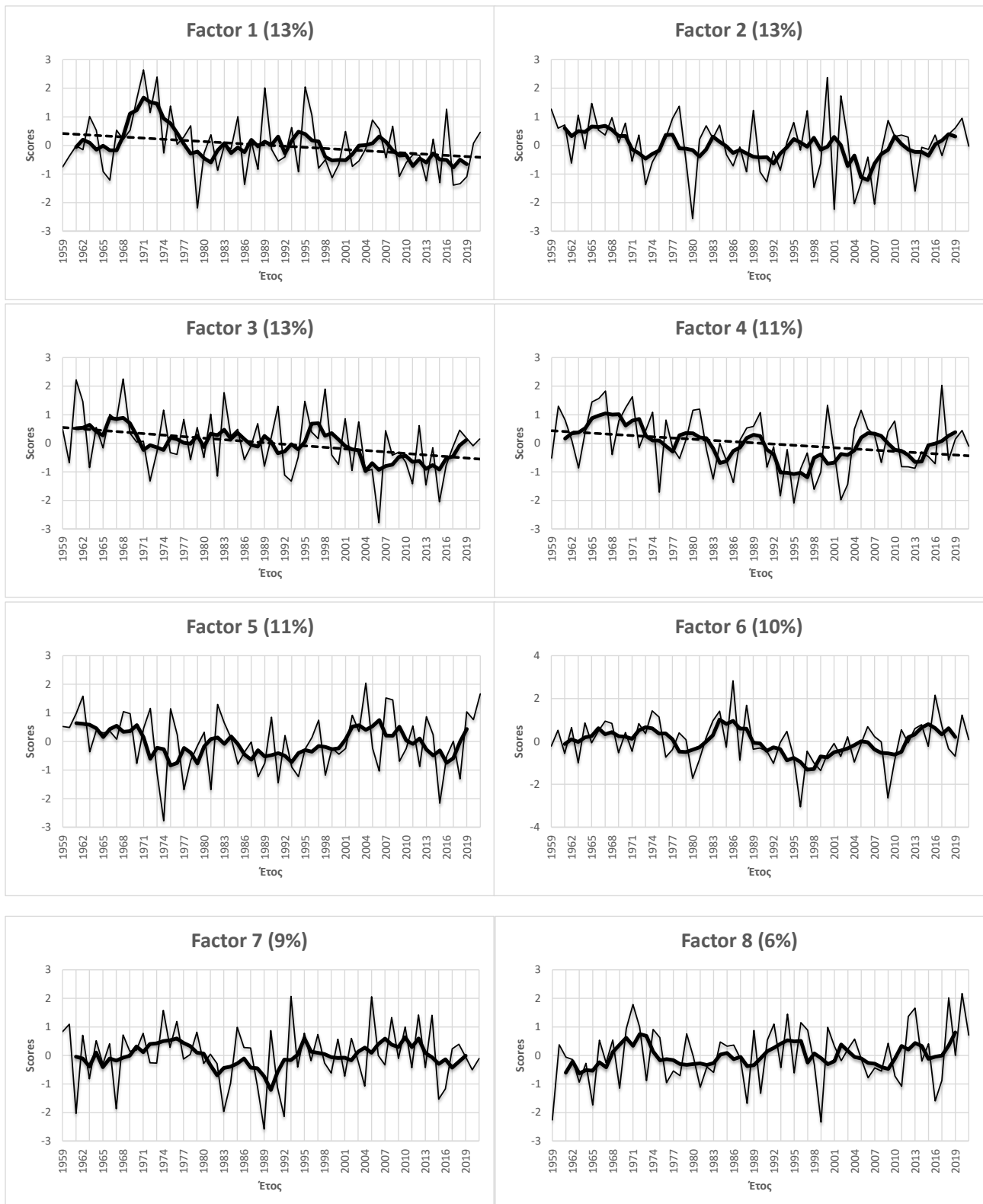
Σχήμα 3.41 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου

Νοέμβριος – Δεκέμβριος

Για το δίμηνο Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου, προέκυψαν 8 παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν το 86% της ολικής διακύμανσης και στα Σχήματα 3.42 και 3.43 φαίνεται που αντιστοιχεί ο καθένας στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και χρονική διακύμανσή του στα 63 έτη μελέτης



Σχήμα 3.42: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τη χωρική κατανομή των loadings (εμφανίζονται ισοπληθείς μόνο για τιμές μεγαλύτερες από 0.7) για τη διαχρονική διακύμανση του δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου



Σχήμα 3.43: Η διαχρονική διακύμανση των factor scores για το δείκτη Total Totals, κατά το δίμηνο Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.42, φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια του διμήνου Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου υψηλά loadings του δείκτη καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της υπό μελέτη περιοχής. Επιπλέον, σύμφωνα με όσα δείχνουν τα διαγράμματα του Σχήματος 3.43 οι 3 από τους 8 παράγοντες (1, 3 και 4), παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική πτωτική τάση. Ο παράγων 1 επικρατεί πάνω από τη

βορειοδυτική Αφρική μέχρι το νότιο τμήμα της Ιβηρικής χερσονήσου, ο παράγων 3 πάνω από την περιοχή της Ελλάδας και της Τουρκίας, ενώ ο παράγων 4 επικρατεί πάνω από τη Μαύρη Θάλασσα και τις χώρες που βρέχονται από αυτήν.

Εν κατακλείδι, παρατηρώντας τις περιοχές όπου ο κάθε δείκτης παρουσιάζει στατιστικά σημαντική μεταβολή με την πάροδο των χρόνων βγαίνει το συμπέρασμα πως στα κοινά δίμηνα (με εξαίρεση το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου όπου ο δείκτης K, δεν εμφανίζει ούτε έναν παράγοντα που με στατιστικά σημαντική μεταβολή) οι δύο δείκτες έχουν κοινές περιοχές με σημαντικές διαχρονικές μεταβολές. Επιγραμματικά, για τα δίμηνα Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου και Μαρτίου – Απριλίου η κοινή περιοχή πτωτικής τάσης των δύο δεικτών είναι το κεντρικό τμήμα της βόρειας Αφρικής, για το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου, οι κοινές περιοχές ανοδικής τάσης είναι η βορειοδυτική Αφρική, και η νοτιοδυτική Ασία, ενώ η κοινή περιοχή πτωτικής τάσης είναι η Μαύρη Θάλασσα. Ακόμη για το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου ο Βισκαϊκός κόλπος αποτελεί την κοινή περιοχή πτωτικής τάσης για τους δύο δείκτες, ενώ για το τελευταίο δίμηνο του έτους, αυτό του Νοεμβρίου και του Δεκεμβρίου η κοινή περιοχή πτωτικής τάσης των δύο δεικτών αστάθειας είναι η Μαύρη Θάλασσα.

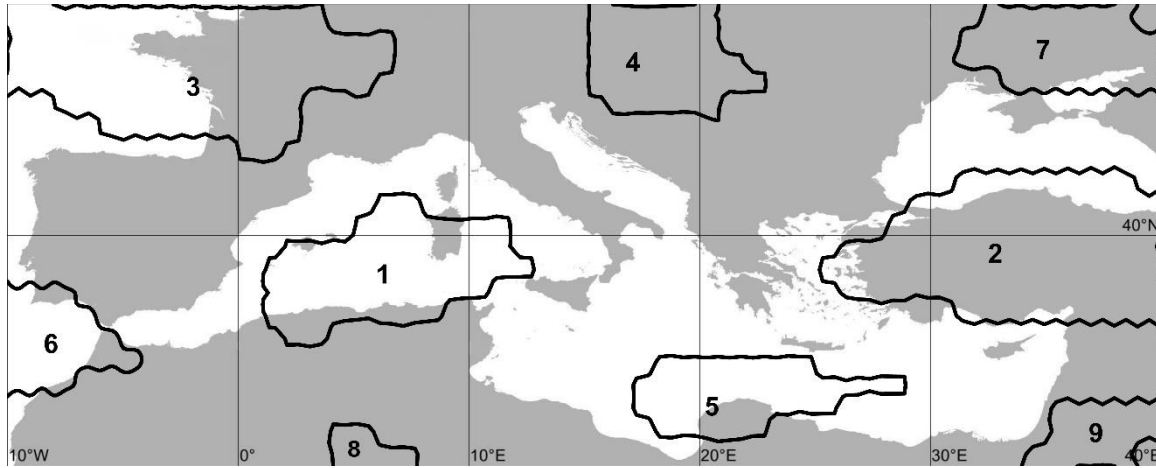
3.4 Διαχρονική διακύμανση των δεικτών K και Total Totals στις κοινές περιοχές ομαδοποίησης της Παραγοντικής Ανάλυσης

Με βάση τους παράγοντες που παρουσιάστηκαν στην υποπαράγραφο 3.3 για κάθε έναν δείκτη σε κάθε δίμηνο, βρέθηκαν οι περιοχές (κατά δίμηνο) στις οποίες έχουν υψηλά loadings (>0.7) και οι δύο δείκτες K και Total Totals. Επομένως για κάθε ένα δίμηνο προέκυψαν οι περιοχές και τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.44 έως 3.55. Τα διαγράμματα αναπαριστούν τις κανονικοποιημένες τιμές $\left(\frac{\text{τιμή}-\text{μέση τιμή}}{\text{τυπική απόκλιση}}\right)$ των δύο δεικτών (συνεχής γραμμή για το δείκτη K και διακεκομμένη για το δείκτη Total Totals), ενώ σε ορισμένα είναι χαραγμένη και η γραμμή τάσης, όπου αυτή θεωρήθηκε στατιστικά σημαντική με τη χρήση του τεστ Mann - Kendall.

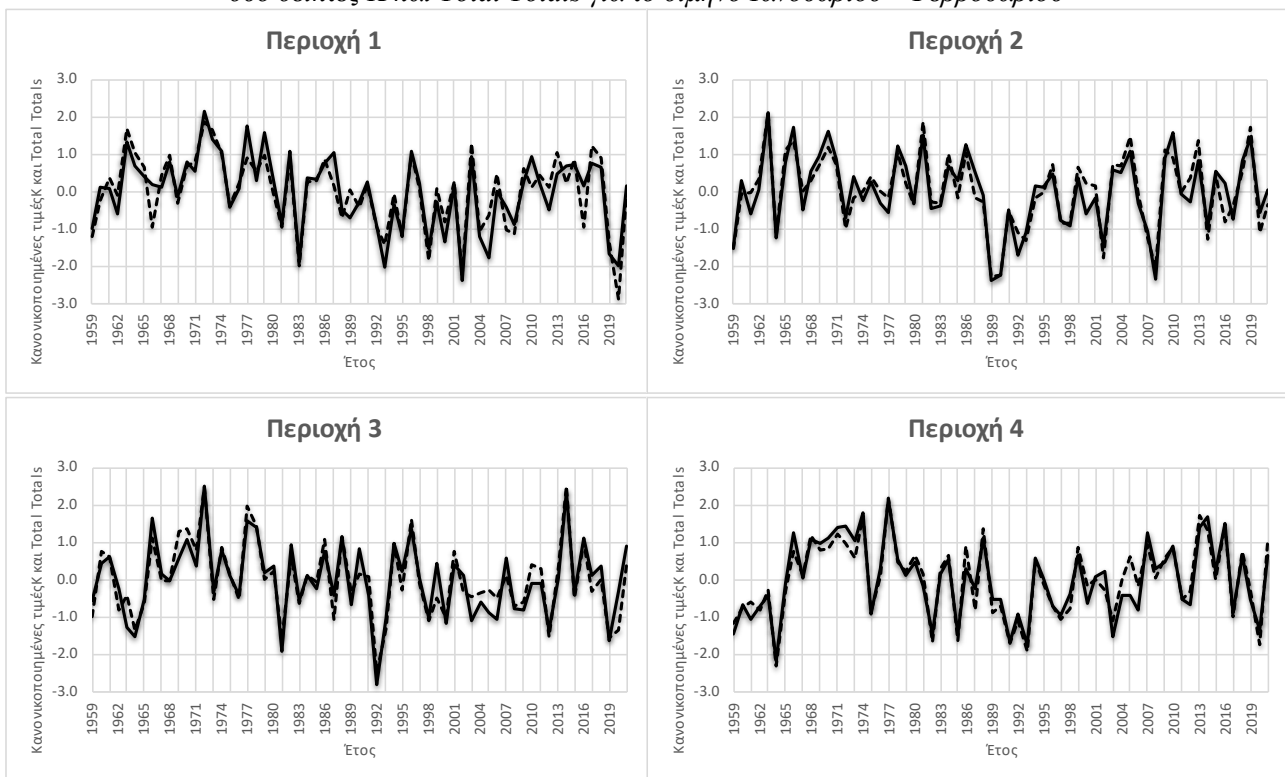
Ιανουάριος – Φεβρουάριος

Για το δίμηνο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου προέκυψαν 9 περιοχές με υψηλά loadings και των δύο δεικτών και αυτές φαίνονται αριθμημένες στο χάρτη του Σχήματος 3.44.

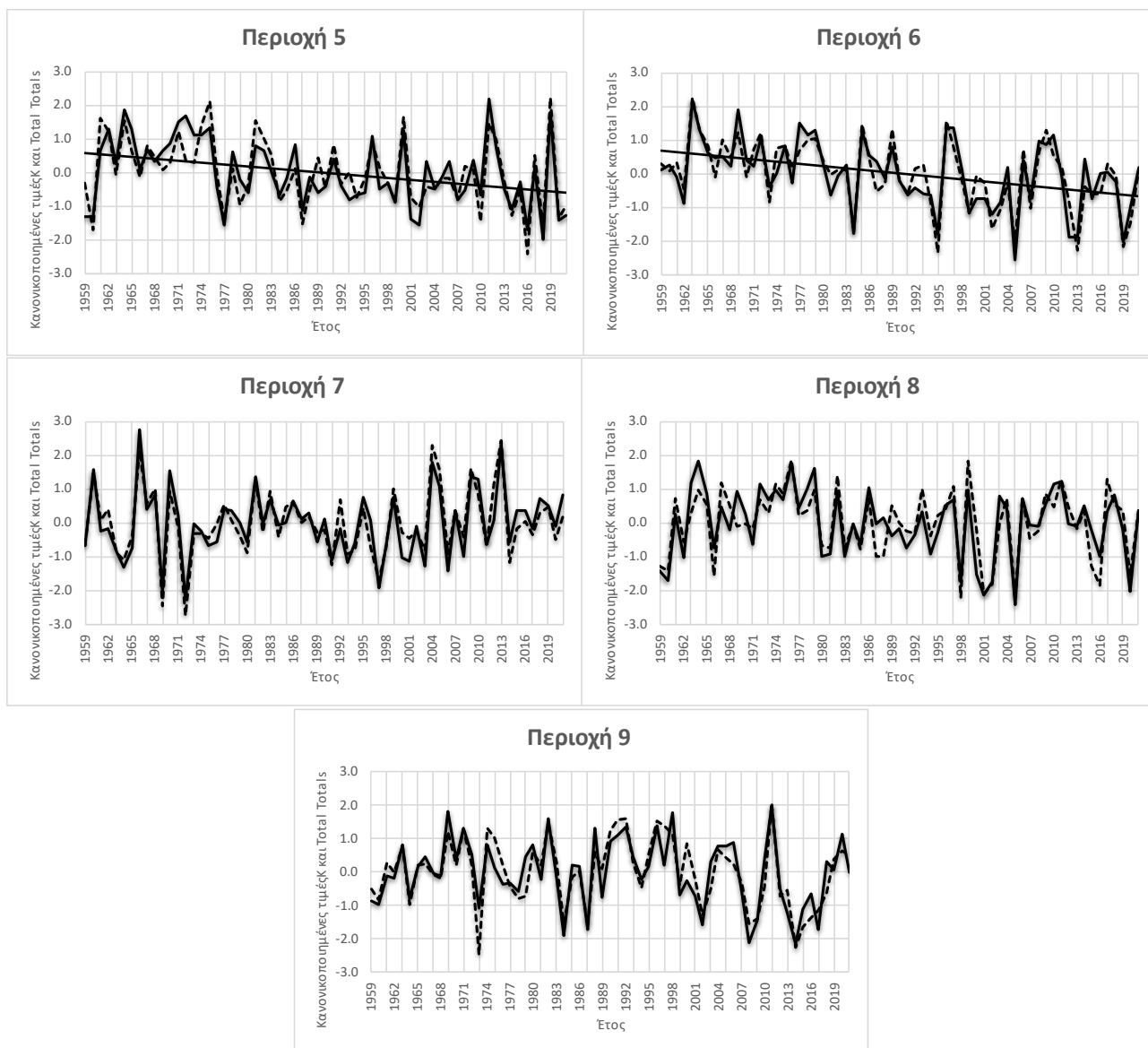
Από τα διαγράμματα του Σχήματος 3.45 φαίνεται ότι η συμμεταβολή των δεικτών εξελίσσεται χωρίς τάση με την πάροδο των ετών για τις 7 από τις 9 περιοχές, ενώ στις περιοχές 5 και 6 παρουσιάζει φθίνουσα πορεία. Σε συμφωνία με τα ευρήματα της υποπαραγράφου 3.3 η μια από τις δύο περιοχές που φθίνουν με τα χρόνια είναι το κεντρικό τμήμα της βόρειας Αφρικής. Η άλλη περιοχή βρίσκεται στη θάλασσα μεταξύ της βορειοδυτικής Αφρικής και της δυτικής Ευρώπης. Ο συντελεστής συσχέτισης των δύο δεικτών σε κάθε μια περιοχή, φαίνεται στον Πίνακα 3.4.



Σχήμα 3.44: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες K και Total Totals για το δίμηνο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου



Σχήμα 3.45: Διαχρονική διακύμανση των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών K και Total Totals στις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες, για το δίμηνο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου. Με συνεχή καμπύλη παρουσιάζεται ο δείκτης K και με διακεκομμένη ο Total Totals. Εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)



Σχήμα 3.45 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Διαχρονική διακύμανση των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών K και Total Totals στις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες, για το δίμηνο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου. Με συνεχή καμπύλη παρουσιάζεται ο δείκτης K και με διακεκομμένη ο Total Totals. Εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)

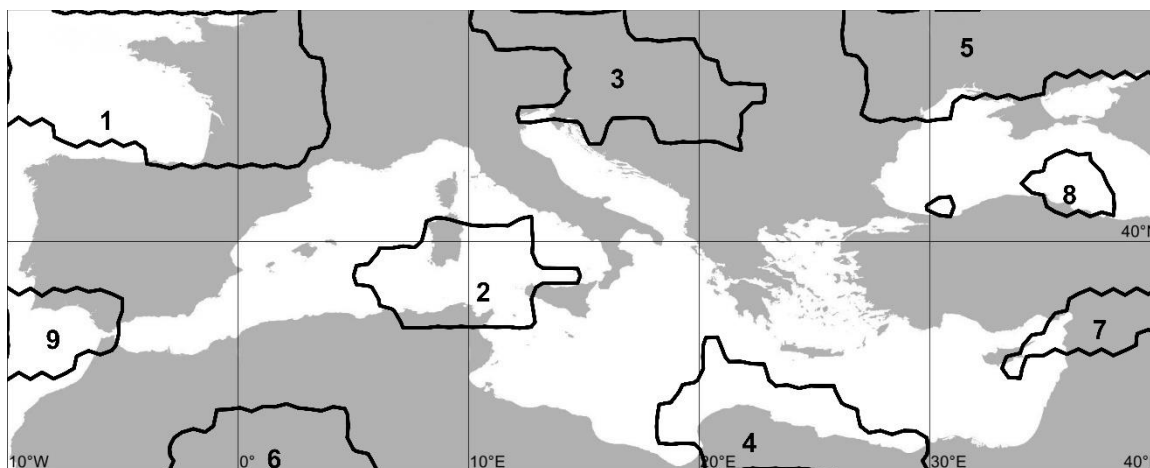
Πίνακας 3.4: Ο συντελεστής συσχέτισης των δεικτών K και Total Totals στις γεωγραφικές περιοχές του Σχήματος 3.44 για το δίμηνο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου

Περιοχή 1	0.90	Περιοχή 6	0.90
Περιοχή 2	0.93	Περιοχή 7	0.92
Περιοχή 3	0.92	Περιοχή 8	0.84
Περιοχή 4	0.95	Περιοχή 9	0.86
Περιοχή 5	0.86		

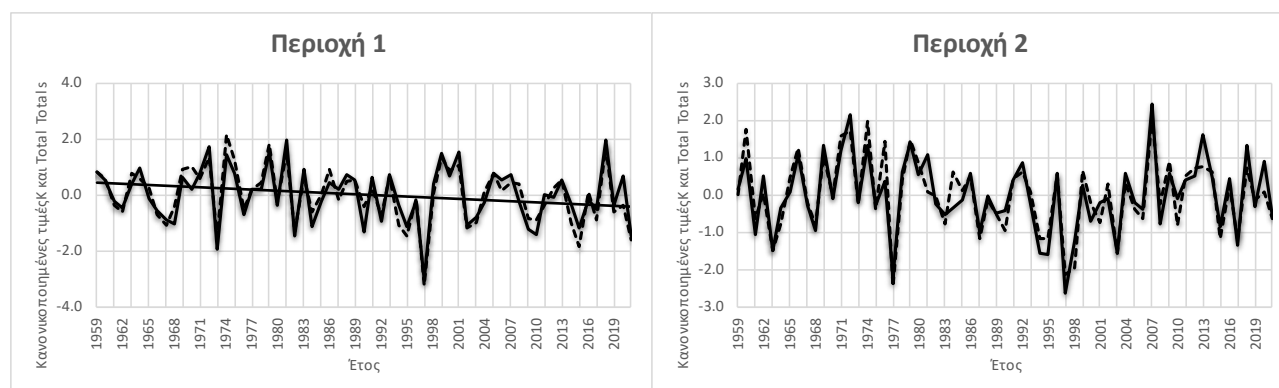
Μάρτιος – Απρίλιος

Για το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου προέκυψαν 9 περιοχές με υψηλά loadings και των δύο δεικτών και αυτές φαίνονται αριθμημένες στο χάρτη του Σχήματος 3.46.

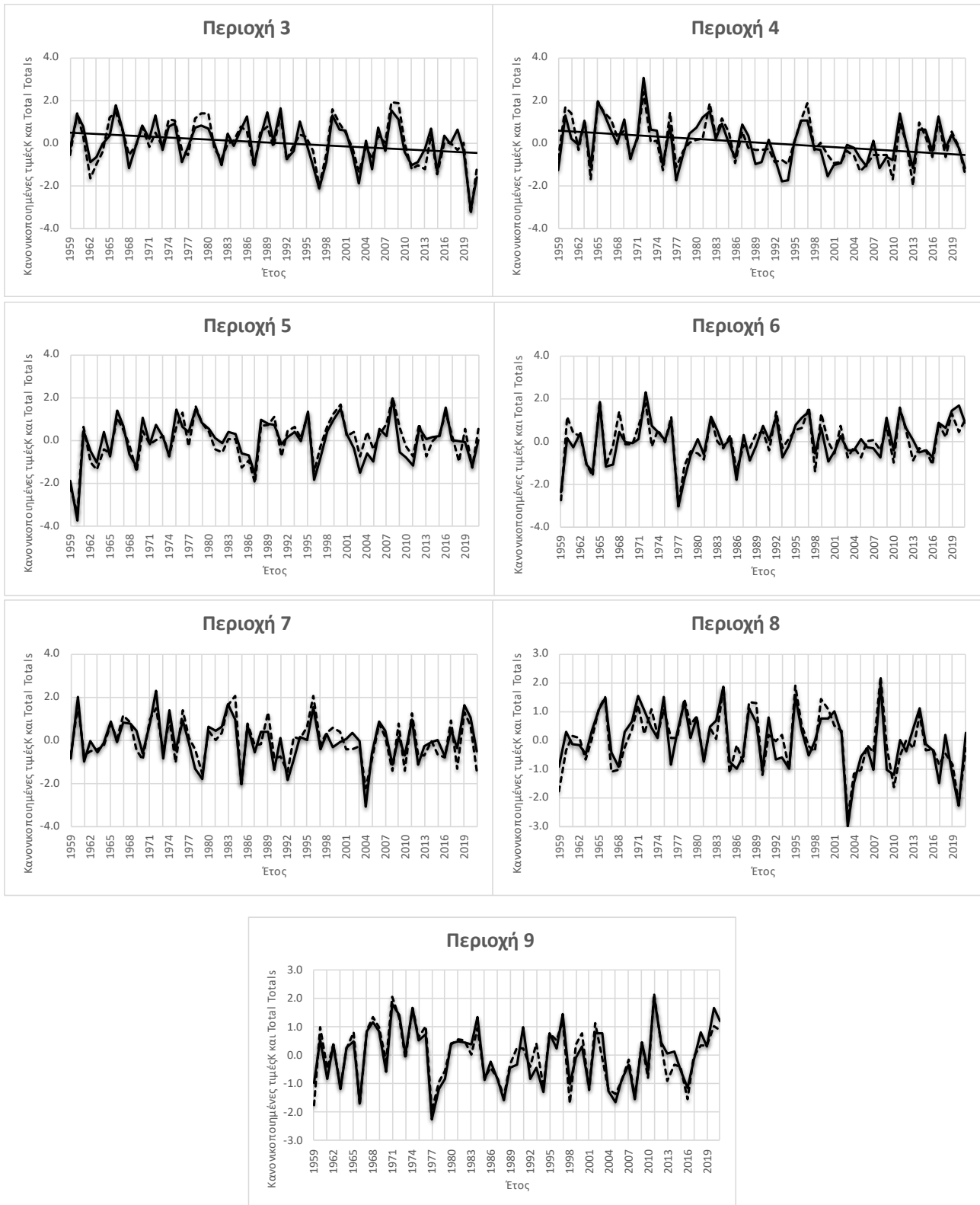
Σύμφωνα με τα όσα δείχνουν τα διαγράμματα στο Σχήμα 3.47, η συμμεταβολή των δεικτών δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη αύξουσα ή φθίνουσα πορεία διαχρονικά για τις 6 από τις 9 περιοχές. Οι περιοχές 1, 3 και 4 είναι εκείνες οι οποίες εμφανίζουν πτωτική πορεία με τα χρόνια. Οι περιοχές 1 και 3 είναι ο Βισκαϊκός κόλπος και η κεντρική Ευρώπη αντίστοιχα, ενώ σε συμφωνία με τα όσα βρέθηκαν στην υποπαράγραφο 3.3 η περιοχή 4 είναι το κεντρικό τμήμα της βόρειας Αφρικής. Ο βαθμός συσχέτισης των δύο δεικτών σε κάθε μια περιοχή, φαίνεται στον Πίνακα 3.5.



Σχήμα 3.46: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες K και Total Totals για το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου



Σχήμα 3.47: Διαχρονική διακύμανση των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών K και Total Totals στις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες, για το δίμηνο Μαρτίου - Απριλίου. Με συνεχή καμπύλη παρουσιάζεται ο δείκτης K και με διακεκομμένη ο Total Totals. Εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)



Σχήμα 3.47 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Διαχρονική διακύμανση των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών *K* και *Total Totals* στις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες, για το δίμηνο Μαρτίου - Απριλίου. Με συνεχή καμπύλη παρουσιάζεται ο δείκτης *K* και με διακεκομμένη ο *Total Totals*. Εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)

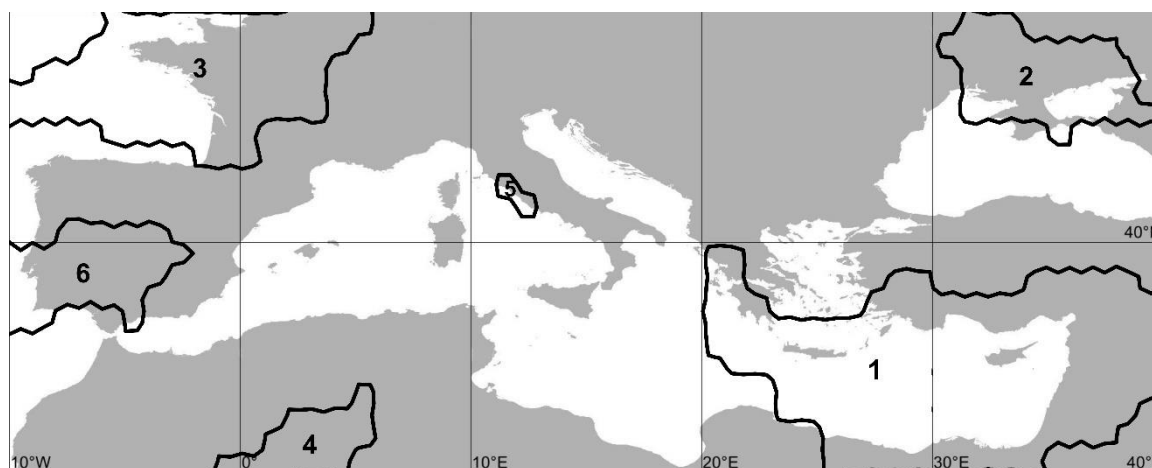
Πίνακας 3.5: Ο συντελεστής συσχέτισης των δεικτών *K* και *Total Totals* στις γεωγραφικές περιοχές του Σχήματος 3.46 για το δίμηνο Μαρτίου – Απριλίου

<i>Περιοχή 1</i>	0.92	<i>Περιοχή 6</i>	0.88
<i>Περιοχή 2</i>	0.91	<i>Περιοχή 7</i>	0.87
<i>Περιοχή 3</i>	0.90	<i>Περιοχή 8</i>	0.89
<i>Περιοχή 4</i>	0.88	<i>Περιοχή 9</i>	0.93
<i>Περιοχή 5</i>	0.89		

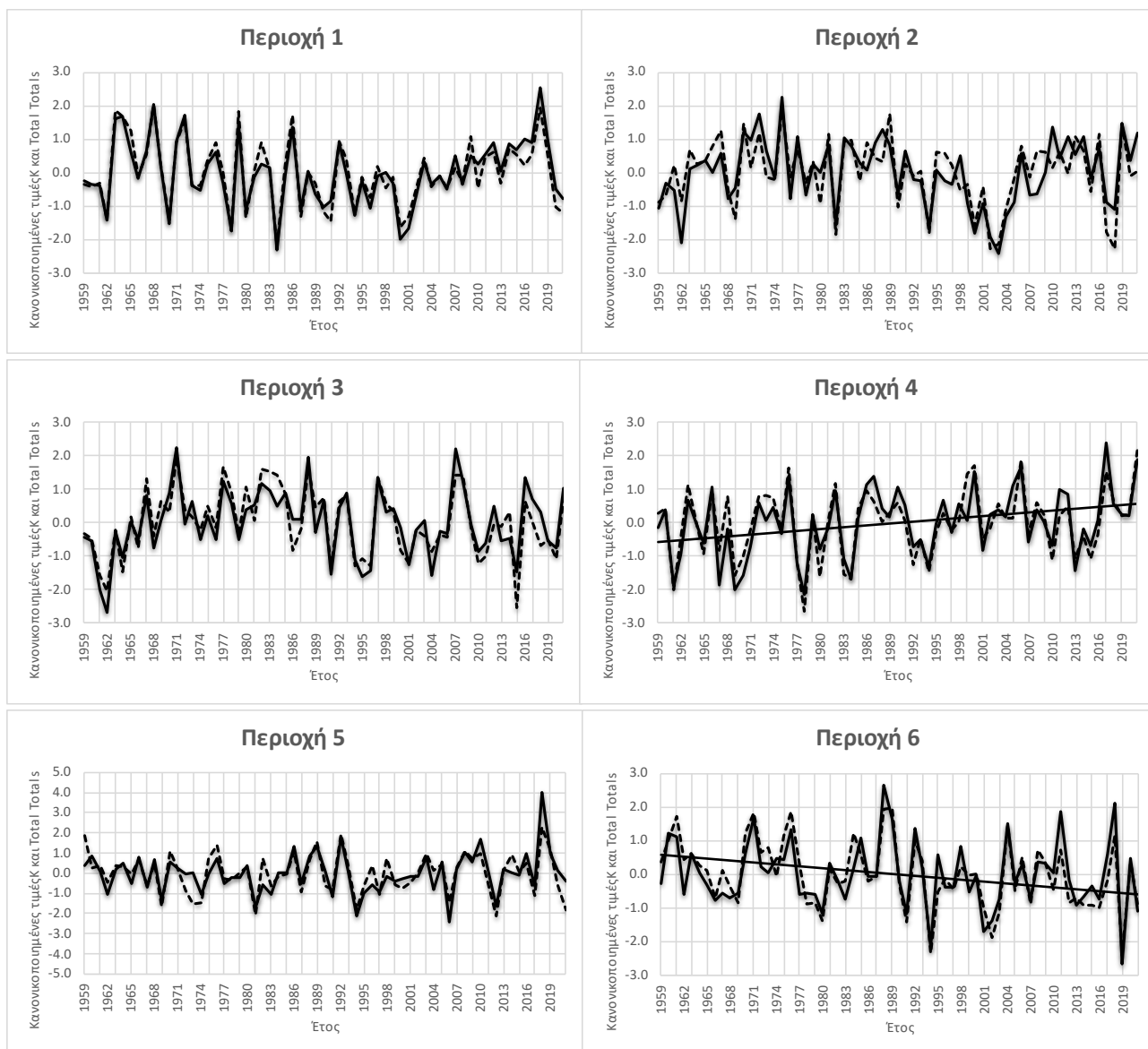
Μάιος – Ιούνιος

Για το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου προέκυψαν 6 περιοχές με υψηλά loadings και των δύο δεικτών και αυτές φαίνονται αριθμημένες στο χάρτη του Σχήματος 3.48.

Μελετώντας τα παραπάνω διαγράμματα του Σχήματος 3.49, παρατηρείται πως η διακύμανση των δεικτών δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη αύξουσα ή φθίνουσα πορεία διαχρονικά για τις 4 από τις 6 περιοχές. Οι περιοχές 4 και 6 εμφανίζουν αύξουσα και φθίνουσα πορεία με τα χρόνια αντίστοιχα. Η περιοχή 4 είναι ένα μικρό τμήμα της βορειοδυτικής Αφρικής, ενώ η περιοχή 6 είναι στο νοτιοδυτικό κομμάτι της Ιβηρικής χερσονήσου. Ο συντελεστής συσχέτισης των δύο δεικτών σε κάθε μια περιοχή, φαίνεται στον Πίνακα 3.6.



Σχήμα 3.48: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες *K* και *Total Totals* για το δίμηνο Μαΐου – Ιουνίου



Σχήμα 3.49: Διαχρονική διακύμανση των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών *K* και *Total Totals* στις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες, για το δίμηνο Μαΐου - Ιουνίου. Με συνεχή καμπύλη παρουσιάζεται ο δείκτης *K* και με διακεκομμένη ο *Total Totals*. Εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)

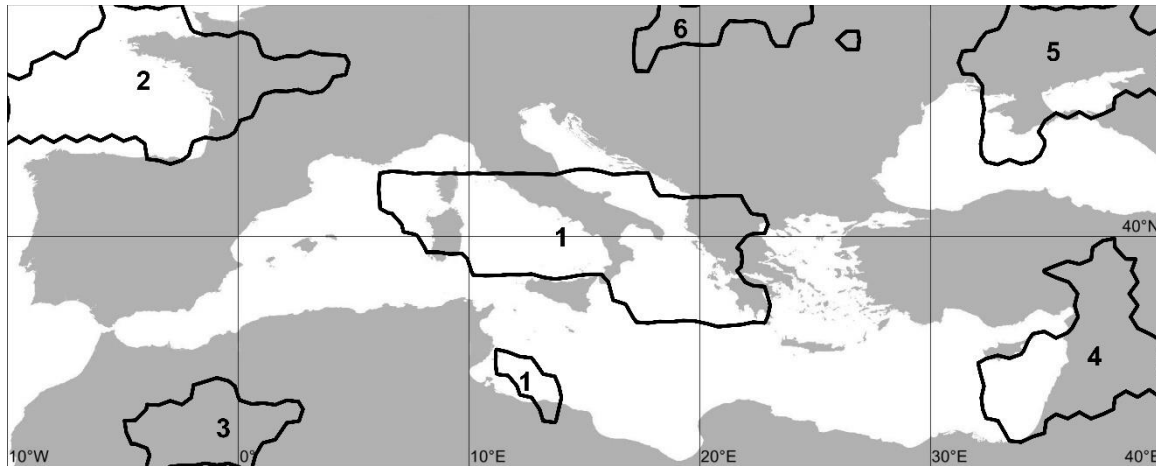
Πίνακας 3.6: Ο συντελεστής συσχέτισης των δεικτών *K* και *Total Totals* στις γεωγραφικές περιοχές του Σχήματος 3.48 για το δίμηνο Μαΐου - Ιουνίου

Περιοχή 1	0.95	Περιοχή 4	0.89
Περιοχή 2	0.80	Περιοχή 5	0.81
Περιοχή 3	0.89	Περιοχή 6	0.87

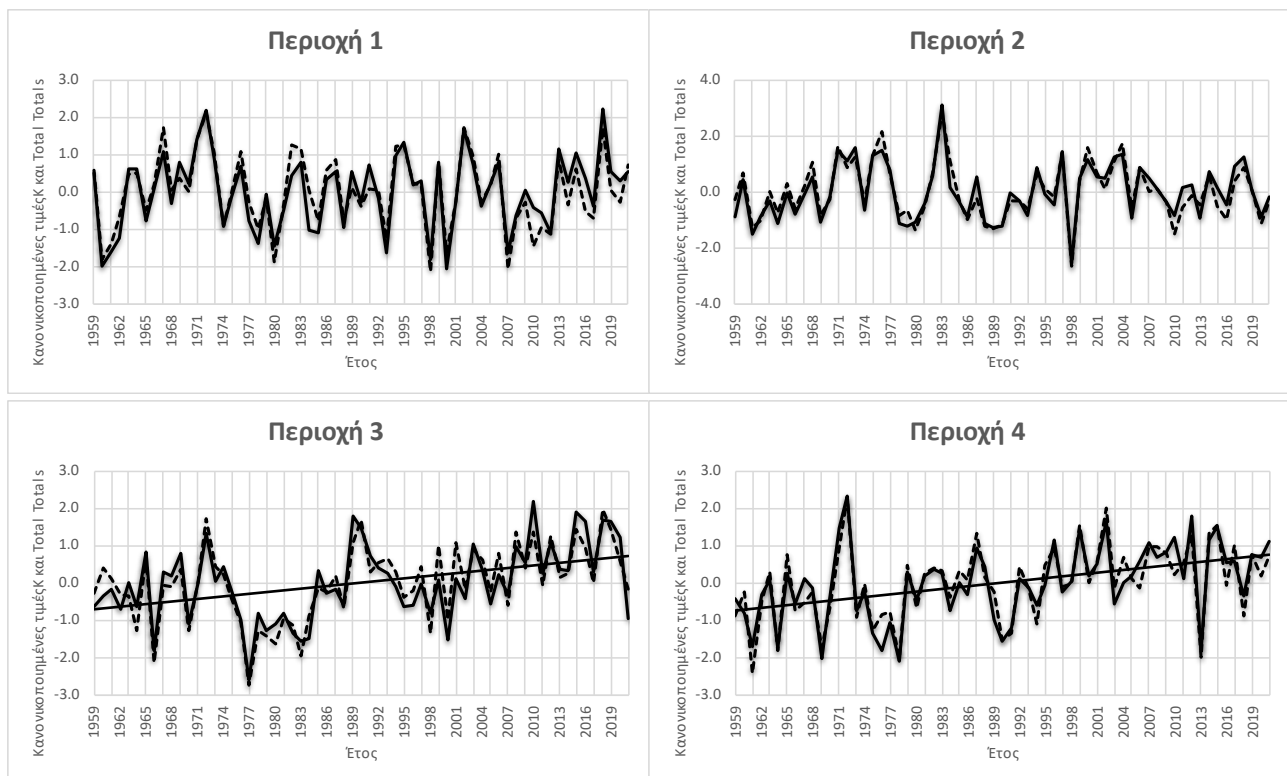
Ιούλιος – Αύγουστος

Για το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου, προέκυψαν 6 περιοχές με υψηλά loadings και των δύο δεικτών και αυτές φαίνονται αριθμημένες στο χάρτη του Σχήματος 3.50.

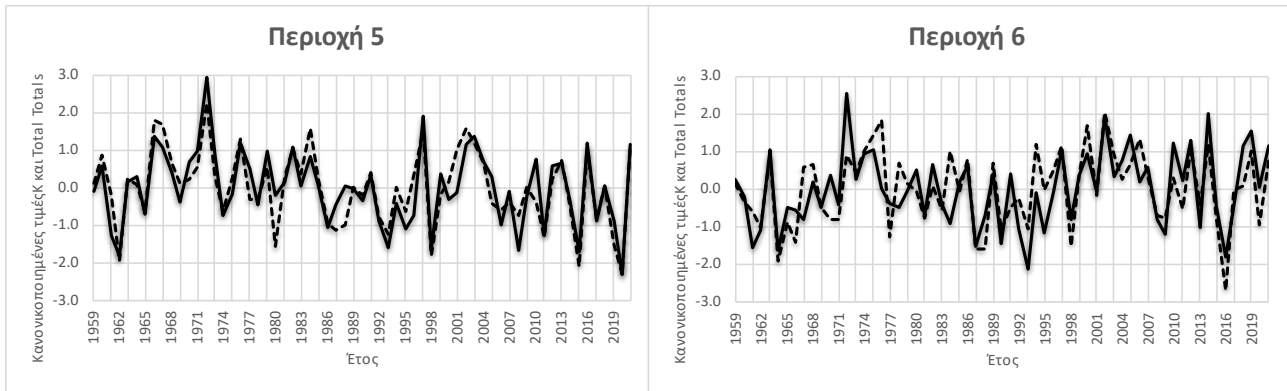
Σύμφωνα με τα διαγράμματα του Σχήματος 3.53, η διακύμανση των δεικτών δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη αύξουσα ή φθίνουσα πορεία διαχρονικά για τις 4 από τις 6 περιοχές. Οι περιοχές 3 και 4 εμφανίζουν αύξουσα πορεία διαχρονικά αμφότερες. Η περιοχή 3 βρίσκεται στη βορειοδυτική Αφρική, ενώ η περιοχή 4 είναι στη νοτιοδυτική Ασία. Τα παραπάνω έρχονται σε συμφωνία με τα ευρήματα της υποπαραγράφου 3.3. Ο συντελεστής συσχέτισης των δύο δεικτών σε κάθε μια περιοχή, φαίνεται στον Πίνακα 3.7.



Σχήμα 3.50: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες K και Total Totals για το δίμηνο Ιουλίου – Αυγούστου



Σχήμα 3.51: Διαχρονική διακύμανση των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών K και Total Totals στις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες, για το δίμηνο Ιουλίου - Αυγούστου. Με συνεχή καμπύλη παρουσιάζεται ο δείκτης K και με διακεκομμένη ο Total Totals. Εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)



Σχήμα 3.51 (Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα): Διαχρονική διακύμανση των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών *K* και *Total Totals* στις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες, για το δίμηνο Ιουλίου - Αυγούστου. Με συνεχή καμπύλη παρουσιάζεται ο δείκτης *K* και με διακεκομμένη ο *Total Totals*. Εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)

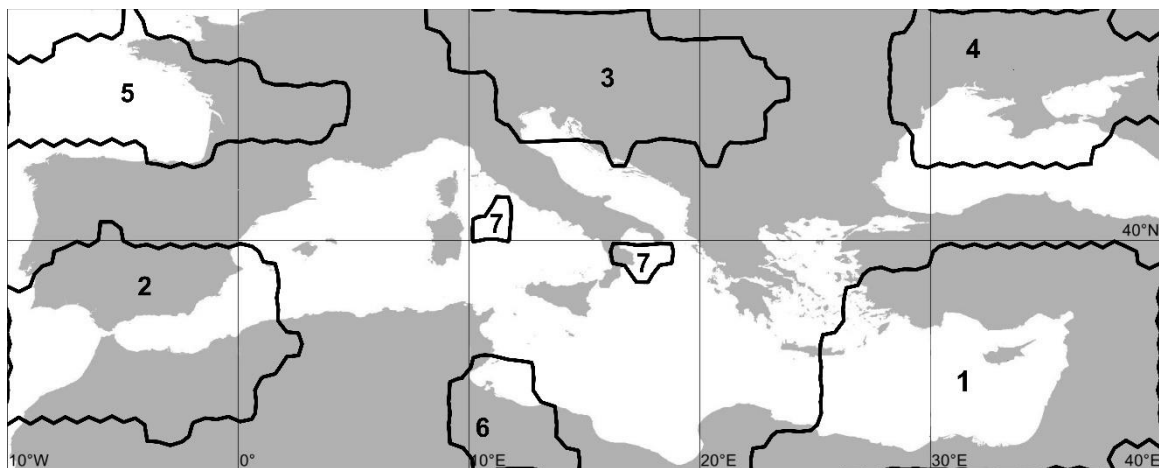
Πίνακας 3.7: Ο συντελεστής συσχέτισης των δεικτών *K* και *Total Totals* στις γεωγραφικές περιοχές του Σχήματος 3.50 για το δίμηνο Ιουλίου - Αυγούστου

Περιοχή 1	0.92	Περιοχή 4	0.92
Περιοχή 2	0.94	Περιοχή 5	0.87
Περιοχή 3	0.91	Περιοχή 6	0.71

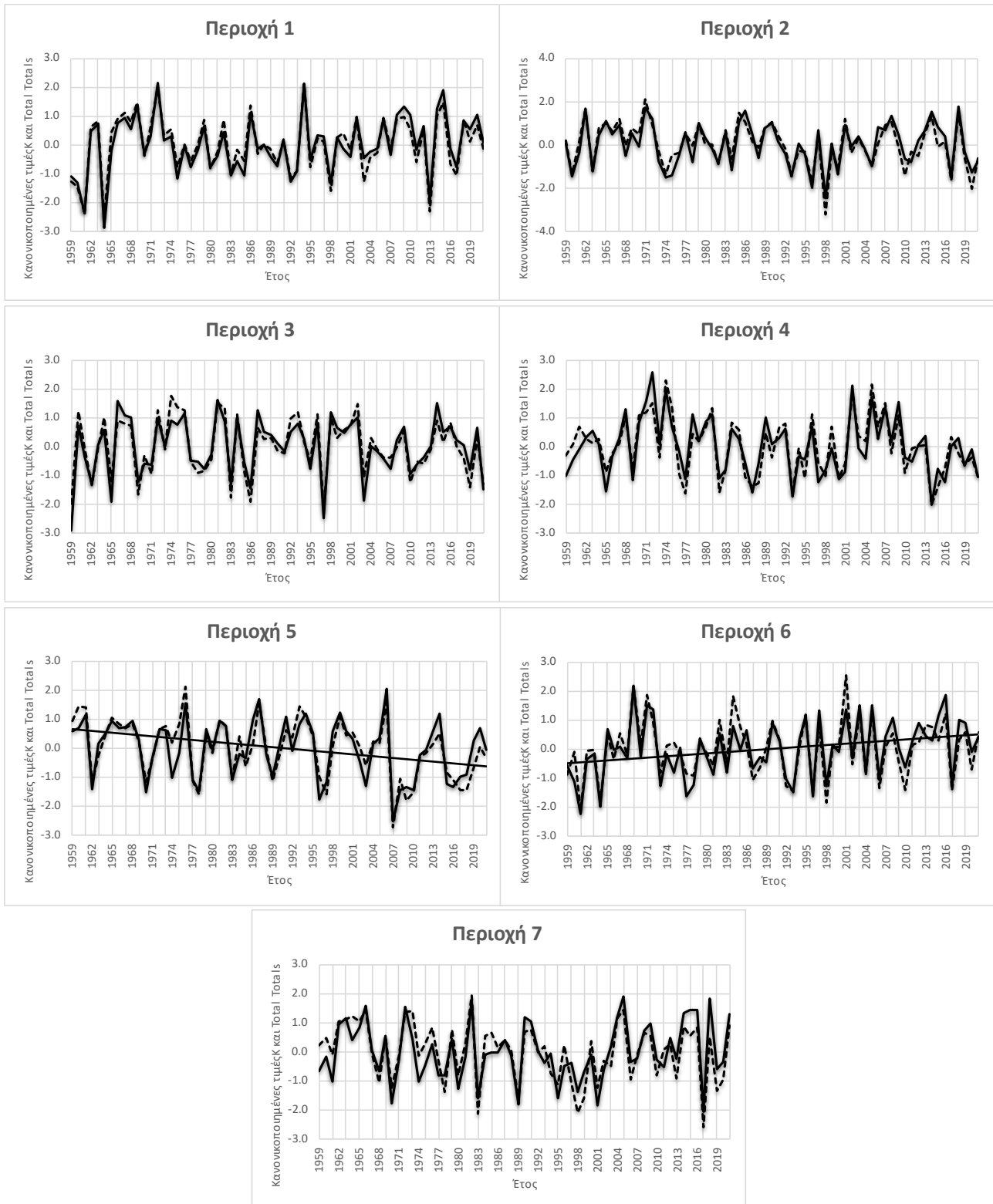
Σεπτέμβριος – Οκτώβριος

Για το δίμηνο Σεπτεμβρίου - Οκτωβρίου, προέκυψαν 7 περιοχές με υψηλά loadings και των δύο δεικτών και αυτές φαίνονται αριθμημένες στο χάρτη του Σχήματος 3.52.

Σύμφωνα με αυτά τα οποία εμφανίζονται στα διαγράμματα του Σχήματος 3.53, η διακύμανση των δεικτών δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη αύξουσα ή φθίνουσα πορεία για τις 5 από τις 7 περιοχές. Οι περιοχές 5 και 6 εμφανίζουν φθίνουσα και αύξουσα πορεία διαχρονικά αντίστοιχα. Η περιοχή 5 έρχεται σε συμφωνία με τα ευρήματα της υποπαραγράφου 3.3 καθώς βρίσκεται στην περιοχή του Βισκαϊκού κόλπου, ενώ η περιοχή 6 βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της βόρειας Αφρικής. Ο συντελεστής συσχέτισης των δύο δεικτών σε κάθε μια περιοχή, φαίνεται στον Πίνακα 3.8.



Σχήμα 3.52: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες *K* και *Total Totals* για το δίμηνο Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου



Σχήμα 3.53: Διαχρονική διακύμανση των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών K και Total Totals στις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες, για το δίμηνο Σεπτεμβρίου - Οκτωβρίου. Με συνεχή καμπύλη παρουσιάζεται ο δείκτης K και με διακεκομμένη ο Total Totals. Εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)

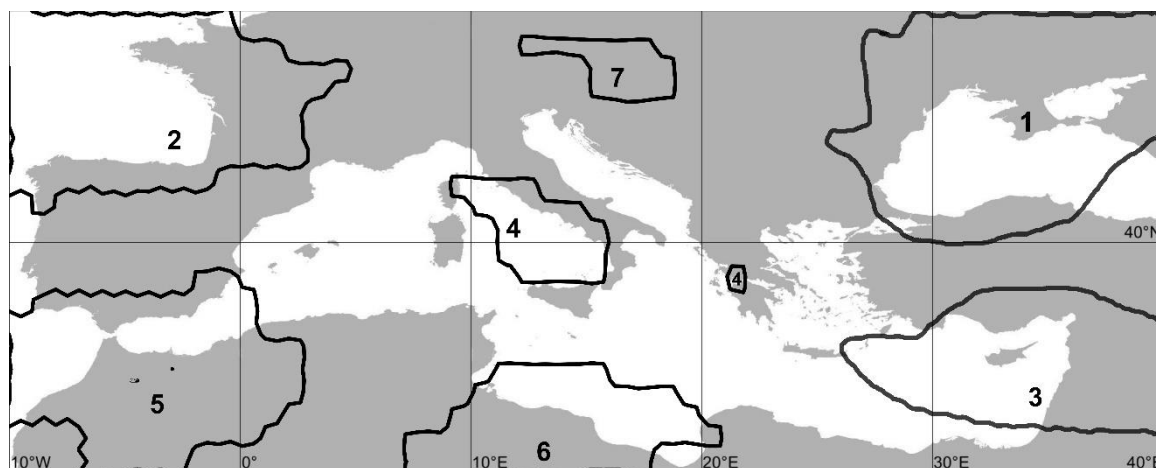
Πίνακας 3.8: Ο συντελεστής συσχέτισης των δεικτών *K* και *Total Totals* στις γεωγραφικές περιοχές του Σχήματος 3.52 για το δίμηνο Σεπτεμβρίου - Οκτωβρίου

Περιοχή 1	0.96	Περιοχή 5	0.91
Περιοχή 2	0.92	Περιοχή 6	0.89
Περιοχή 3	0.93	Περιοχή 7	0.84
Περιοχή 4	0.90		

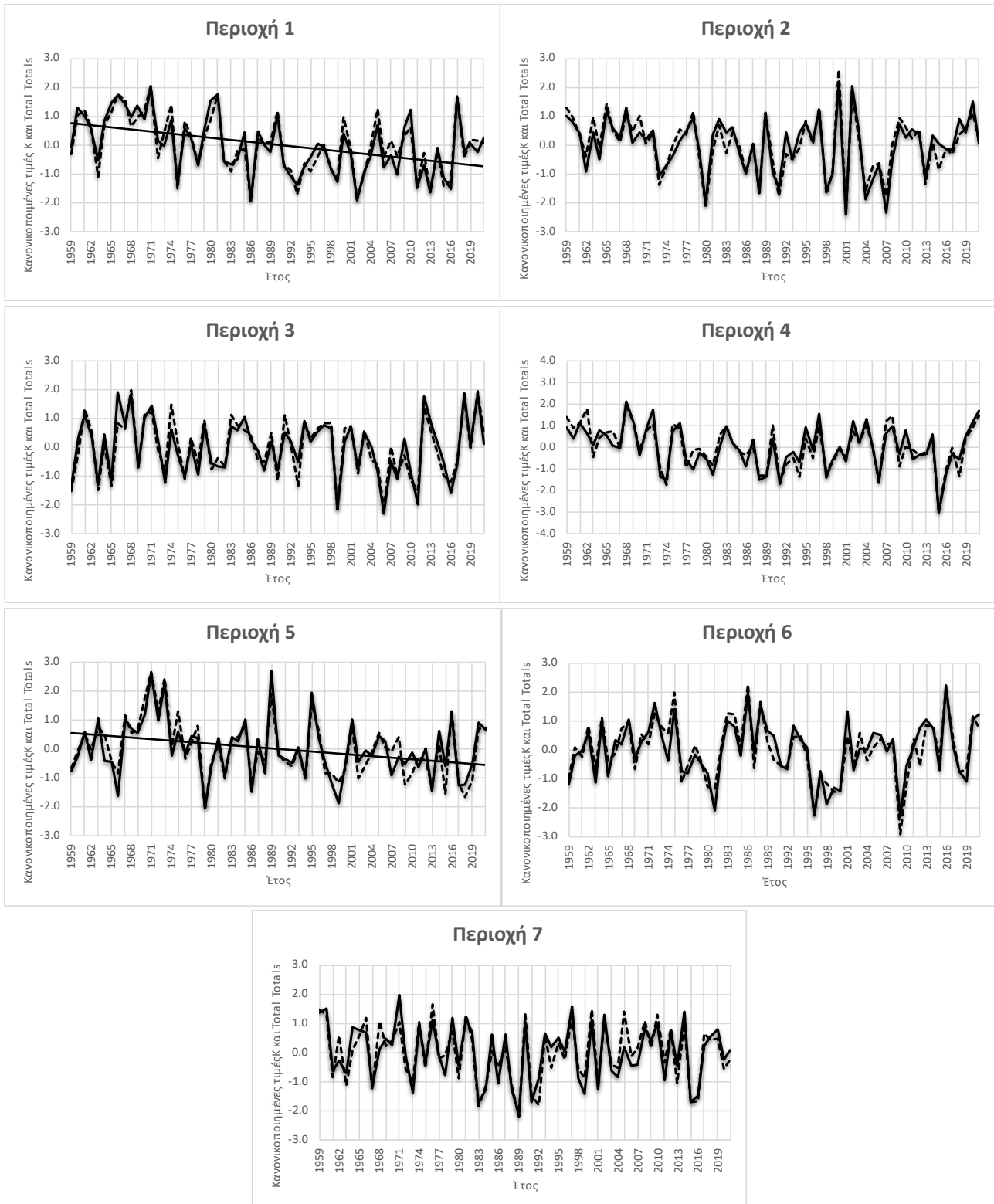
Νοέμβριος – Δεκέμβριος

Για το δίμηνο Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου, προέκυψαν 7 περιοχές με υψηλά loadings και των δύο δεικτών και αυτές φαίνονται αριθμημένες στο χάρτη του Σχήματος 3.54.

Μελετώντας τα διαγράμματα του Σχήματος 3.55, φαίνεται πως η διακύμανση των δεικτών δεν παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη αύξουσα ή φθίνουσα πορεία διαχρονικά για τις 5 από τις 7 περιοχές. Οι περιοχές 1 και 5 εμφανίζουν και οι δύο φθίνουσα διαχρονική πορεία. Η περιοχή 1 βρίσκεται στη Μαύρη θάλασσα και αυτό συμφωνεί με όσα βρέθηκαν στην υποπαράγραφο 3.3, ενώ η περιοχή 5 είναι στη βορειοδυτική Αφρική και στο νότιο τμήμα της Ιβηρικής χερσονήσου. Ο συντελεστής συσχέτισης των δύο δεικτών σε κάθε μια περιοχή, φαίνεται στον Πίνακα 3.9.



Σχήμα 3.54: Χάρτης ο οποίος παρουσιάζει τις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες *K* και *Total Totals* για το δίμηνο Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου



Σχήμα 3.55: Διαχρονική διακύμανση των κανονικοποιημένων τιμών των δεικτών *K* και *Total Totals* στις γεωγραφικές περιοχές με υψηλά loadings (>0.7) και για τους δύο δείκτες, για το δίμηνο Νοεμβρίου – Δεκεμβρίου. Με συνεχή καμπύλη παρουσιάζεται ο δείκτης *K* και με διακεκομμένη ο *Total Totals*. Εμφανίζονται οι στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%)

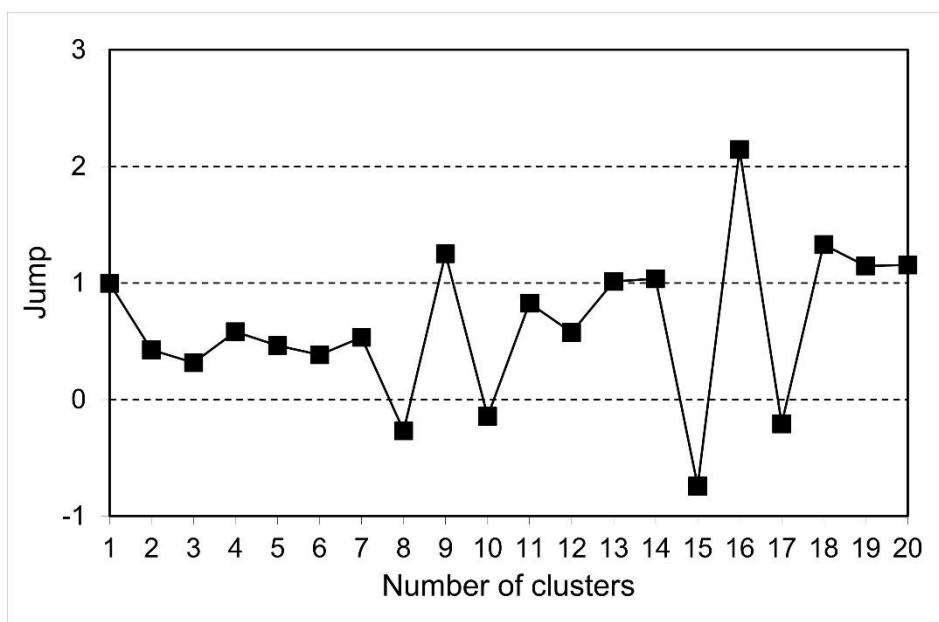
Πίνακας 3.9: Ο συντελεστής συσχέτισης των δεικτών *K* και *Total Totals* στις γεωγραφικές περιοχές του Σχήματος 3.54 για το δίμηνο Νοεμβρίου - Δεκεμβρίου

<i>Περιοχή 1</i>	0.95	<i>Περιοχή 5</i>	0.92
<i>Περιοχή 2</i>	0.94	<i>Περιοχή 6</i>	0.91
<i>Περιοχή 3</i>	0.94	<i>Περιοχή 7</i>	0.90
<i>Περιοχή 4</i>	0.92		

Όπως φαίνεται από τους Πίνακες 3.4 – 3.9, η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών *K* και *Total Totals*, είναι αρκετά μεγάλη και για τα έξι δίμηνα του έτους, γεγονός το οποίο φανερώνει πως πράγματι οι δύο αυτοί δείκτες συμμεταβάλλονται για τις κοινές περιοχές όπως αυτές βρέθηκαν με βάση τους παράγοντες κάθε δείκτη.

3.5 Περιπτώσεις ακραίων τιμών των δύο δεικτών και σύνδεσή τους με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία

Για τις ημερομηνίες οι οποίες ορίστηκαν ως ημερομηνίες ακραίας αστάθειας με τρόπο που αναλύθηκε στην υποπαράγραφο 2.2, μελετήθηκε η ατμοσφαιρική κυκλοφορία μέσω της Ανάλυσης κατά Συστάδες. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει μέσους χάρτες, για κάθε ομάδα που ορίστηκε, γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 500 hPa και 1000 hPa, θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa, του δείκτη *K*, του δείκτη *Total Totals*, καθώς και των αντίστοιχων αποχών κάθε παραμέτρου. Αρχικά, εφαρμόστηκε η παραγοντική ανάλυση για τις 268 ημερομηνίες τόσο του γεωδυναμικού στις ισοβαρικές επιφάνειες των 500 hPa και 1000 hPa, καθώς και της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa όσο και των αντίστοιχων αποχών αυτών, με σκοπό να βρεθεί ο αριθμός των παραγόντων που θα χρησιμοποιηθεί στην Ανάλυση κατά Συστάδες. Ο αριθμός των παραγόντων ήταν 16 και στο Σχήμα 3.56 φαίνεται το διάγραμμα της μεθόδου του «άλματος» το οποίο μας υποδηλώνει πόσες ομάδες (cluster) πρέπει να διατηρηθούν.



Σχήμα 3.56: Διάγραμμα αλμάτων συναρτήσει του αριθμού των ομάδων

Από το γράφημα αυτό προέκυψε ο βέλτιστος αριθμός των ομάδων να είναι 7, κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε έναν τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοεί την ύπαρξη ακραίων τιμών των δύο δεικτών αστάθειας στην περιοχή της Μεσογείου.. Στη συνέχεια θα παρουσιασθούν οι

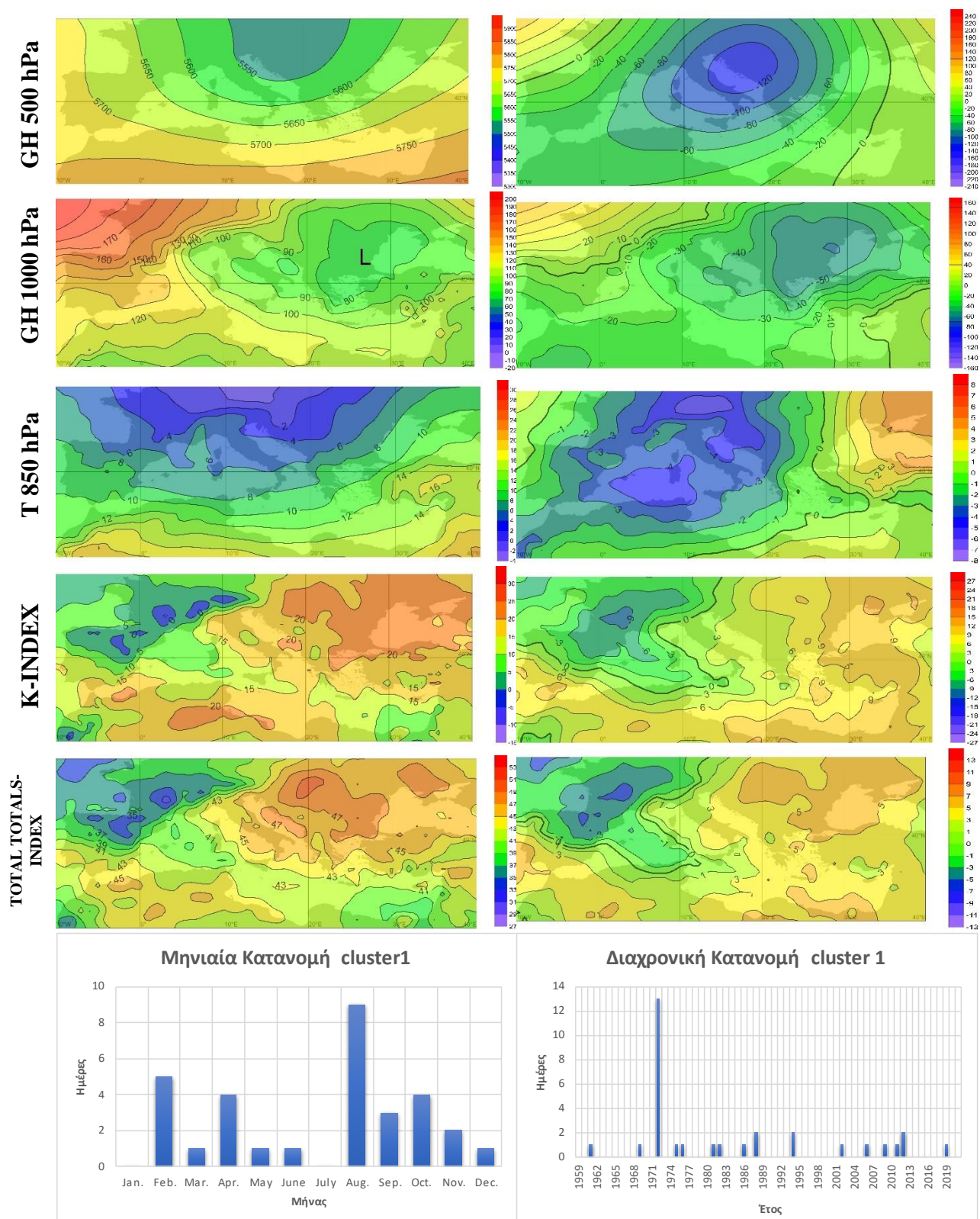
χάρτες που αναφέρθηκαν παραπάνω για κάθε μια από τις 7 ομάδες, πλαισιωμένοι τόσο με τη μηνιαία όσο και με τη διαχρονική κατανομή του αριθμού περιπτώσεων (ημερών) της κάθε ομάδας.

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.57, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία της ομάδας 1, χαρακτηρίζεται από ένα βαρομετρικό χαμηλό πάνω από τη νοτιοανατολική Ευρώπη σύμφωνα με το χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa. Όπως φαίνεται και από τον αντίστοιχο χάρτη των αποχών, στα σημεία που αντιστοιχούν στο βαρομετρικό αυτό σύστημα, οι αποχές είναι πολύ μικρές, γεγονός το οποίο δείχνει το γεωδυναμικό ύψος στη συγκεκριμένη περιοχή είναι αρκετά χαμηλότερο του κανονικού (0). Η κατάσταση αυτή είναι απόρροια και της trough η οποία βρίσκεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, ενώ φαίνεται πως και οι δύο δείκτες εμφανίζουν μέγιστες κοινές σε παρόμοιες περίπου περιοχές. Η περιοχή των υψηλών τιμών των δεικτών είναι η νοτιοανατολική Ευρώπη και η Μαύρη Θάλασσα, πρόκειται επομένως για την περιοχή πάνω από την οποία βρίσκεται το βαρομετρικό χαμηλό. Ο συγκεκριμένος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζεται σχεδόν σε όλους τους μήνες του έτους, με εξαίρεση τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο, ενώ ο μήνας στον οποίο έχει τις περισσότερες εμφανίσεις η ομάδα 1, είναι ο Αύγουστος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά το μήνα Αύγουστο, πνέει πάνω από την περιοχή της Ελλάδας ο ετησίας, ο οποίος είναι συνδυασμός δύο βαρομετρικών συστημάτων. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το βαρομετρικό χαμηλό της συγκεκριμένου ομάδας, ενισχύει τη συγκεκριμένη πνοή των ανέμων, κάτι το οποίο ρίχνει αρκετά τις τιμές και των δύο δεικτών αστάθειας στο νοτιοανατολικό τμήμα της Μεσογείου.

Επιπλέον, στην περιοχή του Βισκαϊκού κόλπου, της Ιβηρικής χερσονήσου και της Γαλλίας, οι τιμές του γεωδυναμικού ύψους φαίνεται να αυξάνονται (ενδεχομένως να ευνοείται και η δημιουργία ενός αντικυκλώνα λίγο έξω από την περιοχή μελέτης), το οποίο σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές της θερμοκρασίας που εμφανίζονται στην περιοχή αυτή, έρχεται σε πλήρη συμφωνία με τα ελάχιστα που εμφανίζουν και οι δύο δείκτες αστάθειας. Μπορεί επομένως να επισημανθεί ο σπουδαίος ρόλος που παίζει η ύπαρξη (ή μη) ενός βαρομετρικού συστήματος στην αστάθεια που επικρατεί σε μια περιοχή. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 1, το βαρομετρικό χαμηλό και η αστάθεια σχετίζονται αμφότερα με κακοκαιρία, συνεπώς δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι στην περιοχή του χαμηλού οι δείκτες λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές τους.

Ακόμη, σε αυτήν την ομάδα, η θερμοκρασία μειώνεται όσο αυξάνει το γεωγραφικό πλάτος, ενώ παράλληλα δε δύναται να χαρακτηριστεί είτε ως θερινός είτε ως χειμερινός, διότι έχει μέρες εμφάνισης καθ' όλη σχεδόν τη διάρκεια του έτους.

CLUSTER 1



Σχήμα 3.57: Ομάδα 1 (cluster 1): Μέσοι χάρτες του γεωδυναμικού ύψους των ισοβαρικών επιφανειών 500 hPa και 1000 hPa (gpm), της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια 850 hPa (°C) και των δεικτών K (°C) και Total Totals (°C) (αριστερά), καθώς και των αποχών τους (δεξιά). Επίσης, παρουσιάζονται η μηνιαία και διαχρονική κατανομή του αριθμού ημερών εμφάνισης

Σύμφωνα με το Σχήμα 3.58, ο δεύτερος τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοεί την ύπαρξη ημερών ακραία υψηλών τιμών αστάθειας και περιγράφεται από την ομάδα 2, μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι θερινός τύπος καθώς εμφανίζεται ως επί το πλείστον κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (περιλαμβάνει και μερικές χειμερινές μέρες οι οποίες βέβαια είναι σαφώς πιο λίγες από τις θερινές). Όπως φαίνεται και από το ιστόγραμμα της μηνιαίας κατανομής του Σχήματος 3.58, οι περισσότερες ημέρες της ομάδας 2 βρίσκονται στους μήνες από Ιούνιο έως και Αύγουστο. Οι δείκτες K και Total Totals, εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές τους στην ηπειρωτική Ευρώπη και τη βορειοδυτική Αφρική και συγκεκριμένα στην οροσειρά του Άτλαντα. Τα μέγιστα των δεικτών πάνω από τα ηπειρωτικά οφείλονται στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν τους συγκεκριμένους μήνες ευνοώντας τη θέρμανση των κατώτερων αερίων μαζών δημιουργώντας έτσι συνθήκες αστάθειας.

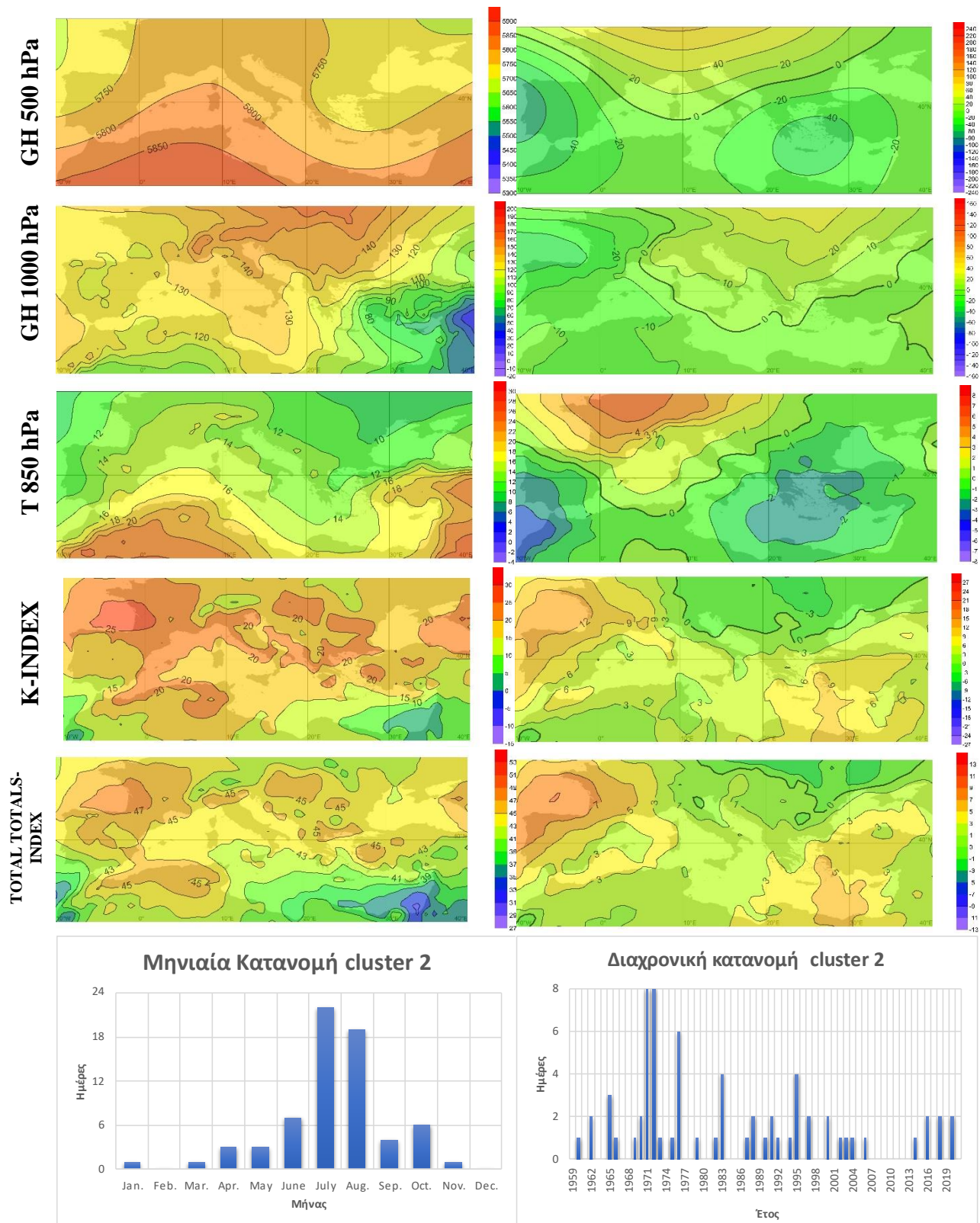
Επίσης εμφανίζεται ένα μέγιστο της αστάθειας στην περιοχή του Βισκαϊκού Κόλπου. Το συγκεκριμένο μέγιστο είναι αποτέλεσμα του αυλώνα των χαμηλών γεωδυναμικών υψών που επικρατεί εκεί στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

Στην ανώτερη ατμόσφαιρα, διακρίνεται μια ridge πάνω από την κεντρική Ευρώπη σε συνδυασμό με μια trough, στη νοτιοανατολική Ευρώπη και τη Μικρά Ασία. Αυτά έρχονται σε συμφωνία με τις αυξημένες θερμοκρασίες που επικρατούν στην περιοχή της ridge συγκριτικά με αυτές που επικρατούν στην περιοχή της trough. Η πορεία της θερμοκρασίας επομένως, έρχεται σε συμφωνία με την ατμοσφαιρική κατάσταση στην ανώτερη ατμόσφαιρα και συγκεκριμένα στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa.

Σύμφωνα με το χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στα 1000 hPa, φαίνεται να υπάρχει μια βόρεια – βορειοανατολική ροή στην περιοχή της νοτιοανατολικής Ευρώπης που ευνοούν την παρουσία των ετησίων ανέμων στην περιοχή κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ελαττώνοντας όπως φαίνεται τις τιμές και των δύο δεικτών αστάθειας στην περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου.

Τέλος, φαίνεται από το διάγραμμα της διαχρονικής κατανομής της ομάδας 2 στο Σχήμα 3.58, ότι ο συγκεκριμένος τύπος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, εμφανίζεται στα περισσότερα από τα 63 χρόνια μελέτης, καθιστώντας φανερό πως διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην πορεία της αστάθειας στη συγκεκριμένη περιοχή.

CLUSTER 2

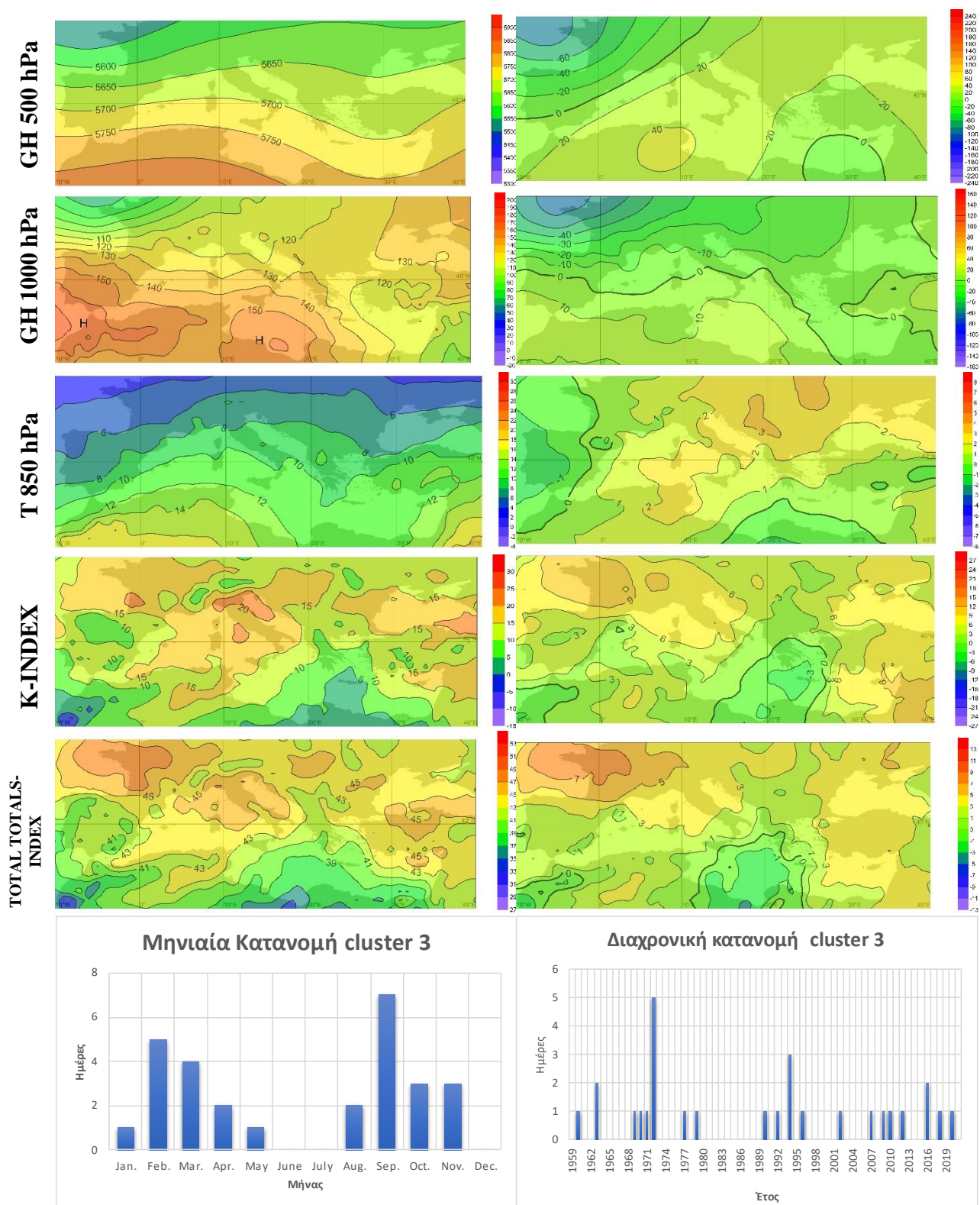


Σχήμα 3.58: Ομάδα 2 (cluster 2): Μέσοι χάρτες του γεωδυναμικού ύψους των ισοβαρικών επιφανειών 500 hPa και 1000 hPa (gpm), της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια 850 hPa (°C) και των δεικτών K (°C) και Total Totals (°C) (αριστερά), καθώς και των αποχών τους (δεξιά). Επίσης, παρουσιάζονται η μηνιαία και διαχρονική κατανομή του αριθμού ημερών εμφάνισης

Τα κύρια ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά της ομάδας 3, είναι σύμφωνα με το Σχήμα 3.59 η ύπαρξη δύο βαρομετρικών υψηλών, το ένα με κέντρο στο κεντρικό τμήμα της κεντρικής Αφρικής και το άλλο με κέντρο στη βορειοδυτική Αφρική και το νότιο τμήμα της Ιβηρικής χερσονήσου. Επιπλέον, οι δύο δείκτες αμφοτέρωθεν εμφανίζουν μέγιστα στην περιοχή του Βισκαϊκού κόλπου και τη Γαλλία. Τα μέγιστα αυτά είναι αποτέλεσμα των χαμηλότερων από το κανονικό, τιμών γεωδυναμικού ύψους στη συγκεκριμένη περιοχή σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές γεωδυναμικού ύψους στην επιφάνεια. Επιπλέον η θερμοκρασία δείχνει να αυξάνεται καθώς μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος.

Τέλος, η συγκεκριμένη ομάδα επικρατεί κατά τους ψυχρούς μήνες του έτους, με μόνη εξαίρεση να αποτελούν ορισμένες μέρες που εμφανίζονται κατά το μήνα Αύγουστο.

CLUSTER 3



Σχήμα 3.59: Ομάδα 3 (cluster 3): Μέσοι χάρτες του γεωδυναμικού ύψους των ισοβαρικών επιφανειών 500 hPa και 1000 hPa (gpm), της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια 850 hPa (°C) και των δεικτών K (°C) και Total Totals (°C) (αριστερά), καθώς και των αποχών τους (δεξιά). Επίσης, παρουσιάζονται η μηνιαία και διαχρονική κατανομή του αριθμού ημερών εμφάνισης

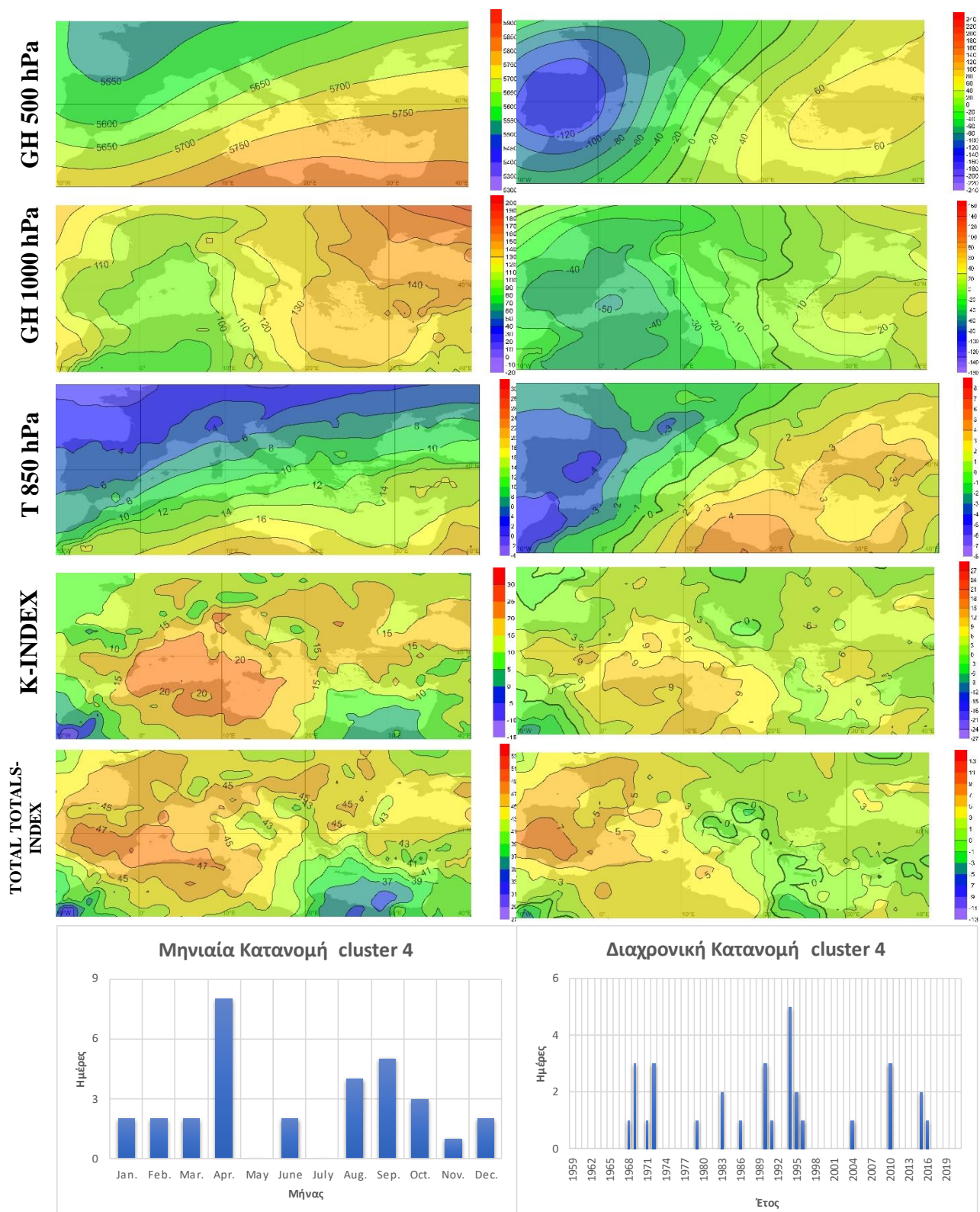
Σύμφωνα με το Σχήμα 3.60 στην τέταρτη ομάδα, φαίνεται πως υπάρχει μια trough στην ανώτερη ατμόσφαιρα στην περιοχή της Ισπανίας και της Γαλλίας, ενώ στην επιφάνεια των 1000 hPa, το γεωδυναμικό ύψος μειώνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά δημιουργώντας νοτίους ανέμους στην κεντρική Μεσόγειο. Ακόμη, οι ιδιαίτερα χαμηλές τιμές των αποχών στην περιοχή της trough, δείχνουν πόσο πιο χαμηλές από το κανονικό (0) είναι οι τιμές του γεωδυναμικού ύψους στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

Επιπλέον, παρουσιάζεται αύξηση της θερμοκρασίας νοτιοανατολικά. Φαίνεται πως στην περιοχή της trough, η θερμοκρασία παραμένει σε χαμηλά επίπεδα με ιδιαίτερα χαμηλές τιμές και της αποχής της, επομένως καθίσταται σαφές ότι η trough επηρεάζει άμεσα τη θερμοκρασία στο ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa.

Οι δύο δείκτες εμφανίζουν ένα κύριο μέγιστο στο δυτικό τμήμα της Μεσογείου, λόγω των φθινοπωρινών μηνών εμφάνισης της συγκεκριμένης ομάδας, όπου χαρακτηρίζεται γενικά από θερμότερη θάλασσα. Ακόμη το μέγιστο αυτό της αστάθειας, ενισχύουν οι χαμηλές τιμές του γεωδυναμικού ύψους στην επιφάνεια στην περιοχή αυτή σε συνδυασμό με την ύπαρξη της trough στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Ακόμη, εμφανίζονται και στους δύο δείκτες δευτερεύοντα μέγιστα πάνω από τα ηπειρωτικά, και αυτό συμβαίνει λόγω ότι η ομάδα αυτή έχει ημέρες εμφάνισης και κατά τους μήνες Απρίλιο και Ιούνιο όπου υπάρχει έντονη ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνοντας το έδαφος και τις αέριες μάζες πάνω από αυτό και σε συνδυασμό με την ακόμη ψυχρή ανώτερη ατμόσφαιρα δημιουργούνται συνθήκες ατμοσφαιρικής αστάθειας.

Τέλος, η ομάδα αυτή φαίνεται πως περιλαμβάνει μέρες εμφάνισης στους 10 από τους 12 μήνες με εξαίρεση το Μάιο και τον Ιούλιο, οπότε δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κάποιας συγκεκριμένης εποχής, αλλά μάλλον θεωρείται ένας τύπος που επικρατεί σε όλη τη διάρκεια του χρόνου.

CLUSTER 4



Σχήμα 3.60: Ομάδα 4 (cluster 4): Μέσοι χάρτες του γεωδυναμικού ύψους των ισοβαρικών επιφανειών 500 hPa και 1000 hPa (gpm), της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια 850 hPa (°C) και των δεικτών K (°C) και Total Totals (°C) (αριστερά), καθώς και των αποχών τους (δεξιά). Επίσης, παρουσιάζονται η μηνιαία και διαχρονική κατανομή του αριθμού ημερών εμφάνισης

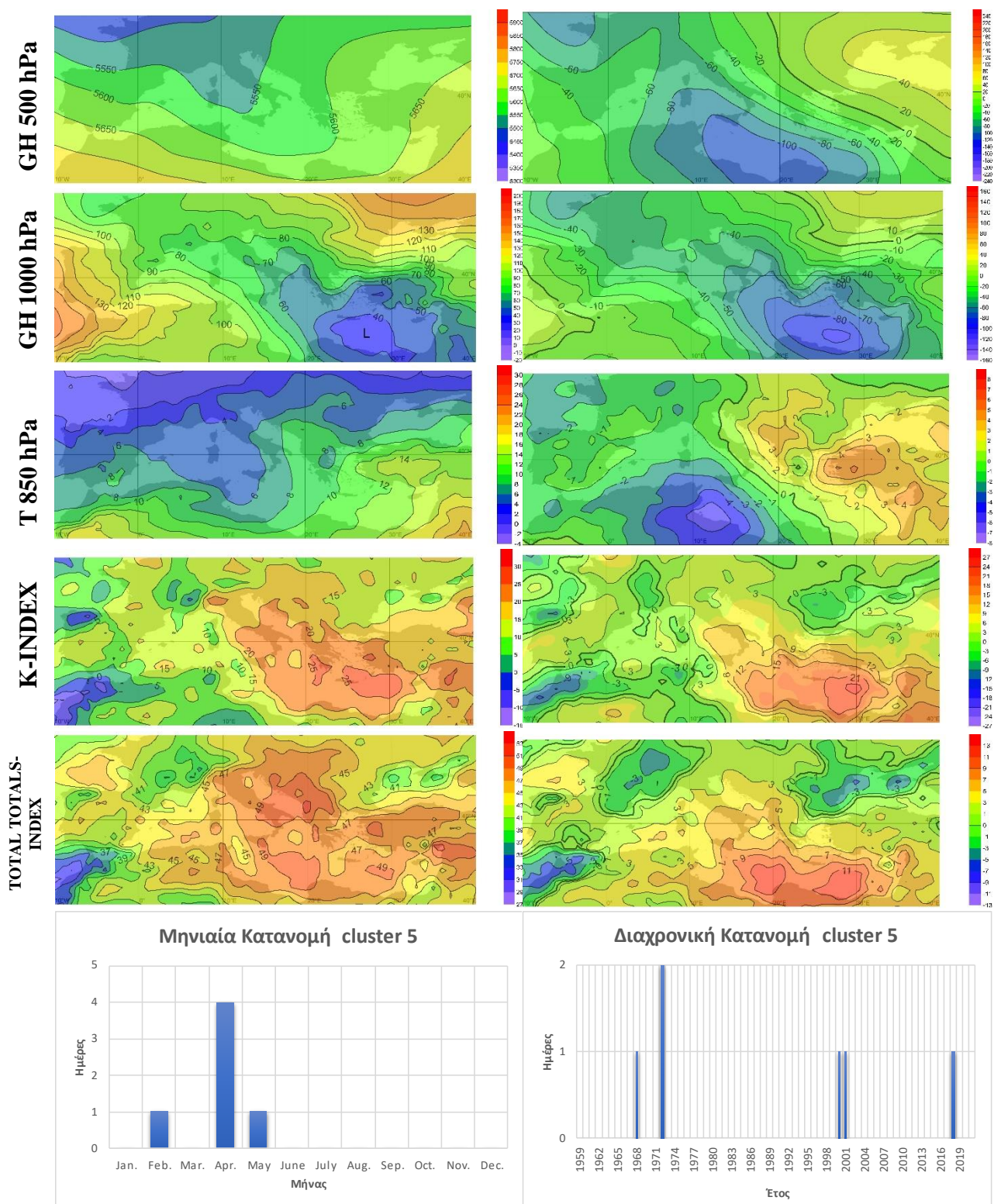
Σύμφωνα με το Σχήμα 3.61, ένας ακόμη τύπος ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοεί την ύπαρξη ακραία υψηλών τιμών αστάθειας στην περιοχή της Μεσογείου, περιγράφεται από την ομάδα 5 και εμφανίζεται κατά κύριο λόγο την περίοδο της άνοιξης (Απρίλιος – Μάιος) ενώ έχει και μερικές περιπτώσεις στο τέλος του χειμώνα. Τα κύρια ατμοσφαιρικά χαρακτηριστικά της ομάδας αυτής είναι μια trough στην ανώτερη ατμόσφαιρα που εκτείνεται από την περιοχή της Ιταλίας έως και τη βορειοανατολική Αφρική, η οποία δημιουργεί δυτική – βορειοδυτική ροή στην επιφάνεια αυτή, η οποία στρέφεται σε νότια – νοτιοδυτική πάνω από την περιοχή της Ελλάδας. Αυτή η trough, σε συνδυασμό με το βαρομετρικό χαμηλό στην περιοχή της Μεσογείου, δημιουργούν συνθήκες υψηλής αστάθειας στην περιοχή αυτή τόσο για το δείκτη K, όσο και για τον Total Totals.

Επιπλέον, τις συνθήκες υψηλής αστάθειας που περιεγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, ενισχύουν οι θερμότερες αέριες μάζες που βρίσκονται πάνω από τη νοτιοανατολική Μεσόγειο οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη αστάθειας αν αναλογιστεί κανείς ότι η ομάδα αυτή εμφανίζεται σε μήνες στους οποίους η ανώτερη ατμόσφαιρα είναι ακόμη ψυχρή.

Γενικότερα, η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας επηρεάζεται άμεσα από το γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa, καθώς με βάση την trough και την πορεία της μεταβάλλεται και η θερμοκρασία στο ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η ομάδα έχει πολύ μικρή συχνότητα εμφάνισης καθώς περιλαμβάνει ελάχιστες μέρες από το σύνολο όλων όσων χαρακτηρίστηκαν ως ημέρες ακραία υψηλής αστάθειας για τους δύο δείκτες K και Total Totals.

CLUSTER 5



Σχήμα 3.61: Ομάδα 5 (cluster 5): Μέσοι χάρτες του γεωδυναμικού ύψους των ισοβαρικών επιφανειών 500 hPa και 1000 hPa (gpm), της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια 850 hPa ($^{\circ}\text{C}$) και των δεικτών K ($^{\circ}\text{C}$) και Total Totals ($^{\circ}\text{C}$) (αριστερά), καθώς και των αποχών τους (δεξιά). Επίσης, παρουσιάζονται η μηνιαία και διαχρονική κατανομή του αριθμού ημερών εμφάνισης

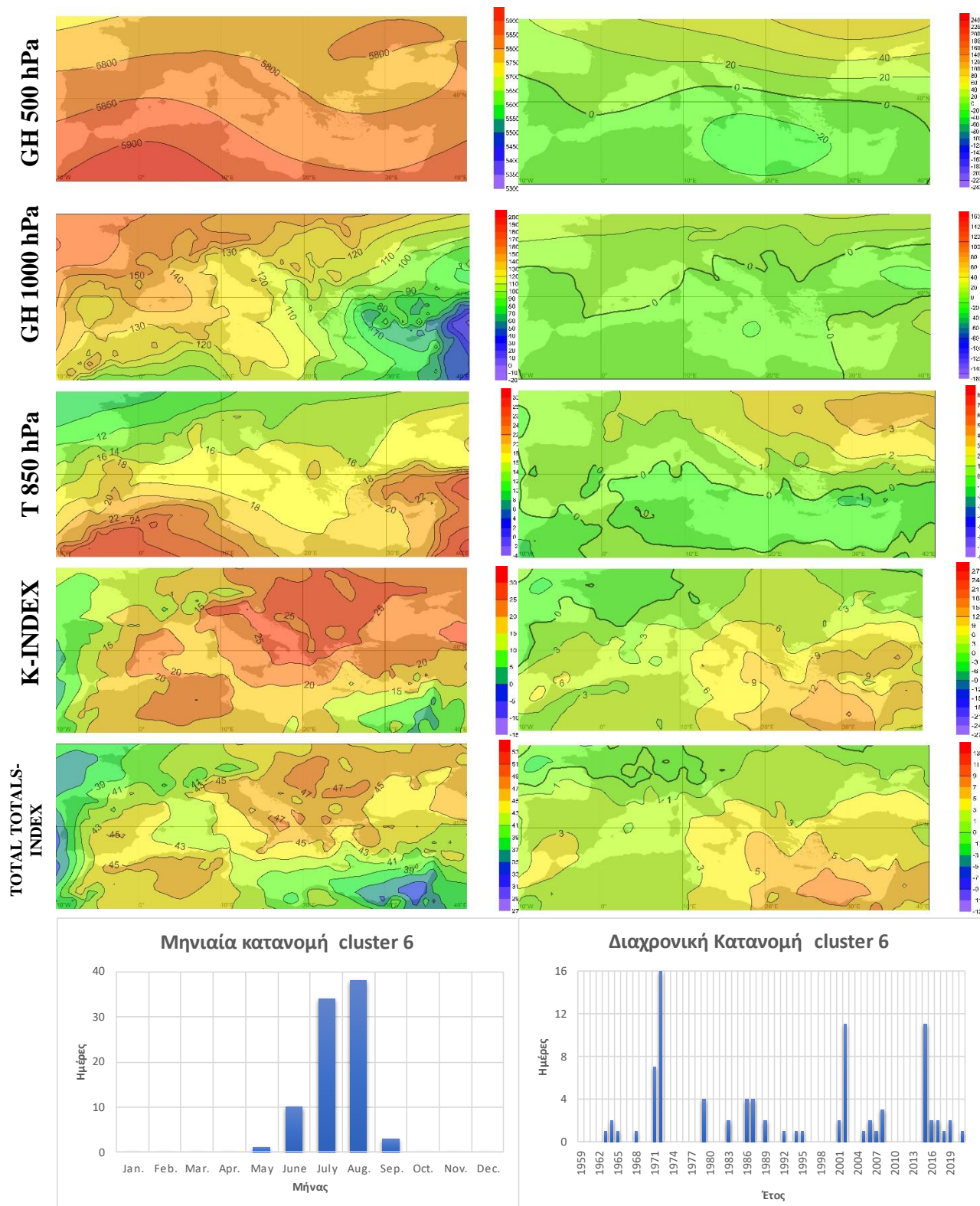
Σύμφωνα με το Σχήμα 3.62, η ομάδα 6 αποτελεί ξεκάθαρα έναν καλοκαιρινό τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που ευνοεί την ύπαρξη ακραία υψηλών τιμών αστάθειας, καθώς εμφανίζεται μόνο στους μήνες Μάιο έως και Σεπτέμβριο, με κυριότερους να είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Αυτή είναι και η αιτία όπου η θερμοκρασία φαίνεται να είναι σε υψηλότερα επίπεδα συγκριτικά με τις υπόλοιπες ομάδες, ειδικά όσο μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος και πλησιάζουμε στην υποτροπική ζώνη.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.62, οι δύο δείκτες παρουσιάζουν τα μέγιστα τους στις ηπειρωτικές περιοχές κυρίως λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας λόγω των θερινών μηνών, ενώ παράλληλα εμφανίζουν αμφοτέρωθεν ελάχιστα στη νοτιοανατολική Μεσόγειο λόγω του ετησίου που επικρατεί την περίοδο αυτή κατεβάζοντας τη θερμοκρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Η πνοή του ετήσιου φαίνεται και από το χάρτη του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa με τη μείωσή του πηγαινόντας προς τα ανατολικά, δημιουργώντας τη χαρακτηριστική βόρεια ροή, εμποδίζοντας με αυτό τον τρόπο την άνοδο της θερμοκρασίας στην περιοχή αυτή.

Επίσης, οι δύο δείκτες εμφανίζουν χαμηλές τιμές στα ανατολικά τμήματα του Ατλαντικού Ωκεανού (πορτογαλικές ακτές). Αυτό είναι αποτέλεσμα της βόρειας ροής που επικρατεί στην περιοχή αυτή μεταφέροντας ψυχρές αέριες μάζες από την περιοχή του Βισκαϊκού κόλπου.

Τέλος, σύμφωνα και με τα διαγράμματα μηνιαίας και διαχρονικής κατανομής του Σχήματος 3.62, η ομάδα αυτή εμφανίζεται σε μεγάλο ποσοστό των ακραίων ημερών, επομένως τα χαρακτηριστικά του συμβάλλουν αρκετά στη μελέτη συνθηκών αστάθειας για την περιοχή της Μεσογείου για του δείκτες K και Total Totals.

CLUSTER 6

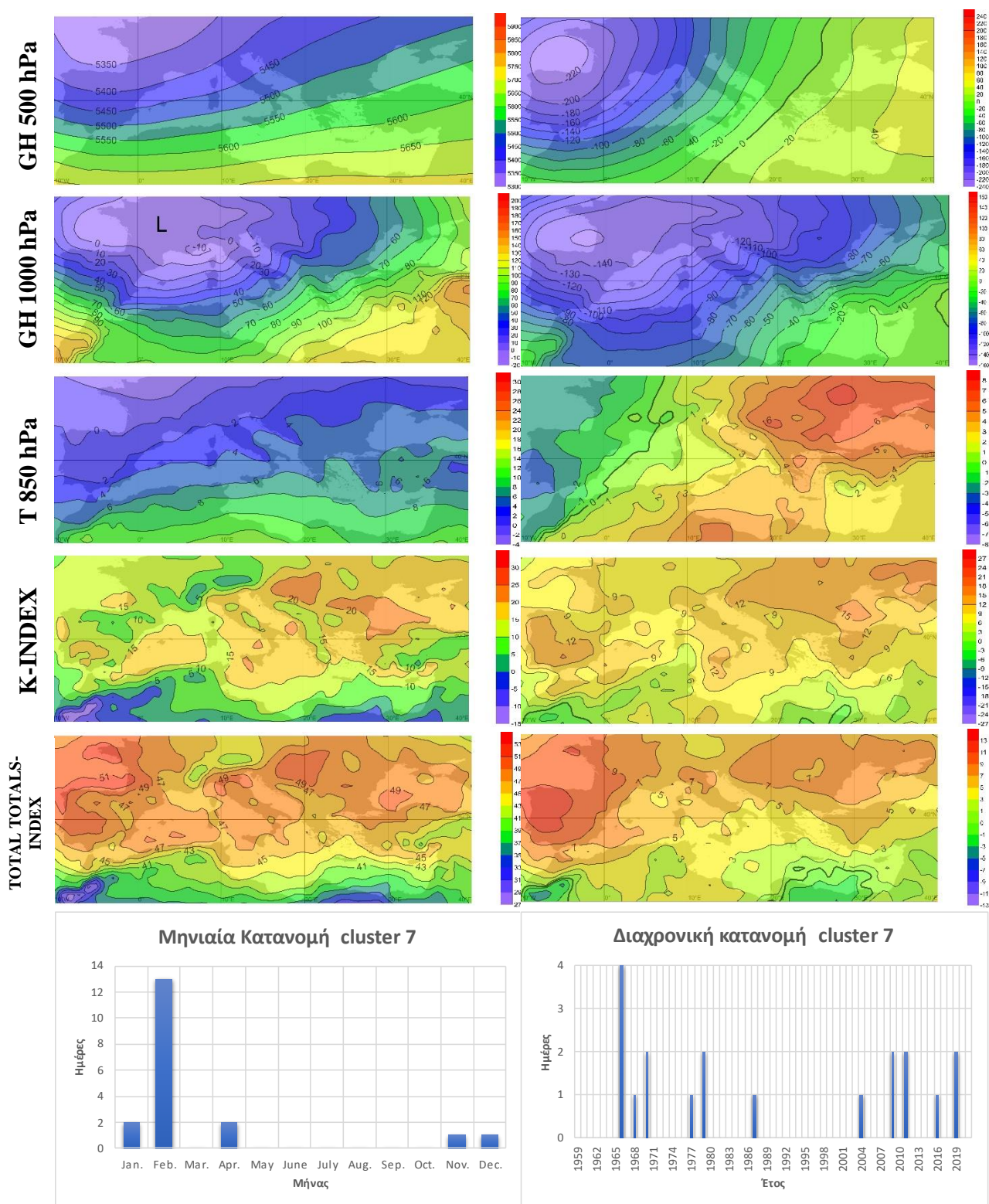


Σχήμα 3.62: Ομάδα 6 (cluster 6): Μέσοι χάρτες του γεωδυναμικού ύψους των ισοβαρικών επιφανειών 500 hPa και 1000 hPa (gpm), της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια 850 hPa (°C) και των δεικτών K (°C) και Total Totals (°C) (αριστερά), καθώς και των αποχών τους (δεξιά). Επίσης, παρουσιάζονται η μηνιαία και διαχρονική κατανομή του αριθμού ημερών εμφάνισης

Η ομάδα 7 χαρακτηρίζεται σύμφωνα με το Σχήμα 3.63 από ένα αρκετά μεγάλο βαρομετρικό χαμηλό στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000 hPa το οποίο καλύπτει ολόκληρη σχεδόν την Ευρώπη, έχοντας το κέντρο του πάνω από την περιοχή της Γαλλίας. Αυτό το βαρομετρικό χαμηλό, σε συνδυασμό με μια trough που εμφανίζεται στην ίδια περιοχή αλλά στην ανώτερη ατμόσφαιρα και τις χαμηλές αποχές που εμφανίζουν και οι δύο αυτοί παράγοντες, δημιουργούν μια περιοχή αρκετά υψηλών τιμών αστάθειας και για τους δύο δείκτες, κυρίως όμως για το δείκτη Total Totals. Τα μέγιστα της αστάθειας εμφανίζονται μέχρι και στη νότια Μεσόγειο, εμφανίζονται επομένως σε όλη την περιοχή την οποία καλύπτει το βαρομετρικό χαμηλό. Τα μέγιστα της αστάθειας που εμφανίζονται στις περιοχές αυτές ενισχύουν και οι χαμηλές θερμοκρασίες οι οποίες επικρατούν σε αυτήν την ομάδα.

Σύμφωνα με το ιστόγραμμα της μηνιαίας κατανομής της ομάδας 7 του Σχήματος 3.63, φαίνεται πως πρόκειται για ένα χειμερινό τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας καθώς η πλειοψηφία των ημερών του βρίσκονται μεταξύ των μηνών Νοεμβρίου και Φεβρουαρίου. Αυτή η κατάσταση επιβεβαιώνεται και από το χάρτη της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των 850 hPa που δείχνει πως κατά την επικράτηση αυτής της ομάδας η θερμοκρασία είναι ιδιαίτερα χαμηλή σε όλη την υπό μελέτη περιοχή.

CLUSTER 7



Σχήμα 3.63: Ομάδα 7 (cluster 7): Μέσοι χάρτες του γεωδυναμικού ύψους των ισοβαρικών επιφανειών 500 hPa και 1000 hPa (gpm), της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια 850 hPa (°C) και των δεικτών K (°C) (αριστερά), καθώς και των αποχών τους (δεξιά). Επίσης, παρουσιάζονται η μηνιαία και διαχρονική κατανομή του αριθμού ημερών εμφάνισης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθούν τα κλιματικά χαρακτηριστικά των δύο δεικτών αστάθειας K και Total Totals στην περιοχή της Μεσογείου κατά την περίοδο 63 ετών από το 1959 έως και το 2021. Μελετήθηκε για κάθε δείκτη ξεχωριστά η μέση χωρική κατανομή του κατά δίμηνο, η μέση ενδοετήσια πορεία του, η διαχρονική διακύμανσή του κατά δίμηνο καθώς επίσης μελετήθηκε και η κατάσταση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για περιπτώσεις ακραία υψηλής αστάθειας..

Με τη χρήση της Παραγοντικής Ανάλυσης, βρέθηκαν τρεις τύποι μέσης ενδοετήσιας πορείας για κάθε δείκτη:

- ένας ηπειρωτικός τύπος που παρουσιάζει μέγιστο κατά τους θερμούς μήνες του έτους
- ένας τύπος που επικρατεί στη θάλασσα της Μεσογείου ο οποίος παρουσιάζει μέγιστο τους φθινοπωρινούς μήνες του έτους και
- ένας τύπος που επικρατεί τόσο στη θάλασσα της Μεσογείου όσο και στη νοτιοδυτική Ασία, εμφανίζοντας ελάχιστο κατά το θέρος και μέγιστα την Άνοιξη και το Φθινόπωρο

Όσον αφορά, τις μέσες χωρικές κατανομές των δεικτών, τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν είναι πως η κύρια αιτία δημιουργίας των συνθηκών αστάθειας είναι κατακόρυφη θερμοβαθμίδα η οποία έχει άμεση εξάρτηση από την εποχή του έτους καθώς και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης. Επιγραμματικά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν είχαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- κατά τους θερμούς μήνες, η αστάθεια εμφανίζεται στις ηπειρωτικές περιοχές λόγω της έντονης θέρμανσης του εδάφους
- κατά το φθινόπωρο, εντονότερα φαινόμενα αστάθειας εμφανίζονται στις θαλάσσιες περιοχές και αυτό γιατί την περίοδο αυτή τα νερά είναι θερμότερα από τη στεριά, ενώ
- κατά τους ψυχρούς μήνες, η αστάθεια διαφοροποιείται μεταξύ στεριάς και θάλασσας, ωστόσο όχι σε πολύ μεγάλο βαθμό και αυτό έχει να κάνει με την ταχεία ψύξη του εδάφους κατά το χειμώνα σε συνδυασμό με τις ψυχρές θάλασσες που επικρατούν την περίοδο αυτή σε σχέση με το φθινόπωρο αν και θερμότερες από τον υπερκείμενο αέρα.

Σχετικά με τη διαχρονική διακύμανση των δύο δεικτών, προέκυψε ότι οι περισσότεροι από τους παράγοντες κάθε διμήνου δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική στατιστική μεταβολή διαχρονικά, ενώ αυτοί οι οποίοι εμφάνιζαν είτε αύξουσα είτε φθίνουσα διαχρονική πορεία, επικρατούσαν πάνω από κοινές περιοχές για τους δύο δείκτες. Η περιοχή της βορειοδυτικής Αφρικής και νοτιοδυτικής Ασίας βρέθηκε να είναι κοινή περιοχή ανοδικής τάσης των δύο δεικτών για την περίοδο του καλοκαιριού. Με βάση αυτές τις κοινές περιοχές, μελετήθηκε στη συνέχεια η διακύμανση των κανονικοποιημένων των δύο δεικτών για τις κανονικοποιημένες τιμές κάθε δείκτη, με αποτέλεσμα για κάθε κοινή περιοχή κάθε διμήνου, να προκύψει ένας πολύ μεγάλος συντελεστής συσχέτισης των δύο δεικτών. Αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι δύο αυτοί δείκτες πράγματι συμμεταβάλλονται διαχρονικά.

Στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας μελετήθηκε με τη βοήθεια της Ανάλυσης κατά Συστάδες, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία η οποία ευνοεί την ύπαρξη ημερών που χαρακτηρίζονται από ακραία υψηλές τιμές αστάθειας. Προέκυψαν 7 ομάδες κάθε μια εκ των οποίων είχε τα δικά της κλιματικά χαρακτηριστικά. Εν κατακλείδι φάνηκε πως η αστάθεια σε κάθε μια ομάδα έχει άμεση συσχέτιση με την ύπαρξη βαρομετρικών συστημάτων στην περιοχή. Επίσης τους δύο δείκτες αστάθειας επηρεάζει και το τι συμβαίνει στην ανώτερη ατμόσφαιρα, ενώ δεν πρέπει να παραλειφθεί η επιρροή που φέρεται

να έχει και η θερμοκρασία στις ακραίες αυτές ημέρες της κάθε ομάδας. Ακόμη, η κάθε ομάδα εμφανίζεται σε συγκεκριμένους μήνες μέσα στο έτος. Αυτό εμφανίζει μια εποχικότητα, καθώς μπορεί να γίνει λόγος παραδείγματος χάριν για θερινό ή χειμερινό τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Επίσης, ανάλογα με τους μήνες κατά τους οποίους εμφανίζονται οι ομάδες, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία ποικίλει και συνοδεύεται από διάφορα χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα ορισμένες που είχαν μέρες του Αυγούστου, εμφανίζουν την εξάρτηση της αστάθειας από τους ετησίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Andersson T., Andersson M., Jacobsson C., Nilsson S. (1989) Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden. *Meteorological Magazine* 118: 141–146.
2. Bartzokas A., & Metaxas D. A. (1993) Covariability and climatic changes of the lower-troposphere temperatures over the northern hemisphere. *Il Nuovo Cimento C*, 16: 359-373.
3. Boyden C.J. (1963) A simple instability index for use as a synoptic parameter, *Meteorol. Mag.*, 92, 198– 210
4. Chrysoulakis N., Spiliotopoulos M., Domenikiotis C., & Dalezios N. (2003) Towards monitoring of regional atmospheric instability through MODIS/Aqua images. In *Proceedings of the international symposium held at Volos, Greece*, pp. 7-9.
5. Dalezios N.R. & Papamanolis N.K. (1991) Objective assessment of instability indices for operational hail forecasting in Greece, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 45, 87-100.
6. Dotzek N., Groenemeijer P., Feuerstein B., & Holzer A. M. (2009) Overview of ESSL's severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmospheric research*, 93(1-3), 575-586.
7. Elliot W. P. & Gaffen D. J. (1991) On the quality of radiosonde humidity archives for climate studies, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 72, 1507-1520.
8. Galanaki E., Lagouvardos K., Kotroni V., Flaounas E., & Argiriou A. (2018) Thunderstorm climatology in the Mediterranean using cloud-to-ground lightning observations. *Atmospheric Research*, 207, 136-144.
9. Galway J.G. (1956) The lifted index as a predictor of latent instability, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 37, 528-529.
10. George J.J. (1960) *Weather forecasting for Aeronautics*, Academic Press, New York, pp 409-415
11. Haklander A.J. & Van Delden A. (2003) Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands, *Atmospheric Research*, 67– 68, 273– 299.
12. Hoffmann L., Günther G., Li D., Stein O., Wu X., Griessbach S., ... & Wright J. S. (2019) From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(5), 3097-3124.
13. Jacovides CP, Yonetani T (1990) An evaluation of stability indices for thunderstorm prediction in greater Cyprus. *Weather Forecast* 5:559–569
14. Jolliffe IT (1986) *Principal component analysis*. Springer, New York, NY
15. Khole M., & Biswas H. R. (2007) Role of total-totals stability index in forecasting of thunderstorm/non-thunderstorm days over Kolkata during pre-monsoon season. *Mausam*, 58(3), 369-374.
16. Khole M., & Biswas H. R. (2007) Role of total-totals stability index in forecasting of thunderstorm/non-thunderstorm days over Kolkata during pre-monsoon season. *Mausam*, 58(3), 369-374.
17. Lionello P., Malanotte-Rizzoli P., Boscolo R., Alpert P., Artale V., Li L., ... & Xoplaki E. (2006) The Mediterranean climate: an overview of the main characteristics and issues. *Developments in earth and environmental sciences*, 4, 1-26.

18. Lolis C. J. (2007) Climatic features of atmospheric stability in the Mediterranean region (1948–2006): spatial modes, inter-monthly and inter-annual variability. *Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling*, 14(4), 361-379.
19. Lolis C. J. (2017) A climatology of convective available potential energy in the Mediterranean region. *Climate Research*, 74(1), 15-30.
20. Lolis C. J., Bartzokas A., Lagouvardos K., & Metaxas D. A. (2012) Intra-annual variation of atmospheric static stability in the Mediterranean region: a 60-year climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, 110, 245-261.
21. Manly BFJ (1986) *Multivariate statistical methods: a primer*. Chapman & Hall, London
22. Manly BFJ, Navarro Alberto Jorge A. (2017) *Multivariate Statistical Methods: A Primer*, Fourth Edition, Chapman & Hall, London ,pp 121
23. Michalopoulou H., & Jacovides C. (1987) Instability indices for the Cyprus area. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 37(3), 153-158.
24. Miller R.C., (1967) Notes on Analysis and Severe Storm Forecasting Procedures of the Military Weather Warning Center. AWS Tech. Rep. 200, USAF, pp 170.
25. Pepler R. A. (1988) A review of static stability indices and related thermodynamic parameters. ISWS Miscellaneous Publication MP-104.
26. Ricard D, Ducrocq V, Auger L. (2012) A climatology of the mesoscale environment associated with heavily precipitating events over a northwestern Mediterranean area. *J Appl Meteorol Climatol* 51: 468–488
27. Riemann-Campe K., Fraedrich K., & Lunkeit F. (2009) Global climatology of convective available potential energy (CAPE) and convective inhibition (CIN) in ERA-40 reanalysis. *Atmospheric Research*, 93(1-3), 534-545.
28. Sharma S. (1996) *Applied Multivariate Techniques*, John Wiley, New York, 493pp.
29. Showalter A.K. (1953) A stability index for thunderstorm forecasting, *Bull. Am. Met. Soc.*, 34, 250-252.
30. Sturtevant John S. (1995) *The Severe Local Storm Forecasting Primer*, Weather Scratch Meteorological Services 140 South Kirkman St., Florence, AL 35630-4312, pp 197.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

31. Γαλούνη Μ, Μελέτη δεικτών αστάθειας και σχετικών θερμοδυναμικών παραμέτρων, Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2014,
32. Ζιακόπουλος Δ., Φραγκούλη Π. Το εγχειρίδιο του Μετεωρολόγου – Προγνώστη, 2015, 205
33. Βλάχου Μ., Χριστοδούλου Μ., (2010) Μνημόνιο πρόγνωσης καιρού, Οργανισμός Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων, Κέντρο Μετεωρολογικών Εφαρμογών.
34. Μακρογιάννης Τ. Ι., Σαχσαμάνογλου Χ. Σ., (1994) Στοιχεία Γενικής Μετεωρολογίας, σελ. 295
35. Μεταξάς Δ., Μπαρτζώκας Α., Εισαγωγή στη Δυναμική Μετεωρολογία, ΙΩΝ, σελ. 275, 2012
36. Πεξάρας Θεοδόσιος, Εντοπισμός αστάθειας στον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο με τη βοήθεια δορυφορικών δεδομένων, Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2012

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

37. <https://cds.climate.copernicus.eu/>
38. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>