



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ



ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΣ ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ
ΕΠΟΧΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ

ΚΩΤΣΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2022



**UNIVERSITY OF IOANNINA
SCHOOL OF SCIENCES
DEPARTMENT OF PHYSICS**



**OBJECTIVE DEFINITION AND VARIABILITY OF SEASONS
FOR THE MEDITERRANEAN REGION**

KOTSIAS GEORGIOS

PhD THESIS

IOANNINA 2022

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή

- Χρήστος Λώλης (Επιβλέπων), Αναπληρωτής Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
- Αριστείδης Μπαρτζώκας, Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
- Νικόλαος Χατζηαναστασίου, Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Επταμελής εξεταστική επιτροπή

- Χρήστος Λώλης, Αναπληρωτής Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
- Αριστείδης Μπαρτζώκας, Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
- Νικόλαος Χατζηαναστασίου, Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
- Νικόλαος Μπάκας, Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
- Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
- Κωνσταντία Τολίκα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
- Ευθυμία Κωστοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου

Πρόλογος

Η παρούσα διδακτορική διατριβή με τίτλο “Αντικειμενικός ορισμός και μεταβλητότητα των εποχών στην περιοχή της Μεσογείου”, εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μετεωρολογίας του Τομέα Αστρογεωφυσικής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κατά τη χρονική περίοδο 2018-2022.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής προέκυψαν οι ακόλουθες τρεις επιστημονικές εργασίες:

1. Kotsias G, Lolis CJ, Hatzianastassiou N, Lionello P and Bartzokas A (2020) “An objective definition of seasons for the Mediterranean region”, *International Journal of Climatology* 41: 1-17.
2. Kotsias G, Lolis CJ, Hatzianastassiou N, Lionello P and Bartzokas A (2021) “A comparison of different approaches for the definition of seasons in the Mediterranean region”, *International Journal of Climatology* 42(3): 1–21.
3. Kotsias G, Lolis CJ, Hatzianastassiou N, Bakas N, Lionello P and Bartzokas A (2022) “Objective climatology and classification of the Mediterranean cyclones based on the ERA5 data set and the use of the results for the definition of seasons”, *Theoretical and Applied Climatology* (submitted)

Τμήμα της διδακτορικής διατριβής υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος «Διώνη: Υπολογιστική Υποδομή Επεξεργασίας και Ανάλυσης Μεγάλου Όγκου Δεδομένων» (MIS No. 5047222) που εντάσσεται στη Δράση «Ενίσχυση των Υποδομών Έρευνας και Καινοτομίας» και χρηματοδοτείται από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία» στο πλαίσιο του ΕΣΠΑ 2014-2020, με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης).

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Χρήστο Λώλη, ο οποίος είναι δίπλα μου και με εμπιστεύεται από τα πρώτα κίολας βήματα της ακαδημαϊκής μου πορείας, τόσο κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών μου σπουδών όσο και κατά την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής, και συνέβαλε στο μέγιστο βαθμό στην επιστημονική μου κατάρτιση. Ήταν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής και παρείχε τις συμβουλές του, την καθοδήγησή του και τη στήριξή του σε επιστημονικό αλλά και σε προσωπικό επίπεδο.

Επίσης, ευχαριστώ και τα υπόλοιπα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής για την εξαιρετική συνεργασία. Συγκεκριμένα, ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Νικόλαο Χατζηναστασίου για τη στήριξη, την καθοδήγηση, τις χρήσιμες συμβουλές και την εμπιστοσύνη που μου παρέχει όλα αυτά τα χρόνια και τον Καθηγητή κ. Αριστείδη Μπαρτζώκα για όλα τα χρήσιμα σχόλια, τις παρατηρήσεις και τις επισημάνσεις κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλα τα υπόλοιπα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής για τα σχόλια, τις συμβουλές και τις επισημάνσεις τους, οι οποίες ήταν σημαντικές για τη βελτίωση της διατριβής.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Νικόλαο Μπάκα για τη βοήθειά του, τις συμβουλές του και τη συνεργασία του για την ολοκλήρωση ενός μέρους της διατριβής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Piero Lionello του Τμήματος Ωκεανογραφίας και Ατμοσφαιρικών Επιστημών του Πανεπιστημίου του Salento - DiSTeBA, του Λέτσε της Ιταλίας, για τη συνεργασία, τη συμβολή του, τις συμβουλές του και τις επισημάνσεις του καθ' όλη τη διάρκεια της διδακτορικής μου διατριβής.

Επιπλέον, νιώθω την ανάγκη να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου που βρίσκεται πάντα δίπλα μου και με στηρίζει στην πορεία μου όλα αυτά τα χρόνια. Τους ευχαριστώ όλους, για την ψυχολογική, ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν και συνεχίζουν να μου παρέχουν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους φίλους και συνεργάτες μου, που με υπομονή και κατανόηση, ήταν δίπλα μου και με εμπύχωναν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Abstract	11
Πίνακας Συντμήσεων και Ακρωνυμίων.....	14
Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή	15
1.1 Γενικά για την περιοχή της Μεσογείου.....	15
1.2 Εποχές	18
1.3 Τύποι καιρού	23
1.4 Υφέσεις.....	24
1.5 Στόχος και Δομή Διδακτορικής Διατριβής.....	27
Κεφάλαιο 2 - Δεδομένα και Μεθοδολογία	30
2.1 Περιοχή Μελέτης	30
2.2 Δεδομένα	30
2.2.1 NCEP/NCAR Reanalysis.....	30
2.2.2 ERA5 Reanalysis	33
2.3 Μεθοδολογία.....	34
2.3.1 Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA)	34
2.3.2 Ανάλυση κατά Συστάδες (CA).....	37
2.3.3 Στατιστικό τεστ Mann-Kendall για μονότονες τάσεις.....	39
2.3.4 Αλγόριθμος εντοπισμού των υφέσεων και παρακολούθησης των τροχιών τους.....	42
2.3.5 Μέθοδος MVV για τον ορισμό των εποχών.....	45
2.3.6 Μέθοδος WTF για τον ορισμό των εποχών.....	46
2.3.7 Μέθοδος CTF για τον ορισμό των εποχών.....	47
2.3.8 Μέθοδος S για τον ορισμό των εποχών.....	50
Κεφάλαιο 3 - Μελέτη της μέσης ενδοετήσιας διακύμανσης των μετεωρολογικών παραμέτρων και ορισμός των εποχών.....	52
3.1 Ορισμός των εποχών για την 70ετή περίοδο 1949-2018 με τη μέθοδο MVV	52
3.2 Μακροπρόθεσμες αλλαγές των εποχών βάσει της μεθόδου MVV.....	61
3.3 Σύνοψη και συμπεράσματα κεφαλαίου.....	73
Κεφάλαιο 4 - Ορισμός των εποχών μέσω των τύπων καιρού.....	77
4.1 Ορισμός των Τύπων Καιρού (WTs).....	77
4.2 Ορισμός των εποχών για την 70ετή περίοδο 1949-2018 με τη μέθοδο WTF.....	90
4.3 Μακροπρόθεσμες αλλαγές των εποχών βάσει της μεθόδου WTF.....	99
4.4 Σύνοψη και συμπεράσματα κεφαλαίου.....	105
Κεφάλαιο 5 - Ορισμός των εποχών μέσω των τροχιών των υφέσεων.....	109

5.1 Ορισμός των συστάδων των τροχιών των υφέσεων.....	109
5.2 Ορισμός των εποχών για την 69ετή περίοδο 1950-2018 με τη μέθοδο CTF	119
5.3 Σύνοψη και συμπεράσματα κεφαλαίου.....	123
Κεφάλαιο 6 - Σύνθεση και σύγκριση των μεθόδων ορισμού των εποχών	126
6.1 Ορισμός των εποχών για την περίοδο 1950-2018 με τη μέθοδο S	126
6.2 Μακροπρόθεσμες αλλαγές των εποχών βάσει της μεθόδου S.....	130
6.3 Σύγκριση διαφορετικών μεθόδων αντικειμενικού ορισμού των εποχών.....	136
6.4 Σύνοψη και συμπεράσματα κεφαλαίου.....	137
Κεφάλαιο 7 - Γενικά συμπεράσματα - Προοπτικές.....	139
Βιβλιογραφία.....	145
Παράρτημα 1.....	153
Παράρτημα 2.....	174
Παράρτημα 3.....	195

Περίληψη

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί μια εκτεταμένη προσπάθεια αντικειμενικού ορισμού των εποχών για την περιοχή της Μεσογείου κατά την περίοδο 1949-2018 με τη χρήση πολλαπλών μεθόδων. Στόχος αυτής της ερευνητικής προσπάθειας είναι η δημιουργία ενός “νέου” ορισμού των εποχών, διαφορετικού από το συμβατικό, βασισμένου σε αντικειμενικά κριτήρια. Ακόμα, διερευνώνται πιθανές αλλαγές στα κύρια χαρακτηριστικά των εποχών (ημερομηνίες έναρξης/λήξης και διάρκεια) κατά την 70ετή περίοδο μελέτης.

Στο πρώτο τμήμα της διατριβής ο ορισμός των εποχών επιτυγχάνεται μέσω της μελέτης της μέσης ενδοετήσιας πορείας 12 μετεωρολογικών παραμέτρων. Τα δεδομένα ελήφθησαν από την βάση δεδομένων NCEP/NCAR και αφορούν ημερήσιες τιμές (12UTC) των εξής παραμέτρων: ρυθμός υετού, ρυθμός ανωμεταφορικού υετού, θερμοκρασία στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, ολική νεφοκάλυψη, ζωνική και μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, γεωδυναμικά ύψη των ισοβαρικών επιφανειών των 500hPa και των 1000hPa, θερμοκρασία στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa και 850hPa, ειδική υγρασία της ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa και υετίσιμο ύδωρ. Αρχικά, υπολογίζονται οι μέσες ενδοετήσιες διακυμάνσεις των παραπάνω παραμέτρων και στη συνέχεια εφαρμόζεται η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA), προκειμένου να μειωθεί ο μεγάλος όγκος των δεδομένων, και η Ανάλυση κατά Συστάδες των k-μέσων (k-mean Cluster Analysis) στις χρονοσειρές των Κύριων Συνιστωσών ώστε να γίνει η ομαδοποίηση των ημερομηνιών του έτους με παρόμοια μοτίβα των παραπάνω παραμέτρων. Οι ομάδες ημερομηνιών που προκύπτουν μπορούν να θεωρηθούν ως οι αντικειμενικά ορισμένες εποχές. Η μέθοδος αυτή, η οποία ονομάζεται Meteorological Variables mean intra-annual Variation method (MVV), εφαρμόζεται ξανά και για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους: 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, με σκοπό τη διερεύνηση πιθανών μακροπρόθεσμων αλλαγών των χαρακτηριστικών των εποχών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ορίζονται 4 εποχές για όλες τις περιόδους. Αν και αυτές οι εποχές αντιστοιχούν στις 4 συμβατικές εποχές, υπάρχουν διαφορές στις ημερομηνίες έναρξης/λήξης και στη διάρκειά τους. Σύμφωνα με τη μέθοδο MVV, ο χειμώνας διαρκεί περίπου 4 μήνες, η άνοιξη και το θέρος λίγο λιγότερο από 3 μήνες και το φθινόπωρο διαρκεί περίπου 2,5 μήνες. Οι πιο αξιοσημείωτες μακροπρόθεσμες αλλαγές των χαρακτηριστικών των εποχών είναι: i) η μείωση της διάρκειας του χειμώνα και της άνοιξης λόγω καθυστέρησης της έναρξής τους και ii) η παράταση του φθινοπώρου λόγω καθυστέρησης της λήξης του.

Στο δεύτερο τμήμα της διατριβής, υιοθετείται μια άλλη μέθοδος αντικειμενικού ορισμού των εποχών, η οποία βασίζεται στον ορισμό των τύπων καιρού (Weather Types, WTs). Οι

μετεωρολογικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή είναι οι ίδιες με αυτές της μεθόδου MVV χωρίς όμως να λαμβάνονται υπόψιν οι δύο παράμετροι του νετού. Αρχικά, εφαρμόζονται η PCA και η CA στις ημερήσιες τιμές των παραμέτρων της 70ετούς περιόδου 1949-2018 και σχηματίζονται ομάδες των οποίων οι ημερομηνίες παρουσιάζουν κοινά συνοπτικά χαρακτηριστικά. Κάθε μία από αυτές τις ομάδες αποτελεί έναν Τύπο Καιρού (WT). Συνεπώς, ορίζονται 8 WTs και μελετώνται τα χαρακτηριστικά τους, συμπεριλαμβανομένων των συνοπτικών συνθηκών που κυριαρχούν και των μηνιαίων και ετήσιων κατανομών των συχνοτήτων τους. Στη συνέχεια, η PCA και η CA εφαρμόζονται ξανά, αλλά αυτή τη φορά στις ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των WTs. Ως αποτέλεσμα, οι ημερομηνίες εντός του έτους οι οποίες παρουσιάζουν παρόμοια κατανομή συχνοτήτων των 8 WTs ταξινομούνται σε ομάδες οι οποίες αποτελούν τις αντικειμενικά ορισμένες εποχές. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η οποία ονομάζεται Weather Types' Frequency method (WTF), ο χειμώνας και το θέρος διαρκούν περίπου από 4 μήνες και η άνοιξη και το φθινόπωρο περίπου από 2 μήνες. Οι σημαντικότερες διαχρονικές αλλαγές στα όρια και στη διάρκεια των εποχών που προκύπτουν από τη μέθοδο WTF είναι: i) η σμίκρυνση του χειμώνα και της άνοιξης στις πιο πρόσφατες περιόδους, που σχετίζεται με αργότερες ημερομηνίες έναρξης και γρηγορότερες ημερομηνίες λήξης, αντίστοιχα, και ii) η παράταση του φθινοπώρου και του θέρους, λόγω καθυστέρησης της λήξης, και γρηγορότερης έναρξης και καθυστερημένης λήξης, αντίστοιχα.

Κατά το τρίτο τμήμα της διατριβής, ο ορισμός των εποχών γίνεται μέσω της μελέτης των υφέσεων και των τροχιών τους, οι οποίες επηρεάζουν την περιοχή της Μεσογείου. Η ανάλυση πραγματοποιείται αξιοποιώντας δεδομένα πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (Mean Sea-Level Pressure, MSLP) με χρονική ανάλυση 6ώρου (00, 06, 12 και 18 UTC) και υψηλή χωρική ανάλυση ($1^{\circ} \times 1^{\circ}$). Τα δεδομένα ελήφθησαν από την υπερσύγχρονη βάση δεδομένων reanalysis ERA5 και αναφέρονται στην περίοδο 1950-2018. Οι κύριες περιοχές κυκλογένεσης και οι περιοχές υψηλής πυκνότητας των τροχιών των υφέσεων εντοπίζονται και είναι ο Κόλπος της Γένοβας, η οροσειρά του Άτλαντα, η Ιβηρική χερσόνησος, η περιοχή της Κύπρου, η Μαύρη Θάλασσα και η Μέση Ανατολή. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η στατιστική ανάλυση εφαρμόζοντας τις PCA και CA, με σκοπό την ταξινόμηση των τροχιών των υφέσεων που εντοπίστηκαν σε ομάδες και τελικά δημιουργούνται 12 ομάδες τροχιών υφέσεων (Cyclone tracks' Clusters, CCs). Αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά των 12 CCs, όπως οι κύριες πορείες που ακολουθούν, η εμμονή τους μέσα στο έτος καθώς και οι περιοχές επιρροής τους. Ακόμα, αξιοποιώντας τις ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των 12 CCs, ορίζονται οι εποχές της Μεσογείου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ορίζονται αντικειμενικά 4 εποχές οι οποίες αντιστοιχούν στις συμβατικές αλλά παρουσιάζουν διαφορές στα όρια και στη διάρκειά τους. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται Cyclones Tracks' Frequency method (CTF). Σε σχέση με τις

προηγούμενες δύο μεθόδους που εφαρμόστηκαν, τις MVV και WTF, οι εποχές που ορίζει η μέθοδος CTF δεν είναι συνεχείς γεγονός που κάνει τον ακριβή ορισμό των ορίων τους δύσκολο. Σύμφωνα με τη μέθοδο CTF, ο χειμώνας διαρκεί 4 μήνες, το θέρος 3,5 μήνες, ενώ η άνοιξη και το φθινόπωρο έχουν διάρκεια λίγο μεγαλύτερη από 2 μήνες. Επίσης, η εφαρμογή της μεθόδου CTF στις 5 επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους, όπως ακολουθήθηκε και στις προηγούμενες μεθόδους, έχει ως αποτέλεσμα σε κάποιες περιπτώσεις να ορίζονται πέντε εποχές.

Τέλος, εφαρμόζεται μια μέθοδος σύνθεσης (Synthesis method - S) των τριών παραπάνω μεθόδων, της MVV, της WTF και της CTF. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, εφαρμόζεται η CA στον ενοποιημένο πίνακα των Κύριων Συνιστωσών των τριών επιμέρους μεθόδων που προαναφέρθηκαν. Συνεπώς, η μέθοδος S αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσπάθεια αντικειμενικού ορισμού των εποχών της Μεσογείου, καθώς λαμβάνει υπόψιν τις μέσες ενδοετήσιες διακυμάνσεις πλήθους μετεωρολογικών παραμέτρων, τους κυρίαρχους τύπους καιρού και τις υφέσεις που επηρεάζουν την περιοχή μελέτης. Σύμφωνα με τη μέθοδο S, οι εποχές είναι οι εξής: ο χειμώνας ο οποίος ξεκινά στις 16 Νοεμβρίου και τελειώνει στις 25 Μαρτίου και διαρκεί περισσότερο από 4 μήνες (131 ημέρες), η άνοιξη η οποία είναι η περίοδος 26 Μαρτίου - 11 Ιουνίου με διάρκεια περίπου 2,5 μήνες (78 ημέρες), το θέρος το οποίο ακολουθεί έως τις 12 Σεπτεμβρίου και διαρκεί 3 μήνες (93 ημέρες) και τέλος το φθινόπωρο (13 Σεπτεμβρίου - 15 Νοεμβρίου) το οποίο κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 2 μηνών (63 ημέρες). Ακόμα, διερευνώνται και οι διαχρονικές αλλαγές των χαρακτηριστικών των εποχών και βρίσκεται ότι: ο χειμώνας ξεκινά αργότερα και τελειώνει αργότερα τα τελευταία χρόνια και έχει γίνει πιο σύντομος, η άνοιξη έρχεται και φεύγει νωρίτερα τις πιο πρόσφατες περιόδους και διαρκεί λίγο λιγότερο, το θέρος έρχεται νωρίτερα και τελειώνει αργότερα και επομένως είναι μεγαλύτερο, και τέλος το φθινόπωρο αρχίζει και τελειώνει αργότερα και η διάρκειά του αυξάνεται.

Abstract

This doctoral dissertation is an extensive attempt to objectively define the seasons for the Mediterranean region during the period 1949-2018 using multiple methods. The aim of this research effort is to create a “new” definition of the seasons, different from the conventional one, based on objective criteria. Also, possible changes in the main characteristics of the seasons (start/end dates and duration) during the 70-year study period are investigated.

In the first part of this dissertation, the definition of seasons includes the study of the mean inter-annual variation of 12 meteorological parameters. The data are obtained from the NCEP/NCAR database and are daily values (12UTC) of the following parameters: precipitation rate, convective precipitation rate, temperature at 2 meters above the earth's surface, total cloud cover, zonal and meridional wind components at 10 meters above the earth's surface, 500hPa and 1000hPa geopotential heights, 500hPa and 850hPa air temperature, 850hPa specific humidity and precipitable water. First, the mean intra-annual variations of the above parameters are calculated and Principal Component Analysis (PCA) is applied, in order to reduce the large amount of data, and next k-mean Cluster Analysis (CA) is applied on the time series of the Principal Components in order to group the dates of the year with similar patterns of the above parameters. The date groups obtained can be considered as the objectively defined seasons. This method, called Meteorological Variables mean intra-annual Variation method (MVV), is applied again for the five overlapping 30-year subperiods: 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 and 1989-2018, with the aim of investigating possible long-term changes of the seasons' characteristics. According to the results, 4 seasons are defined for all time periods. Although these seasons correspond to the four conventional seasons, there are differences in their onset/cessation dates and duration. According to the MVV method, winter lasts about 4 months, spring and summer last a little less than 3 months and autumn lasts about 2.5 months. The most notable long-term changes in the characteristics of the seasons are: i) the decrease in the duration of winter and spring due to the delay of their onset, and ii) the extension of autumn due to the delay of its end.

In the second part of the dissertation, another method of objectively defining the seasons is adopted, which is based on the definition of Weather Types (WTs). The meteorological parameters used in this method are the same as those used in the MVV method but without taking into account the two precipitation parameters. Initially, PCA and CA are applied to the daily values of the parameters of the 70-year period 1949-2018 and groups are formed whose dates have common synoptic characteristics. Each of these groups corresponds to a Weather Type (WT). Therefore, 8 WTs are defined and their characteristics are studied, including the prevailing synoptic conditions

and their monthly and annual frequency distributions. Then, PCA and CA are applied again, but this time on the intra-annual variations of the WTs' frequencies. As a result, the dates within the year that have a similar frequency distribution among the 8 WTs are classified into groups which can be considered as the objectively defined seasons. According to this method, which is called Weather Types' Frequency method (WTF), winter and summer last about 4 months and spring and autumn last about 2 months. The most significant changes in the limits and duration of the seasons resulting from the WTF method are: i) the shortening of winter and spring in the most recent periods, related to later start dates and earlier end dates, respectively, ii) the extension of autumn and summer, due to later end dates, and earlier start and later end dates, respectively.

In the third part of the thesis, the definition of seasons is based on the cyclones and their tracks which affect the Mediterranean region. The analysis is performed using Mean Sea-Level Pressure (MSLP) data with a temporal analysis of 6 hours (00, 06, 12 and 18 UTC) and high spatial resolution ($1^{\circ}\times 1^{\circ}$). The data are obtained from the state-of-the-art reanalysis database ERA5 and refer to the period 1950-2018. The main cyclogenesis and high-density areas are identified and are the Gulf of Genoa, the Atlas Mountain range, the Iberian Peninsula, the Cyprus region, the Black Sea and the Middle East. Then, a statistical analysis is performed using PCA and CA, in order to classify the cyclone tracks that were detected into groups and as a result 12 Cyclone tracks' Clusters (CCs) are revealed. The main characteristics of the 12 CCs are analyzed, such as their preferred paths, their persistence throughout the year as well as the areas affected. Also, by utilizing the mean intra-annual variations of the frequencies of the 12 CCs, the Mediterranean seasons are defined. According to the results, four seasons are objectively defined which correspond to the conventional ones but present differences in their limits and duration. This method is called Cyclones Tracks' Frequency method (CTF). In contrast with the two previous methods used, the MVV and WTF, the seasons defined by the CTF method are not continuous, which makes it difficult to distinctly define the seasons. According to the CTF method, winter lasts 4 months, summer lasts 3.5 months while spring and autumn last a little longer than 2 months. Also, the application of the CTF method on the 5 overlapping 30-year subperiods, as was followed in the previous methods, results in the definition of five seasons in some cases.

Finally, a synthesis method (S method) of the above three methods, the MVV, WTF and CTF, is applied. According to this method, CA is applied to the unified matrix of the Principal Components of the three individual aforementioned methods. Therefore, the S method is a complete attempt to objectively define the Mediterranean seasons, since it takes into account the mean intra-annual variations of a variety of meteorological parameters, the prevailing weather types and the depressions

affecting the region under study. According to the S method, the seasons are as follows: winter which begins on November 16 and ends on March 25 lasting more than 4 months (131 days), spring which is the period March 26 - June 11 with a duration of about 2.5 months (78 days), summer which follows until September 12 and lasts 3 months (93 days) and finally autumn (September 13 - November 15) which closes the annual cycle with a duration of 2 months (63 days). Also, the long-term changes of the characteristics of the seasons are investigated and it is found that: winter starts later and ends later in recent years and has become shorter, spring arrives and leaves earlier in recent periods and lasts a little less, summer comes earlier and ends later and therefore is longer, and finally autumn begins and ends later and its duration increases.

Πίνακας Συντμήσεων και Ακρωνυμίων

ΣΥΝΤΜΗΣΗ - ΑΚΡΩΝΥΜΙΟ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
PCA	Principal Component Analysis
CA	Cluster Analysis
MVV METHOD	Meteorological Variables mean intra-annual Variation method
WTF METHOD	Weather Types' Frequency method
CTF METHOD	Cyclones Tracks' Frequency method
S METHOD	Synthesis method
WT	Weather Type
CC	Cyclone tracks' Cluster
UTC	Universal Time Coordinated
NCEP/NCAR	National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
MSLP	Mean Sea Level Pressure

Κεφάλαιο 1

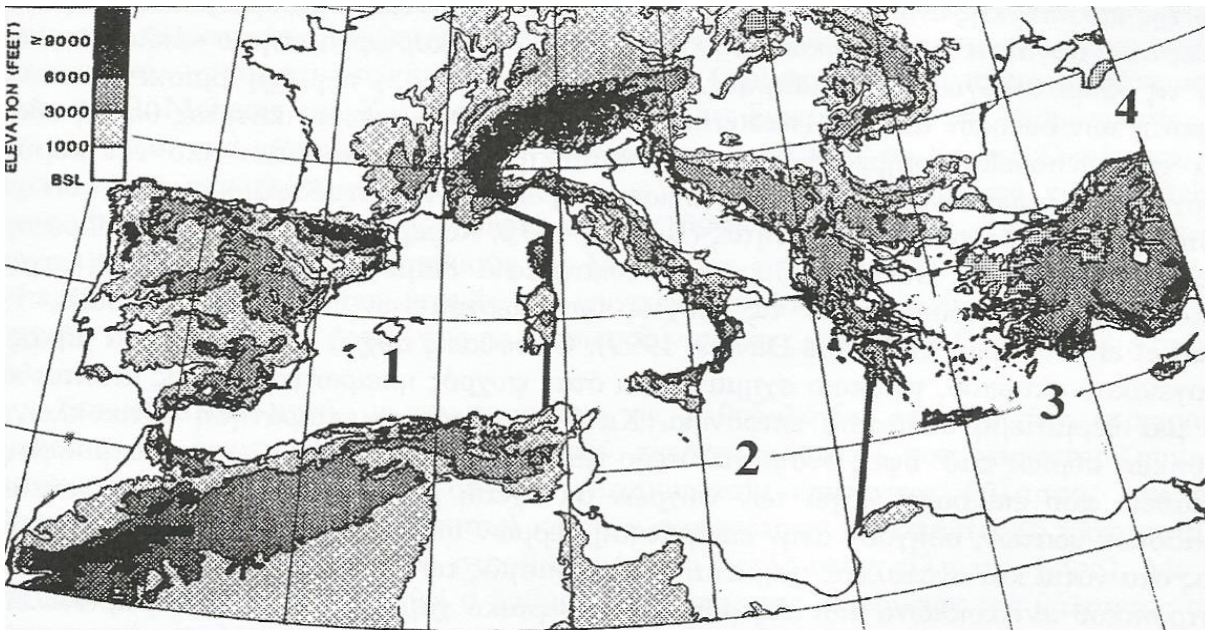
Εισαγωγή

1.1 Γενικά για την περιοχή της Μεσογείου

Η λεκάνη της Μεσογείου είναι η περιοχή των εδαφών γύρω από τη Μεσόγειο Θάλασσα που έχουν κυρίως μεσογειακό κλίμα, με ήπιους έως δροσερούς, βροχερούς χειμώνες και θερμά έως ζεστά, ξηρά θέρη, τα οποία υποστηρίζουν τα χαρακτηριστικά μεσογειακά δάση και τη θαμνώδη βλάστηση. Η λεκάνη της Μεσογείου καλύπτει τμήματα τριών ηπείρων: της Ευρώπης, της Αφρικής και της Ασίας. Χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη τοπογραφία προσφέροντας ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο τοπίο με ψηλά βουνά, βραχώδεις ακτές, αδιαπέραστους θάμνους, ημίξηρες στέπες, παράκτιους υγροτόπους, αμμώδεις παραλίες και πληθώρα νησιών διαφόρων σχημάτων και μεγεθών, διάσπαρτα μέσα στην καταγάλανη θάλασσα.

Εξ ορισμού, η λεκάνη της Μεσογείου οριοθετείται γεωγραφικά μεταξύ των παραλλήλων 30°B και 45°B και μεταξύ των μεσημβρινών 5°Δ και 35°Α με το ανατολικό της άκρο να απέχει από το δυτικό της περίπου 4000 km, ενώ η μέση απόσταση μεταξύ της βόρειας και νότιας ακτής της είναι περίπου 800 km (Lionello et al. 2006). Το τοπογραφικό ανάγλυφο διαμορφώνει τις τρεις κύριες υπολεκάνες στις οποίες μπορεί να διαιρεθεί η Μεσόγειος. Αυτές είναι: (1) η δυτική λεκάνη, η οποία εκτείνεται από το Γιβραλτάρ μέχρι τα νησιά Σαρδηνία και Κορσική, (2) η κεντρική λεκάνη, η οποία εκτείνεται μεταξύ των περιοχών της Κορσικής, Σαρδηνίας και Τυνησίας δυτικά και Ελλάδα και Κυρηναϊκών ανατολικά, και (3) η ανατολική λεκάνη, η οποία περιλαμβάνει το τμήμα της Μεσογείου που εκτείνεται από τα όρια της κεντρικής μέχρι τις ακτές της Μέσης Ανατολής (Σχήμα 1). Πιο λεπτομερώς, η λεκάνη της Μεσογείου εκτείνεται από τη Μακαρονησία στα δυτικά, στο Λεβάντε στα ανατολικά. Στη Δυτική Ασία, καλύπτει το δυτικό και το νότιο τμήμα της χερσονήσου της Ανατολίας, εξαιρουμένων των εύκρατων-κλιματικών βουνών της κεντρικής Τουρκίας. Περιλαμβάνει το Μεσογειακό Λεβάντε στο ανατολικό άκρο της, που οριοθετείται στα ανατολικά και νότια από τις ερήμους της Συρίας και του Νεγκέβ. Το νότιο άκρο της ξεκινά από το βόρειο τμήμα της περιοχής του Μαγκρέμπ της βορειοδυτικής Αφρικής, το οποίο χωρίζεται από την έρημο Σαχάρα, η οποία εκτείνεται σε όλη τη Βόρεια Αφρική. Η Ευρώπη βρίσκεται στα βόρεια της Μεσογείου και τρεις μεγάλες νότιες ευρωπαϊκές χερσόνησοι, η Ιβηρική Χερσόνησος, η Ιταλική Χερσόνησος και η Βαλκανική Χερσόνησος, αποτελούν μεγάλο μέρος της μεσογειακής κλιματικής ζώνης. Ένα σύστημα εκτεταμένων βουνών, συμπεριλαμβανομένων των Πυρηναίων που χωρίζουν την Ισπανία από τη Γαλλία, των Άλπεων που χωρίζουν την Ιταλία από την Κεντρική Ευρώπη, των Δειναρικών Άλπεων

κατά μήκος της ανατολικής Αδριατικής και των βουνών των Βαλκανίων, χωρίζει τη Μεσόγειο από τις περιοχές της Ευρώπης με εύκρατο κλίμα.



Σχήμα 1. Η ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και οι 3 κύριες υπο-λεκάνες στις οποίες μπορεί να διαιρεθεί: (1) η δυτική, (2) η κεντρική και (3) η ανατολική. Το (4) αντιστοιχεί στη Μαύρη Θάλασσα.

Το κλίμα της Μεσογείου είναι αρκετά ιδιόμορφο και πολύπλοκο λόγω του ότι παρεμβάλλεται μεταξύ περιοχών με εντελώς διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά και λόγω της έντονης εναλλαγής ξηράς - θάλασσας. Τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος και της μεταβλητότητάς του αναλύονται εκτενώς στο βιβλίο των Lionello et al. (2006) “Mediterranean Climate Variability”. Συγκεκριμένα, στις Ευρωπαϊκές περιοχές που βρίσκονται βορείως της Μεσογείου επικρατούν υγρά εύκρατα κλίματα, ενώ στις περιοχές της βόρειας Αφρικής που βρίσκονται νοτίως της Μεσογείου επικρατούν θερμά και ξηρά υποτροπικά κλίματα. Έτσι, λόγω της εναλλαγής των εποχών και των διαφόρων διακυμάνσεων της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, οι μετεωρολογικές συνθήκες της λεκάνης της Μεσογείου προσομοιάζουν περισσότερο πότε με αυτές της βόρειας Αφρικής και πότε με αυτές της νότιας Ευρώπης. Γενικά, η περιοχή χαρακτηρίζεται από ξηρά θέρη, ήπιους και βροχερούς χειμώνες και μια μεγάλη ποικιλία μικροκλιμάτων που προκύπτουν λόγω της πολύπλοκης εναλλαγής ξηράς - θάλασσας.

Η σημαντική διαφορά μεταξύ των χειμερινών και των θερινών συνοπτικών συνθηκών, συνοδεύεται από έναν κυρίαρχο ετήσιο κύκλο που αφορά όλες τις κλιματολογικές παραμέτρους (Lionello et al. 2006). Το χειμώνα, η περιοχή βρίσκεται υπό την επίδραση των δυτικών ανέμων. Η μεγάλης θερμοχωρητικότητας θερμή υδάτινη μάζα της Μεσογείου επηρεάζει την ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από την ευρύτερη περιοχή, αλληλοεπιδρώντας με τα επιφανειακά στρώματα της

ατμόσφαιρας μέσω των ροών αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας. Η επίδραση της θερμής θάλασσας σε συνδυασμό με την τοπογραφία διαμορφώνουν τις κύριες περιοχές κυκλογένεσης και τροποποιούν τις τροχιές των διερχόμενων υφέσεων (Alpert et al. 1990, Trigo et al. 1999). Οι υφέσεις αυτές συχνά κινούνται κατά μήκος του μεσογειακού μετώπου, το οποίο σχηματίζεται όταν ψυχρός ηπειρωτικός αέρας κινείται πάνω από μια θερμότερη θαλάσσια επιφάνεια.

Κατά το θέρος, η επικράτηση αντικυκλωνικών συνθηκών σε συνδυασμό με την ατμοσφαιρική ευστάθεια που επικρατεί λόγω των ψυχρών, σε σχέση με την ατμόσφαιρα, επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων, οδηγούν στην επικράτηση θερμών υποτροπικών κλιματικών συνθηκών, ιδίως στα νότια και ανατολικά τμήματα. Στη δυτική Μεσόγειο επικρατούν αντικυκλωνικές συνθήκες λόγω της επέκτασης του υποτροπικού αντικυκλώνα των Αζορών, ενώ στο ανατολικό κομμάτι της περιοχής, το θερμικό χαμηλό της νοτιοδυτικής Ασίας οδηγεί στην επικράτηση των ετησίων ανέμων, ιδιαίτερα πάνω από την περιοχή του Αιγαίου Πελάγους (Maheras 2001, Anagnostopoulou et al. 2014).

Όσον αφορά τον υετό, το θέρος οι περιοχές του μεσογειακού κλίματος επηρεάζονται έντονα από την υποτροπική σφήνα έξαρσης (subtropical ridge) που διατηρεί τις ατμοσφαιρικές συνθήκες πολύ ξηρές με ελάχιστη νεφοκάλυψη. Σε ορισμένες περιοχές, το καθοδικό ρεύμα ενισχύει την ευστάθεια μειώνοντας περαιτέρω τις πιθανότητες βροχής, αλλά προκαλεί συχνά παχιά στρώματα ομίχλης που συνήθως εξατμίζονται μέχρι το μεσημέρι. Ομοίως με τα κλίματα της ερήμου, σε πολλά μεσογειακά κλίματα υπάρχει έντονη ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας τους θερμούς θερινούς μήνες λόγω της ισχυρής θέρμανσης κατά τη διάρκεια της ημέρας από την ηλιακή ακτινοβολία και της ταχείας ψύξης τη νύχτα λόγω της εκπομπής γήινης υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το χειμώνα, η υποτροπική σφήνα έξαρσης μετακινείται προς τον ισημερινό, καθιστώντας τον υετό πολύ πιο πιθανό. Ως αποτέλεσμα, οι περιοχές με αυτό το κλίμα λαμβάνουν σχεδόν το σύνολο του υετού κατά τη χειμερινή και εαρινή περίοδο τους και μπορεί να περάσουν από 4 έως 6 μήνες κατά τη διάρκεια του θέρους και τις αρχές του φθινοπώρου χωρίς σημαντικά ποσά υετού (Lionello et al. 2006). Σε ό,τι αφορά τη χωρική του κατανομή, ο υετός μειώνεται προς τα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, τόσο το χειμώνα όσο και το θέρος. Προς τα πολικά γεωγραφικά πλάτη, η υγρασία συνήθως αυξάνεται. Για παράδειγμα, το μεσογειακό κλίμα της νότιας Ευρώπης έχει περισσότερες βροχοπτώσεις. Ο υετός τείνει επίσης να κατανέμεται πιο ομοιόμορφα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στη νότια Ευρώπη, ενώ σε μέρη όπως η ανατολική Μεσόγειος το θέρος είναι σχεδόν ή εντελώς ξηρό. Σε μέρη όπου η εξατμισοδιαπνοή είναι υψηλότερη, τα κλίματα της στέπας τείνουν να επικρατούν, αλλά εξακολουθούν να ακολουθούν το βασικό πρότυπο του μεσογειακού κλίματος.

Σχετικά με τη θερμοκρασία, επειδή οι περισσότερες περιοχές της Μεσογείου βρίσκονται κοντά σε μεγάλα υδάτινα σώματα, οι θερμοκρασίες είναι γενικά μέτριες, με ένα συγκριτικά μικρό εύρος

θερμοκρασιών μεταξύ του ελαχίστου του χειμώνα και του μεγίστου του θέρους (αν και το ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος κατά τη διάρκεια του θέρους είναι μεγάλο λόγω ξηρών και αίθριων συνθηκών, εκτός από τις παράκτιες περιοχές). Στις πεδινές περιοχές, οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα πέφτουν μόνο περιστασιακά κάτω από το μηδέν και γενικά σπάνια παρατηρείται χιόνι. Οι θερμοκρασιακές συνθήκες του θέρους μπορεί να είναι δροσερές έως πολύ θερμές, ανάλογα με την απόσταση της περιοχής από τη θάλασσα, το υψόμετρο και το γεωγραφικό πλάτος, μεταξύ άλλων παραγόντων (Lionello et al. 2006). Οι ισχυροί άνεμοι από το εσωτερικό των περιοχών της ερήμου μπορούν μερικές φορές να αυξήσουν τις θερμοκρασίες του θέρους, αυξάνοντας παράλληλα τον κίνδυνο πυρκαγιών (San-Miguel-Ayanz et al. 2013).

Συνεπώς, η λεκάνη της Μεσογείου με το ποικίλο και πολύπλοκο τοπογραφικό ανάγλυφό της, το συνδυασμό διάφορων τύπων κλίματος και το γεγονός ότι είναι μια από τις περιοχές που ανταποκρίνονται έντονα στην τρέχουσα κλιματική αλλαγή (IPCC 2013) αποτελεί μια πολύ ενδιαφέρουσα περιοχή μελέτης όσον αφορά τις εποχές και τα χαρακτηριστικά τους.

1.2 Εποχές

Ως εποχή χαρακτηρίζεται η χρονική περίοδος εντός του έτους η οποία αποτελείται από ημερομηνίες με ομοιογενή κλιματικά χαρακτηριστικά (Σχήμα 2). Γενικά, υπάρχουν δύο αποδεκτοί ορισμοί των εποχών: ο αστρονομικός ορισμός και ο συμβατικός ορισμός. Σύμφωνα με τον αστρονομικό ορισμό, ο χειμώνας στο βόρειο ημισφαίριο (ή θέρος στο νότιο ημισφαίριο) ορίζεται ως η περίοδος από το χειμερινό ηλιοστάσιο (22 Δεκεμβρίου) έως την εαρινή ισημερία (21 Μαρτίου). Η άνοιξη ξεκινά την εαρινή ισημερία και τελειώνει στο θερινό ηλιοστάσιο (22 Ιουνίου) και το θέρος επικρατεί από το θερινό ηλιοστάσιο μέχρι τη φθινοπωρινή ισημερία (23 Σεπτεμβρίου). Το φθινόπωρο ξεκινά τη φθινοπωρινή ισημερία και τελειώνει στο χειμερινό ηλιοστάσιο και έτσι ολοκληρώνεται ο ετήσιος κύκλος. Λόγω της μη κυκλικής τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο, η διάρκεια των εποχών βάσει του αστρονομικού ορισμού μπορεί να διαφέρει κατά μερικές ημέρες. Σύμφωνα με το συμβατικό ορισμό, ο οποίος βασίζεται σε υποκειμενικά κλιματολογικά κριτήρια, οι εποχές ορίζονται ως τέσσερις περίοδοι ίσης περίπου διάρκειας 3 μήνες η κάθε μία. Ο χειμώνας αποτελείται από τους μήνες Δεκέμβριο - Ιανουάριο - Φεβρουάριο, η άνοιξη είναι οι μήνες Μάρτιος - Απρίλιος - Μάιος, το θέρος περιλαμβάνει τους μήνες Ιούνιο - Ιούλιο - Αύγουστο και το φθινόπωρο αποτελείται από τους μήνες Σεπτέμβριο - Οκτώβριο - Νοέμβριο (όλα τα ονόματα των εποχών αναφέρονται στον βόρειο ημισφαίριο). Παρόλα αυτά, ορισμένοι πολιτισμοί έχουν ορίσει διαφορετικό αριθμό εποχών. Για παράδειγμα, οι αυτόχθονες της Αυστραλίας (Αβορίγινες), στη βόρεια περιοχή χρησιμοποιούν έξι εποχές. Στις τροπικές ή ακόμα και στις υποτροπικές περιοχές είναι συνηθέστερο να μιλά κανείς για ξηρή και υγρή εποχή, ανάλογα με το πότε εμφανίζονται οι μουσώνες. Στην αρχαία Αίγυπτο το έτος

διαίρειτο σε τρεις ουσιαστικά εποχές, οι οποίες καθορίζονταν από τη συμπεριφορά του Νείλου. Υπήρχε η εποχή της πλημμυρίδας, η εποχή της έκτακτης ανάγκης που δημιουργούσε η πλημμυρίδα και η εποχή της συγκομιδής. Υπάρχουν επίσης άλλοι τύποι εποχών που βασίζονται σε ισχυρά μετεωρολογικά φαινόμενα. Για παράδειγμα η περιοχή Tornado Alley των Η.Π.Α. έχει την εποχή των ανεμοστρόβιλων/σιφώνων που ξεκινά από το τέλος του συμβατικού χειμώνα ως τα μέσα του συμβατικού θέρους, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος. Περιοχές με μεσογειακό κλίμα, όπως η δυτική Αυστραλία, οι ακτές της Καλιφόρνιας και της Ισπανίας χαρακτηρίζονται από την εποχή των πυρκαγιών. Ακόμα, στον νοτιοανατολικό Ειρηνικό η εποχή των τυφώνων ξεκινά αργά την άνοιξη στις 15 Μαΐου ενώ στον βόρειο Ατλαντικό στην 1 Ιουνίου. Επομένως, η προσπάθεια ορισμού των εποχών η οποία βασίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια απασχολεί τους ανθρώπους από αρχαιοτάτων χρόνων και αποτελεί ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα του τομέα των ατμοσφαιρικών επιστημών.



Σχήμα 2. Οι 4 εποχές του έτους (από αριστερά προς τα δεξιά): η άνοιξη, το θέρος, το φθινόπωρο και ο χειμώνας. (πηγή: <https://www.bitgab.com/exercise/what-causes-the-seasons>)

Ο Trenberth (1983) ήταν από τους πρώτους ερευνητές που επιχείρησε να ορίσει τις εποχές με αντικειμενικό τρόπο, απαντώντας στην ερώτηση «Τι είναι οι εποχές?». Χρησιμοποίησε δεδομένα παρατήρησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης και όρισε τις εποχές στις ΗΠΑ, παρέχοντας έτσι έναν πιο ακριβή ορισμό των εποχών, από κλιματολογική άποψη. Ο νέος αυτός ορισμός των εποχών που πρότεινε ο Trenberth, αναφέρεται ως «θερμοκρασιακός ορισμός». Σύμφωνα με τον θερμοκρασιακό ορισμό, οι εποχές ορίζονται με βάση τον παρατηρούμενο ετήσιο κύκλο της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης και τη χρονική υστέρησή του σε σχέση με τον αντίστοιχο ηλιακό κύκλο. Σύμφωνα με την έρευνά του, οι εποχές στις ΗΠΑ ακολουθούν τον αστρονομικό

ορισμό με πρόωμη έναρξη κατά 17-20 ημέρες. Επομένως, ο χειμώνας και το θέρος στις ΗΠΑ ξεκινούν κατά μέσο όρο στις 3 Δεκεμβρίου και 4 Ιουνίου, αντίστοιχα, σε καλή συμφωνία με τον συμβατικό ορισμό. Ο Trenberth επεσήμανε επίσης ότι ο θερμοκρασιακός κύκλος της επιφάνειας του εδάφους καθυστερεί σε σχέση με τον ηλιακό κύκλο κατά 27,5 ημέρες στις Ηνωμένες Πολιτείες, 32,5 ημέρες στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη του Βόρειου Ημισφαιρίου και 44 ημέρες στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη του Νότιου Ημισφαιρίου. Αυτή η χρονική υστέρηση συνδέεται στενά με την απόσταση μεταξύ της αναφερόμενης περιοχής και της θάλασσας. Για παράδειγμα, όσο πιο κοντά είναι μια περιοχή στη θάλασσα, τόσο μεγαλύτερη είναι η υστέρηση μεταξύ του ηλιακού κύκλου (δηλαδή της αστρονομικής περιόδου) και της ενδοετήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του αέρα λόγω της υψηλής θερμικής αδράνειας του νερού και της επίδρασής της στη θερμοκρασία του αέρα. Αργότερα, οι Ovadiah and Goldreich (1997) εφάρμοσαν τη μέθοδο του «θερμοκρασιακού ορισμού» για να ορίσουν τις εποχές στο Ισραήλ. Χρησιμοποιώντας δεδομένα θερμοκρασίας από 22 μετεωρολογικούς σταθμούς στο Ισραήλ, διαπίστωσαν ότι, σύμφωνα με τη θερμοκρασιακή μέθοδο, ο χειμώνας στο Ισραήλ ξεκινά στις 12 Δεκεμβρίου (κατά μέσο όρο) και τελειώνει στις 14 Μαρτίου, ενώ το θέρος αρχίζει στις 13 Ιουνίου και τελειώνει στις 12 Σεπτεμβρίου.

Ωστόσο, η χρήση της θερμοκρασίας ως μοναδικού δείκτη για τον ορισμό των εποχών έχει μειονεκτήματα που σχετίζονται με την υψηλή της χωρική μεταβλητότητα λόγω του τύπου του εδάφους, του ανάγλυφου, της κατανομής ξηράς-θάλασσας κ.λπ. Αυτό είναι μια σοβαρή αδυναμία κατά τον ορισμό των εποχών, ειδικά σε πολύπλοκες περιοχές όπως είναι η λεκάνη της Μεσογείου, όπου συνυπάρχουν διαφορετικοί κλιματικοί τύποι: ωκεάνιο κλίμα, κλίμα ερήμου, ημι-άνυδρο κλίμα, ορεινό κλίμα κ.λπ. Οι Alpert et al. (2004a, b) ακολούθησαν τα βήματα του Trenberth, αλλά αντί για τον θερμοκρασιακό ορισμό, πρότειναν τη χρήση των συνοπτικών συστημάτων. Αρχικά, οι Alpert et al. (2004a) εντόπισαν και μελέτησαν τα κυρίαρχα συνοπτικά συστήματα που επηρεάζουν την ανατολική Μεσόγειο, συγκεκριμένα το χαμηλό της Κύπρου, τη σκάφη χαμηλών πιέσεων της Περσίας, τη σκάφη χαμηλών πιέσεων της Ερυθράς Θάλασσας, τον Σιβηρικό αντικυκλώνα και τον υποτροπικό αντικυκλώνα, χρησιμοποιώντας τέσσερα πεδία, το γεωδυναμικό ύψος, τη θερμοκρασία του αέρα και τη ζωνική και μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου, όλα στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000hPa. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαν ελήφθησαν από το Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης (National Center for Environmental Prediction - NCEP) - Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικής Έρευνας (National Center for Atmospheric Research - NCAR) για την περίοδο 1948-2000. Στη συνέχεια, οι Alpert et al. (2004b) προχώρησαν στον αντικειμενικό ορισμό των εποχών στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, αξιοποιώντας τη συχνότητα εμφάνισης των συνοπτικών συστημάτων. Τα αποτελέσματα ήταν: ο χειμώνας ξεκινά στις 7 Δεκεμβρίου και τελειώνει στις 30 Μαρτίου με

διάρκεια 3 μήνες και 23 ημέρες, η άνοιξη αντιστοιχεί στην περίοδο 31 Μαρτίου - 30 Μαΐου και διαρκεί 2 μήνες, το θέρος είναι από τις 31 Μαΐου έως τις 22 Σεπτεμβρίου και διαρκεί το ίδιο με το χειμώνα, και το φθινόπωρο ξεκινά στις 23 Σεπτεμβρίου και διαρκεί έως τις 6 Δεκεμβρίου αποτελούμενο από 2 μήνες και 14 ημέρες. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο ορισμός των εποχών είναι ένα κλιματικό θέμα των μεσαίων γεωγραφικών πλατών, καθώς μια προσπάθεια σε περιοχές μεταξύ των τροπικών ζωνών δεν θα έχει σημαντικά αποτελέσματα.

Οι Cheng και Kalkstein (1997) προσπάθησαν να ορίσουν αντικειμενικά τις εποχές στην ανατολική ακτή των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, με βάση τη συχνότητα εμφάνισης των εποχιακών αέριων μαζών και αποκάλυψαν σημαντικές χωρικές διαφορές των χαρακτηριστικών των εποχών. Γενικά, τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι στις βόρειες περιοχές (όπως το Πόρτλαντ) ο χειμώνας διαρκεί περισσότερο από 4 μήνες και το θέρος περίπου 3 μήνες, ενώ στις νότιες περιοχές (όπως το Μαϊάμι) η διάρκεια του χειμώνα είναι περίπου 1,5 μήνες και το θέρος υπερβαίνει τους 5 μήνες. Στις περιοχές στα μέσα του Ατλαντικού (όπως η Φιλαδέλφεια), διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν δύο μεγαλύτερες εποχές (θέρος και χειμώνας) που διαρκούν 4 μήνες η κάθε μία και 2 μικρότερες εποχές (άνοιξη και φθινόπωρο) που είναι περίπου 2 μήνες η κάθε μία. Οι Sparks and Menzel (2002), εφαρμόζοντας φαινολογικά κριτήρια (phenology) στον τομέα της έρευνας για την κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη (ειδικά στην Αγγλία), χρησιμοποιώντας π.χ. τα εποχιακά χαρακτηριστικά των φυτών (φύλλωμα και ανθοφορία) και των ζώων (άφιξη πουλιών και εντόμων), διαπίστωσαν ότι τα εν λόγω γεγονότα την άνοιξη συμβαίνουν νωρίτερα ενώ υπάρχει καθυστέρηση της έλευσης του φθινοπώρου τις τελευταίες δεκαετίες. Οι Xaviet et al. (2007) προσπάθησαν να δώσουν έναν νέο αντικειμενικό ορισμό στα εποχιακά χαρακτηριστικά (ημερομηνία έναρξης, ημερομηνία λήξης, διάρκεια) του θερινού Ινδικού μουσώνα, διαφορετικό από τον ορισμό μιας σταθερής περιόδου μουσώνων (από 1 Ιουνίου έως 30 Σεπτεμβρίου), μελετώντας τις από έτος σε έτος διακυμάνσεις του θερινού Ινδικού μουσώνα και της επίδρασης που δέχεται από απομακρυσμένα κλιματολογικά φαινόμενα που συνδέονται με την τροποποίηση της θερμοκρασίας της τροπόσφαιρας στην Ευρασία. Οι Reiser and Kutiel (2008) χρησιμοποίησαν μια μεθοδολογική προσέγγιση για να ορίσουν την περίοδο των βροχοπτώσεων στη Μεσόγειο και τα χαρακτηριστικά της (ημερομηνίες έναρξης/λήξης και διάρκεια) και διαπίστωσαν ότι η περιοχή μπορεί να χωριστεί σε δύο τμήματα με ελάχιστο το θέρος και μέγιστο το χειμώνα για το νότιο τμήμα, και μια λιγότερο έντονη ετήσια πορεία με ελάχιστο τον Μάρτιο και μέγιστο τον Ιούνιο στο βόρειο τμήμα. Οι Dong et al. (2010) ερεύνησαν τις αλλαγές στις ημερομηνίες έναρξης/λήξης των εποχών και στη διάρκειά τους στην ηπειρωτική Κίνα λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Βρήκαν ότι, τα τελευταία χρόνια, τα θέρη ξεκινούν νωρίτερα και διαρκούν περισσότερο, οι χειμώνες ξεκινούν αργότερα και είναι πιο σύντομοι ενώ η άνοιξη και το φθινόπωρο

παρουσιάζουν σχετικά μικρότερες αλλαγές. Οι Zander et al. (2013) προσπάθησαν να ορίσουν συνοπτικά την εαρινή περίοδο στις βορειοανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες με βάση τον τύπο (υγρό / ξηρό, πολικό / μέσο / τροπικό) και τη συχνότητα των αερίων μαζών και μελέτησαν επίσης τα χρονικά χαρακτηριστικά της άνοιξης (έναρξη, τέλος, διάρκεια) στην περιοχή. Βρήκαν ότι η άνοιξη είναι γενικά ξηρή καθ' όλη τη χρονική διάρκεια μελέτης, αλλά τα πιο πρόσφατα έτη είναι επίσης πιο θερμή και έρχεται νωρίτερα. Οι Allen και Sheridan (2015) εφάρμοσαν μια αντικειμενική μεθοδολογία για να ορίσουν χρονικά (διάρκεια και όρια) και χωρικά τις εποχές με βάση τα κατώφλια της θερμοκρασίας, αξιοποιώντας 60 σταθμούς των ΗΠΑ, και τα μοτίβα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας της ανώτερης ατμόσφαιρας (δεδομένα από NCEP/NCAR) στις Ηνωμένες Πολιτείες για την περίοδο 1948-2012. Βρήκαν ότι το φθινόπωρο και ο χειμώνας ξεκινούν αργότερα ενώ η άνοιξη και το θέρος έρχονται νωρίτερα. Φαίνεται ότι υπάρχει μια συμφωνία στον γρηγορότερο ερχομό της άνοιξης στις έρευνες των Sparks and Menzel (2002) για την Ευρώπη και των Zander et al. (2013) και Allen and Sheridan (2015) για τις Ηνωμένες Πολιτείες. Οι Cassou and Cattiaux (2016) μελέτησαν τις επιπτώσεις που θα είχε ένας θερμότερος κόσμος στις εποχές της Ευρώπης και διαπίστωσαν ότι ο χειμώνας θα καθυστερήσει ελαφρώς να έρθει και το θέρος θα ξεκινήσει περίπου 25 ημέρες νωρίτερα, κάτι που εξηγείται από τη μειωμένη θερμοκρασιακή βαθμίδα ανατολής-δύσης που συνδέεται με την μείωση της χιονοκάλυψης. Ο Lolis (2017) μελέτησε τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Διαθέσιμης Δυναμικής Ενέργειας Ανωμεταφοράς (Convective Available Potential Energy, CAPE) στην περιοχή της Μεσογείου κατά την περίοδο 1979-2015 και βρήκε 4 κύρια μοτίβα χωρικής κατανομής του CAPE, τα οποία αντιστοιχούν σχεδόν στις 4 συμβατικές εποχές. Οι Hochman et al. (2018) χρησιμοποίησαν προηγουμένως ορισμένα συνοπτικά συστήματα και μελλοντικές προβολές των σεναρίων RCP8.5 και RCP4.5 για να προβλέψουν αλλαγές στη διάρκεια των εποχών στην ανατολική Μεσόγειο κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, κατά το σενάριο RCP8.5, η θερμή και ξηρή θερινή περίοδος αναμένεται να διαρκέσει περισσότερο, ενώ το δροσερό και υγρό τμήμα του έτους αναμένεται να μειωθεί. Οι Lolis and Kotsias (2020) προσπάθησαν να προσδιορίσουν τις εποχές στα νότια Βαλκάνια χρησιμοποιώντας τους τύπους καιρού. Αρχικά, προσδιόρισαν τους κυρίαρχους τύπους καιρού που επηρεάζουν την περιοχή εφαρμόζοντας μια στατιστική ανάλυση, η οποία αποτελείται από την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA) και την Ανάλυση κατά Συστάδες (CA), στις ημερήσιες χρονοσειρές 8 κλιματολογικών παραμέτρων που ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων ERA5 για την χρονική περίοδο 1979-2018. Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας τις ίδιες τεχνικές στις ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των τύπων καιρού βρήκαν 4 εποχές. Αυτές οι εποχές διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζουν γενικά καλή αντιστοιχία με τις συμβατικές εποχές αλλά διαφέρουν ως προς τις ημερομηνίες έναρξης/λήξης και τη διάρκειά τους.

Συνεπώς, ο αντικειμενικός ορισμός των εποχών είναι ένα θέμα που απασχολεί την επιστημονική κοινότητα των ατμοσφαιρικών επιστημών εδώ και πολλά χρόνια. Όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, πολλοί επιστήμονες έχουν ασχοληθεί με αυτό το αντικείμενο χρησιμοποιώντας διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους, αλγορίθμους και μεθοδολογίες. Αυτός είναι και ο κύριος σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής, η οποία με την αξιοποίηση των εκσυγχρονισμένων βάσεων δεδομένων που παρέχουν δεδομένα υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης, των σύγχρονων στατιστικών πακέτων και το συνδυασμό κατάλληλων μεθοδολογιών, αποσκοπεί στη διατύπωση ενός νέου τρόπου ορισμού των εποχών ο οποίος είναι επιστημονικά αποδεκτός καθώς βασίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια που σχετίζονται με το κλίμα της Μεσογείου. Η εφαρμογή νέων μεθόδων για τον αντικειμενικό ορισμό των εποχών σε αυτή τη διατριβή, συμπεριλαμβανομένης της μελέτης των ομοιοτήτων και των διαφορών που προκύπτουν στα αποτελέσματα, αποτελεί μια από τις βασικές καινοτομίες της παρούσας διατριβής.

1.3 Τύποι καιρού

Η κατανόηση της χωρικής μεταβλητότητας του κλίματος μπορεί να επιδιωχθεί με τη μελέτη των χωρικών μοτίβων κυκλοφορίας που παρέχουν πληροφορίες για τις επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες στην υπό μελέτη περιοχή. Η ταξινόμηση των μοτίβων κυκλοφορίας μέσω της χρήσης των τύπων καιρού είναι μια καθιερωμένη μέθοδος, η οποία έχει ακολουθηθεί από πολλούς ερευνητές στο παρελθόν (π.χ. Maheras 1984, Kalkstein et al. 1987, Littmann 2000, Brown 2004, 2005, Putniković and Tošić 2018, Piotrowicz and Ciaranek 2020). Ένας τύπος καιρού (Weather Type, WT) μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο μετεωρολογικών καταστάσεων που επικρατούν σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Ο ορισμός των WTs μπορεί να επιδιωχθεί μέσω μιας ποικιλίας μεθόδων οι οποίες βασίζονται είτε σε υποκειμενικά είτε σε αντικειμενικά κριτήρια. Οι υποκειμενικοί ορισμοί βασίζονται κυρίως σε υποκειμενικά κριτήρια, τα οποία έχουν να κάνουν με τη μετεωρολογική εμπειρία του ερευνητή για τον εντοπισμό των ομοιοτήτων των εμπλεκόμενων παραμέτρων. Η υποκειμενική προσέγγιση ακολουθείται κυρίως στον προσδιορισμό των συνοπτικών ή κυκλοφοριακών τύπων καιρού (Sheridan 2002, 2003, Boé and Terray 2008). Η αντικειμενικά ορισμένη προσέγγιση βασίζεται κυρίως στην εφαρμογή πολυμεταβλητών στατιστικών τεχνικών σε μετεωρολογικά δεδομένα (Anagnostopoulou et al. 2009, Michailidou et al. 2009, Hidalgo and Jouglu 2018, Lolis and Kotsias 2020). Τα τελευταία χρόνια προτιμάται η αντικειμενική προσέγγιση για τον ορισμό των WTs και την ταξινόμηση των μοτίβων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι στην πλειονότητα των διαδικασιών και των μεθόδων ταξινόμησης υπάρχουν βήματα που απαιτούν την παρέμβαση του ερευνητή (όπως η επιλογή της περιοχής μελέτης, οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν, ο αριθμός των WTs κ.λπ.) και ως εκ τούτου δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως απόλυτα αντικειμενικές (Lolis

and Türkeş 2016). Η πλειοψηφία των πρόσφατων εργασιών για την αναγνώριση και ταξινόμηση των WTs περιλαμβάνει την εφαρμογή μιας τεχνικής μείωσης της διαστατικότητας η οποία ακολουθείται από μια τεχνική ταξινόμησης (Kalkstein et al. 1996, Dafis et al. 2016). Η τεχνική αυτή είναι γνωστή στη βιβλιογραφία ως “φασματική ταξινόμηση” (spectral clustering). Οι μετεωρολογικές συνθήκες που περιγράφονται από τους WTs παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη μεταβλητότητα των κλιματικών χαρακτηριστικών στην περιοχή μελέτης. Επιπλέον, οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των WTs συνδέονται με την εποχικότητα του κλίματος, ενώ οι διαχρονικές διακυμάνσεις μπορεί να αποκαλύψουν πιθανές μακροπρόθεσμες τάσεις.

1.4 Υφέσεις

Η μελέτη των υφέσεων και των χαρακτηριστικών τους ήταν πάντα ένα από τα πιο σημαντικά και ενδιαφέροντα θέματα της ερευνητικής κοινότητας των ατμοσφαιρικών επιστημών. Όπως προαναφέρθηκε, η λεκάνη της Μεσογείου είναι μια γεωγραφικά και μορφολογικά σύνθετη και πολύπλοκη περιοχή που συνδυάζει πολλαπλούς τύπους κλίματος και είναι ένα γνωστό κέντρο συχνού σχηματισμού υφέσεων (Maheras et al. 2001). Οι υφέσεις διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη μεταβλητότητα συνοπτικής κλίμακας του καιρού και του κλίματος και συνδέονται με ακραία καιρικά φαινόμενα τα οποία προκαλούν τεράστιες υλικές ζημιές καθώς και ανθρώπινες απώλειες. Ωστόσο, στην περιοχή της Μεσογείου τα φαινόμενα που συνοδεύουν τις υφέσεις, συνήθως, δεν είναι τόσο ακραία, αν και τα τελευταία χρόνια η εμφάνιση ακραίων φαινομένων τείνει να αυξηθεί (Kostopoulou and Jones 2005, Anagnostopoulou et al. 2006, Raible 2007, Nissen et al. 2010). Παρόλα αυτά, η μελέτη των υφέσεων και των χαρακτηριστικών τους είναι ένα θέμα ζωτικής σημασίας για τους τομείς της γεωργίας, της κοινωνίας, της οικονομίας, του τουρισμού, της υγείας και άλλων τομέων της Μεσογείου.

Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι και μεθοδολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενες εργασίες για τη μελέτη των υφέσεων, οι οποίοι περιλαμβάνουν τον εντοπισμό των κέντρων τους και την παρακολούθηση και καταγραφή των τροχιών τους. Η παράμετρος που χρησιμοποιείται στη διαδικασία μπορεί επίσης να ποικίλλει. Η παράμετρος που χρησιμοποιείται στις περισσότερες μελέτες που αφορούν την ανίχνευση και την παρακολούθηση των υφέσεων είναι η πίεση στη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας ή Mean Sea-Level Pressure (MSLP) (Murray and Simmonds 1991, Lionello et al. 2002, Pinto et al. 2005, Trigo 2006, Wang et al. 2006, Akperov et al. 2007, Reale and Lionello 2013). Άλλες μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες μελέτες περιλαμβάνουν, το γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 1000h Pa (Blender et al. 1997, Raible et al. 2008) και το στροβιλισμό στην ισοβαρική στάθμη των 850hPa (Sinclair 1997, Inatsu 2009, Flaounas et al. 2014).

Οι Blender et al. (1997) ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο ανίχνευσης και παρακολούθησης των υφέσεων προκειμένου να προσδιορίσουν τα μοτίβα των τροχιών των υφέσεων πάνω από το βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό χρησιμοποιώντας δεδομένα γεωδυναμικού ύψους της ισοβαρικής επιφάνειας των 1000hPa (z1000) τα οποία ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF), με χρονική ανάλυση 6 ωρών και με χωρική ανάλυση $1,1^{\circ} \times 1,1^{\circ}$. Η ανάλυσή τους έγινε για τους χειμώνες των ετών 1990-1994 και αναφέρεται στην περιοχή $80^{\circ}\Delta-30^{\circ}\Delta$, $80^{\circ}\text{B}-30^{\circ}\text{B}$. Σύμφωνα με τον αλγόριθμό τους, μια ύφεση ορίζεται ως το τοπικό ελάχιστο στο πεδίο z1000 σε πλέγμα 3×3 σημείων και οι τροχιές των υφέσεων προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbor) στο προηγούμενο (χρονικά) πεδίο z1000. Επιπλέον, προχώρησαν στην εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες (Cluster Analysis, CA) με στόχο την ταξινόμηση των ανιχνευόμενων υφέσεων. Για να διεξαχθεί η CA, όλες οι μεταβλητές πρέπει να έχουν την ίδια διάσταση και ως εκ τούτου, απαιτείται η εφαρμογή ενός κριτηρίου ώστε αυτό να επιτευχθεί. Στη στατιστική ανάλυση που εφάρμοσαν, συμπεριλήφθηκαν μόνο οι υφέσεις οι οποίες έχουν διάρκεια ζωής τουλάχιστον 3 ημέρες ενώ τα μέρη των τροχιών των υφέσεων μετά τον πέρασμα του ανωφλιού των 3 ημερών δεν συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση, γεγονός που όμως αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα καθώς δεν λαμβάνεται υπόψιν ολόκληρη η κίνησή τους. Οι Trigo et al. (1999) εφάρμοσαν επίσης τον αλγόριθμο του Blender αλλά για την περιοχή της Μεσογείου και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Ένας άλλος αλγόριθμος ανίχνευσης και παρακολούθησης των υφέσεων εισήχθη από τους Pinto et al. (2005), οι οποίοι χρησιμοποίησαν βωρα δεδομένα MSLP από τη βάση δεδομένων NCEP/NCAR και εφάρμοσαν τον αλγόριθμό τους για το βόρειο ημισφαίριο και για τους χειμώνες των ετών 1958/59 και 1997/98. Η διαδικασία που ακολούθησαν για τον εντοπισμό μιας ύφεσης αποτελείται από τρία βήματα: α) ένα ελάχιστο MSLP θεωρείται κέντρο ύφεσης εάν είναι τουλάχιστον 4hPa μικρότερο από τη μέση πίεση των 20 πλησιέστερων πλεγματοειδών σημείων, β) απαιτείται ελάχιστη τιμή βαθμίδας πίεσης στην περιοχή 3×3 πλεγματοειδών σημείων και γ) εφαρμόζονται πρόσθετα κατώφλια για την αφαίρεση ορισμένων συστημάτων (όχι υφέσεις σε μεγάλα υψόμετρα, κατώτατο κατώφλι για την ένταση του συστήματος, κατώτατο κατώφλι για την απόσταση μεταξύ των ισοβαρών καμπυλών). Για την παρακολούθηση των υφέσεων, για κάθε προσδιορισμένη ύφεση, ο αλγόριθμος υπολογίζει μια παράμετρο που σχετίζεται με την ταχύτητα κίνησης της ύφεσης και εκτιμά την επακόλουθη θέση της. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, εξετάζονται οι εντοπισμένες υφέσεις στο επόμενο χρονικό βήμα οι οποίες βρίσκονται κοντά στην εκτιμώμενη θέση και επιλέγεται η πιο πιθανή υποψήφια.

Η Trigo (2006) εφάρμοσε έναν αλγόριθμο ανίχνευσης και παρακολούθησης των υφέσεων για την Ευρωατλαντική περιοχή ($85^{\circ}\text{A}-70^{\circ}\text{A}$, $75^{\circ}\text{B}-20^{\circ}\text{B}$). Χρησιμοποίησε 6ωρα δεδομένα z1000 από τις βάσεις δεδομένων NCEP/NCAR και ERA-40, με χωρική ανάλυση $2,5^{\circ}\times 2,5^{\circ}$ και $1,125^{\circ}\times 1,125^{\circ}$, αντίστοιχα, για την διευρυμένη χειμερινή περίοδο 1958-2000. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο εντοπισμού των υφέσεων, τοπικό ελάχιστο στην ισοβαρική επιφάνεια 1000hPa που προσδιορίζεται σε μια περιοχή σημείων πλέγματος 3×3 , θεωρείται πιθανό κέντρο ύφεσης εάν: α) το ελάχιστο δεν είναι μεγαλύτερο από 165 gpm, και β) η βαθμίδα του γεωδυναμικού, που υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε μια περιοχή περίπου 1000^2 km^2 , είναι τουλάχιστον 4,5 gpm/100km. Αυτά τα όρια προσαρμόστηκαν εμπειρικά για τη Μεσόγειο. Η παρακολούθηση των υφέσεων βασίζεται σε μια μέθοδο αναζήτησης του πλησιέστερου γειτονικού σημείου στο προηγούμενο χρονικό πεδίο, εντός μιας περιοχής που ορίζεται με την επιβολή ορίων στη μέγιστη ταχύτητα της ύφεσης. Εάν δεν βρεθεί κέντρο ύφεσης σε αυτήν την περιοχή, τότε θεωρείται ότι έχει συμβεί κυκλογένεση.

Οι Wenli and Schwierz (2006) μελέτησαν τις υφέσεις σε παγκόσμια κλίμακα χρησιμοποιώντας δεδομένα MSLP 6 ωρών που ελήφθησαν από τη βάση ERA-40 (χωρική ανάλυση $1,125^{\circ}\times 1,125^{\circ}$) για την περίοδο 44 ετών 1958-2001. Ο αλγόριθμος ανίχνευσης των υφέσεων που χρησιμοποίησαν βασίζεται σε ισοβαρείς καμπύλες (contours) MSLP. Αρχικά, ένα σημείο πλέγματος θεωρείται κέντρο ύφεσης εάν η τιμή MSLP του είναι μικρότερη των τιμών MSLP καθενός από τα οκτώ πλησιέστερα γειτονικά του σημεία. Στη συνέχεια, για κάθε τοπικό ελάχιστο MSLP προσδιορίζεται η πιο εξωτερική κλειστή ισοβαρής καμπύλη που περικλείει μόνο το ελάχιστο MSLP που εξετάζεται και η περιοχή που περικλείεται από αυτή την εξωτερική κλειστή ισοβαρής καμπύλη θεωρείται ως η ύφεση. Κατά τη διαδικασία παρακολούθησης της τροχιάς μιας ύφεσης, για ένα κέντρο ύφεσης σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή ορίζεται η πιο πιθανή συνέχεια μεταξύ των εντοπισμένων κέντρων υφέσεων 6 ώρες αργότερα, συγκρίνοντας τις πιθανές υποψήφιες και εκτιμώντας τη γραμμική τους απόσταση από το κέντρο στο προηγούμενο χρονικό βήμα.

Οι Bartholy et al. (2009) χρησιμοποίησαν 6ωρα δεδομένα MSLP από τη βάση ERA-40 (χωρικής ανάλυσης $1^{\circ}\times 1^{\circ}$) για να μελετήσουν τη γένεση και την ένταση των υφέσεων στην περιοχή του Ατλαντικού-Ευρωπαϊκού τομέα και στη δυτική Μεσόγειο. Στο τμήμα του αλγορίθμου που αφορά τον εντοπισμό των υφέσεων, τα πιθανά κέντρα των υφέσεων πρέπει να έχουν MSLP μικρότερη από 1000hPa στην περιοχή του Βορείου Ατλαντικού-Ευρώπης (1013,5 hPa για τη δυτική Μεσόγειο) και πρέπει να είναι κέντρα ελάχιστων πιέσεων σε πλαίσιο πλέγματος 5×5 . Οι τροχιές των υφέσεων σχηματίζονται από ειδικές ακολουθίες αποθηκευμένων πιθανών κέντρων υφέσεων.

Οι Flaounas et al. (2014) εργάστηκαν για την παρακολούθηση χειμερινών εξωτροπικών κυκλώνων χρησιμοποιώντας 6ωρα δεδομένα σχετικού στροβιλισμού στα 850hPa από τη βάση ERA-

Interim ($1,5^{\circ} \times 1,5^{\circ}$) για τους χειμώνες της περιόδου 1989-2009. Ο αλγόριθμος ανίχνευσης κυκλώνων που χρησιμοποιήσαν πραγματοποίησε τη διαδικασία σε τρία βήματα. α) Πρώτα, ο αλγόριθμος προσδιορίζει όλες τις κυκλωνικές κυκλοφορίες και εφαρμόζεται μια χωρική εξομάλυνση του πεδίου στροβιλισμού χρησιμοποιώντας 3, 5 και 7 γειτονικά σημεία πλέγματος. β) Στη συνέχεια, για κάθε κυκλωνική κυκλοφορία ο αλγόριθμος προσδιορίζει όλα τα αντιπροσωπευτικά του κέντρα τα οποία θα αντιμετωπίζονται ως διαφορετικές υφέσεις. γ) Τέλος, για κάθε κέντρο, ο αλγόριθμος ποσοτικοποιεί τα χαρακτηριστικά της ύφεσης. Στο τμήμα του αλγορίθμου όπου γίνεται η παρακολούθηση των τροχιών των υφέσεων, όλες οι αναγνωρισμένες υφέσεις ταξινομούνται με βάση τον σχετικό στροβιλισμό τους, από την ισχυρότερη στην πιο ασθενή, και στη συνέχεια, ο αλγόριθμος ξεκινά από την πρώτη ύφεση και αναζητά προς τα εμπρός και προς τα πίσω στο χρόνο για όλες τις πιθανές θέσεις της. Μόλις κατασκευαστούν όλες οι πιθανές αλληλουχίες θέσεων, ο αλγόριθμος επιλέγει την τροχιά η οποία παρουσιάζει την πιο «φυσική εξέλιξη» του σχετικού στροβιλισμού.

Ένας άλλος αλγόριθμος εντοπισμού των υφέσεων και παρακολούθησης των τροχιών τους, ο οποίος εφαρμόστηκε και στην παρούσα διατριβή, είναι ο αλγόριθμος που εισήχθη από τους Lionello et al. (2002). Στην εργασία των Neu et al. (2013), στην οποία συγκρίνονται πολλοί διαφορετικοί αλγόριθμοι εντοπισμού και παρακολούθησης των υφέσεων, φαίνεται ότι ο αλγόριθμος των Lionello et al. οδηγεί σε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα, ιδίως για την περιοχή της Μεσογείου. Επίσης, ο αλγόριθμος αυτός έχει εφαρμοστεί για την περιοχή της Μεσογείου σε προηγούμενες εργασίες (π.χ. Lionello et al. 2002, Reale and Lionello 2013) αποδεικνύοντας έτσι την καταλληλότητα του για την προαναφερθείσα περιοχή καθώς και την επικύρωση των αποτελεσμάτων του. Ο αλγόριθμος αυτός αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο όπου παρουσιάζεται η μεθοδολογία και οι τεχνικές που εφαρμόζονται στη διατριβή αυτή.

1.5 Στόχος και Δομή Διδακτορικής Διατριβής

Ο βασικός στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής, όπως φαίνεται και από τον τίτλο της, είναι ο αντικειμενικός ορισμός των εποχών με διάφορες μεθόδους και η μελέτη της μεταβλητότητας και των χαρακτηριστικών τους για την περιοχή της Μεσογείου. Κατά την εφαρμογή των διάφορων μεθόδων που ακολουθούνται για τον ορισμό των εποχών, μελετώνται και άλλα χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος, όπως οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις ποικίλων μετεωρολογικών παραμέτρων, οι κυρίαρχοι τύποι καιρού και τα χαρακτηριστικά τους, και οι μεσογειακές υφέσεις με τις τροχιές τους και τα χαρακτηριστικά τους. Συγκεκριμένα, η παρούσα έρευνα αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σε κάθε βήμα της διδακτορικής διατριβής. Γίνεται αναλυτική περιγραφή των στατιστικών μεθόδων που εφαρμόστηκαν, συγκεκριμένα της

Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA) και της Ανάλυσης κατά Συστάδες (Cluster Analysis, CA), ενώ επίσης περιγράφεται και ο τρόπος εφαρμογής τους σε κάθε μεθοδολογική προσέγγιση ορισμού των εποχών. Επιπρόσθετη μεθοδολογία που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες ενέργειες αναλύεται σε κάθε αντίστοιχο κεφάλαιο.

2. Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η μελέτη της μέσης ενδοετήσιας πορείας διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων, οι οποίες στη συνέχεια αξιοποιούνται για τον αντικειμενικό ορισμό των εποχών. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται Meteorological Variables mean intra-annual Variation method (MVV). Κατασκευάζονται οι μέσοι χάρτες των παραμέτρων κάθε εποχής και αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους. Η ίδια διαδικασία που εφαρμόζεται για ολόκληρη την 70ετή περίοδο, επαναλαμβάνεται για 5 επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους, 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1978-2008 και 1989-2018, ώστε να οριστούν οι εποχές σε κάθε περίπτωση και να διερευνηθεί η ύπαρξη διαχρονικών μεταβολών στα χαρακτηριστικά τους (όρια και διάρκεια εποχών).
3. Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται η μελέτη των τύπων καιρού (Weather Types, WTs) που κυριαρχούν στην περιοχή της Μεσογείου. Εφαρμόζοντας τις στατιστικές μεθόδους PCA και CA στις ημερήσιες τιμές διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων, γίνεται η ταξινόμηση των ημερομηνιών οι οποίες εμφανίζουν παρόμοια συνοπτικά χαρακτηριστικά σε ομάδες. Αυτές οι ομάδες αντιστοιχούν στους WTs. Κατασκευάζονται οι μέσοι χάρτες των παραμέτρων για κάθε WT και αναλύονται οι επικρατούσες συνοπτικές συνθήκες που τους χαρακτηρίζουν. Ακόμα μελετώνται οι μηνιαίες και οι διαχρονικές διακυμάνσεις των συχνοτήτων των WTs. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των WTs και η εφαρμογή των μεθόδων PCA και CA σε αυτές έχει ως αποτέλεσμα την ταξινόμηση των ημερομηνιών του έτους σε ομάδες, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως οι αντικειμενικά ορισμένες εποχές. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται Weather Types' Frequency method (WTF). Τέλος, η μέθοδος WTF εφαρμόζεται ξανά στις 5 επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω, με σκοπό την διερεύνηση πιθανών διαχρονικών μεταβολών των χαρακτηριστικών των εποχών (όρια και διάρκεια).
4. Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 5 γίνεται η μελέτη των υφέσεων που επηρεάζουν την περιοχή της Μεσογείου. Εφαρμόζεται ο αλγόριθμος των Lionello et al. (2002), ο οποίος αναλύεται στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας (Ενότητα 2.3.4), για τον εντοπισμό των υφέσεων και την παρακολούθηση των τροχιών τους. Μετά το τρέξιμο του αλγορίθμου πραγματοποιείται η επεξεργασία των αρχείων εξόδου ώστε να προσαρμοστούν στις ανάγκες της έρευνας. Πιο συγκεκριμένα, απορρίπτονται οι υφέσεις οι οποίες καθ' όλη τη

διάρκεια της ζωής τους δεν εισέρχονται στη Μεσόγειο και μελετώνται οι κύριες περιοχές κυκλογένεσης και αυτές της υψηλής πυκνότητας, καθώς και η μηνιαία και διαχρονική διακύμανση των εντοπισμένων υφέσεων. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Δοκιμάζονται διάφορες τεχνικές για την επεξεργασία των δεδομένων με στόχο την προετοιμασία της διαδικασίας ταξινόμησης των τροχιών, κάνοντας χρήση διάφορων μεθόδων και αξιοποιώντας διάφορες παραμέτρους. Αφού έγινε μια σύγκριση των αποτελεσμάτων της στατιστικής ανάλυσης, αποφασίστηκε να ακολουθηθεί η μέθοδος της παρεμβολής (interpolation), συγκεκριμένα της γραμμικής παρεμβολής (linear interpolation), και να συμπεριληφθούν μόνο οι παράμετροι των γεωγραφικών συντεταγμένων των κέντρων των τροχιών των υφέσεων. Συνεπώς, η εφαρμογή των PCA και CA στον πίνακα των παρεμβλλόμενων συντεταγμένων των τροχιών των υφέσεων, έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ομάδων με παρόμοια χωρικά χαρακτηριστικά των τροχιών. Κατασκευάζονται οι χάρτες των τροχιών των ομάδων των υφέσεων και αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους καθώς και οι διαχρονικές διακυμάνσεις των συχνοτήτων τους. Έπειτα, ακολουθεί ο υπολογισμός των ενδοετήσιων διακυμάνσεων των συχνοτήτων των ομάδων των τροχιών των υφέσεων και η εφαρμογή των PCA και CA έχει ως αποτέλεσμα την ταξινόμηση των ημερομηνιών του έτους σε ομάδες, οι οποίες αποτελούν τις αντικειμενικά ορισμένες εποχές. Αυτή η μέθοδος αποκαλείται Cyclone Tracks' Frequency method (CTF). Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους (MVV και WTF) έγινε επανάληψη της όλης διαδικασίας για τις 5 επικαλυπτόμενες 30ετίες.

5. Το Κεφάλαιο 6 αποτελεί τη σύνθεση όλων των μεθόδων αντικειμενικού ορισμού των εποχών που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Η μέθοδος σύνθεσης (S) πραγματοποιείται εφαρμόζοντας την CA στον ενοποιημένο πίνακα όλων των Κύριων Συνιστωσών των τριών επιμέρους μεθόδων, της MVV, της WTF και της CTF. Επίσης, όλη η διαδικασία εφαρμόζεται ξανά για τις 5 επικαλυπτόμενες 30ετίες υποπεριόδους με σκοπό την διερεύνηση των διαχρονικών μεταβολών των χαρακτηριστικών των εποχών (ημερομηνίες έναρξης/λήξης και διάρκεια). Συνεπώς, η μέθοδος S αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσπάθεια αντικειμενικού ορισμού των εποχών, η οποία συνδυάζει τις ενδοετήσιες πορείες πλήθους μετεωρολογικών παραμέτρων, τους κυρίαρχους τύπους καιρού και τις υφέσεις που επηρεάζουν την περιοχή της Μεσογείου.
6. Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 γίνεται μια σύνοψη των αποτελεσμάτων και αναφέρονται τα γενικά συμπεράσματα και τα σημαντικότερα ευρήματα της διδακτορικής διατριβής.

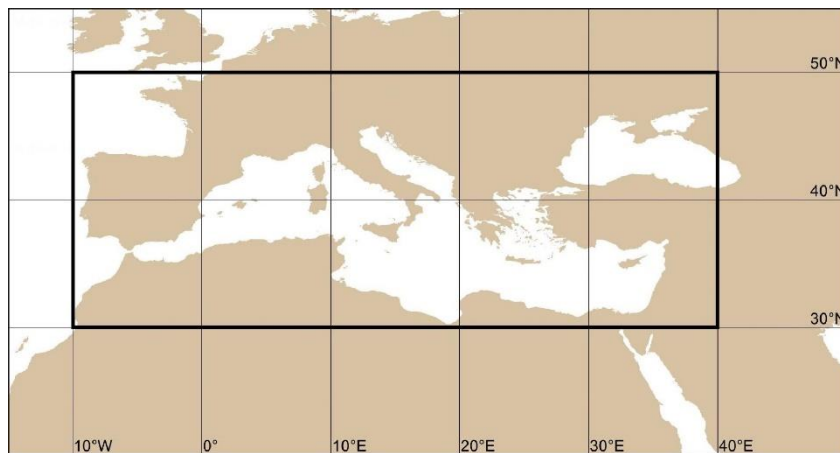
Κεφάλαιο 2

Δεδομένα και Μεθοδολογία

Στο Κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, οι στατιστικές μέθοδοι που εφαρμόστηκαν και αναλύονται όλα τα βήματα που ακολουθήθηκαν σε κάθε μία από τις μεθόδους αντικειμενικού ορισμού των εποχών.

2.1 Περιοχή Μελέτης

Στην παρούσα διατριβή, η περιοχή μελέτης είναι η ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, η οποία φαίνεται στο Σχήμα 3 εντός του μαύρου παραλληλόγραμμου. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή αυτή εκτείνεται μεταξύ 50°B-30°B και 10°Δ-40°Α. Όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται και οι αναλύσεις που εφαρμόζονται αναφέρονται σε αυτή την περιοχή. Εξάιρεση αποτελεί το κομμάτι εντοπισμού και παρακολούθησης των υφέσεων καθώς για να εκτελεστεί σωστά ο αλγόριθμος πρέπει να εφαρμοστεί σε μια μεγαλύτερη περιοχή η οποία εμπεριέχει την περιοχή μελέτης (σε προηγούμενες παρόμοιες έρευνες η ανάλυση εμπεριείχε ολόκληρο το βόρειο ημισφαίριο). Επιλέχθηκε λοιπόν ολόκληρη η περιοχή που φαίνεται στο Σχήμα 3, η οποία εκτείνεται μεταξύ 55°B-20°B και 15°Δ-50°Α και εμπεριέχει την κεντρική και νότια Ευρώπη, τη Βόρεια Αφρική, τη νοτιοδυτική Ασία καθώς και τη Μεσόγειο.



Σχήμα 3. Η ευρύτερη περιοχή που περιλαμβάνει την κεντρική και νότια Ευρώπη, τη βόρεια Αφρική και την νοτιοδυτική Ασία. Το εσωτερικό μαύρο παραλληλόγραμμα εμπεριέχει την περιοχή της Μεσογείου.

2.2 Δεδομένα

2.2.1 NCEP/NCAR Reanalysis

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στα Κεφάλαια 3 και 4 της παρούσας διατριβής, τα οποία ασχολούνται με τις μέσες ενδοετήσιες διακυμάνσεις διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων και τους τύπους καιρού, αποτελούνται από ημερήσιες τιμές (12 UTC) πλεγματικών σημείων δύο

συνόλων μετεωρολογικών παραμέτρων και αναφέρονται στην περιοχή της Μεσογείου (Σχήμα 3, εντός μαύρου παραλληλογράμμου) και στη χρονική περίοδο 1949-2018. Το πρώτο σύνολο παραμέτρων έχει χωρική ανάλυση $1,875^\circ \times 1,905^\circ$ και αποτελείται από: το ρυθμό υετού και το ρυθμό ανωμεταφορικού υετού (σε χιλιοστά ανά ημέρα, mm/day), τη θερμοκρασία του αέρα στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης (σε βαθμούς Κελσίου, °C), την ολική νεφοκάλυψη (σε ποσοστιαίες μονάδες, %) και τη ζωνική και τη μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης (σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο, m/sec). Το δεύτερο σύνολο παραμέτρων περιλαμβάνει το γεωδυναμικό ύψος των ισοβαρικών επιφανειών 500hPa και 1000hPa (σε γεωδυναμικά μέτρα, gpm), τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa και 850hPa (σε βαθμούς Κελσίου, °C), την ειδική υγρασία στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa (σε γραμμάρια ανά χιλιόγραμμα, g/kg) και το υετίσιμο ύδωρ (σε χιλιόγραμμα ανά τετραγωνικά μέτρα, kg/m²) με χωρική ανάλυση $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. Τα δύο σύνολα δεδομένων ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων NCEP/NCAR Reanalysis (<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/.DAILY/>). Το κύριο πλεονέκτημα της βάσης δεδομένων NCEP/NCAR είναι ότι είναι η πιο μακροχρόνια βάση δεδομένων αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis) που χρησιμοποιεί το πλήρες σύνολο διαθέσιμων παρατηρήσεων. Επίσης, η επιλογή των παραπάνω παραμέτρων αποφασίστηκε με βάση το γεγονός ότι αντιπροσωπεύουν επαρκώς το κλίμα της περιοχής το οποίο εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την υγρασία, τη νέφωση, τον υετό και τον επικρατούντα άνεμο. Η χρήση των γεωδυναμικών υψών δικαιολογείται λαμβάνοντας υπόψη ότι τα χαρακτηριστικά της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας επηρεάζουν τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή.

Το Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης (National Center for Environmental Protection - NCEP) και το Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικής Έρευνας (National Center for Atmospheric Research - NCAR) των ΗΠΑ συνεργάστηκαν σε ένα έργο (με την ονομασία «reanalysis») για την παραγωγή αναδρομικής καταγραφής πολλών ετών παγκόσμιων αναλύσεων των ατμοσφαιρικών πεδίων προς υποστήριξη των αναγκών της ερευνητικής κοινότητας και για την παρακολούθηση του κλίματος. Αυτό το έργο περιελάμβανε την ανάκτηση δεδομένων από την επιφάνεια της γης, από μετρήσεις αισθητήρων πάνω σε πλοία και αεροσκάφη, από ραδιοβολίσεις, από μετρήσεις δορυφόρων και άλλων δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα ελέγχθηκαν ποιοτικά και αφομοιώθηκαν με ένα σύστημα αφομοίωσης δεδομένων που διατηρήθηκε αμετάβλητο κατά την περίοδο ανάλυσης. Η βασική ιδέα του έργου reanalysis είναι να χρησιμοποιείται ένα “παγωμένο” (αμετάβλητο) σύστημα ανάλυσης/πρόβλεψης τελευταίας τεχνολογίας και να πραγματοποιείται αφομοίωση δεδομένων χρησιμοποιώντας παλαιότερα δεδομένα, από το 1957 έως σήμερα. Ο αρχικός χρόνος της ανάλυσης είναι σήμερα από το 1949, έτσι ώστε τουλάχιστον 70 χρόνια δεδομένων να είναι διαθέσιμα στην

ερευνητική κοινότητα. Τα αρχεία εξόδου αποτελούνται από πλεγματικά, παγκόσμια πεδία όλων των προγνωστικών μεταβλητών και πολλά διαγνωστικά πεδία που παράγονται τέσσερις φορές την ημέρα καθώς και μακροπρόθεσμες μέσες τιμές. Επιπλέον, περιλαμβάνονται οκτώ ημέρες προβλέψεων κάθε 5 ημέρες και το διεθνούς μορφότυπου δυαδικό αρχείο αναπαράστασης (Binary Universal Format Representation - BUFR) των ατμοσφαιρικών παρατηρήσεων. Το σύστημα αφομοίωσης των δεδομένων ανάλυσης, που περιγράφεται λεπτομερέστερα στους Kalnay et al. (1996) και Kistler et al. (2001), περιλαμβάνει το παγκόσμιο φασματικό μοντέλο NCEP - NCAR που λειτουργεί από το 1995, με 28 κατακόρυφα επίπεδα ("sigma" levels) και τριγωνική περικοπή 62 κυμάτων, ισοδύναμη με οριζόντια ανάλυση περίπου 210 χιλιομέτρων. Οι αφομοιωμένες παρατηρήσεις είναι: α) μετρήσεις ραδιοβολίσεων ανώτερης ατμόσφαιρας των παραμέτρων της θερμοκρασίας, της οριζόντιας συνιστώσας του ανέμου και της ειδικής υγρασίας, β) κατακόρυφα προφίλ θερμοκρασίας από το όργανο TOVS [Television Infrared Observation Satellite (TIROS) Operational Vertical Sounder (TOVS)] του δορυφόρου πολικής τροχιάς της NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) πάνω από τον ωκεανό, με τις λήψεις μικροκυμάτων να αποκλείονται μεταξύ 20° Β και 20° Ν λόγω επίδρασης της βροχόπτωσης, γ) κατακόρυφα προφίλ θερμοκρασίας από το TOVS πάνω από την ξηρά μόνο πάνω από 100hPa, δ) άνεμοι μέσω της παρακολούθησης της κίνησης των νεφών από γεωστατικούς δορυφόρους, ε) παρατηρήσεις ανέμου και θερμοκρασίας από αεροσκάφη, στ) ατμοσφαιρική πίεση από μετρήσεις σταθμών επιφανείας, και ζ) μετρήσεις ατμοσφαιρικής πίεσης επιφανείας, θερμοκρασίας, οριζόντιου ανέμου και ειδικής υγρασίας από σταθμούς πάνω από ωκεανούς. Οι μεταβλητές πλέγματος, οι οποίες είναι και το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο προϊόν της ανάλυσης, έχουν ταξινομηθεί σε τρεις κατηγορίες (Kalnay et al. 1996). Οι μεταβλητές τύπου Α, συμπεριλαμβανομένων των θερμοκρασιών ανώτερης ατμόσφαιρας, των συνιστωσών του περιστροφικού ανέμου και του γεωδυναμικού ύψους, επηρεάζονται γενικά από τις διαθέσιμες παρατηρήσεις και επομένως είναι το πιο αξιόπιστο προϊόν της ανάλυσης. Οι μεταβλητές τύπου Β, συμπεριλαμβανομένων των μεταβλητών υγρασίας, των συνιστωσών του ανέμου απόκλισης και των παραμέτρων επιφανείας, επηρεάζονται τόσο από τις παρατηρήσεις όσο και από το μοντέλο, και επομένως είναι λιγότερο αξιόπιστες. Οι μεταβλητές τύπου Γ, όπως οι επιφανειακές ροές, οι ροές θέρμανσης και ο υετός, ορίζονται πλήρως από το μοντέλο (εξαρτώνται από την αφομοίωση άλλων παρατηρήσεων) και είναι επίσης λιγότερο αξιόπιστες. Αν και το σύστημα αφομοίωσης των δεδομένων ανάλυσης διατηρείται σταθερό, το σύστημα παρατήρησης έχει εξελιχθεί σημαντικά. Η εξέλιξη του παγκόσμιου συστήματος παρατήρησης μπορεί να χωριστεί σε τρεις κύριες φάσεις: α) την «πρώιμη» περίοδο από τη δεκαετία του 1940 έως το "Διεθνές Γεωφυσικό Έτος" 1957, όταν καθιερώθηκαν οι πρώτες παρατηρήσεις ανώτερης ατμόσφαιρας, β) την περίοδο του «σύγχρονου δικτύου ραδιοβολίσεων» από το 1958 έως το 1978 και γ) την περίοδο των «σύγχρονων δορυφόρων»

από το 1979 έως σήμερα. Η 70ετής βάση δεδομένων NCEP/NCAR Reanalysis αποτελεί ένα σύνολο δεδομένων κατάλληλο για πολλές χρήσεις, συμπεριλαμβανομένων καιρικών και βραχυπρόθεσμων κλιματικών ερευνών, καθώς και για τη μελέτη πολλών επιστημονικών προβλημάτων του πλανήτη μας, ιδίως της μεταβλητότητας του κλίματος (Higgins et al. 1996), ενώ έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στο παρελθόν (π.χ. Kalnay et al. 1996, Zhang et al. 1997, Simmonds and Keay 2000, Gulev et al. 2001, Kistler et al. 2001, Fyfe 2003, Cavazos and Hewitson 2005, Wang et al. 2006, Sousa et al. 2018). Τα παραπάνω δεδομένα των τύπων Α, Β και Γ αντιμετωπίζονται εξίσου στην παρούσα διατριβή. Φυσικά, η αξιοπιστία των δεδομένων δεν μπορεί να θεωρηθεί εκ των προτέρων χρονικά ομοιόμορφη για την περίοδο 1949-2018, λόγω της σταδιακής εξέλιξης των συστημάτων παρατήρησης. Αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μελέτης.

2.2.2 ERA5 Reanalysis

Η βάση δεδομένων ERA5 αποτελεί την πιο πρόσφατη και εκσυγχρονισμένη βάση δεδομένων αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis) που δημιουργήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF). Η βάση ERA5 (Copernicus Climate Change Service 2017, Hersbach et al. 2020) αποτελεί τη βελτιωμένη έκδοση των προηγούμενων βάσεων δεδομένων του ECMWF, και συγκεκριμένα των ERA-40 και ERA-Interim και εμπεριέχει δεδομένα υψηλότερης ποιότητας καθώς και υψηλότερης χωρικής και χρονικής ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, παρέχει δεδομένα με χωρική ανάλυση $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ και εκτείνεται πίσω στο χρόνο έως το 1950. Οι βελτιώσεις που έχουν γίνει στη βάση ERA5 γίνονται πιο ξεκάθαρες μέσω της σύγκρισής της με την προηγούμενη βάση ERA-Interim. Η ERA5 και η ERA-Interim έχουν και οι δύο παγκόσμια κάλυψη, με οριζόντια χωρική ανάλυση 80 km για την ERA-Interim και 31 km για την ERA5. Κατά την κατακόρυφο, η ERA5 προσομοιώνει την ατμόσφαιρα χρησιμοποιώντας 137 επίπεδα από την επιφάνεια μέχρι ένα ύψος ίσο με 0,01 hPa, ενώ η ERA-Interim χρησιμοποιεί 60 επίπεδα από την επιφάνεια μέχρι τη στάθμη πίεσης 0,1 hPa. Η ERA5 παρέχει πεδία ωριαίας ανάλυσης και πρόγνωσης, ενώ η ERA-Interim παρέχει πεδία ανάλυσης ανά 6 ώρες και πεδία πρόγνωσης ανά 3 ώρες. Για την αφομοίωση των δεδομένων, και οι δύο εφαρμόζουν τετραδιάστατη ανάλυση μεταβλητών (4D-var). Η ERA-Interim χρησιμοποιεί το ενσωματωμένο σύστημα πρόγνωσης (Integrated Forecast System, IFS) "Cy31r2" 4D-var και η ERA5 εφαρμόζει το νεότερο IFS "Cy41r2" 4D-var. Η ERA5 περιλαμβάνει διάφορα πρόσφατα επανεπεξεργασμένα σύνολα δεδομένων, για παράδειγμα, το OSI-SAFr, την επανεπεξεργασμένη έκδοση του Ocean and Sea Ice Satellite Application Facilities (OSI-SAF) για τη συγκέντρωση θαλάσσιου πάγου (Hersbach and Dee 2016) και πρόσφατα όργανα που δεν μπορούσαν να αξιοποιηθούν στην ERA-Interim. Πολλές νέες παράμετροι, όπως το διάνυσμα ανέμου στα 100 m, είναι διαθέσιμες ως μέρος των αρχείων εξόδου

της ERA5. Για σύγκριση και αξιολόγηση βάσει των παρατηρήσεων από σταθμούς πάνω από ωκεανό, η ERA5 παρεμβάλλεται διγραμμικά στις θέσεις των ωκεάνιων σταθμών και η ERA-Interim παρεμβάλλεται πρώτα γραμμικά σε ωριαία δεδομένα και στη συνέχεια παρεμβάλλεται διγραμμικά στις θέσεις των σταθμών. Για σύγκριση μεταξύ των ERA-Interim και ERA5 πάνω από τον θαλάσσιο πάγο της Αρκτικής, τα δεδομένα της ERA-Interim παρεμβάλλονται πρώτα διγραμμικά στο πλέγμα της ERA5 και στη συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος της θερμοκρασίας του αέρα στα 2 μέτρα ανά εποχή και η συνολική βροχόπτωση και η χιονόπτωση ενσωματώνονται κατά τη διάρκεια της εποχής. Περισσότερες λεπτομέρειες για τη βάση reanalysis ERA5, συμπεριλαμβανομένου του τρόπου αφομοίωσης των δεδομένων και όλων των βελτιώσεων σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση ERA-Interim, υπάρχουν στο άρθρο των Hersbach et al. (2020).

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία παραμέτρων τις οποίες παρέχει η βάση δεδομένων ERA5, συμπεριλαμβανομένων παραμέτρων της επιφάνειας του εδάφους, της ανώτερης ατμόσφαιρας καθώς και των ωκεανών. Για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής και για το τρέξιμο του αλγορίθμου εντοπισμού των υφέσεων και παρακολούθησης των τροχιών τους, το οποίο αναλύεται στο Κεφάλαιο 5, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα πίεσης στη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας (Mean Sea-Level Pressure, MSLP) με χωρική ανάλυση $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ και χρονική ανάλυση 6 ωρών από τις 1/1/1950 έως τις 31/12/2018. Τα δεδομένα MSLP αναφέρονται στην περιοχή που φαίνεται στο Σχήμα 3 η οποία εμπεριέχει την κεντρική και νότια Ευρώπη, τη βόρεια Αφρική και τη νοτιοδυτική Ασία. Πρέπει να σημειωθεί ότι, όταν ξεκίνησε η παρούσα διδακτορική διατριβή, τα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα από την ERA5 ξεκινούσαν από το 1970 και επομένως γι' αυτό στα Κεφάλαια 3 και 4 επιλέχθηκαν αντί αυτών τα δεδομένα που πρόσφερε η NCEP/NCAR τα οποία ήταν διαθέσιμα από το 1949.

2.3 Μεθοδολογία

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή χρησιμοποιούνται δύο πολυμεταβλητές στατιστικές μέθοδοι: η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA) και η Ανάλυση κατά Συστάδες (Cluster Analysis, CA). Τα βασικά στοιχεία αυτών των μεθόδων παρουσιάζονται στις ακόλουθες παραγράφους.

2.3.1 Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA)

Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA) χρησιμοποιείται συνήθως ως εργαλείο μείωσης της διαστατικότητας σε κλιματολογικές μελέτες όπου περιλαμβάνουν την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων. Πρόκειται για μια πολυμεταβλητή στατιστική μέθοδο που εκφράζει ένα σύνολο p εν γένει συσχετιζόμενων μεταβλητών (x_1, x_2, \dots, x_p) μέσω ενός συνόλου m ($m \ll p$) ασυσχέτιστων μεταβλητών (PC_1, PC_2, \dots, PC_m), οι οποίες ονομάζονται Κύριες Συνιστώσες (Principal Components, PCs). Στην παρούσα διατριβή εφαρμόζεται μια παραλλαγή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών και

συγκεκριμένα το μοντέλο της Παραγοντικής Ανάλυσης (Factor Analysis) το οποίο βασίζεται στις Κύριες Συνιστώσες και παρουσιάζει οριακές διαφορές τόσο στο μαθηματικό υπόβαθρο όσο και στον τρόπο εφαρμογής (πρακτικά οι δύο μέθοδοι είναι ισοδύναμες και σχεδόν ταυτόσημες). Οι παράγοντες F_j είναι πολύ λιγότεροι σε πλήθος από τις αρχικές μεταβλητές, αλλά ερμηνεύουν πολύ μεγάλο ποσοστό της αρχικής πληροφορίας, που είναι και ο σκοπός εφαρμογής της μεθόδου, δηλαδή η μείωση της διαστατικότητας διατηρώντας όσο το δυνατόν περισσότερη πληροφορία. Οι αρχικές μεταβλητές μπορούν να εκφραστούν ως γραμμικός συνδυασμός των παραγόντων, σύμφωνα με την εξίσωση (1.1)

$$X_i = g_{i1}F_1 + g_{i2}F_2 + \dots + g_{im}F_m + e_i \quad (1.1)$$

όπου οι συντελεστές $g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{im}$ καλούνται φορτία των παραγόντων (factor loadings) και εκφράζουν τη συσχέτιση της X_i μεταβλητής με κάθε έναν από τους παράγοντες. Το άθροισμα $\sum_{j=1,m} g_{ij}^2$ ονομάζεται εταιρικότητα (communality) και εκφράζει το τμήμα της διακύμανσης της X_i μεταβλητής που ερμηνεύεται από τους m παράγοντες, ενώ η διακύμανση του e_i εκφράζει το τμήμα της διακύμανσης της X_i μεταβλητής που δεν μπορεί να ερμηνευτεί από τους m παράγοντες και ονομάζεται ιδιαιτερότητα (specificity) (Manly 1986). Αναλυτικά, η εφαρμογή της μεθόδου αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Εφαρμογή Ανάλυσης σε Κύριες Συνιστώσες

- α. Κανονικοποίηση των αρχικών p μεταβλητών, ώστε να έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα.
- β. Υπολογισμός του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών.
- γ. Υπολογισμός των ιδιοτιμών $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ του πίνακα συσχετίσεων και των αντίστοιχων ιδιοδιανυσμάτων b_1, b_2, \dots, b_p . Η ιδιοτιμή λ_j αποτελεί τη διακύμανση της j -οστής κύριας συνιστώσας και τα στοιχεία του ιδιοδιανύσματος b_j αποτελούν τους συντελεστές, όπως φαίνεται στην εξίσωση (1.2).

$$PC_j = b_{j1}X_1 + b_{j2}X_2 + \dots + b_{jp}X_p \quad (1.2)$$

2. Υπολογισμός των X_i ως γραμμικό συνδυασμό των κυρίων συνιστωσών (εξίσωση 1.3)

$$X_i = b_{1i}PC_1 + b_{2i}PC_2 + \dots + b_{pi}PC_p \quad (1.3)$$

3. Διατήρηση m κυρίων συνιστωσών

$$X_i = b_{1i}PC_1 + b_{2i}PC_2 + \dots + b_{mi}PC_m + e_i \quad (1.4)$$

όπου το e_i αποτελεί γραμμικό συνδυασμό των υπολοίπων κυρίων συνιστωσών $PC_{m+1}, PC_{m+2}, \dots, PC_p$.

4. Μετατροπή των κυρίων συνιστωσών PC_j σε παράγοντες, διαιρώντας τες με την τυπική απόκλισή τους, η οποία είναι $\sqrt{\lambda_j}$, ώστε να έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα. Τότε η εξίσωση 1.4 μετασχηματίζεται σε

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + e_i \quad (1.5)$$

όπου $a_{ij} = \sqrt{\lambda_j}b_{ij}$ και $F_j = PC_j/\sqrt{\lambda_j}$ οι οποίες μεταβλητές καλούνται προσωρινοί παράγοντες (provisional factors).

5. Ορθογώνια “varimax” περιστροφή των προσωρινών παραγόντων F_j με σκοπό την εύρεση νέων παραγόντων F_j^* , των οποίων τα φορτία θα είναι μεγαλύτερα κατ’ απόλυτη τιμή από τα προηγούμενα ώστε η κατάταξη των αρχικών μεταβλητών σε κάποιον παράγοντα να είναι καλύτερη (Richman 1986). Αυτό γίνεται εφικτό με τη μεγιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των φορτίων του κάθε παράγοντα $F_j \sum_{i=1,p} a_{ij}^2$, αφού αυτό είναι ένα μέτρο της ολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών που ερμηνεύει ο κάθε j παράγοντας. Προκύπτει έτσι μία νέα εξίσωση:

$$X_i = g_{i1}F_1^* + g_{i2}F_2^* + \dots + g_{im}F_m^* + e_i \quad (1.6)$$

στην οποία οι νέοι παράγοντες F_j^* καλούνται περιστραμμένοι παράγοντες (rotated factors). Στη συνέχεια, προς χάριν απλότητας, οι περιστραμμένοι παράγοντες θα αναφέρονται απλά ως παράγοντες και θα συμβολίζονται με F_j .

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου είναι απαραίτητη μια απόφαση για την επιλογή του πλήθους m των στατιστικά σημαντικών παραγόντων που θα πρέπει να διατηρηθούν. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορα κριτήρια. Τέτοια κριτήρια είναι:

1. Guttman: Το πλήθος των παραγόντων που θα διατηρηθούν είναι ίσο με τον αριθμό των ιδιοτιμών του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών με τιμή μεγαλύτερη από τη μονάδα.
2. Scree: Το διάγραμμα Scree είναι ένα διάγραμμα των ιδιοτιμών του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών, ταξινομημένων από την υψηλότερη στη χαμηλότερη. Σύμφωνα με το διάγραμμα Scree, ο αριθμός των παραγόντων που διατηρούνται είναι ίσος με τον αριθμό των σημείων που αποκλίνουν από την ευθεία γραμμή.
3. Lev: Ισχύει το ίδιο με το κριτήριο Scree με τη διαφορά ότι στο διάγραμμα έχουμε τους λογαρίθμους των ιδιοτιμών.
4. Monte Carlo: Το πλήθος των παραγόντων πρέπει να ισούται με τον αριθμό των ιδιοτιμών που είναι μεγαλύτερες από το 95% εκείνων που προκύπτουν από τη χρήση τυχαίων δεδομένων.

5. Αθροιστικό ποσοστό διακύμανσης 80-90% και αποτελέσματα τα οποία επιδέχονται φυσική ερμηνεία (Bartzokas and Metaxas 1993).

Σε αυτήν τη διατριβή, ο αριθμός των στατιστικά σημαντικών παραγόντων υποδεικνύεται από το διάγραμμα Scree και τη φυσική υπόσταση των αποτελεσμάτων (Overland and Preisendorfer 1982, Jolliffe 1986, Bartzokas and Metaxas 1993).

2.3.2 Ανάλυση κατά Συστάδες (CA)

Η Ανάλυση κατά Συστάδες (CA) είναι μια στατιστική μέθοδος που ταξινομεί τις περιπτώσεις ενός συνόλου μεταβλητών σε αντικειμενικά ορισμένες διακριτές ομάδες, οι οποίες ονομάζονται συστάδες, έτσι ώστε κάθε συστάδα να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιογενής σε σχέση με τις μεταβλητές της ομάδας της (Sharma 1995). Τα βήματα της CA περιλαμβάνουν την επιλογή ενός μέτρου ομοιότητας, του τύπου της τεχνικής ομαδοποίησης και του τύπου της μεθόδου ομαδοποίησης για την επιλεγμένη τεχνική καθώς και μια απόφαση σχετικά με τον αριθμό των συστάδων. Στην παρούσα διατριβή, ως μέτρο ομοιότητας χρησιμοποιείται η τετραγωνική ευκλείδεια απόσταση των παρατηρήσεων στον m -διάστατο χώρο, η οποία υπολογίζεται μέσω της σχέσης $D_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1,m} (x_{ik} - x_{jk})^2}$, όπου D_{ij} είναι η απόσταση μεταξύ της i και της j παρατήρησης, x_{ik} είναι η τιμή της k μεταβλητής για την i παρατήρηση, x_{jk} είναι η τιμή της k μεταβλητής για την j παρατήρηση και m είναι το πλήθος των μεταβλητών που περιγράφουν κάθε παρατήρηση. Συνήθως, για να αποφευχθεί η επίδραση των διαφορετικών κλιμάκων στις οποίες μετρούνται οι μεταβλητές, οι τιμές των μεταβλητών πρώτα κανονικοποιούνται, ώστε όλες οι μεταβλητές να έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα. Όμως, εφόσον έχει προηγηθεί η εφαρμογή της PCA οι μεταβλητές είναι ήδη κανονικοποιημένες.

Υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές για την κατάταξη των παρατηρήσεων σε ομάδες, η ιεραρχική και η μη ιεραρχική. Στη διατριβή αυτή ακολουθείται η μη ιεραρχική τεχνική των k -μέσων (non hierarchical k -means) (Davis και Walker 1992, Kalkstein et al. 1996). Σε αυτή τη μέθοδο, θεωρείται ότι είναι εκ των προτέρων γνωστός ο αριθμός των ομάδων που πρέπει να διατηρηθούν. Επομένως, είτε πρέπει αρχικά με κάποιον τρόπο να έχει διαπιστωθεί πόσες ομάδες μπορεί να υπάρχουν στα αρχικά δεδομένα, είτε πρέπει η μέθοδος να εφαρμοστεί πολλές φορές για διαφορετικά πλήθη ομάδων και με κατάλληλα κριτήρια να επιλεγεί τελικά το πλήθος των ομάδων που πρέπει να διατηρηθούν (αυτή η τεχνική ακολουθείται στην παρούσα διατριβή). Τα βήματα της υπολογιστικής διαδικασίας που ακολουθούνται σε αυτήν τη μέθοδο, είναι τα εξής:

- A. Επιλογή των αρχικών κέντρων των k ομάδων. Αυτό γίνεται ακολουθώντας τα εξής βήματα. Αρχικά, επιλέγονται οι k πρώτες παρατηρήσεις ως αρχικά κέντρα. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι αποστάσεις των κέντρων μεταξύ τους και οι αποστάσεις των υπόλοιπων παρατηρήσεων από τα ήδη υπάρχοντα κέντρα. Εάν η απόσταση δύο κέντρων μεταξύ τους είναι μικρότερη από την απόσταση κάποιας παρατήρησης από ένα από αυτά τα κέντρα, τότε από τα δύο κέντρα, αυτό με τη μικρότερη απόσταση από την παρατήρηση, αντικαθίσταται από αυτή την παρατήρηση. Τα δύο παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται έως ότου οι αποστάσεις των κέντρων μεταξύ τους να είναι όλες μεγαλύτερες από τις αποστάσεις κάθε παρατήρησης από κάθε κέντρο.
- B. Κατάταξη κάθε παρατήρησης σε μία ομάδα, με το κριτήριο η απόσταση της παρατήρησης από το κέντρο της ομάδας, να είναι μικρότερη από την απόστασή της από τα κέντρα των άλλων ομάδων.
- Γ. Μετά την ολοκλήρωση της κατάταξης όλων των παρατηρήσεων σε ομάδες, ακολουθεί ο επαναπροσδιορισμός των κέντρων των ομάδων, λαμβάνοντας ως νέο κέντρο το μέσο διάνυσμα των παρατηρήσεων της ομάδας.
- Δ. Επανάληψη των βημάτων Β και Γ, έως ότου να μην υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στα προηγούμενα και στα νέα κέντρα των ομάδων.

Για την επιλογή του αριθμού των ομάδων που θα διατηρηθούν, υπάρχουν διάφορα στατιστικά τεστ. Στην παρούσα εργασία, για την επιλογή του πλήθους των ομάδων, χρησιμοποιείται συμβουλευτικά η μέθοδος του “Άλματος” (“Jump” Method), η οποία προτείνεται από τους Sugar and James (2003) και βασίζεται στον υπολογισμό της στρέβλωσης (distortion), που αποτελεί ένα μέτρο της διασποράς (dispersion) των παρατηρήσεων σε κάθε ομάδα. Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο, εφαρμόζεται επανειλημμένα η k -means Ανάλυση κατά Συστάδες, για διαφορετικό πλήθος ομάδων k κάθε φορά. Για κάθε εφαρμογή και εφόσον οι μεταβλητές που περιγράφουν την κάθε παρατήρηση είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, υπολογίζεται η τιμή της στρέβλωσης d_k μέσω της εξίσωσης $d_k = \frac{1}{m} \min_{c_1, \dots, c_k} E[(X - c_x)^T \Gamma^{-1} (X - c_x)]$, όπου το m είναι το πλήθος των μεταβλητών που περιγράφουν την κάθε παρατήρηση, το X είναι μία m -διάστατη τυχαία παρατήρηση, το Γ είναι ο πίνακας των συνδιακυμάνσεων (covariance) των m μεταβλητών που περιγράφουν την κάθε παρατήρηση, τα c_1, c_2, \dots, c_k είναι τα κέντρα των k ομάδων και το c_x είναι το πιο κοντινό κέντρο στην παρατήρηση X . Τότε η στρέβλωση d_k είναι η μέση Mahalanobis απόσταση ανά διάσταση, η οποία εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο παρατηρήσεων στον πολυδιάστατο χώρο λαμβάνοντας υπόψιν τις διακυμάνσεις και συνδιακυμάνσεις τους. Στην περίπτωση που οι m μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους, ο πίνακας Γ είναι ο μοναδιαίος και η στρέβλωση d_k γίνεται ίση με τη μέση

τετραγωνική ευκλείδεια απόσταση (ή μέσο τετραγωνικό σφάλμα) $d_k = \frac{1}{m} \min_{c_1, \dots, c_k} E[(X - c_x)^2]$. Σε ένα γράφημα του d_k ως προς τον αριθμό k , θα μπορούσε κάποιος να διαλέξει τον αριθμό των ομάδων, επιλέγοντας το k για το οποίο το d_k θα έπαυε να αλλάζει σημαντικά και η κλίση της καμπύλης στο γράφημα θα γινόταν σχεδόν οριζόντια. Αυτό θα σήμαινε, ότι περαιτέρω διαχωρισμός σε ομάδες, δεν θα είχε ως αποτέλεσμα την καλύτερη κατάταξη των παρατηρήσεων σε άλλες περισσότερες ομοιογενείς ομάδες, αλλά το σπάσιμο των ήδη ομοιογενών ομάδων σε άλλες μικρότερες. Βέβαια, σε ένα τέτοιο γράφημα, είναι αρκετά δύσκολο να αποφασιστεί το ακριβές σημείο όπου η κλίση της καμπύλης γίνεται σχεδόν οριζόντια. Έτσι, προτείνεται ο μετασχηματισμός της καμπύλης του d_k με την ύψωσή του σε μία αρνητική δύναμη. Αποδεικνύεται ότι, η μετασχηματισμένη καμπύλη παρουσιάζει ένα άλμα για την τιμή του k , που αντιστοιχεί στο καταλληλότερο πλήθος των ομάδων, στις οποίες μπορούν να καταταχθούν οι παρατηρήσεις. Περαιτέρω μετασχηματισμός της καμπύλης με αφαίρεση μεταξύ τους των συνεχόμενων τιμών των μετασχηματισμένων d_k για τον υπολογισμό των αλμάτων, οδηγεί σε μία νέα καμπύλη στην οποία η τιμή του k για την οποία παρουσιάζεται μέγιστη τιμή του άλματος αποτελεί το καταλληλότερο/προτιμητέο πλήθος ομάδων στις οποίες μπορούν να καταταγούν οι αρχικές παρατηρήσεις. Τα βήματα που ακολουθούνται σε αυτή τη μέθοδο είναι τα εξής: α) επανειλημμένη εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες με τη μέθοδο k -means, για διαφορετικό πλήθος ομάδων k κάθε φορά, β) υπολογισμός των στρεβλώσεων d_k για κάθε εφαρμογή της k -means, γ) επιλογή της δύναμης Y στην οποία θα υψωθεί η d_k για να μετασχηματιστεί. Τυπική τιμή του Y είναι το $Y = m$, όπου m το πλήθος των μεταβλητών, δ) υπολογισμός των αλμάτων στη μετασχηματισμένη στρέβλωση $J_k = d_k^{-Y} - d_{k-1}^{-Y}$, ε) στο διάγραμμα του J_k ως προς τον αριθμό των k ομάδων, η τιμή k για την οποία αντιστοιχεί η μεγαλύτερη τιμή του J_k , αποτελεί το καταλληλότερο πλήθος των ομάδων οι οποίες υπάρχουν στα αρχικά δεδομένα και στις οποίες μπορούν να καταταγούν οι παρατηρήσεις.

2.3.3 Στατιστικό τεστ Mann-Kendall για μονότονες τάσεις

Ο σκοπός του τεστ Mann-Kendall (MK) (Kendall 1975) είναι να εκτιμήσει στατιστικά εάν υπάρχει μονότονη ανοδική ή πτωτική τάση της μεταβλητής ενδιαφέροντος με την πάροδο του χρόνου. Μια μονότονη ανοδική (πτωτική) τάση σημαίνει ότι η μεταβλητή αυξάνεται (μειώνεται) σταθερά με την πάροδο του χρόνου, αλλά η τάση μπορεί να είναι ή να μην είναι γραμμική. Το τεστ MK μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση μιας παραμετρικής γραμμικής ανάλυσης παλινδρόμησης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελεγχθεί εάν η κλίση της εκτιμώμενης γραμμής γραμμικής παλινδρόμησης είναι διαφορετική από το μηδέν. Η ανάλυση παλινδρόμησης απαιτεί τα υπολείμματα από την προσαρμοσμένη γραμμή παλινδρόμησης να κατανέμονται κανονικά, μια υπόθεση που δεν απαιτείται από το τεστ MK. Δηλαδή στο τεστ MK δεν απαιτείται η κανονική κατανομή των

μετρήσεων ή η τάση, εάν υπάρχει, να είναι γραμμική. Επίσης, το τεστ MK μπορεί να υπολογιστεί εάν λείπουν τιμές και αν υπάρχουν τιμές κάτω από ένα όριο ανίχνευσης, αλλά η απόδοση του θα επηρεαστεί αρνητικά σε τέτοιες περιπτώσεις. Επίσης, το τεστ MK απαιτεί ο χρόνος μεταξύ των δειγμάτων να είναι αρκετά μεγάλος ώστε να μην υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων που συλλέγονται σε διαφορετικούς χρόνους.

Πιο αναλυτικά, το τεστ MK ελέγχει εάν θα απορριφθεί η μηδενική υπόθεση (H_0) και αν θα γίνει αποδεκτή η εναλλακτική υπόθεση (H_a), όπου H_0 σημαίνει δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική μονότονη τάση και H_a σημαίνει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική μονότονη τάση. Η αρχική υπόθεση του τεστ MK είναι ότι η H_0 είναι αληθής. Το τεστ MK ακολουθεί τα εξής βήματα (Gilbert 1987):

1. Καταγραφή των δεδομένων με τη σειρά με την οποία συλλέχθηκαν με την πάροδο του χρόνου, x_1, x_2, \dots, x_n , τα οποία δηλώνουν τις μετρήσεις που λαμβάνονται κατά τα χρονικά βήματα 1, 2, ..., n, αντίστοιχα.
2. Προσδιορισμός των πρόσημων όλων των $n(n-1)/2$ πιθανών διαφορών $x_j - x_k$, όπου $j > k$. Αυτές οι διαφορές είναι οι $x_2 - x_1, x_3 - x_1, \dots, x_n - x_1, x_3 - x_2, x_4 - x_2, \dots, x_n - x_{n-2}, x_n - x_{n-1}$.
3. Ορισμός της συνάρτησης πρόσημου $\text{sgn}(x_j - x_k)$, η οποία είναι μια συνάρτηση δείκτη που λαμβάνει τις τιμές 1, 0 ή -1 σύμφωνα με το πρόσημο του $x_j - x_k$ και είναι:
 - =1, εάν $x_j - x_k > 0$
 - =0, εάν $x_j - x_k = 0$
 - =-1, εάν $x_j - x_k < 0$

Για παράδειγμα, αν $x_j - x_k > 0$, αυτό σημαίνει ότι η παρατήρηση τη στιγμή j , που υποδηλώνεται από το x_j , είναι μεγαλύτερη από την παρατήρηση τη στιγμή k , που υποδηλώνεται από το x_k .

4. Υπολογισμός του αθροίσματος $S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$, που είναι ο αριθμός των θετικών διαφορών μείον τον αριθμό των αρνητικών διαφορών. Αν το S είναι ένας θετικός αριθμός, οι παρατηρήσεις που λαμβάνονται αργότερα στο χρόνο τείνουν να είναι μεγαλύτερες από τις παρατηρήσεις που έγιναν νωρίτερα. Αν το S είναι αρνητικός αριθμός, τότε οι παρατηρήσεις που γίνονται αργότερα στο χρόνο τείνουν να είναι μικρότερες από τις παρατηρήσεις που έγιναν νωρίτερα.
5. Αν $n \leq 10$, αναζητείται η τιμή του S σε έναν πίνακα πιθανοτήτων (Gilbert 1987). Εάν αυτή η πιθανότητα είναι μικρότερη από α (την πιθανότητα να συμπεράνουμε ότι μια τάση υπάρχει όταν δεν υπάρχει), τότε απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και συμπεραίνεται ότι η τάση υπάρχει. Εάν δεν μπορεί να βρεθεί στον πίνακα πιθανοτήτων (το οποίο μπορεί να συμβεί αν υπάρχουν δεδομένα με συνδεδεμένες τιμές), χρησιμοποιείται η επόμενη τιμή στον πίνακα που

είναι πιο μακριά από το μηδέν. Για παράδειγμα, εάν $S=12$ και δεν υπάρχει τιμή για $S=12$ στον πίνακα, επιλέγεται η τιμή $S=13$.

Αν $n>10$, ακολουθούνται τα βήματα 6 έως 10 για να προσδιοριστεί εάν υπάρχει στατιστικά σημαντική τάση.

6. Υπολογισμός της διακύμανσης του S ως εξής:

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

όπου g είναι ο αριθμός των συνδεδεμένων ομάδων και t_p είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων στην p ομάδα. Για παράδειγμα, στην ακολουθία μετρήσεων (23, 24, 29, 6, 29, 24, 24, 29, 23) έχουμε $g=3$ συνδεδεμένες ομάδες, για τις οποίες $t_1=2$ για τη συνδεδεμένη τιμή 23, $t_2=3$ για την συνδεδεμένη τιμή 24 και $t_3=3$ για τη συνδεδεμένη τιμή 29. Όταν τα δεδομένα συνδέονται λόγω ίσων τιμών ή μη ανιχνεύσεων τιμών, η $VAR(S)$ προσαρμόζεται με μια μέθοδο διόρθωσης.

7. Υπολογισμός της στατιστικής παραμέτρου Z_{MK} , του τεστ MK, ως εξής:

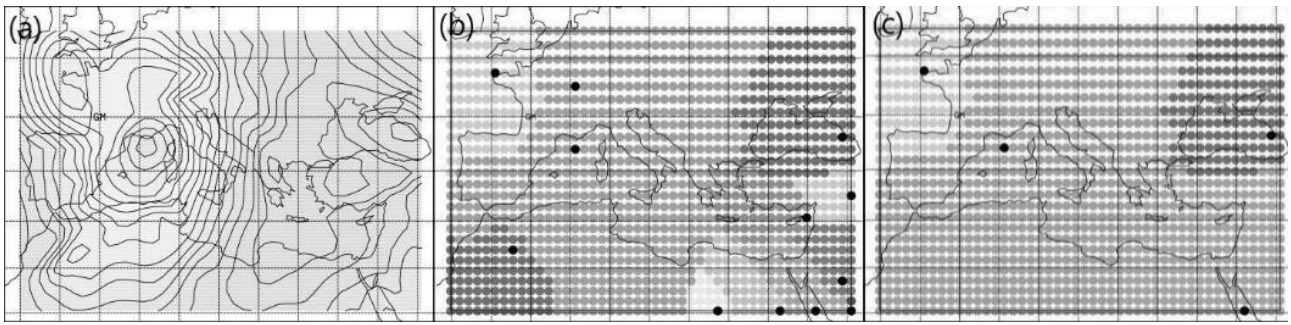
$$\begin{aligned} Z_{MK} &= \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, \text{ εάν } S>0 \\ &= 0, \text{ εάν } S=0 \\ &= \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, \text{ εάν } S<0 \end{aligned}$$

Μια θετική (αρνητική) τιμή του Z_{MK} δείχνει ότι τα δεδομένα τείνουν να αυξάνονται (μειώνονται) με το χρόνο.

8. Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να ελέγξουμε τη μηδενική υπόθεση H_0 : δεν υπάρχει μονότονη τάση έναντι της εναλλακτικής υπόθεσης H_a : Ανοδική μονότονη τάση, στο Τύπου I ποσοστό σφάλματος α , όπου $0<\alpha<0,5$ (το α είναι η ανεκτή πιθανότητα ότι το τεστ MK θα απορρίψει λανθασμένα τη μηδενική υπόθεση). Τότε η H_0 απορρίπτεται και η H_a γίνεται αποδεκτή, εάν $Z_{MK} \geq Z_{1-\alpha}$, όπου $Z_{1-\alpha}$ είναι το 100(1- α) εκατοστημόριο της τυπικής κανονικής κατανομής. Αυτά τα εκατοστημόρια παρέχονται σε πολλά στατιστικά βιβλία (για παράδειγμα Gilbert 1987) καθώς και σε στατιστικά λογισμικά πακέτα.
9. Στην περίπτωση που θέλουμε να ελέγξουμε τη μηδενική υπόθεση H_0 έναντι της εναλλακτικής υπόθεσης H_a : Πτωτική μονότονη τάση, στο Τύπου I ποσοστό σφάλματος α , η H_0 απορρίπτεται και η H_a γίνεται αποδεκτή εάν $Z_{MK} \leq -Z_{1-\alpha}$.
10. Για το έλεγχο της H_0 έναντι της H_a : Ανοδική ή Πτωτική μονότονη τάση, στο Τύπου I ποσοστό σφάλματος α , η H_0 απορρίπτεται και η H_a γίνεται αποδεκτή εάν $|Z_{MK}| \geq Z_{1-\alpha/2}$.

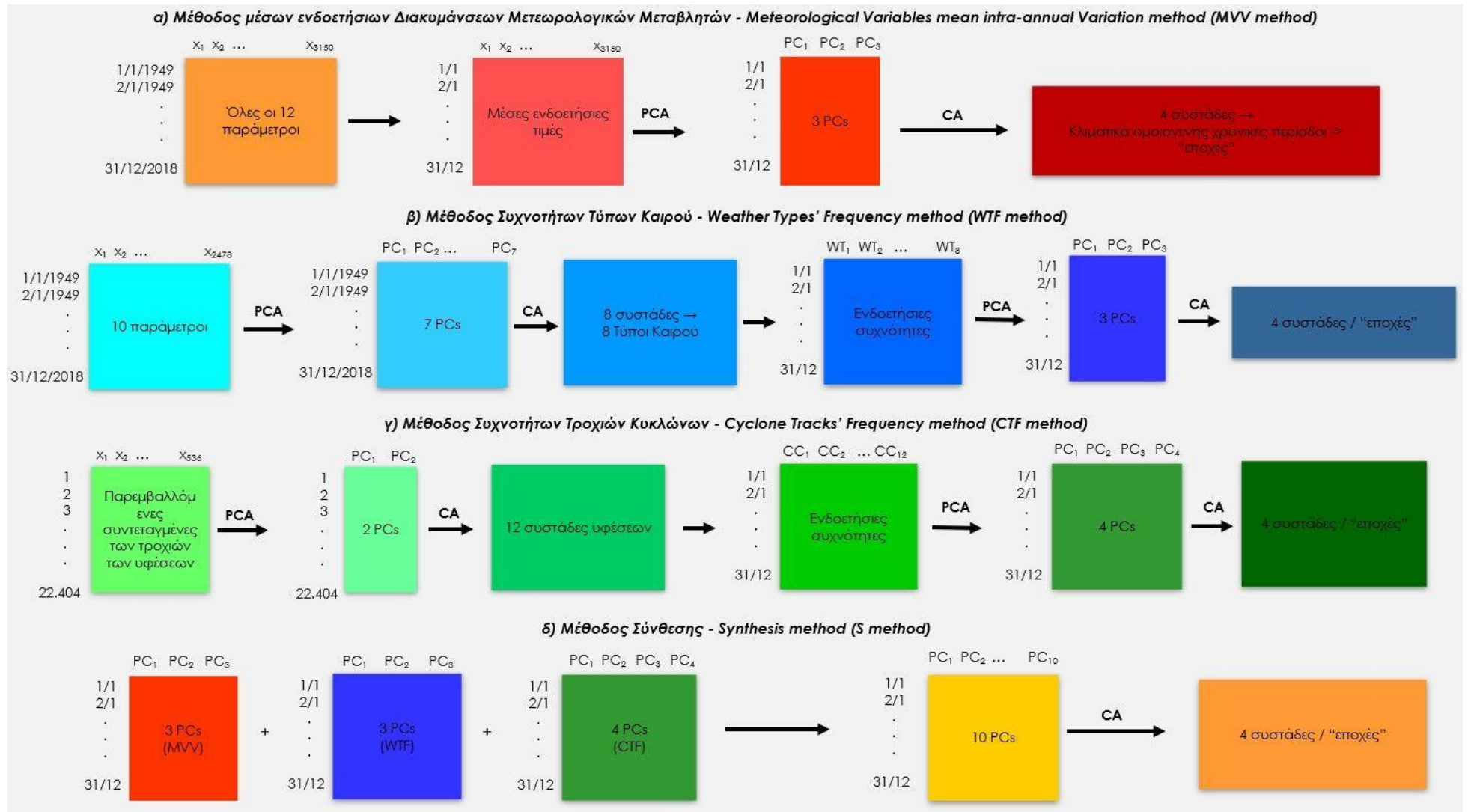
2.3.4 Αλγόριθμος εντοπισμού των υφέσεων και παρακολούθησης των τροχιών τους

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στην παρούσα διατριβή είναι αυτός που παρουσιάζεται στην εργασία των Lionello et al. (2002). Ένα παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου φαίνεται στο Σχήμα 4. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί δεδομένα MSLP και έχει προσαρμοστεί για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής ώστε να δέχεται δεδομένα χρονικής ανάλυσης 6 ωρών και χωρικής ανάλυσης $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Αρχικά, η μεθοδολογία που ακολουθεί ο αλγόριθμος πραγματοποιεί τον διαχωρισμό του αρχικού πεδίου MSLP (Σχήμα 4a) σε σύνολα διαφορετικών υφέσεων. Για κάθε σημείο πλέγματος αναγνωρίζεται μια "απότομη διαδρομή πτώσης" που το συνδέει με το πλησιέστερο γειτονικό σημείο πλέγματος με τη χαμηλότερη τιμή MSLP. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να επιτευχθεί ένα τοπικό ελάχιστο, όπου η τιμή MSLP είναι χαμηλότερη από την τιμή MSLP στα 8 πλησιέστερα σημεία πλέγματος. Μια ύφεση αποτελείται από όλα τα σημεία που διασχίζονται από μια διαδρομή που οδηγεί στο ίδιο ελάχιστο MSLP (Σχήμα 4b). Στο Σχήμα 4b φαίνεται τα αποτελέσματα της διαδικασίας διαχωρισμού του αρχικού πεδίου πίεσης σε διαφορετικές υφέσεις. Κάθε τελεία αντιστοιχεί σε ένα σημείο πλέγματος και οι τελείες με την ίδια γκρι απόχρωση ανήκουν στην ίδια ύφεση. Οι μαύρες τελείες αντιστοιχούν στη θέση της ελάχιστης πίεσης κάθε ύφεσης. Οι μικρές υφέσεις των οποίων το κεντρικό ελάχιστο είναι σε απόσταση έως και 4 σημεία πλέγματος από το όριο μιας διαφορετικής και βαθύτερης ύφεσης περιλαμβάνονται στην τελευταία, και έτσι ολόκληρος ο χάρτης περιέχει μόνο μερικές μεγάλες υφέσεις (Σχήμα 4c). Η τροχιά εντοπίζεται ενώνοντας τη θέση των κέντρων χαμηλής πίεσης που παρουσιάζουν την ελάχιστη μετατόπιση σε διαδοχικούς χάρτες. Το κέντρο χαμηλής πίεσης είναι περίπου η θέση της ελάχιστης πίεσης, αλλά μετατοπίζεται ελαφρά λόγω της ασύμμετρης κατανομής της περιοχής χαμηλής πίεσης. Ένα ορθογώνιο πλαίσιο συσχετίζεται με κάθε κέντρο που προσδιορίζεται στον χάρτη. Στη μεσημβρινή διεύθυνση το πλαίσιο είναι συμμετρικό και κεντραρισμένο στη θέση του κέντρου, με πλάτος $1.4R$, όπου R είναι η μέση απόσταση των σημείων πλέγματος της ύφεσης από το κέντρο της. Στη ζωνική διεύθυνση το πλαίσιο δεν είναι συμμετρικό, με τη δυτική του πλευρά σε απόσταση $0.3R$ και την ανατολική πλευρά σε απόσταση $0.8R$. Επιπλέον, το πλαίσιο επεκτείνεται περαιτέρω προς την κατεύθυνση της προηγούμενης κίνησης του κέντρου, με αύξηση ίση με την απόσταση που κάλυψε αυτό τις προηγούμενες 6 ώρες. Ένα κέντρο στον χάρτη $i+1$ θεωρείται ότι είναι η συνέχεια της ύφεσης στον χάρτη i εάν το κέντρο του βρίσκεται μέσα σε ένα τέτοιο πλαίσιο. Όταν δε βρίσκεται κέντρο μέσα στο πλαίσιο, θεωρείται ότι η ύφεση διαλύεται. Επομένως, η διαδικασία εντοπίζει μια τροχιά, δηλαδή μια αρχική θέση, μια τελική θέση και μια ακολουθία ενδιάμεσων θέσεων, καθώς και μια ακολουθία ελάχιστων πιέσεων. Αυτός ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε επίσης στην εργασία των Reale και Lionello (2013).



Σχήμα 4. Παράδειγμα της διαδικασίας για την αναγνώριση των υφέσεων. (a) Αρχικό πεδίο πίεσης στο επίπεδο της θάλασσας (MSLP). (b) Αποτελέσματα της διαδικασίας διαχωρισμού. Κάθε τελεία αντιπροσωπεύει ένα σημείο πλέγματος, και οι τελείες με την ίδια γκρι απόχρωση ανήκουν στο ίδιο διαμέρισμα. Οι μαύρες κουκκίδες δείχνουν τη θέση της ελάχιστης πίεσης σε κάθε διαμέρισμα. (c) Τελικό σύνολο μεγάλων υφέσεων που προκύπτουν από τη συγχώνευση των μικρών υφέσεων των οποίων το κεντρικό ελάχιστο βρίσκεται σε απόσταση έως και 4 σημεία πλέγματος από το όριο μιας διαφορετικής και βαθύτερης ύφεσης. Πηγή Lionello et al. (2002).

Στο Σχήμα 5 το οποίο ακολουθεί παρουσιάζονται όλα τα βήματα που εφαρμόστηκαν στις τέσσερις μεθόδους αντικειμενικού ορισμού των εποχών που επιχειρήθηκαν στην παρούσα διατριβή.



Σχήμα 5. Σχηματική αναπαράσταση όλων των βημάτων των τεσσάρων μεθόδων που εφαρμόστηκαν για τον ορισμό των εποχών: α) Η μέθοδος MVV, β) η μέθοδος WTF, γ) η μέθοδος CTF και δ) η μέθοδος S.

2.3.5 Μέθοδος MVV για τον ορισμό των εποχών

Στη μέθοδο MVV (Σχήμα 5α), η οποία βασίζεται στη χρήση της μέσης ενδοετήσιας πορείας πλήθους μετεωρολογικών παραμέτρων για τον αντικειμενικό ορισμό των εποχών, ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- Κατασκευή πίνακα ημερήσιων τιμών

Δημιουργείται ένας πίνακας που περιλαμβάνει τις ημερήσιες (12 UTC) τιμές και των 12 παραμέτρων (δηλαδή, της θερμοκρασίας του αέρα στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, του ρυθμού υετού, του ρυθμού ανωμεταφορικού υετού, της ολικής νεφοκάλυψης, της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, του γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa και 1000hPa, της θερμοκρασίας του αέρα των ισοβαρικών επιφανειών των 500hPa και των 850hPa, της ειδικής υγρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa και του υετίσιμου ύδατος), για την περίοδο 1 Ιανουαρίου 1949 - 31 Δεκεμβρίου 2018. Διατίθενται 6 παράμετροι σε 189 σημεία πλέγματος η κάθε μία και 6 παράμετροι σε 336 σημεία πλέγματος η κάθε μία, οδηγώντας σε συνολικό αριθμό 3150 μεταβλητών. Οι γραμμές του πίνακα αντιστοιχούν στο χρόνο (δηλαδή, 1/1/1949 - 31/12/2018) και οι στήλες του πίνακα αντιστοιχούν στο χώρο (δηλαδή στα σημεία πλέγματος).

- Μέσες ενδοετήσιες διακυμάνσεις

Κατασκευάζεται ένας νέος πίνακας που περιλαμβάνει τις μακροπρόθεσμες μέσες ενδοετήσιες διακυμάνσεις των ημερήσιων τιμών των 12 παραμέτρων. Έτσι, σε αυτόν τον πίνακα, οι γραμμές του αντιστοιχούν στις 365 ημέρες του έτους ενώ ο αριθμός των στηλών του δεν αλλάζει. Οι μακροπρόθεσμες μέσες τιμές αντικαθίστανται στη συνέχεια από τους κινητούς μέσους όρους 5 ημερών προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη εξομάλυνση και η μείωση του θορύβου, λόγω της έντονης από μέρα-σε-μέρα διακύμανσης των παραμέτρων. Έτσι, κάθε νέα ημερήσια τιμή D' είναι η μέση τιμή των αρχικών ημερήσιων τιμών $D-2$, $D-1$, D , $D+1$ και $D+2$. Επιλέχθηκε ο αριθμός πέντε ημερών, δεδομένου ότι αυτός ο αριθμός από τη μία διασφαλίζει την απαιτούμενη εξομάλυνση αποκόπτοντας ακραίες ημερήσιες τιμές και από την άλλη διατηρεί επαρκή χρονική ανάλυση στις ενδοετήσιες χρονοσειρές. Αυτή η διαδικασία δεν αλλάζει τις διαστάσεις του πίνακα, επομένως ο αριθμός των γραμμών του πίνακα είναι ίσος με τον αριθμό των ημερών του έτους (365) και ο αριθμός των στηλών είναι ίσος με το άθροισμα του αριθμού των σημείων πλέγματος επί τον αριθμό των αντίστοιχων παραμέτρων (3150).

- Ορισμός των εποχών

Η PCA εφαρμόζεται στον παραπάνω πίνακα διαστάσεων 365×3150, και στη συνέχεια στις χρονοσειρές των scores των PCs εφαρμόζεται η k-means CA, ομαδοποιώντας τις ημερομηνίες εντός του έτους που παρουσιάζουν ομοιογενή κλιματικά χαρακτηριστικά σύμφωνα με τις τιμές και τις χωρικές κατανομές των εισαχθέντων μετεωρολογικών παραμέτρων. Με αυτόν τον τρόπο ορίζονται αντικειμενικά 4 εποχές.

2.3.6 Μέθοδος WTF για τον ορισμό των εποχών

Η μέθοδος WTF (Σχήμα 5β), η οποία βασίζεται στην αξιοποίηση των ενδοετήσιων διακυμάνσεων των συχνοτήτων των κυριάρχων τύπων καιρού (WTs) της Μεσογείου, περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Κατασκευή πίνακα ημερήσιων τιμών

Κατασκευάζεται ένας πίνακας δεδομένων που περιλαμβάνει τις ημερήσιες (12 UTC) τιμές των 10 επιλεγμένων μετεωρολογικών παραμέτρων. Κάθε σειρά αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία της περιόδου 1/1/1949 - 31/12/2018 και κάθε στήλη αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη μετεωρολογική παράμετρο σε ένα συγκεκριμένο σημείο πλέγματος της γεωγραφικής περιοχής. Υπάρχουν 4 διαθέσιμες παράμετροι σε 336 σημεία πλέγματος η κάθε μία και 6 παράμετροι σε 189 σημεία πλέγματος η κάθε μία οδηγώντας σε ένα σύνολο 2478 μεταβλητών.

- Ορισμός τύπων καιρού

Η “φασματική ταξινόμηση” (spectral clustering), η οποία ουσιαστικά είναι η διαδικασία εφαρμογής της PCA ακολουθούμενης από CA, εφαρμόζεται στον παραπάνω πίνακα δεδομένων ταξινομώντας όλες τις ημερομηνίες σε ομάδες/συστάδες. Η διαδικασία ομαδοποίησης έχει ως αποτέλεσμα τον ορισμό των WTs, επειδή οι ημέρες που ταξινομούνται σε μία συγκεκριμένη συστάδα χαρακτηρίζονται από παρόμοιες καιρικές/συνοπτικές συνθήκες. Συνεπώς, ορίζονται 8 WTs.

- Ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των WTs

Υπολογίζονται οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των 8 ορισμένων τύπων καιρού. Αν για παράδειγμα στο δείγμα 70 ετών (1/1/1949 - 31/12/2018) που είναι διαθέσιμο, ένας τύπος καιρού εμφανίζεται σε 12 από τις 70 ημέρες με ημερομηνία 24 Οκτωβρίου, τότε η συχνότητα αυτού του τύπου καιρού για τη συγκεκριμένη ημερομηνία είναι 12. Στη συνέχεια, οι συχνότητες αυτές αντικαθίστανται από τους κινητούς μέσους όρους 5 ημερών για να επιτευχθεί η κατάλληλη εξομάλυνση στις ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των WTs και κατασκευάζεται ένας νέος εξομαλυσμένος

πίνακα. Σε αυτόν τον πίνακα, οι σειρές αντιστοιχούν στις 365 ημερομηνίες του έτους (1/1 - 31/12) και οι στήλες αντιστοιχούν στις ημερήσιες συχνότητες των 8 ορισμένων WTs. Η ενσωμάτωση της διαδικασίας εξομάλυνσης λύνει το πρόβλημα των βραχυπρόθεσμων διακυμάνσεων που συνδέονται με την ύπαρξη ακραίων τιμών στα ημερήσια δείγματα τιμών των μετεωρολογικών παραμέτρων.

- Ορισμός των εποχών

Η PCA και η CA εφαρμόζονται ξανά, αυτήν την φορά στον εξομαλυσμένο πίνακα των ενδοετήσιων διακυμάνσεων των συχνοτήτων των 8 WTs ταξινομώντας τις ημερομηνίες του έτους με παρόμοια κατανομή συχνοτήτων μεταξύ των WTs και ορίζοντας έτσι 4 εποχές.

2.3.7 Μέθοδος CTF για τον ορισμό των εποχών

Η τρίτη μέθοδος αντικειμενικού ορισμού των εποχών, είναι η μέθοδος CTF (Σχήμα 5γ) σύμφωνα με την οποία οι εποχές ορίζονται με βάση τις ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των κυριάρχων συστάδων των τροχιών των υφέσεων (Cyclone tracks' Clusters, CCs) που επηρεάζουν την Μεσόγειο. Η μέθοδος αυτή αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

- Αλγόριθμος εντοπισμού και παρακολούθησης των υφέσεων

Αρχικά τρέχει ο αλγόριθμος αναγνώρισης των υφέσεων χρησιμοποιώντας δώρα πεδία MSLP για την περιοχή που φαίνεται στο Σχήμα 3. Ως αποτέλεσμα, εντοπίζονται 40.472 υφέσεις και κατασκευάζεται ένας πίνακας κάθε γραμμή του οποίου αντιστοιχεί σε μια ύφεση ενώ οι στήλες αναφέρονται στις συντεταγμένες των κέντρων των υφέσεων σε κάθε χρονικό βήμα της ζωής τους (τροχιά). Επίσης αποθηκεύονται κι άλλες παράμετροι των υφέσεων, όπως οι πιέσεις του κέντρου της ύφεσης, ο χρόνος ζωής της και το μήκος της τροχιάς.

- Εφαρμογή κριτηρίου απόρριψης υφέσεων

Επειδή η περιοχή ενδιαφέροντος είναι η περιοχή της Μεσογείου (Σχήμα 3, εντός παραλληλογράμμου), εφαρμόζεται ένα κριτήριο για την απόρριψη κάποιων υφέσεων που ανιχνεύονται. Σύμφωνα με το κριτήριο, για να διατηρηθεί μια ύφεση, θα πρέπει να εισέλθει στην περιοχή της Μεσογείου ($50^{\circ}\text{B}-30^{\circ}\text{B}$ και $10^{\circ}\text{B}-40^{\circ}\text{A}$) τουλάχιστον μία φορά κατά τη διάρκεια της ζωής της. Ως αποτέλεσμα, πολλές υφέσεις που δεν εισέρχονται ποτέ στην περιοχή της Μεσογείου τελικά απορρίπτονται και έτσι παραμένουν 22.404 υφέσεις. Πρέπει να σημειωθεί ότι, αν και η περιοχή ενδιαφέροντος είναι η περιοχή της Μεσογείου, η ανίχνευση των υφέσεων και των τροχιών τους πρέπει

να γίνει σε ευρύτερη περιοχή. Η περιοχή όπου πραγματοποιείται η παρακολούθηση πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη για να αποφευχθούν προβλήματα με τροχιές πέρα από τα σύνορα καθώς και ψευδείς κυκλογενέσεις κατά μήκος των ορίων.

- Δοκιμή διαφόρων μεθόδων επεξεργασίας των αποτελεσμάτων

Για να εισαχθούν τα αποτελέσματα στη στατιστική ανάλυση, θα πρέπει οι γραμμές του παραπάνω πίνακα να έχουν την ίδια διάσταση, το οποίο δε συμβαίνει καθώς η κάθε ύφεση έχει το δικό της χρόνο ζωής. Συνεπώς, δοκιμάζονται διάφορες τεχνικές ώστε αυτό να επιτευχθεί, δηλαδή να αποκτήσουν όλες οι τροχιές χωρικά τον ίδιο αριθμό σημείων. Συγκεκριμένα, εφαρμόζονται πέντε μέθοδοι επεξεργασίας. Η πρώτη μέθοδος περιλαμβάνει τη γραμμική παρεμβολή (linear interpolation) των αποτελεσμάτων έτσι ώστε όλες οι τροχιές να έχουν τον ίδιο αριθμό σημείων, ο οποίος ισούται με τη διάρκεια ζωής της μακροβιότερης ύφεσης. Η δεύτερη μέθοδος υπολογίζει τις χωρικές αποστάσεις μεταξύ των τροχιών, αφού πρώτα γίνει η κατάλληλη παρεμβολή, ώστε να έχουν όλες τον ίδιο αριθμό σημείων. Η απόσταση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον τύπο $\sum_{i=1}^n \left\{ (x_{1,i} - x_{2,i})^{1/2} + (y_{1,i} - y_{2,i})^{1/2} \right\}$, όπου x και y είναι το γεωγραφικό μήκος και το γεωγραφικό πλάτος της τροχιάς, αντίστοιχα, και n είναι ο αριθμός των σημείων που έχει κάθε τροχιά και είναι ίσος με τη διάρκεια ζωής της μεγαλύτερης τροχιάς όταν δύο τροχιές συγκρίνονται. Επιχειρείται πρώτα να γίνει παρεμβολή όλων των τροχιών των υφέσεων εκ των προτέρων, ώστε να έχουν όλες τον ίδιο αριθμό σημείων. Εναλλακτικά, κάθε φορά που συγκρίνονται δύο τροχιές υφέσεων, η τροχιά της ύφεσης που έχει μικρότερο χρόνο ζωής υφίσταται τη διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής ώστε να έχει τον ίδιο αριθμό σημείων με αυτήν που έχει μεγαλύτερο χρόνο ζωής, και στη συνέχεια υπολογίζεται η χωρική τους απόσταση. Η τρίτη μέθοδος υπολογίζει τη διακριτή απόσταση Fréchet (Alt and Godau 1995, Champers et al. 2009) μεταξύ των τροχιών. Η απόσταση Fréchet είναι ένα μέτρο ομοιότητας μεταξύ δύο καμπυλών που λαμβάνει υπόψη τη θέση και τη σειρά των σημείων κατά μήκος των καμπυλών. Παραστατικά, η απόσταση Fréchet μπορεί να οριστεί ως εξής: ένας άνθρωπος διασχίζει ένα πεπερασμένο κυρτό μονοπάτι ενώ ο σκύλος του περπατά με λουρί, με τον σκύλο να διασχίζει ένα ξεχωριστό πεπερασμένο κυρτό μονοπάτι. Καθένας από αυτούς μπορεί να αλλάξει την ταχύτητα του για να κρατήσει το λουρί χαλαρό, αλλά κανείς δεν μπορεί να κινηθεί προς τα πίσω. Η απόσταση Fréchet μεταξύ των δύο καμπυλών είναι το μήκος του μικρότερου λουριού που επαρκεί για να διασχίσουν και οι δύο τους τις δύο ξεχωριστές διαδρομές από την αρχή μέχρι το

τέλος. Επίσης, στην παρούσα περίπτωση, το πλεονέκτημα της απόστασης Fréchet είναι ότι δεν απαιτείται η διαδικασία παρεμβολής, όπως συμβαίνει με τις άλλες δύο μεθόδους. Η τέταρτη μέθοδος, περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός ανωφλιού στη διάρκεια ζωής των υφέσεων που εισέρχονται στη στατιστική ανάλυση. Όπως ακολουθήθηκε και σε προηγούμενες έρευνες (Blender et al. 1997, Trigo 2006, Raible et al. 2008), εφαρμόζοντας ένα ανώφλι ορίου ζωής, δε λαμβάνονται υπόψιν οι υφέσεις οι οποίες έχουν διάρκεια ζωής μικρότερη από το ανώφλι, ενώ στις υπόλοιπες υφέσεις δε συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση η περαιτέρω κίνηση τους μετά το όριο του ανωφλιού. Η πέμπτη μέθοδος, αφορά τη διατήρηση μόνο των υφέσεων με χρόνο ζωής πάνω από ένα χρονικό όριο (π.χ. μία ημέρα) και λιγότερο από ένα χρονικό όριο (π.χ. μία εβδομάδα). Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων είναι ότι, η τέταρτη μέθοδος λαμβάνει υπόψιν σχεδόν όλες τις υφέσεις αλλά όχι ολόκληρη την τροχιά τους, ενώ η πέμπτη μέθοδος ασχολείται μόνο με τις υφέσεις οι οποίες έχουν χρόνο ζωής μεταξύ ενός κατώτατου και ενός ανώτατου ορίου. Επίσης, πραγματοποιούνται δοκιμές επιλέγοντας διαφορετικές παραμέτρους στην εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων. Οι παράμετροι που ελέγχονται είναι οι γεωγραφικές συντεταγμένες (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) των κέντρων των τροχιών των υφέσεων, οι ελάχιστες πιέσεις στο κέντρο τους, τα μήκη των τροχιών τους καθώς και συνδυασμοί των παραπάνω. Πολλές δοκιμές και συγκρίσεις των αποτελεσμάτων των διαφόρων μεθόδων και παραμέτρων, έδειξαν ότι η μέθοδος της παρεμβολής οδηγεί στα πιο ακριβή και ερμηνεύσιμα αποτελέσματα.

- Εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παρεμβολής (linear interpolation)
Οι γεωγραφικές συντεταγμένες όλων των τροχιών υπόκεινται στη διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής έτσι ώστε όλες να έχουν τον ίδιο αριθμό σημείων, ο οποίος είναι ίσος με τη διάρκεια ζωής της μακροβιότερης ύφεσης που ανιχνεύθηκε (268 ώρες = 67 ημέρες). Συνεπώς, κατασκευάζεται ένας πίνακας, όπου οι γραμμές του αντιστοιχούν στις υφέσεις (22.404) και οι στήλες του αντιστοιχούν στις συντεταγμένες γεωγραφικού μήκους και πλάτους μετά τη γραμμική παρεμβολή ($2 \times 268 = 536$).
- Ορισμός των συστάδων των τροχιών των υφέσεων
Η PCA και η CA εφαρμόζονται στον παραπάνω πίνακα ταξινομώντας τις τροχιές των υφέσεων σε συστάδες με βάση τα χωρικά τους χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ορίστηκαν 12 συστάδες τροχιών υφέσεων (CCs).
- Ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των CCs

Υπολογίζονται οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των ορισμένων CCs. Συνεπώς, κατασκευάζεται ένας πίνακας όπου οι γραμμές του αντιστοιχούν στις ημερομηνίες του έτους (365) και οι στήλες του στις συχνότητες των 12 CCs. Οι τιμές αυτές αντικαθίστανται από τους κινητούς μέσους όρους 5 ημερών για να επιτευχθεί η απαραίτητη εξομάλυνση και μείωση του θορύβου. Επομένως, η συχνότητα κάθε ημερομηνίας D αντικαθίσταται από τη μέση τιμή των συχνοτήτων των ημερομηνιών D-2, D-1, D, D+1 και D+2.

- Ορισμός των εποχών

Η διαδικασία της “φασματικής ταξινόμησης” εφαρμόζεται ξανά, αυτή τη φορά στις χρονοσειρές των ενδοετήσιων διακυμάνσεων των συχνοτήτων των 12 CCs, ομαδοποιώντας τις ημερομηνίες εντός του έτους με παρόμοια κατανομή συχνοτήτων μεταξύ των CCs και ορίζοντας έτσι 4 εποχές.

2.3.8 Μέθοδος S για τον ορισμό των εποχών

Η τέταρτη και τελευταία μέθοδος αντικειμενικού ορισμού των εποχών, είναι η μέθοδος σύνθεσης (S), η οποία αποτελεί τον συνδυασμό όλων των προηγούμενων μεθόδων, δηλαδή της μεθόδου MVV, της μεθόδου WTF και της μεθόδου CTF. Η μέθοδος S (Σχήμα 5δ) εφαρμόζεται ως εξής:

- Κατασκευή πίνακα Κύριων Συνιστωσών (PCs)

Κατασκευάζεται ένας πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει τις ενδοετήσιες διακυμάνσεις των PCs και των τριών μεθόδων που προηγήθηκαν: της MVV, της WTF και της CTF.

- Ορισμός των εποχών

Εφαρμόζεται η CA στον ενοποιημένο πίνακα των PCs των τριών επιμέρους μεθόδων, ομαδοποιώντας τις ημερομηνίες εντός του έτους και ορίζοντας έτσι 4 εποχές.

Τέλος, σε κάθε μια από τις τέσσερις μεθόδους, επαναλαμβάνεται όλη η διαδικασία ορισμού των εποχών που ακολουθήθηκε για την ολική 70ετή περίοδο, για τις 5 επικαλυπτόμενες 30ετείς περιόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, προκειμένου να διερευνηθούν πιθανές μακροπρόθεσμες μεταβολές των χαρακτηριστικών των εποχών, όπως αλλαγές στα όρια και στη διάρκειά τους. Η επιλογή των επικαλυπτόμενων 30ετών περιόδων έγινε σε συμφωνία με τη σύσταση του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού - World Meteorological Organization (WMO) για τη μελέτη του κλίματος, προκειμένου να υπάρχουν ταυτόχρονα: α) περίοδοι με επαρκή αριθμό ετών, που είναι απαραίτητος για την εξάλειψη του θορύβου και τον ορισμό ομοιογενών εποχών και β) επαρκής αριθμός περιόδων, οι οποίες μπορούν να παρέχουν μια ένδειξη για τις μακροπρόθεσμες αλλαγές των ημερομηνιών έναρξης και λήξης και της διάρκειας των ορισμένων

εποχών. Η χρήση μικρότερων μη επικαλυπτόμενων περιόδων δεν θα οδηγούσε σε επιτυχή ορισμό ομοιογενών εποχών.

Κεφάλαιο 3

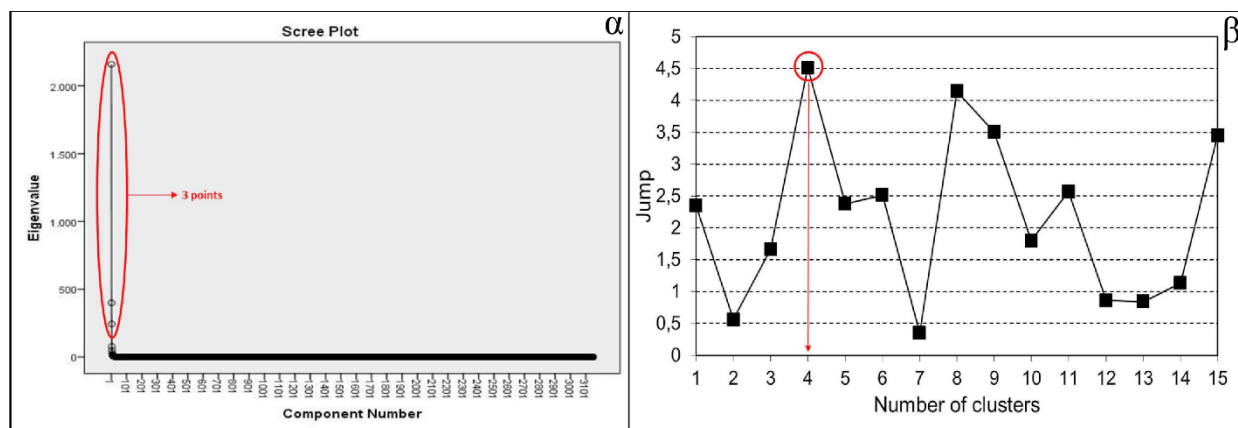
Μελέτη της μέσης ενδοετήσιας διακύμανσης των μετεωρολογικών παραμέτρων και ορισμός των εποχών

Στο Κεφάλαιο 3 πραγματοποιείται η μελέτη της μέσης ενδοετήσιας πορείας πλήθους (12) μετεωρολογικών παραμέτρων και γίνεται χρήση της για τον ορισμό των εποχών, με μία μέθοδο που ονομάζεται Meteorological Variables mean intra-annual Variation method ή μέθοδος MVV.

3.1 Ορισμός των εποχών για την 70ετή περίοδο 1949-2018 με τη μέθοδο MVV

Η εφαρμογή της PCA στις μέσες ενδοετήσιες χρονοσειρές των 12 παραμέτρων για ολόκληρη την 70ετή περίοδο 1949-2018, οδηγεί σε 3 PCs που αντιπροσωπεύουν το 88,9% της συνολικής διακύμανσης. Η εφαρμογή της CA στις χρονοσειρές των 3 PCs οδηγεί σε 4 συστάδες/clusters. Όπως αναφέρθηκε ήδη στην προηγούμενη ενότητα, ο αριθμός των PCs και των συστάδων αποφασίζεται λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του διαγράμματος Scree και της μεθόδου του Άλματος (Jump method), αντίστοιχα. Σύμφωνα με το διάγραμμα Scree (Σχήμα 6α), ο βέλτιστος αριθμός των PCs που συνιστάται να διατηρηθούν είναι 3, που ισούται με τον αριθμό των σημείων που αποκλίνουν σαφώς από τα υπόλοιπα. Τα αποτελέσματα του διαγράμματος Scree και το υψηλό ποσοστό της ολικής διακύμανσης το οποίο ερμηνεύεται (89%), υποδεικνύουν ότι η επιλογή των 3 PCs παρέχει μια αποτελεσματική ομαδοποίηση και αναπαράσταση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται. Δοκιμάστηκε επίσης να εφαρμοστεί η PCA χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς παραμέτρων, αλλά τα αποτελέσματα δεν διέφεραν σημαντικά από αυτά που βασίζονται σε 12 παραμέτρους, καθώς όλες οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση αντιπροσωπεύονται στην πραγματικότητα από τις τρεις PCs που διατηρήθηκαν. Ωστόσο, η χρήση πολλών παραμέτρων διασφαλίζει ότι το μεγαλύτερο μέρος της μεταβλητότητας του κλίματος συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση και ως εκ τούτου αποφασίστηκε να διατηρηθούν όλες οι παράμετροι. Στο διαγράμματος του Άλματος (Σχήμα 6β), μεταξύ των πιθανών αριθμών των συστάδων, η τιμή 4 εμφανίζει την υψηλότερη τιμή άλματος. Και οι δύο επιλογές, αριθμού PCs και αριθμού clusters, οδηγούν σε ενδιαφέροντα και φυσικά ερμηνεύσιμα αποτελέσματα. Οι 4 συστάδες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους μέσα στο έτος με κλιματολογικά ομοιογενή χαρακτηριστικά με βάση τις 12 παραμέτρους που χρησιμοποιούνται. Αυτές οι χρονικές περίοδοι αντιστοιχούν στις αντικειμενικά ορισμένες εποχές. Οι αποστάσεις των ταξινομημένων ημερομηνιών από τα κέντρα των συστάδων (οι ελάχιστες αποστάσεις αντιστοιχούν σε ημερομηνίες που ανήκουν ξεκάθαρα σε κάθε εποχή/συστάδα) παρουσιάζονται στο Σχήμα 7, ενώ στα Σχήματα 8-11 παρουσιάζονται οι μέσες χωρικές κατανομές των παραμέτρων για κάθε εποχή (δεν παρουσιάζονται

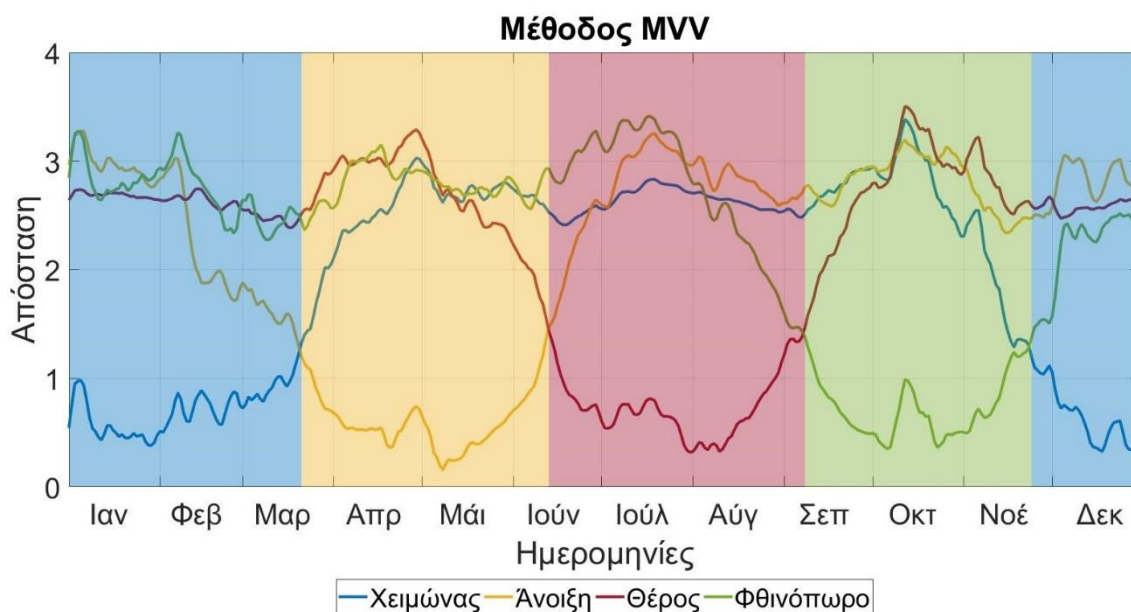
οι χάρτες του ανωμεταφορικού νετού και του νετίσιμου ύδατος λόγω μεγάλου βαθμού ομοιότητάς τους με αντίστοιχους άλλων σχετικών παραμέτρων), οι οποίες προκύπτουν ως οι μέσες τιμές όλων των επιμέρους χωρικών κατανομών των ημερομηνιών που ανήκουν σε κάθε εποχή. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι χάρτες των παραμέτρων έχουν γίνει και για τις κεντρικές ημερομηνίες κάθε εποχής, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως οι πιο αντιπροσωπευτικές ημερομηνίες της αντίστοιχης εποχής, ενώ δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές από τους αντίστοιχους μέσους χάρτες. Ως κεντρική ημερομηνία μιας συστάδας θεωρείται αυτή η οποία βρίσκεται πιο κοντά στο κέντρο κάθε συστάδας/εποχής, δηλαδή εμφανίζει τη μικρότερη ευκλείδεια απόσταση.



Σχήμα 6. (α) Το διάγραμμα Scree που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των PCs και (β) το διάγραμμα του Άλματος (Jump) που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των συστάδων. Τα κόκκινα σημάδια υποδεικνύουν τους επιλεγμένους αριθμούς.

Στο Σχήμα 7, φαίνεται ότι οι 4 αντικειμενικά ορισμένες εποχές της Μεσογείου είναι επαρκώς διακριτές και ομοιογενείς, λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικά ομαλές ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα αντίστοιχα κέντρα των συστάδων. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, η ταξινόμηση που πραγματοποιείται με την εφαρμογή της CA βασίζεται στον υπολογισμό της ευκλείδειας απόστασης. Συγκεκριμένα, για κάθε ημερομηνία του έτους υπολογίζεται η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των τιμών των PCs γι' αυτή την ημερομηνία και καθενός από τα κέντρα των συστάδων και η ημερομηνία αυτή κατατάσσεται στη συστάδα από το κέντρο της οποίας προκύπτει η μικρότερη απόσταση. Στο Σχήμα 7, με τα διαφορετικά χρώματα παρουσιάζονται οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων κάθε ημερομηνίας από τα κέντρα των συστάδων/εποχών. Όλα τα διαγράμματα των ενδοετήσιων διακυμάνσεων των αποστάσεων των ημερομηνιών από τα κέντρα των εποχών, σχεδιάστηκαν με τη χρήση της Matlab (Παράρτημα 3, Κώδικας 1). Συγκεκριμένα, η καμπύλη με το μπλε χρώμα αντιστοιχεί στις ευκλείδειες αποστάσεις των ημερομηνιών από το κέντρο της συστάδας του χειμώνα και αντίστοιχα, η κίτρινη καμπύλη αφορά την εποχή της άνοιξης, η κόκκινη καμπύλη αναφέρεται στις αποστάσεις των ημερομηνιών από το

κέντρο της συστάδας του θέρους και η καμπύλη με πράσινο χρώμα αφορά την εποχή του φθινοπώρου. Σύμφωνα με το Σχήμα 7, οι 4 εποχές γενικά φαίνεται να αντιστοιχούν στις συμβατικές, αλλά η διάρκειά τους και οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης τους διαφέρουν σημαντικά. Αναλυτικά, η αντικειμενικά ορισμένη χειμερινή περίοδος (μπλε φόντο) ξεκινά στις 24 Νοεμβρίου και τελειώνει στις 20 Μαρτίου και διαρκεί περίπου 4 μήνες (117 ημέρες), η αντικειμενικά ορισμένη άνοιξη (κίτρινο φόντο) είναι από τις 21 Μαρτίου έως τις 12 Ιουνίου και είναι μια εβδομάδα μικρότερη από 3 μήνες (84 ημέρες), το αντικειμενικά ορισμένο θέρος (κόκκινο φόντο) ξεκινά στις 13 Ιουνίου και τελειώνει στις 7 Σεπτεμβρίου με διάρκεια περίπου 3 μήνες (87 ημέρες) και το αντικειμενικά ορισμένο φθινόπωρο (πράσινο φόντο) συμπληρώνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 77 ημερών (8 Σεπτεμβρίου - 23 Νοεμβρίου). Φυσικά, οι ημέρες που είναι κοντά στα όρια αλλαγών των εποχών χαρακτηρίζονται από αποστάσεις περίπου του ίδιου μεγέθους και μπορούν να θεωρηθούν ως μεταβατικές ημέρες με μικτά κλιματικά χαρακτηριστικά.



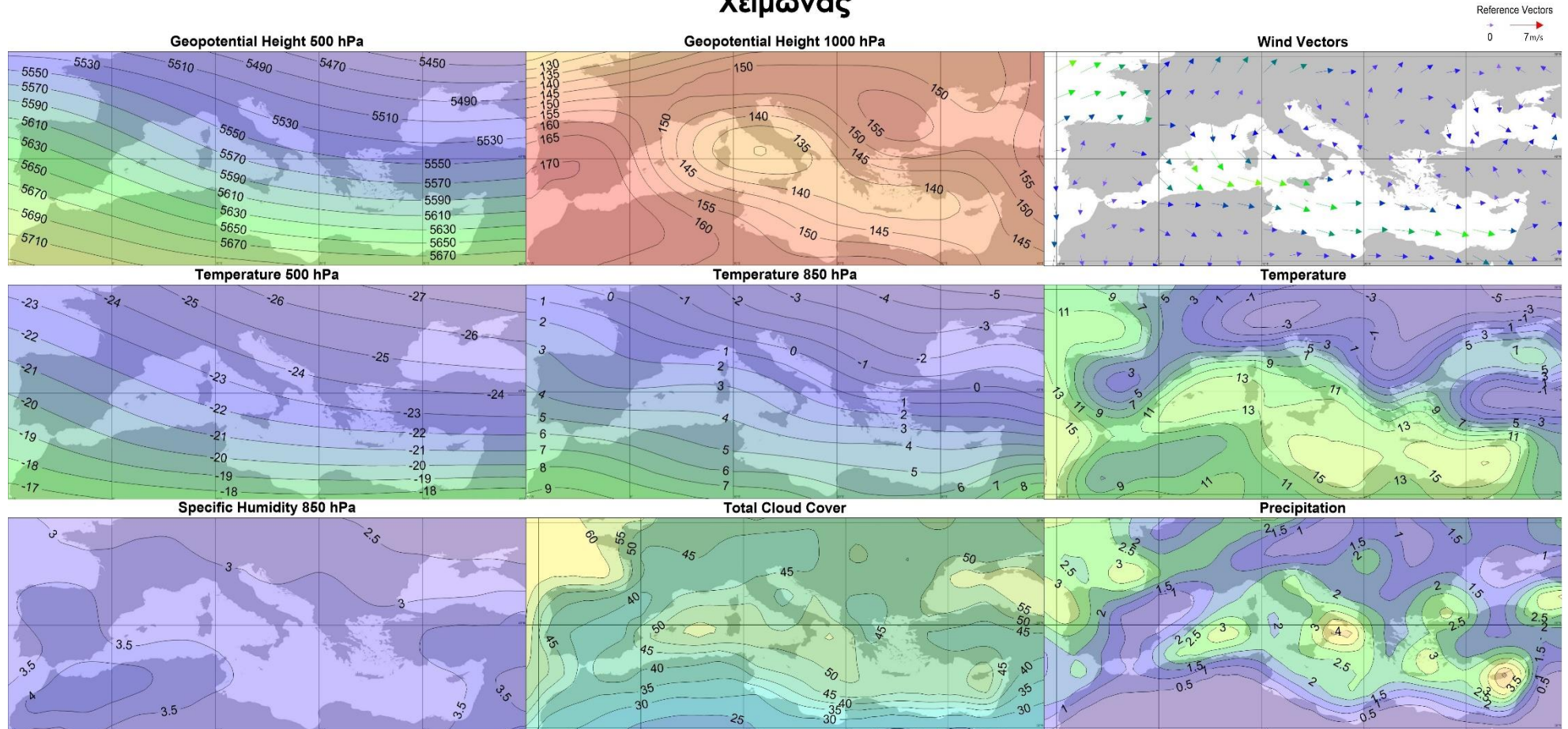
Σχήμα 7. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών για την περίοδο 1949-2018, όπως υπολογίζονται με τη μέθοδο MVV.

Στο Σχήμα 8, παρουσιάζονται οι μέσες χωρικές κατανομές των 10 μετεωρολογικών παραμέτρων για την εποχή του χειμώνα, κατά την περίοδο 70 ετών 1949-2018. Οι 10 παράμετροι είναι: το γεωδυναμικό ύψος (σε gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa και 1000hPa, τα διανύσματα του ανέμου (το μέτρο σε m/s) στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, οι θερμοκρασίες (σε °C) των ισοβαρικών επιφανειών των 500hPa, των 850hPa και στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, η ειδική υγρασία (σε g/kg) στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa, η ολική νεφοκάλυψη (σε %) και ο ρυθμός υετού (σε mm/ημέρα). Τα διανύσματα του ανέμου προκύπτουν ως η σύνθεση της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου και το μέτρο τους στον χάρτη υποδεικνύεται από το μήκος και

το χρώμα των διανυσμάτων. Στο Σχήμα 8, παρατηρείται ότι το χειμώνα, όπως αναμένεται, η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλότερη πάνω από τη θάλασσα (Μεσόγειος Θάλασσα, Μαύρη Θάλασσα και Βόρειος Ατλαντικός Ωκεανός) και στις παράκτιες περιοχές σε σύγκριση με την ενδοχώρα. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζονται στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη. Η κυκλωνική δραστηριότητα είναι έντονη και συχνή κατά μήκος του άξονα της Μεσογείου Θάλασσας και έχει να κάνει με την αλληλεπίδραση των δυτικών ανέμων με το ανάγλυφο και την ύπαρξη έντονης βαροκλινικότητας κατά μήκος των ακτών. Αυτές οι ατμοσφαιρικές συνθήκες έχουν ως συνέπεια την εκτεταμένη νεφοκάλυψη και τα σημαντικά ποσά υετού στις γύρω περιοχές, συμπεριλαμβανομένων του Ιονίου και του Αιγαίου Πελάγους καθώς και της περιοχής της Κύπρου (Trigo et al. 1999, Maheras et al. 2001, Alpert et al. 2004a). Η άνοιξη (Σχήμα 9) χαρακτηρίζεται από αυξημένη νέφωση και σημαντικά ποσά υετού στις ηπειρωτικές περιοχές βόρεια της Μεσογείου, τα οποία οφείλονται στην υψηλή στατική αστάθεια που προκαλείται από την έντονη θέρμανση του εδάφους και τη συχνή παρουσία διαταραχών συνοδευόμενων από ψυχρές μάζες στην ανώτερη ατμόσφαιρα (Lolis et al. 2004). Στην ανατολική Μεσόγειο, και συγκεκριμένα στην Μέση Ανατολή, εμφανίζονται ισχυρές υφέσεις με μεγάλη συχνότητα ή/και εμμονή και επικρατεί γενικά μια ισχυρή βορειοδυτική ροή, με τη μεταφορά υγρών αέριων μαζών από τη Μαύρη Θάλασσα. Αυτές οι συνοπτικές συνθήκες, συνδέονται με την αυξημένη υγρασία και τα αυξημένα ποσά υετού στις γύρω περιοχές (Trigo et al. 1999, Alpert et al. 2004a). Το θέρος (Σχήμα 10), το καθεστώς κυκλοφορίας στη Μεσόγειο χαρακτηρίζεται από την επικράτηση του θερμικού χαμηλού της ΝΔ Ασίας και την επέκταση του αντικυκλώνα των Αζορών βορειοανατολικά προς τη Μεσόγειο και τη Νότια Ευρώπη. Το θερμικό χαμηλό έχει ως αποτέλεσμα την επικράτηση βόρειων-βορειοανατολικών ανέμων στην ανατολική Μεσόγειο και το Αιγαίο πέλαγος, οι οποίοι είναι γνωστοί ως ετησίες άνεμοι (Maheras et al. 2001, Lionello and Sanna 2005, Tyrlis και Lelieveld 2013). Πολύ θερμές και ξηρές συνθήκες επικρατούν στο νότιο τμήμα της περιοχής, ενώ σημαντικά ποσά νέφωσης και βροχόπτωσης παρατηρούνται μόνο στις ηπειρωτικές περιοχές βόρεια της Μεσογείου, όπου η υψηλή στατική αστάθεια και η έντονη θέρμανση του εδάφους ευθύνονται για τη συχνή ή/και ισχυρή ανωμεταφορά. Οι υποτροπικές συνθήκες που επικρατούν στα νότια τμήματα της περιοχής συνδέονται με την κυρίαρχη επιρροή του ενισχυμένου υποτροπικού αντικυκλώνα των Αζορών και την πολύ υψηλή στατική ευστάθεια πάνω από τα δροσερά (σε σχέση με τον υπερκείμενο αέρα) μεσογειακά νερά (Alpert et al. 2004b, Lolis et al. 2004). Τέλος, για το φθινόπωρο (Σχήμα 11), η συχνή παρουσία ή η μεγάλη εμμονή ισχυρών βαρομετρικών χαμηλών δυτικά της Ιταλίας ευθύνεται για τα υψηλά ποσά υετού στη χώρα, ενώ αντικυκλωνικές συνθήκες επικρατούν στα βορειοανατολικά Βαλκάνια, όπου κυριαρχεί βόρεια ροή. Επίσης, παρατηρείται μια έντονη θερμοκρασιακή βαθμίδα κατά μήκος των ακτών της βόρειας Μεσογείου, όπου η θερμοκρασία αλλάζει έντονα σε μικρή κλίμακα χώρου, ενώ η νεφοκάλυψη είναι

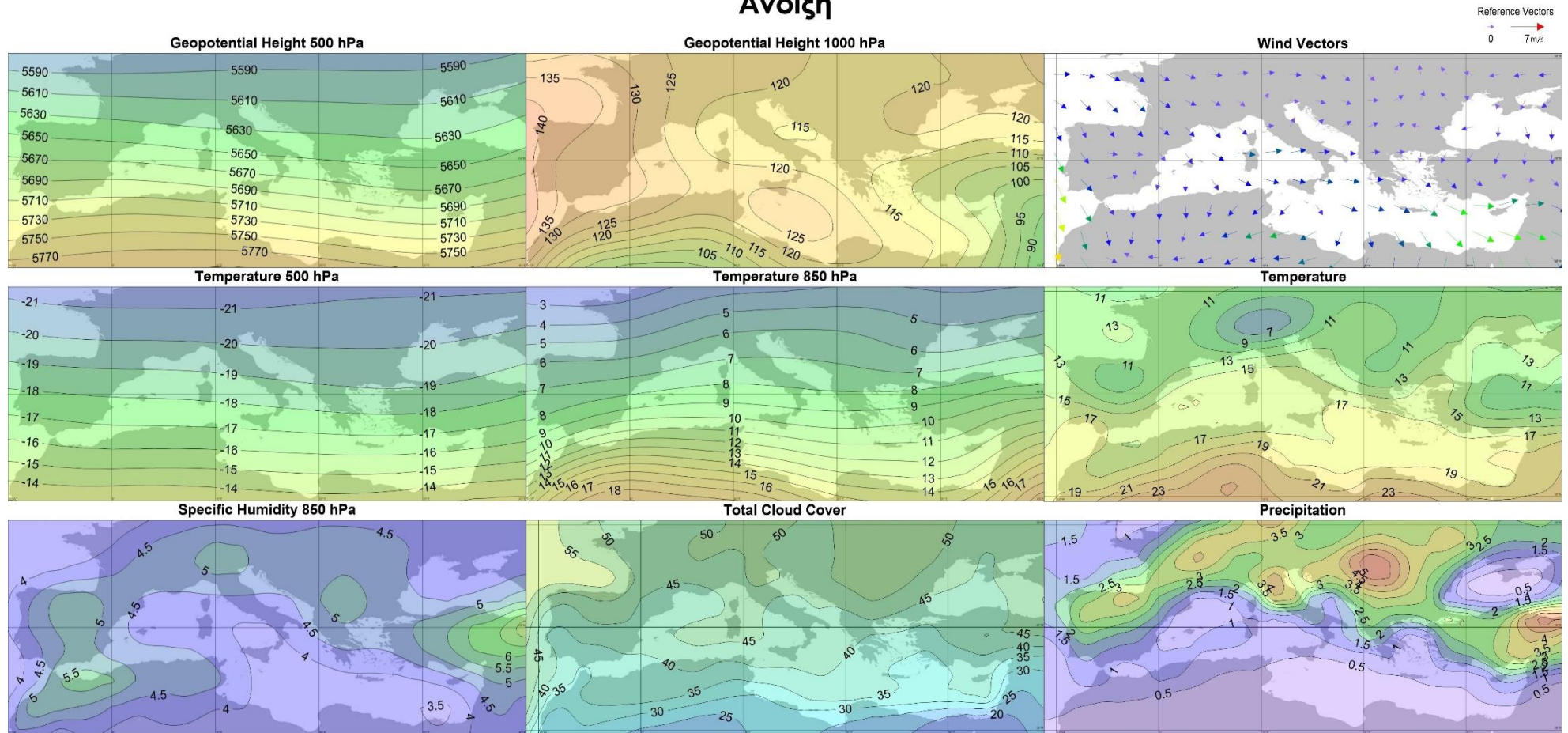
μέγιστη στην κεντρική και δυτική Μεσόγειο Θάλασσα. Μια οριζόντια βαθμίδα της ειδικής υγρασίας είναι επίσης εμφανής, με πιο υγρές συνθήκες στη δυτική Μεσόγειο Θάλασσα.

Χειμώνας



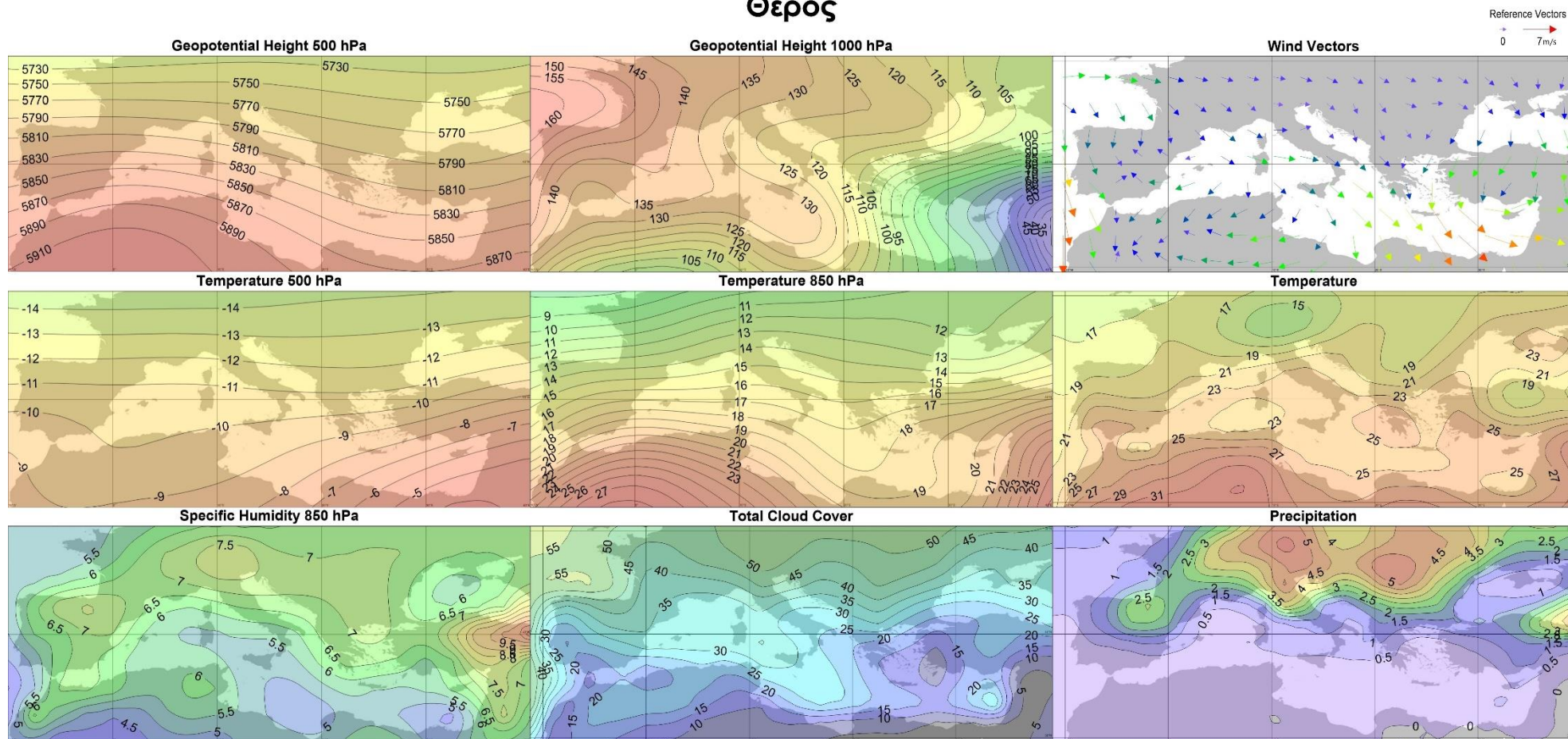
Σχήμα 8. Οι χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών των γεωδυναμικών υψών (gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa και 1000hPa, των διανυσμάτων του ανέμου (m/s) στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, των θερμοκρασιών (°C) των ισοβαρικών επιφανειών των 500hPa, των 850hPa και στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, της ειδικής υγρασίας (g/kg) στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa, της ολικής νεφοκάλυψης (%) και του ρυθμού υετού (mm/ημέρα) για την ολική περίοδο 1949-2018, για τον χειμώνα όπως ορίστηκε από τη μέθοδο MVV.

Άνοιξη



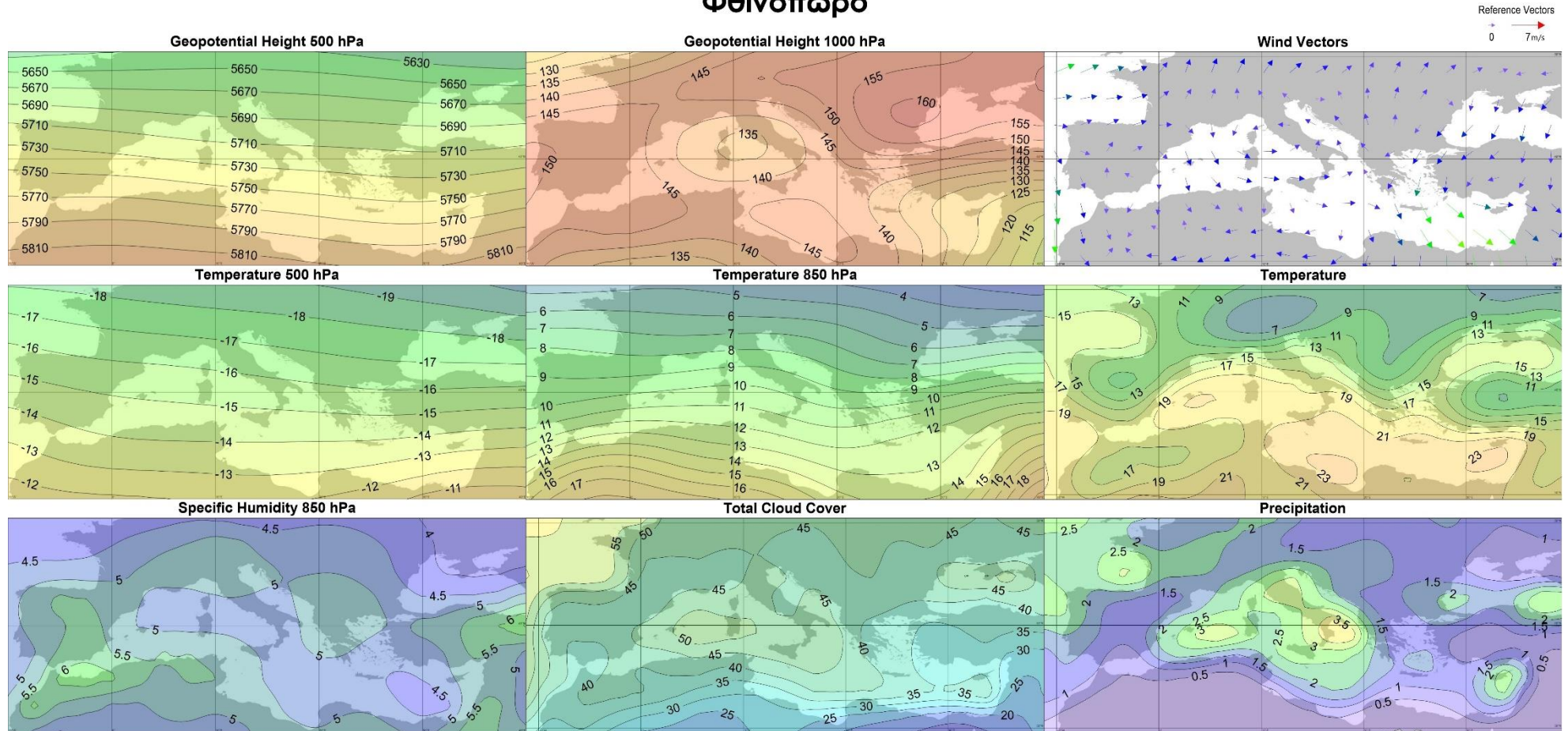
Σχήμα 9. Όπως στο Σχήμα 8, αλλά για την άνοιξη.

Θέρος



Σχήμα 10. Όπως στο Σχήμα 8, αλλά για το θέρος.

Φθινόπωρο



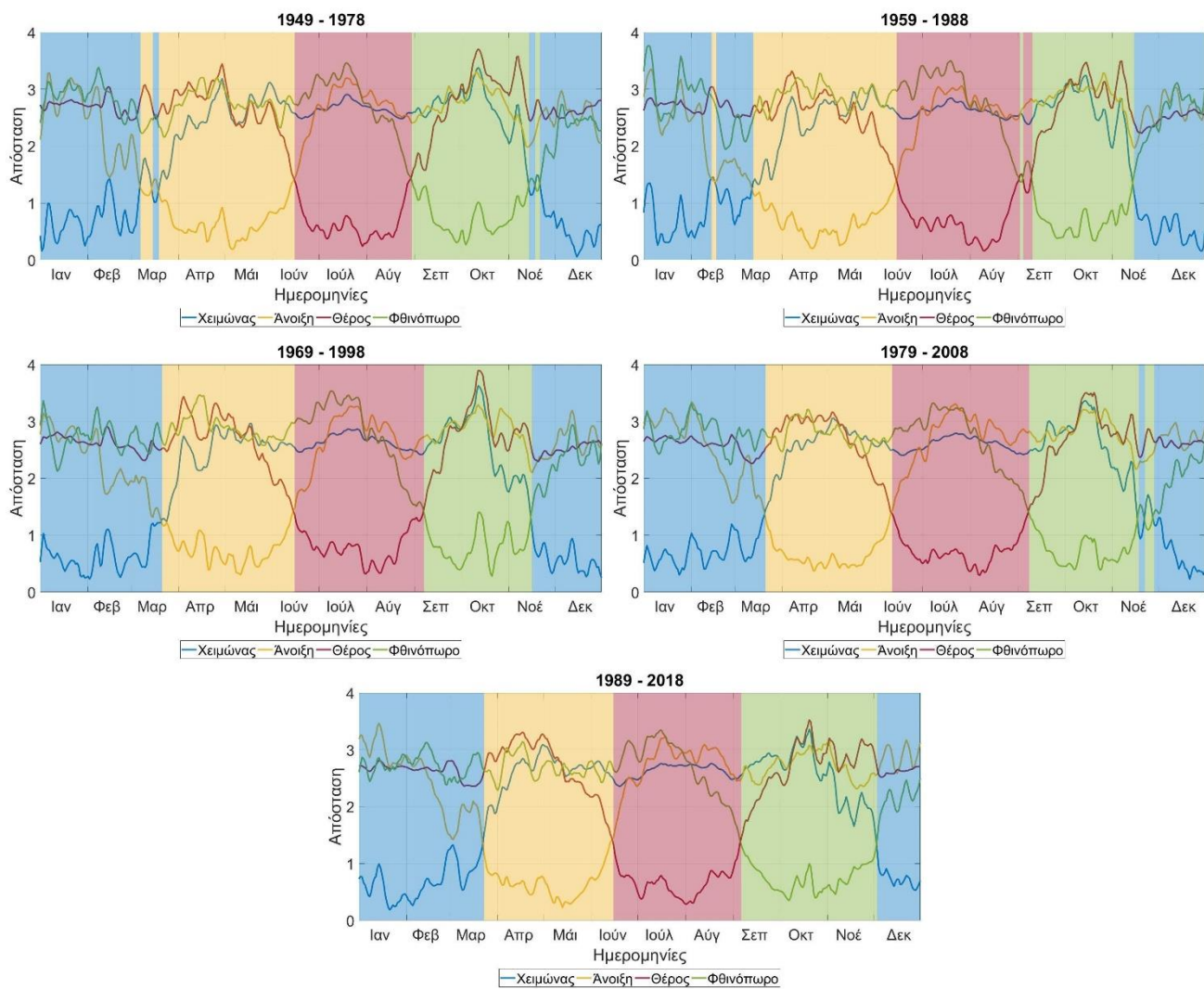
Σχήμα 11. Όπως στο Σχήμα 8, αλλά για το φθινόπωρο.

3.2 Μακροπρόθεσμες αλλαγές των εποχών βάσει της μεθόδου MVV

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για ολόκληρη την 70ετή περίοδο 1949-2018 εφαρμόζεται επίσης για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, με σκοπό τη διερεύνηση πιθανών διαχρονικών αλλαγών των χαρακτηριστικών των εποχών της Μεσογείου. Αξίζει να σημειωθεί ότι για όλες τις υποπεριόδους η μεθοδολογία οδηγεί σε 4 συστάδες και επομένως ορίζονται αντικειμενικά 4 εποχές. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των συστάδων/εποχών για τις πέντε υποπεριόδους παρουσιάζονται στο Σχήμα 12. Παρατηρείται ότι, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις η διάκριση μεταξύ των εποχών είναι σαφής, σε άλλες περιπτώσεις είναι κάπως πιο περίπλοκη. Επίσης, υπάρχουν ορισμένες μικρές περιόδους του έτους όπου οι αποστάσεις από τα κέντρα των διαφορετικών συστάδων είναι παραπλήσιες και η διάκριση μεταξύ των εποχών που επικρατούν κατά τη διάρκεια αυτών των ημερομηνιών είναι δύσκολη. Αυτή η δυσκολία, που δεν ήταν εμφανής για την περίοδο των 70 ετών (Σχήμα 7), προκύπτει από τον μικρότερο αριθμό ετών (30 αντί για 70), ο οποίος ευθύνεται για λιγότερο σταθερές στατιστικές παραμέτρους (μακροπρόθεσμους μέσους όρους) που οδηγούν σε μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην ταξινόμηση των ημερομηνιών στην κατάλληλη εποχή. Οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης και η διάρκεια των εποχών για κάθε υποπερίοδο παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Ακόμα, κατασκευάζονται οι μέσοι χάρτες των εποχών κάθε 30ετής υποπεριόδου από την ολική 70ετή περίοδο για κάθε εποχή και για κάθε παράμετρο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι χάρτες των εποχών της θερμοκρασίας και του υετού, οι οποίοι παρουσιάζονται στα Σχήματα 13-17. Οι χάρτες των εποχών των υπολοίπων παραμέτρων βρίσκονται Παράρτημα 1 και συγκεκριμένα στα Σχήματα Π 1-20. Οι εποχές υπολογίζονται ως οι διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών όλων των ημερομηνιών που ανήκουν στην εποχή της συγκεκριμένης 30ετής υποπεριόδου και των μέσων τιμών όλων των ημερομηνιών που ανήκουν στην αντίστοιχη εποχή της ολικής 70ετής περιόδου. Έτσι, οι χωρικές κατανομές των εποχών δείχνουν τις αποκλίσεις των τιμών των αντίστοιχων παραμέτρων κατά τη συγκεκριμένη υποπερίοδο από τις μακροπρόθεσμες μέσες τιμές ολόκληρης της περιόδου 1949-2018, για κάθε εποχή. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να διαπιστωθεί αν μια υποπερίοδος είναι πιο υγρή/ξηρή ή θερμή/ψυχρή σε σύγκριση με την ολική περίοδο. Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι χάρτες των εποχών έχουν γίνει και για τις κεντρικές ημερομηνίες κάθε εποχής για κάθε υποπερίοδο, ενώ δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές από τους αντίστοιχους μέσους χάρτες.

Πίνακας 1. Οι ημερομηνίες έναρξης/λήξης και η διάρκεια των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών για κάθε μία από τις επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, καθώς και για την ολική 70ετή περίοδο 1949-2018, όπως ορίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο MVV.

	1949-1978		1959-1988	
Εποχή	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
Χειμώνας	14/11 - 17/11, 21/11 - 6/3, 15/3 - 18/3	114	15/11 - 13/2, 17/2 - 12/3	115
Άνοιξη	7/3 - 14/3, 19/3 - 14/6	96	14/2 - 16/2, 13/3 - 13/6	96
Θέρος	15/6 - 29/8	76	14/6 - 1/9, 4/9 - 9/9	86
Φθινόπωρο	30/8 - 13/11, 18/11 - 20/11	79	2/9 - 3/9, 10/9 - 14/11	68
	1969-1998		1979-2008	
Εποχή	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
Χειμώνας	16/11 - 20/3	125	18/11 - 21/11, 28/11 - 20/3	117
Άνοιξη	21/3 - 14/6	86	21/3 - 10/6	82
Θέρος	15/6 - 6/9	84	11/6 - 7/9	89
Φθινόπωρο	7/9 - 15/11	70	8/9 - 17/11, 22/11 - 27/11	77
	1989-2018		1949-2018	
Εποχή	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
Χειμώνας	3/12 - 22/3	110	24/11 - 20/3	117
Άνοιξη	23/3 - 14/6	84	21/3 - 12/6	84
Θέρος	15/6 - 5/9	83	13/6 - 7/9	87
Φθινόπωρο	6/9 - 2/12	88	8/9 - 23/11	77



Σχήμα 12. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών, σύμφωνα με τη μέθοδο MVV, για κάθε μία από τις επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018.

Σε ό,τι αφορά την πρώτη υποπερίοδο 1949-1978 (Σχήμα 13), οι αντικειμενικά ορισμένες εποχές του χειμώνα και του φθινοπώρου διαρκούν περίπου το ίδιο με τις αντίστοιχες εποχές της ολικής 70ετούς περιόδου, ενώ η άνοιξη είναι μεγαλύτερη και το θέρος μικρότερο. Επίσης, παρατηρείται ότι η περίοδος αυτή είναι γενικά πιο υγρή και χαρακτηρίζεται από πιο έντονη/συχνή κυκλωνική δραστηριότητα ή/και πιο ασθενή/σπάνια αντικυκλωνική δραστηριότητα, με πιο θερμές τις εποχές του χειμώνα και του φθινοπώρου και ψυχρότερες τις εποχές της άνοιξης και του θέρους. Ο χειμώνας περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 14-17 Νοεμβρίου, 21 Νοεμβρίου - 6 Μαρτίου και 15-18 Μαρτίου και διαρκεί 114 ημέρες. Υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην νότια Ευρώπη, τα Βαλκάνια και τη Μέση Ανατολή, ενώ μεγαλύτερα ποσά υετού σημειώνονται πάνω από τη Μεσόγειο Θάλασσα. Η άνοιξη αποτελείται από τις ημερομηνίες 7-14 Μαρτίου και 19 Μαρτίου - 14 Ιουνίου, έχει διάρκεια 96 ημέρες και είναι ψυχρότερη και υγρότερη. Ακολουθεί το θέρος, το οποίο ξεκινά στις 15 Ιουνίου

και τελειώνει στις 29 Αυγούστου διαρκώντας 76 ημέρες, με χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την 70ετή περίοδο να παρατηρούνται σε όλη την περιοχή μελέτης ενώ οι μεγαλύτερες αποχές υετού εμφανίζονται πάνω από την Ευρώπη. Τέλος το φθινόπωρο (30 Αυγούστου - 13 Νοεμβρίου και 18-20 Νοεμβρίου) κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 79 ημερών, είναι ιδιαίτερα θερμότερο και οι μεγαλύτερες θετικές αποχές υετού παρατηρούνται πάνω από την Ευρώπη ενώ στη Μεσόγειο Θάλασσα εμφανίζονται αρνητικές αποχές υετού.

Η δεύτερη 30ετής υποπερίοδος 1959-1988 (Σχήμα 14) χαρακτηρίζεται από μια μεγαλύτερη άνοιξη, ένα μικρότερο φθινόπωρο ενώ ο χειμώνας και το θέρος έχουν ίση διάρκεια με τις αντίστοιχες εποχές που ορίζονται για την ολική 70ετή περίοδο. Χαρακτηρίζεται από ψυχρότερες και υγρότερες εαρινές και θερινές περιόδους, θερμότερα και ξηρότερα φθινόπωρα, ενώ οι χειμώνες έχουν μικτά χαρακτηριστικά. Ακόμα, με εξαίρεση την εποχή του φθινοπώρου, η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από πιο έντονη/συχνή κυκλωνική δραστηριότητα ή/και πιο ασθενή/σπάνια αντικυκλωνική δραστηριότητα. Ο χειμώνας διαρκεί 115 ημέρες και περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 15 Νοεμβρίου - 13 Φεβρουαρίου και 17 Φεβρουαρίου - 12 Μαρτίου. Χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην Ευρώπη ενώ η Μεσόγειος είναι λίγο θερμότερη σε σχέση με την 70ετή περίοδο. Ακολουθεί η άνοιξη που αποτελείται από τις ημερομηνίες 14-16 Φεβρουαρίου και 13 Μαρτίου - 13 Ιουνίου, διαρκεί 96 ημέρες και είναι ιδιαίτερα ψυχρότερη και λίγο πιο υγρή σε σχέση με την αντίστοιχη άνοιξη της 70ετίας. Το θέρος είναι ψυχρότερο και υγρότερο και έχει διάρκεια 86 ημερών, περιλαμβάνοντας τις ημερομηνίες 14 Ιουνίου - 1 Σεπτεμβρίου και 4-9 Σεπτεμβρίου. Τέλος, το φθινόπωρο αποτελείται από τις περιόδους 2-3 Σεπτεμβρίου και 10 Σεπτεμβρίου - 14 Νοεμβρίου, έχει διάρκεια 68 ημέρες και, σε σύγκριση με το φθινόπωρο της ολικής περιόδου, χαρακτηρίζεται από υψηλότερες θερμοκρασίες σε όλη την περιοχή μελέτης ενώ πιο υγρές συνθήκες επικρατούν στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο.

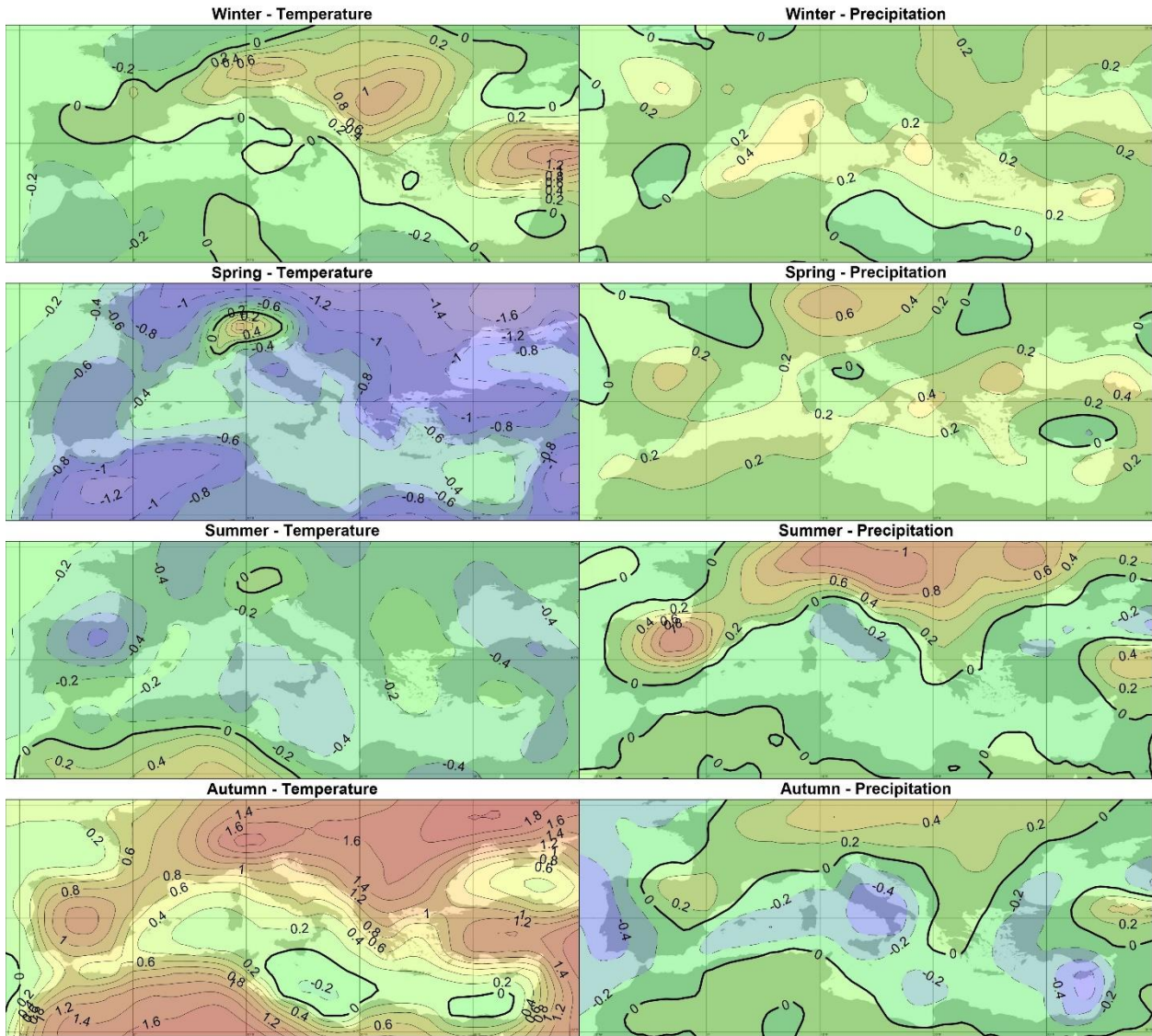
Συγκρίνοντας τις αντικειμενικά ορισμένες εποχές της υποπεριόδου 1969-1998 (Σχήμα 15) με αυτές της ολικής περιόδου, αποκαλύπτεται ότι ο χειμώνας είναι μια εβδομάδα μεγαλύτερος ενώ το φθινόπωρο είναι μια εβδομάδα μικρότερο, ενώ οι διάρκειες της άνοιξης και του θέρους είναι παρόμοιες. Γενικά, η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από ξηρότερες συνθήκες και χαμηλότερες θερμοκρασίες, με εξαίρεση το φθινόπωρο. Ακόμα, η περίοδος αυτή βιώνει λιγότερη συχνή ή/και ασθενέστερη κυκλωνική δραστηριότητα και πιο συχνή ή/και εντονότερη αντικυκλωνική δραστηριότητα. Ο χειμώνας είναι από τις 16 Νοεμβρίου έως τις 20 Μαρτίου και διαρκεί 125 ημέρες, η άνοιξη είναι η περίοδος 21 Μαρτίου - 14 Ιουνίου με διάρκεια 86 ημερών, το θέρος ξεκινά στις 15 Ιουνίου και τελειώνει στις 6 Σεπτεμβρίου και διαρκεί 84 ημέρες και ο ετήσιος κύκλος κλείνει με το φθινόπωρο (7 Σεπτεμβρίου - 15 Νοεμβρίου) το οποίο έχει διάρκεια 70 ημερών.

Η περίοδος 1979-2008 (Σχήμα 16) είναι γενικά μια ξηρή και ψυχρή περίοδος με την επικράτηση πιο συχνών/έντονων αντικυκλωνικών συνθηκών και πιο σπάνιων/ασθενών κυκλωνικών συνθηκών, με τις εποχές της να διαρκούν σχεδόν το ίδιο με τις αντίστοιχες εποχές της 70ετούς περιόδου. Ο χειμώνας αποτελείται από τις ημερομηνίες 18-21 Νοεμβρίου και 28 Νοεμβρίου - 20 Μαρτίου και διαρκεί 117 ημέρες, η άνοιξη έρχεται στις 21 Μαρτίου και φεύγει στις 10 Ιουνίου διαρκώντας 82 ημέρες, το θέρος έχει διάρκεια 89 ημερών από τις 11 Ιουνίου έως τις 7 Σεπτεμβρίου και το φθινόπωρο περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 8 Σεπτεμβρίου - 17 Νοεμβρίου και 22-27 Νοεμβρίου και έχει διάρκεια 77 ημέρες.

Τέλος, τα αποτελέσματα για την τελευταία υποπερίοδο, 1989-2018 (Σχήμα 17), αποκαλύπτουν μικρότερες χειμερινές και θερινές περιόδους, μεγαλύτερη διάρκεια φθινοπώρου και ίση διάρκεια της άνοιξης, σε σύγκριση με τις εποχές της 70ετίας. Επίσης, παρατηρούνται θετικές αποχές των γεωδυναμικών υψών στην επιφάνεια και στη μέση τροπόσφαιρα, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από λιγότερο συχνή/έντονη κυκλωνική δραστηριότητα και συχνότερη/εντονότερη αντικυκλωνική δραστηριότητα. Ο χειμώνας ξεκινά στις 3 Δεκεμβρίου και τελειώνει στις 22 Μαρτίου, διαρκώντας 110 ημέρες και είναι ξηρότερος και ψυχρότερος από τον αντίστοιχο χειμώνα της ολικής περιόδου. Η άνοιξη είναι από τις 23 Μαρτίου έως τις 14 Ιουνίου, έχει διάρκεια 84 ημερών και χαρακτηρίζεται από υψηλότερες θερμοκρασίες και μικρότερα ποσά υετού, σε σχέση με την άνοιξη της ολικής περιόδου. Το θέρος είναι θερμότερο και ξηρότερο και περιλαμβάνει την περίοδο 15 Ιουνίου - 7 Σεπτεμβρίου διαρκώντας 83 ημέρες. Τέλος, το φθινόπωρο ξεκινά στις 6 Σεπτεμβρίου και τελειώνει στις 2 Δεκεμβρίου με διάρκεια 88 ημερών, με αρνητικές αποχές της θερμοκρασίας σχεδόν σε όλη την περιοχή ενώ θετικές αποχές του υετού παρατηρούνται στις περιοχές κατά μήκος του άξονα της Μεσογείου.

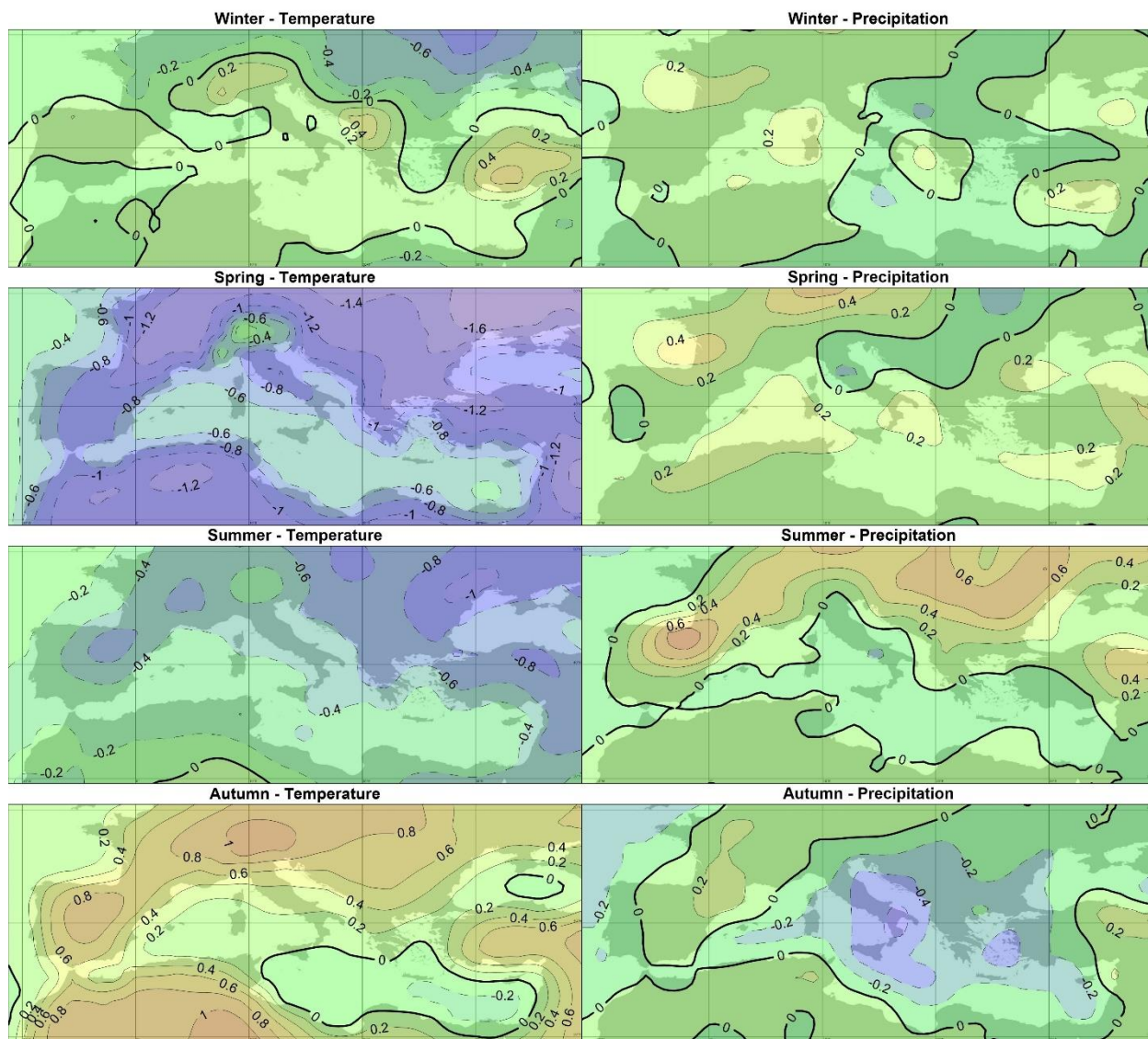
Αξίζει να σημειωθεί ότι από τις μεταβάσεις μεταξύ των ορισμένων εποχών, μόνο η μετάβαση από την άνοιξη στο θέρος φαίνεται απόλυτα σαφής σε όλες τις 30ετείς υποπεριόδους. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι αυτή η μετάβαση συμβαίνει κατά τη διάρκεια μιας περιόδου του έτους με χαμηλό επίπεδο συνοπτικής δραστηριότητας, έτσι ώστε να αντικατοπτρίζει κυρίως την ενδοετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας, και όχι τόσο τη μεταβλητότητα που σχετίζεται με μεταβολές των συνοπτικών συνθηκών. Αυτό δεν ισχύει για τις άλλες τρεις μεταβατικές περιόδους που επηρεάζονται από τη μεταβλητότητα της δράσης των Μεσογειακών υφέσεων.

1949 - 1978



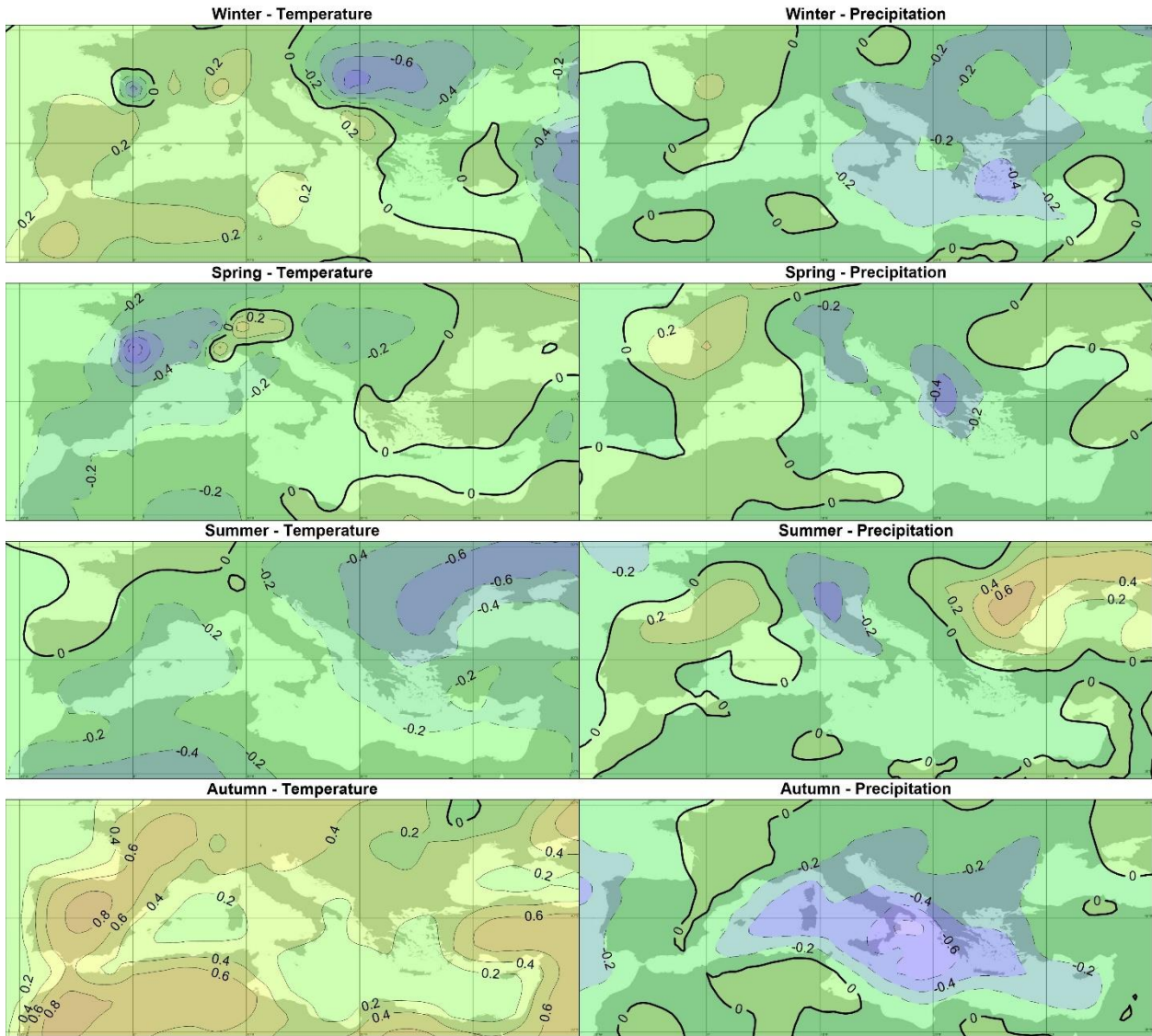
Σχήμα 13. Οι μέσοι χάρτες των αποχών της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) και του ρυθμού νετού (mm/ημέρα) για τις 4 εποχές της υποπεριόδου 1949-1978.

1959 - 1988



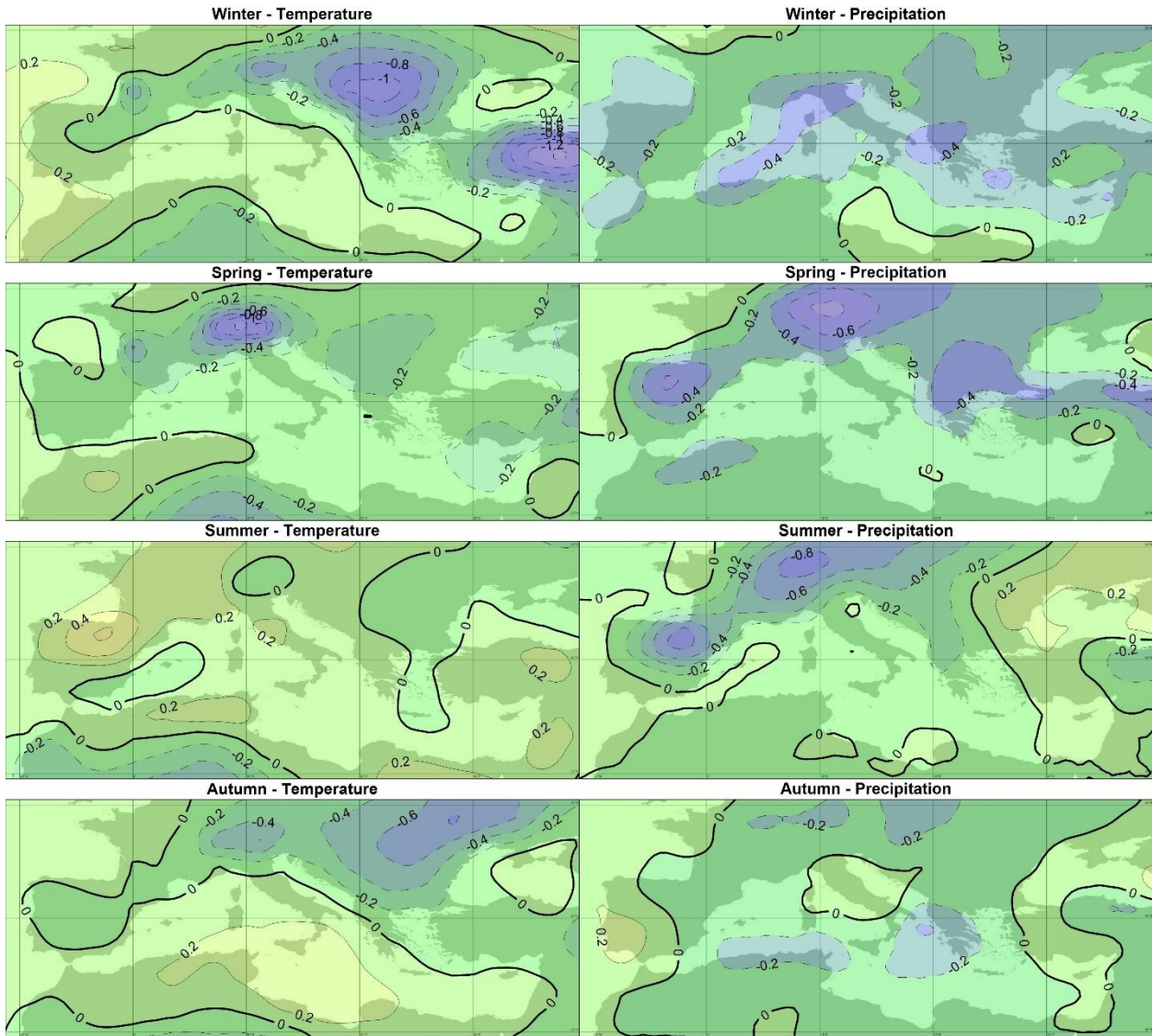
Σχήμα 14. Όπως στο Σχήμα 13, αλλά για την υποπερίοδο 1959-1988.

1969 - 1998



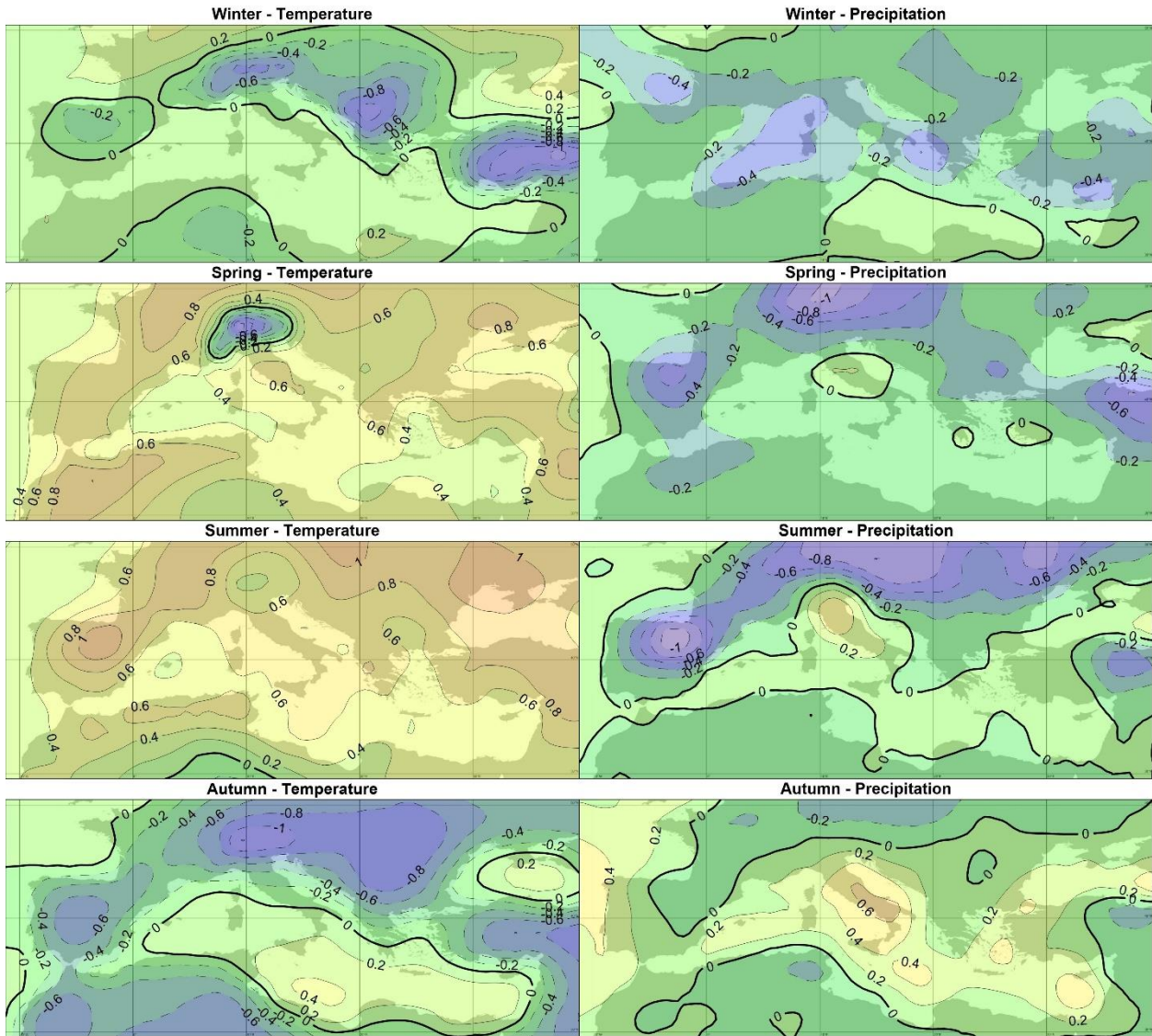
Σχήμα 15. Όπως στο Σχήμα 13, αλλά για την υποπερίοδο 1969-1998.

1979 - 2008

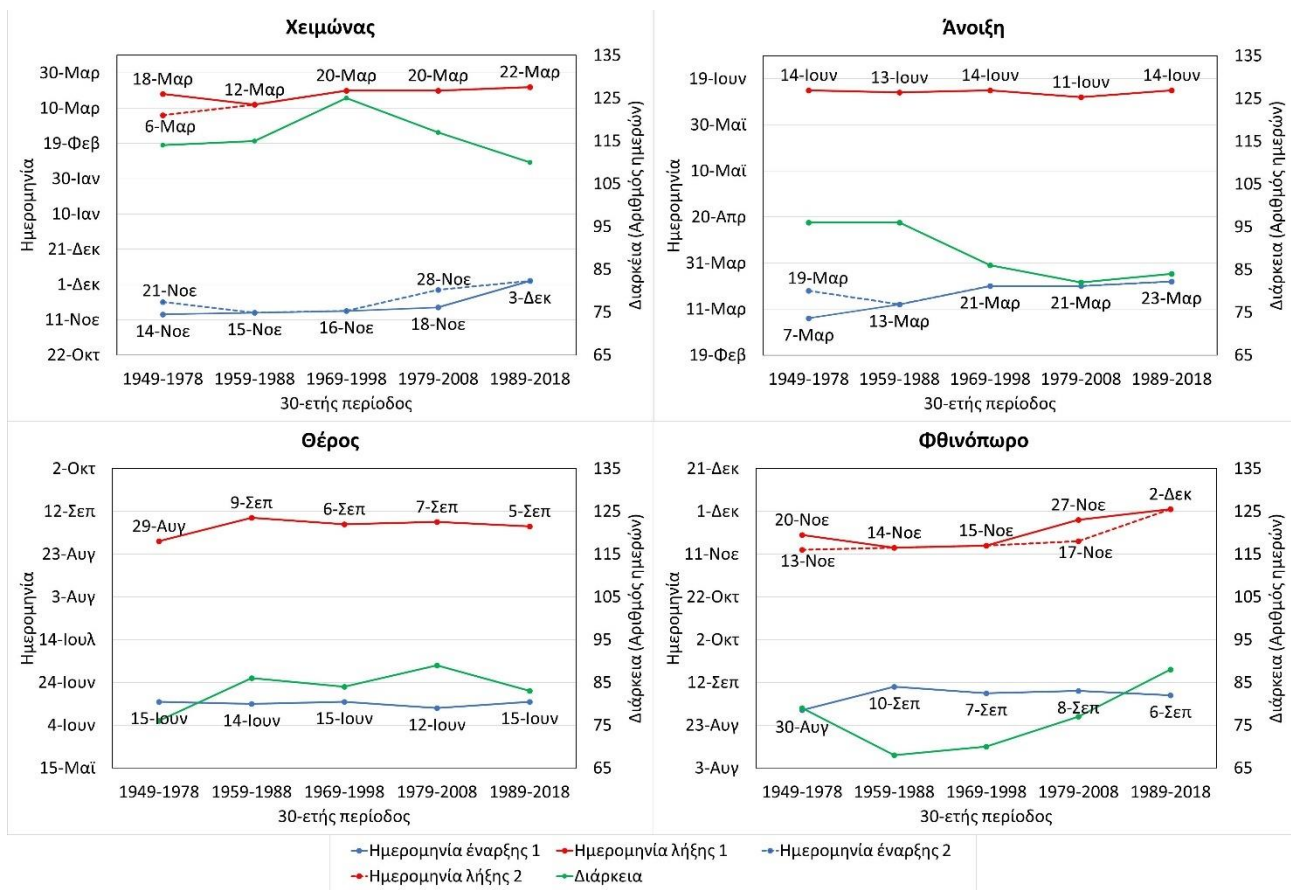


Σχήμα 16. Όπως στο Σχήμα 13, αλλά για την υποπερίοδο 1979-2008.

1989 - 2018



Σχήμα 17. Όπως στο Σχήμα 13, αλλά για την υποπερίοδο 1989-2018.



Σχήμα 18. Οι μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις των ημερομηνιών έναρξης και λήξης και της διάρκειας των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών, όπως ορίστηκαν με τη μέθοδο MVV.

Στο Σχήμα 18, παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τις διαχρονικές μεταβολές των ημερομηνιών έναρξης και λήξης (μπλε και κόκκινες καμπύλες αντίστοιχα) των εποχών και της διάρκειάς τους (πράσινη καμπύλη). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να μελετηθεί κατά πόσο τα όρια των εποχών αλλάζουν με την πάροδο των ετών και οδηγούν σε σμίκρυνση ή επέκταση της διάρκειάς τους. Λόγω του γεγονότος ότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης των εποχών δεν είναι σαφώς διακριτές καθώς μια εποχή μπορεί να παρεμβάλλεται για λίγες ημέρες στη γειτονική της εποχή, οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης κάθε εποχής είναι δύσκολο να οριστούν. Στο Σχήμα 18, οι ημερομηνίες έναρξης 1 (συνεχείς μπλε καμπύλες) αναφέρονται στην πρώτη εμφάνιση των εποχών, ενώ οι ημερομηνίες έναρξης 2 (διακεκομμένες μπλε καμπύλες) αναφέρονται στη δεύτερη εμφάνισή τους μετά τη σύντομη παρέμβαση της γειτονικής εποχής, όταν υπάρχει. Παρόμοια, οι ημερομηνίες λήξης 1 (συνεχείς κόκκινες καμπύλες) αναφέρονται στην τελευταία εμφάνιση των εποχών, ενώ οι ημερομηνίες λήξης 2 (διακεκομμένες κόκκινες καμπύλες) αναφέρονται στην προτελευταία εμφάνισή τους πριν τη σύντομη παρέμβαση της γειτονικής εποχής, αν υπάρχει. Η διάρκεια των εποχών που παρουσιάζεται στο Σχήμα 18 δεν μπορεί σε κάθε περίπτωση να εξαχθεί απευθείας από τα γραφήματα και συγκεκριμένα από τη χρονική διαφορά μεταξύ των ημερομηνιών έναρξης και λήξης, επειδή, όπως

αναφέρθηκε, υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες μια εποχή δεν είναι συνεχής λόγω παρεμβολής της γειτονικής της. Συνεπώς, η υπολογισθείσα διάρκεια είναι στην πραγματικότητα ο συνολικός αριθμός των ημερομηνιών που ταξινομούνται στην αντίστοιχη συστάδα/εποχή.

Για το χειμώνα, φαίνεται ότι μία από τις πιο αξιοσημείωτες μακροπρόθεσμες αλλαγές αναφέρεται στη μετατόπιση (κατά περίπου 2 εβδομάδες) της ημερομηνίας έναρξής του κατά την πιο πρόσφατη 30ετή περίοδο 1989-2018. Αυτή η μετατόπιση οδηγεί στην πραγματικότητα σε μια μικρότερη χειμερινή περίοδο σε σχέση με τις προηγούμενες περιόδους 30 ετών. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται ότι η ημερομηνία έναρξης του χειμώνα κατά τις τέσσερις πρώτες υποπεριόδους παραμένει σχεδόν αμετάβλητη και κυμαίνεται μεταξύ της 14^{ης} και 18^{ης} Νοεμβρίου, ενώ, όπως αναφέρθηκε, την τελευταία υποπερίοδο ο χειμώνας ξεκίνησε 16 μέρες αργότερα. Επίσης, η ημερομηνία λήξης του χειμώνα μετακινείται 6 ημέρες νωρίτερα κατά τη δεύτερη υποπερίοδο, στην τρίτη υποπερίοδο μεταφέρεται 8 ημέρες αργότερα, παραμένει η ίδια και στη τέταρτη υποπερίοδο, ενώ την πιο πρόσφατη περίοδο μετατοπίζεται 2 ημέρες αργότερα. Έτσι, η διάρκεια του χειμώνα παρουσιάζει μια αύξηση την περίοδο 1969-1998 και μείωση έκτοτε και γενικά φαίνεται ότι ο χειμώνας αρχίζει και τελειώνει αργότερα με το πέρασμα των ετών.

Για την άνοιξη, παρατηρείται ότι στις τρεις πρώτες 30ετείς περιόδους η ημερομηνία έναρξής της μετακινείται σε μεταγενέστερες ημερομηνίες και στη συνέχεια παραμένει σχεδόν αμετάβλητη (περί της 21-23 Μαρτίου). Η ημερομηνία λήξης της άνοιξης παραμένει σχεδόν η ίδια, κοντά στις 14 Ιουνίου, εκτός από την περίοδο 1979-2008 που μετακινείται λίγο νωρίτερα. Έτσι, η διάρκεια της άνοιξης δεν μεταβλήθηκε κατά τη δεύτερη υποπερίοδο, μειώθηκε στις δύο ακόλουθες περιόδους, ενώ την πιο πρόσφατη περίοδο αυξήθηκε λίγο. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι, η μείωση της διάρκειας της άνοιξης οφείλεται στην καθυστέρηση της έναρξής της.

Για το θέρος, παρατηρείται ότι η ημερομηνία έναρξής του δε διακυμαίνεται ιδιαίτερα (είναι περί της 15 Ιουνίου), εκτός από τη μετακίνηση λίγων ημερών νωρίτερα κατά την τέταρτη υποπερίοδο (12 Ιουνίου). Αντιθέτως, η ημερομηνία λήξης του παρουσιάζει ένα σημαντικό άλμα στη δεύτερη υποπερίοδο με το τέλος του θέρους να έρχεται 11 ημέρες αργότερα. Στις επόμενες περιόδους το θέρος τελειώνει 2-4 ημέρες νωρίτερα. Ως αποτέλεσμα, η διάρκεια του θέρους αυξήθηκε κατά τη δεύτερη υποπερίοδο, καθώς τελείωνε αργότερα, έπειτα παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη, αυξήθηκε ξανά κατά την τέταρτη υποπερίοδο λόγω γρηγορότερης έναρξης και την πιο πρόσφατη περίοδο παρουσιάζει μια σχετική μείωση.

Το φθινόπωρο βιώνει τις πιο δραστικές αλλαγές. Σε ό,τι αφορά την ημερομηνία έναρξης, υπάρχει ένα άλμα 11 ημερών στη δεύτερη περίοδο και μετά δεν αλλάζει σημαντικά (από 6 έως 8

Σεπτεμβρίου). Η ημερομηνία λήξης του φθινοπώρου μετακινείται λίγο νωρίτερα κατά τη δεύτερη υποπερίοδο, παραμένει σχεδόν η ίδια την τρίτη περίοδο, την επόμενη περίοδο μετακινείται 12 ημέρες αργότερα και στην τελευταία και πιο πρόσφατη περίοδο υπάρχει μια μεταφορά από τις 27 Νοεμβρίου στις 2 Δεκεμβρίου. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει σμίκρυνση της διάρκειας του φθινοπώρου κατά τη δεύτερη υποπερίοδο, η οποία οφείλεται στο συνδυασμό της καθυστερημένης έναρξης και γρηγορότερης λήξης, καθώς και επέκταση της διάρκειάς του από τότε. Επίσης, η στατιστική σημαντικότητα (95% επίπεδο εμπιστοσύνης) των παραπάνω τάσεων που βρέθηκαν έχει ελεγχθεί με τη χρήση του τεστ Mann-Kendall (Kendal 1975). Ως αποτέλεσμα, η πτωτική τάση των ημερομηνιών έναρξης της χειμερινής περιόδου και η αύξηση της φθινοπωρινής διάρκειας από τη δεύτερη υποπερίοδο και έπειτα βρέθηκαν να είναι στατιστικά σημαντικές.

3.3 Σύνοψη και συμπεράσματα κεφαλαίου

Στο Κεφάλαιο αυτό, εφαρμόστηκε μια αντικειμενική ταξινόμηση με τη χρήση ενός σημαντικού αριθμού μετεωρολογικών παραμέτρων σε μια προσπάθεια αντικειμενικού ορισμού των εποχών για την περιοχή της Μεσογείου. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούνται από ημερήσιες τιμές σε πλέγμα σημείων, ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων NCEP/NCAR για την περίοδο 1949-2018 και περιλαμβάνουν τις εξής μετεωρολογικές παραμέτρους: ρυθμός υετού, ρυθμός ανωμεταφορικού υετού, θερμοκρασία του αέρα στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, ολική νεφοκάλυψη, ζωνική και μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, γεωδυναμικό ύψος των ισοβαρικών επιφανειών 500hPa και 1000hPa, θερμοκρασία του αέρα στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa και 850hPa, ειδική υγρασία της ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa και υετίσιμο ύδωρ. Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε ένας πίνακας που περιλαμβάνει τις μέσες ενδοετήσιες διακυμάνσεις των ημερήσιων τιμών των 12 παραμέτρων που αναφέρθηκαν. Σε αυτόν τον πίνακα, οι γραμμές αντιστοιχούν στις 365 ημέρες του έτους και οι στήλες αντιστοιχούν στα σημεία πλέγματος της περιοχής ανάλυσης επί τον αριθμό των παραμέτρων. Η PCA εφαρμόζεται στον παραπάνω πίνακα και στη συνέχεια εφαρμόζεται η k-means CA στον πίνακα των χρονοσειρών των στατιστικά σημαντικών PCs, ομαδοποιώντας τις ημερομηνίες εντός του έτους που παρουσιάζουν ομοιογενή κλιματικά χαρακτηριστικά και ορίζοντας με αυτόν τον τρόπο αντικειμενικά τις εποχές. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται Meteorological Variables mean intra-annual Variation method ή μέθοδος MVV. Η μέθοδος MVV εφαρμόστηκε για την 70ετία 1949-2018 καθώς και για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018. Τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν από το παρόν κεφάλαιο είναι τα ακόλουθα:

1. Για την ολική περίοδο 1949-2018, ορίστηκαν αντικειμενικά 4 διακριτές εποχές. Αυτές οι εποχές δείχνουν μια γενική αντιστοιχία με τις 4 συμβατικές εποχές (χειμώνας, άνοιξη, θέρος

και φθινόπωρο). Ο αντικειμενικά ορισμένος χειμώνας ξεκινά στις 24 Νοεμβρίου και τελειώνει στις 20 Μαρτίου και έχει διάρκεια περίπου 4 μήνες (117 ημέρες), η άνοιξη είναι από τις 21 Μαρτίου έως τις 12 Ιουνίου και διαρκεί μια εβδομάδα λιγότερο από 3 μήνες (84 ημέρες), το θέρος αρχίζει στις 13 Ιουνίου και τελειώνει στις 7 Σεπτεμβρίου με διάρκεια περίπου 3 μήνες (87 ημέρες) και το φθινόπωρο (8 Σεπτεμβρίου - 23 Νοεμβρίου) συμπληρώνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 77 ημερών.

2. Για κάθε εποχή κατασκευάστηκαν οι μέσες χωρικές κατανομές των μετεωρολογικών παραμέτρων από τη μελέτη των οποίων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:
 - α. Ο χειμώνας χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλωνική δραστηριότητα πάνω από τα θερμά (σε σχέση με τις ηπειρωτικές περιοχές) νερά της Μεσογείου, η οποία προκαλεί αξιοσημείωτα ποσά υετού κατά μήκος του άξονα της Μεσογείου, ιδιαίτερα πάνω από την Πορτογαλία, τη νότια Ιταλία, τη δυτική Ελλάδα, τη δυτική Τουρκία και την Κύπρο.
 - β. Η άνοιξη χαρακτηρίζεται από σημαντικά ποσά υετού στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη, όπου η στατική αστάθεια συμβάλλει σημαντικά στην ανάπτυξη νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης, ενώ στη νότια Μεσόγειο Θάλασσα και στη Βόρεια Αφρική επικρατούν ξηρές συνθήκες. Στην ανατολική Μεσόγειο, και συγκεκριμένα στη Μέση Ανατολή, επικρατεί έντονη ή/και συχνή κυκλωνική δραστηριότητα οδηγώντας σε αξιοσημείωτα ποσά υετού στις γύρω περιοχές.
 - γ. Το θέρος, ο συνδυασμός των αντικυκλωνικών συνθηκών στο δυτικό κομμάτι της περιοχής και του θερμικού χαμηλού της ΝΔ Ασίας μαζί με την υψηλή στατική αστάθεια πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές βόρεια της Μεσογείου, οδηγούν σε ηλιόλουστες και ξηρές συνθήκες στο νότιο τμήμα (Μεσόγειος Θάλασσα, βόρεια Αφρική) και στη συχνή ανάπτυξη νεφών και εκδήλωση βροχοπτώσεων στο βόρειο ηπειρωτικό τμήμα (κεντρική Ευρώπη).
 - δ. Το φθινόπωρο, η έντονη κυκλωνική δραστηριότητα δυτικά της Ιταλίας είναι υπεύθυνη για τα σημαντικά ποσά υετού στη χώρα, ενώ αντικυκλωνικές συνθήκες επικρατούν στα βορειοανατολικά Βαλκάνια, όπου κυριαρχεί η βόρεια ροή. Επίσης, μια έντονη θερμοκρασιακή βαθμίδα είναι εμφανής κατά μήκος των ακτών της βόρειας Μεσογείου.
3. Η ίδια μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την ολική 70ετή περίοδο 1949-2018, επαναλήφθηκε για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους που προαναφέρθηκαν. Σε κάθε υποπερίοδο ορίστηκαν 4 εποχές. Επίσης, για κάθε υποπερίοδο κατασκευάστηκαν οι μέσοι χάρτες των αποχών κάθε 30ετούς υποπεριόδου από την ολική 70ετή περίοδο για κάθε

εποχή και κάθε παράμετρο. Τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις συγκρίσεις των εποχών των 30ετών υποπεριόδων με τις αντίστοιχες εποχές της 70ετίας είναι τα εξής:

- α. Η πρώτη υποπερίοδος 1949-1978, χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη άνοιξη, μικρότερο θέρος, ενώ οι εποχές του χειμώνα και του φθινοπώρου διαρκούν περίπου το ίδιο με τις αντίστοιχες εποχές της ολικής περιόδου. Επίσης, παρατηρείται ότι η περίοδος αυτή είναι γενικά πιο υγρή και χαρακτηρίζεται από πιο θερμές χειμερινές και φθινοπωρινές περιόδους και ψυχρότερες εαρινές και θερινές περιόδους.
 - β. Η δεύτερη υποπερίοδος 1959-1988, χαρακτηρίζεται από εκτενέστερη άνοιξη, συντομότερο φθινόπωρο, ενώ ο χειμώνας και το θέρος έχουν ίση διάρκεια με τις αντίστοιχες εποχές που ορίζονται για την 70ετία. Διακρίνεται από ψυχρότερες και υγρότερες εποχές της άνοιξης και του θέρους, θερμότερο και ξηρότερο φθινόπωρο, ενώ ο χειμώνας παρουσιάζει μικτά χαρακτηριστικά.
 - γ. Η τρίτη υποπερίοδος 1969-1998, παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερο χειμώνα, λίγο μικρότερο φθινόπωρο, ενώ η άνοιξη και το θέρος έχουν παρόμοιες διάρκειες με τις αντίστοιχες εποχές της 70ετίας. Γενικά, η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από ξηρότερες και ψυχρότερες συνθήκες, με εξαίρεση το φθινόπωρο.
 - δ. Η περίοδος 1979-2008 είναι γενικά μια ξηρή και ψυχρή περίοδος και οι εποχές της διαρκούν σχεδόν το ίδιο με τις αντίστοιχες εποχές της 70ετίας.
 - ε. Η τελευταία υποπερίοδος 1989-2018, χαρακτηρίζεται από συντομότερες χειμερινές και θερινές περιόδους, εκτενέστερο φθινόπωρο και άνοιξη ίσης διάρκειας με την αντίστοιχη άνοιξη της 70ετίας. Εμφανίζει ξηρότερο και ψυχρότερο χειμώνα, οι εποχές της άνοιξης και του θέρους είναι θερμότερες και ξηρότερες και το φθινόπωρο είναι ψυχρότερο και υγρότερο.
4. Τέλος, μελετήθηκαν και οι διαχρονικές αλλαγές στα όρια και στη διάρκεια των εποχών. Τα σημαντικότερα ευρήματα είναι:
- α. Η διάρκεια του χειμώνα αυξήθηκε κατά την περίοδο 1969-1998 και μειώνεται έκτοτε, ενώ διαπιστώθηκε ότι ο χειμώνας αρχίζει και τελειώνει αργότερα τις πιο πρόσφατες δεκαετίες.
 - β. Η άνοιξη φαίνεται ότι διαρκεί λιγότερο τα τελευταία χρόνια και αυτό οφείλεται στην καθυστερημένη έναρξή της.
 - γ. Η ημερομηνία έλευσης του θέρους δε φαίνεται να παρουσιάζει κάποια ιδιαίτερη διακύμανση, ενώ η ημερομηνία λήξης του μεταφέρθηκε αργότερα μετά την πρώτη 30ετή υποπερίοδο με αποτέλεσμα την επιμήκυνση της εποχής.

- δ. Το φθινόπωρο παρουσιάζει τις περισσότερες αλλαγές με μεταγενέστερες ημερομηνίες έναρξης και μείωση της διάρκειάς του κατά τις πρώτες περιόδους και μεταγενέστερες ημερομηνίες λήξης και αύξηση της διάρκειάς του στις πιο πρόσφατες περιόδους.

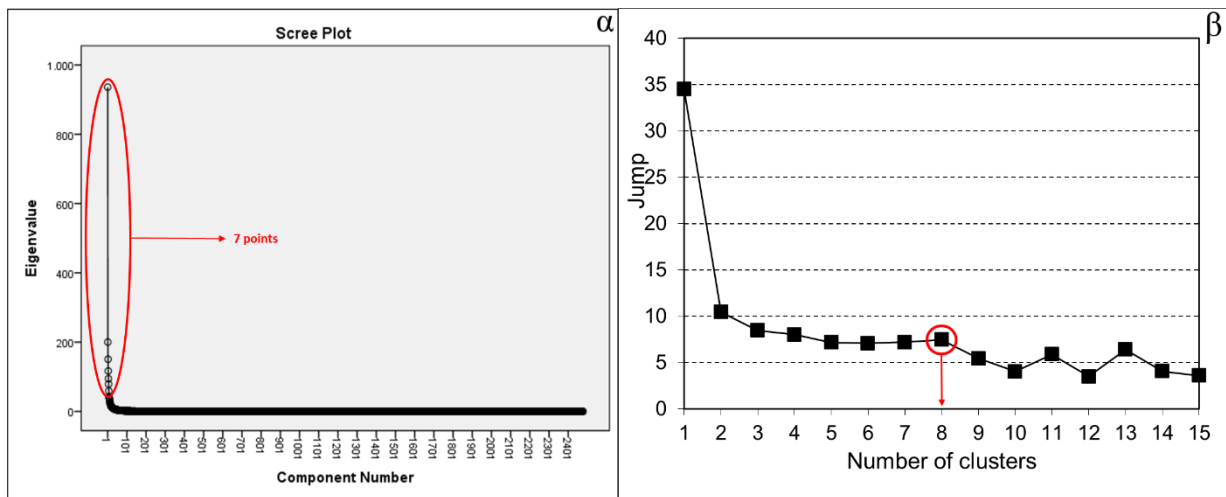
Κεφάλαιο 4

Ορισμός των εποχών μέσω των τύπων καιρού

Στο Κεφάλαιο 4 εφαρμόζονται οι PCA και CA στις ημερήσιες τιμές 10 μετεωρολογικών παραμέτρων με σκοπό τον ορισμό των Τύπων Καιρού (WTs). Συνεπώς, ορίζονται οι κυρίαρχοι WTs οι οποίοι περιγράφουν τις συνοπτικές συνθήκες που επικρατούν στη Μεσόγειο και μελετώνται τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των WTs που ορίστηκαν και αξιοποιούνται για τον αντικειμενικό ορισμό των εποχών. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται Weather Types' Frequency method ή μέθοδος WTF.

4.1 Ορισμός των Τύπων Καιρού (WTs)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 19, όπου παρουσιάζονται τα διαγράμματα των Scree και Jump, η εφαρμογή της PCA στις ημερήσιες τιμές των 10 μετεωρολογικών παραμέτρων οδηγεί σε 7 PCs που ερμηνεύουν το 66% της συνολικής διακύμανσης και η εφαρμογή της CA στις χρονοσειρές των 7 PCs οδηγεί σε 8 ομοιογενείς συστάδες. Υπενθυμίζεται ότι, για την επιλογή του αριθμού των συστάδων, εκτός από τη μέθοδο Άλματος (Jump method) λαμβάνεται υπόψιν και η φυσική υπόσταση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Κάθε μία από τις 8 συστάδες αποτελείται από ημερομηνίες οι οποίες χαρακτηρίζονται από παρόμοιες καιρικές/συνοπτικές συνθήκες και επομένως ορίζουν έναν συγκεκριμένο WT. Στα Σχήματα 20-27 παρουσιάζονται οι μέσοι χάρτες των γεωδυναμικών υψών των ισοβαρικών επιφανειών 500hPa και 1000hPa, των διανυσμάτων του ανέμου στα 10m από την επιφάνεια της γης, της θερμοκρασίας του αέρα στις ισοβαρικές 500hPa, 850hPa και στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, της ειδικής υγρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa, της ολικής νεφοκάλυψης, του υετίσιμου ύδατος, καθώς και τα αντίστοιχα ιστογράμματα των μηνιαίων (%) και διαχρονικών (αριθμός ημερών σε μορφή αποχών) διακυμάνσεων των συχνοτήτων των 8 WTs. Οι διαχρονικές διακυμάνσεις των συχνοτήτων των WTs εκφράζονται με όρους αποχών, δηλαδή κάθε τιμή αποχής ενός έτους ισούται με τον αριθμό των ημερών του WT_x ($x=1, \dots, 8$) που ανήκουν στο συγκεκριμένο έτος μείον το μέσο αριθμό ημερών του WT_x για την ολική περίοδο των 70 ετών. Επίσης, εξετάζεται η πιθανή ύπαρξη στατιστικά σημαντικών (95% επίπεδο εμπιστοσύνης) γραμμικών τάσεων χρησιμοποιώντας το τεστ Mann-Kendall (Kendall 1975). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι WTs 1, 2, 4, 5 και 7 παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις ενώ οι WTs 3, 6 και 8 δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές γραμμικές τάσεις. Κάθε Σχήμα (από τα Σχήματα 20 έως 27) αντιστοιχεί σε έναν WT.



Σχήμα 19. (α) Το διάγραμμα Scree που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των PCs και (β) το διάγραμμα του Άλματος (Jump) που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των συστάδων. Τα κόκκινα σημάδια υποδεικνύουν τους επιλεγμένους αριθμούς.

- Ο WT1 (Σχήμα 20) είναι ένας WT της θερμής περιόδου του έτους, καθώς επικρατεί από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο με μέγιστο συχνότητας εμφάνισης κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως ο «Τυπικός τύπος καιρού της θερμής περιόδου». Κατά τη διάρκεια της επικράτησης του WT1, κυριαρχούν αντικυκλωνικές συνθήκες πάνω από την κεντρική και δυτική Μεσόγειο, ενώ στο ανατολικό κομμάτι κυριαρχεί το θερμικό χαμηλό της ΝΔ Ασίας το οποίο οδηγεί στην επικράτηση ισχυρών βόρειων-βορειοανατολικών ανέμων στην περιοχή, οι οποίοι είναι γνωστοί ως ετησίες άνεμοι (Lionello and Sanna 2005, Tyrllis and Lelieveld 2013, Anagnostopoulou et al. 2014). Όσον αφορά τη θερμοκρασία, υψηλές θερμοκρασίες εμφανίζονται πάνω από τη Μεσόγειο Θάλασσα καθώς και τις περιοχές της βόρειας Αφρικής, ενώ πιο δροσερές συνθήκες επικρατούν στην Ευρώπη και στην Τουρκία. Η υγρασία είναι μεγαλύτερη στην ανατολική Μεσόγειο και στην κεντρική και δυτική Ευρώπη, όπου επικρατούν νεφελώδης συνθήκες και το υετίσιμο ύδωρ είναι υψηλότερο. Επίσης, μια αρνητική στατιστικά σημαντική γραμμική τάση (95% επίπεδο εμπιστοσύνης) εντοπίζεται στη διαχρονική διακύμανση της συχνότητας του WT1, που σημαίνει ότι ο WT1 εμφανίζεται λιγότερο συχνά τις πιο πρόσφατες δεκαετίες.
- Ο WT2 (Σχήμα 21) μπορεί να ονομαστεί ως ο «Αντικυκλωνικός τύπος καιρού» καθώς χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία ενός ισχυρού αντικυκλώνα στη βόρεια Μεσόγειο που οδηγεί στην επικράτηση μιας βόρειας ροής στην ανατολική Μεσόγειο και μιας ανατολικής-νοτιοανατολικής ροής στην κεντρική και δυτική Μεσόγειο. Η παραπάνω βόρεια ροή σχετίζεται με τις χαμηλές θερμοκρασίες στην περιοχή, κυρίως στις ηπειρωτικές περιοχές της ανατολικής Μεσογείου, ενώ ο αέρας πάνω από τη θάλασσα και τις παράκτιες περιοχές είναι

θερμότερος. Όπως αναμένεται, η επικράτηση αυτού του ισχυρού αντικυκλώνα οδηγεί σε σχετικά ξηρές συνθήκες στην περιοχή, ενώ η νέφωση και το υετίσιμο ύδωρ έχουν μεγαλύτερες τιμές πάνω από τις μεγάλες υδάτινες μάζες (Μεσόγειο Θάλασσα, βόρειος Ατλαντικός Ωκεανός, Μαύρη Θάλασσα). Ο WT2 είναι γενικά ένας τύπος καιρού της ψυχρής περιόδου του έτους, καθώς εμφανίζεται από τον Οκτώβριο έως τον Απρίλιο με μέγιστη συχνότητα κατά το δίμηνο Δεκέμβριος-Ιανουάριος. Επίσης, βρέθηκε μια στατιστικά σημαντική θετική τάση στη διαχρονική διακύμανση της συχνότητάς του, που σημαίνει ότι ο WT2 είναι πιο συχνός τις τελευταίες δεκαετίες.

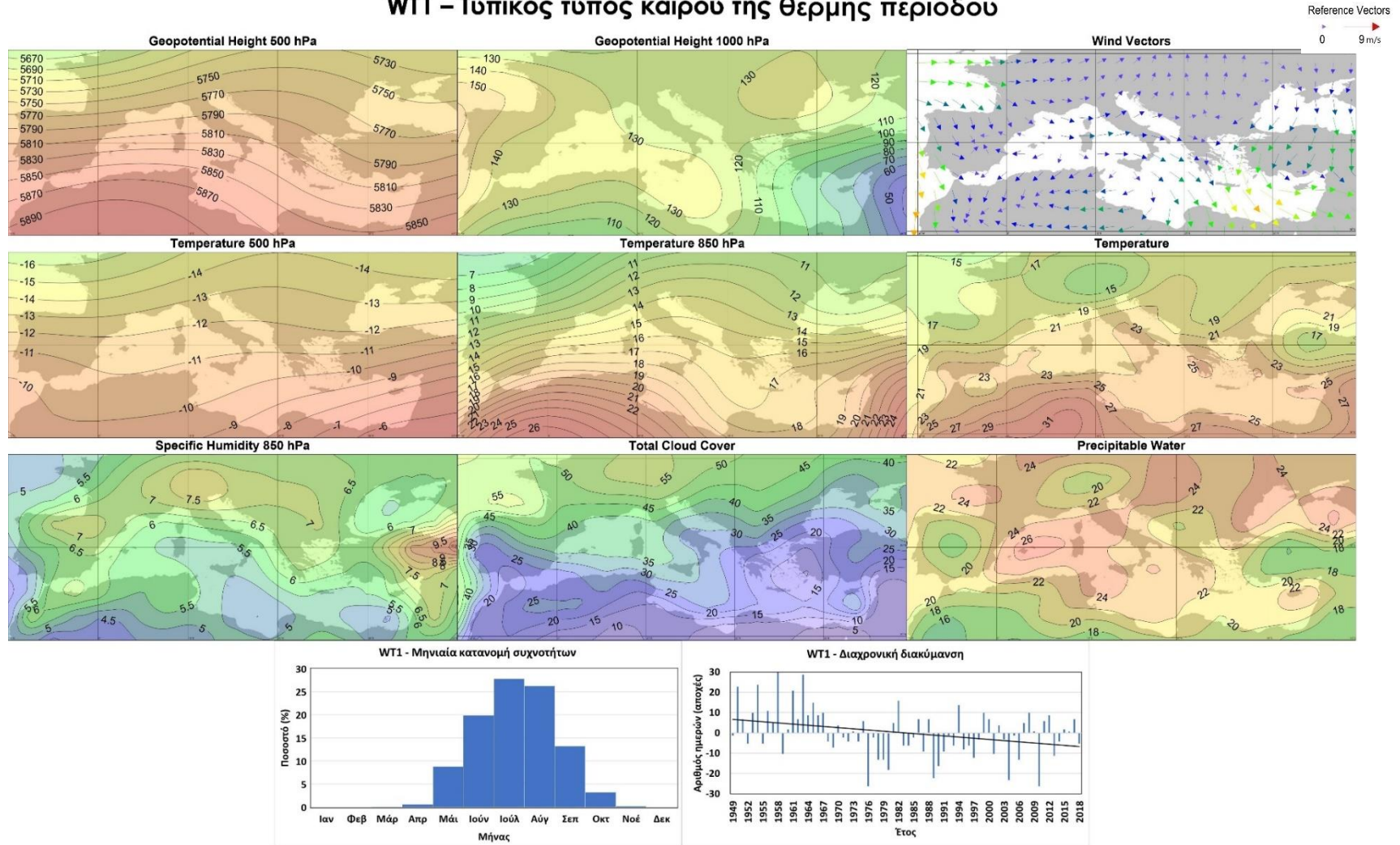
- Ο WT3 (Σχήμα 22) σχετίζεται με μια ζώνη ισχυρής δυτικής ροής πάνω από τη Μεσόγειο και την Ευρώπη και επομένως μπορεί να ονομαστεί ως ο «Τύπος καιρού της δυτικής ροής». Αυτή η δυτική ροή είναι υπεύθυνη για την αυξημένη υγρασία, τη νέφωση και τον υετό στη λεκάνη της Μεσογείου, ειδικά στις προσήνεμες περιοχές (Maheras et al. 2001, Alpert et al. 2004a, Cortesti et al. 2014). Οι συνοπτικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν τον WT3 περιλαμβάνουν ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων πάνω από τη βόρεια Ευρώπη και έναν αντικυκλώνα πάνω από το βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό. Η θάλασσα και οι παράκτιες περιοχές είναι σχετικά θερμές, ενώ οι ηπειρωτικές περιοχές είναι ψυχρές, κυρίως οι περιοχές της κεντρικής Ευρώπης. Ο WT3 μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας WT της ψυχρής περιόδου καθώς εμφανίζεται κυρίως κατά την περίοδο Νοεμβρίου-Απριλίου, ενώ δε διαπιστώνεται κάποια διαχρονική στατιστικά σημαντική τάση κατά την 70ετή περίοδο μελέτης.
- Ο WT4 (Σχήμα 23) είναι γενικά ένας WT της ψυχρής περιόδου, ο οποίος παρουσιάζει υψηλή συχνότητα εμφάνισης από το Φεβρουάριο έως τον Απρίλιο. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως ο «Τύπος καιρού της ύφεσης της ανατολικής Μεσογείου». Μια σφήνα χαμηλών πιέσεων (trough) είναι εμφανής στην ισοβαρική επιφάνεια 500hPa, ενώ στην επιφάνεια ο συνδυασμός ενός συστήματος υψηλής πίεσης στην κεντρική Ευρώπη και ενός συστήματος χαμηλής πίεσης στην Ανατολική Μεσόγειο οδηγεί στην επικράτηση μιας βόρειας ροής στην περιοχή, η οποία είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά ψυχρών αέριων μαζών από βορειότερα γεωγραφικά πλάτη. Αυτή η ψυχρή εισβολή αερίων μαζών, έχει ως αποτέλεσμα την επικράτηση χαμηλών θερμοκρασιών στις περιοχές της κεντρικής και νότιας Ευρώπης, στα Βαλκάνια και στην Τουρκία, ενώ η θερμοκρασία πάνω από τη θάλασσα και στις παράκτιες περιοχές είναι υψηλότερη. Οι παράμετροι της υγρασίας, της νέφωσης και του υετίσιμου ύδατος είναι υψηλότερες στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, εκεί όπου κυριαρχεί η ύφεση και σημειώνονται και τα σημαντικότερα ποσά υετού. Επίσης, μια αρνητική στατιστικά σημαντική τάση που βρέθηκε στη διαχρονική διακύμανση της συχνότητας, σημαίνει ότι ο WT4 έχει γίνει λιγότερο συχνός τις τελευταίες (περίπου τέσσερις) δεκαετίες.

- Ο WT5 (Σχήμα 24) μπορεί να ονομαστεί ως ο «Τύπος καιρού της θερμής περιόδου με βόρεια ροή». Είναι ο δεύτερος WT που εμφανίζεται τη θερμή περίοδο του έτους (ο άλλος είναι ο WT1) και παρουσιάζει υψηλή συχνότητα εμφάνισης από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο. Επίσης, φαίνεται να είναι πιο συχνός τις τελευταίες δεκαετίες. Οι συνοπτικές συνθήκες που αντιστοιχούν σε αυτόν τον WT, χαρακτηρίζονται από την επικράτηση ενός αντικυκλώνα πάνω από τη ΒΔ Ευρώπη, ενώ στην ανατολική Μεσόγειο είναι εμφανές το θερμικό χαμηλό της ΝΔ Ασίας. Οι συνθήκες αυτές έχουν ως συνέπεια την επικράτηση μια βόρειας ροής στη Μεσόγειο, η οποία είναι πιο ισχυρή στο ανατολικό τμήμα της. Η θερμοκρασία είναι υψηλότερη πάνω από τη Μεσόγειο Θάλασσα και τις νότιες περιοχές, ενώ η υγρασία είναι υψηλότερη στη δυτική και στην ανατολική Μεσόγειο.
- Ο WT6 (Σχήμα 25), σύμφωνα με την ενδοετήσια διακύμανση της συχνότητάς του, είναι γενικά ένας WT της ψυχρής περιόδου του έτους που επικρατεί κυρίως από τον Οκτώβριο έως τον Απρίλιο. Ονομάζεται «Τύπος καιρού της ύφεσης της κεντρικής Μεσογείου» καθώς χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία μιας βαθιάς ύφεσης πάνω από τη νότια Ιταλία, η οποία ευνοεί τον σχηματισμό εκτεταμένων στρωμάτων νεφών και υψηλών ποσών υετού στις γύρω περιοχές, συμπεριλαμβανομένων και των νότιων Βαλκανίων (Trigo et al. 1999, Lolis 2012). Σε ό,τι αφορά τη θερμοκρασία, παρατηρείται ότι οι ηπειρωτικές περιοχές είναι σχετικά ψυχρές, ενώ πάνω από τη θάλασσα και στις παράκτιες περιοχές επικρατούν θερμότερες συνθήκες.
- Ο WT7 (Σχήμα 26) μπορεί να χαρακτηριστεί ως ο «Τύπος καιρού της ύφεσης της δυτικής Μεσογείου» καθώς αναγνωρίζεται από την κυριαρχία ενός συστήματος χαμηλής πίεσης δυτικά της Ιταλίας. Ως αποτέλεσμα, βορειοδυτικοί άνεμοι επικρατούν στη δυτική Μεσόγειο, ενώ η κεντρική και η ανατολική Μεσόγειος βρίσκεται υπό την επίδραση νότιων ανέμων. Αυτή η νότια ροή μεταφέρει θερμές και ξηρές αέριες μάζες από τη Σαχάρα στη Μεσόγειο, οι οποίες κατά το πέρασμά τους από τα νερά της Μεσογείου φτάνουν σε κορεσμό από υδρατμούς και οδηγούν σε σημαντικά ποσά υετού στις περιοχές της κεντρικής Μεσογείου και στις βόρειες ακτές της. Υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται πάνω από τη θάλασσα, στις ακτές και στην Β Αφρική, ενώ ψυχρότερες συνθήκες σημειώνονται στην κεντρική Ευρώπη και στην ανατολική Τουρκία. Ο WT7 είναι ένας WT που επικρατεί την ψυχρή περίοδο και οριακά στις αρχές της θερμής περιόδου με μεγαλύτερη συχνότητα τον Απρίλιο. Επίσης, μια στατιστικά σημαντική αρνητική τάση αποκαλύπτει μια κλίση προς μικρότερη συχνότητα εμφάνισης αυτού του WT τις τελευταίες δεκαετίες.
- Τέλος, ο WT8 (Σχήμα 27) μπορεί να ονομαστεί ως ο «Τύπος καιρού της νότιας ροής». Θεωρείται γενικά ένας WT της ψυχρής περιόδου, ο οποίος εμφανίζει μέγιστο συχνότητας τον

Οκτώβριο. Χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός αντικυκλώνα πάνω από την ανατολική Ευρώπη και μιας ύφεσης πάνω από τον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό. Ως αποτέλεσμα, μια νοτιοδυτική ροή επικρατεί στα κεντρικά και δυτικά τμήματα της Μεσογείου, οδηγώντας σε πιο υγρές συνθήκες στις περιοχές αυτές (Maheras 1988, Chorlaki et al. 2004), ειδικά στην Ιβηρική Χερσόνησο (Ramos et al. 2014), ενώ στο ανατολικό τμήμα της Μεσογείου επικρατούν πιο ασθενείς βορειοανατολικοί άνεμοι και ξηρότερες συνθήκες. Σχετικά με τη θερμοκρασία, παρατηρείται υψηλότερη θερμοκρασία στις θαλάσσιες και παράκτιες περιοχές, ενώ χαμηλότερες θερμοκρασίες επικρατούν στην ηπειρωτική Ευρώπη και στην ανατολική Τουρκία.

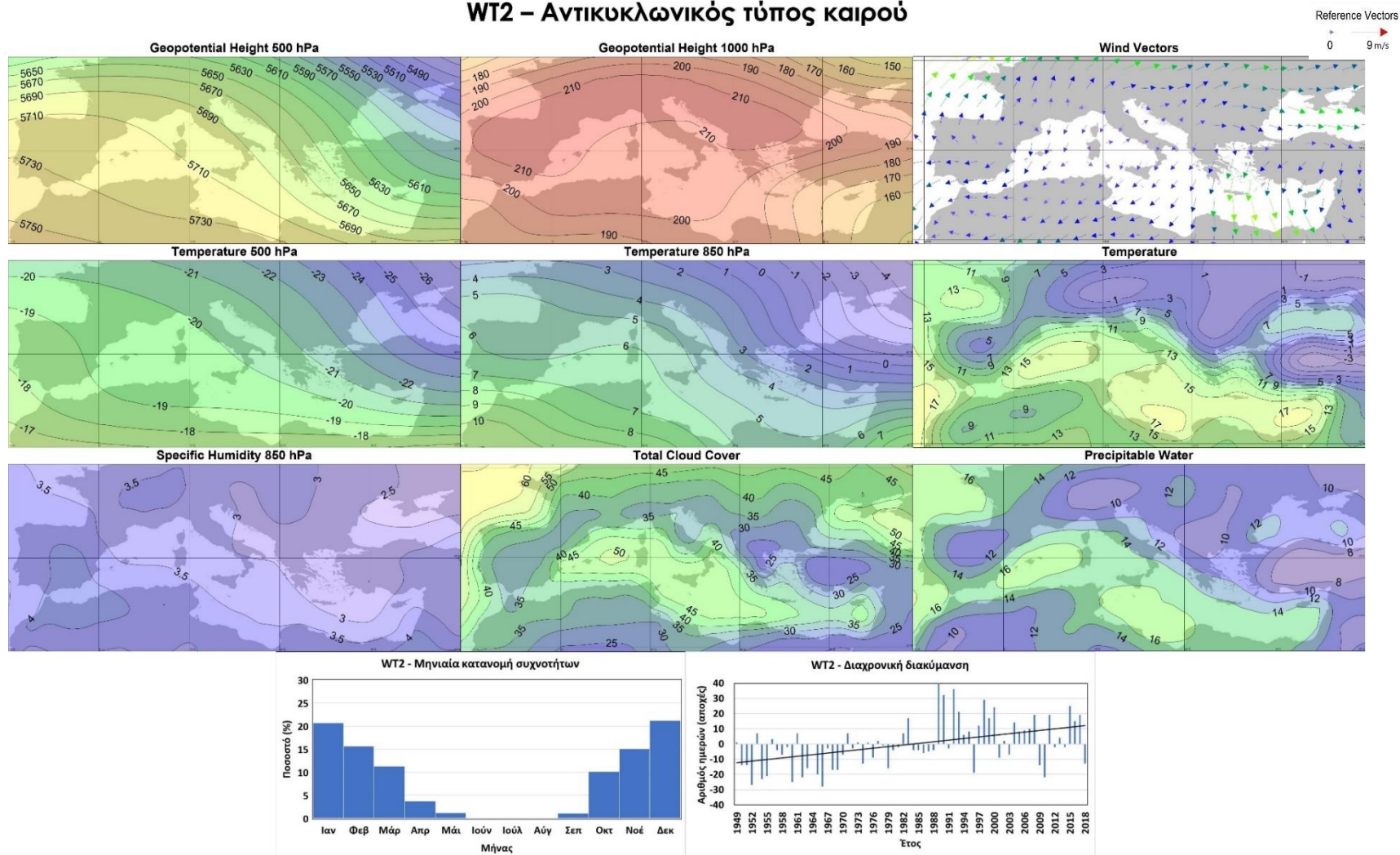
Συνοψίζοντας, στην περιοχή της Μεσογείου εντοπίζονται 8 επικρατούντες WTs. 2 WTs εμφανίζονται κατά τη θερμή περίοδο του έτους, ενώ 6 WTs εμφανίζονται κυρίως την ψυχρή περίοδο του έτους. Ο «τυπικός τύπος καιρού της θερμής περιόδου» (WT1) φαίνεται να είναι λιγότερο συχνός τις τελευταίες δεκαετίες, ενώ αντίθετα ο άλλος WT της θερμής περιόδου (WT5) φαίνεται να είναι πιο συχνός τις τελευταίες δεκαετίες. Η μειωμένη συχνότητα του WT1 με τα χρόνια θα μπορούσε να συσχετιστεί με την αντίστοιχη αλλαγή στη συχνότητα των ετησίων ανέμων. Ωστόσο, η συχνότητα του WT5, ο οποίος είναι επίσης ένας WT της θερμής περιόδου και περιλαμβάνει την εμφάνιση των ετησίων ανέμων (αν και πιο ασθενείς), έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Έτσι, η συνολική μεταβολή των ετησίων ανέμων, που σχετίζεται με τις μεταβαλλόμενες συχνότητες των WT1 και WT5, θα πρέπει να εξαρτάται από τη σχετική ισχύ επικράτησης αυτών των WTs (Anagnostopoulou et al. 2014). Ο «αντικυκλωνικός WT» (WT2) χαρακτηρίζεται από αυξημένη συχνότητα εμφάνισης κατά την περίοδο μελέτης, ενώ οι WTs των υφέσεων της ανατολικής και της δυτικής Μεσογείου (WT4 και WT7 αντίστοιχα) παρουσιάζουν αρνητική τάση στη συχνότητα εμφάνισής τους.

WT1 – Τυπικός τύπος καιρού της θερμής περιόδου



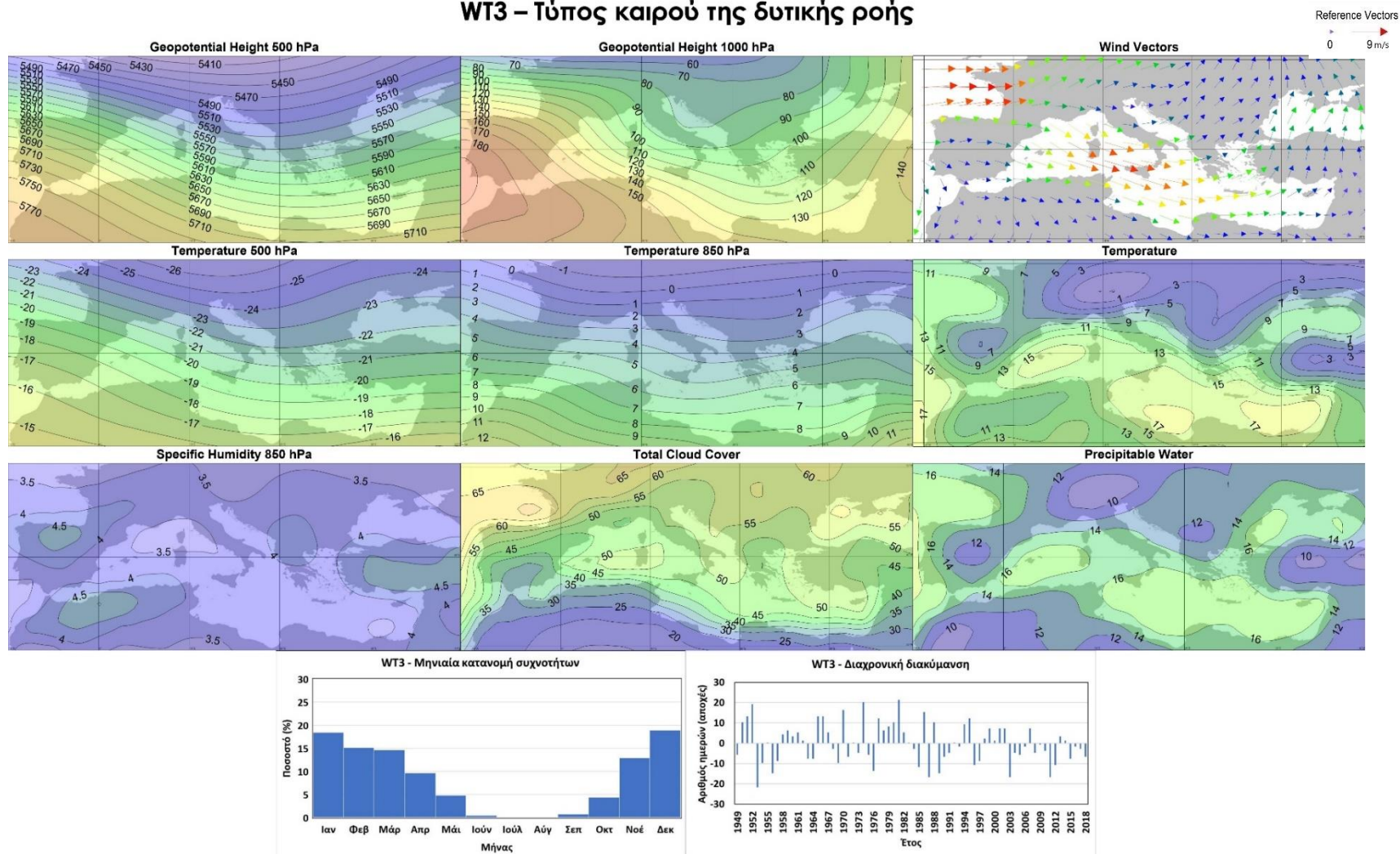
Σχήμα 20. WT1 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa και 1000hPa, του επιφανειακού ανέμου (m/s), των θερμοκρασιών (°C) στα 500hPa, στα 850hPa και στα 2 μέτρα από την επιφάνεια, της ειδικής υγρασίας (g/kg) στα 850hPa, της ολικής νεφοκάλυψης (%), του υετίσιμου ύδατος (kg/m²), καθώς και οι μηνιαίες και διαχρονικές διακυμάνσεις της συχνότητας επικράτησης (εμφανίζεται η στατιστικά σημαντική γραμμική τάση).

WT2 – Αντικυκλωνικός τύπος καιρού



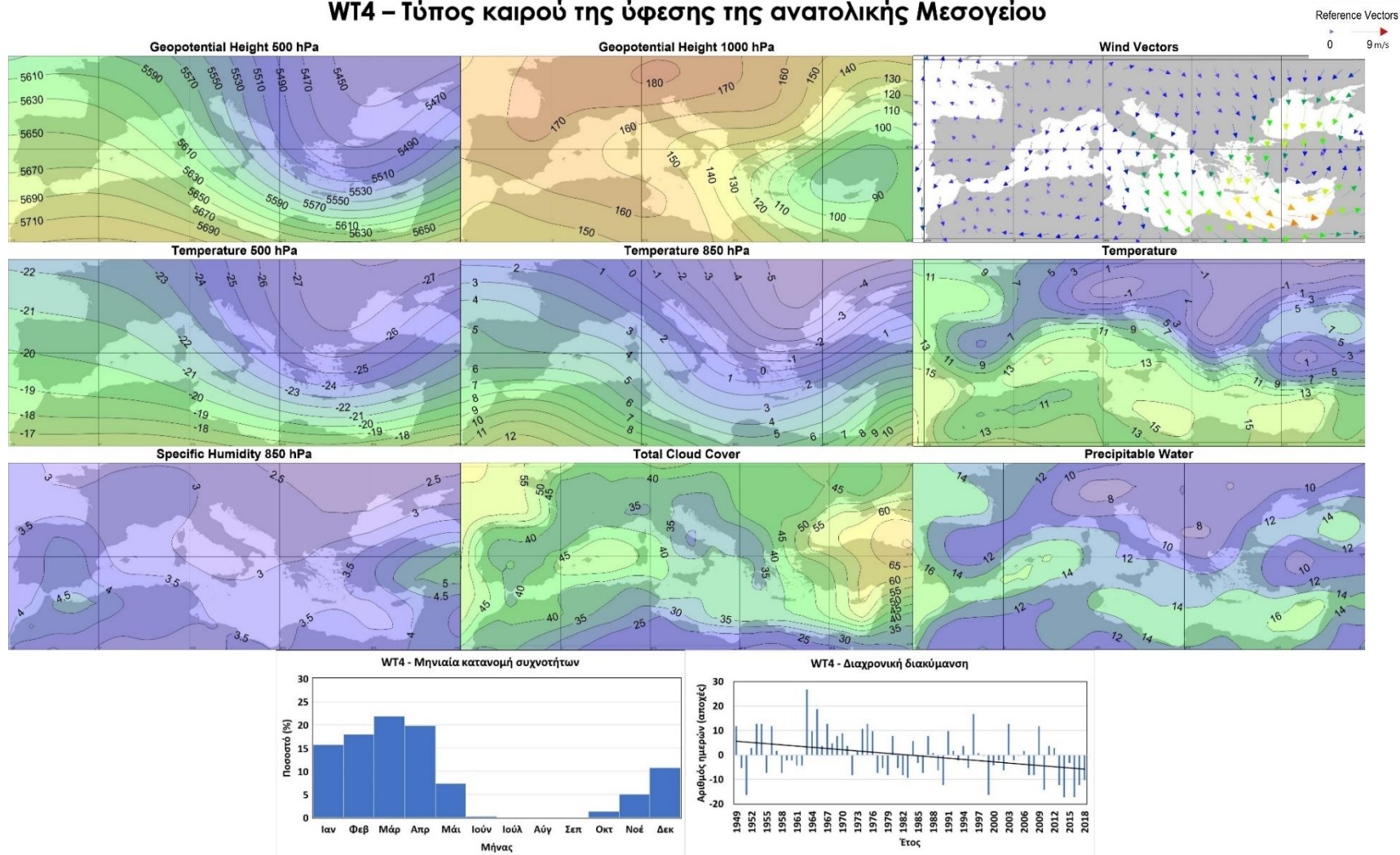
Σχήμα 21. Όπως στην Σχήμα 20, αλλά για τον WT2.

WT3 – Τύπος καιρού της δυτικής ροής



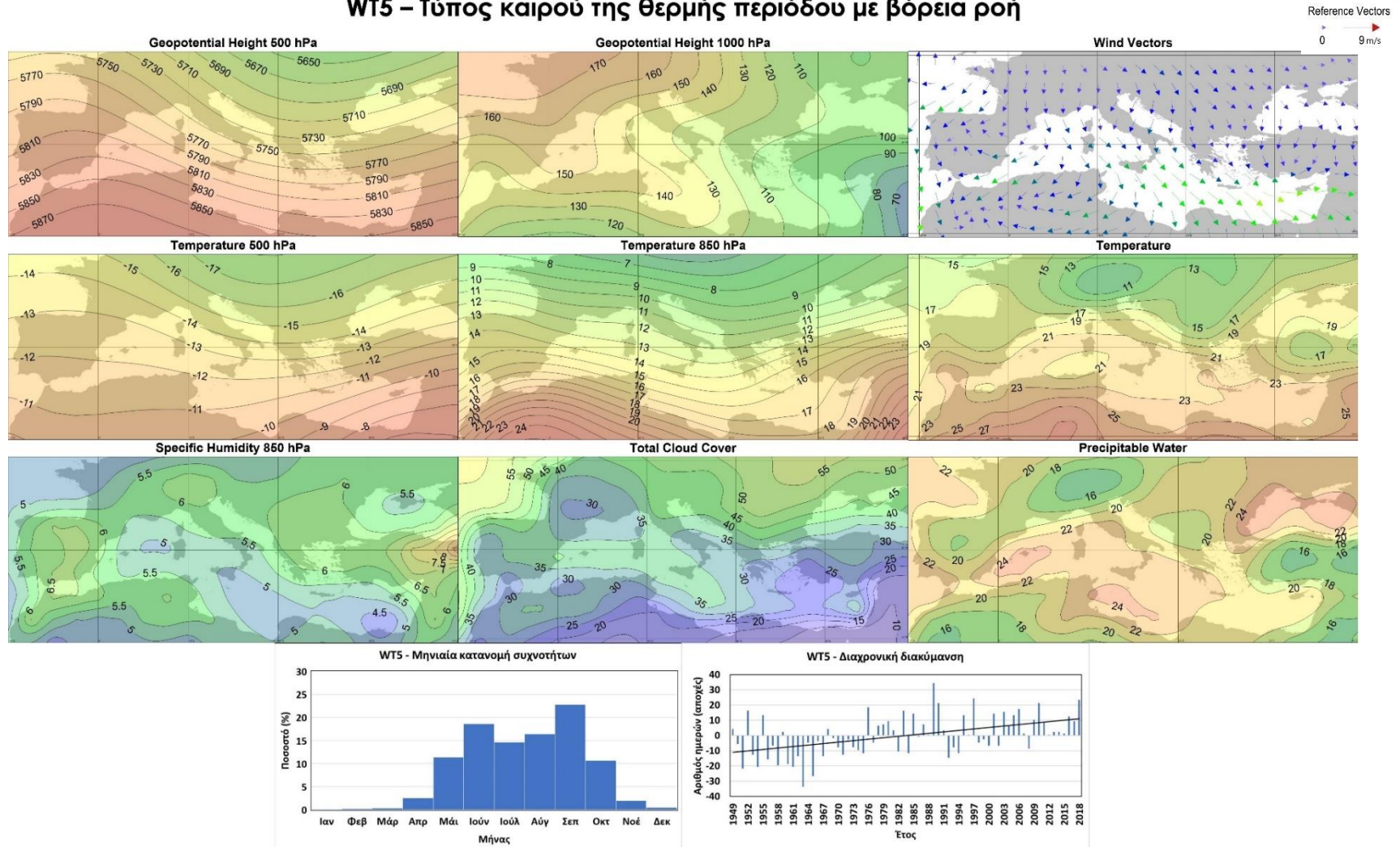
Σχήμα 22. Όπως στην Σχήμα 20, αλλά για τον WT3.

WT4 – Τύπος καιρού της ύφεσης της ανατολικής Μεσογείου



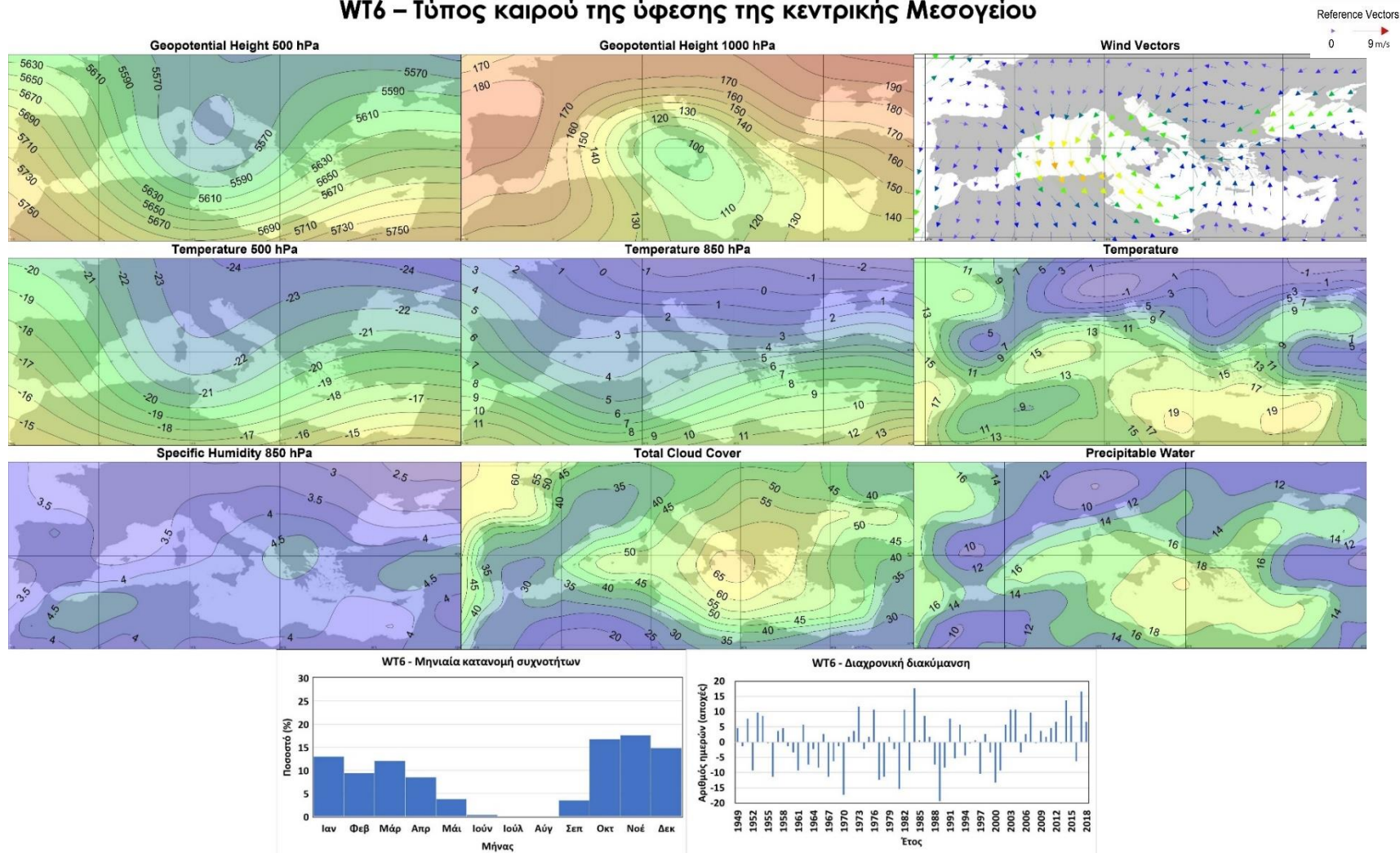
Σχήμα 23. Όπως στην Σχήμα 20, αλλά για τον WT4.

WT5 – Τύπος καιρού της θερμής περιόδου με βόρεια ροή



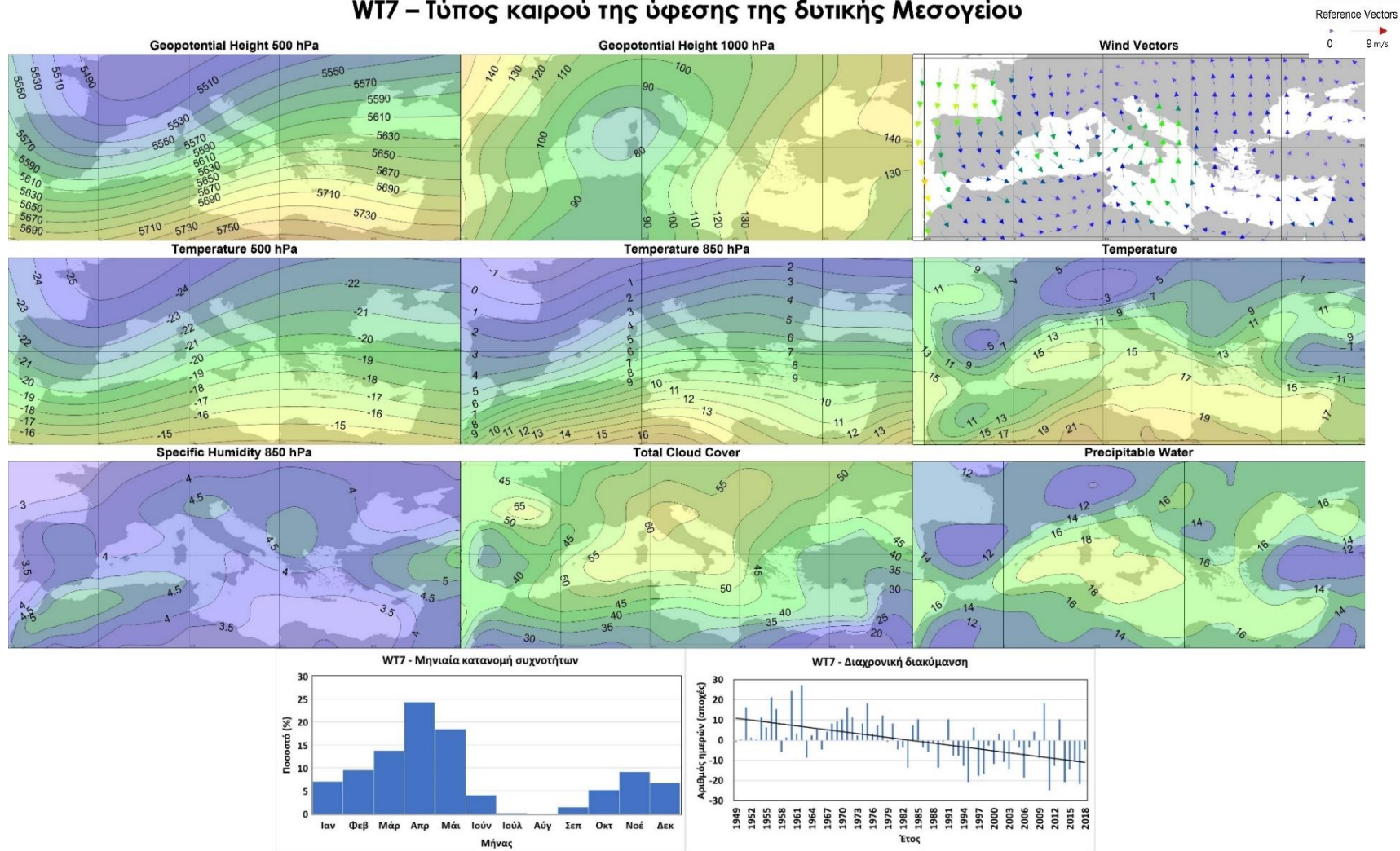
Σχήμα 24. Όπως στην Σχήμα 20, αλλά για τον WT5.

WT6 – Τύπος καιρού της ύφεσης της κεντρικής Μεσογείου



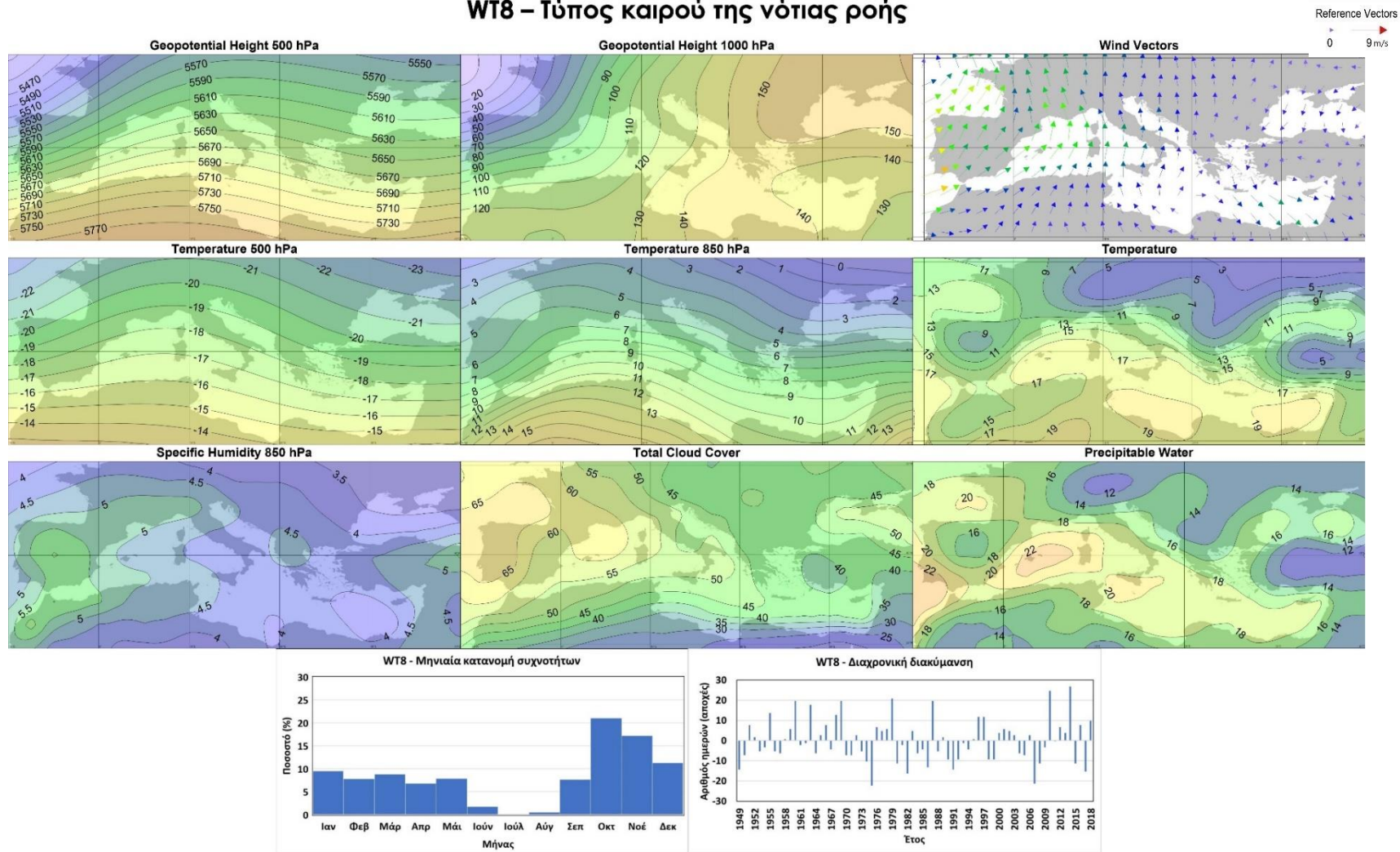
Σχήμα 25. Όπως στην Σχήμα 20, αλλά για τον WT6.

WT7 – Τύπος καιρού της ύφεσης της δυτικής Μεσογείου



Σχήμα 26. Όπως στην Σχήμα 20, αλλά για τον WT7.

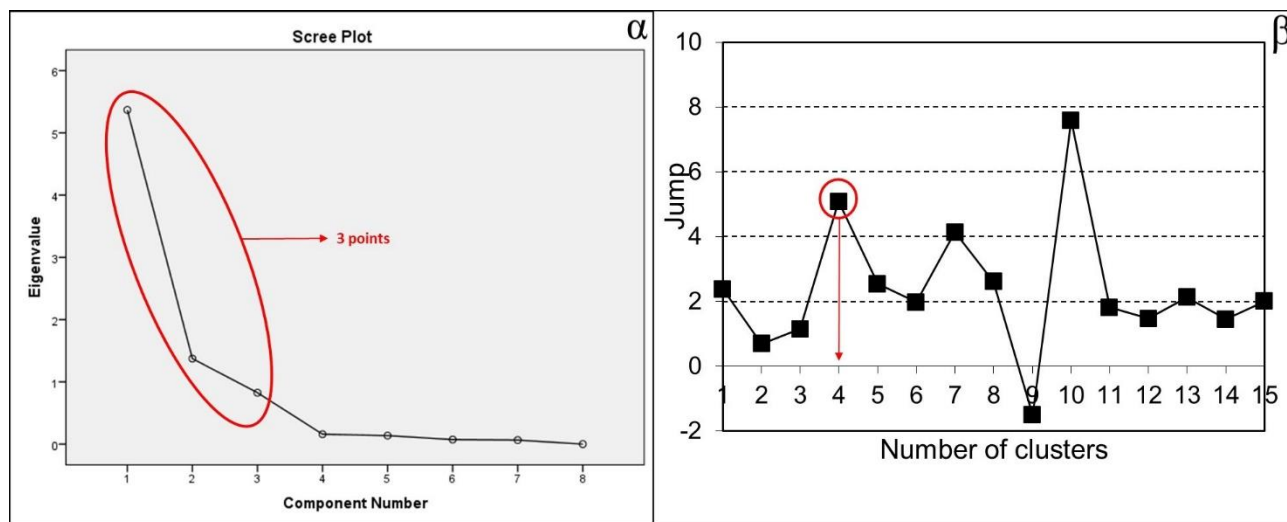
WT8 – Τύπος καιρού της νότιας ροής



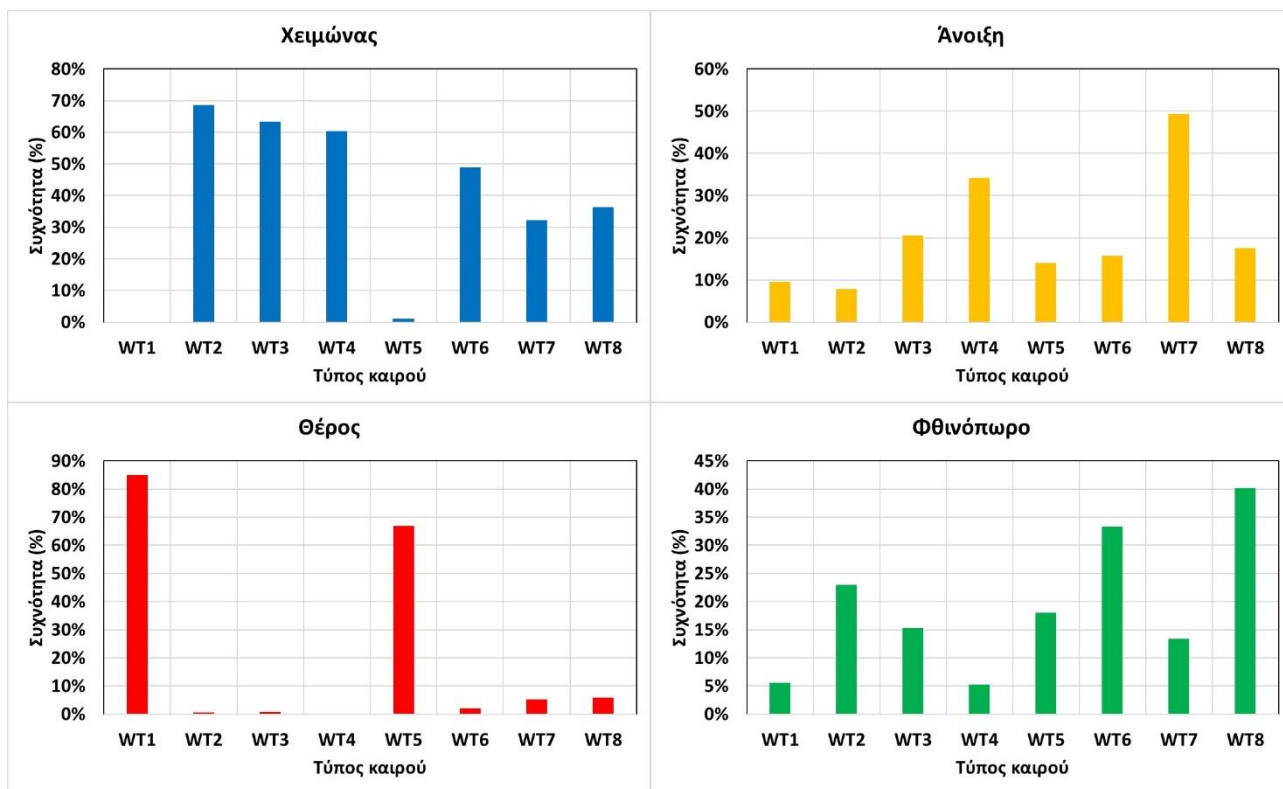
Σχήμα 27. Όπως στην Σχήμα 20, αλλά για τον WT8.

4.2 Ορισμός των εποχών για την 70ετή περίοδο 1949-2018 με τη μέθοδο WTF

Στη συνέχεια, η PCA εφαρμόζεται στις εξομαλυμένες (κινητοί μέσοι όροι 5 ημερών) ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των 8 WTs και διατηρούνται 3 PCs ερμηνεύοντας το 95% της ολικής διακύμανσης. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα Scree (Σχήμα 28α), τρία είναι τα σημεία που αποκλίνουν από την ευθεία γραμμή. Στη συνέχεια, η CA εφαρμόζεται στις χρονοσειρές των 3 PCs, ταξινομώντας τις 365 ημέρες του έτους σε τέσσερις (Σχήμα 28β) διακριτές και ομοιογενές συστάδες με βάση τις κατανομές συχνοτήτων μεταξύ των 8 WTs (Σχήμα 29). Μπορεί να θεωρηθεί ότι αυτές οι συστάδες αντιστοιχούν στις τέσσερις αντικειμενικά ορισμένες εποχές. Αυτή η μέθοδος ορισμού των εποχών, ονομάζεται Weather Types' Frequency method ή μέθοδος WTF. Το Σχήμα 29 παρουσιάζει τις κατανομές συχνοτήτων των 8 ορισμένων WTs για κάθε εποχή. Φαίνεται ότι ο χειμώνας χαρακτηρίζεται από την απουσία των WTs 1 και 5 (οι δύο WTs της θερμής περιόδου) και σχεδόν ίση συχνότητα μεταξύ των υπολοίπων WTs. Την άνοιξη, ο WT7 (WT της ύφεσης της δυτικής Μεσογείου) είναι ο πιο συχνός, ενώ ο WT2 (αντικυκλωνικός WT) είναι ο λιγότερο συχνός. Το θέρος επικρατούν οι WTs 1 και 5 (οι δύο WTs της θερμής περιόδου), ενώ οι υπόλοιποι WTs ουσιαστικά απουσιάζουν. Τέλος, για το φθινόπωρο, οι WTs 8, 6, 2 και 5 (WTs της νότιας ροής, της ύφεσης της κεντρικής Μεσογείου, αντικυκλωνικός και θερμής περιόδου με βόρεια ροή) είναι οι πιο συχνοί, ενώ οι WTs 1 και 4 (τυπικός WT της θερμής περιόδου και WT της ύφεσης της ανατολικής Μεσογείου) είναι οι λιγότερο συχνοί.

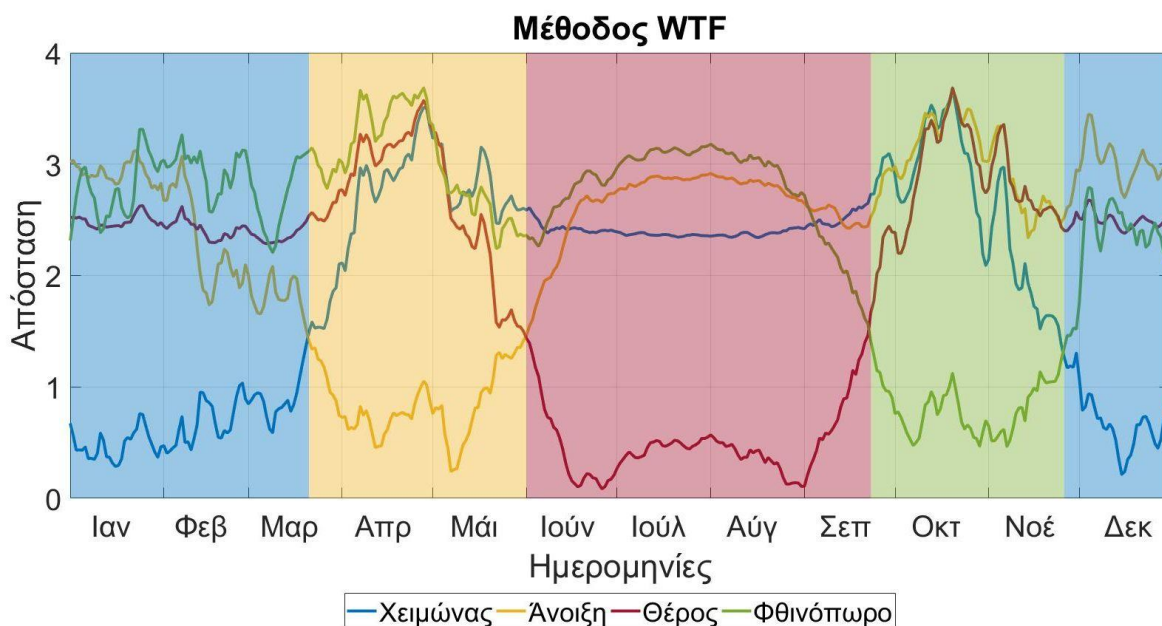


Σχήμα 28. (α) Το διάγραμμα Scree που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των PCs και (β) το διάγραμμα του Άλματος (Jump) που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των συστάδων. Τα κόκκινα σημάδια υποδεικνύουν τους επιλεγμένους αριθμούς.



Σχήμα 29. Οι κατανομές συχνοτήτων (%) των 8 WTs για κάθε μία από τις 4 ορισμένες εποχές.

Τα χρονικά όρια και η διάρκεια των τεσσάρων εποχών παρουσιάζονται στο Σχήμα 30, όπου φαίνονται οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των συστάδων/εποχών. Όπως έγινε και στη μέθοδο MVV, στον πολυδιάστατο χώρο της CA, για κάθε μία από τις τέσσερις συστάδες/εποχές ορίζεται ένα κέντρο και για κάθε ημερομηνία του έτους υπολογίζεται η ευκλείδεια απόσταση των τιμών των PCs γι' αυτή την ημερομηνία από καθενός από τα τέσσερα κέντρα των συστάδων. Κάθε ημερομηνία ταξινομείται στη συστάδα από το κέντρο της οποίας εμφανίζεται η μικρότερη ευκλείδεια απόσταση. Το Σχήμα 30 δείχνει ότι οι τέσσερις αντικειμενικά ορισμένες εποχές γενικά αντιστοιχούν στις συμβατικές, αλλά παρουσιάζουν διαφορές όσον αφορά τα χρονικά τους όρια και τη διάρκειά τους. Οι ημερομηνίες κοντά στα όρια δύο γειτονικών εποχών (περιοχές όπου οι καμπύλες στη γραφική παράσταση των ευκλείδειων αποστάσεων διασταυρώνονται) έχουν συγκρίσιμες αποστάσεις από τα δύο αντίστοιχα κέντρα και μπορεί να θεωρηθούν ως μεταβατικές μέρες με ενδιάμεσα κλιματολογικά χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με τη μέθοδο WTF, τα χαρακτηριστικά των ορισμένων εποχών είναι τα ακόλουθα: ο χειμώνας ξεκινά στις 26 Νοεμβρίου και λήγει στις 20 Μαρτίου με διάρκεια σχεδόν 4 μήνες (115 ημέρες), η άνοιξη είναι η περίοδος 21 Μαρτίου - 31 Μαΐου με διάρκεια περίπου 2,5 μήνες (72 ημέρες), ακολουθεί το θέρος έως τις 22 Σεπτεμβρίου με διάρκεια σχεδόν 4 μήνες (114 ημέρες) και το φθινόπωρο (23 Σεπτεμβρίου - 25 Νοεμβρίου) κλείνει τον ετήσιο κύκλο διαρκώντας σχεδόν 2 μήνες (64 ημερών).



Σχήμα 30. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών για την περίοδο 1949-2018, όπως υπολογίζονται με τη μέθοδο WTF.

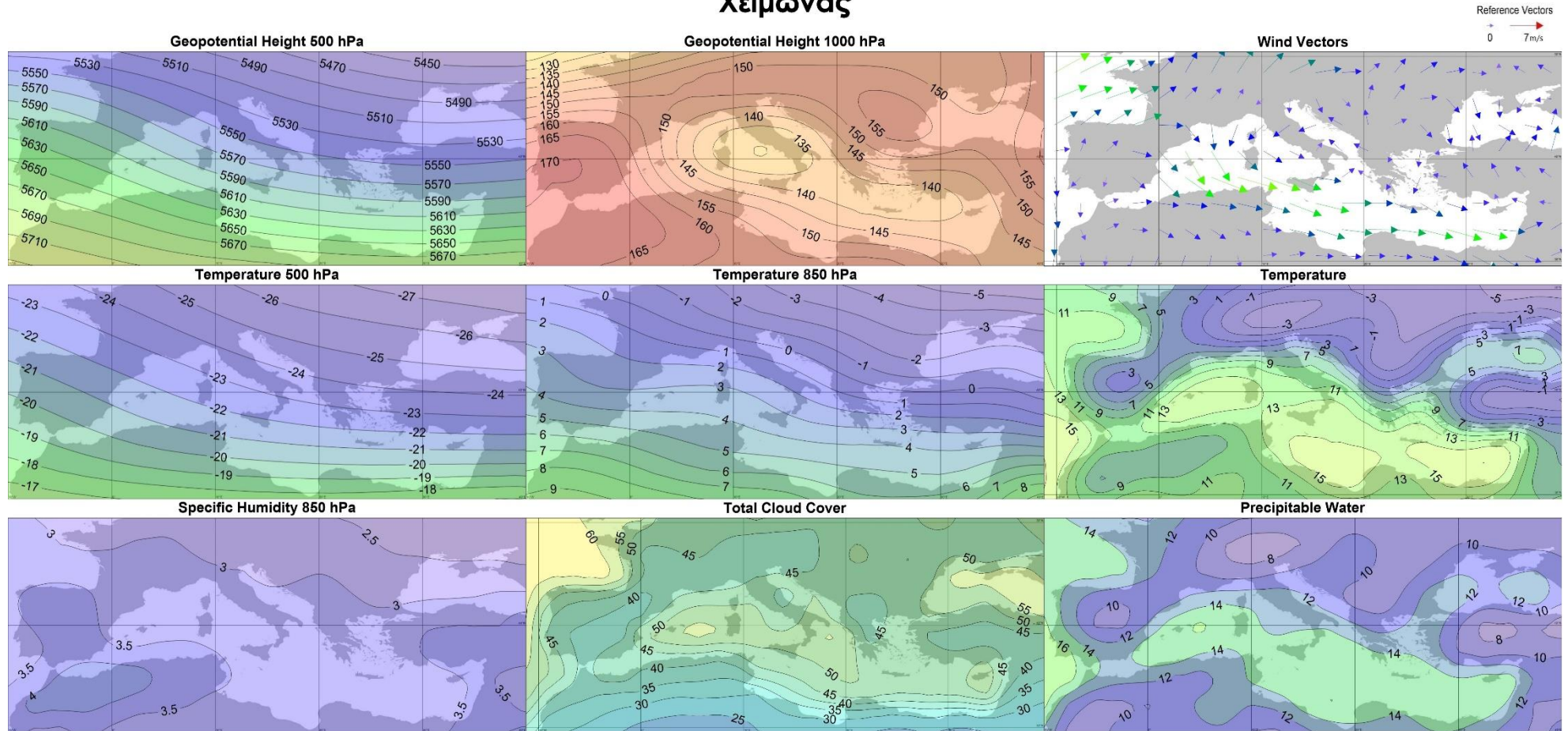
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των εποχών που ορίστηκαν με τη μέθοδο WTF με αυτές που ορίστηκαν βάσει της μεθόδου MVV. Ενώ ο χειμώνας που ορίστηκε με τις δύο μεθόδους είναι σχεδόν πανομοιότυπος, το θέρος διαφέρει σημαντικά, γεγονός που οδηγεί σε διαφορές και στα γειτονικά όρια των εκατέρωθεν εποχών, δηλαδή στο τέλος της άνοιξης και στον ερχομό του φθινοπώρου. Στη μέθοδο MVV, το θέρος ξεκινά 12 ημέρες αργότερα και τελειώνει 15 ημέρες νωρίτερα από το θέρος που ορίζεται με τη μέθοδο WTF και έτσι είναι μικρότερο κατά σχεδόν ένα μήνα. Ως συνέπεια αυτής της διαφοράς, επηρεάζονται και τα παρακείμενα χρονικά όρια καθώς και η διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου. Στη μέθοδο MVV, η άνοιξη τελειώνει 12 ημέρες αργότερα και το φθινόπωρο ξεκινά 15 ημέρες νωρίτερα, και επομένως είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες εποχές της άνοιξης και του φθινοπώρου που ορίζονται με τη μέθοδο WTF. Οι διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων στον ορισμό του θέρους δείχνουν ότι το θερινό καθεστώς σύμφωνα με τις συχνότητες των WTs δεν συμπίπτει χρονικά με το θερινό καθεστώς που βασίζεται στην ενδοετήσια διακύμανση των μετεωρολογικών παραμέτρων. Αυτές οι διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων υποδεικνύουν ότι εντός του έτους, η περίοδος επικράτησης του τυπικού καθεστώτος θερινής συνοπτικής κυκλοφορίας, που αντικατοπτρίζεται στα αποτελέσματα της μεθόδου WTF, είναι μεγαλύτερη από την περίοδο των χρονικά ομοιόμορφων θερμών και ξηρών συνθηκών, που αντικατοπτρίζεται στα αποτελέσματα της μεθόδου MVV. Η διαφορά αυτή πιθανότατα αποδίδεται στον ισχυρό ετήσιο κύκλο της ηλιακής ακτινοβολίας, ο οποίος επηρεάζει σημαντικά και άμεσα τα χαρακτηριστικά της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης και τη στατική ευστάθεια, ενώ η επίδρασή του στη μεγάλης κλίμακας συνοπτική κυκλοφορία είναι έμμεση.

Στα Σχήματα 31-34, παρουσιάζονται οι μέσες χωρικές κατανομές των 10 μετεωρολογικών παραμέτρων για τις 4 εποχές που ορίστηκαν με τη μέθοδο WTF, κατά την 70ετή χρονική περίοδο 1949-2018. Οι 10 παράμετροι είναι: το γεωδυναμικό ύψος των ισοβαρικών επιφανειών 500hPa και 1000hPa, τα διανύσματα του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, οι θερμοκρασίες στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa, 850hPa και στα 2 μέτρα από το από την επιφάνεια της γης, η ειδική υγρασία στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa, η ολική νεφοκάλυψη και το υετίσιμο ύδωρ. Όπως έχει προαναφερθεί, τα διανύσματα του ανέμου προκύπτουν ως η σύνθεση της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου και η έντασή τους στον χάρτη υποδεικνύεται από το μήκος και το χρώμα των διανυσμάτων.

Γενικά, οι χωρικές κατανομές των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν κάθε εποχή της μεθόδου WTF ταιριάζουν σημαντικά με αυτές των αντίστοιχων εποχών της μεθόδου MVV, όπως είναι και λογικό. Από το Σχήμα 31, φαίνεται ότι ο χειμώνας χαρακτηρίζεται από την επικράτηση χαμηλών γεωδυναμικών υψών πάνω από την περιοχή της Μεσογείου. Τέτοιες συνοπτικές καταστάσεις έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό εκτεταμένων νεφών και την επικράτηση πιο υγρών συνθηκών στην περιοχή (Trigo et al. 1999, Maheras et al. 2001). Όπως αναμένεται, η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλότερη πάνω από τη θάλασσα και στις παράκτιες περιοχές σε σύγκριση με τις ηπειρωτικές περιοχές, με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες να εμφανίζονται στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη. Την άνοιξη (Σχήμα 32) η υψηλή στατική αστάθεια που προκαλείται από την έντονη θέρμανση του εδάφους είναι υπεύθυνη για την αυξημένη νέφωση και υγρασία στις ηπειρωτικές περιοχές βόρεια της Μεσογείου (Lolis et al. 2004). Συχνή είναι η εμφάνιση υφέσεων στη μέση Ανατολή, με την επικράτηση μιας ενισχυμένης δυτικής-βορειοδυτικής ροής. Αυτή η δυτική ροή, μεταφέρει πιο υγρές αέριες μάζες περνώντας από τη Μεσόγειο θάλασσα με αποτέλεσμα την αύξηση της υγρασίας των γύρω περιοχών (Alpert et al. 2004a). Η υγρασία είναι επίσης υψηλή στις περιοχές της δυτικής Μεσογείου, ενώ παρατηρείται και μια θερμοκρασιακή βαθμίδα μεταξύ των νότιων και των βόρειων περιοχών. Οι συνοπτικές συνθήκες που κυριαρχούν το θέρος (Σχήμα 33), χαρακτηρίζονται από συστήματα υψηλών πιέσεων στη δυτική Μεσόγειο, ενώ στο ανατολικό κομμάτι το θερμικό χαμηλό της ΝΔ Ασίας οδηγεί στην επικράτηση των ετησίων ανέμων στην περιοχή (Lionello and Sanna 2005, Tyrlis και Lelieveld 2013). Στο νότιο τμήμα της περιοχής επικρατούν πολύ θερμές και ξηρές συνθήκες, ενώ υψηλές τιμές νέφωσης και υγρασίας παρατηρούνται στις ηπειρωτικές περιοχές βόρεια της Μεσογείου, οι οποίες οφείλονται στη συχνή και ισχυρή ανωμεταφορά. Ακόμα, υψηλές τιμές υγρασίας παρατηρούνται και στις περιοχές της ΝΔ Ασίας, ενώ το υετίσιμο ύδωρ, όπως είναι γνωστό, έχει υψηλές τιμές σε όλη τη Μεσόγειο αυτήν την εποχή. Τέλος, κατά το φθινόπωρο (Σχήμα 34), είναι συχνή η εμφάνιση υφέσεων στα δυτικά της Ιταλίας, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις υψηλές τιμές

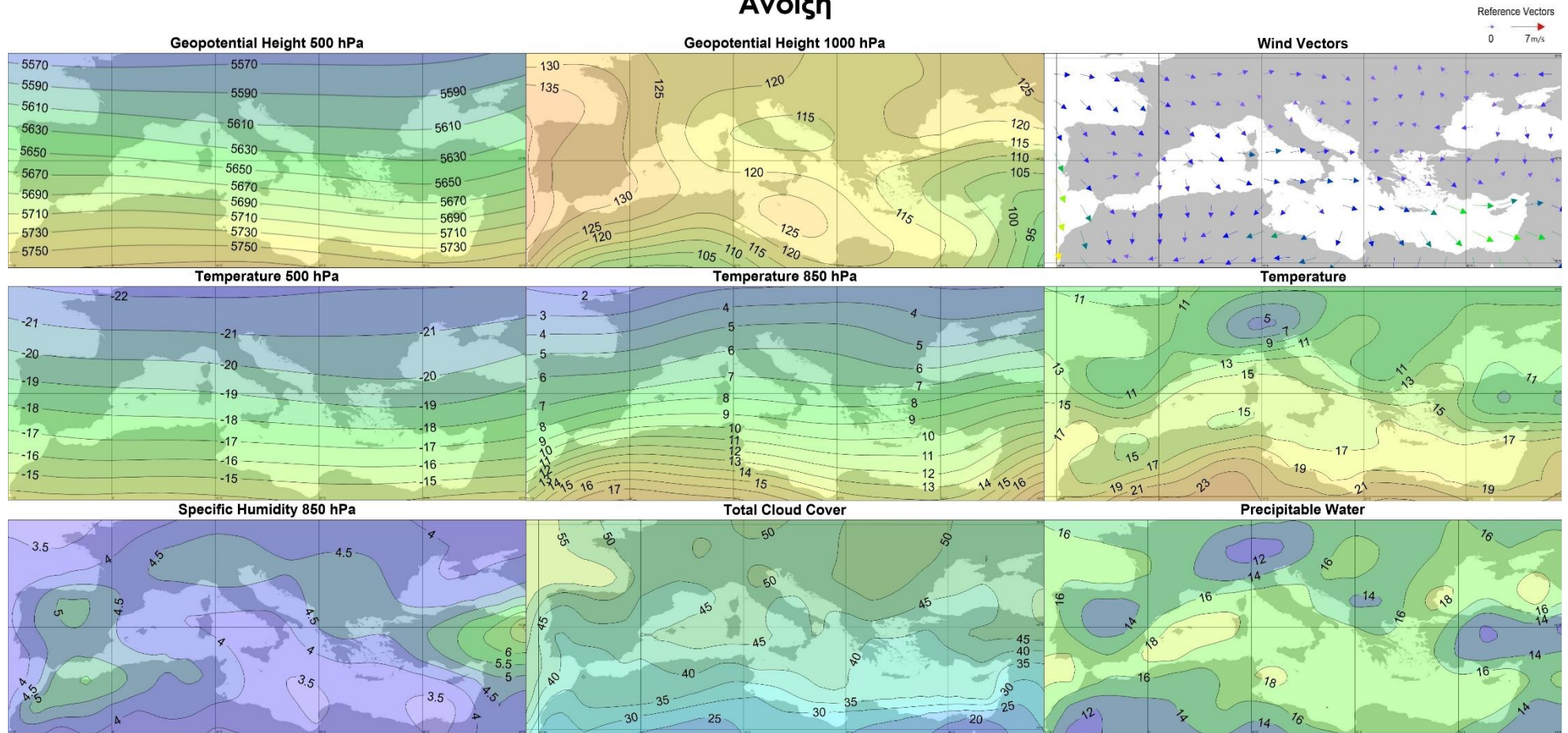
νέφωσης, υγρασίας και υετίσιμου ύδατος στην περιοχή. Στα βορειοανατολικά Βαλκάνια επικρατούν αντικυκλωνικές συνθήκες και κυριαρχεί βόρεια ροή. Σε ό,τι αφορά τη θερμοκρασία, υψηλότερες τιμές παρατηρούνται πάνω από τη θάλασσα και στις παράκτιες περιοχές ενώ στα ηπειρωτικά οι συνθήκες είναι ψυχρότερες. Ακόμα, μια ισχυρή θερμοκρασιακή βαθμίδα παρατηρείται κατά μήκος των ακτών της βόρειας Μεσογείου.

Χειμώνας



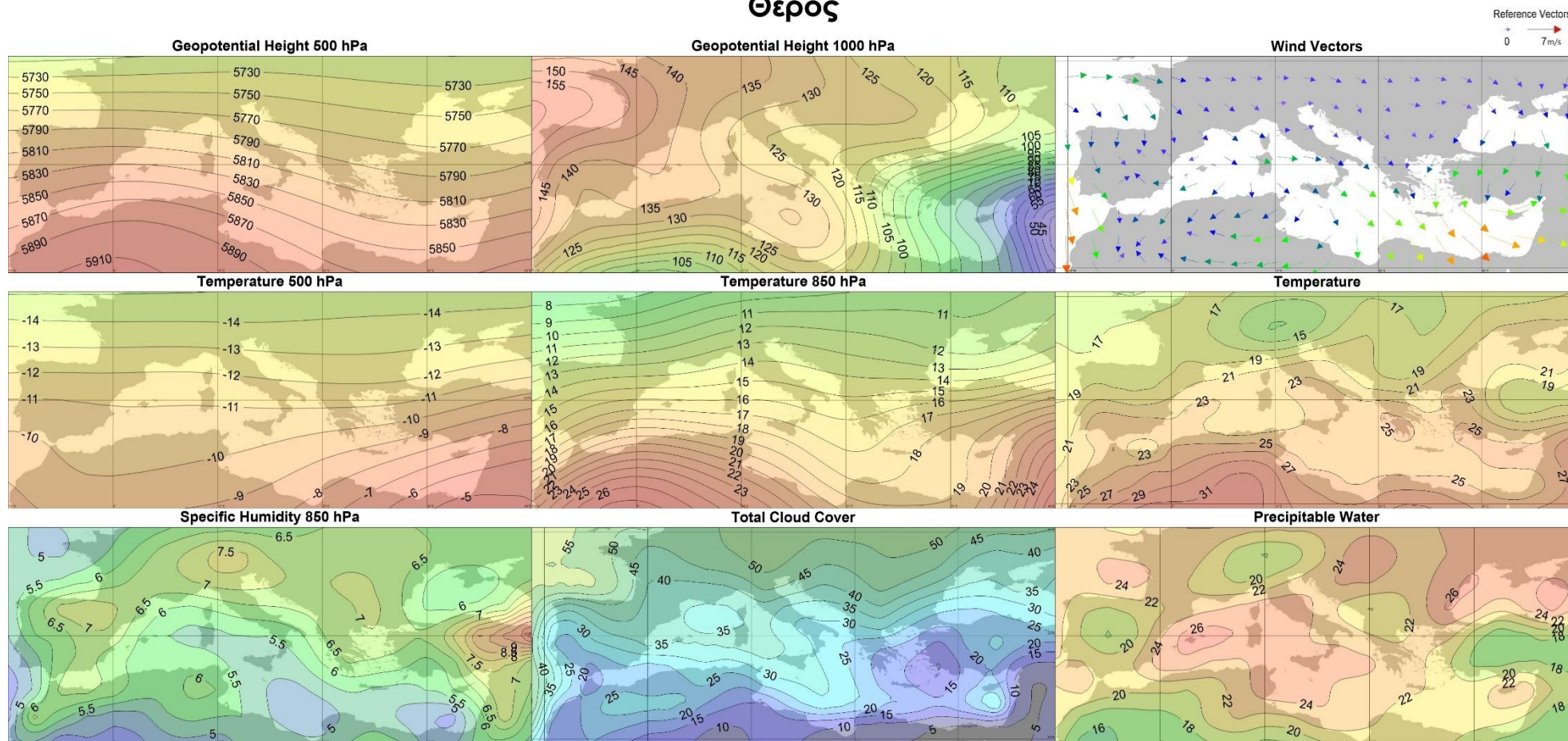
Σχήμα 31. Οι χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών των γεωδυναμικών υψών (gpm) στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa και 1000hPa, των διανυσμάτων του ανέμου (m/s) στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, των θερμοκρασιών (°C) των ισοβαρικών επιφανειών των 500hPa, των 850hPa και στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, της ειδικής υγρασίας (g/kg) στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa, της ολικής νεφοκάλυψης (%) και του ρυθμού υετού (mm/ημέρα) για την ολική περίοδο 1949-2018, για τον χειμώνα όπως ορίστηκε από τη μέθοδο WTF.

Άνοιξη



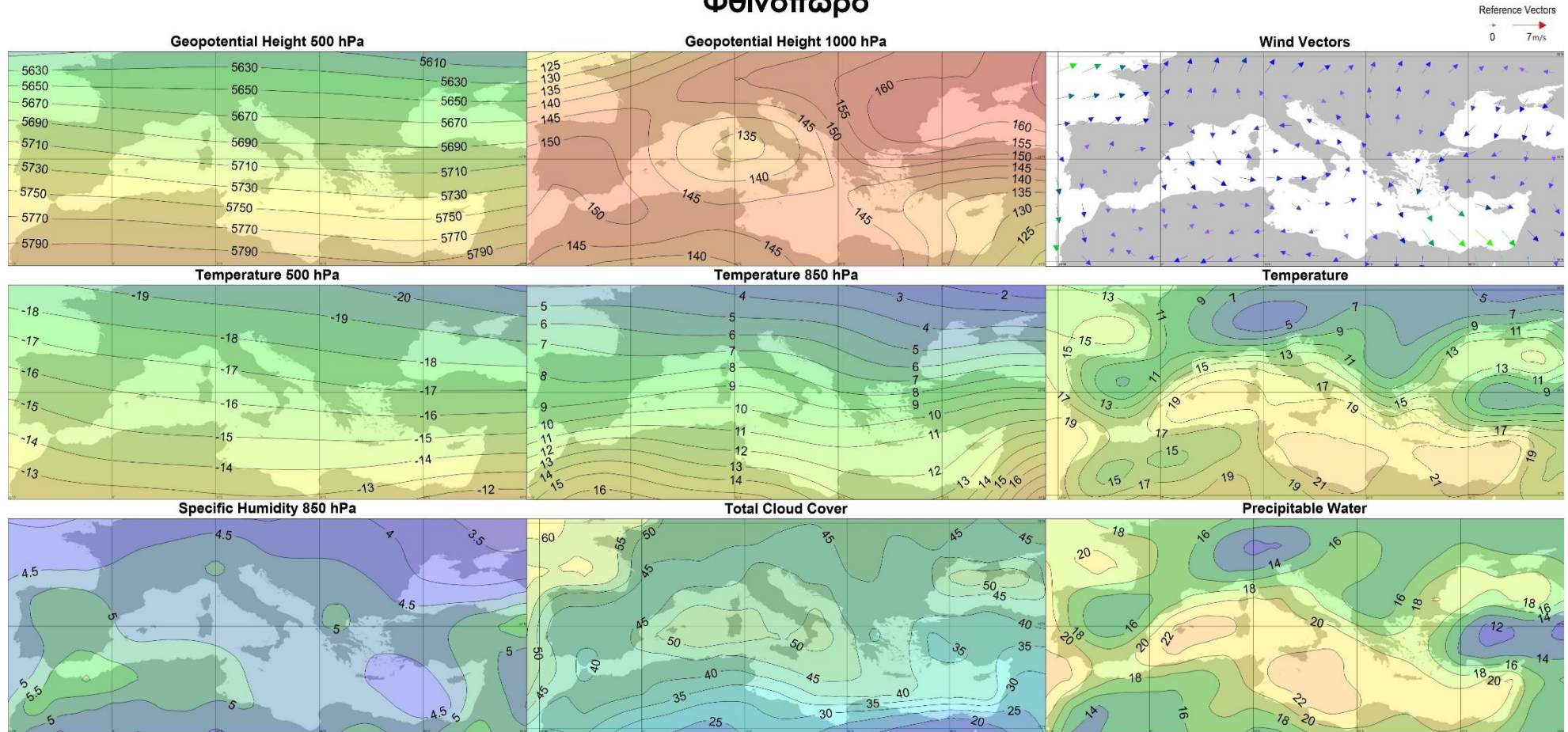
Σχήμα 32. Όπως στην Σχήμα 31, αλλά για την άνοιξη.

Θέρος



Σχήμα 33. Όπως στην Σχήμα 31, αλλά για το θέρος.

Φθινόπωρο



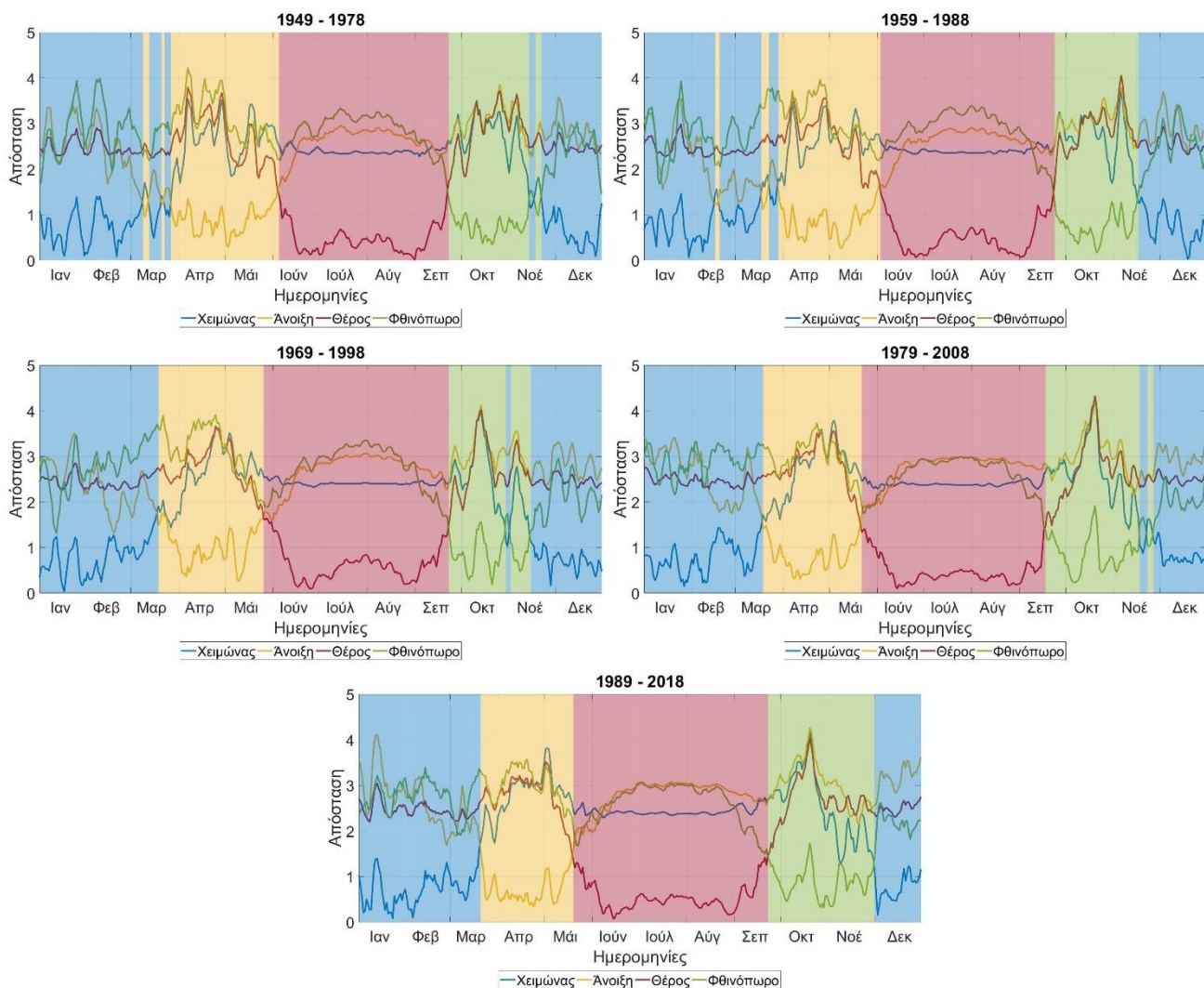
Σχήμα 34. Όπως στην Σχήμα 31, αλλά για το φθινόπωρο.

4.3 Μακροπρόθεσμες αλλαγές των εποχών βάσει της μεθόδου WTF

Όπως πραγματοποιήθηκε και στη μέθοδο MVV, η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για ολόκληρη την 70ετή περίοδο 1949-2018 εφαρμόζεται επίσης για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, με σκοπό τη διερεύνηση πιθανών διαχρονικών αλλαγών των χαρακτηριστικών των εποχών της Μεσογείου. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των συστάδων/εποχών για τις πέντε υποπεριόδους παρουσιάζονται στο Σχήμα 35 και όπως μπορεί να διαπιστωθεί, σε όλες τις υποπεριόδους ορίζονται αντικειμενικά 4 εποχές. Και σε αυτήν τη μέθοδο παρατηρείται ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις οι αποστάσεις από τα κέντρα των συστάδων είναι παραπλήσιες και συνεπώς η διάκριση μεταξύ των εποχών που επικρατούν κατά τη διάρκεια των αντίστοιχων ημερομηνιών είναι δύσκολη. Όπως έχει προαναφερθεί, αυτή η δυσκολία προκύπτει από τον μικρότερο αριθμό ετών (30 αντί για 70), ο οποίος ευθύνεται για λιγότερο σταθερές στατιστικές παραμέτρους και μεγαλύτερη αβεβαιότητα στην ταξινόμηση των ημερομηνιών στην κατάλληλη εποχή. Οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης και η διάρκεια των εποχών για κάθε υποπερίοδο παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Επίσης στο Παράρτημα 2, συγκεκριμένα στα Σχήματα Π 21-40, παρουσιάζονται οι μέσοι χάρτες των αποχών κάθε 30ετούς υποπεριόδου από την ολική 70ετή περίοδο για κάθε εποχή και για κάθε παράμετρο. Οι αποχές υπολογίζονται ως οι διαφορές μεταξύ των μέσων τιμών όλων των ημερομηνιών που ανήκουν στην εποχή της συγκεκριμένης 30ετής υποπεριόδου και των μέσων τιμών όλων των ημερομηνιών που ανήκουν στην αντίστοιχη εποχή της ολικής 70ετής περιόδου.

Πίνακας 2. Οι ημερομηνίες έναρξης/λήξης και η διάρκεια των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών για κάθε μία από τις επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, καθώς και για την ολική 70ετή περίοδο 1949-2018, όπως ορίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο WTF.

	1949-1978		1959-1988	
Εποχή	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
Χειμώνας	14/11 - 17/11, 22/11 - 8/3, 13/3 - 20/3, 23/3 - 26/3	123	17/11 - 15/2, 19/2 - 17/3, 23/3 - 28/3	124
Άνοιξη	9/3 - 12/3, 21/3 - 22/3, 27/3 - 4/6	76	16/2 - 18/2, 18/3 - 22/3, 29/3 - 2/6	74
Θέρος	5/6 - 22/9	110	13/6 - 23/9	113
Φθινόπωρο	23/9 - 13/11, 18/11 - 21/11	56	24/9 - 16/11	54
	1969-1998		1979-2008	
Εποχή	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
Χειμώνας	30/10 - 1/11, 15/11 - 18/3	127	18/11 - 22/11, 27/11 - 18/3	117
Άνοιξη	19/3 - 25/5	68	19/3 - 21/5	64
Θέρος	26/5 - 22/9	120	22/5 - 17/9	119
Φθινόπωρο	23/9 - 29/10, 2/11 - 14/11	50	18/9 - 17/11, 23/11 - 26/11	65
	1989-2018		1949-2018	
Εποχή	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
Χειμώνας	1/12 - 20/3	110	26/11 - 20/3	115
Άνοιξη	21/3 - 19/5	60	21/3 - 31/5	72
Θέρος	20/5 - 22/9	126	1/6 - 22/9	114
Φθινόπωρο	23/9 - 30/11	69	23/9 - 25/11	64



Σχήμα 35. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών, σύμφωνα με τη μέθοδο WTF, για κάθε μία από τις επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018.

Σχετικά με την πρώτη υποπερίοδο 1949-1978 (Σχήματα Π 21-24), οι αντικειμενικά ορισμένες εποχές του χειμώνα και της άνοιξης διαρκούν περισσότερο από τις αντίστοιχες εποχές της ολικής 70ετής περιόδου, ενώ το θέρος και το φθινόπωρο διαρκούν λιγότερο. Παρατηρείται ότι η περίοδος αυτή είναι γενικά πιο υγρή και χαρακτηρίζεται από πιο θερμές χειμερινές και φθινοπωρινές περιόδους, και ψυχρότερες θερινές και εαρινές περιόδους (εκτός από μια θερμότερη περιοχή στη βόρεια Ιταλία). Ακόμα, σε όλες τις εποχές διακρίνονται αρνητικές τιμές αποχών του γεωδυναμικού ύψους κοντά στην επιφάνεια και στη μέση τροπόσφαιρα, που σημαίνει ότι η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από εντονότερη κυκλωνική ή/και ασθενέστερη αντικυκλωνική δραστηριότητα. Ο χειμώνας περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 14-17 Νοεμβρίου, 22 Νοεμβρίου - 8 Μαρτίου, 13-20 Μαρτίου και 23-26 Μαρτίου και διαρκεί 123 ημέρες, η άνοιξη αποτελείται από τις ημερομηνίες 9-12 Μαρτίου, 21-22 Μαρτίου και 27 Μαρτίου - 4 Ιουνίου και έχει διάρκεια 76 ημέρες, ακολουθεί το

θέρος το οποίο ξεκινά στις 5 Ιουνίου και τελειώνει στις 22 Σεπτεμβρίου διαρκώντας 110 ημέρες και τέλος το φθινόπωρο (23 Σεπτεμβρίου - 13 Νοεμβρίου και 18-21 Νοεμβρίου) κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 56 ημερών.

Συγκρίνοντας τις αντικειμενικά ορισμένες εποχές της υποπεριόδου 1959-1988 (Σχήματα Π 25-28) με αυτές της ολικής περιόδου, διαπιστώνεται ότι ο χειμώνας είναι μεγαλύτερος, το φθινόπωρο μικρότερο, ενώ η άνοιξη και το θέρος διαρκούν περίπου το ίδιο με τις αντίστοιχες εποχές της 70ετίας. Γενικά, αυτή την περίοδο, επικρατούν υψηλότερες τιμές νέφωσης με το χειμώνα και το φθινόπωρο να είναι θερμότεροι και το θέρος και την άνοιξη να είναι ψυχρότερες. Επίσης, με εξαίρεση το φθινόπωρο, η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από πιο συχνή/έντονη κυκλωνική δραστηριότητα και από πιο σπάνια/ασθενή αντικυκλωνική δραστηριότητα. Ο χειμώνας διαρκεί 124 ημέρες και περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 17 Νοεμβρίου - 15 Φεβρουαρίου, 19 Φεβρουαρίου - 17 Μαρτίου και 23-28 Μαρτίου, η άνοιξη αποτελείται από τις ημερομηνίες 16-18 Φεβρουαρίου, 18-22 Μαρτίου και 29 Μαρτίου - 2 Ιουνίου και διαρκεί 74 ημέρες, το θέρος με διάρκεια 113 ημερών ξεκινά στις 13 Ιουνίου και τελειώνει στις 23 Σεπτεμβρίου και τέλος το φθινόπωρο είναι η περίοδος 24 Σεπτεμβρίου - 16 Νοεμβρίου και έχει διάρκεια 54 ημερών.

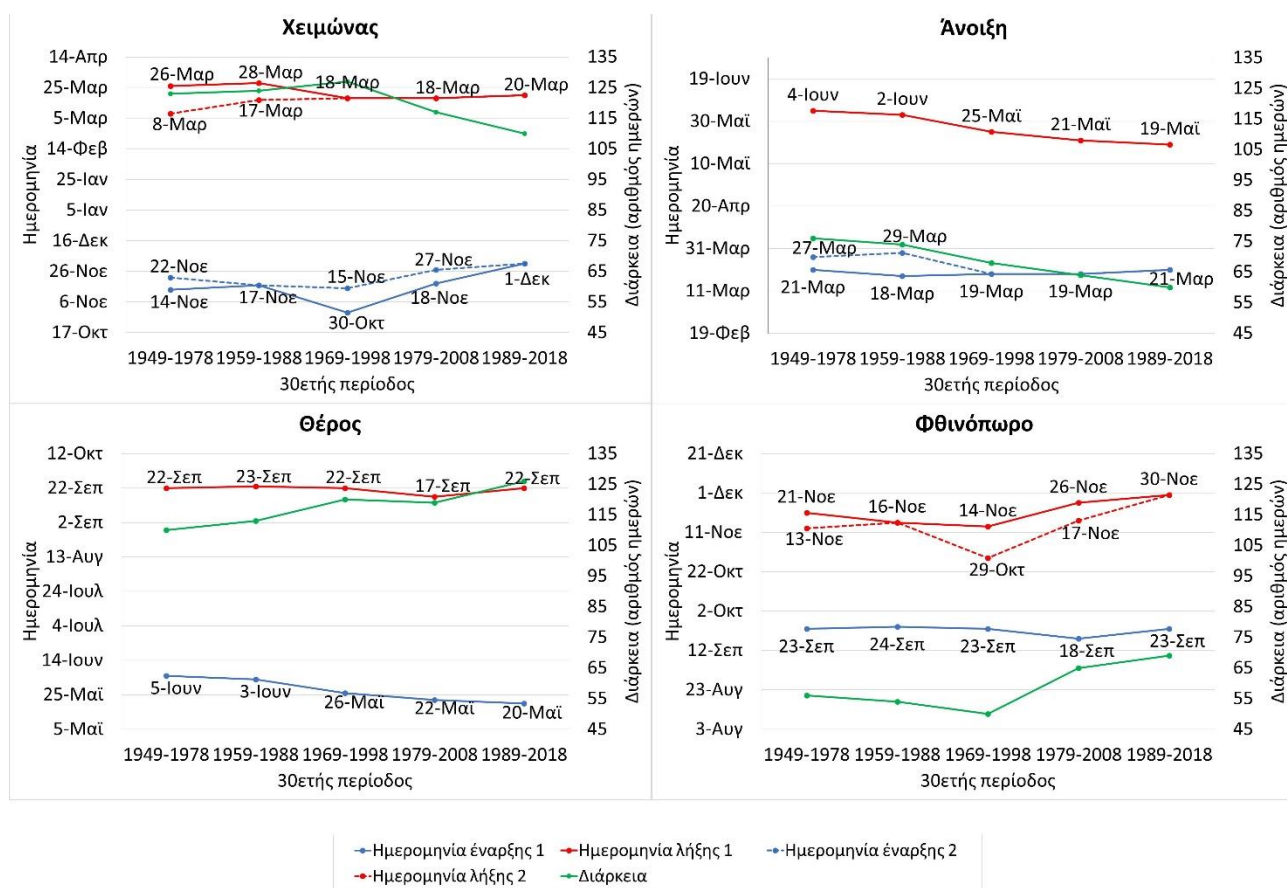
Η τρίτη 30ετής υποπερίοδος 1969-1998 (Σχήματα Π 29-32), χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερες, σε διάρκεια, εποχές του χειμώνα και του θέρους και μικρότερες εποχές της άνοιξης και του φθινοπώρου, σε σχέση με τις αντίστοιχες εποχές της ολικής περιόδου. Ο χειμώνας και το φθινόπωρο αυτής της περιόδου χαρακτηρίζονται από υψηλότερες θερμοκρασίες και συχνότερη ή και εντονότερη επικράτηση αντικυκλωνικών συνθηκών, ενώ η άνοιξη και το θέρος βιώνουν χαμηλότερες θερμοκρασίες και συχνότερη ή και εντονότερη κυκλωνική δραστηριότητα. Ο χειμώνας διαρκεί 127 ημέρες και περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 30 Οκτωβρίου - 1 Νοεμβρίου και 15 Νοεμβρίου - 18 Μαρτίου. Ακολουθεί η άνοιξη που είναι η περίοδος 19 Μαρτίου - 21 Μαΐου και διαρκεί 68 ημέρες. Οι ψυχρότερες συνθήκες παρατηρούνται στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη και στα Βαλκάνια, ενώ στη δυτική Ευρώπη και στη δυτική Μεσόγειο οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες. Το θέρος, με διάρκεια 120 ημερών, ξεκινά στις 26 Μαΐου και τελειώνει στις 22 Σεπτεμβρίου. Στις περιοχές της δυτικής και ανατολικής Μεσογείου παρατηρούνται θετικές αποχές της θερμοκρασίας, ενώ στην κεντρική Μεσόγειο εμφανίζονται αρνητικές αποχές της θερμοκρασίας. Τέλος, το φθινόπωρο περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 23 Σεπτεμβρίου - 29 Οκτωβρίου και 2-14 Νοεμβρίου, έχει διάρκεια 54 ημερών και χαρακτηρίζεται από αρνητικές αποχές θερμοκρασίας στις περιοχές κατά μήκος του άξονα της Μεσογείου Θάλασσας, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες από αυτές της ολικής περιόδου.

Η περίοδος 1979-2008 (Σχήματα Π 33-36) είναι γενικά μια πιο ξηρή περίοδος όπως συμπεραίνεται από τις αρνητικές αποχές της ολικής νεφοκάλυψης, της ειδικής υγρασίας και του υετίσιμου ύδατος. Χαρακτηρίζεται από μικρότερη άνοιξη και μεγαλύτερο θέρος, ενώ ο χειμώνας και το φθινόπωρο διαρκούν περίπου το ίδιο με τις αντίστοιχες εποχές της 70ετής περιόδου. Ο χειμώνας αποτελείται από τις ημερομηνίες 18-22 Νοεμβρίου και 27 Νοεμβρίου - 18 Μαρτίου και διαρκεί 117 ημέρες. Θετικές αποχές της θερμοκρασίας παρατηρούνται στην κεντρική και δυτική Μεσόγειο, ενώ στην κεντρική και νοτιοανατολική Ευρώπη και στη Μέση Ανατολή οι αποχές της θερμοκρασίας έχουν αρνητικές τιμές. Επίσης, οι θετικές αποχές των γεωδυναμικών υψών υποδεικνύουν εντονότερη αντικυκλωνική ή και ασθενέστερη κυκλωνική δραστηριότητα. Η άνοιξη ξεκινά στις 19 Μαρτίου και τελειώνει στις 21 Μαΐου διαρκώντας 64 ημέρες και είναι σημαντικά ψυχρότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη άνοιξη της 70ετίας, τόσο στην επιφάνεια όσο και στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Το θέρος έχει διάρκεια 119 ημερών, είναι η περίοδος 22 Μαΐου - 17 Σεπτεμβρίου και είναι γενικά ψυχρότερο. Τέλος, το φθινόπωρο περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 18 Σεπτεμβρίου - 17 Νοεμβρίου και 23-26 Νοεμβρίου, έχει διάρκεια 65 ημέρες, είναι θερμότερο και χαρακτηρίζεται από ασθενέστερη κυκλωνική ή και εντονότερη αντικυκλωνική δραστηριότητα.

Τέλος, τα αποτελέσματα για την τελευταία υποπερίοδο 1989-2018 (Σχήματα Π 37-40), αποκαλύπτουν μικρότερες χειμερινές και εαρινές εποχές και μεγαλύτερες θερινές και φθινοπωρινές εποχές, σε σύγκριση με τις εποχές της 70ετίας. Είναι γενικά μια πιο ξηρή περίοδος όπως αποκαλύπτεται από τις αρνητικές αποχές της νέφωσης, της ειδικής υγρασίας και του υετίσιμου ύδατος. Ο χειμώνας ξεκινά στις 1 Δεκεμβρίου και τελειώνει στις 20 Μαρτίου, διαρκώντας 110 ημέρες. Θετικές αποχές της θερμοκρασίας παρατηρούνται στην κεντρική και δυτική Μεσόγειο, ενώ στην κεντρική και νοτιοανατολική Ευρώπη και στη Μέση Ανατολή παρατηρούνται αρνητικές αποχές της. Η άνοιξη είναι από τις 21 Μαρτίου έως τις 19 Μαΐου, έχει διάρκεια 60 ημερών και είναι σημαντικά ψυχρότερη. Το θέρος είναι θερμότερο και περιλαμβάνει την περίοδο 20 Μαΐου - 22 Σεπτεμβρίου διαρκώντας 126 ημέρες. Τέλος, το φθινόπωρο ξεκινά στις 23 Σεπτεμβρίου και λήγει στις 30 Νοεμβρίου με διάρκεια 69 ημερών και είναι γενικά ψυχρότερο, με εξαίρεση τις περιοχές κατά μήκος του άξονα της Μεσογείου Θάλασσας.

Στο Σχήμα 36, παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τις μεταβολές των ημερομηνιών έναρξης και λήξης (μπλε και κόκκινες καμπύλες αντίστοιχα) των εποχών καθώς και της διάρκειάς τους (πράσινη καμπύλη), όπως αυτές ορίστηκαν με τη μέθοδο WTF. Η μελέτη αυτού του σχήματος, οδηγεί σε συμπεράσματα για πιθανές αλλαγές στα όρια των εποχών με την πάροδο των ετών καθώς και την πιθανή μείωση ή αύξηση της διάρκειάς τους. Όπως αναφέρθηκε και στο αντίστοιχο σχήμα της μεθόδου MVV, λόγω του γεγονότος ότι σε ορισμένες περιπτώσεις οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης

των εποχών δεν είναι σαφώς διακριτές καθώς μια εποχή μπορεί να παρεμβάλλεται για λίγες ημέρες στη γειτονική της εποχή, οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης κάθε εποχής είναι δύσκολο να οριστούν. Επομένως, οι ημερομηνίες έναρξης 1 (συνεχείς καμπύλες) αναφέρονται στην πρώτη εμφάνιση των εποχών, ενώ οι ημερομηνίες έναρξης 2 (διακεκομμένες καμπύλες) αναφέρονται στη δεύτερη εμφάνισή τους μετά τη σύντομη παρέμβαση της γειτονικής εποχής, όταν υπάρχει. Παρόμοια για τις ημερομηνίες λήξης, οι συνεχείς καμπύλες αναφέρονται στην τελευταία εμφάνιση των εποχών και οι διακεκομμένες καμπύλες αναφέρονται στην προτελευταία εμφάνισή τους πριν τη σύντομη παρέμβαση της γειτονικής εποχής, εάν υπάρχει. Η διάρκεια των εποχών είναι ο συνολικός αριθμός των ημερομηνιών που ανήκουν στην αντίστοιχη εποχή.



Σχήμα 36. Οι μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις των ημερομηνιών έναρξης και λήξης και της διάρκειας των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών, όπως ορίστηκαν με τη μέθοδο WTF.

Για το χειμώνα, παρατηρείται ότι από την τρίτη υποπερίοδο και έπειτα η ημερομηνίες λήξης του έρχονται νωρίτερα και συνεπώς η διάρκεια του μειώνεται, ενώ επίσης φαίνεται ότι τα πιο πρόσφατα έτη ο χειμώνας έρχεται αργότερα. Πιο αναλυτικά, η ημερομηνία έναρξης του χειμώνα μετακινείται λίγες ημέρες αργότερα κατά τη δεύτερη υποπερίοδο, σημειώνει ένα σημαντικό άλμα από τα μέσα Νοεμβρίου στα τέλη Οκτωβρίου την τρίτη υποπερίοδο, την τέταρτη υποπερίοδο επανέρχεται περίπου στο ίδιο επίπεδο με τη δεύτερη, ενώ στα πιο πρόσφατα έτη μετακινείται στις αρχές Δεκεμβρίου. Από

την καμπύλη των ημερομηνιών λήξης, φαίνεται ότι στις δύο πρώτες υποπεριόδους δεν υπάρχει κάποια μεταβολή, ενώ κατά την τρίτη υποπερίοδο ο χειμώνας τελειώνει 10 ημέρες νωρίτερα και παραμένει περίπου στα ίδια επίπεδα και στις επόμενες δύο περιόδους. Σε ό,τι αφορά τη διάρκεια του χειμώνα, παρατηρείται μια αύξηση της διάρκειάς του κατά την περίοδο 1969-1998, η οποία οφείλεται στην αρκετά γρηγορότερη έναρξή του, ενώ έκτοτε η διάρκεια μειώνεται.

Σε ό,τι αφορά την άνοιξη, παρατηρείται μια στατιστικά σημαντική (95% επίπεδο εμπιστοσύνης) συνεχόμενη πτωτική τάση της ημερομηνίας λήξης της (η λήξη συμβαίνει όλο και νωρίτερα) καθώς από τις 4 Ιουνίου της πρώτης υποπεριόδου καταλήγει στις 19 Μαΐου την πιο πρόσφατη περίοδο. Σχετικά με την έλευση της άνοιξης, δεν παρατηρείται κάποια αξιοσημείωτη μεταβολή καθώς οι ημερομηνίες έναρξής της κυμαίνονται μεταξύ 18 και 21 Μαρτίου. Ως αποτέλεσμα, η διάρκεια της άνοιξης εμφανίζει μια συνεχόμενη πτωτική πορεία, η οποία οφείλεται στο ότι η άνοιξη τελειώνει όλο και νωρίτερα, και συνεπώς υπάρχει μια σμίκρυνση της εποχής.

Σχετικά με το θέρους, ως συνέπεια της πτωτικής πορείας των ημερομηνιών λήξης της άνοιξης, παρατηρείται μια συνεχόμενη, στατιστικά σημαντική (95% επίπεδο εμπιστοσύνης), καθοδική τάση των ημερομηνιών έναρξής του (το θέρους ξεκινά νωρίτερα), με την ημερομηνία έναρξης της πρώτης υποπεριόδου να είναι η 5^η Ιουνίου και την αντίστοιχη ημερομηνία της τελευταίας υποπεριόδου να είναι η 20^η Μαΐου. Από την άλλη πλευρά, η ημερομηνία λήξης του θέρους παραμένει σταθερή και είναι η 22^η Σεπτεμβρίου, με εξαίρεση την περίοδο 1979-2008 όπου μετακινείται λίγο νωρίτερα. Συνέπεια των παραπάνω είναι η συνεχής αύξηση της διάρκειας του θέρους.

Τέλος, για το φθινόπωρο, ενώ η ημερομηνία έλευσής του είναι περίπου σταθερή (περί τις 23 Σεπτεμβρίου), η ημερομηνία λήξης του μεταβάλλεται. Στη διάρκεια των τριών πρώτων υποπεριόδων, η ημερομηνία λήξης του μετακινείται νωρίτερα, ενώ στις δύο τελευταίες περιόδους μετακινείται αρκετά αργότερα. Αποτέλεσμα αυτών των διακυμάνσεων είναι η μείωση της διάρκειας του φθινοπώρου κατά τις πρώτες τρεις περιόδους και η αύξησή της στις πιο πρόσφατες περιόδους.

4.4 Σύνοψη και συμπεράσματα κεφαλαίου

Σε αυτό το Κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε η αντικειμενική ταξινόμηση των κυρίαρχων Τύπων Καιρού (Weather Types, WTs) οι οποίοι επικρατούν στην περιοχή της Μεσογείου. Χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές 10 μετεωρολογικών παραμέτρων από τη βάση δεδομένων NCEP/NCAR οι οποίες αξιοποιήθηκαν και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι παράμετροι αυτοί αναφέρονται στην περίοδο 1/1/1949 - 31/12/2018 και αποτελούνται από: τη ζωνική και μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, την ολική νεφοκάλυψη, τα γεωδυναμικά ύψη των ισοβαρικών επιφανειών 500hPa και 1000hPa, τις θερμοκρασίες του αέρα στις

ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa, 850hPa και στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, την ειδική υγρασία στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa και το υετίσιμο ύδωρ. Συνεπώς, κατασκευάστηκε ένας πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει τις ημερήσιες τιμές των 10 μετεωρολογικών παραμέτρων για κάθε σημείο πλέγματος. Στη συνέχεια, εφαρμόζονται η PCA στον παραπάνω πίνακα και η k-means CA στον πίνακα των χρονοσειρών των στατιστικά σημαντικών PCs, ομαδοποιώντας τις ημερομηνίες της 70ετούς περιόδου οι οποίες χαρακτηρίζονται από παρόμοιες καιρικές/συνοπτικές συνθήκες και επομένως κάθε ομάδα/συστάδα αντιστοιχεί σε έναν συγκεκριμένο WT. Ορίστηκαν επομένως 8 WTs και μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά τους, όπως οι συνοπτικές συνθήκες που τους χαρακτηρίζουν καθώς και οι ενδοετήσιες και οι διαχρονικές διακυμάνσεις των συχνοτήτων εμφάνισής τους. Στη συνέχεια, κατασκευάστηκε ένας πίνακας με τις μέσες ημερήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των 8 WTs. Δηλαδή, οι γραμμές αυτού του πίνακα αποτελούνται από τις 365 ημέρες του έτους και οι στήλες του περιλαμβάνουν τις αντίστοιχες συχνότητες των 8 WTs. Εφαρμόζοντας ξανά τις PCA και k-means CA στον πίνακα αυτόν, πραγματοποιείται η ταξινόμηση των ημερομηνιών του έτους σε ομάδες ανάλογα με τις κατανομές συχνοτήτων των 8 WTs. Οι ομάδες αυτές μπορούν να θεωρηθούν ως οι αντικειμενικά ορισμένες εποχές. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται Weather Types' Frequency Method ή μέθοδος WTF. Η μέθοδος WTF, όπως και η προηγούμενη μέθοδος MVV, εφαρμόστηκε για την 70ετία 1949-2018, καθώς και για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018. Τα κύρια συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από το παρόν Κεφάλαιο είναι:

1. Ορίστηκαν 8 κυρίαρχοι WTs για την περιοχή της Μεσογείου. 2 από αυτούς επικρατούν τη θερμή περίοδο του έτους ενώ οι υπόλοιποι επικρατούν κατά την ψυχρή περίοδο του έτους. Οι 6 WTs της ψυχρής περιόδου διαφέρουν ως προς τα κυρίαρχα καθεστάτα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, θερμοκρασίας, υγρασίας και νεφοκάλυψης στη λεκάνη της Μεσογείου. Τα καθεστάτα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας περιλαμβάνουν συστήματα μεγάλης κλίμακας που επηρεάζουν την περιοχή, όπως οι μεσογειακές υφέσεις, η ζώνη των δυτικών ανέμων, η επέκταση του υποτροπικού αντικυκλώνα των Αζορών και το θερμικό χαμηλό της ΝΔ Ασίας.
2. Σε ό,τι αφορά τον ορισμό των εποχών, για την 70ετή περίοδο 1949-2018, η χρήση των ενδοετήσιων διακυμάνσεων των συχνοτήτων των 8 WTs οδήγησε σε τέσσερις αντικειμενικά καθορισμένες εποχές. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με την προηγούμενη προσπάθεια για τον ορισμό των εποχών η οποία βασίζεται στις μέσες ενδοετήσιες διακυμάνσεις των διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων (μέθοδος MVV) καθώς και με τον ορισμό των συμβατικών εποχών. Σύμφωνα με τη μέθοδο WTF: ο χειμώνας έρχεται στις 26 Νοεμβρίου και φεύγει στις 20 Μαρτίου διαρκώντας σχεδόν 4 μήνες (115 ημέρες), η άνοιξη ακολουθεί από τις 21

Μαρτίου έως τις 31 Μαΐου με διάρκεια περίπου 2,5 μήνες (72 ημέρες), το θέρος είναι η περίοδος 1 Ιουνίου - 22 Σεπτεμβρίου και διαρκεί σχεδόν 4 μήνες (114 ημέρες) και το φθινόπωρο (23 Σεπτεμβρίου - 25 Νοεμβρίου) κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια σχεδόν 2 μηνών (64 ημερών).

3. Συγκρίνοντας τις εποχές που ορίζονται με τη μέθοδο WTF με τις αντίστοιχες εποχές της μεθόδου MVV, αποκαλύπτονται διαφορές στα όρια και τη διάρκεια των εποχών. Ενώ οι δύο μέθοδοι συμφωνούν πλήρως σχετικά με τις ημερομηνίες έναρξης/λήξης και τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, παρουσιάζουν διαφορές στη θερινή περίοδο οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν τα όρια και τη διάρκεια των γειτονικών εποχών. Η προσέγγιση WTF οδηγεί σε μια αρκετά μεγαλύτερη (σχεδόν κατά ένα μήνα) θερινή περίοδο, που σημαίνει επίσης μικρότερες εποχές της άνοιξης και του φθινοπώρου, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες εποχές της μεθόδου MVV.
4. Για κάθε μία από τις 4 εποχές που ορίστηκαν με τη μέθοδο WTF, κατασκευάστηκαν οι χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών των μετεωρολογικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν, οι οποίοι παρομοιάζουν αρκετά με τους χάρτες των αντίστοιχων εποχών που ορίζονται με τη μέθοδο MVV. Συνοπτικά, οι επικρατούσες συνθήκες ανά εποχή είναι:
 - α. Ο χειμώνας χαρακτηρίζεται από τη συχνή εμφάνιση ισχυρών υφέσεων πάνω από την κεντρική Μεσόγειο, οδηγώντας σε πιο υγρές συνθήκες στην περιοχή. Επίσης, η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλότερη πάνω από τη θάλασσα και στις παράκτιες περιοχές σε σύγκριση με τις ηπειρωτικές περιοχές.
 - β. Την άνοιξη, η εμφάνιση υφέσεων στις περιοχές της Μέσης Ανατολής είναι συχνή, ενώ οι ηπειρωτικές περιοχές βόρεια της Μεσογείου χαρακτηρίζονται από αυξημένη νέφωση και υγρασία.
 - γ. Το θέρος, επικρατούν πολύ θερμές και ξηρές συνθήκες στο νότιο τμήμα της Μεσογείου, ενώ πιο υγρές συνθήκες παρατηρούνται στις βόρειες ηπειρωτικές περιοχές. Αντικυκλωνικές συνθήκες επικρατούν στο δυτικό κομμάτι της περιοχής, ενώ στην ανατολική Μεσόγειο το θερμικό χαμηλό της ΝΔ Ασίας οδηγεί στην επικράτηση των ετησίων ανέμων.
 - δ. Το φθινόπωρο, είναι συχνή η εμφάνιση ισχυρών υφέσεων δυτικά της Ιταλίας, με αποτέλεσμα την επικράτηση πιο υγρών συνθηκών στις γύρω περιοχές, ενώ στα βορειοανατολικά Βαλκάνια επικρατούν αντικυκλωνικές συνθήκες. Η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας είναι παρόμοια με αυτήν της εποχής του χειμώνα.
5. Η εφαρμογή της μεθόδου WTF σε κάθε μια από τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους που προαναφέρθηκαν είχε ως αποτέλεσμα των ορισμό τεσσάρων εποχών σε

κάθε περίπτωση. Για κάθε υποπερίοδο, κατασκευάστηκαν οι χάρτες των μέσων αποχών κάθε 30ετούς υποπεριόδου από την ολική 70ετή περίοδο για κάθε εποχή και για κάθε παράμετρο. Από τη μελέτη των χαρτών των αποχών και τον ορισμό των εποχών διαπιστώνεται ότι:

- α. Η πρώτη υποπερίοδος 1949-1978, παρουσιάζει μεγαλύτερες εποχές χειμώνα και άνοιξης και μικρότερες εποχές θέρους και φθινοπώρου. Επίσης, η περίοδος αυτή είναι γενικά πιο υγρή και χαρακτηρίζεται από πιο θερμές εποχές χειμώνα και φθινοπώρου και ψυχρότερες εποχές θέρους και άνοιξης.
 - β. Η δεύτερη υποπερίοδος 1959-1988, χαρακτηρίζεται από εκτενέστερο χειμώνα, συντομότερο φθινόπωρο, ενώ η άνοιξη και το θέρος διαρκούν περίπου το ίδιο με τις αντίστοιχες εποχές της 70ετίας. Γενικά, αυτή την περίοδο, επικρατούν πιο υγρές συνθήκες με το χειμώνα και το φθινόπωρο να είναι θερμότεροι και το θέρος και την άνοιξη να είναι ψυχρότερες.
 - γ. Την τρίτη υποπερίοδο 1969-1998, οι εποχές του χειμώνα και του θέρους διαρκούν περισσότερο, ενώ οι εποχές της άνοιξης και του φθινοπώρου διαρκούν λιγότερο.
 - δ. Η περίοδος 1979-2008, είναι γενικά μια ξηρή περίοδος με συντομότερη άνοιξη και εκτενέστερο θέρος, ενώ οι εποχές τους χειμώνα και του φθινοπώρου διαρκούν περίπου το ίδιο με τις αντίστοιχες εποχές της 70ετής περιόδου.
 - ε. Η τελευταία υποπερίοδος 1989-2018, είναι γενικά μια πιο ξηρή περίοδος και χαρακτηρίζεται από μικρότερο χειμώνα, μικρότερη άνοιξη, μεγαλύτερο θέρος και μεγαλύτερο φθινόπωρο, σε σύγκριση με τις εποχές της 70ετίας.
6. Τέλος, διερευνήθηκε και η ύπαρξη πιθανών διαχρονικών αλλαγών των χαρακτηριστικών των εποχών, όπως αλλαγών στα όρια και στη διάρκειά τους. Τα σημαντικότερα ευρήματα είναι: ο χειμώνας έρχεται αργότερα και φεύγει νωρίτερα τα πιο πρόσφατα έτη και συνεπώς η διάρκειά του μειώνεται, η άνοιξη τελειώνει όλο και νωρίτερα και συνεπώς υπάρχει μια σμίκρυνση της εποχής, το θέρος έρχεται όλο και νωρίτερα με αποτέλεσμα την επέκτασή του και το φθινόπωρο τελειώνει γρηγορότερα τις πρώτες περιόδους και συνεπώς διαρκεί λιγότερο και τελειώνει αργότερα τις πιο πρόσφατες περιόδους και διαρκεί περισσότερο.

Κεφάλαιο 5

Ορισμός των εποχών μέσω των τροχιών των υφέσεων

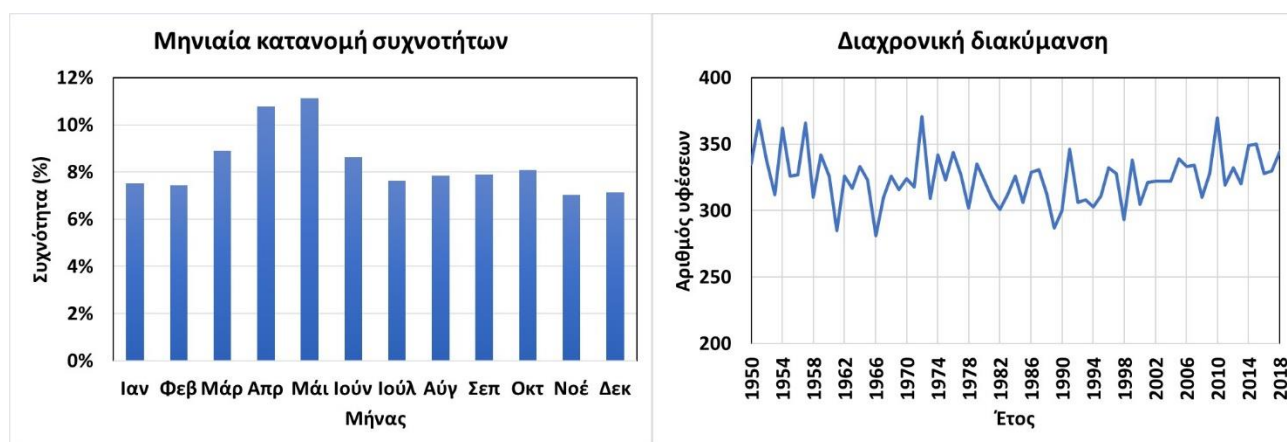
Σε αυτό το Κεφάλαιο πραγματοποιείται η ταξινόμηση των τροχιών των υφέσεων σε ομάδες/συστάδες, εφαρμόζοντας διαδοχικά τις μεθόδους PCA και CA στον πίνακα των γεωγραφικών συντεταγμένων των τροχιών των υφέσεων που εντοπίστηκαν, οι οποίες έχουν υποστεί τη διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής. Συνεπώς, ορίζονται οι κυρίαρχες ομάδες υφέσεων, με βάση τη χωρική κατανομή των τροχιών τους και μελετώνται τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια, αξιολογούνται οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των ορισμένων συστάδων των τροχιών των υφέσεων με σκοπό τον αντικειμενικό ορισμό των εποχών για την περιοχή της Μεσογείου. Αυτή η μέθοδος αντικειμενικού ορισμού των εποχών ονομάζεται Cyclones Tracks' Frequency method ή μέθοδος CTF.

5.1 Ορισμός των συστάδων των τροχιών των υφέσεων

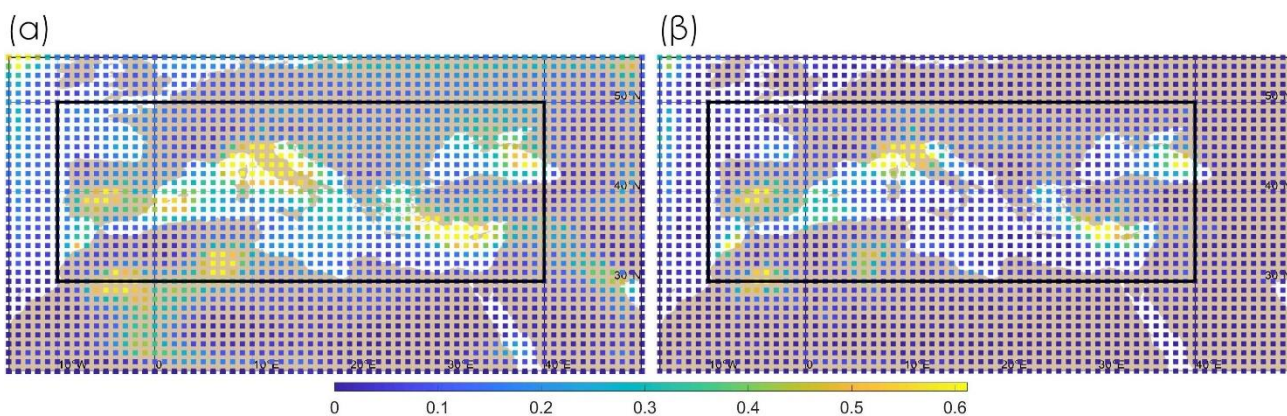
Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, για να τρέξει σωστά ο αλγόριθμος εντοπισμού των υφέσεων, απαιτείται η επιλογή μιας ευρύτερης περιοχής η οποία εμπεριέχει την περιοχή ενδιαφέροντος, δηλαδή την περιοχή της Μεσογείου. Συνεπώς, ο αλγόριθμος ανίχνευσης των υφέσεων και αναγνώρισης των χαρακτηριστικών τους (τροχιά, πίεση κέντρου και χρόνος ζωής) έτρεξε χρησιμοποιώντας τα βωρα δεδομένα MSLP για την περιοχή του Σχήματος 3 και οδήγησε στην ανίχνευση 40.472 υφέσεων. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ένα κριτήριο για την απόρριψη κάποιων εκ των υφέσεων που ανιχνεύθηκαν, ώστε να συμπεριλαμβάνονται μόνο οι υφέσεις οι οποίες κατά τη διάρκεια της ζωής τους εισέρχονται τουλάχιστον μια φορά στο εσωτερικό της Μεσογείου (50°B-30°B και 10°B-40°A, Σχήμα 3 εντός μαύρου παραλληλόγραμμου). Ο κώδικας Matlab για την πραγματοποίηση αυτής της διαδικασίας, περιλαμβάνεται στο Παράρτημα 3 (Κώδικας 2). Ως αποτέλεσμα, πολλές υφέσεις που δεν εισέρχονται ποτέ στην περιοχή της Μεσογείου απορρίπτονται και παραμένουν 22.404 υφέσεις.

Στο Σχήμα 37, παρουσιάζονται οι μηνιαίες (%) και διαχρονικές διακυμάνσεις των συχνοτήτων των ανιχνευόμενων υφέσεων. Κατά μέσο όρο 325 υφέσεις ανιχνεύονται κάθε χρόνο και φαίνεται να υπάρχει υψηλότερη κυκλωνική δραστηριότητα κατά την εποχή της άνοιξης και ιδιαίτερα τους δύο τελευταίους μήνες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στον υπολογισμό των μηνιαίων συχνοτήτων κάθε ύφεση συνυπολογίζεται πολλές φορές αφού εμφανίζεται σε πολλά βωρα χρονικά διαστήματα. Το Σχήμα 38 δείχνει την χωρική κατανομή της πυκνότητας των τροχιών καθώς και τις περιοχές κυκλογένεσης των υφέσεων. Οι κώδικες Matlab για τον υπολογισμό της πυκνότητας των τροχιών των υφέσεων καθώς και των περιπτώσεων κυκλογένεσης, περιλαμβάνονται στο Παράρτημα 3

(Κώδικες 3 και 4, αντίστοιχα). Γενικά, οι περιοχές υψηλής κυκλογένεσης συμπίπτουν με αυτές της υψηλής πυκνότητας. Η περιοχή με τη μεγαλύτερη δραστηριότητα, όπου περνούν ή σχηματίζονται οι περισσότεροι υφέσεις, είναι ο κόλπος της Γένοβας στη βορειοδυτική Μεσόγειο και ακολουθεί τη διαδρομή κατά μήκος της Αδριατικής και της Τυρρηνικής Θάλασσας. Μια άλλη περιοχή υψηλής κυκλογένεσης/πυκνότητας φαίνεται νότια της οροσειράς του Άτλαντα, όπου οι τροχιές των υφέσεων κινούνται προς το κεντρικό τμήμα της λεκάνης. Επίσης, το χαμηλό της Κύπρου είναι εμφανές στη ΝΑ Μεσόγειο. Άλλες μεγάλες περιοχές υψηλής δραστηριότητας είναι η Ιβηρική χερσόνησος, η Μαύρη Θάλασσα, το Αιγαίο Πέλαγος και η Μέση Ανατολή. Αυτά τα ευρήματα συμφωνούν πολύ καλά με τα αποτελέσματα των Lionello et al. (2016) όπου συγκρίνονται διάφοροι αλγόριθμοι ανίχνευσης και παρακολούθησης υφέσεων.

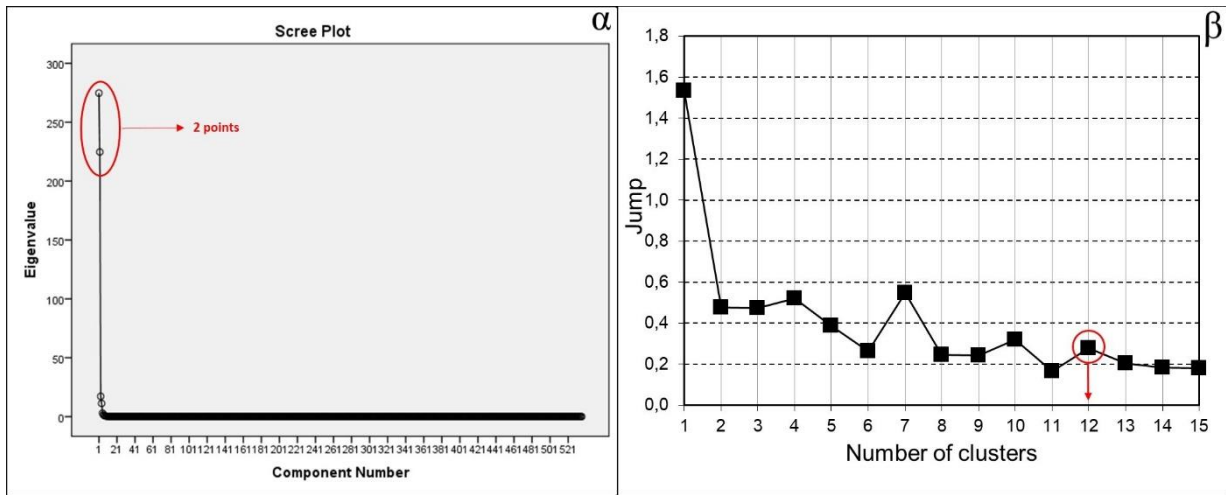


Σχήμα 37. Οι μηνιαίες (%) και διαχρονικές διακυμάνσεις των συχνοτήτων των υφέσεων που επηρεάζουν την περιοχή της Μεσογείου.



Σχήμα 38. Τροχιές των υφέσεων και κυκλογένεση στην περιοχή της Μεσογείου. (α) Πυκνότητα τροχιών. Τα χρώματα αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα (%) ότι μια τροχιά ύφεσης διασχίζει το 1×1 κελί σε ένα συγκεκριμένο δωρο. (β) Πιθανότητα (%) να συμβεί κυκλογένεση σε ένα κελί σε ένα συγκεκριμένο δωρο. Και στους δύο χάρτες λαμβάνονται υπόψη μόνο οι υφέσεις των οποίων η διαδρομή διασχίζει την περιοχή της Μεσογείου. Το μεγάλο μαύρο ορθογώνιο δείχνει την περιοχή της Μεσογείου.

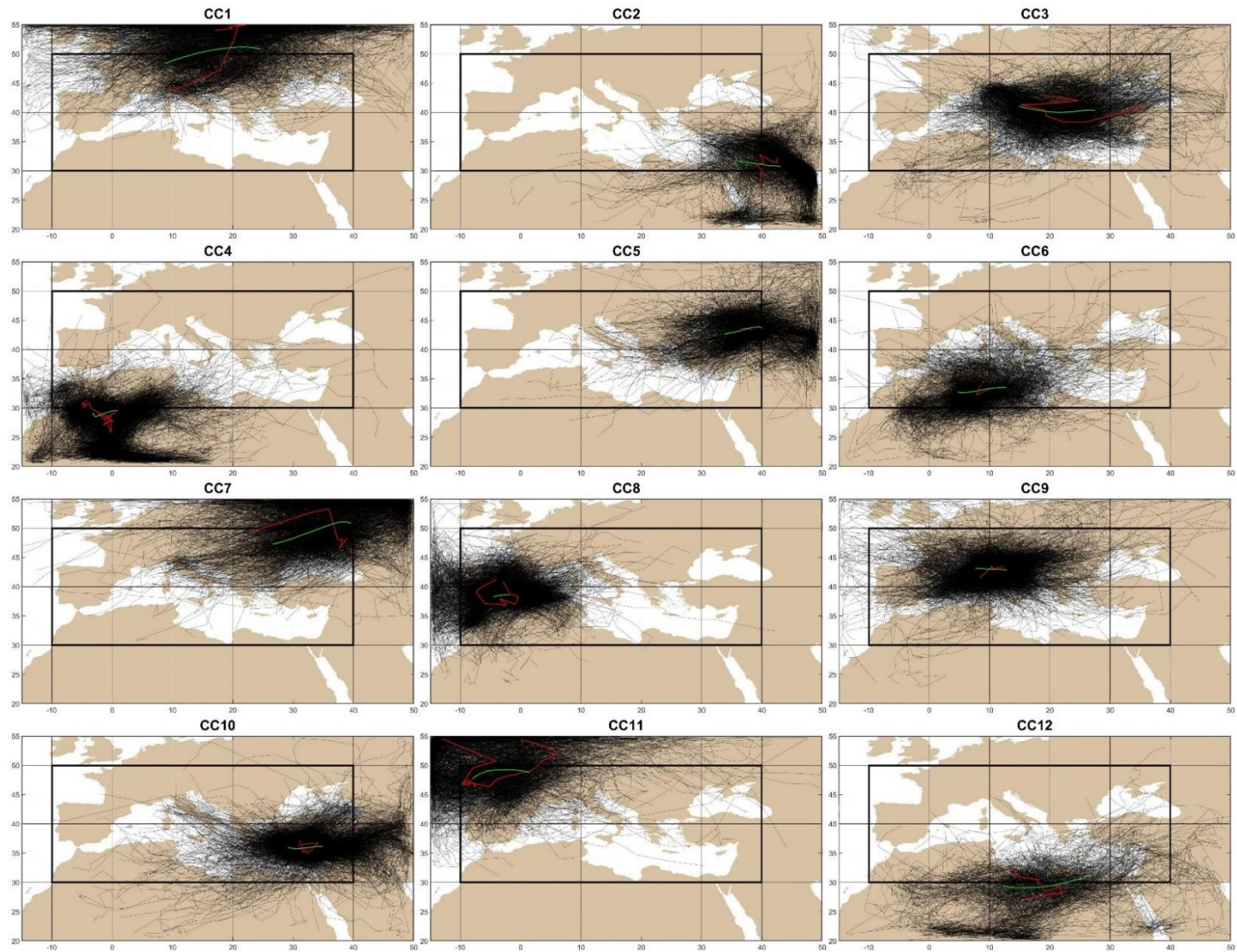
Έχοντας υπολογίσει πλέον τις τροχιές των υφέσεων, κατασκευάστηκε ένας πίνακας του οποίου η κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μια ύφεση και οι στήλες αντιστοιχούν στις γεωγραφικές συντεταγμένες των κέντρων των υφέσεων σε κάθε βωρο της ζωής τους. Όμως, για να εφαρμοστούν οι στατιστικές μέθοδοι θα πρέπει οι γραμμές του πίνακα να έχουν τον ίδιο αριθμό στοιχείων. Απαιτείται λοιπόν η εφαρμογή μιας μεθόδου παρεμβολής (interpolation) των συντεταγμένων των τροχιών των υφέσεων. Συνεπώς, όλες οι τροχιές παρεμβάλλονται γραμμικά (linear interpolation) ώστε να έχουν τον ίδιο αριθμό σημείων, ο οποίος είναι ίσος με το χρόνο ζωής της μακροβιότερης ύφεσης που ανιχνεύθηκε (268 βωρα = 67 ημέρες). Ο κώδικας Matlab όπου πραγματοποιεί την παραπάνω διαδικασία, αναλύεται στο Παράρτημα 3 (Κώδικας 5). Εν τέλει, οι γραμμές του πίνακα ισούνται με τον αριθμό των υφέσεων (22.404) και οι στήλες του με τον αριθμό των συντεταγμένων γεωγραφικού μήκους και πλάτους των τροχιών τους ύστερα από την εφαρμογή της διαδικασίας γραμμικής παρεμβολής ($2 \times 268 = 536$). Η εφαρμογή της PCA στον πίνακα αυτόν οδήγησε σε 2 PCs, οι οποίες ερμηνεύουν το 93% της συνολικής διακύμανσης. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα Scree στο Σχήμα 39α, θα μπορούσαν να διατηρηθούν έως και 4 PCs, όμως η διατήρηση μιας ακόμα PC δε θα συνείφερε σημαντικά στο αποτέλεσμα καθώς δεν εμφανίζει υψηλές τιμές συσχέτισης με τις αρχικές μεταβλητές και δεν αντιπροσωπεύει σημαντικό πόσο διακύμανσης ($\approx 3\%$). Επομένως, η διατήρηση 2 PCs με μια απώλεια 7% της αρχικής πληροφορίας είναι πολύ ικανοποιητική. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η CA στις χρονοσειρές των 2 PCs. Σύμφωνα με το διάγραμμα του Άλματος (Σχήμα 39β), οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται για 7, 10 και 12 συστάδες. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για όλες αυτές τις προτιμητέες τιμές και αποφασίστηκε ότι στη βέλτιστη ομαδοποίηση οδηγούν οι 12 συστάδες. Κάθε μία από τις 12 συστάδες αποτελείται από υφέσεις οι οποίες παρουσιάζουν παρόμοια χωρική κατανομή και χαρακτηριστικά των τροχιών τους. Οι χωρικές κατανομές των 12 συστάδων των τροχιών των υφέσεων (Cyclones tracks' Clusters, CCs) φαίνονται στο Σχήμα 40. Οι χάρτες αυτοί σχεδιάστηκαν με τη χρήση της Matlab (Παράρτημα 3, Κώδικας 6). Κάθε μαύρη καμπύλη αντιστοιχεί σε μια τροχιά. Η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στην τροχιά με τη μικρότερη απόσταση από το κέντρο της αντίστοιχης συστάδας, ενώ η πράσινη καμπύλη είναι η μέση τροχιά της αντίστοιχης συστάδας, η οποία υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές των αντίστοιχων συντεταγμένων (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) όλων των τροχιών που ανήκουν στη συστάδα. Το Σχήμα 41 περιέχει τις μηνιαίες κατανομές συχνότητων των 12 CCs και ο Πίνακας 3 περιλαμβάνει τα κύρια χαρακτηριστικά των CCs, όπως τα ονόματά τους, τους μήνες επικράτησης, τη μέση πίεση των κέντρων, τον αριθμό των υφέσεων που ανήκουν σε κάθε CC, καθώς και τις μέσες ετήσιες συχνότητές τους.



Σχήμα 39. (α) Το διάγραμμα Scree που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των PCs και (β) το διάγραμμα του Άλματος (Jump) που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των συστάδων. Τα κόκκινα σημάδια υποδεικνύουν τους επιλεγμένους αριθμούς.

Πίνακας 3. Οι 12 συστάδες υφέσεων με τις ονομασίες που δίνονται, τους μήνες επικράτησης (μήνες με συχνότητα άνω του 10%), τη μέση κεντρική MSLP, τον αριθμό των ταξινομημένων υφέσεων και τη μέση ετήσια συχνότητά τους.

CC	Όνομα	Μήνες επικράτησης	Μέση κεντρική MSLP (hPa)	Αριθμός υφέσεων	Μέση ετήσια συχνότητα (αριθμός υφέσεων ανά έτος)
1	Υφέσεις κεντρικής Ευρώπης	Απρίλιος-Ιούλιος	1.005,6	1.546	22,4
2	Υφέσεις Κύπρου	Μάρτιος-Μάιος, Οκτώβριος	1.008,5	833	12,1
3	Υφέσεις βόρειας Μεσογείου	Νοέμβριος-Μάρτιος	1.007,1	1.617	23,4
4	Σαχαριανές υφέσεις - Αφρική	Μάρτιος-Ιούνιος, Σεπτέμβριος	1.009,1	1.684	24,4
5	Υφέσεις Μαύρης Θάλασσας	Μάρτιος-Μάιος, όλο το έτος	1.008,1	1.861	27,0
6	Σαχαριανές υφέσεις - κεντρική Μεσόγειος	Απρίλιος-Μάιος	1.008,7	1.605	23,3
7	Υφέσεις ανατολικής Ευρώπης	Απρίλιος-Αύγουστος	1.005,3	1.682	24,4
8	Υφέσεις Ιβηρικής Χερσονήσου	Ιούλιος-Σεπτέμβριος	1.010,8	3.181	46,1
9	Υφέσεις βορειοδυτικής Μεσογείου	Αύγουστος, όλο το έτος	1.009,5	3.166	45,9
10	Υφέσεις Λεβαντινής λεκάνης	Δεκέμβριος-Απρίλιος	1.008,6	2.745	39,8
11	Υφέσεις ανατολικού Ατλαντικού	Μάιος, όλο το έτος	1.001,2	1.711	24,8
12	Σαχαριανές υφέσεις - Λεβαντινή λεκάνη	Μάρτιος-Μάιος	1.007,9	773	11,2
σύνολο		Απρίλιος-Μάιος, όλο το έτος	1.007,6	22.404	324,7



Σχήμα 40. Οι τροχιές των υφέσεων των 12 συστάδων. Οι κόκκινες καμπύλες αντιστοιχούν στις τροχιές των υφέσεων με τη μικρότερη απόσταση από το κέντρο της αντίστοιχης συστάδας. Οι πράσινες καμπύλες είναι οι μέσες τροχιές των αντίστοιχων συστάδων.



Σχήμα 41. Οι μηνιαίες κατανομές συχνοτήτων (%) των 12 συστάδων τροχιών των υφέσεων.

- Η πρώτη συστάδα (CC1 - Υφέσεις κεντρικής Ευρώπης) περιέχει 1.546 υφέσεις που παρατηρούνται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης κατά τη θερμή περίοδο (Απρίλιος - Αύγουστος). Γενικά, αυτές οι υφέσεις σχηματίζονται στη δυτική ή κεντρική Ευρώπη βόρεια της Μεσογείου και κινούνται προς την ανατολική Ευρώπη. Τέτοιες υφέσεις είναι πιο συχνές κατά τη θερμή περίοδο του έτους, λόγω της συμβολής της διαβατικής θέρμανσης, η οποία σχετίζεται με την έντονη ηλιακή ακτινοβολία, στην κυκλωνική δραστηριότητα πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές (Metaxas 1978).
- Η δεύτερη συστάδα (CC2 - Υφέσεις Κύπρου) περιλαμβάνει έναν σχετικά μικρό αριθμό υφέσεων (833) που εμφανίζονται κυρίως κατά την ψυχρή περίοδο του έτους. Οι υφέσεις της συστάδας αυτής σχηματίζονται κυρίως στην ανατολική Μεσόγειο ανατολικά της περιοχής της Κύπρου και κινούνται προς τα ανατολικά κατά μήκος του άξονα της Μεσογείου

Θάλασσας, επηρεάζοντας τις καιρικές συνθήκες των γειτονικών περιοχών, συμπεριλαμβανομένης της νότιας Τουρκίας και της Μέσης Ανατολής.

- Η τρίτη συστάδα (CC3 - Υφέσεις βόρειας Μεσογείου) αποτελείται από 1.617 υφέσεις που είναι συχνές κυρίως κατά την ψυχρή περίοδο του έτους (Νοέμβριος - Μάρτιος). Αυτή η συστάδα περιλαμβάνει τις υφέσεις οι οποίες σχηματίζονται πάνω από τις κύριες περιοχές κυκλογένεσης της κεντρικής και βόρειας Μεσογείου και μετακινούνται προς την ανατολική Μεσόγειο επηρεάζοντας τις καιρικές συνθήκες των γύρω περιοχών (Trigo et al. 1999, Maheras et al. 2001), συμπεριλαμβανομένων της Ιταλίας, της Ελλάδας και της Τουρκίας. Τέτοιες υφέσεις είναι κυρίως οι μετωπικές υφέσεις που σχηματίζονται κατά την ψυχρή περίοδο του έτους λόγω της υψηλής βαροκλινικότητας κατά μήκος των ακτών της βόρειας Μεσογείου και της υψηλής ροής αισθητής θερμότητας πάνω από τη θερμή (σε σχέση με τον υπερκείμενο αέρα) επιφάνεια της θάλασσας, συμβάλλοντας σε σημαντικά ποσά υετού στις παραπάνω περιοχές (Trigo et al. 2002, Reale and Lionello 2013, Kotsias et al. 2020).
- Η τέταρτη συστάδα (CC4 - Σαχαριανές υφέσεις - Αφρική) περιλαμβάνει 1.684 υφέσεις που εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με μέγιστο συχνότητας την εποχή της συμβατικής άνοιξης. Αυτές οι υφέσεις, γνωστές ως Σαχαριανές υφέσεις (Sharav cyclones), αποτελούν το κυρίαρχο χαρακτηριστικό της μεσογειακής άνοιξης, καθώς η περιοχή νότια της οροσειράς του Άτλαντα γίνεται κύρια πηγή κυκλογένεσης η οποία κορυφώνεται τον Μάιο - Ιούνιο. Η κυκλογένεση στην υπήνεμη πλευρά της οροσειράς, η επίδραση της σκόνης στο προφίλ της θερμοκρασίας (Thorncroft και Flocas 1997) και η θερμοκρασιακή αντίθεση μεταξύ θάλασσας - ξηράς την άνοιξη παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των συγκεκριμένων υφέσεων (Trigo et al. 1999).
- Η πέμπτη συστάδα (CC5 - Υφέσεις Μαύρης Θάλασσας) αποτελείται από 1.861 υφέσεις οι οποίες κατανέμονται ομοιογενώς κατά τη διάρκεια του έτους. Είναι υφέσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή της Μαύρης Θάλασσας και επηρεάζουν τις περιοχές της ανατολικής Μεσογείου, καθώς και περιοχές της ΝΑ Ευρώπης και της Δ Ασίας. Η περιοχή της Μαύρης Θάλασσας έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα από τα κύρια κέντρα κυκλογένεσης της ευρύτερης περιοχής της ανατολικής Μεσογείου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Trigo et al. 1999).
- Η έκτη συστάδα (CC6 - Σαχαριανές υφέσεις - κεντρική Μεσόγειος) περιέχει 1.605 υφέσεις που παρατηρούνται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης την εαρινή περίοδο. Τέτοιες υφέσεις, που σχηματίζονται στις περιοχές της ΒΔ Αφρικής, συγκεκριμένα δυτικά της Τυνησίας, μπορούν επίσης να θεωρηθούν Σαχαριανές υφέσεις που όμως χαρακτηρίζονται από μια πιο ανατολική κίνηση σε σύγκριση με αυτούς της CC4. Οι

υφέσεις αυτές ενισχύονται περνώντας πάνω από τη Μεσόγειο Θάλασσα ανατολικά της Τυνησίας και επηρεάζουν τις καιρικές συνθήκες κυρίως του νότιου τμήματος της περιοχής της Μεσογείου. Η περιοχή κυκλογένεσης πάνω από τον Κόλπο της Σύρτης είναι η δεύτερη περιοχή κυκλογένεσης στη ΒΔ Αφρική (Maheras et al. 2001), ενώ η άλλη είναι η οροσειρά του Άτλαντα στην Αλγερία και το Μαρόκο. Η κυκλογένεση σε αυτήν την περιοχή είναι πιο συχνή τη συμβατική άνοιξη και οφείλεται κυρίως σε θερμικά αίτια που ευνοούνται από την έντονη θερμοκρασιακή βαθμίδα μεταξύ των ακτών της Λιβύης και της κεντρικής Σαχάρας, η οποία είναι μέγιστη αυτήν την περίοδο (Morris 1973).

- Η έβδομη συστάδα (CC7 - Υφέσεις ανατολικής Ευρώπης) περιλαμβάνει 1.682 υφέσεις που εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με τη μεγαλύτερη συχνότητα κατά τους θερμότερους μήνες (Απρίλιος - Αύγουστος). Αυτές οι υφέσεις αναπτύσσονται στην ανατολική Ευρώπη και επηρεάζουν τις γύρω περιοχές καθώς και τις περιοχές της κεντρικής και ανατολικής Μεσογείου.
- Η όγδοη συστάδα (CC8 - Υφέσεις Ιβηρικής Χερσονήσου) είναι η συστάδα με τον μεγαλύτερο αριθμό υφέσεων (3.181) οι οποίες παρατηρούνται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και ιδιαίτερα τους θερμότερους μήνες (Ιούλιος - Αύγουστος). Η υψηλή συχνότητά τους το θέρος και ο σχηματισμός τους πάνω από τη ξηρά της Ιβηρικής χερσονήσου αποκαλύπτουν ότι είναι κυρίως θερμικής προέλευσης. Η σχετικά θερμή ξηρά και η θερμοκρασιακή αντίθεση θάλασσας - ξηράς ευνοεί το σχηματισμό θερμικών χαμηλών στην Ιβηρική Χερσόνησο στα τέλη της άνοιξης και όλο το θέρος (Trigo et al. 1999). Αυτά τα χαμηλά επηρεάζουν κυρίως τον καιρό της κεντρικής και της δυτικής Μεσογείου.
- Η ένατη συστάδα (CC9 - Υφέσεις βορειοδυτικής Μεσογείου) είναι η συστάδα με τον δεύτερο μεγαλύτερο αριθμό υφέσεων (3.166) που παρατηρούνται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι περιοχές κυκλογένεσης αυτών των υφέσεων είναι η κεντρική Μεσόγειος, όπως ο Κόλπος της Γένοβας και οι Άλπεις, και επηρεάζουν ολόκληρη την περιοχή της Μεσογείου, με εξαίρεση το νότιο κομμάτι της. Το κέντρο κυκλογένεσης της Γένοβας, όπου σχηματίζονται υφέσεις κυρίως στην υπήνεμη πλευρά των Άλπεων (Buzzi and Tibaldi 1978), είναι ένας από τους κύριους πυρήνες κυκλογένεσης ολόκληρης της περιοχής της Μεσογείου και ένας από τους πιο δραστήριους μέσα στο έτος (Trigo et al. 1999, Maheras et al. 2001).
- Η δέκατη συστάδα (CC10 - Υφέσεις Λεβαντινής λεκάνης) έρχεται τρίτη σε αριθμό υφέσεων (2.745) οι οποίες εμφανίζονται κυρίως κατά την ψυχρή περίοδο του έτους (Δεκέμβριος - Απρίλιος). Αυτές οι υφέσεις εμφανίζονται στις περιοχές της Κύπρου και της Μέσης Ανατολής και επηρεάζουν τον καιρό στις περιοχές της ανατολικής και κεντρικής Μεσογείου (Maheras et al. 2001). Σύμφωνα με το άρθρο των Kallos και Metaxas (1980), ο σχηματισμός χαμηλών

στην περιοχή της Κύπρου το χειμώνα σχετίζεται με την εισβολή ψυχρού αέρα στη Μεσόγειο, που συνοδεύεται από τη θετική μεταφορά στροβιλισμού στα ανώτερα επίπεδα. Ακόμα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός υφέσεων που σχηματίζονται στο νοτιοανατολικό Αιγαίο, σύμφωνα με το αντίστοιχο μέγιστο της συχνότητας κυκλογένεσης στην περιοχή αυτή (Flocas and Karacostas 1996).

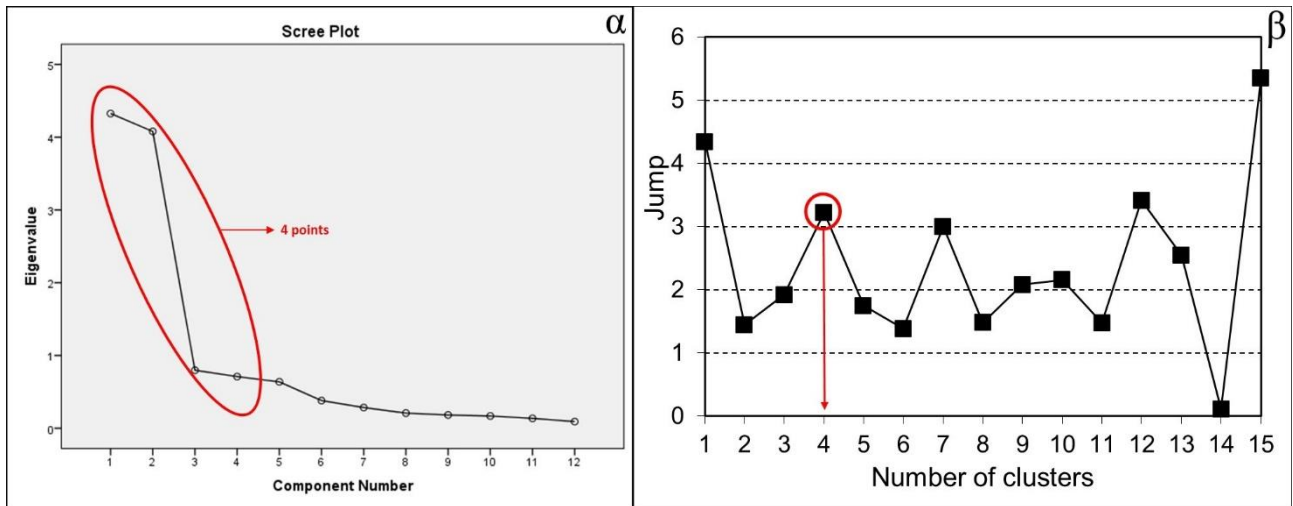
- Η ενδέκατη συστάδα (CC11 - Υφέσεις ανατολικού Ατλαντικού) αποτελείται από 1.711 υφέσεις με παρόμοια συχνότητα εμφάνισης σε όλους τους μήνες του έτους. Οι υφέσεις αυτής της συστάδας εισέρχονται στην περιοχή από τον Βόρειο Ατλαντικό ή/και σχηματίζονται στη Μεγάλη Βρετανία και κινούνται προς τη Μεσόγειο, επηρεάζοντας τον καιρό της δυτικής Μεσογείου και της δυτικής Ευρώπης. Αυτές οι υφέσεις μπορεί επίσης να συνδέονται και με την Ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού (NAO) που είναι η κύρια μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρική ταλάντωση που επηρεάζει σημαντικά την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Hurrell and Van Loon 1997).
- Τέλος, η δωδέκατη συστάδα (CC12 - Σαχαριανές υφέσεις - Λεβαντινή λεκάνη) περιλαμβάνει τον μικρότερο αριθμό υφέσεων (733). Οι υφέσεις αυτές εμφανίζονται περισσότερο την εαρινή περίοδο του έτους. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, υπάρχει μια χαρακτηριστική αύξηση της εμφάνισης υφέσεων στη Βόρεια Αφρική, γνωστές ως Σαχαριανές υφέσεις, όπως έχει επίσης σημειωθεί σε διάφορες μελέτες (Flocas 1988, Prezerakos et al. 1990, Trigo et al. 1999). Αυτή είναι η τρίτη συστάδα υφέσεων οι οποίες προέρχονται από τη βόρεια Αφρική, ενώ οι άλλες δύο είναι οι CC4 και CC6. Ωστόσο, αυτό που διαφοροποιεί αυτή τη συστάδα από τις άλλες δύο είναι ότι οι υφέσεις αυτής της συστάδας κυριαρχούν ως επί το πλείστον στη ΒΑ Αφρική και κινούνται με κατεύθυνση από ΝΔ προς ΒΑ επηρεάζοντας σημαντικά τις καιρικές συνθήκες στην ανατολική Μεσόγειο.

Από τα χαρακτηριστικά της παραπάνω ταξινόμησης των τροχιών των υφέσεων προκύπτει ότι οι κατηγορίες που χρησιμοποιούνται συνήθως για την περιγραφή των μεσογειακών υφέσεων μπορούν να αναλυθούν περαιτέρω. Όλες οι συστάδες που αντιστοιχούν στις Σαχαριανές υφέσεις (CC4, CC6, CC12) έχουν τη μέγιστη συχνότητά τους στο πρώτο εξάμηνο του έτους με τις περισσότερες κυκλογένεσεις να εμφανίζονται νότια της οροσειράς του Άτλαντα. Αυτές οι τρεις συστάδες διαφέρουν επειδή, καθώς οι περιοχές κυκλογένεσης έχουν μια μεγάλη διασπορά κατά τον άξονα ανατολής - δύσης, οι τροχιές των αντίστοιχων υφέσεων είτε παραμένουν πάνω από την Αφρική (CC4), είτε διασχίζουν τη δυτική και την κεντρική λεκάνη της Μεσογείου (CC6) είτε φθάνουν στη Λεβαντινή λεκάνη (CC12). Τα χαμηλά της Κύπρου περιλαμβάνονται τόσο στη CC2 όσο και στη CC10. Στη δεύτερη (CC10) περιλαμβάνονται υφέσεις που επηρεάζουν ολόκληρη τη Λεβαντινή

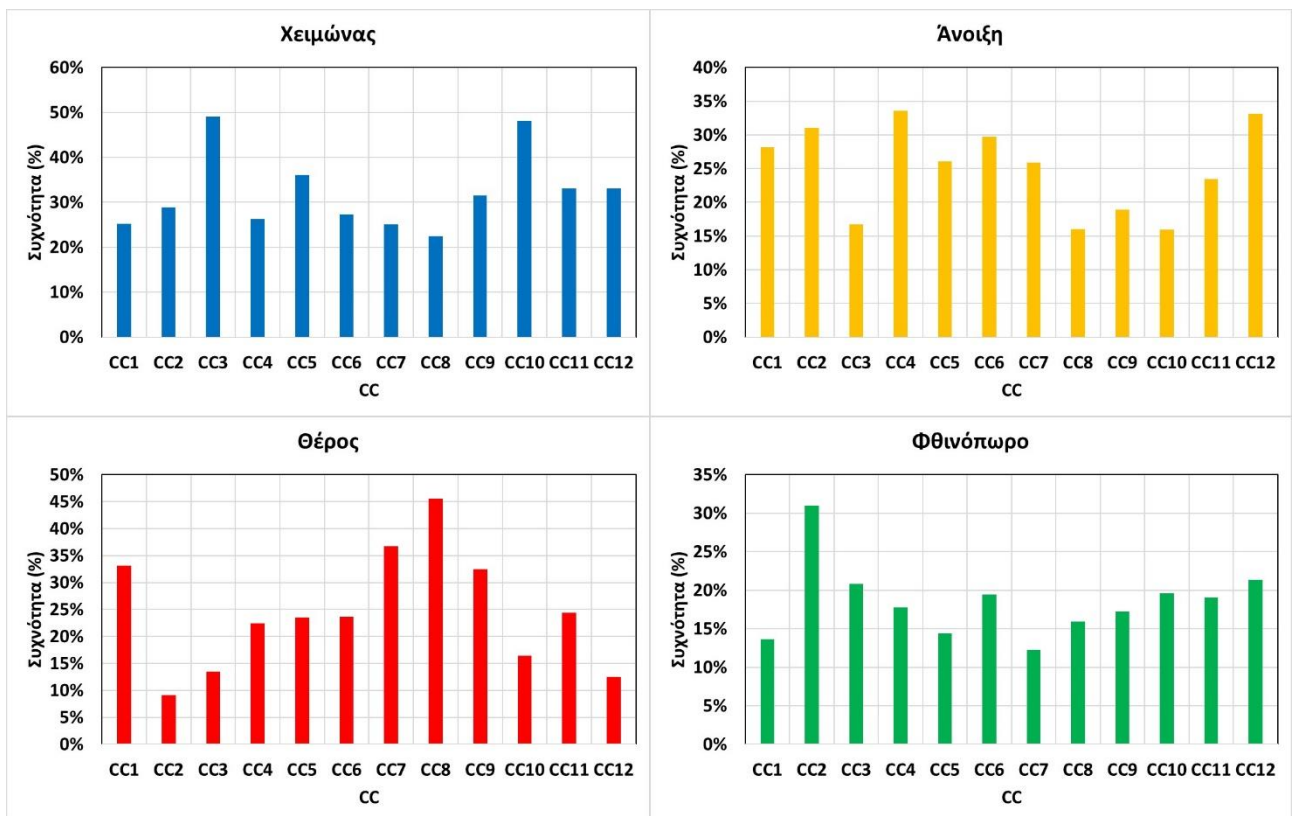
λεκάνη ξεκινώντας από την Αδριατική Θάλασσα, με μέγιστο συχνότητας εμφάνισης κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους. Στη συστάδα CC2 οι υφέσεις αντιστοιχούν περισσότερο στη συνήθη έννοια των Κυπριακών χαμηλών που δημιουργούνται νότια της Ανατολίας και κινούνται προς τα ανατολικά, ενώ εμφανίζονται κυρίως στις μεταβατικές περιόδους του έτους (η CC2 εμφανίζει τις μέγιστες συχνότητές της το Μάιο και τον Οκτώβριο). Η βόρεια Μεσόγειος Θάλασσα έχει επιβεβαιωθεί ότι είναι μια περιοχή συχνής κυκλογένεσης ισχυρών υφέσεων (CC3 και CC9). Οι δυο συστάδες διαφέρουν, καθώς η CC3 αντιπροσωπεύει υφέσεις των οποίων η συχνότητα έχει μεγάλο ετήσιο κύκλο (με ευρύ μέγιστο την ψυχρή περίοδο του έτους) και πυρήνα δημιουργίας τις περιοχές της Ιταλίας και της Αδριατικής, ενώ η CC9 αντιπροσωπεύει υφέσεις που εμφανίζονται σχεδόν ομοιόμορφα σε όλη τη διάρκεια του έτους με κύρια περιοχή κυκλογένεσης τη βορειοδυτική Μεσόγειο (συμπεριλαμβανομένης της γνωστής περιοχής κυκλογένεσης του Κόλπου της Γένοβας).

5.2 Ορισμός των εποχών για την 69ετή περίοδο 1950-2018 με τη μέθοδο CTF

Στη συνέχεια, η PCA εφαρμόζεται στις εξομαλυμένες (κινητοί μέσοι όροι 5 ημερών) ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των 12 CCs. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των 12 CCs υπολογίστηκαν με τη χρήση της Matlab (Παράρτημα 3, Κώδικας 7). Σύμφωνα με το διάγραμμα Scree (Σχήμα 42α) και για την επίτευξη μιας ικανοποιητικής διατήρησης της αρχικής πληροφορίας, διατηρήθηκαν 4 PCs οι οποίες ερμηνεύουν το 83% της ολικής διακύμανσης. Στη συνέχεια, η CA εφαρμόζεται στις χρονοσειρές των 4 PCs, ταξινομώντας τις 365 ημέρες του έτους σε διακριτές και σχετικά ομοιογενές συστάδες με βάση τις κατανομές συχνοτήτων των 12 CCs. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας οδήγησε σε τέσσερις συστάδες (Σχήμα 42β) οι οποίες μπορεί να θεωρηθούν ως οι αντικειμενικά ορισμένες εποχές. Αυτή η μέθοδος ορισμού των εποχών, ονομάζεται Cyclones Tracks' Frequency method ή μέθοδος CTF. Το Σχήμα 43 παρουσιάζει τις κατανομές συχνοτήτων των 12 ορισμένων CCs για κάθε εποχή. Γενικά φαίνεται ότι όλες οι CCs είναι παρούσες και στις 4 εποχές. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι ο χειμώνας χαρακτηρίζεται περισσότερο από την παρουσία των CCs 3 και 10 (Υφέσεις βόρειας Μεσογείου και Υφέσεις Λεβαντινής λεκάνης). Την άνοιξη, οι CCs 4, 12, 2, 1 και 6 είναι πιο συχνές (Σαχαριανές υφέσεις, Υφέσεις Κύπρου και Υφέσεις κεντρικής Ευρώπης), ενώ οι CCs 3, 8, 9 και 10 (Υφέσεις βόρειας Μεσογείου, Υφέσεις Ιβηρικής χερσονήσου, Υφέσεις βορειοδυτικής Μεσογείου και Υφέσεις Λεβαντινής λεκάνης) είναι λιγότερο συχνές. Το θέρος κυριαρχούν οι CCs 8, 7, 9 και 1 (Υφέσεις Ιβηρικής χερσονήσου, Υφέσεις ανατολικής Ευρώπης, Υφέσεις βορειοδυτικής Μεσογείου και Υφέσεις κεντρικής Ευρώπης), ενώ οι υπόλοιπες CCs έχουν μικρότερη συχνότητα. Τέλος, το φθινόπωρο χαρακτηρίζεται από την παρουσία όλων των CCs, με συχνότερη τη CC2 (Υφέσεις Κύπρου).



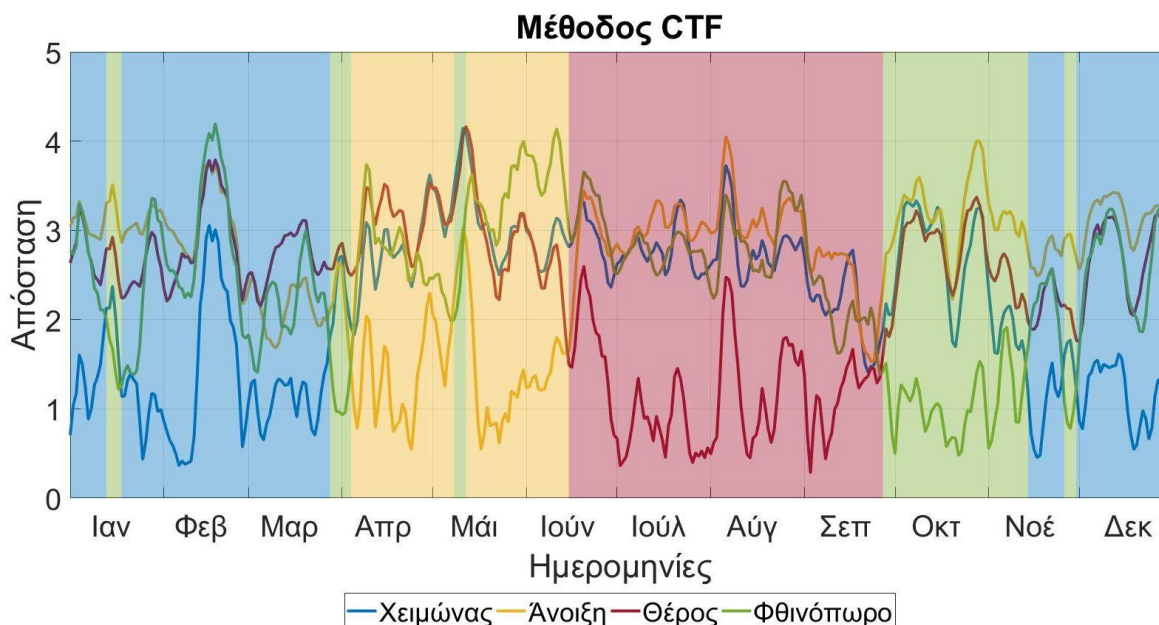
Σχήμα 42. (α) Το διάγραμμα Scree που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των PCs και (β) το διάγραμμα του Άλματος (Jump) που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των συστάδων. Τα κόκκινα σημάδια υποδεικνύουν τους επιλεγμένους αριθμούς.



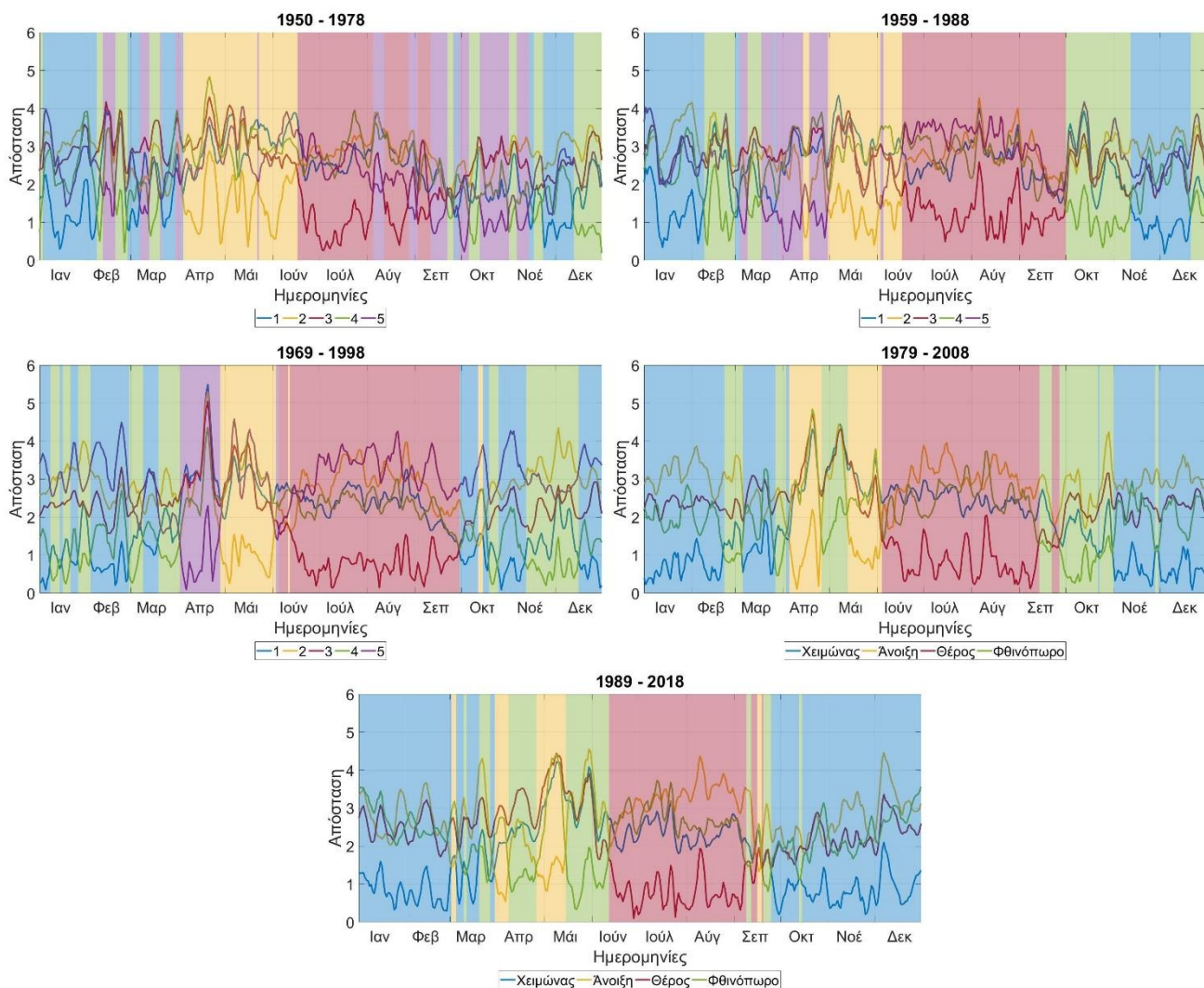
Σχήμα 43. Οι κατανομές συχνοτήτων (%) των 12 CCs για κάθε μία από τις 4 ορισμένες εποχές.

Τα όρια και οι διάρκειες των τεσσάρων εποχών που ορίζονται με τη μέθοδο CTF φαίνονται στο Σχήμα 44, όπου παρουσιάζονται οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των συστάδων/εποχών. Όπως και στις δυο προηγούμενες μεθόδους, για κάθε ημερομηνία υπολογίζεται η ευκλείδεια απόστασή μεταξύ των τιμών των PCs γι' αυτή την ημερομηνία και καθενός από τα κέντρα των συστάδων (με τα διαφορετικά χρώματα) και η ημερομηνία αυτή ταξινομείται στη συστάδα/εποχή

από το κέντρο της οποίας προκύπτει η μικρότερη απόσταση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ορίστηκαν 4 εποχές που μοιάζουν με τις συμβατικές, αλλά παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στα όρια και στη συνέχεια (υπάρχει παρεμβολή της μιας εποχής μέσα στην άλλη). Παρατηρείται ότι, σε αντίθεση με τις μεθόδους MVV και WTF, η μέθοδος CTF φαίνεται να αποτυγχάνει στον ορισμό σαφώς διακριτών εποχών με αυστηρά καθορισμένα χρονικά όρια. Αυτό σημαίνει ότι, η εποχικότητα των συχνοτήτων των τροχιών των υφέσεων δεν επαρκεί για τον ορισμό ομοιογενών εποχών. Σύμφωνα με τη μέθοδο CTF: ο χειμώνας (μπλε φόντο) αποτελείται από τις ημερομηνίες 14-25 Νοεμβρίου, 30 Νοεμβρίου - 12 Ιανουαρίου και 18 Ιανουαρίου - 27 Μαρτίου και διαρκεί περισσότερο από τέσσερις μήνες (125 ημέρες), η άνοιξη (κίτρινο φόντο) είναι οι περίοδοι 4 Απριλίου - 7 Μαΐου και 12 Μαΐου - 14 Ιουνίου και διαρκεί μια εβδομάδα περισσότερο από 2 μήνες (68 ημέρες), το θέρος (κόκκινο φόντο) ξεκινά στις 15 Ιουνίου και τελειώνει στις 26 Σεπτεμβρίου με διάρκεια 104 ημερών και το φθινόπωρο (πράσινο φόντο) περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 27 Σεπτεμβρίου - 13 Νοεμβρίου, 26-29 Νοεμβρίου, 13-17 Ιανουαρίου, 28 Μαρτίου - 3 Απριλίου και 8-11 Μαΐου και διαρκεί το ίδιο με την άνοιξη (68 ημέρες). Εδώ σημειώνεται ότι η εποχή η οποία ορίζεται ως “φθινόπωρο” δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος της βρίσκεται εντός του συμβατικού φθινοπώρου, περιλαμβάνει και κάποιες μικρές περιόδους εντός της συμβατικής άνοιξης. Αυτό δεν είναι και τόσο παράδοξο, δεδομένου ότι το συμβατικό φθινόπωρο και η συμβατική άνοιξη έχουν μεταξύ άλλων και κάποια κοινά χαρακτηριστικά μετάβασης μεταξύ ψυχρής και θερμής περιόδου.



Σχήμα 44. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών για την περίοδο 1950-2018, όπως υπολογίζονται με τη μέθοδο CTF.



Σχήμα 45. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών, σύμφωνα με τη μέθοδο CTF, για κάθε μία από τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1950-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018.

Όπως και στις δύο προηγούμενες μεθόδους, η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για ολόκληρη την περίοδο 1950-2018 εφαρμόζεται επίσης για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1950-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, με σκοπό τη διερεύνηση πιθανών διαχρονικών αλλαγών των χαρακτηριστικών των εποχών της Μεσογείου. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των συστάδων/εποχών για τις πέντε υποπεριόδους παρουσιάζονται στο Σχήμα 45. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους όπου σε κάθε περίπτωση ορίστηκαν 4 εποχές, με τη μέθοδο CTF αυτό δε συμβαίνει. Φαίνεται ότι, η εφαρμογή της μεθόδου CTF σε χρονικές περιόδους με ακόμη μικρότερο αριθμό ετών (30 έτη αντί για 70) αποτυγχάνει ακόμα περισσότερο στον ορισμό ομοιογενών εποχών. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή της μεθόδου CTF στις υποπεριόδους 1950-1978, 1959-1988 και 1969-1998, οδήγησε στον ορισμό πέντε εποχών. Προφανώς αυτή η δυσκολία, καθιστά αδύνατη τη μελέτη της διαχρονικής μεταβολής των χαρακτηριστικών

(ορίων και διάρκειας) των εποχών μιας και ο αριθμός των εποχών δεν είναι ο ίδιος σε κάθε υποπερίοδο και επιπλέον υπάρχουν πολλές παρεμβολές της μιας εποχής μέσα στην άλλη.

5.3 Σύνοψη και συμπεράσματα κεφαλαίου

Στο πέμπτο Κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση των μεσογειακών υφέσεων για τη χρονική περίοδο 1950-2018 με τη χρήση κατάλληλης στατιστικής μεθοδολογίας. Ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται αναπτύχθηκε από τους Lionello et al. (2002) και χρησιμοποιεί δεδομένα πίεσης στη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας. Τα δεδομένα ελήφθησαν από την σύγχρονη βάση δεδομένων reanalysis ERA5 και έχουν χωρική ανάλυση $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ και χρονική ανάλυση 6 ωρών. Αρχικά, τρέχει ο αλγόριθμος εντοπισμού και παρακολούθησης των υφέσεων και καταγράφονται οι υφέσεις που επηρεάζουν την περιοχή της Μεσογείου. Επίσης, εντοπίστηκαν οι κύριες περιοχές κυκλογένεσης καθώς και οι περιοχές με υψηλή πυκνότητα τροχιών των υφέσεων. Έπειτα, πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές για την εύρεση της πιο κατάλληλης προσέγγισης επεξεργασίας των αποτελεσμάτων. Οι δοκιμές αυτές περιλαμβάνουν διάφορες μεθόδους καθώς και την αξιοποίηση διάφορων παραμέτρων. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών, αποφασίστηκε να εφαρμοστεί η μέθοδος της γραμμικής παρεμβολής (linear interpolation) στις γεωγραφικές συντεταγμένες των τροχιών των υφέσεων. Επομένως, κατασκευάστηκε ένας πίνακας του οποίου η κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μία ύφεση ενώ στις στήλες του αναγράφονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες των τροχιών των υφέσεων οι οποίες έχουν υποστεί τη διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η διαδικασία της “φασματικής ταξινόμησης” (PCA και CA) στον παραπάνω πίνακα προκειμένου να ταξινομηθούν οι ανιχνεύσιμες τροχιές των υφέσεων σε ομάδες/συστάδες και τελικά ορίστηκαν 12 συστάδες τροχιών υφέσεων (Cyclone tracks’ Clusters, CCs). Κατασκευάζονται οι χάρτες των χωρικών κατανομών των τροχιών των 12 CCs και μελετώνται οι διαχρονικές και οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων τους. Επιπλέον, η “φασματική ταξινόμηση” εφαρμόζεται ξανά, αυτή τη φορά στις χρονοσειρές των ενδοετήσιων διακυμάνσεων των συχνοτήτων των 12 CCs, ορίζοντας με αυτόν τον τρόπο τις εποχές της Μεσογείου. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται Cyclone Tracks’ Frequency method ή μέθοδος CTF. Με βάση τα αποτελέσματα, ορίζονται 4 εποχές για τη Μεσόγειο οι οποίες γενικά αντιστοιχούν στις συμβατικές (χειμώνας, άνοιξη, θέρος και φθινόπωρο) αλλά παρουσιάζουν διαφορές στα όρια και τη διάρκειά τους. Τα κύρια συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από το παρόν Κεφάλαιο είναι:

1. Η εφαρμογή του αλγόριθμου ανίχνευσης και παρακολούθησης των υφέσεων για την ευρύτερη περιοχή που περιλαμβάνει την Ευρώπη, τη Β Αφρική και τη ΝΔ Ασία, οδήγησε σε 40.472 υφέσεις. Ωστόσο, η εφαρμογή ενός κριτηρίου για την αφαίρεση των υφέσεων οι οποίες, καθ’ όλη τη διάρκεια της ζωής τους, δεν εισέρχονται στο εσωτερικό της

Μεσογείου, μείωσε τον αριθμό τους στις 22.404. Περίπου 325 υφέσεις ανιχνεύονται κάθε χρόνο, ενώ υπάρχει μεγαλύτερη συχνότητα κυκλωνικής δραστηριότητας την εποχή της συμβατικής άνοιξης, και ιδιαίτερα τους τελευταίους μήνες. Εντοπίστηκαν οι κύριες περιοχές κυκλογένεσης και οι περιοχές με υψηλή πυκνότητα τροχιών των υφέσεων και είναι ο Κόλπος της Γένοβας, η οροσειρά του Άτλαντα, η περιοχή της Κύπρου, η Ιβηρική χερσόνησος, η Μαύρη Θάλασσα και η Μέση Ανατολή.

2. Η εφαρμογή της διαδικασίας της “φασματικής ταξινόμησης” (PCA και CA) στον πίνακα των παρεμβαλλόμενων γεωγραφικών συντεταγμένων των τροχιών των 22.404 υφέσεων, οδήγησε στην ταξινόμηση τους σε 12 ομάδες/συστάδες (CCs) σύμφωνα με τη χωρική τους κατανομή, συμπεριλαμβανομένων των περιοχών κυκλογένεσής τους και των χαρακτηριστικών κίνησής τους. Αναλύονται τα κύρια χαρακτηριστικά των 12 CCs, όπως οι προτιμητέες διαδρομές και η εμμονή τους κατά τη διάρκεια του έτους, καθώς και οι περιοχές επιρροής τους. Οι ομάδες με τον μεγαλύτερο αριθμό ταξινομημένων υφέσεων είναι εκείνες των οποίων η κυκλογένεση εμφανίζεται γύρω από την Ιβηρική Χερσόνησο, πάνω από τον Κόλπο της Γένοβας στην υπήνεμη πλευρά των Άλπεων, στη βόρεια Αφρική, στην περιοχή της Κύπρου και στη Μέση Ανατολή.
3. Ορίστηκαν τρεις συστάδες που αντιστοιχούν στις Σαχαριανές υφέσεις οι οποίες εμφανίζουν μέγιστο συχνότητας κατά το πρώτο εξάμηνο του έτους με τις περισσότερες κυκλογένεσεις να εμφανίζονται νότια της οροσειράς του Άτλαντα. Η κύρια διαφορά ανάμεσα σε αυτές τις συστάδες εντοπίζεται στις περιοχές κυκλογένεσης και στις προτιμητέες διαδρομές κίνησης των υφέσεων. Οι υφέσεις της Κύπρου περιλαμβάνονται σε δύο συστάδες, με τη διαφοροποίησή τους να οφείλεται στις περιόδους εμφάνισης των αντίστοιχων υφέσεων μέσα στο έτος, καθώς και στις περιοχές επιρροής τους. Ορίστηκαν δύο συστάδες υφέσεων με περιοχή δραστηριότητας τη βόρεια Μεσόγειο Θάλασσα, οι οποίες διαφοροποιούνται σε ό,τι αφορά την εποχικότητά τους και τις περιοχές κυκλογένεσης. Οι υπόλοιπες συστάδες υφέσεων σχετίζονται με τις περιοχές της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης, τη Μαύρη Θάλασσα, την Ιβηρική χερσόνησο και τον ανατολικό Ατλαντικό Ωκεανό.
4. Η εφαρμογή της διαδικασίας της “φασματικής ταξινόμησης” στις ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των 12 CCs, οδήγησε στην ταξινόμηση των ημερομηνιών του έτους σε ομάδες, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως οι αντικειμενικά καθορισμένες εποχές (μέθοδος CTF). Ορίζονται 4 εποχές οι οποίες αντιστοιχούν γενικά στις συμβατικές, αλλά παρουσιάζουν διαφορές στα όρια και τη διάρκειά τους. Σύμφωνα με τη μέθοδο CTF, οι εποχές είναι οι εξής: ο χειμώνας περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 14-25

Νοεμβρίου, 30 Νοεμβρίου - 12 Ιανουαρίου και 18 Ιανουαρίου - 27 Μαρτίου και διαρκεί περισσότερο από τέσσερις μήνες (125 ημέρες), η άνοιξη είναι οι περίοδοι 4 Απριλίου - 7 Μαΐου και 12 Μαΐου - 14 Ιουνίου και διαρκεί λίγο περισσότερο από 2 μήνες (68 ημέρες), το θέρος ακολουθεί από τις 15 Ιουνίου έως τις 26 Σεπτεμβρίου με διάρκεια 104 ημερών και το φθινόπωρο αποτελείται από τις ημερομηνίες 27 Σεπτεμβρίου - 13 Νοεμβρίου, 26-29 Νοεμβρίου, 13-17 Ιανουαρίου, 28 Μαρτίου - 3 Απριλίου και 8-11 Μαΐου και διαρκεί το ίδιο με την άνοιξη (68 ημέρες).

5. Η μέθοδος CTF εφαρμόστηκε επίσης για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1950-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, με σκοπό τη διερεύνηση πιθανών διαχρονικών αλλαγών των χαρακτηριστικών των εποχών της περιοχής της Μεσογείου. Όμως, σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους όπου σε κάθε περίοδο ορίστηκαν 4 εποχές, με τη μέθοδο CTF αυτό δε συμβαίνει καθώς σε ορισμένες περιόδους ορίστηκαν πέντε εποχές, ενώ επιπλέον διαπιστώθηκαν και πολλές περιπτώσεις παρεμβολών της μίας εποχής στην άλλη οι οποίες κατέστησαν αδύνατη τη μελέτη της διαχρονικής διακύμανσης των κύριων χαρακτηριστικών τους.

Κεφάλαιο 6

Σύνθεση και σύγκριση των μεθόδων ορισμού των εποχών

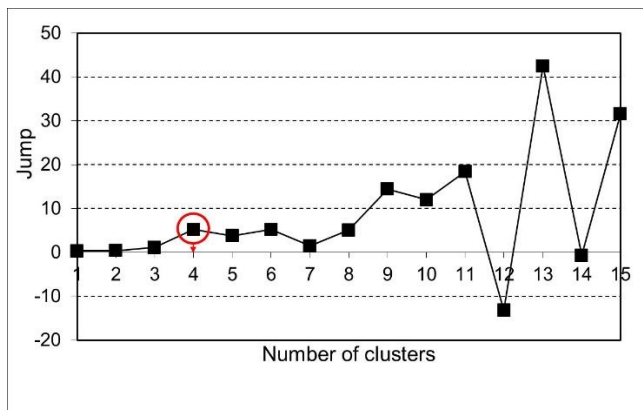
Στο Κεφάλαιο αυτό, πραγματοποιείται η σύνθεση των τριών μεθόδων αντικειμενικού ορισμού των εποχών που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, δηλαδή της μεθόδου MVV, της μεθόδου WTF και της μεθόδου CTF. Η νέα μέθοδος περιλαμβάνει την εφαρμογή της μεθόδου CA στον ενοποιημένο πίνακα των Κύριων Συνιστωσών (PCs) των τριών επιμέρους μεθόδων που προαναφέρθηκαν. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται μέθοδος Σύνθεσης (Synthesis, S). Επίσης, πραγματοποιείται και η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων και των τεσσάρων μεθόδων αντικειμενικού ορισμού των εποχών. Συνεπώς, η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσπάθεια του αντικειμενικού ορισμού των εποχών λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλές μεταβλητές και μεθοδολογίες, ενώ οι διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων θα υποδείξουν το βαθμό ευαισθησίας που σχετίζεται με την επιλογή της προσέγγισης που ακολουθείται για τον αντικειμενικό ορισμό των εποχών.

6.1 Ορισμός των εποχών για την περίοδο 1950-2018 με τη μέθοδο S

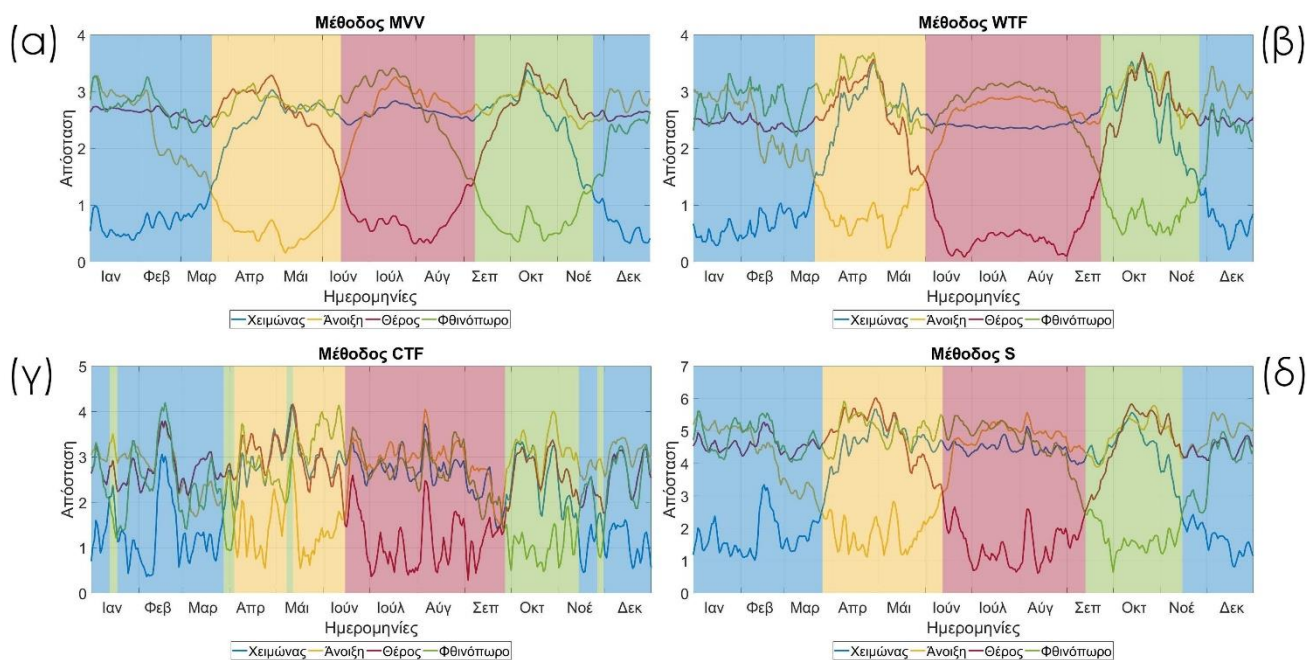
Η μέθοδος Σύνθεσης (Synthesis, S) περιλαμβάνει την εφαρμογή της Ανάλυσης κατά Συστάδες (CA) στον ενοποιημένο πίνακα των Κύριων Συνιστωσών (PCs) των τριών επιμέρους μεθόδων αντικειμενικού ορισμού των εποχών οι οποίες αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, δηλαδή των μεθόδων MVV, WTF και CTF. Συνεπώς, σχηματίζεται ένας πίνακας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, οι γραμμές του οποίου αντιστοιχούν στις 365 ημέρες του έτους και οι στήλες του στις χρονοσειρές των 10 PCs: τις 3 PCs από τη μέθοδο MVV, τις 3 PCs από τη μέθοδο WTF και τις 4 PCs από τη μέθοδο CTF. Στη συνέχεια, η CA εφαρμόζεται στις ενδοετήσιες χρονοσειρές των 10 PCs, ταξινομώντας τις 365 ημέρες του έτους σε διακριτές και ομοιογενές συστάδες. Λαμβάνοντας υπόψιν και το διάγραμμα του Άλματος (Σχήμα 46), ορίζονται 4 εποχές.

Τα χρονικά όρια και οι διάρκειες των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών, όπως ορίστηκαν βάσει της μεθόδου S, παρουσιάζονται στο Σχήμα 47δ, όπου παρουσιάζονται οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις από τα κέντρα των συστάδων/εποχών. Όπως έγινε και στις προηγούμενες μεθόδους, για κάθε μία από τις τέσσερις συστάδες/εποχές ορίζεται ένα κέντρο και για κάθε ημερομηνία του έτους υπολογίζεται η ευκλείδεια απόσταση (παρουσιάζεται με τα διαφορετικά χρώματα) μεταξύ των τιμών των PCs γι' αυτή την ημερομηνία και καθενός από τα τέσσερα κέντρα των συστάδων. Έπειτα, κάθε ημερομηνία ταξινομείται στην εποχή από το κέντρο της οποίας προκύπτει η μικρότερη ευκλείδεια απόσταση. Στο Σχήμα 47, εκτός από το διάγραμμα για τη μέθοδο S (Σχήμα 47δ), παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα διαγράμματα των τριών επιμέρους μεθόδων: (α)

της μεθόδου MVV, (β) της μεθόδου WTF και (γ) της μεθόδου CTF. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται πιο εύκολη η σύγκριση των εποχών που ορίζει η κάθε μέθοδος. Επίσης, στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται τα όρια και η διάρκεια των αντικειμενικά ορισμένων εποχών για κάθε μια από τις τέσσερις μεθόδους.



Σχήμα 46. Το διάγραμμα του Άλματος (Jump) που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των συστάδων. Το κόκκινο σημάδι υποδεικνύει τον επιλεγμένο αριθμό συστάδων.



Σχήμα 47. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών για την περίοδο 1950-2018, όπως υπολογίζονται με τη μέθοδο (α) MVV, (β) WTF, (γ) CTF και (δ) S.

Σύμφωνα με τη μέθοδο S, οι εποχές ορίζονται ως εξής (Σχήμα 45δ): ο χειμώνας ξεκινά στις 16 Νοεμβρίου και τελειώνει στις 25 Μαρτίου και διαρκεί περισσότερο από 4 μήνες (131 ημέρες), η άνοιξη είναι η περίοδος 26 Μαρτίου - 11 Ιουνίου με διάρκεια περίπου 2,5 μήνες (78 ημέρες), το

θέρος έρχεται στις 12 Ιουνίου και τελειώνει στις 12 Σεπτεμβρίου και διαρκεί 3 μήνες (93 ημέρες) και τέλος το φθινόπωρο (13 Σεπτεμβρίου - 15 Νοεμβρίου) κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 2 μηνών (63 ημέρες).

Τα αποτελέσματα των προηγούμενων μεθόδων αντικειμενικού ορισμού των εποχών εμπεριέχονται στον Πίνακα 4, ο οποίος περιλαμβάνει τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης καθώς και τη διάρκεια κάθε εποχής για κάθε μία από τις τέσσερις προσεγγίσεις (MVV, WTF, CTF και S). Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να πραγματοποιηθεί η σύγκριση των εποχών που ορίζονται με τις διαφορετικές μεθόδους. Σε ό,τι αφορά το χειμώνα, φαίνεται ότι η μέθοδος S έχει ορίσει αυτόν με τη μεγαλύτερη διάρκεια, με τη μέθοδο CTF να ακολουθεί, ενώ οι μέθοδοι MVV και WTF έχουν ορίσει σχεδόν την ίδια διάρκεια. Η άνοιξη που ορίζεται με τη μέθοδο MVV είναι μεγαλύτερη σε διάρκεια από αυτή των άλλων προσεγγίσεων, ενώ αυτή που ορίζεται με τη μέθοδο CTF είναι η συντομότερη. Το θέρος φαίνεται να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διαφορές ανάλογα με τη μέθοδο που εφαρμόζεται. Με φθίνουσα σειρά, η διάρκεια του θέρους που ορίζεται από τις τέσσερις μεθόδους είναι: 114 ημέρες για τη WTF, 104 ημέρες για τη CTF, 93 ημέρες για τη S και 87 ημέρες για τη MVV, με τη διαφορά μεταξύ των μεθόδων WTF και MVV να φτάνει σχεδόν τον ένα μήνα. Τέλος, το φθινόπωρο που προσδιορίζεται με τη μέθοδο MVV είναι το μεγαλύτερο, ενώ το φθινόπωρο που ορίζεται με τη μέθοδο S είναι το συντομότερο.

Πίνακας 4. Οι ημερομηνίες έναρξης/λήξης και οι διάρκειες των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών για κάθε μέθοδο (MVV, WTF, CTF και S).

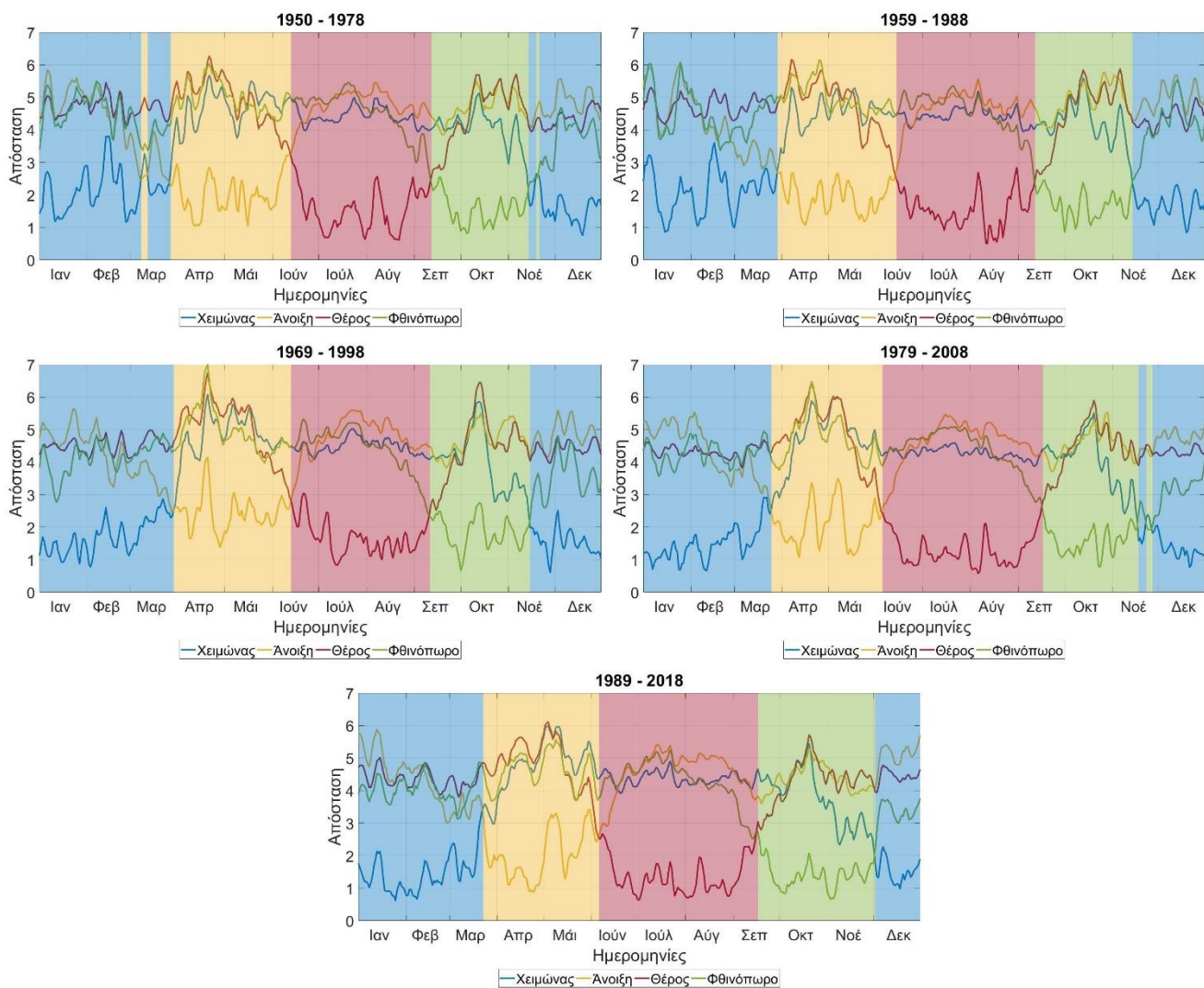
εποχή→	Χειμώνας			Άνοιξη		
μέθοδος ↓	Ημερομηνία έναρξης	Ημερομηνία λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνία έναρξης	Ημερομηνία λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
μέθοδος MVV	24 Νοεμβρίου	20 Μαρτίου	117	21 Μαρτίου	12 Ιουνίου	84
μέθοδος WTF	26 Νοεμβρίου	20 Μαρτίου	115	21 Μαρτίου	31 Μαΐου	72
μέθοδος CTF	14-25 Νοεμβρίου, 30 Νοεμβρίου - 12 Ιανουαρίου, 18 Ιανουαρίου - 27 Μαρτίου		125	4 April - 7 Μαΐου, 12 Μαΐου - 14 Ιουνίου		68
μέθοδος S	16 Νοεμβρίου	25 Μαρτίου	131	26 Μαρτίου	11 Ιουνίου	78
εποχή →	Θέρος			Φθινόπωρο		
μέθοδος ↓	Ημερομηνία έναρξης	Ημερομηνία λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνία έναρξης	Ημερομηνία λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
μέθοδος MVV	13 Ιουνίου	7 Σεπτεμβρίου	87	8 Σεπτεμβρίου	23 Νοεμβρίου	77
μέθοδος WTF	1 Ιουνίου	22 Σεπτεμβρίου	114	23 Σεπτεμβρίου	25 Νοεμβρίου	64
μέθοδος CTF	15 Ιουνίου	26 Σεπτεμβρίου	104	27 Σεπτεμβρίου - 13 Νοεμβρίου, 26-29 Νοεμβρίου 13-17 Ιανουαρίου, 28 Μαρτίου - 3 Απριλίου, 8 Μαΐου - 11 Μαΐου		68
μέθοδος S	12 Ιουνίου	12 Σεπτεμβρίου	93	13 Σεπτεμβρίου	15 Νοεμβρίου	63

6.2 Μακροπρόθεσμες αλλαγές των εποχών βάσει της μεθόδου S

Προκειμένου να διερευνηθούν τυχόν μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις των χαρακτηριστικών των εποχών, όπως αλλαγές στα όρια και στη διάρκειά τους, όλη η διαδικασία αντικειμενικού ορισμού των εποχών που εφαρμόστηκε για την ολική περίοδο 1950-2018, επαναλαμβάνεται για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1950-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018. Και για τις πέντε υποπεριόδους ορίζονται 4 εποχές. Το Σχήμα 48 δείχνει τις ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών από τα κέντρα των συστάδων για τη μέθοδο S, για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους που αναφέρονται παραπάνω. Παρόλο που σε κάθε περίοδο ορίζονται 4 εποχές, υπάρχουν μερικές περιπτώσεις όπου μια εποχή δεν είναι συνεχόμενη και υπάρχει παρέμβαση μιας εποχής στη γειτονική της για λίγες ημέρες (π.χ. 23-26 Νοεμβρίου την περίοδο 1979-2008). Αυτή η δυσκολία, η οποία προέκυψε και στις προηγούμενες μεθόδους (MVV, WTF, CTF), καθιστά περίπλοκη την οριοθέτηση των εποχών και οφείλεται κυρίως στο μικρότερο αριθμό των διαθέσιμων ετών σε σχέση με την ολική περίοδο (30 έτη αντί για 70), γεγονός που οδηγεί σε λιγότερο σταθερές στατιστικές παραμέτρους (μακροπρόθεσμοι μέσοι όροι), αυξάνοντας έτσι την αβεβαιότητα στην ταξινόμηση των ημερομηνιών στην κατάλληλη συστάδα/εποχή. Οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης και η διάρκεια των εποχών για κάθε υποπερίοδο, όπως αυτές ορίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο S, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Οι ημερομηνίες έναρξης/λήξης και η διάρκεια των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών για κάθε μία από τις επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1950-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, καθώς και για την ολική 70ετή περίοδο 1950-2018, όπως ορίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο S.

	1950-1978		1959-1988	
Εποχή	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
Χειμώνας	14/11 - 18/11, 21/11 - 7/3, 12/3 - 26/3	127	14/11 - 28/3	135
Άνοιξη	8/3 - 11/3, 27/3 - 12/6	82	29/3 - 13/6	77
Θέρος	13/6 - 11/9	91	14/6 - 11/9	90
Φθινόπωρο	12/9 - 13/11, 19/11 - 20/11	65	12/9 - 13/11	63
	1969-1998		1979-2008	
Εποχή	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
Χειμώνας	15/11 - 28/3	134	18/11 - 22/11, 27/11 - 24/3	123
Άνοιξη	29/3 - 12/6	76	25/3 - 4/6	72
Θέρος	13/6 - 10/9	90	5/6 - 16/9	104
Φθινόπωρο	11/9 - 14/11	65	17/9 - 17/11, 23/11 - 26/11	66
	1989-2018		1950-2018	
Εποχή	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)	Ημερομηνίες έναρξης/λήξης	Διάρκεια (αρ. ημερών)
Χειμώνας	2/12 - 22/3	111	16/11 - 25/3	131
Άνοιξη	23/3 - 5/6	75	26/3 - 11/6	78
Θέρος	6/6 - 16/9	103	12/6 - 12/9	93
Φθινόπωρο	17/9 - 1/12	76	13/9 - 15/11	63



Σχήμα 48. Οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών σύμφωνα με τη μέθοδο S, για κάθε μία από τις επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1950-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018.

Σχετικά με την πρώτη υποπερίοδο 1950-1978, οι αντικειμενικά ορισμένες εποχές του χειμώνα και του θέρους διαρκούν λίγο λιγότερο ενώ η άνοιξη και το φθινόπωρο διαρκούν λίγο περισσότερο από τις αντίστοιχες εποχές της ολικής περιόδου. Ο χειμώνας αποτελείται από τις ημερομηνίες 14-18 Νοεμβρίου, 21 Νοεμβρίου - 7 Μαρτίου και 12-26 Μαρτίου και διαρκεί 127 ημέρες, η άνοιξη περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 8-11 Μαρτίου και 27 Μαρτίου - 12 Ιουνίου έχοντας διάρκεια 82 ημέρες, το θέρος έρχεται στις 13 Ιουνίου και τελειώνει στις 11 Σεπτεμβρίου διαρκώντας 91 ημέρες και τέλος το φθινόπωρο (12 Σεπτεμβρίου - 13 Νοεμβρίου και 19-20 Νοεμβρίου) κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 65 ημερών.

Η δεύτερη υποπερίοδος 1959-1988, χαρακτηρίζεται από μια λίγο μεγαλύτερη, σε διάρκεια, χειμερινή περίοδο και μία λίγο μικρότερη θερινή περίοδο, ενώ οι εποχές της άνοιξης και του

φθινοπώρου έχουν σχεδόν την ίδια διάρκεια με τις αντίστοιχες εποχές της ολικής περιόδου. Ο χειμώνας είναι η περίοδος 14 Νοεμβρίου - 28 Μαρτίου και διαρκεί 135 ημέρες, η άνοιξη έρχεται στις 29 Μαρτίου και φεύγει στις 13 Ιουνίου έχοντας διάρκεια 77 ημέρες, το θέρος είναι η περίοδος 14 Ιουνίου - 11 Σεπτεμβρίου με διάρκεια 90 ημερών, και τέλος το φθινόπωρο ξεκινά στις 12 Σεπτεμβρίου και τελειώνει στις 13 Νοεμβρίου και έχει διάρκεια 63 ημερών.

Συγκρίνοντας τις αντικειμενικά ορισμένες εποχές της τρίτης υποπεριόδου 1969-1998, με τις αντίστοιχες εποχές της ολικής περιόδου, διαπιστώνεται ότι οι εποχές του χειμώνα και του φθινοπώρου είναι λίγο μεγαλύτερες, ενώ οι εποχές της άνοιξης και του θέρους είναι λίγο μικρότερες. Οι εποχές αυτής της υποπεριόδου είναι οι εξής: ο χειμώνας ξεκινά στις 15 Νοεμβρίου και τελειώνει στις 28 Μαρτίου έχοντας διάρκεια 134 ημερών, ακολουθεί η άνοιξη μέχρι τις 12 Ιουνίου διαρκώντας 76 ημέρες, το θέρος είναι η περίοδος 13 Ιουνίου - 10 Σεπτεμβρίου με διάρκεια 90 ημερών, και τέλος το φθινόπωρο (11 Σεπτεμβρίου - 14 Νοεμβρίου) κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 65 ημερών.

Η περίοδος 1979-2008 χαρακτηρίζεται από συντομότερες εποχές του χειμώνα και της άνοιξης, ενώ οι εποχές του θέρους και του φθινοπώρου είναι εκτενέστερες, σε σχέση με τις αντίστοιχες εποχές της ολικής περιόδου. Ο χειμώνας αποτελείται από τις ημερομηνίες 18-22 Νοεμβρίου και 27 Νοεμβρίου - 24 Μαρτίου και διαρκεί 123 ημέρες. Η άνοιξη ξεκινά στις 25 Μαρτίου και τελειώνει στις 4 Ιουνίου διαρκώντας 72 ημέρες. Το θέρος είναι η περίοδος 5 Ιουνίου - 16 Σεπτεμβρίου και έχει διάρκεια 104 ημέρες. Τέλος, το φθινόπωρο περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 17 Σεπτεμβρίου - 17 Νοεμβρίου και 23-26 Νοεμβρίου και έχει διάρκεια 66 ημερών.

Τέλος, τα αποτελέσματα για την πέμπτη και πιο πρόσφατη υποπερίοδο 1989-2018, αποκαλύπτουν μια αρκετά μικρότερη (κατά 20 ημέρες) χειμερινή περίοδο και μια λίγο συντομότερη εαρινή περίοδο, ενώ οι εποχές του θέρους και του φθινοπώρου είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες εποχές της ολικής περιόδου. Αυτή την υποπερίοδο, ο χειμώνας ξεκινά στις 2 Δεκεμβρίου και τελειώνει στις 22 Μαρτίου διαρκώντας 111 ημέρες, η άνοιξη είναι η περίοδος 23 Μαρτίου - 5 Ιουνίου και έχει διάρκεια 75 ημερών, ακολουθεί το θέρος έως τις 16 Σεπτεμβρίου με διάρκεια 103 ημέρες, και τέλος, το φθινόπωρο ξεκινά στις 17 Σεπτεμβρίου και λήγει στις 1 Δεκεμβρίου με διάρκεια 76 ημερών.

Πιθανές αλλαγές στα χαρακτηριστικά των εποχών μπορούν να διερευνηθούν μελετώντας το Σχήμα 49, όπου παρουσιάζονται οι ημερομηνίες έναρξης/λήξης (μπλε και κόκκινες καμπύλες αντίστοιχα) και η διάρκεια (πράσινη καμπύλη) για κάθε εποχή, όπως αυτές ορίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο S, και για κάθε 30ετή υποπερίοδο. Μέσω αυτών των διαγραμμάτων, μπορούν να μελετηθούν οι αλλαγές στα όρια των εποχών με την πάροδο των ετών, οι οποίες συνεπάγονται τη

σμίκρυνση/επέκταση τους. Όπως και στα αντίστοιχα σχήματα των μεθόδων MVV και WTF, επειδή σε ορισμένες περιπτώσεις οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης των εποχών δεν είναι σαφώς διακριτές καθώς μια εποχή μπορεί να παρεμβάλλεται για λίγες ημέρες στη γειτονική της, ο ακριβής καθορισμός της έναρξης και λήξης κάθε εποχής καθίσταται δύσκολος. Συνεπώς, οι ημερομηνίες έναρξης 1 (συνεχείς μπλε καμπύλες) αντιστοιχούν στην πρώτη εμφάνιση των εποχών, ενώ οι ημερομηνίες έναρξης 2 (διακεκομμένες μπλε καμπύλες) αναφέρονται στη δεύτερη εμφάνισή τους μετά τη σύντομη παρέμβαση της γειτονικής εποχής, αν υπάρχει. Παρόμοια, οι ημερομηνίες λήξης 1 (συνεχείς κόκκινες καμπύλες) αντιστοιχούν στη τελευταία εμφάνιση των εποχών, ενώ οι ημερομηνίες λήξης 2 (διακεκομμένες κόκκινες καμπύλες) αναφέρονται στην προτελευταία εμφάνισή τους πριν τη σύντομη παρέμβαση της γειτονικής εποχής, εάν αυτή υπάρχει. Η διάρκεια είναι ο συνολικός αριθμός των ημερομηνιών που ανήκουν στην αντίστοιχη συστάδα/εποχή.

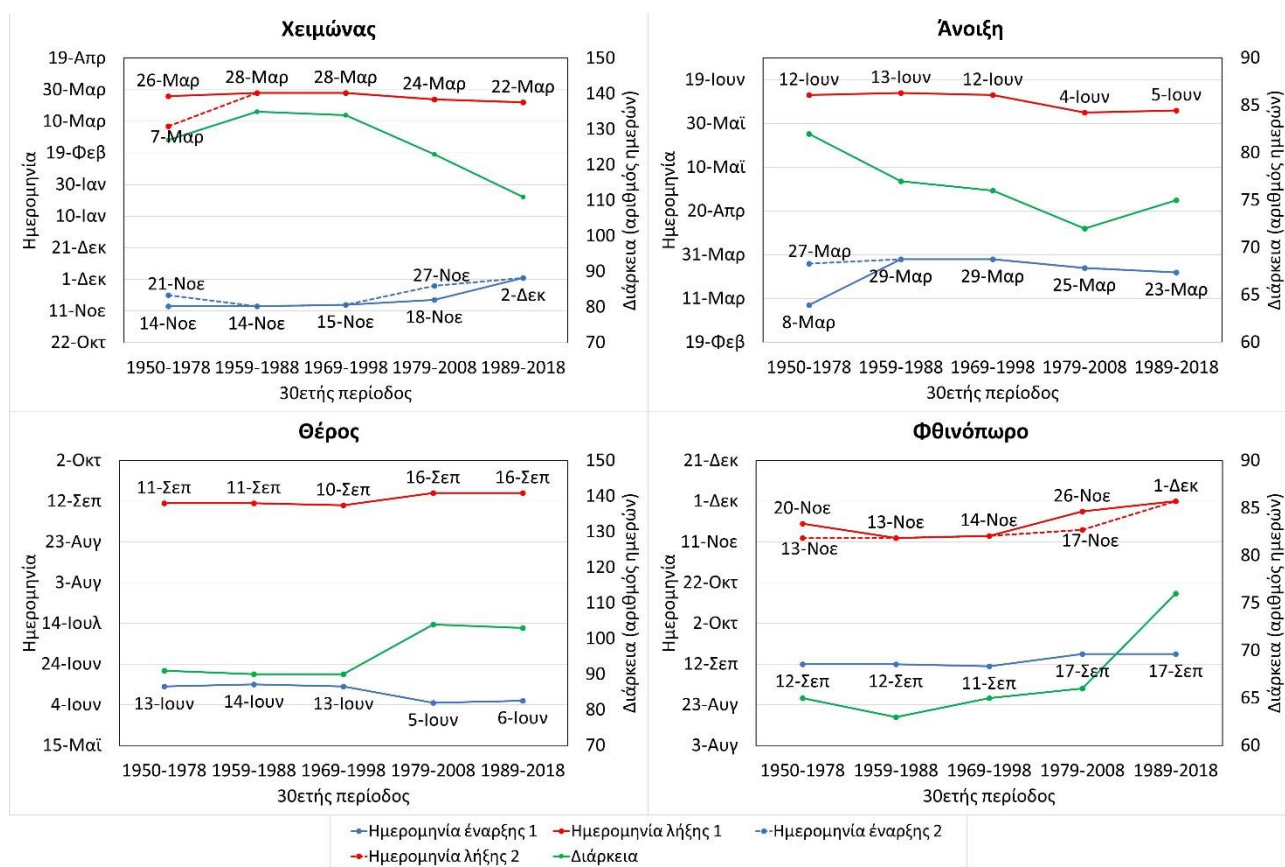
Ο χειμώνας, γενικά, φαίνεται ότι έρχεται αργότερα και φεύγει λίγο νωρίτερα με αποτέλεσμα να διαρκεί λιγότερο τις τελευταίες δεκαετίες. Πιο αναλυτικά, παρατηρείται ότι η ημερομηνία έναρξης του χειμώνα παραμένει σχεδόν αμετάβλητη κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων υποπεριόδων, την τέταρτη υποπερίοδο μετακινείται λίγες ημέρες αργότερα ενώ την πιο πρόσφατη περίοδο 1989-2018, ο χειμώνας ξεκινά 2 εβδομάδες αργότερα, στις αρχές Δεκεμβρίου. Από την καμπύλη της ημερομηνίας λήξης του χειμώνα, διαπιστώνεται ότι κάθε περίοδο ο χειμώνας τελειώνει όλο και λίγο νωρίτερα. Συνεπώς, η διάρκεια του χειμώνα φαίνεται ότι αυξήθηκε κατά τη δεύτερη υποπερίοδο, παρέμεινε σχεδόν η ίδια στην τρίτη, ελαττώθηκε κατά 11 ημέρες στην τέταρτη και μειώθηκε κατά άλλες 12 στην πιο πρόσφατη υποπερίοδο.

Η άνοιξη φαίνεται ότι, γενικά, έχει υποστεί σμίκρυνση με το πέρασμα των ετών, καθώς ενώ έρχεται λίγο νωρίτερα, τελειώνει και νωρίτερα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά την ημερομηνία έναρξης της άνοιξης παρατηρείται μια τάση γρηγορότερης έναρξης με το πέρασμα των ετών. Η λήξη της άνοιξης παραμένει σχεδόν η ίδια (12 Ιουνίου) κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων υποπεριόδων, ενώ τις δύο πιο πρόσφατες υποπεριόδους μεταφέρεται μια εβδομάδα νωρίτερα. Άρα, η διάρκεια της άνοιξης παρουσιάζει μια σταθερή μείωση κατά τη διάρκεια των τεσσάρων πρώτων υποπεριόδων και μία σχετική αύξηση την τελευταία υποπερίοδο.

Για το θέρος, παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της διάρκειάς του τις δύο πιο πρόσφατες υποπεριόδους, η οποία οφείλεται στην γρηγορότερη έναρξη και στην καθυστερημένη λήξη του. Πιο λεπτομερώς, η ημερομηνία έναρξης του θέρους παραμένει σχεδόν σταθερή (13-14 Ιουνίου) κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων υποπεριόδων, ενώ στις δύο επόμενες υποπεριόδους μεταφέρεται 7-8 ημέρες νωρίτερα. Αντίστοιχα, η ημερομηνία λήξης του δεν παρουσιάζει κάποια μεταβολή τις τρεις πρώτες υποπεριόδους και είναι περί τις 10-11 Σεπτεμβρίου, ενώ τις δύο πιο πρόσφατες υποπεριόδους

το θέρους τελειώνει 6 ημέρες αργότερα, δηλαδή στις 16 Σεπτεμβρίου. Ως συνέπεια των παραπάνω διακυμάνσεων, παρατηρείται ότι η διάρκεια του θέρους είναι σταθερή στις τρεις πρώτες υποπεριόδους και έπειτα αυξάνει κατά δύο εβδομάδες, μια εβδομάδα λόγω γρηγορότερης έναρξης και μια εβδομάδα λόγω καθυστερημένης λήξης. Το εύρημα αυτό περί της επέκτασης της διάρκειας του θέρους τα πιο πρόσφατα έτη, πιθανόν να συνδέεται και με τη τρέχουσα κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Τέλος, το φθινόπωρο διαπιστώνεται ότι έρχεται και φεύγει αργότερα τα πιο πρόσφατα έτη ενώ διαρκεί περισσότερο. Αναλυτικότερα, η ημερομηνία έναρξης του φθινοπώρου παραμένει σταθερή τις τρεις πρώτες υποπεριόδους (11-12 Σεπτεμβρίου), και έπειτα μεταφέρεται 6 ημέρες αργότερα. Αντίστοιχα, η ημερομηνία λήξης του παραμένει σχεδόν αμετάβλητη στις πρώτες υποπεριόδους (13-14 Νοεμβρίου) και μετακινείται αργότερα έως και 2 εβδομάδες στις πιο πρόσφατες περιόδους. Αποτέλεσμα αυτών των διακυμάνσεων είναι η μείωση της διάρκειας του φθινοπώρου κατά τη δεύτερη υποπερίοδο, μια αύξηση κατά τις δύο επόμενες και μια ακόμη μεγαλύτερη αύξηση την πιο πρόσφατη περίοδο.



Σχήμα 49. Οι μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις των ημερομηνιών έναρξης και λήξης και της διάρκειας των τεσσάρων αντικειμενικά ορισμένων εποχών, όπως αυτές ορίστηκαν με τη μέθοδο S.

6.3 Σύγκριση διαφορετικών μεθόδων αντικειμενικού ορισμού των εποχών

Ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν συγκρίνοντας τα ευρήματα της παρούσας διατριβής με αυτά προηγούμενων εργασιών οι οποίες μελέτησαν τη μεταβλητότητα των εποχών. Μια εκτενής σύγκριση γίνεται στις προηγούμενες παραγράφους μεταξύ των τεσσάρων διαφορετικών μεθόδων αντικειμενικού προσδιορισμού των μεσογειακών εποχών που εφαρμόζονται στην παρούσα διατριβή, δηλαδή των μεθόδων MVV, WTF, CTF και S. Οι Cheng και Kalkstein (1997) χρησιμοποίησαν τη συχνότητα των εποχιακών αέριων μαζών για να καθορίσουν αντικειμενικά τις εποχές στις ανατολικές ακτές των ΗΠΑ και βρήκαν σημαντικές χωρικές διαφορές στα χαρακτηριστικά των εποχών. Πιο συγκεκριμένα, βρήκαν ότι στις βόρειες περιοχές (όπως το Πόρτλαντ) ο χειμώνας διαρκεί περισσότερο από 4 μήνες και το θέρος περίπου 3 μήνες, ενώ στις νότιες περιοχές (όπως το Μαϊάμι) η διάρκεια του χειμώνα είναι περίπου 1,5 μήνα και το θέρος υπερβαίνει τους 5 μήνες. Στην περιοχή του μέσου Ατλαντικού (όπως η Φιλαδέλφεια) διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν δύο μεγαλύτερες εποχές (θέρος και χειμώνας) που διαρκούν 4 μήνες η κάθε μία και 2 μικρότερες εποχές (άνοιξη και φθινόπωρο) που είναι περίπου 2 μήνες η κάθε μία. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματά τους με εκείνα της μεθόδου S, μπορούμε να πούμε ότι οι εποχές που προσδιορίζονται εδώ για τη Μεσόγειο μοιάζουν περισσότερο με αυτές που ορίζονται στη μεσοατλαντική περιοχή των ΗΠΑ. Οι Alpert et al. (2004a,b) προσπάθησαν να προσδιορίσουν αντικειμενικά τα όρια των εποχών στην ανατολική Μεσόγειο χρησιμοποιώντας τη συχνότητα εμφάνισης των επικρατέστερων συνοπτικών συστημάτων. Αρχικά (Alpert et al. 2004a), εντόπισαν τα κυρίαρχα συνοπτικά συστήματα που επηρεάζουν την ανατολική Μεσόγειο και στη συνέχεια (Alpert et al. 2004b) ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισής τους ορίστηκαν οι εποχές. Βρήκαν ότι ο χειμώνας είναι η περίοδος 7 Δεκεμβρίου - 30 Μαρτίου και διαρκεί 3 μήνες και 23 ημέρες, η άνοιξη ξεκινά στις 31 Μαρτίου και τελειώνει στις 30 Μαΐου και διαρκεί 2 μήνες, το θέρος εκτείνεται από τις 31 Μαΐου έως τις 22 Σεπτεμβρίου και διαρκεί το ίδιο με το χειμώνα και το φθινόπωρο κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 2 μήνες και 14 ημέρες. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματά τους με αυτά της μεθόδου S, οι Alpert et al. (2004b) βρήκαν ότι ο χειμώνας αρχίζει αργότερα και είναι πιο σύντομος, η άνοιξη έρχεται αργότερα και φεύγει νωρίτερα και επομένως είναι επίσης πιο σύντομη, το θέρος έρχεται νωρίτερα και τελειώνει αργότερα και επομένως είναι μεγαλύτερο και το φθινόπωρο είναι επίσης μεγαλύτερο αφού τελειώνει αργότερα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι εποχές που ορίζονται από τους Alpert et al. (2004b) προσομοιάζουν περισσότερο με εκείνες που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου WTF. Οι Lolis και Kotsias (2020) εφάρμοσαν τη μέθοδο WTF για τα νότια Βαλκάνια χρησιμοποιώντας ημερήσια (12 UTC) δεδομένα από τη βάση δεδομένων ERA5. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν α) τη θερμοκρασία του αέρα και το σημείο δρόσου στα 2 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους, τη ζωνική και τη μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου στα 10 μέτρα από το έδαφος και

την ολική νεφοκάλυψη με πλεγματική ανάλυση $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, και β) τη θερμοκρασία του αέρα στα 850h Pa και τα γεωδυναμικά ύψη των ισοβαρικών επιφανειών 500hPa και 1000hPa με ανάλυση πλέγματος $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Η εφαρμογή της μεθόδου WTF για τα νότια Βαλκάνια οδήγησε σε τέσσερις αντικειμενικά ορισμένες εποχές οι οποίες είναι σε καλή συμφωνία με τις αντίστοιχες εποχές που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου WTF για την περιοχή της Μεσογείου στην παρούσα διατριβή. Συγκεκριμένα, για τα νότια Βαλκάνια διαπιστώθηκε (σε σχέση με την παρούσα εργασία για όλη τη Μεσόγειο) ότι: ο χειμώνας έρχεται μια εβδομάδα αργότερα (4 Δεκεμβρίου) και τελειώνει περίπου την ίδια ημερομηνία (20 Μαρτίου) και επομένως είναι μικρότερος, η άνοιξη τελειώνει 11 ημέρες νωρίτερα (20 Μαΐου) και έτσι είναι επίσης πιο σύντομη, το θέρος αρχίζει 11 ημέρες νωρίτερα και τελειώνει 2 ημέρες αργότερα (24 Σεπτεμβρίου) που σημαίνει ότι είναι μεγαλύτερο κατά σχεδόν δύο εβδομάδες και τέλος το φθινόπωρο ξεκινά 2 μέρες αργότερα και φεύγει μια εβδομάδα αργότερα και επομένως είναι λίγο μεγαλύτερο. Οι Ajjuz and Al-Ghamdi (2021) εφάρμοσαν τη μέθοδο MVV για να προσδιορίσουν αντικειμενικά τις εποχές στην Αραβική Χερσόνησο και βρήκαν ότι ο χειμώνας είναι η περίοδος 2 Νοεμβρίου - 31 Ιανουαρίου και διαρκεί 91 ημέρες, η άνοιξη ακολουθεί έως τις 22 Μαΐου και διαρκεί 111 ημέρες, το θέρος εκτείνεται για 106 ημέρες έως τις 5 Σεπτεμβρίου και το φθινόπωρο κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 57 ημερών. Συγκρίνοντας αυτές τις εποχές με αυτές που προσδιορίζονται με τη μέθοδο S, καθώς και με τη μέθοδο MVV που εφαρμόστηκαν για τη Μεσόγειο, οι Ajjuz and Al-Ghamdi (2021) βρήκαν μικρότερες, σε διάρκεια, εποχές για το χειμώνα και το φθινόπωρο και μεγαλύτερες εποχές για την άνοιξη και το θέρος.

6.4 Σύνοψη και συμπεράσματα κεφαλαίου

Στο παρόν Κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε η σύνθεση των τριών μεθόδων αντικειμενικού ορισμού των εποχών που εφαρμόστηκαν για την περιοχή της Μεσογείου και αναλύθηκαν στα τρία προηγούμενα κεφάλαια, δηλαδή της μεθόδου MVV, της μεθόδου WTF και της μεθόδου CTF. Η ένωση αυτών μεθόδων ονομάζεται μέθοδος Σύνθεσης - S (Synthesis). Η μέθοδος S εκτελείται μέσω της εφαρμογής της μεθόδου CA στον ενοποιημένο πίνακα των ενδοετήσιων διακυμάνσεων των στατιστικά σημαντικών PCs των τριών επιμέρους μεθόδων (MVV, WTF και CTF). Με αυτόν τον τρόπο, ταξινομούνται οι 365 ημερομηνίες του έτους σε ομάδες λαμβάνοντας υπόψιν τις ενδοετήσιες διακυμάνσεις ποικίλων μετεωρολογικών παραμέτρων, τους κυρίαρχους τύπους καιρού και τις υφέσεις που επηρεάζουν την περιοχή της Μεσογείου. Η μέθοδος S, όπως και όλες οι προηγούμενες μέθοδοι, εφαρμόστηκε για την ολική περίοδο 1950-2018 καθώς και για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1950-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, με σκοπό τη διερεύνηση πιθανών μακροχρόνιων αλλαγών των χαρακτηριστικών των εποχών, όπως αλλαγών στα όρια και στη διάρκειά τους. Τα κύρια ευρήματα αυτού του κεφαλαίου είναι:

1. Η εφαρμογή της μεθόδου S για τον ορισμό των μεσογειακών εποχών κατά την περίοδο 1950-2018, έχει ως αποτέλεσμα τον ορισμό τεσσάρων εποχών. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα και των τριών προηγούμενων μεθόδων (MVV, WTF και CTF) καθώς και με τον συμβατικό ορισμό των εποχών. Σύμφωνα με τη μέθοδο S: ο χειμώνας έρχεται στις 16 Νοεμβρίου και φεύγει στις 25 Μαρτίου διαρκώντας περισσότερο από 4 μήνες (131 ημέρες), η άνοιξη είναι η περίοδος 26 Μαρτίου - 11 Ιουνίου και έχει διάρκεια περίπου 2,5 μήνες (78 ημέρες), το θέρος ακολουθεί από τις 12 Ιουνίου έως τις 12 Σεπτεμβρίου με διάρκεια 3 μήνες (93 ημέρες) και το φθινόπωρο (13 Σεπτεμβρίου - 15 Νοεμβρίου) κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 2 μηνών (63 ημέρες).
2. Από τη σύγκριση των εποχών που ορίζονται με τη μέθοδο S με τις αντίστοιχες εποχές των μεθόδων MVV, WTF και CTF, αποκαλύπτονται οι εξής διαφορές στα όρια και τη διάρκεια των εποχών:
 - α. Για το χειμώνα, βρέθηκε ότι η μέθοδος S έχει ορίσει τον μεγαλύτερο, ακολουθεί η μέθοδος CTF, ενώ οι μέθοδοι MVV και WTF έχουν ορίσει σχεδόν την ίδια χειμερινή περίοδο.
 - β. Η μέθοδος MVV έχει ορίσει τη μεγαλύτερη άνοιξη ενώ η μέθοδος CTF έχει ορίσει τη συντομότερη.
 - γ. Το θέρος παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διαφορές. Με αύξουσα σειρά, η διάρκεια του θέρους που ορίζεται από τις τέσσερις μεθόδους είναι: 87 ημέρες με τη μέθοδο MVV, 93 ημέρες με τη μέθοδο S, 104 ημέρες με τη μέθοδο CFT και 114 ημέρες με τη μέθοδο WTF. Παρατηρείται ότι, η διαφορά μεταξύ των μεθόδων WTF και MVV στη διάρκεια του θέρους φτάνει σχεδόν τον ένα μήνα.
 - δ. Για το φθινόπωρο, η μέθοδος MVV έχει ορίσει το μεγαλύτερο, ενώ η μέθοδος S έχει ορίσει το συντομότερο.
3. Οι πιο αξιοσημείωτες διαχρονικές διακυμάνσεις των χαρακτηριστικών των εποχών είναι: ο χειμώνας φεύγει λίγο νωρίτερα κάθε περίοδο και έρχεται αργότερα τα τελευταία χρόνια και έτσι έχει γίνει πιο σύντομος, η άνοιξη έρχεται και φεύγει νωρίτερα τις τελευταίες περιόδους και έχει γίνει λίγο πιο σύντομη, το θέρος έρχεται νωρίτερα και τελειώνει αργότερα και συνεπώς έχει γίνει μεγαλύτερο και τέλος το φθινόπωρο αρχίζει και τελειώνει αργότερα και η διάρκειά του έχει αυξηθεί.

Κεφάλαιο 7

Γενικά συμπεράσματα - Προοπτικές

Ο βασικός στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι ο αντικειμενικός ορισμός των εποχών και η μελέτη της μεταβλητότητάς τους για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την 70ετή περίοδο 1949-2018, χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους. Με αυτόν τον τρόπο δίνεται ένας νέος ορισμός των εποχών, βασισμένος σε κλιματολογικά κριτήρια, διαφορετικός από τον ευρέως χρησιμοποιούμενο συμβατικό ορισμό των τεσσάρων εποχών (χειμώνας, άνοιξη, θέρος και φθινόπωρο) ίσης διάρκειας (3 μήνες εκάστη). Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν την εφαρμογή των πολυμεταβλητών στατιστικών μεθόδων Ανάλυση Κυριών Συνιστωσών - Principal Component Analysis (PCA) και Ανάλυση κατά Συστάδες των κ-μέσων - k-means Cluster Analysis (CA). Ανάλογα με τη μέθοδο που εφαρμόζεται, ορίζονται με αντικειμενικό τρόπο οι εποχές, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορές στα χρονικά τους όρια και στη διάρκειά τους. Επίσης, πραγματοποιείται μια σύνθεση όλων των επιμέρους μεθόδων που εφαρμόζονται, με σκοπό την επίτευξη ενός αντικειμενικού ορισμού των εποχών ο οποίος περιλαμβάνει τον συνδυασμό των μέσων ενδοετήσιων διακυμάνσεων διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων, τους κυρίαρχους τύπους καιρού και τις μεσογειακές υφέσεις. Τέλος, διερευνώνται οι διακυμάνσεις των χαρακτηριστικών των εποχών εντός της υπό εξέταση 70ετούς χρονικής περιόδου, οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ακόμα περισσότερο κατά την σύγχρονη περίοδο που βιώνουμε τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

Η πρώτη μέθοδος αντικειμενικού ορισμού των εποχών που εφαρμόζεται για την περιοχή της Μεσογείου ονομάζεται Meteorological Variables mean intra-annual Variation method ή μέθοδος MVV. Συγκεκριμένα, η μέθοδος MVV περιλαμβάνει την εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων PCA και CA, διαδικασία η οποία είναι γνωστή ως “φασματική ταξινόμηση” (“spectral clustering”), στις μέσες ενδοετήσιες διακυμάνσεις 12 μετεωρολογικών παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτές είναι: η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, ο ρυθμός υετού και ο ρυθμός ανωμεταφορικού υετού, η ζωνική και η μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, η ολική νεφοκάλυψη, το γεωδυναμικό ύψος στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa και 1000hPa, οι θερμοκρασίες του αέρα των ισοβαρικών επιφανειών 500hPa και 850hPa, η ειδική υγρασία στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa και το υετίσιμο ύδωρ. Η εφαρμογή της διαδικασίας της φασματικής ταξινόμησης, έχει ως αποτέλεσμα οι ημερομηνίες του έτους οι οποίες παρουσιάζουν ομοιογενή κλιματικά χαρακτηριστικά να ταξινομούνται σε ομάδες/συστάδες και συνεπώς ορίζονται 4 συστάδες οι οποίες αποτελούν τις αντικειμενικά ορισμένες εποχές. Οι εποχές αυτές αντιστοιχούν στις τέσσερις συμβατικές εποχές, αλλά υπάρχουν διαφορές στις ημερομηνίες έναρξης/λήξης και στη

διάρκειά τους. Εκτός από την ολική 70ετή περίοδο 1949-2018, η μέθοδος MVV εφαρμόζεται και για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, με σκοπό τη διερεύνηση μακροπρόθεσμων αλλαγών των χαρακτηριστικών των εποχών, ενώ σε κάθε υποπερίοδο ορίζονται 4 εποχές.

Η δεύτερη μέθοδος αντικειμενικού ορισμού των εποχών βασίζεται στους κυριάρχους τύπους καιρού (Weather Types, WTs) που επηρεάζουν το κλίμα της Μεσογείου και ονομάζεται Weather Types' Frequency method ή μέθοδος WTF. Αρχικά, εφαρμόζεται η διαδικασία της φασματικής ταξινόμησης στις ημερήσιες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων, οι οποίες αξιοποιήθηκαν και στη μέθοδο MVV (εκτός των δύο παραμέτρων υετού), με σκοπό την ταξινόμηση των ημερομηνιών της 70ετούς περιόδου οι οποίες παρουσιάζουν κοινά συνοπτικά χαρακτηριστικά σε ομάδες/συστάδες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ορίζονται 8 συστάδες οι οποίες αντιστοιχούν στους 8 κυριάρχους WTs και μελετώνται τα χαρακτηριστικά τους. Στο επόμενο βήμα, εφαρμόζεται ξανά η διαδικασία της φασματικής ταξινόμησης στις ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των 8 WTs, ταξινομώντας σε ομάδες τις ημερομηνίες του έτους οι οποίες παρουσιάζουν παρόμοια κατανομή συχνοτήτων μεταξύ των 8 WTs και ως αποτέλεσμα ορίζονται 4 συστάδες, οι οποίες αποτελούν τις αντικειμενικά ορισμένες εποχές. Η μέθοδος WTF, εκτός από την ολική 70ετή περίοδο 1949-2018, εφαρμόζεται και για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους που προαναφέρθηκαν και για κάθε υποπερίοδο ορίζονται 4 εποχές.

Η τρίτη μέθοδος αντικειμενικού ορισμού των εποχών που επιχειρείται βασίζεται στις τροχιές των κυριάρχων μεσογειακών υφέσεων και ονομάζεται Cyclones Tracks' Frequency method ή μέθοδος CTF. Αρχικά, αξιοποιώντας ώρες τιμές της πίεσης στη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας (MSLP) τρέχει ο αλγόριθμος εντοπισμού και παρακολούθησης των υφέσεων που αναπτύχθηκε από τους Lionello et al. (2002). Ως αποτέλεσμα, αναγνωρίζονται οι κυριάρχες υφέσεις που επηρεάζουν την περιοχή της Μεσογείου και μελετώνται τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής των γεωγραφικών συντεταγμένων (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) των τροχιών των εντοπισμένων υφέσεων ώστε να μπορούν να εισαχθούν στη στατιστική ανάλυση. Κατασκευάζεται λοιπόν ένας πίνακας, οι γραμμές του οποίου αντιστοιχούν στις υφέσεις και οι στήλες του στις γεωγραφικές συντεταγμένες, έπειτα από την εφαρμογή της διαδικασίας της γραμμικής παρεμβολής, ο αριθμός των οποίων είναι κοινός για όλες τις υφέσεις και ισούται με το χρόνο ζωής της μακροβιότερης ύφεσης που ανιχνεύθηκε. Έπειτα, εφαρμόζεται η διαδικασία της φασματικής ταξινόμησης με σκοπό την ταξινόμηση των τροχιών των υφέσεων σε ομάδες ανάλογα με τη χωρική τους κατανομή. Ως αποτέλεσμα ορίζονται 12 ομάδες/συστάδες τροχιών υφέσεων (Cyclone tracks' Clusters, CCs) και αναλύονται τα κύρια

χαρακτηριστικά τους. Στο επόμενο βήμα, υπολογίζονται οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των 12 CCs και εφαρμόζεται ξανά η διαδικασία της φασματικής ταξινόμησης, ταξινομώντας τις ημέρες του έτους σε ομάδες και ορίζοντας έτσι αντικειμενικά 4 εποχές. Επίσης, η εφαρμογή της μεθόδου CTF στις 5 επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους που χρησιμοποιήθηκαν και στις προηγούμενες μεθόδους, έχει ως αποτέλεσμα σε κάποιες περιπτώσεις να ορίζονται 5 εποχές.

Στο τελευταίο τμήμα της διατριβής, γίνεται μια σύγκριση των τριών μεθόδων αντικειμενικού ορισμού των εποχών που εφαρμόστηκαν, δηλαδή των μεθόδων MVV, WTF και CTF και έπειτα πραγματοποιείται και η σύνθεσή τους με μία μέθοδο που ονομάζεται Synthesis method ή μέθοδος S. Η μέθοδος αυτή εκτελείται εφαρμόζοντας την CA στον ενοποιημένο πίνακα των Κύριων Συνιστωσών (PCs) των τριών επιμέρους μεθόδων. Συνεπώς, η μέθοδος S αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσπάθεια αντικειμενικού ορισμού των εποχών της Μεσογείου, καθώς λαμβάνει υπόψη την ενδοετήσια διακύμανση πλήθους μετεωρολογικών παραμέτρων, τους κυρίαρχους τύπους καιρού και τις υφέσεις που επηρεάζουν την περιοχή μελέτης. Επίσης, η μέθοδος S, εκτός από την ολική περίοδο 1950-2018, εφαρμόζεται και για τις πέντε επικαλυπτόμενες 30ετείς υποπεριόδους που προαναφέρθηκαν και σε κάθε περίπτωση ορίζονται 4 εποχές. Τέλος, πραγματοποιείται και η διερεύνηση των μακροπρόθεσμων διακυμάνσεων των ορίων και της διάρκειας των εποχών.

Συνοπτικά, τα σημαντικότερα ευρήματα αυτής της διατριβής είναι:

1. Η εφαρμογή της μεθόδου MVV για τον αντικειμενικό ορισμό των εποχών κατά τη χρονική περίοδο μελέτης 1949-2018, οδήγησε στις εξής εποχές για την περιοχή της Μεσογείου: ο χειμώνας ξεκινά στις 24 Νοεμβρίου και τελειώνει στις 20 Μαρτίου με διάρκεια περίπου 4 μήνες (117 ημέρες), ακολουθεί η άνοιξη έως τις 12 Ιουνίου η οποία διαρκεί λίγο λιγότερο από 3 μήνες (84 ημέρες), το θέρος έρχεται στις 13 Ιουνίου και απέρχεται στις 7 Σεπτεμβρίου με διάρκεια περίπου 3 μήνες (87 ημέρες) και το φθινόπωρο (8 Σεπτεμβρίου - 23 Νοεμβρίου) κλείνει τον ετήσιο κύκλο με διάρκεια 77 ημερών.
2. Ορίζονται 8 κυρίαρχοι Τύποι Καιρού (WTs) για την περιοχή της Μεσογείου. 2 από αυτούς τους WTs επικρατούν κατά τη θερμή περίοδο του έτους ενώ οι υπόλοιποι επικρατούν κατά την αντίστοιχη ψυχρή. Οι 6 WTs της ψυχρής περιόδου διαφέρουν ως προς τα κυρίαρχα καθεστάτα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, θερμοκρασίας, υγρασίας και νεφοκάλυψης στη λεκάνη της Μεσογείου. Τα καθεστάτα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας περιλαμβάνουν συστήματα μεγάλης κλίμακας που επηρεάζουν την περιοχή, όπως οι μεσογειακές υφέσεις, οι δυτικοί άνεμοι, η επέκταση του υποτροπικού αντικυκλώνα των Αζορών και το θερμικό χαμηλό της ΝΔ Ασίας.

3. Η αξιοποίηση των ενδοετήσιων διακυμάνσεων των συχνοτήτων των 8 WTs, μέσω της μεθόδου WTF, έχει ως αποτέλεσμα τον ορισμό των εξής εποχών για τη Μεσόγειο: ο χειμώνας είναι η περίοδος 26 Νοεμβρίου - 20 Μαρτίου και διαρκεί σχεδόν 4 μήνες (115 ημέρες), η άνοιξη έρχεται στις 21 Μαρτίου και απέρχεται στις 31 Μαΐου με διάρκεια περίπου 2,5 μήνες (72 ημέρες), ακολουθεί το θέρος έως τις 22 Σεπτεμβρίου με διάρκεια σχεδόν 4 μήνες (114 ημέρες), και το φθινόπωρο είναι η περίοδος 23 Σεπτεμβρίου - 25 Νοεμβρίου και διαρκεί σχεδόν 2 μήνες (64 ημέρες).
4. Ο αλγόριθμος ανίχνευσης και παρακολούθησης των υφέσεων που αναπτύχθηκε από τους Lionello et al. (2002), τρέχει για την περιοχή ενδιαφέροντος και για την χρονική περίοδο 1950-2018. Βρίσκεται ότι κατά μέσο όρο ανιχνεύονται 325 υφέσεις κάθε έτος και υπάρχει συχνότερη κυκλωνική δραστηριότητα την εποχή της συμβατικής άνοιξης, ιδιαίτερα κατά το δεύτερο μισό της. Εντοπίζονται οι κύριοι πυρήνες κυκλογένεσης και οι περιοχές με υψηλή πυκνότητα των υφέσεων και είναι: ο Κόλπος της Γένοβας, η οροσειρά του Άτλαντα, η Ιβηρική χερσόνησος, η περιοχή της Κύπρου, η Μαύρη Θάλασσα και η Μέση Ανατολή.
5. Πραγματοποιείται μια ταξινόμηση των υφέσεων που ανιχνεύθηκαν σε ομάδες ανάλογα με τη χωρική κατανομή και τις προτιμητέες διαδρομές των τροχιών τους. Ως αποτέλεσμα, ορίζονται 12 ομάδες τροχιών υφέσεων (Cyclone tracks' Clusters, CCs) και αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους. Έπειτα, εφαρμόζεται η μέθοδος CTF, η οποία βασίζεται στη χρήση των ενδοετήσιων διακυμάνσεων των συχνοτήτων των 12 CCs και ορίζονται οι εποχές για την περιοχή της Μεσογείου, οι οποίες είναι: ο χειμώνας περιλαμβάνει τις ημερομηνίες 14-25 Νοεμβρίου, 30 Νοεμβρίου - 12 Ιανουαρίου και 18 Ιανουαρίου - 27 Μαρτίου και έχει διάρκεια σχεδόν 4 μήνες (125 ημέρες), η άνοιξη αποτελείται από τις ημερομηνίες 4 Απριλίου - 7 Μαΐου και 12 Μαΐου - 14 Ιουνίου με διάρκεια περίπου 2 μήνες (68 ημέρες), το θέρος ξεκινά στις 15 Ιουνίου και τελειώνει στις 26 Σεπτεμβρίου έχοντας διάρκεια 3,5 μηνών (104 ημέρες) και το φθινόπωρο απαρτίζεται από τις ημερομηνίες 27 Σεπτεμβρίου - 13 Νοεμβρίου, 26-29 Νοεμβρίου, 13-17 Ιανουαρίου, 28 Μαρτίου - 3 Απριλίου και 8-11 Μαΐου και διαρκεί σχεδόν 2 μήνες (68 ημέρες).
6. Τέλος, εφαρμόζεται μια διαδικασία σύνθεσης (μέθοδος S) η οποία συνδυάζει τις τρεις προηγούμενες μεθόδους (μέθοδοι MVV, WTF και CTF) και επομένως αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσπάθεια αντικειμενικού ορισμού των εποχών. Σύμφωνα με τη μέθοδο S, οι εποχές της Μεσογείου είναι: ο χειμώνας ο οποίος ξεκινά στις 16 Νοεμβρίου και τελειώνει στις 25 Μαρτίου και διαρκεί περισσότερο από 4 μήνες (131 ημέρες), η άνοιξη η οποία είναι η περίοδος 26 Μαρτίου - 11 Ιουνίου και έχει διάρκεια περίπου 2,5 μήνες (78 ημέρες), το θέρος το οποίο εκτείνεται από τις 12 Ιουνίου έως τις 12 Σεπτεμβρίου και διαρκεί 3 μήνες (93

ημέρες) και τέλος το φθινόπωρο (13 Σεπτεμβρίου - 15 Νοεμβρίου) το οποίο κλείνει τον ετήσιο κύκλο έχοντας διάρκεια 2 μηνών (63 ημέρες).

7. Πραγματοποιείται μια σύγκριση των αντικειμενικά ορισμένων εποχών που ορίστηκαν με τις 4 μεθόδους. Για το χειμώνα, βρέθηκε ότι η μέθοδος S έχει ορίσει τον μεγαλύτερο, ακολουθεί η μέθοδος CTF, ενώ οι μέθοδοι MVV και WTF έχουν ορίσει σχεδόν την ίδια χειμερινή περίοδο. Η μέθοδος MVV έχει ορίσει τη μεγαλύτερη άνοιξη ενώ η μέθοδος CTF έχει ορίσει τη συντομότερη. Με αύξουσα σειρά, η διάρκεια του θέρους που ορίζεται από τις τέσσερις μεθόδους είναι: 87 ημέρες με τη μέθοδο MVV, 93 ημέρες με τη μέθοδο S, 104 ημέρες με τη μέθοδο CFT και 114 ημέρες με τη μέθοδο WTF. Για το φθινόπωρο, η μέθοδος MVV έχει ορίσει το μεγαλύτερο, ενώ η μέθοδος S έχει ορίσει το συντομότερο.
8. Οι σημαντικότερες διαχρονικές διακυμάνσεις των χαρακτηριστικών των εποχών, όπως μεταβολών στα όρια και στη διάρκειά τους, σύμφωνα με τη μέθοδο S είναι: ο χειμώνας έρχεται αργότερα και τελειώνει λίγο νωρίτερα τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειάς του, η άνοιξη ξεκινά και τελειώνει νωρίτερα τις πιο πρόσφατες περιόδους και διαρκεί λίγο λιγότερο, το θέρος έχει επεκταθεί καθώς έρχεται νωρίτερα και τελειώνει αργότερα, και τέλος το φθινόπωρο ξεκινά και τελειώνει αργότερα και η διάρκειά του αυξάνεται.

Η παρούσα διατριβή αποτελεί μια καινοτόμα και ολοκληρωμένη προσπάθεια αντικειμενικού ορισμού των εποχών για την περιοχή της Μεσογείου, η οποία συνδυάζει διάφορες τεχνικές και μεθόδους. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, το αντικείμενο του αντικειμενικού ορισμού των εποχών και η μελέτη της μεταβλητότητάς τους, ιδιαίτερα για την περιοχή της Μεσογείου, δεν έχει διερευνηθεί εκτενώς σε προηγούμενες μελέτες και είναι ένα θέμα που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, κυρίως τα τελευταία χρόνια λόγω της εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής η οποία εκτιμάται ότι θα ενταθεί στο μέλλον. Συνεπώς, η παρούσα διατριβή αποτελεί ένα κίνητρο για περαιτέρω διερεύνηση του παρόντος θέματος με την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων. Μια μέθοδος μπορεί να είναι η χρήση της φαινολογίας (phenology), η οποία βασίζεται στα εποχικά χαρακτηριστικά των φυτών και των ζώων. Άλλη μέθοδος αντικειμενικού ορισμού των εποχών, μπορεί να βασιστεί στη χρήση των κλιματικών ταξινομήσεων, όπως η κλιματική ταξινόμηση Köppen και η κλιματική ταξινόμηση Thornthwaite (Lohmann et al. 1993, Feddema 2005). Η κλιματική ταξινόμηση είναι μια μεθοδολογία που ταξινομεί τις περιοχές της Γης με βάση τα κυρίαρχα κλιματικά τους καθεστάτα. Μια άλλη μέθοδος, που βασίζεται στη διερεύνηση της χωρικής μεταβλητότητας των χαρακτηριστικών των εποχών, είναι ο διαχωρισμός μιας ευρύτερης περιοχής σε άλλες μικρότερες, όπως για παράδειγμα ο διαχωρισμός της Μεσογείου σε νότιο και βόρειο τμήμα ή σε δυτικό και ανατολικό τμήμα. Επίσης, οι μέθοδοι που

εφαρμόζονται στην παρούσα διατριβή για την περιοχή της Μεσογείου, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν και για άλλες περιοχές του πλανήτη. Στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσης του πλανήτη, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η μελέτη της μεταβλητότητας των εποχών για τις μελλοντικές δεκαετίες. Αυτό θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με τη χρήση κατάλληλων κλιματικών μοντέλων, όπως για παράδειγμα μοντέλα τα οποία προσομοιώνουν διάφορα σενάρια παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου (RCP4.5 και RCP8.5).

Βιβλιογραφία

- Ajjur S.B. and Al-Ghamdi S.G. 2021. Seventy-year disruption of seasons characteristics in the Arabian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 41(13): 5920-5937.
- Akperov M.G., Bardin M.Y., Volodin E.M., Golitsyn G.S. and Mokhov I.I. 2007. Probability distributions for cyclones and anticyclones from the NCEP/NCAR reanalysis data and the INM RAS climate model. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 43: 705-712.
- Allen M.J. and Sheridan S.C. 2015. Evaluating Changes in Season Length Onset, and End Dates across the United States (1948-2012). *International Journal of Climatology*, 36(3): 1268-1277.
- Alpert P., Neeman B.U. and Shay-El Y. 1990a. Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus* 42A: 65-77.
- Alpert P., Neeman B.U. and Shay-El Y. 1990b. Inter-monthly variability of cyclone tracks in the Mediterranean. *Journal of Climate*, 3: 1474-1478.
- Alpert P., Osetinsky I., Ziv B. and Shafir H. 2004a. Semi-Objective Classification for Daily Synoptic Systems: Application to the Eastern Mediterranean Climate Change. *International Journal of Climatology*, 24(8): 1001-1011.
- Alpert P., Osetinsky I., Ziv B. and Shafir H. 2004b. A New Seasons Definition Based on Classified Daily Synoptic Systems: an Example for the Eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 24(8): 1013-1021.
- Alt H., and Godau M. 1995. Computing the Fréchet distance between two polygonal curves. *International Journal of Computational Geometry and Applications*, 5(1-2): 75-91.
- Anagnostopoulou C., Tolika K., Flocas H. and Maheras P. 2006. Cyclones in the Mediterranean region: Present and future climate scenarios derived from a general circulation model (HadAM3P). *Advances in Geosciences*, 7: 9-14.
- Anagnostopoulou C., Tolika K. and Maheras P. 2009. Classification of circulation types: A new flexible automated approach applicable to NCEP and GCM datasets. *Theoretical and Applied Climatology*, 96(1-2): 3-15.
- Anagnostopoulou C., Zanis P., Katragkou E., Tegoulas I. and Tolika K. 2014. Recent past and future patterns of the Etesian winds based on regional scale climate model simulations. *Climate Dynamics*, 42(7-8): 1819-1836.
- Bartholy J., Pongrácz R. and Pattantyús-Ábrahám M. 2009. Analyzing the genesis, intensity, and tracks of western Mediterranean cyclones. *Theoretical and Applied Climatology*, 96: 133-144.
- Bartzokas A. and Metaxas D.A. 1993. Covariability and Climatic Changes of the Lower-Troposphere Temperatures over the Northern Hemisphere. *Il Nuovo Cimento C*, 16(4): 359-373.

- Blender R., Fraedrich K. and Lunkeit F. 1997. Identification of cyclone-track regimes in the North Atlantic. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123: 727-741.
- Boé J. and Terray L. 2008. A weather-type approach to analyzing winter precipitation in France: twentieth-century trends and the role of anthropogenic forcing. *Journal of Climate*, 21(13): 3118-3133.
- Brown P.R. 2004. Weather types associated with extreme temperatures in England. Part 1: maximum temperatures. *Journal of Meteorology*, 29(294): 358-365.
- Brown P.R. 2005. Weather types associated with extreme temperatures in England. Part 2: minimum temperatures. *Journal of Meteorology*, 30(295): 23-30.
- Buzzi A. and Tibaldi S. 1978. Cyclogenesis in the lee of the Alps: A case study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 104: 271-287.
- Cassou C. and Cattiaux J. 2016. Disruption of the European Climate Seasonal Clock in a Warming World. *Nature Climate Change*, 6(6): 589-594.
- Cavazos T. and Hewitson B.C. 2005. Performance of NCEP–NCAR Reanalysis Variables in Statistical Downscaling of Daily Precipitation. *Climate Research*, 28: 95-107.
- Chambers E.W., Colin de Verdière É., Erickson J., Lazard S., Lazarus F. and Thite S. 2009. Homotopic Fréchet distance between curves, or walking your dog in the woods in polynomial time. *Computational Geometry: Theory and Applications*, 43(3): 295-311.
- Cheng S. and Kalkstein L.S. 1997. Determination of climatological seasons for the East Coast of the U.S. using an air mass-based classification. *Climate Research*, 8: 107-116.
- Copernicus Climate Change Service (C3S) 2017. ERA5: fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. *Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS)*, 21/11/2019.
- Cortesi N., Gonzales-Hidalgo J.C., Trigo R.M. and Ramos A.M. 2014. Weather types and spatial variability of precipitation in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 34: 2661-2677.
- Dafis S., Lolis C.J., Houssos E.E. and Bartzokas A. 2016. The atmospheric circulation characteristics favoring snowfall in an area with complex relief in Northwestern Greece. *International Journal of Climatology*, 36(10): 3561-3577.
- Davis R.E. and Walker D.R. 1992. An Upper-Air Synoptic Climatology of the Western United States. *Journal of Climate*, 5(12): 1449-1467.
- Dong W., Jiang Y. and Yang S. 2010. Response of the starting dates and the lengths of seasons in Mainland China to global warming. *Climate Change*, 99: 81-91.

- Feddema J.J. 2005. A Revised Thornthwaite-Type Global Climate Classification. *Physical Geography*, 26:442-466.
- Flaounas E., Kotroni V., Lagouvardos K. and Flaounas I. 2014. CycloTRACK (v1. 0) tracking winter extratropical cyclones based on relative vorticity: sensitivity to data filtering and other relevant parameters. *Geoscientific Model Development*, 7: 1841-1853.
- Flocas A.A. 1988. Frontal depressions over the Mediterranean Sea and central southern Europe. *Me'diterrane'e*, 4: 43-52.
- Flocas H.A. and Karacostas T.S. 1996. Cyclogenesis over the Aegean Sea: identification and synoptic categories. *Meteorologic Applications*, 3: 53-61.
- Fyfe J.C. 2003. Extratropical Southern Hemisphere Cyclones: Harbingers of Climate Change?. *Journal of Climate*, 16 (17): 2802-2805.
- Gulev S.K., Zolina O., Grigoriev S. 2001. Extratropical Cyclone Variability in the Northern Hemisphere Winter from the NCEP/NCAR Reanalysis Data. *Climate Dynamics*, 17(10): 795-809.
- Gilbert R.O. 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*, Wiley, NY.
- Hersbach H. and Dee D. 2016. ERA5 reanalysis is in production, *ECMWF Newsletter* No. 147, 7.
- Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horányi A., Muñoz-Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Schepers D., Simmons A., Soci C., Abdalla S., Abellan X., Balsamo G., Bechtold P., Biavati G., Bidlot J., Bonavita M., De Chiara G., Dahlgren P., Dee D., Diamantakis M., Dragani R., Flemming J., Forbes R., Fuentes M., Geer A., Haimberger L., Healy S., Hogan R.J., Hólm E., Janisková M., Keeley S., Laloyaux P., Lopez P., Lupu C., Radnoti G., de Rosnay P., Rozum I., Vamborg F., Villaume S. and Thépaut J.N. 2020. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730): 1999-2049.
- Hidalgo J. and Jouglar R. 2018. On the use of local weather types classification to improve climate understanding: an application on the urban climate of Toulouse. *PLoS One*, 13(12): 1-21.
- Higgins R.W., Mo K.C., Schubert S.D. 1996. The Moisture Budget of the Central United States in Spring as Evaluated in the NCEP/NCAR and the NASA/DAO Reanalyses. *Monthly Weather Review*, 124(5): 939-963.
- Hochman A., Harpaz T., Saaroni H. and Alpert P. 2018. The seasons' length in 21st century CMIP5 projections over the eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 38(6): 2627-2637.
- Hurrell J.W. and Van Loon H. 1997. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic oscillation. *Climatic Change*, 36(3-4): 301-326.
- Inatsu M. 2009. The neighbor enclosed area tracking algorithm for extratropical wintertime cyclones. *Atmospheric Science Letters*, 10: 267-272.

- IPCC 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V. and Midgley P.M. (eds.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Jolliffe IT. 1986. *Principal Component Analysis*. Springer.
- Kallos G. and Metaxas A. 1980. Synoptic processes for the formation of Cyprus lows. *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, XL(2-3): 121-138.
- Kalkstein L.S., Tan G. and Skindlov J.A. 1987. An Evaluation of Three Clustering Procedures for Use in Synoptic Climatological Classification. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 26(6): 717-730.
- Kalkstein L.S., Barthel C.D., Greene J.S. and Nichols M.C. 1996. A new spatial classification: application to air-mass analysis. *International Journal of Climatology*, 16(9): 983-1004.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R. and Joseph D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3): 437-471.
- Kendall M. 1975. *Multivariate analysis*. Charles Griffin, London, p 210.
- Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., Van Den Dool H., Jenne R. and Fiorino M. 2001. The NCEP–NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82 (2): 247-267.
- Kostopoulou E. and Jones P.D. 2005. Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89(1-4): 69-85.
- Lionello P., Dalan F. and Elvini E. 2002. Cyclones in the Mediterranean region: the present and the doubled CO2 climate scenarios. *Climate Research*, 22: 147-159.
- Lionello P. and Sanna A. 2005. Mediterranean Wave Climate Variability and Its Links with NAO and Indian Monsoon. *Climate Dynamics*, 25(6): 611-623.
- Lionello P., Malanotte-Rizzoli P. and Boscolo R. 2006. Mediterranean Climate Variability. *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 4:1-421.
- Lionello P., Malanotte-Rizzoli P., Boscolo R., Alpert P., Artale V., Li L., Luterbacher J., May W., Trigo R., Tsimplis M., Ulbrich U. and Xoplaki E. 2006. The Mediterranean Climate: An Overview

- of the Main Characteristics and Issues. *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 4:1-26.
- Lionello P., Trigo I., Gil V., Liberato M., Nissen K., Pinto J., Raible C., Reale M., Tanzarella A., Trigo R., Ulbrich S. and Ulbrich U. 2016. Objective Climatology of Cyclones in the Mediterranean Region: a consensus view among methods with different system identification and tracking criteria. *Tellus Series A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 68: 29391. ISSN 1600-0870.
- Littmann T. 2000. An empirical classification of weather types in the Mediterranean Basin and their interrelation with rainfall. *Theoretical and Applied Climatology*, 66(3-4): 161-171.
- Lohmann U., Sausen R., Bengtsson L., Cubasch U., Perlwitz J. and Roeckner E. 1993. The Köppen climate classification as a diagnostic tool for general circulation models. *Climate Research*, 3:177-193.
- Lolis C.J., Bartzokas A. and Katsoulis B.D. 2004. Relation between Sensible and Latent Heat Fluxes in the Mediterranean and Precipitation in the Greek Area during Winter. *International Journal of Climatology*, 24 (14): 1803-1816.
- Lolis C.J. 2012. High-resolution precipitation over the southern Balkans. *Climate Research*, 55: 167-179.
- Lolis C.J. and Türkeş M. 2016. Atmospheric circulation characteristics favoring extreme precipitation in Turkey. *Climate Research*, 71(2): 139-153.
- Lolis C.J. 2017. A Climatology of Convective Available Potential Energy in the Mediterranean Region. *Climate Research*, 74(1): 15-30.
- Lolis C.J. and Kotsias G. 2020. The use of weather types in the definition of seasons: the case of southern Balkans. *Theoretical and Applied Climatology*, 142: 1199-1219.
- Maheras P. 1984. Weather-type classification by factor analysis in the Thessaloniki area. *Journal of Climatology*, 4(4): 437-443.
- Maheras P. 1988. Changes in precipitation conditions in the western Mediterranean over the last century. *Journal of Climatology*, 8: 179-189.
- Maheras P., Flocas H.A., Patrikas I. and Anagnostopoulou C. 2001. A 40 Year Objective Climatology of Surface Cyclones in the Mediterranean Region: Spatial and Temporal Distribution. *International Journal of Climatology*, 21(1): 109-130.
- Manly BFJ. 1986. Multivariate statistical methods: a primer. Chapman and Hall, London, 159 pp.
- Metaxas D.A. 1978. Evidence on the importance of diabatic heating as a divergence factor in the Mediterranean. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Series A*, 27: 69-80.

- Michailidou C., Maheras P., Arseni-Papadimitriou A., Kolyva-Machera F. and Anagnostopoulou C. 2009. A study of weather types at Athens and Thessaloniki and their relationship to circulation types for the cold-wet period, part I: two-step cluster analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 97:163–177.
- Michailidou C., Maheras P., Arseni-Papadimitriou A., Kolyva-Machera F. and Anagnostopoulou C. 2009. A study of weather types at Athens and Thessaloniki and their relationship to circulation types for the cold-wet period, part II: discriminant analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 97:179-194.
- Morris R.M. 1973. The origin structure and movement of the Saharan depressions. In Brief Notes on Synoptic Meteorology in the Mediterranean region. *Meteorological Office College: Shinfield Park*, Reading, UK.
- Murray R.J. and Simmonds I. 1991. A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: development and operation of the scheme. *Australian Meteorological Magazine*, 39.
- Neu U., Akperov M.G., Bellenbaum N., et al. 2013. IMILAST: A Community Effort to Intercompare Extratropical Cyclone Detection and Tracking Algorithms. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(4): 529-547.
- Nissen K.M., Leckebusch G.C., Pinto J.G., Renggli D., Ulbrich S., and Ulbrich U. 2010. Cyclones causing wind storms in the Mediterranean: Characteristics, trends and links to large-scale patterns. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(7): 1379-1391.
- Overland J.E. and Preisendorfer R.W. 1982. A significance test for principal components applied to a cyclone climatology. *Monthly Weather Review*, 110: 1-4.
- Ovadia E. and Goldreich Y. 1997. Year Division in Israel According to Temperature Data. In 6th Conference of Judea and Samaria Researches, *The Judea and Samaria Academic College*, Ariel, Israel, 293-297 (in Hebrew).
- Pinto J.G., Spanghel T., Ulbrich U. and Speth P. 2005. Sensitivities of a cyclone detection and tracking algorithm: individual tracks and climatology. *Meteorologische Zeitschrift*, 14: 823-838.
- Piotrowicz K. and Ciaranek D. 2020. A selection of weather type classification systems and examples of their application. *Theoretical and Applied Climatology*, 140: 719-730.
- Prezerakos N.G., Michaelides S.C. and Vlassi A.S. 1990. Atmospheric synoptic conditions associated with the initiation of north-west African depressions. *International Journal of Climatology* 10: 711-729.
- Putniković S. and Tošić I. 2018. Relationship between atmospheric circulation weather types and seasonal precipitation in Serbia. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 130: 393-403.

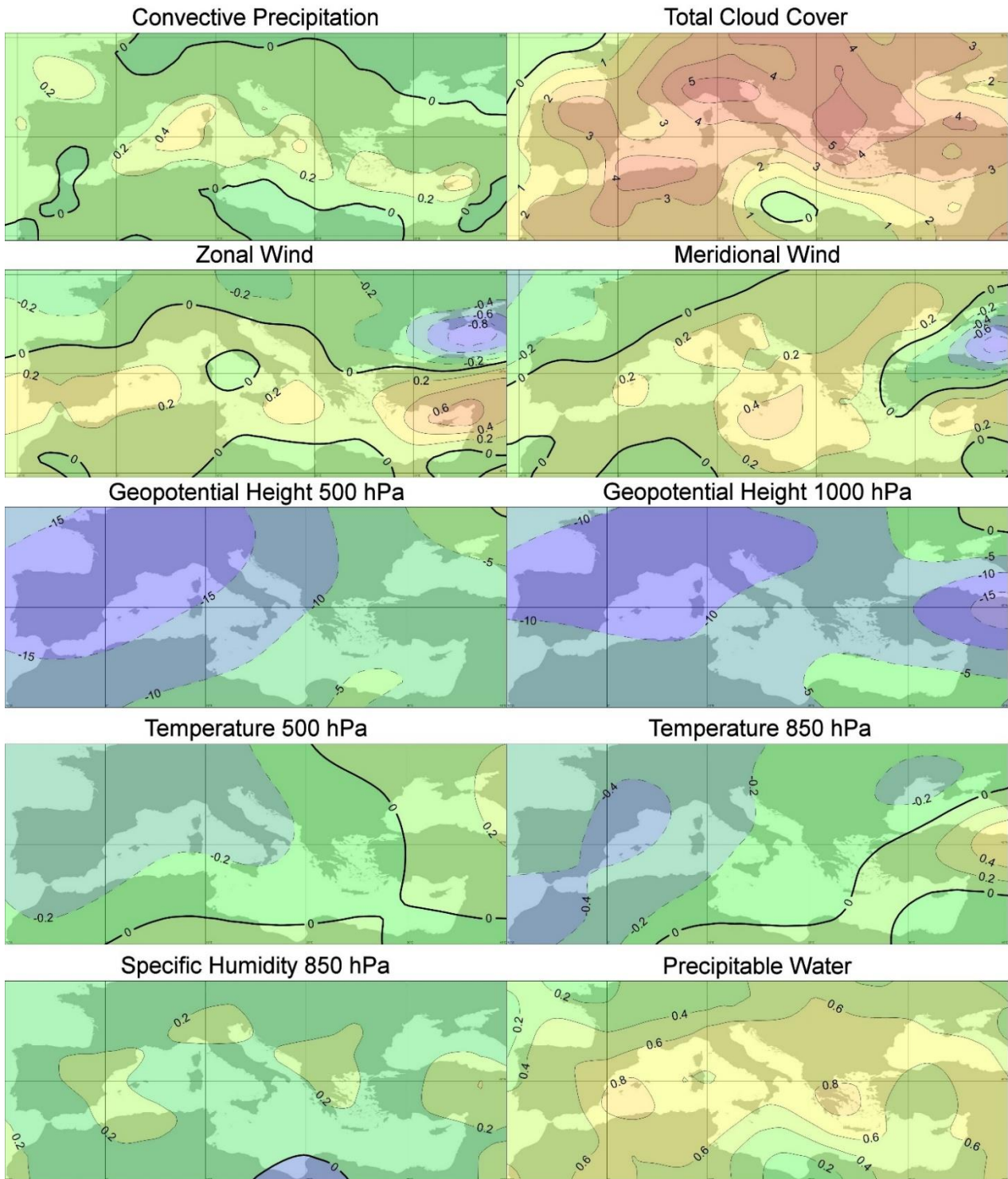
- Raible C.C. 2007. On the relation between extremes of midlatitude cyclones and the atmospheric circulation using ERA40. *Geophysical Research Letters*, 34(7): L07703.
- Raible C.C., Della-Marta P., Schwierz C., Wernli H. and Blender R. 2008. Northern Hemisphere extratropical cyclones: a comparison of detection and tracking methods and different reanalyses. *Monthly Weather Review*, 136: 880-897.
- Ramos A.M., Cortesi N. and Trigo R.M. 2014. Circulation weather types and spatial variability of daily precipitation in the Iberian Peninsula. *Frontiers in Earth Science*, 2: 25.
- Reale M. and Lionello P. 2013. Synoptic climatology of winter intense precipitation events along the Mediterranean coasts. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13: 1707-1722.
- Reiser H. and Kutiel H. 2008. Rainfall Uncertainty in the Mediterranean: Definition of the Rainy Season a Methodological Approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 94(1-2): 35-49.
- Richman M. B. 1986. Rotation of Principal Components. *International Journal of Climatology*, 6(3): 293-335.
- San-Miguel-Ayanz J., Manuel Moreno J., and Camia A. 2013. Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: Lessons learned and perspectives. *Forest Ecology and Management*, 294:11-22.
- Sharma S. 1995. Applied Multivariate Techniques. *John Wiley & Sons*, New York, ISBN:978-0471310648, 512 pp.
- Sheridan S.C. 2002. The redevelopment of a weather-type classification scheme for North America. *International Journal of Climatology*, 22(1): 51-68.
- Sheridan S.C. 2003. North American weather-type frequency and teleconnection indices. *International Journal of Climatology*, 23(1): 27-45.
- Simmonds I. and Keay K. 2000. Mean Southern Hemisphere Extratropical Cyclone Behavior in the 40-Year NCEP–NCAR Reanalysis. *Journal of Climate*, 13(5): 873-885.
- Sinclair M.R. 1997. Objective identification of cyclones and their circulation, intensity and climatology. *Weather Forecast*, 12: 591-608.
- Sousa P.M., Trigo R.M., Barriopedro D., Soares P.M.M. and Santos J.A. 2018. European Temperature Responses to Blocking and Ridge Regional Patterns. *Climate Dynamics*, 50(1-2): 457-477.
- Sparks T.H. and Menzel A. 2002. Observed Changes in Seasons: an Overview. *International Journal of Climatology*, 22(14): 1715-1725.
- Sugar C.A. and James G.M. 2003. Finding the Number of Clusters in a Dataset. *Journal of the American Statistical Association*, 98(463): 750-763.

- Thorncroft C. and Flocas H. 1997. A Case Study of Saharan Cyclogenesis. *Monthly Weather Review*, 125: 1147-1165.
- Trenberth K.E. 1983. What Are the Seasons?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64(11): 1276-1282.
- Trigo I.F., Davies T.D. and Bigg G.R. 1999. Objective Climatology of Cyclones in the Mediterranean Region. *Journal of Climate*, 12(6): 1685-1696.
- Trigo I.F., Bigg G.R. and Davies T.D. 2002. Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean. *Monthly Weather Review*, 130: 549-569.
- Trigo I.F. 2006. Climatology of interannual variability of storm-tracks in the Euro-Atlantic sector: a comparison between ERA-40 and NCEP/NCAR reanalyses. *Climate Dynamics*, 26: 127-143.
- Tyrlis E. and Lelieveld J. 2013. Climatology and Dynamics of the Summer Etesian Winds over the Eastern Mediterranean. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 70(11): 3374-3396.
- Wang X.L., Swail V.R. and Zwiers F.W. 2006. Climatology and Changes of Extratropical Cyclone Activity: Comparison of ERA-40 with NCEP-NCAR Reanalysis for 1958-2001. *Journal of Climate*, 19(13): 3145-3166.
- Wernli H. and Schwierz C. 2006. Surface cyclones in the ERA-40 data set (1958-2001). Part I: novel identification method and global climatology. *Journal of Atmospheric Sciences*, 63: 2486-2507.
- Xavier P.K., Marzin C. and Goswami B.N. 2007. An Objective Definition of the Indian Summer Monsoon Season and a New Perspective on the ENSOMonsoon Relationship. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 133(624): 749-764.
- Xoplaki E., Gonzalez-Rouco J.F., Luterbacher J. and Wanner H. 2004. Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. *Climate Dynamics*, 23(1): 63-78.
- Zander R., Messina A., Godek M. 2013. An Air Mass Based Approach to the Establishment of Spring Season Synoptic Characteristics in the Northeast United States. *Atmospheric and Climate Sciences*, 3(3): 408-419.
- Zhang Y., Sperber K.R. and Boyle J.S. 1997. Climatology and Interannual Variation of the East Asian Winter Monsoon: Results from the 1979–95 NCEP/NCAR Reanalysis. *Monthly Weather Review*, 125(10): 2605-2619.

Παράρτημα 1

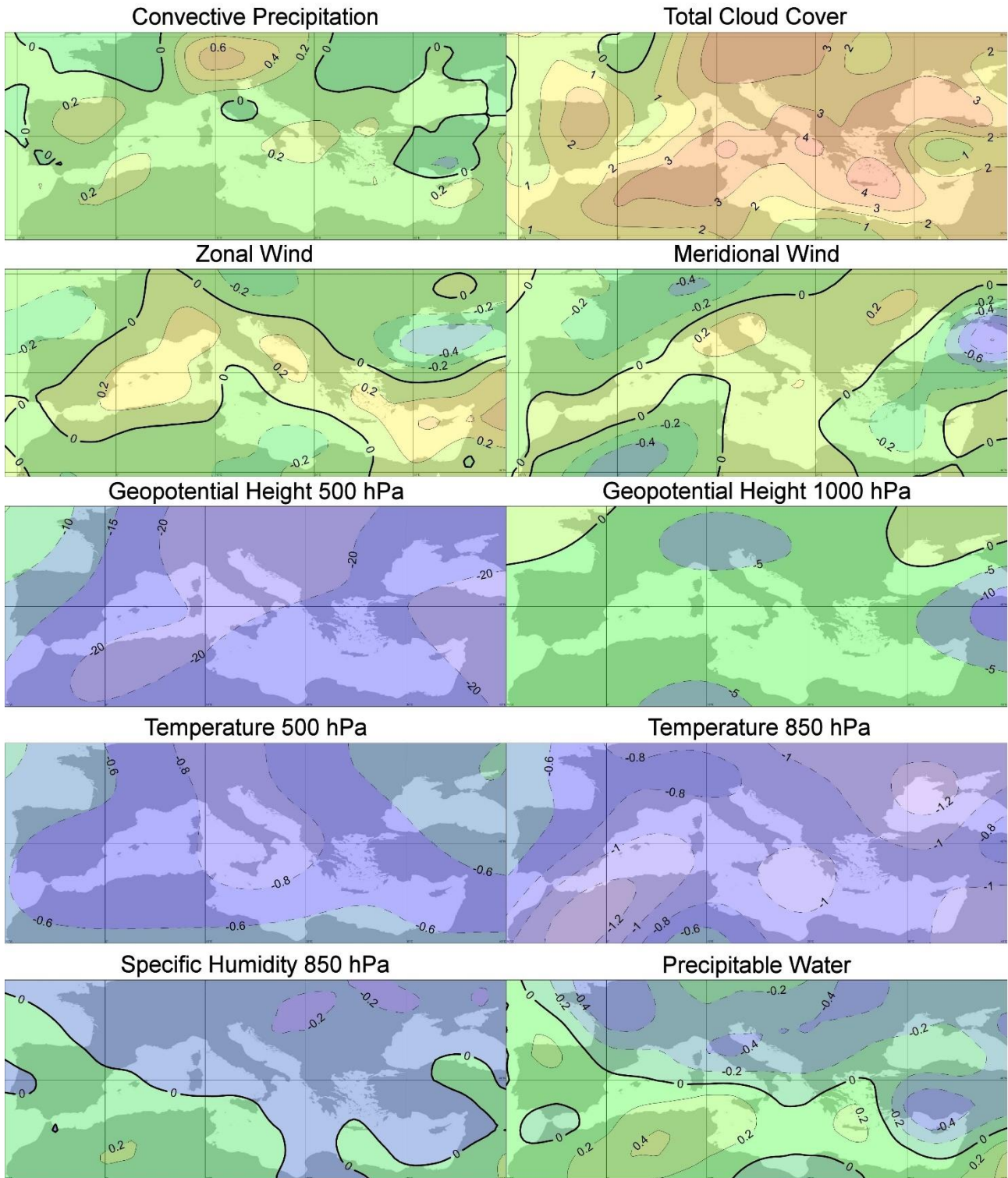
Στο Κεφάλαιο 3 της διατριβής, όπου εφαρμόζεται η μέθοδος MVV για τον ορισμό των εποχών, παρουσιάζονται οι μέσοι χάρτες των αποχών της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) και του ρυθμού νετού (mm/ημέρα) για κάθε εποχή και για κάθε μία από τις 30ετούς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018. Στο παρόν παράρτημα παρουσιάζονται οι μέσοι χάρτες των αποχών των υπολοίπων μετεωρολογικών παραμέτρων, δηλαδή του ανωμεταφορικού νετού (mm/day), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου (m/sec) στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa ($^{\circ}\text{C}$), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m^2), για κάθε 30ετή υποπερίοδο και για κάθε εποχή, όπως αυτές ορίστηκαν με τη μέθοδο MVV.

1949-1978 : Winter



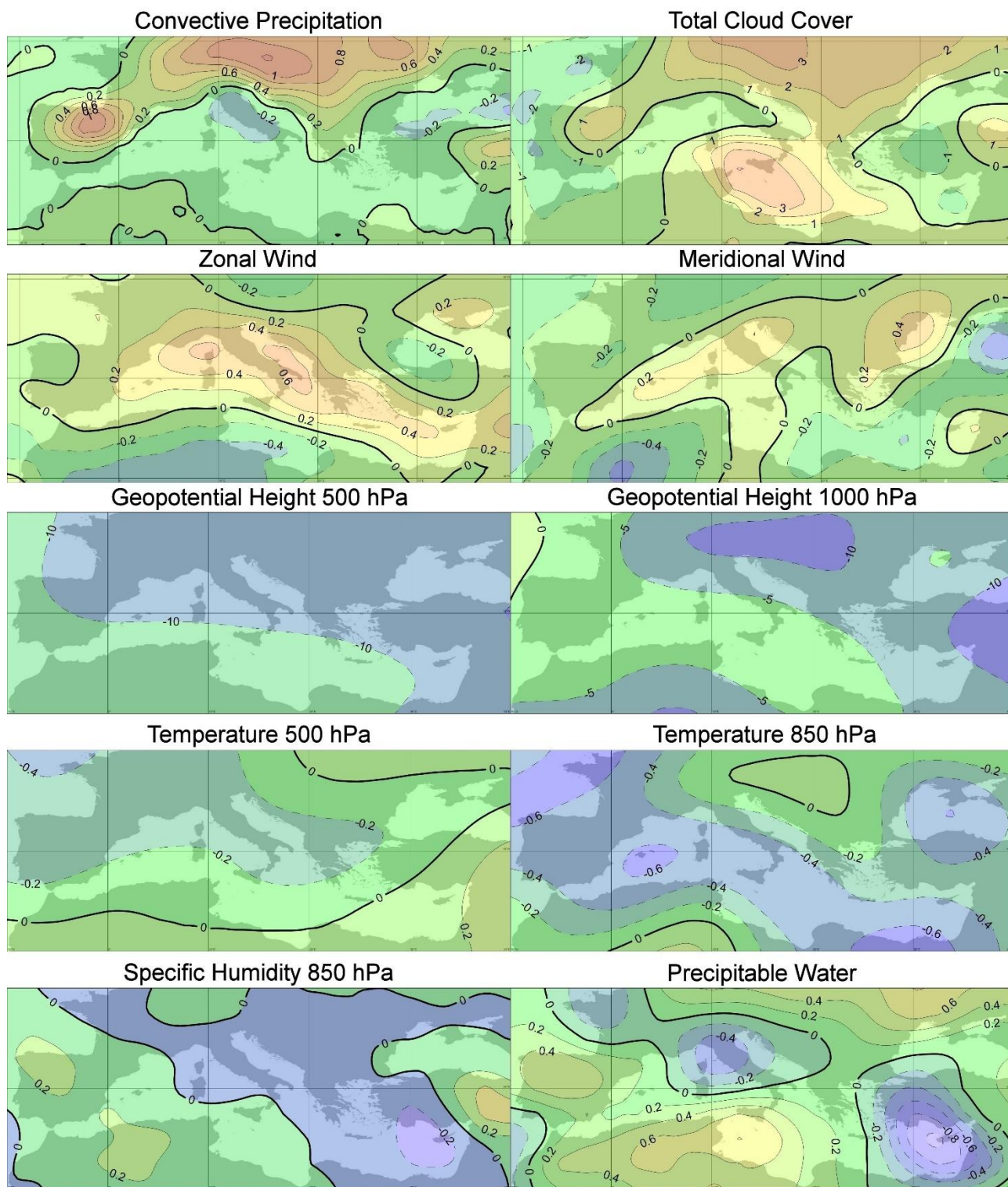
Σχήμα Π 1. Οι μέσοι χάρτες των αποχών του ανωμεταφορικού υετού (mm/day), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου (m/sec) στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa (°C), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m²), για την περίοδο 1949-1978 και για την εποχή του χειμώνα όπως ορίστηκε με τη μέθοδο MVV.

1949-1978 : Spring



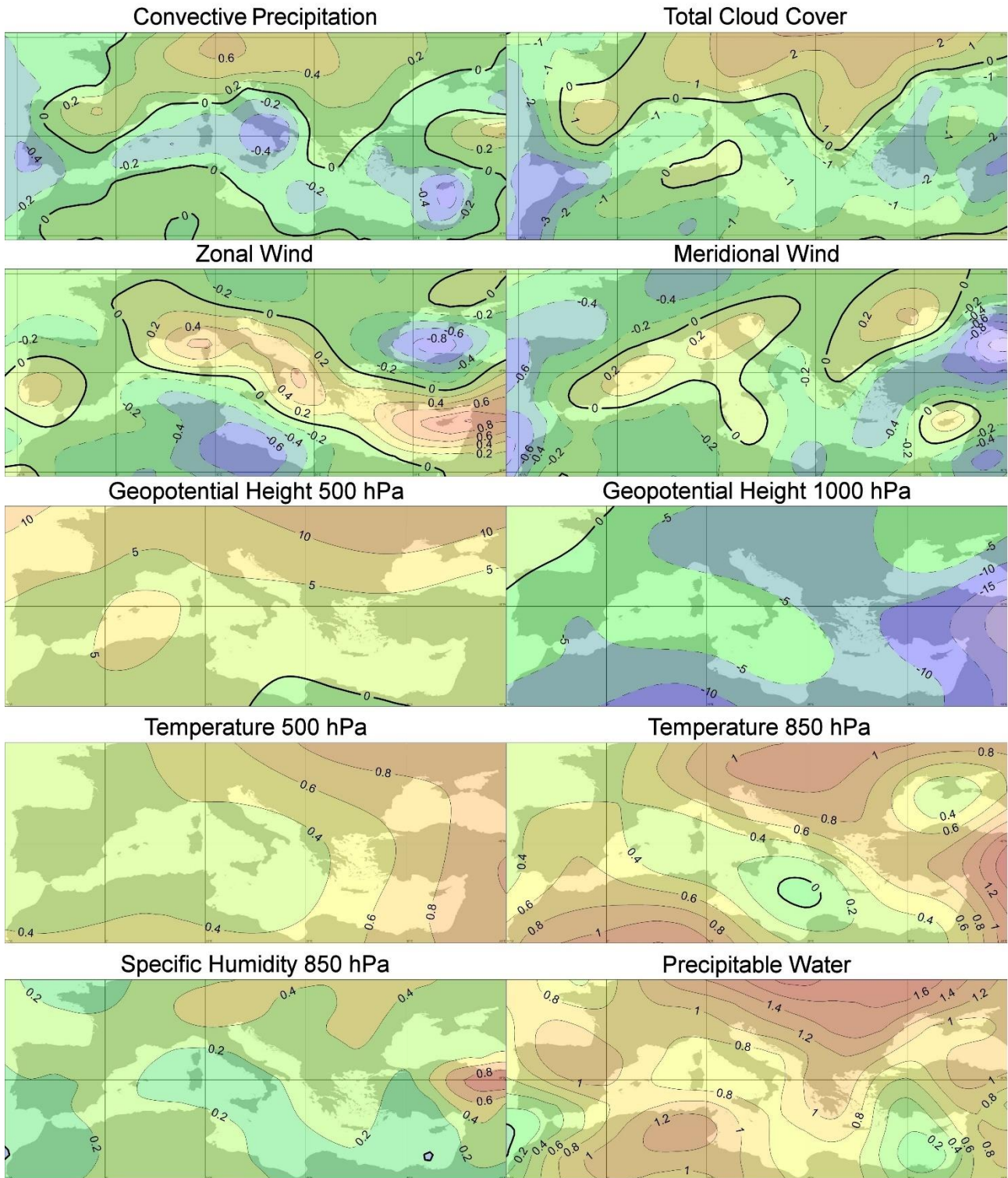
Σχήμα Π 2. Όπως στο σχήμα Π 1, αλλά για την εποχή της άνοιξης.

1949-1978 : Summer



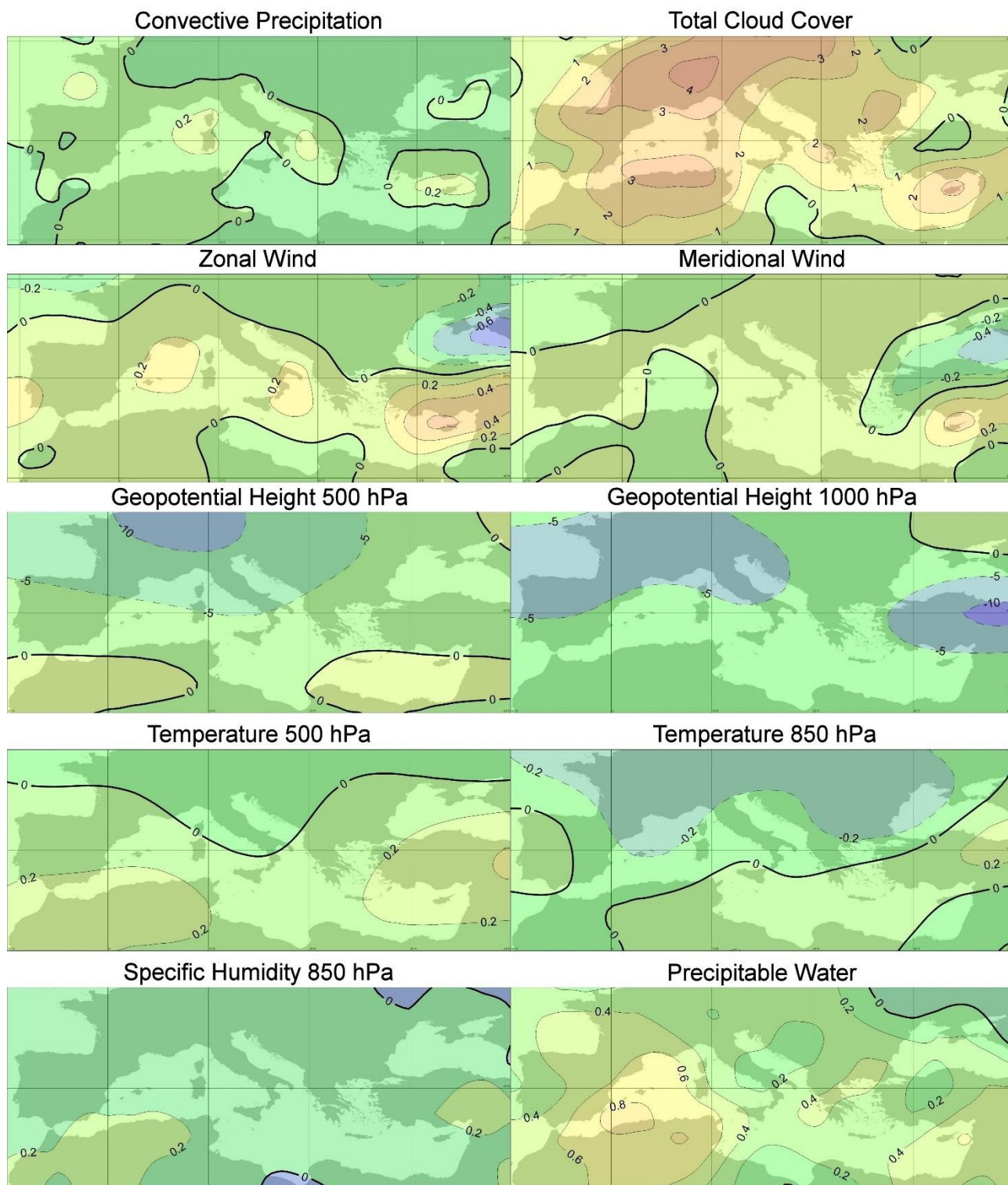
Σχήμα Π 3. Όπως στο σχήμα Π 1, αλλά για την εποχή του θέρους.

1949-1978 : Autumn



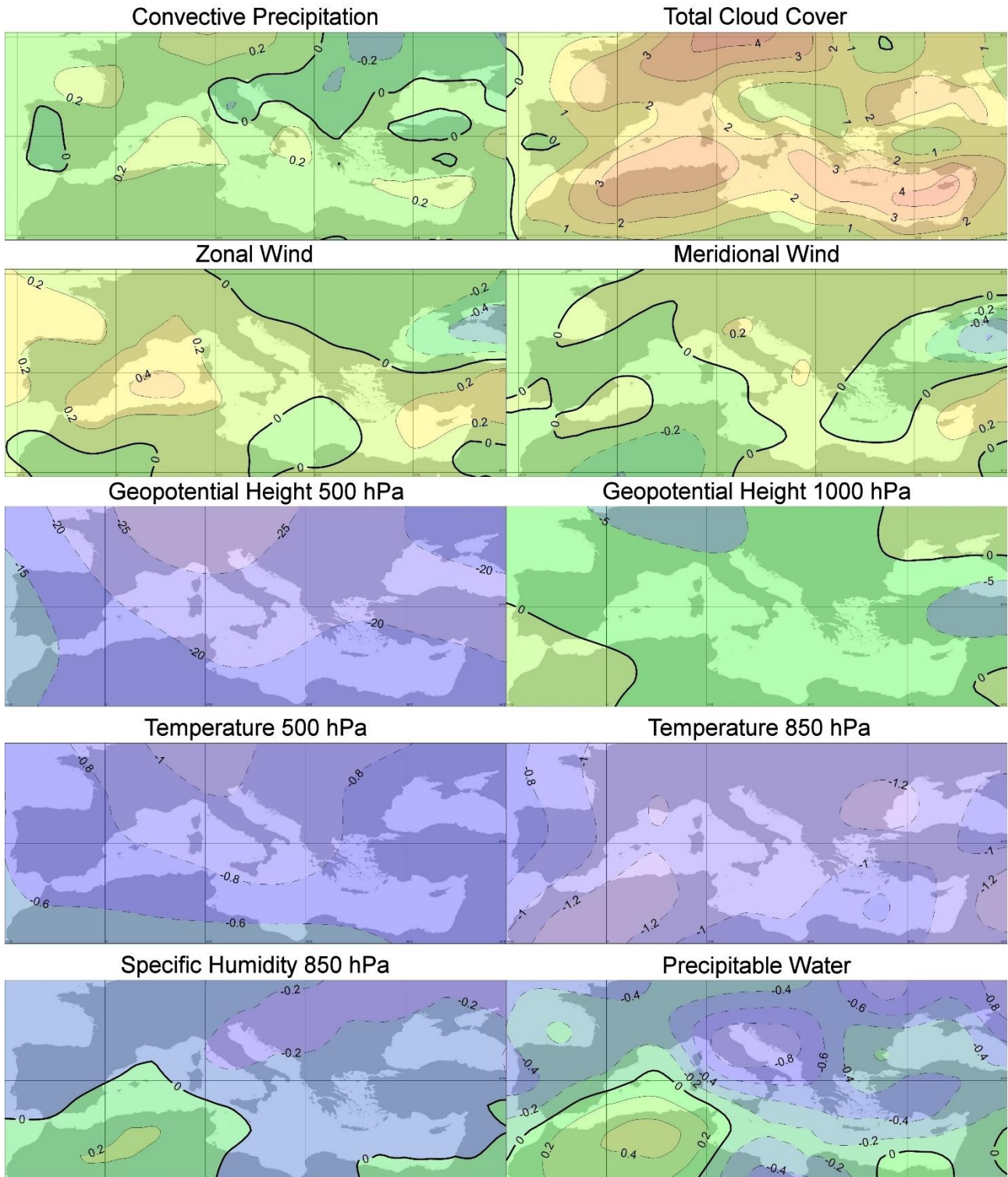
Σχήμα Π 4. Όπως στο σχήμα Π 1, αλλά για την εποχή του φθινοπώρου.

1959-1988 : Winter



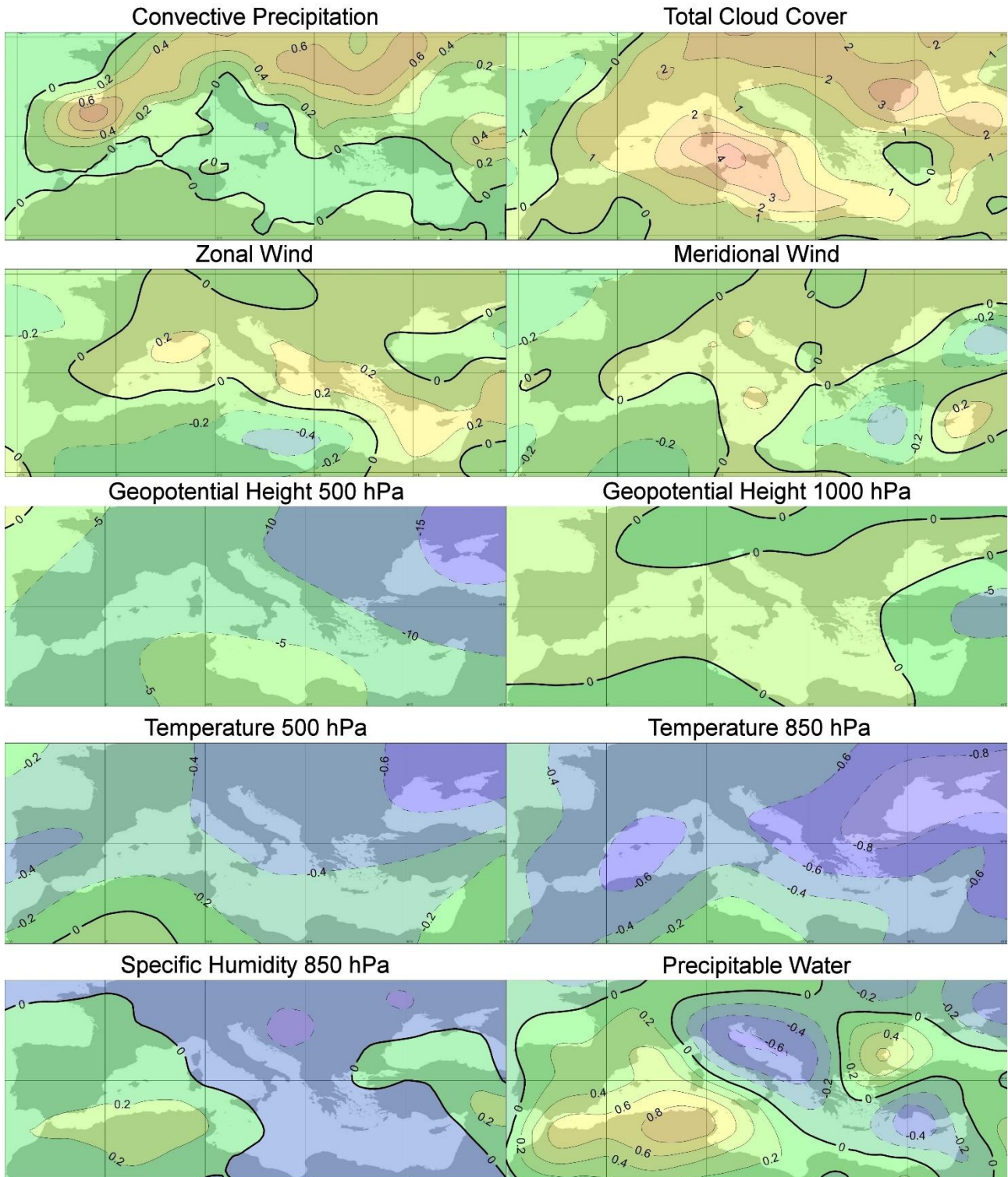
Σχήμα Π 5. Οι μέσοι χάρτες των αποχών του ανωμεταφορικού υετού (mm/day), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου (m/sec) στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa (°C), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m²), για την περίοδο 1959-1988 και για την εποχή του χειμώνα όπως ορίστηκε με τη μέθοδο MVV.

1959-1988 : Spring



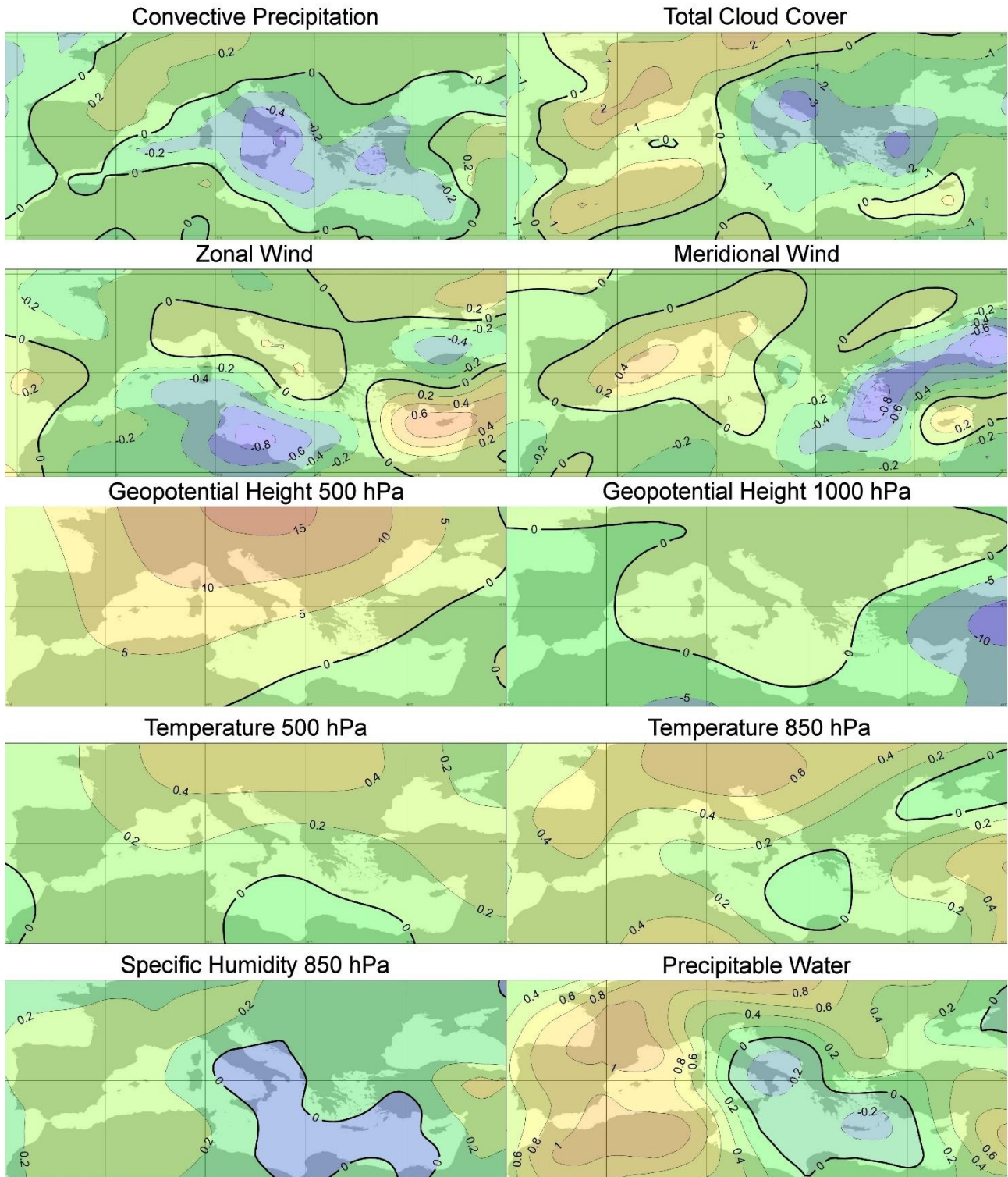
Σχήμα Π 6. Όπως στο σχήμα Π 5, αλλά για την εποχή της άνοιξης.

1959-1988 : Summer



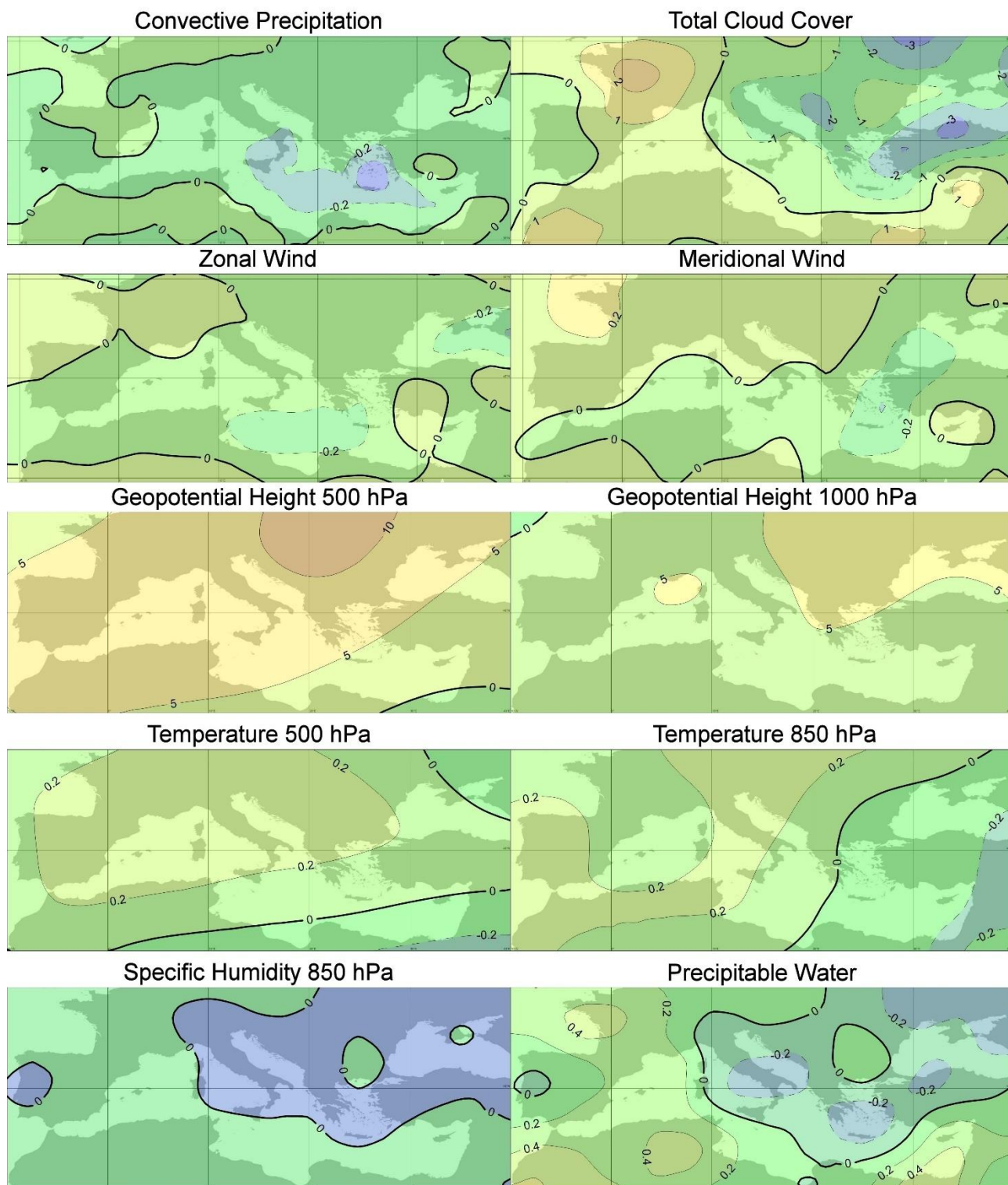
Σχήμα Π 7. Όπως στο σχήμα Π 5, αλλά για την εποχή του θέρους.

1959-1988 : Autumn



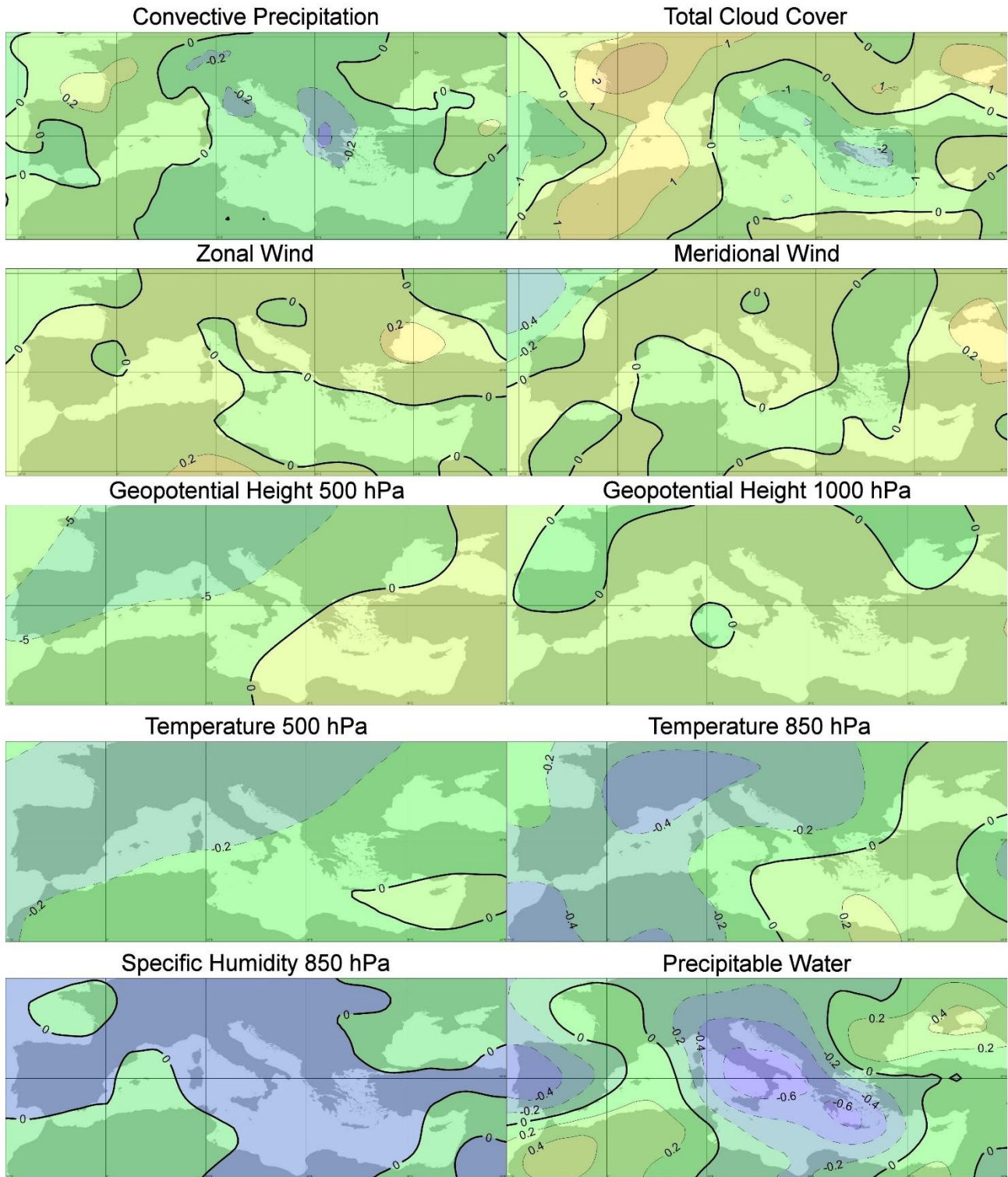
Σχήμα Π 8. Όπως στο σχήμα Π 5, αλλά για την εποχή του φθινοπώρου.

1969-1998 : Winter



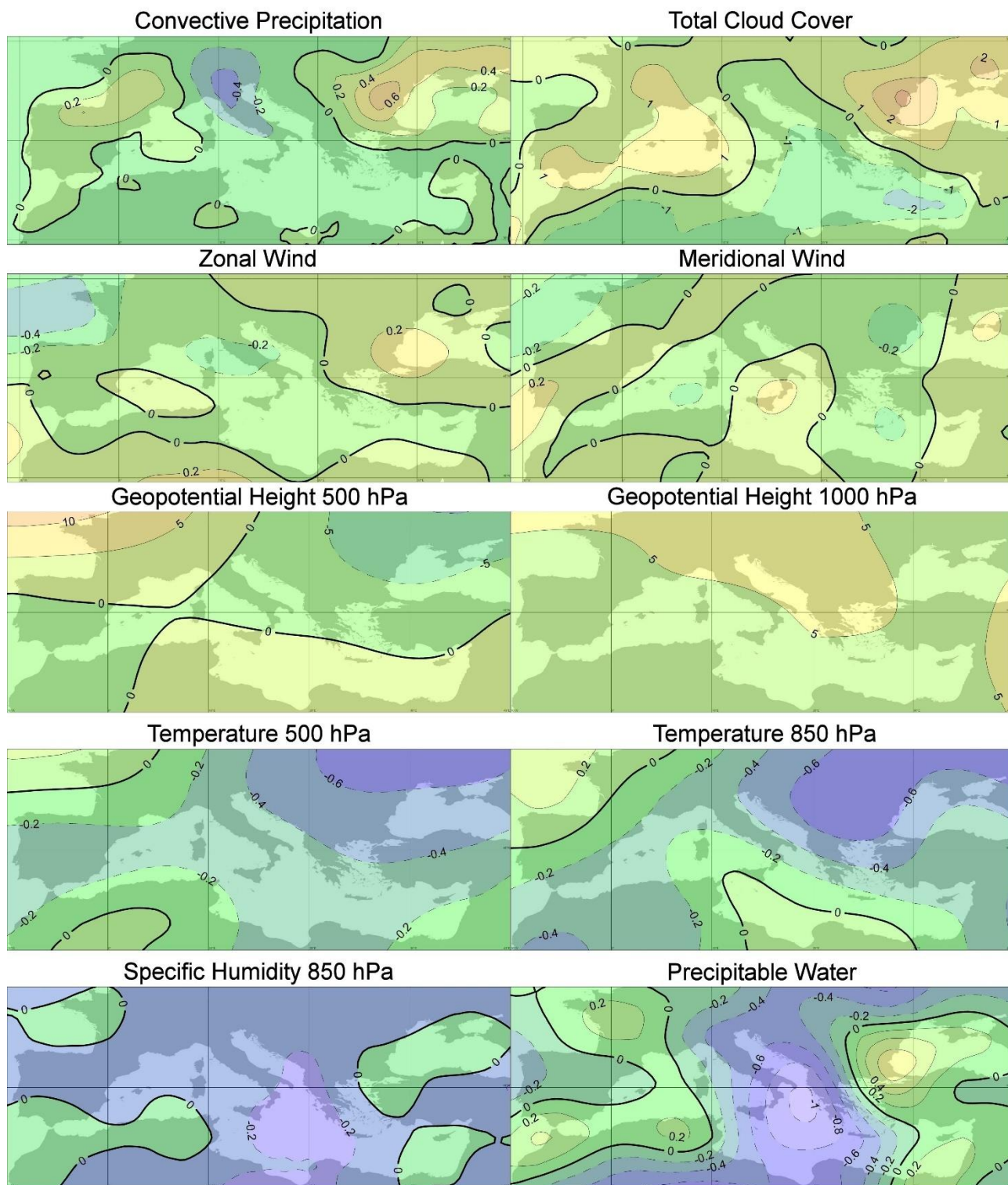
Σχήμα Π 9. Οι μέσοι χάρτες των αποχών του ανωμεταφορικού υετού (mm/day), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου (m/sec) στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa (°C), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m²), για την περίοδο 1969-1998 και για την εποχή του χειμώνα όπως ορίστηκε με τη μέθοδο MVV.

1969-1998 : Spring



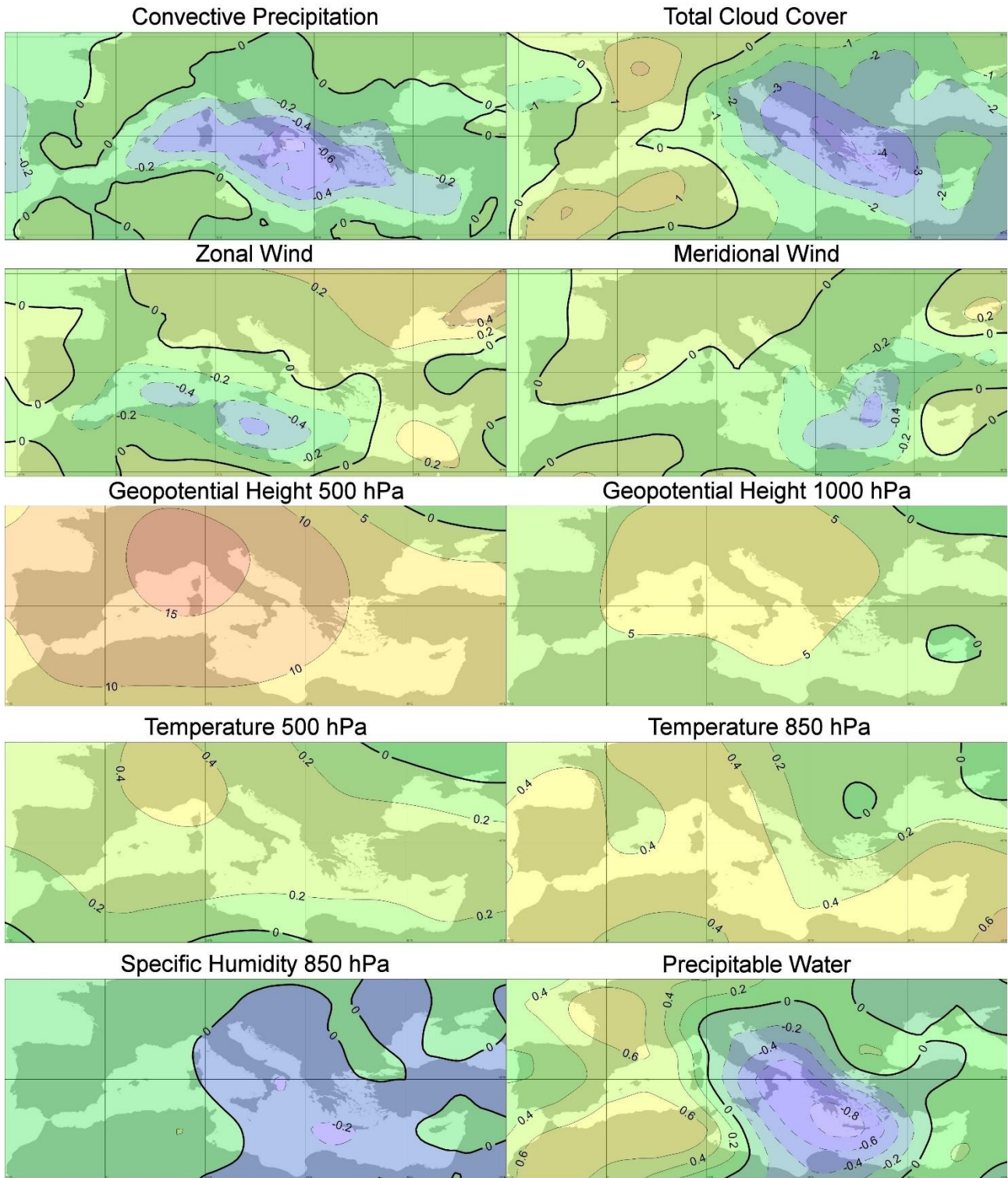
Σχήμα Π 10. Όπως στο σχήμα Π 9, αλλά για την εποχή της άνοιξης.

1969-1998 : Summer



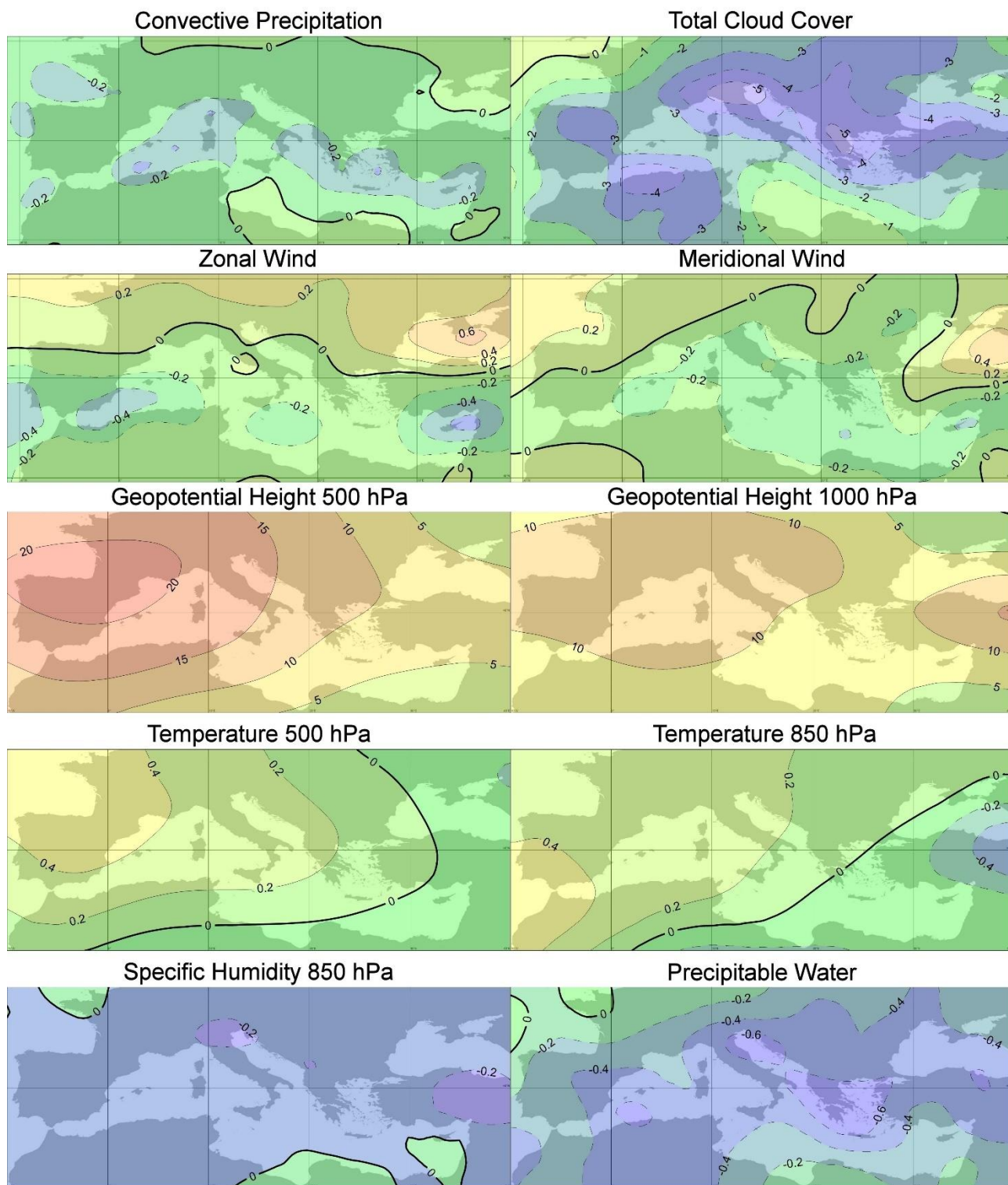
Σχήμα Π 11. Όπως στο σχήμα Π 9, αλλά για την εποχή του θέρους.

1969-1998 : Autumn



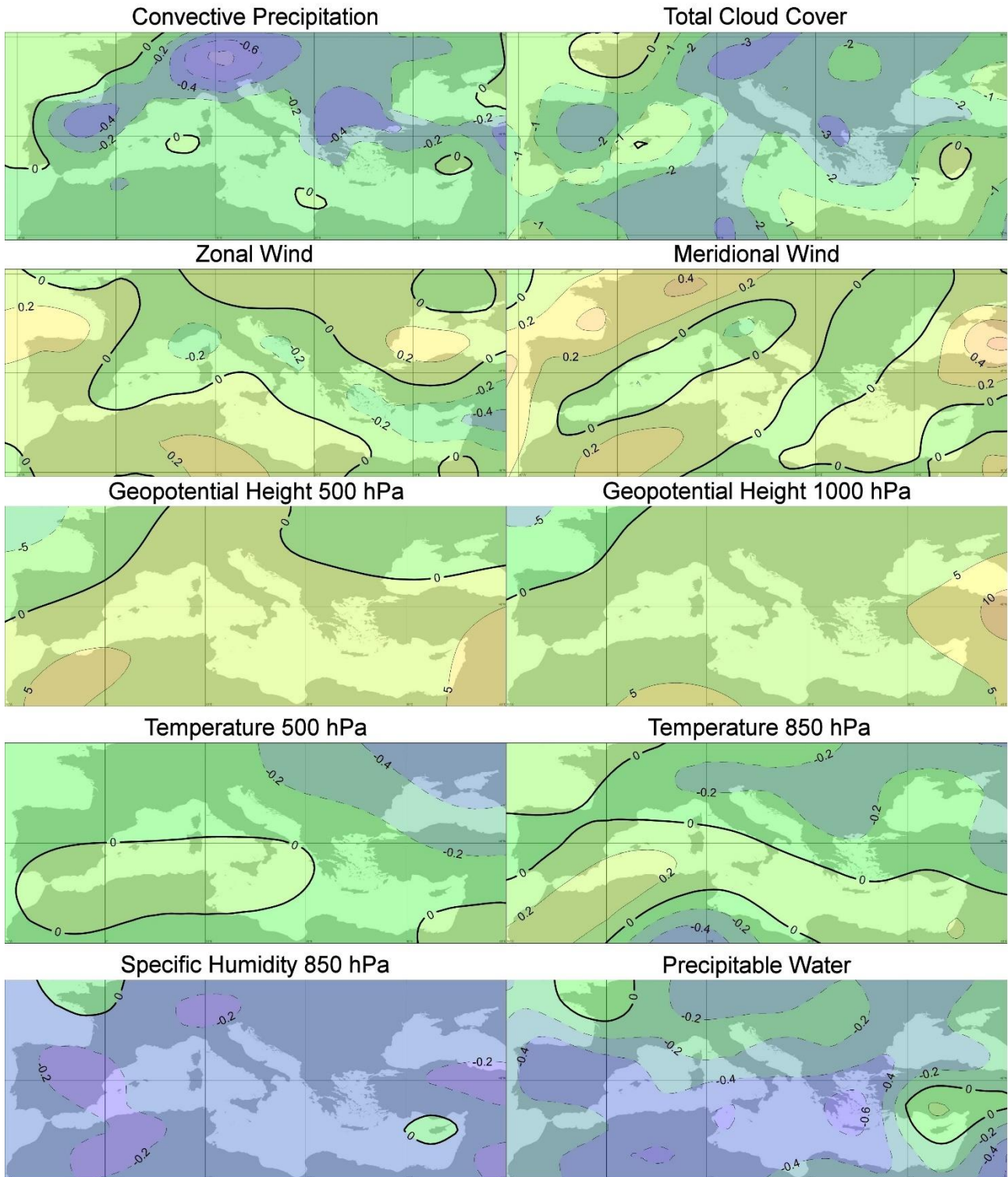
Σχήμα Π 12. Όπως στο σχήμα Π 9, αλλά για την εποχή του φθινοπώρου.

1979-2008 : Winter



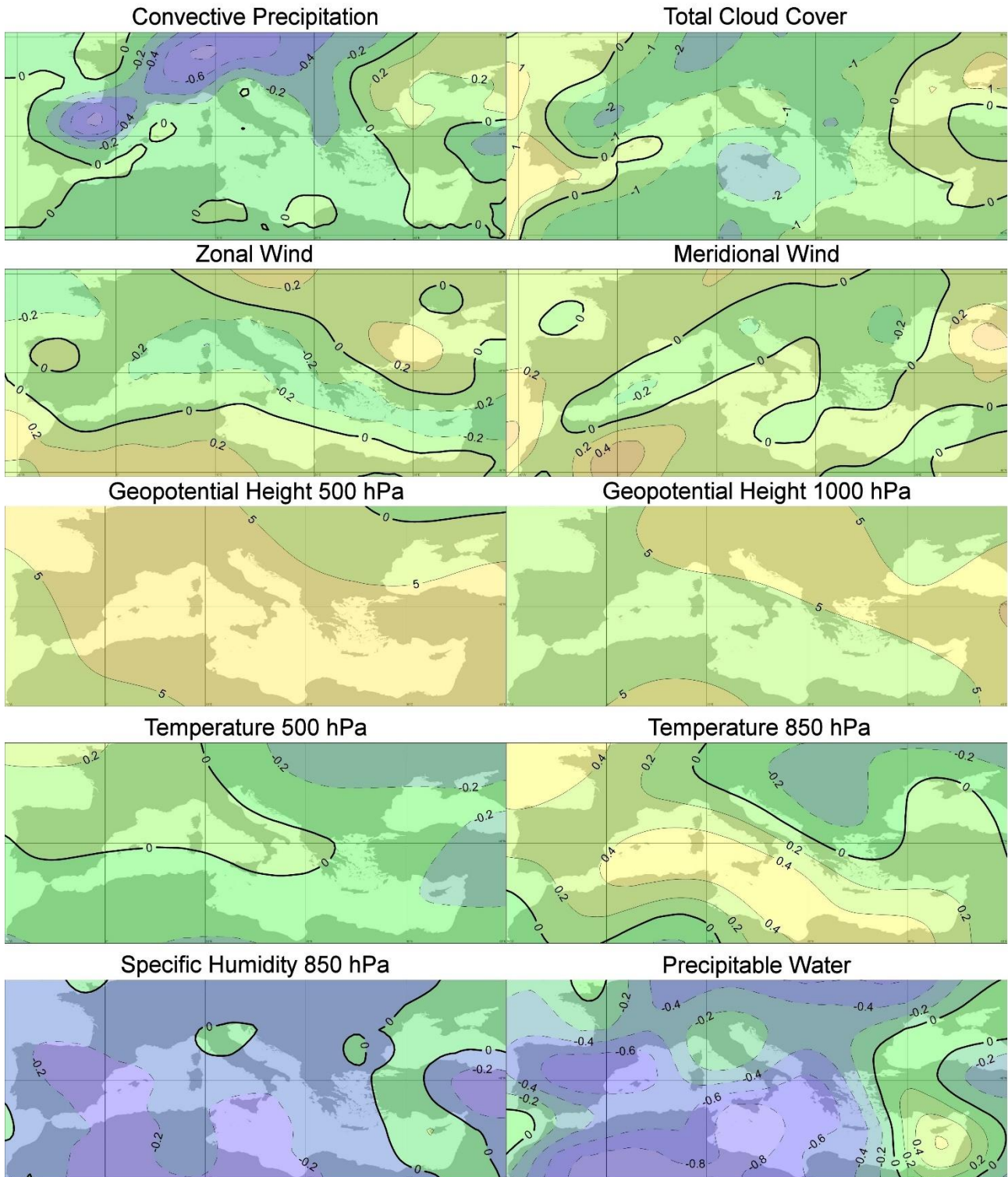
Σχήμα Π 13. Οι μέσοι χάρτες των αποχών του ανωμεταφορικού νετού (mm/day), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου (m/sec) στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa (°C), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m²), για την περίοδο 1979-2008 και για την εποχή του χειμώνα όπως ορίστηκε με τη μέθοδο MVV.

1979-2008 : Spring



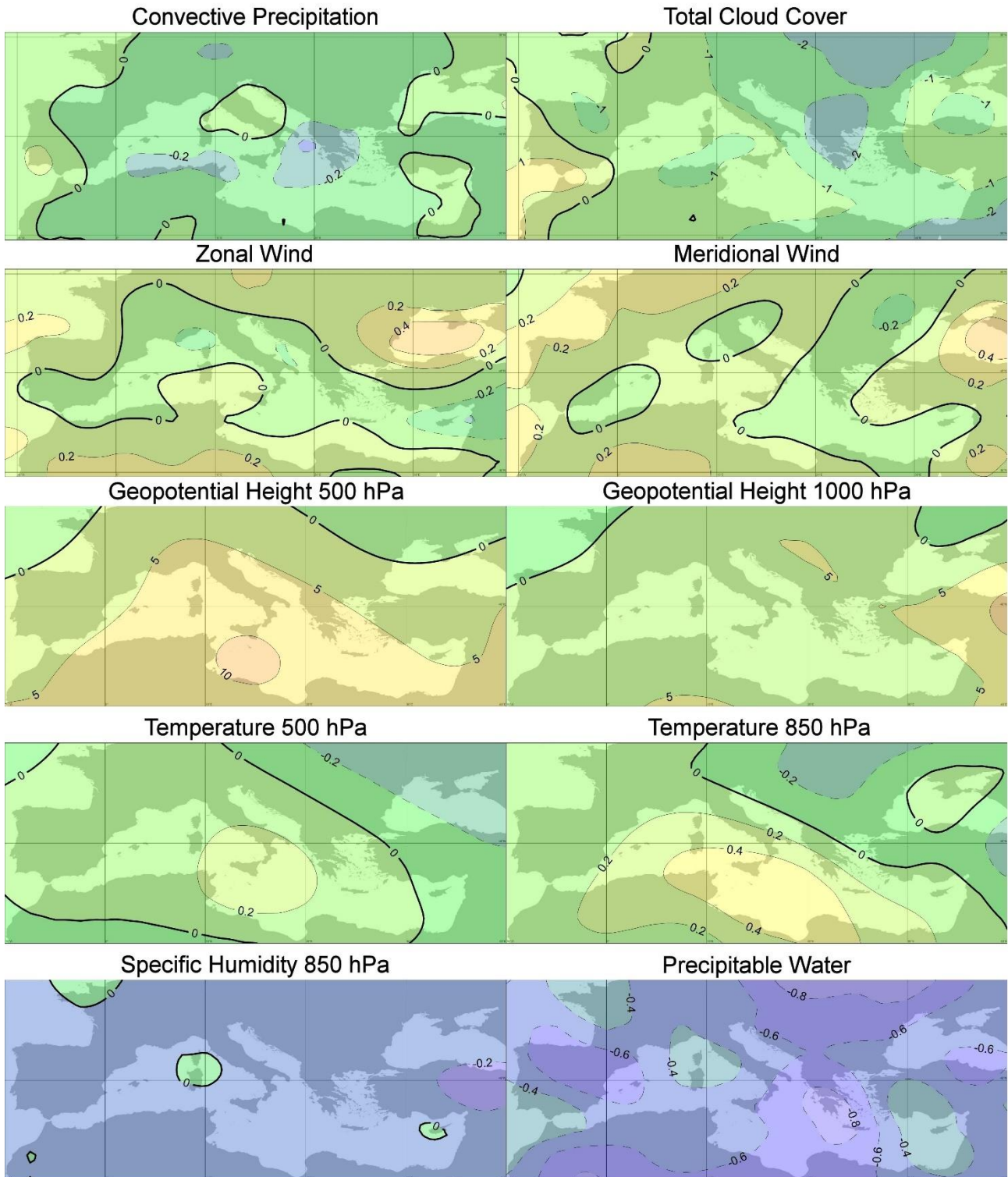
Σχήμα Π 14. Όπως στο σχήμα Π 13, αλλά για την εποχή της άνοιξης.

1979-2008 : Summer



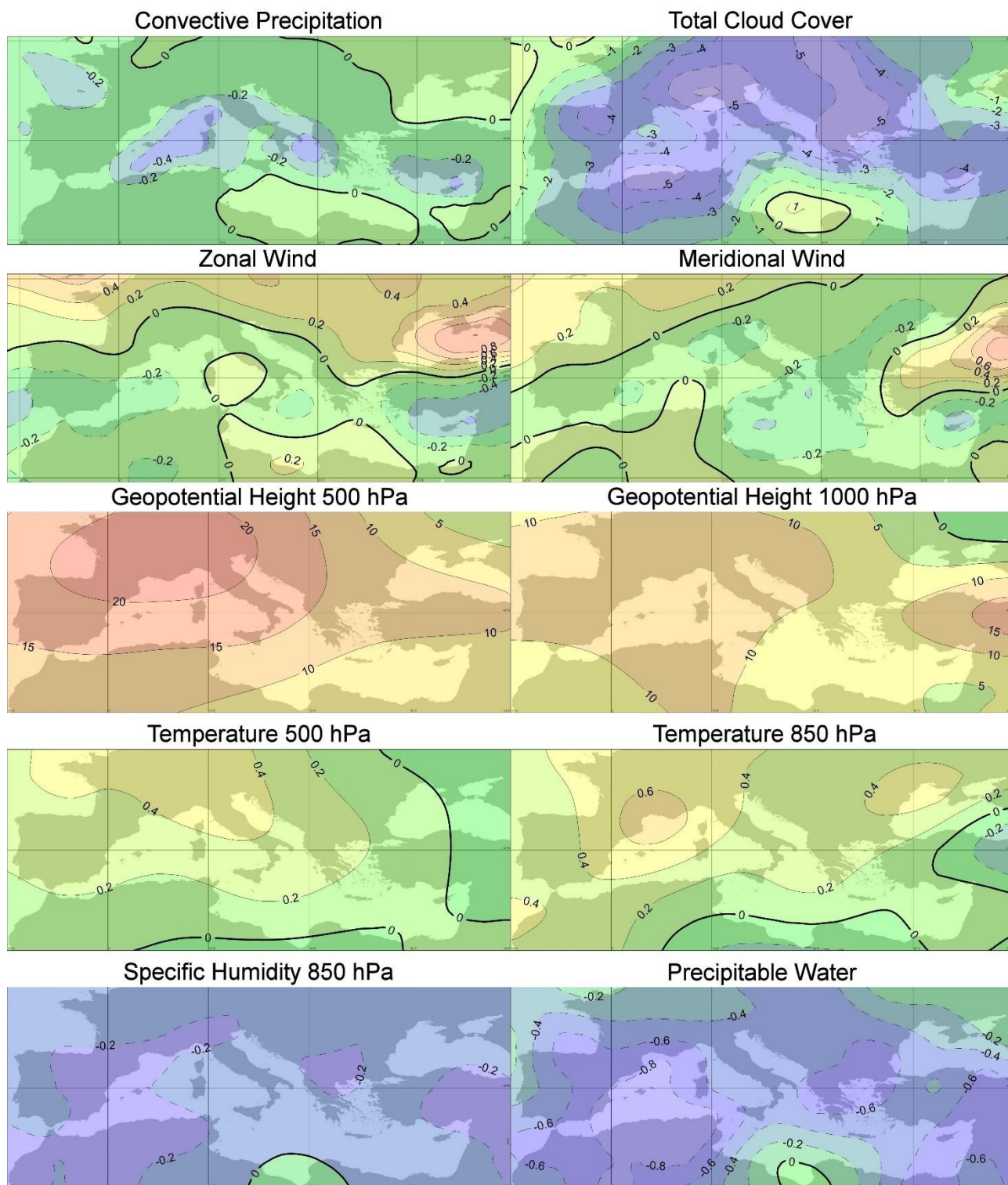
Σχήμα Π 15. Όπως στο σχήμα Π 13, αλλά για την εποχή του θέρους.

1979-2008 : Autumn



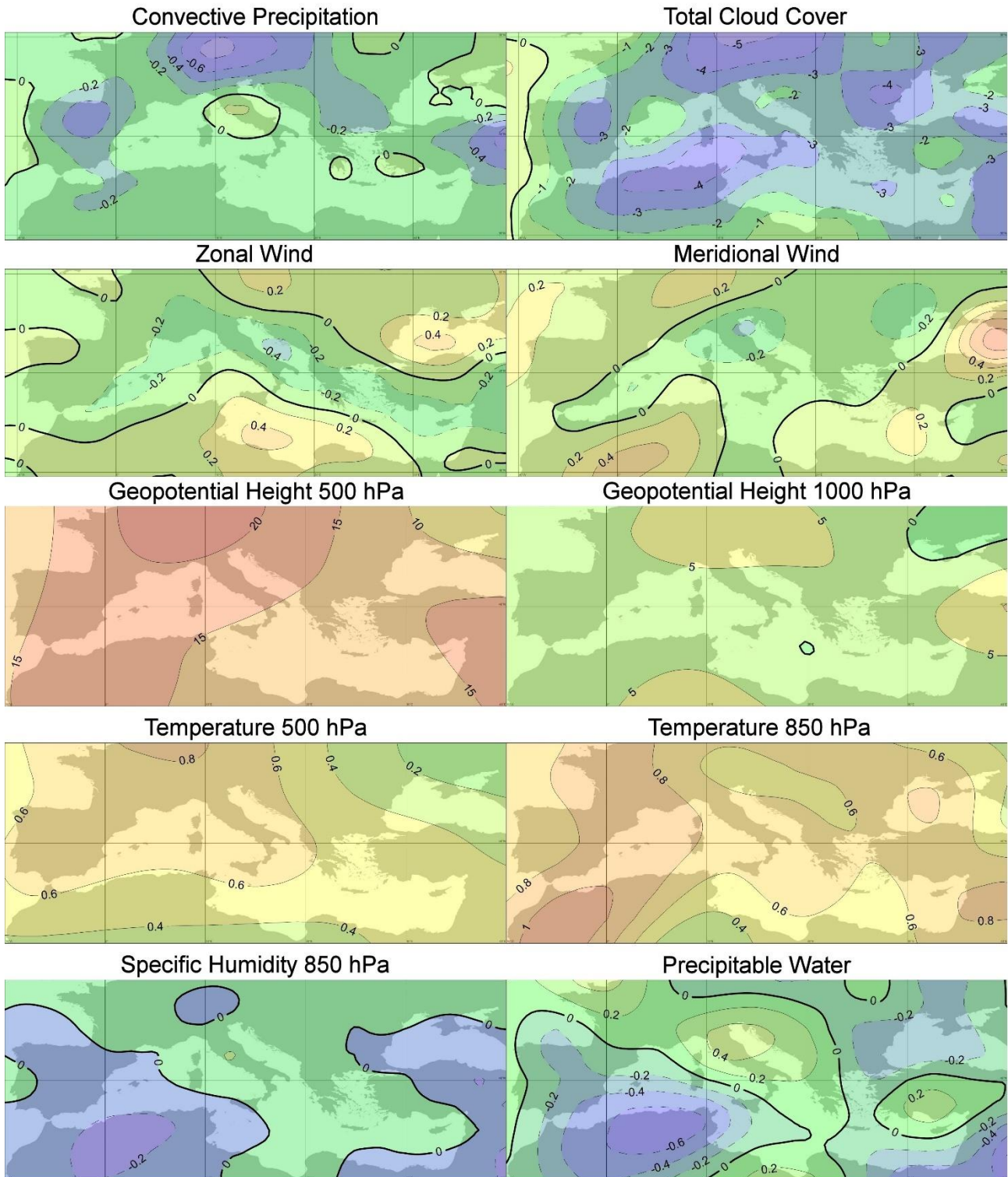
Σχήμα Π 16. Όπως στο σχήμα Π 13, αλλά για την εποχή του φθινοπώρου.

1989-2018 : Winter



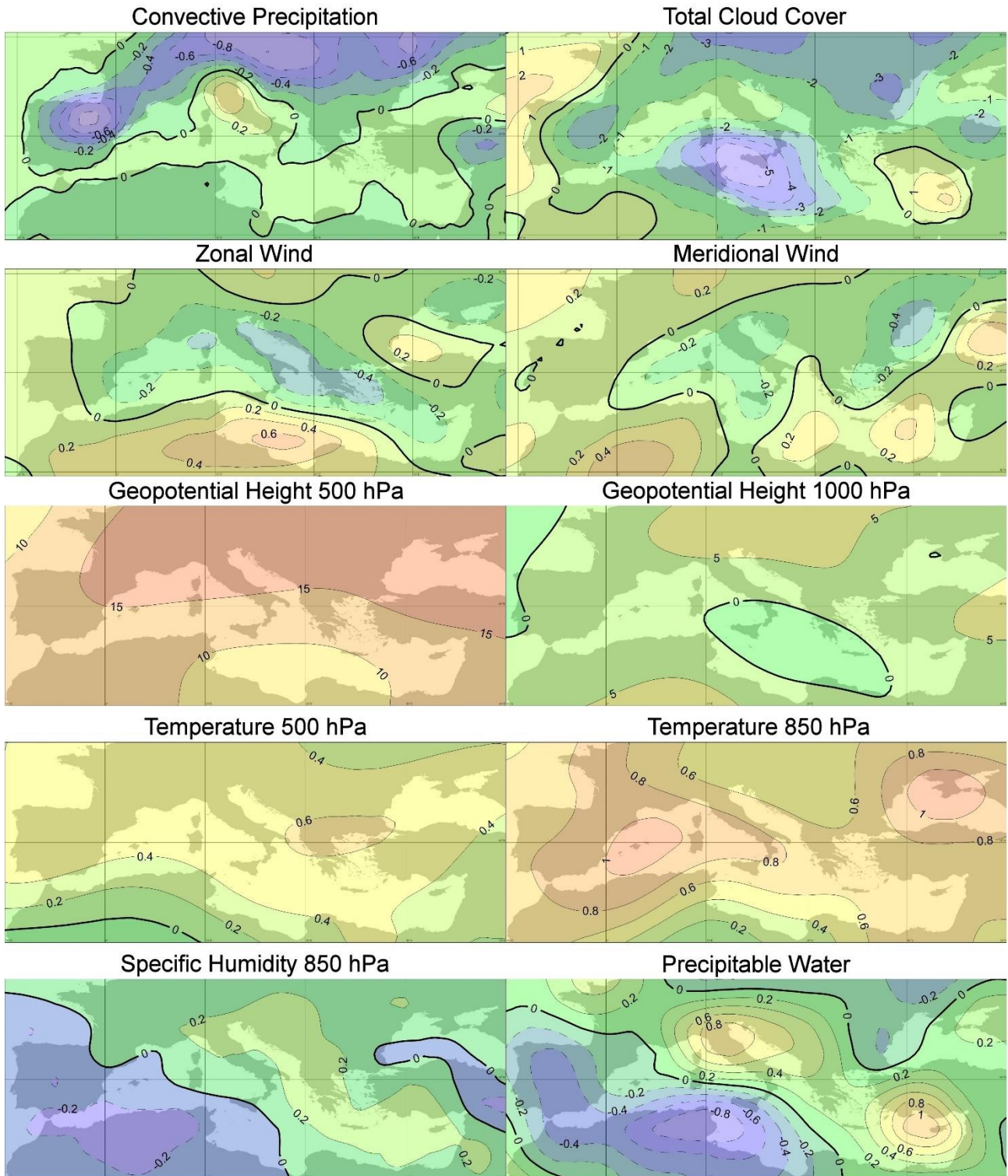
Σχήμα Π 17. Οι μέσοι χάρτες των αποχών του ανωμεταφορικού νετού (mm/day), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου (m/sec) στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa (°C), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m²), για την περίοδο 1989-2018 και για την εποχή του χειμώνα όπως ορίστηκε με τη μέθοδο MVV.

1989-2018 : Spring



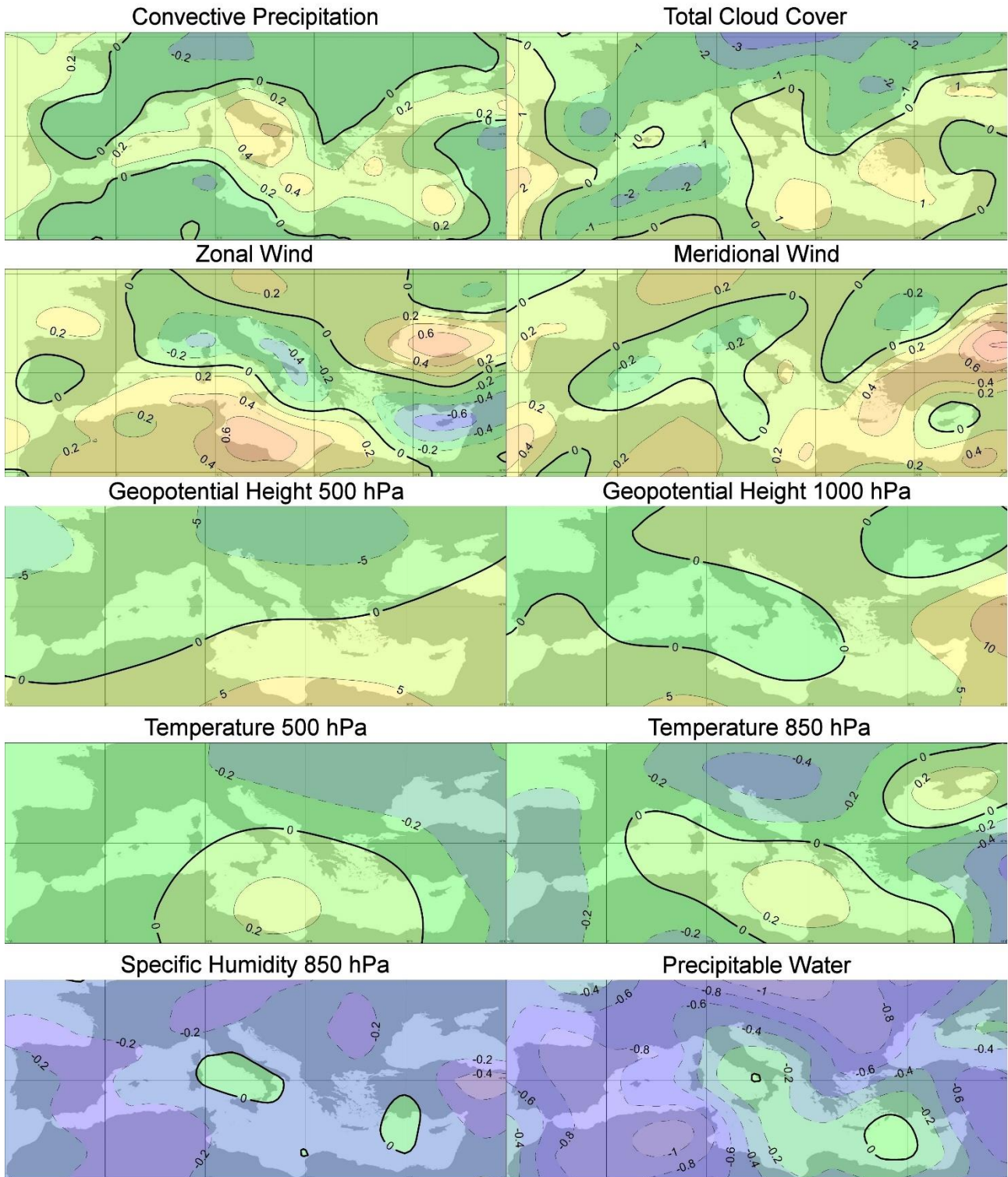
Σχήμα Π 18. Όπως στο σχήμα Π 17, αλλά για την εποχή της άνοιξης.

1989-2018 : Summer



Σχήμα Π 19. Όπως στο σχήμα Π 17, αλλά για την εποχή του θέρους.

1989-2018 : Autumn

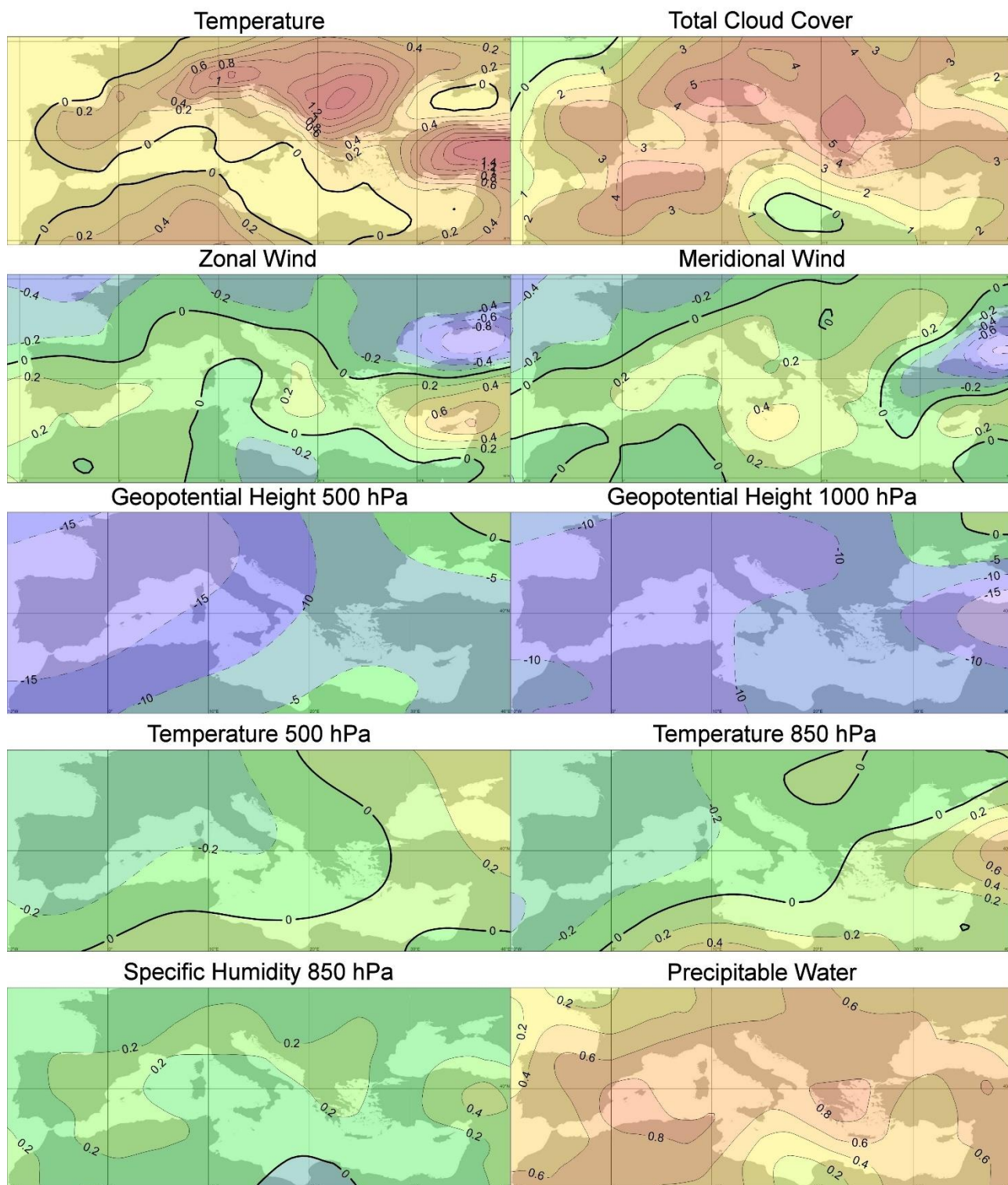


Σχήμα Π 20. Όπως στο σχήμα Π 17, αλλά για την εποχή του φθινοπώρου.

Παράρτημα 2

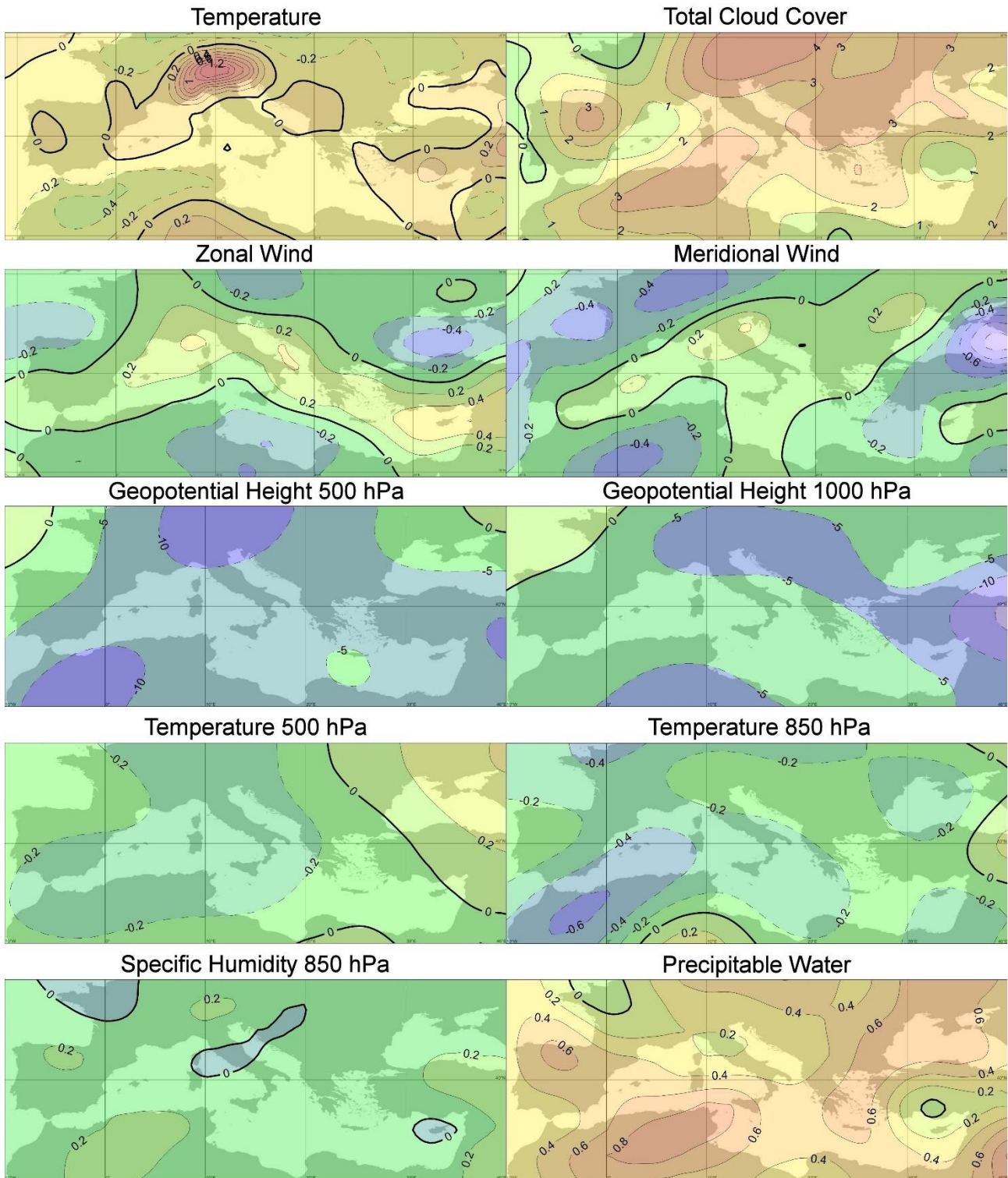
Στο Παράρτημα 2 παρουσιάζονται οι μέσοι χάρτες των αποχών των μετεωρολογικών παραμέτρων της θερμοκρασίας στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης ($^{\circ}\text{C}$), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης (m/sec), του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa ($^{\circ}\text{C}$), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του υετίσιμου ύδατος (kg/m^2), για κάθε μία από τις 30ετούς υποπεριόδους 1949-1978, 1959-1988, 1969-1998, 1979-2008 και 1989-2018, και για κάθε εποχή, όπως αυτές ορίστηκαν με τη μέθοδο WTF.

1949-1978 : Winter



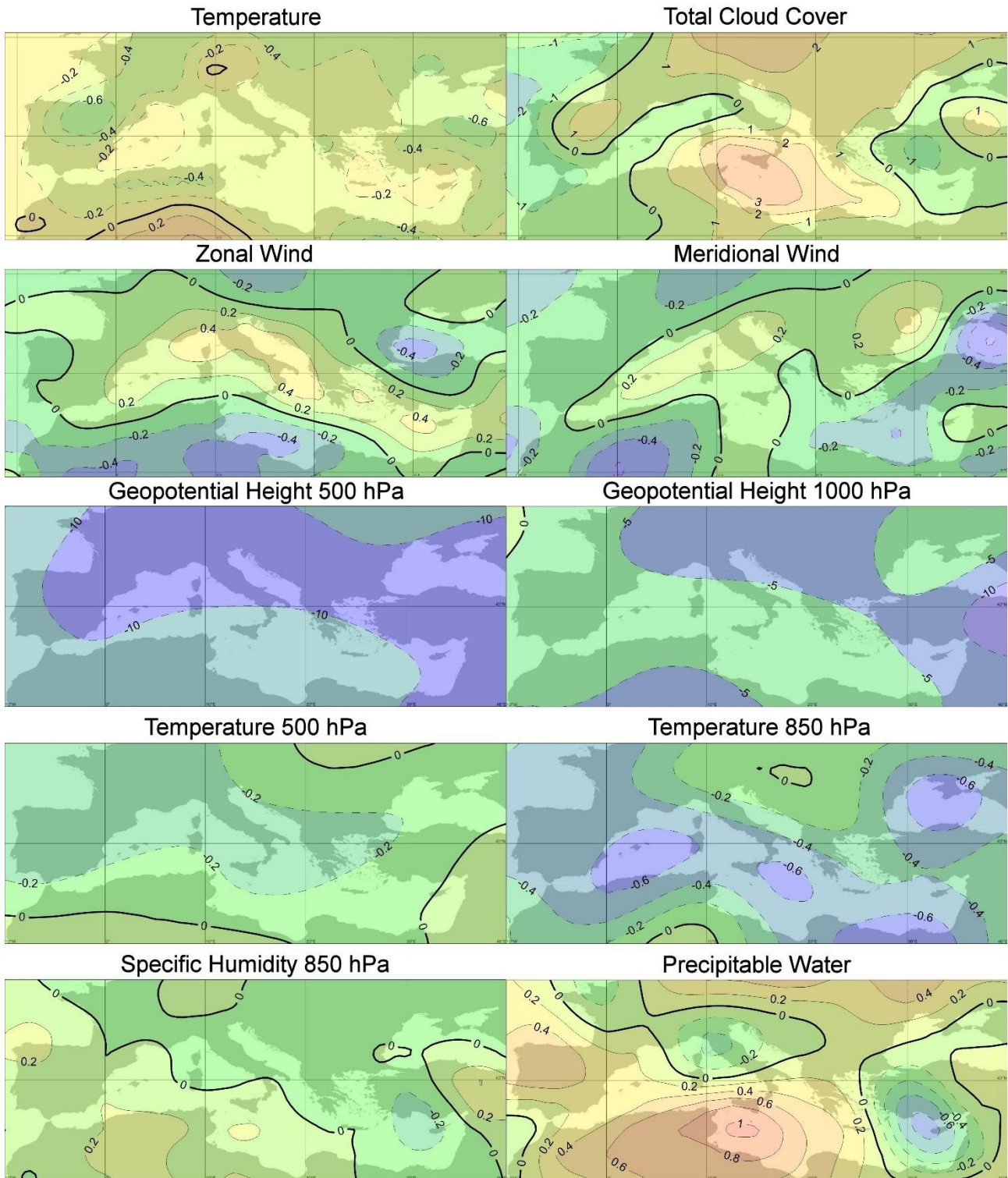
Σχήμα Π 21. Οι μέσοι χάρτες των αποχών της θερμοκρασίας στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης ($^{\circ}\text{C}$), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης (m/sec), του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa ($^{\circ}\text{C}$), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m^2), για την περίοδο 1949-1978 και για την εποχή του χειμώνα όπως ορίστηκε με τη μέθοδο WTF.

1949-1978 : Spring



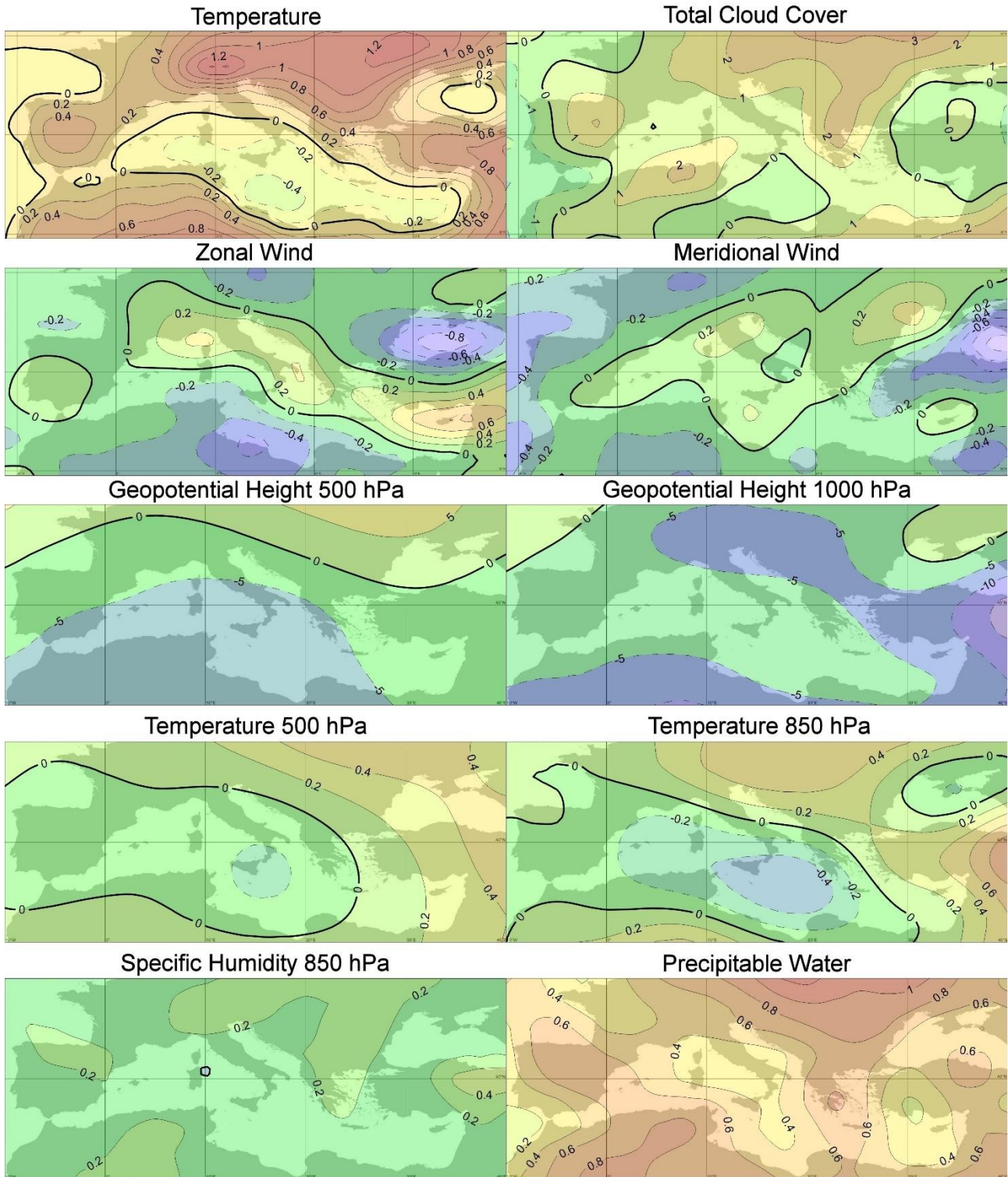
Σχήμα Π 22. Όπως στο σχήμα Π 21, αλλά για την εποχή της άνοιξης.

1949-1978 : Summer



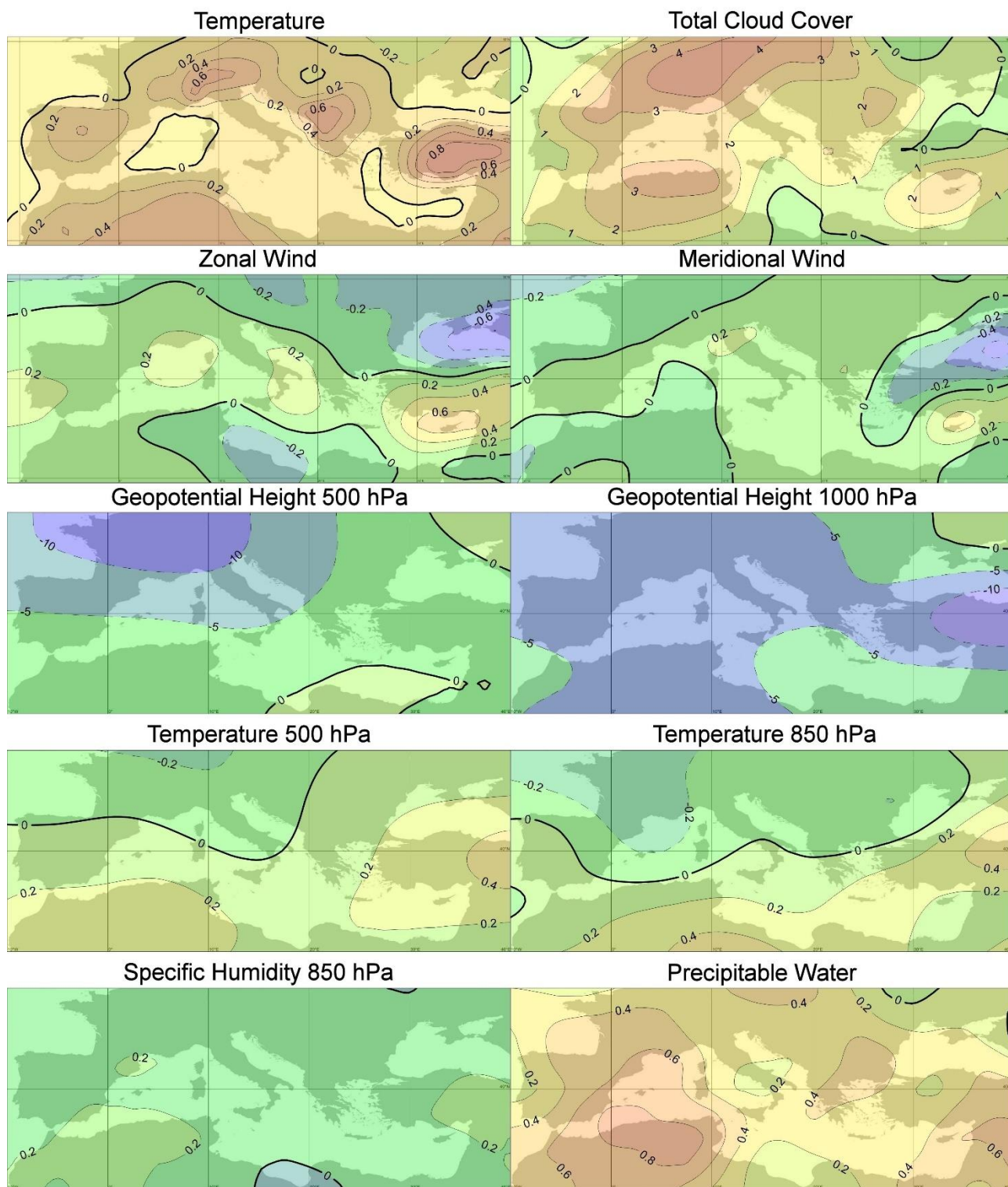
Σχήμα Π 23. Όπως στο σχήμα Π 21, αλλά για την εποχή του θέρους.

1949-1978 : Autumn



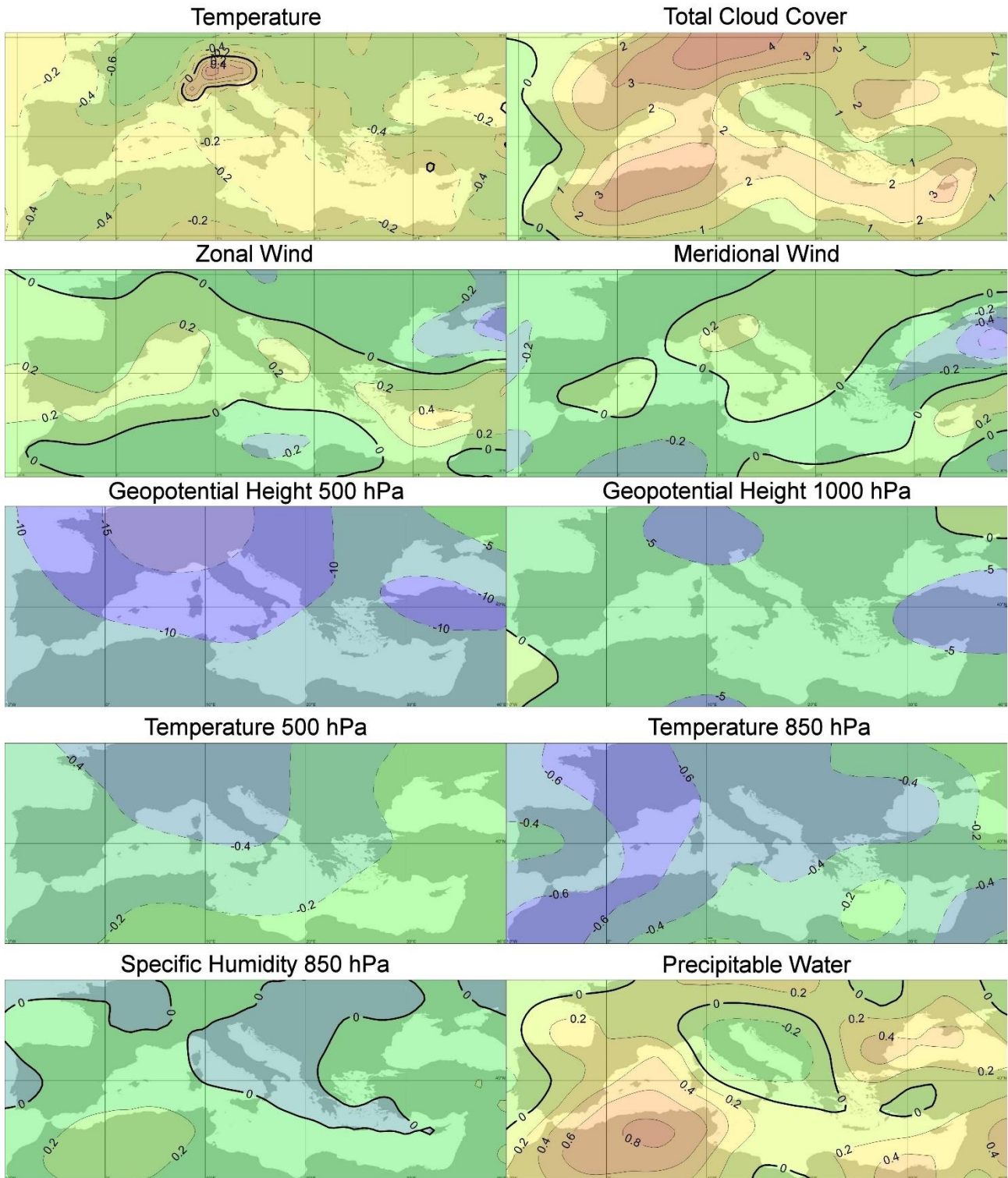
Σχήμα Π 24. Όπως στο σχήμα Π 21, αλλά για την εποχή του φθινοπόρου.

1959-1988 : Winter



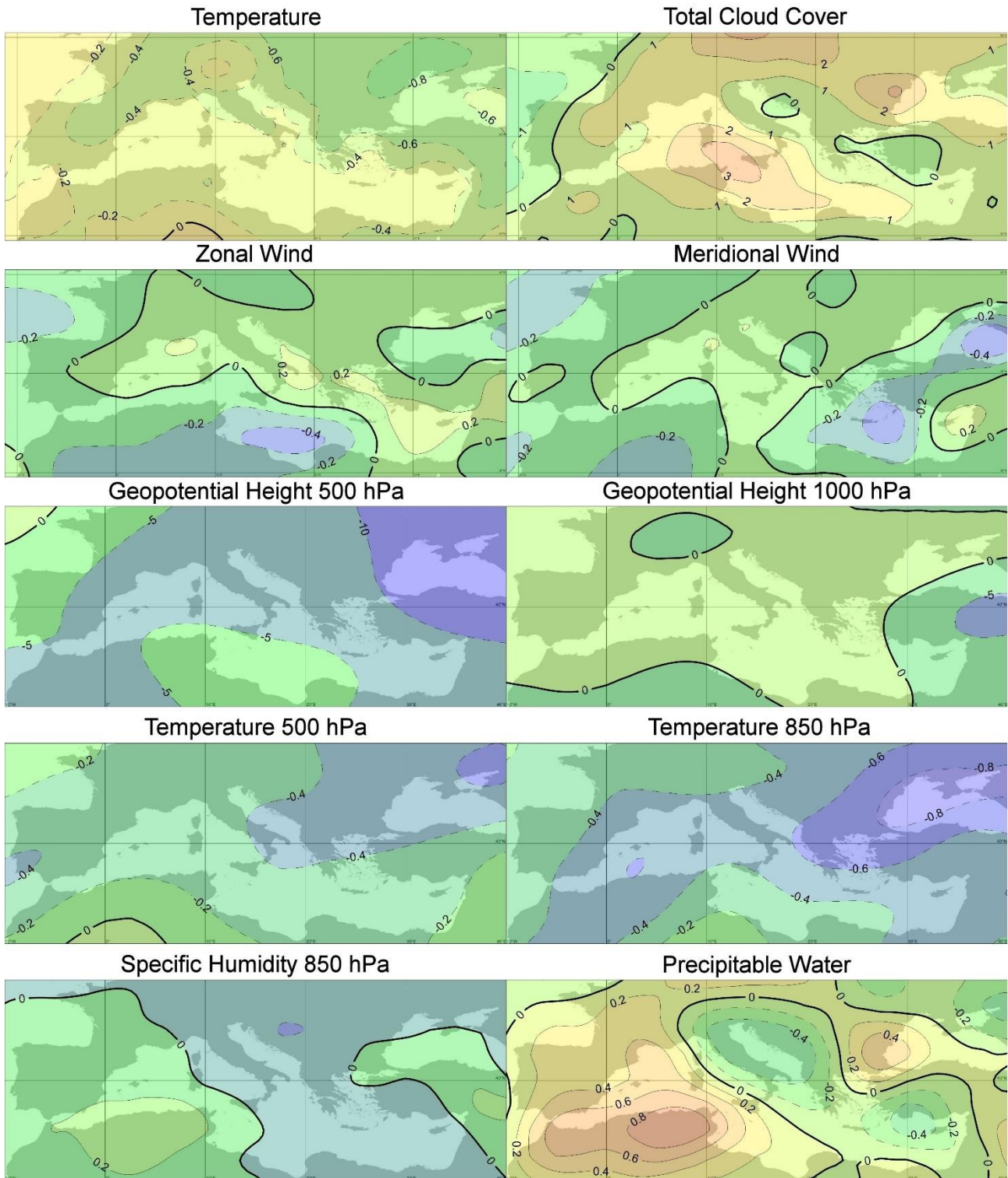
Σχήμα Π 25. Οι μέσοι χάρτες των αποχών της θερμοκρασίας στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης ($^{\circ}\text{C}$), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης (m/sec), του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa ($^{\circ}\text{C}$), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m^2), για την περίοδο 1959-1988 και για την εποχή του χειμώνα όπως ορίστηκε με τη μέθοδο WTF.

1959-1988 : Spring



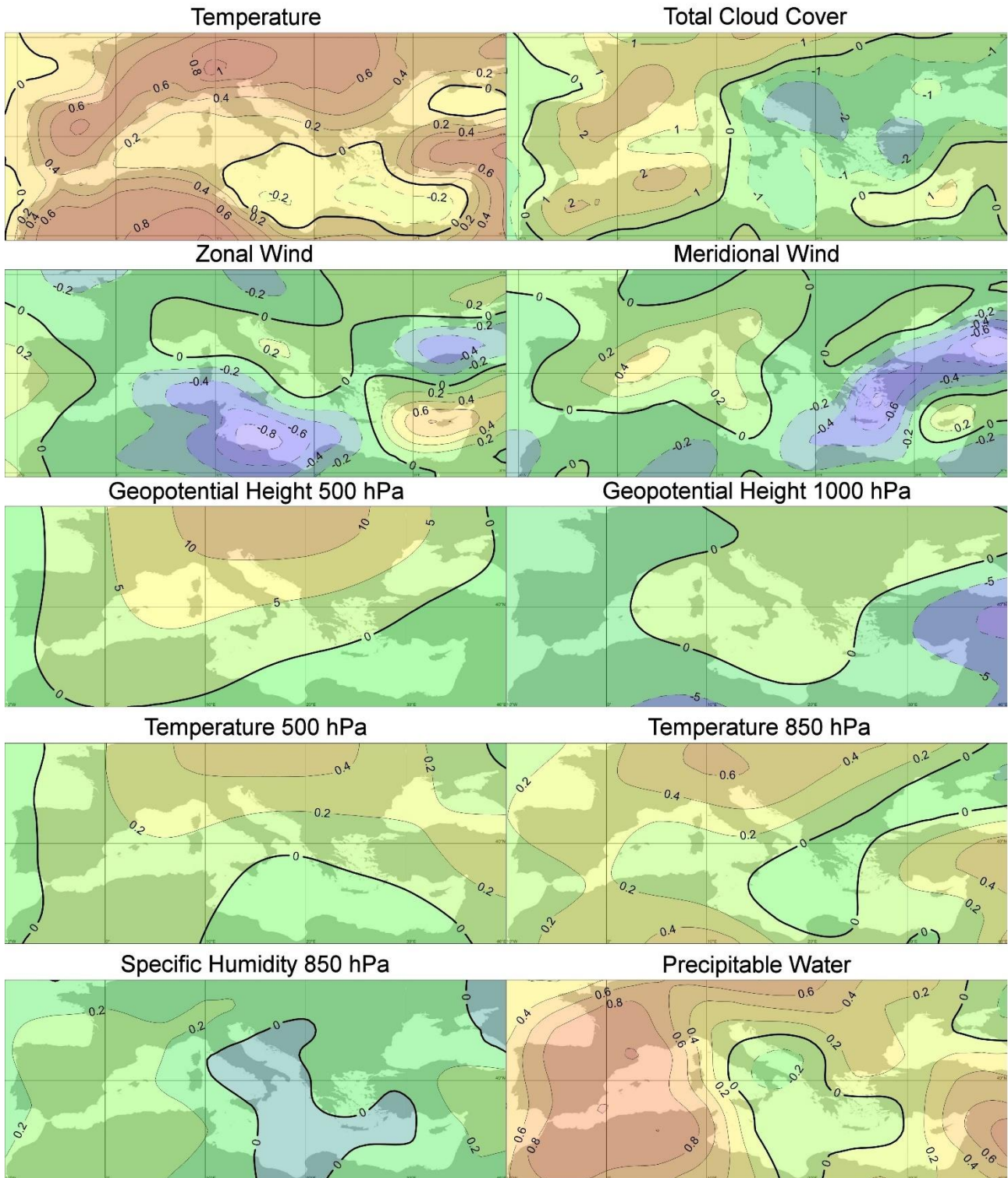
Σχήμα Π 26. Όπως στο σχήμα Π 25, αλλά για την εποχή της άνοιξης.

1959-1988 : Summer



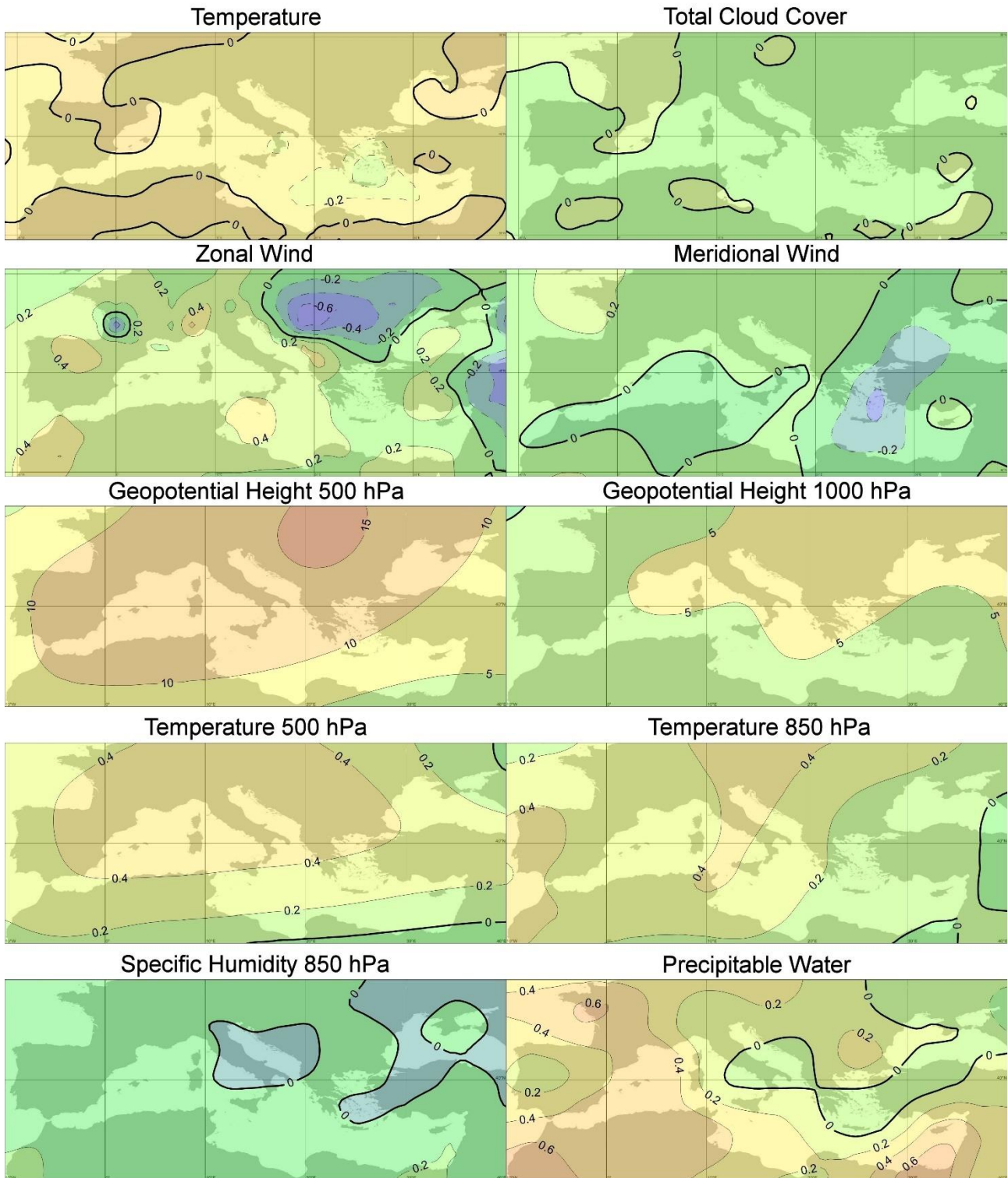
Σχήμα Π 27. Όπως στο σχήμα Π 25, αλλά για την εποχή του θέρους.

1959-1988 : Autumn



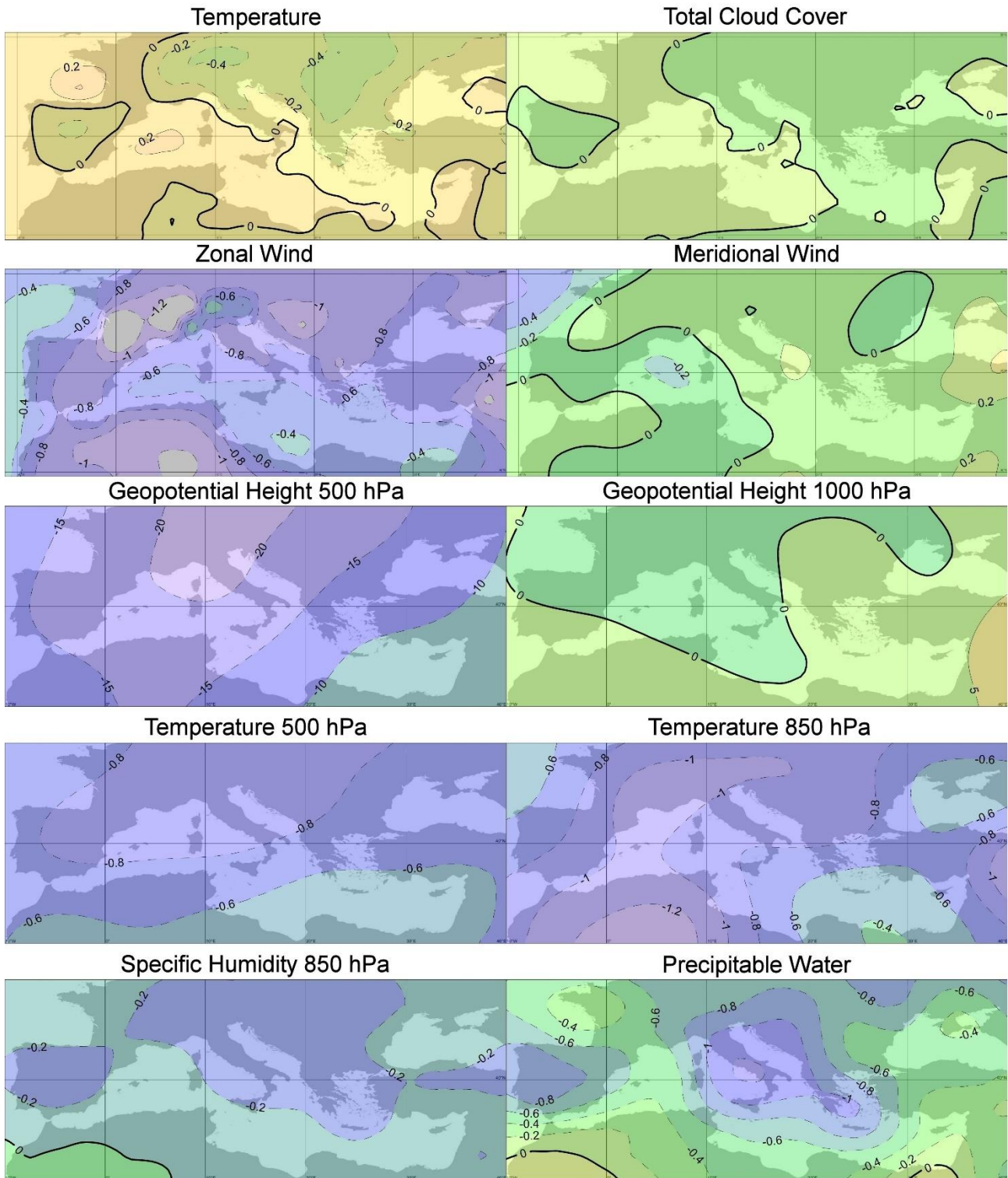
Σχήμα Π 28. Όπως στο σχήμα Π 25, αλλά για την εποχή του φθινοπώρου.

1969-1998 : Winter



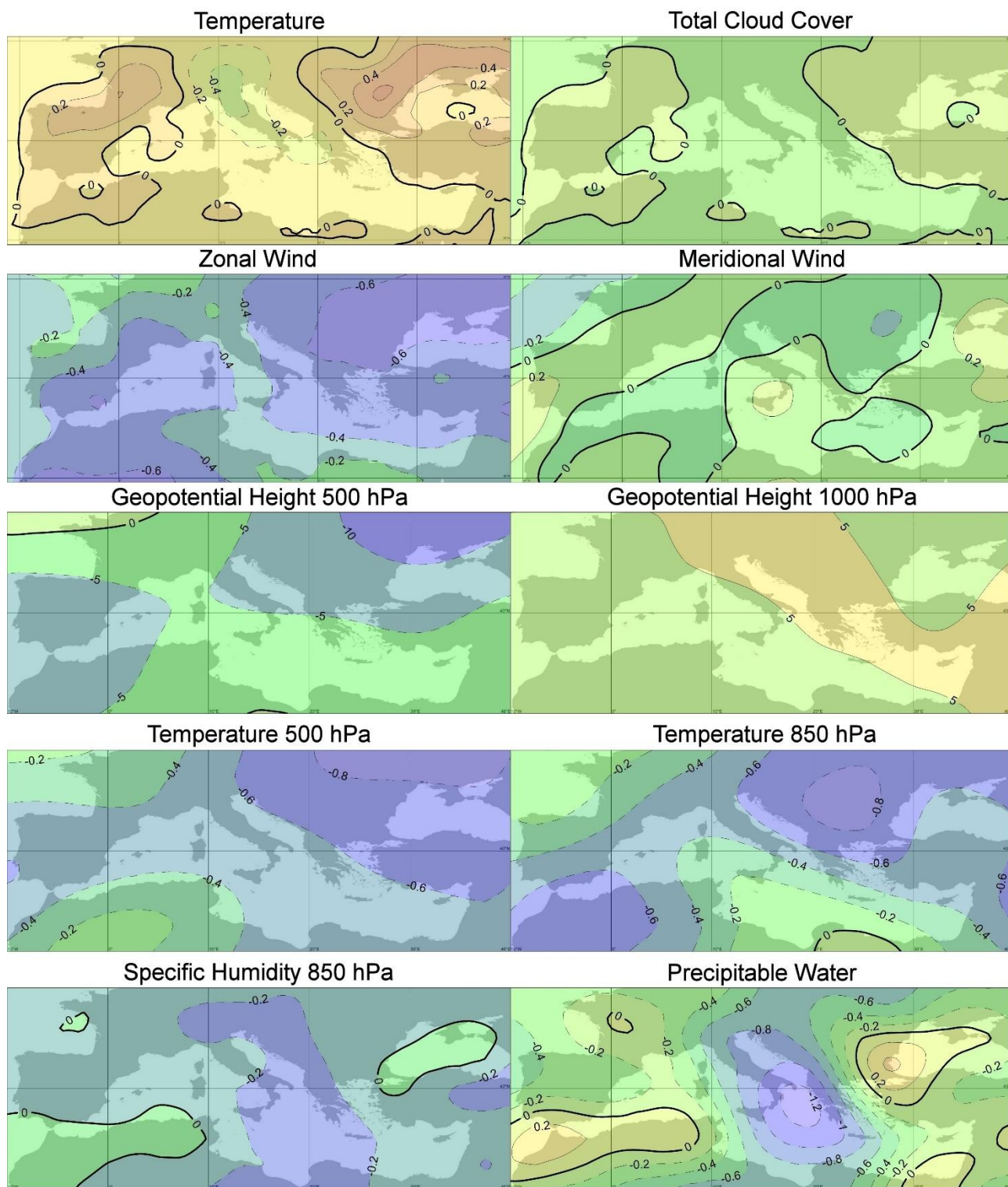
Σχήμα Π 29. Οι μέσοι χάρτες των αποχών της θερμοκρασίας στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης ($^{\circ}\text{C}$), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης (m/sec), του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa ($^{\circ}\text{C}$), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m^2), για την περίοδο 1969-1998 και για την εποχή του χειμώνα όπως ορίστηκε με τη μέθοδο WTF.

1969-1998 : Spring



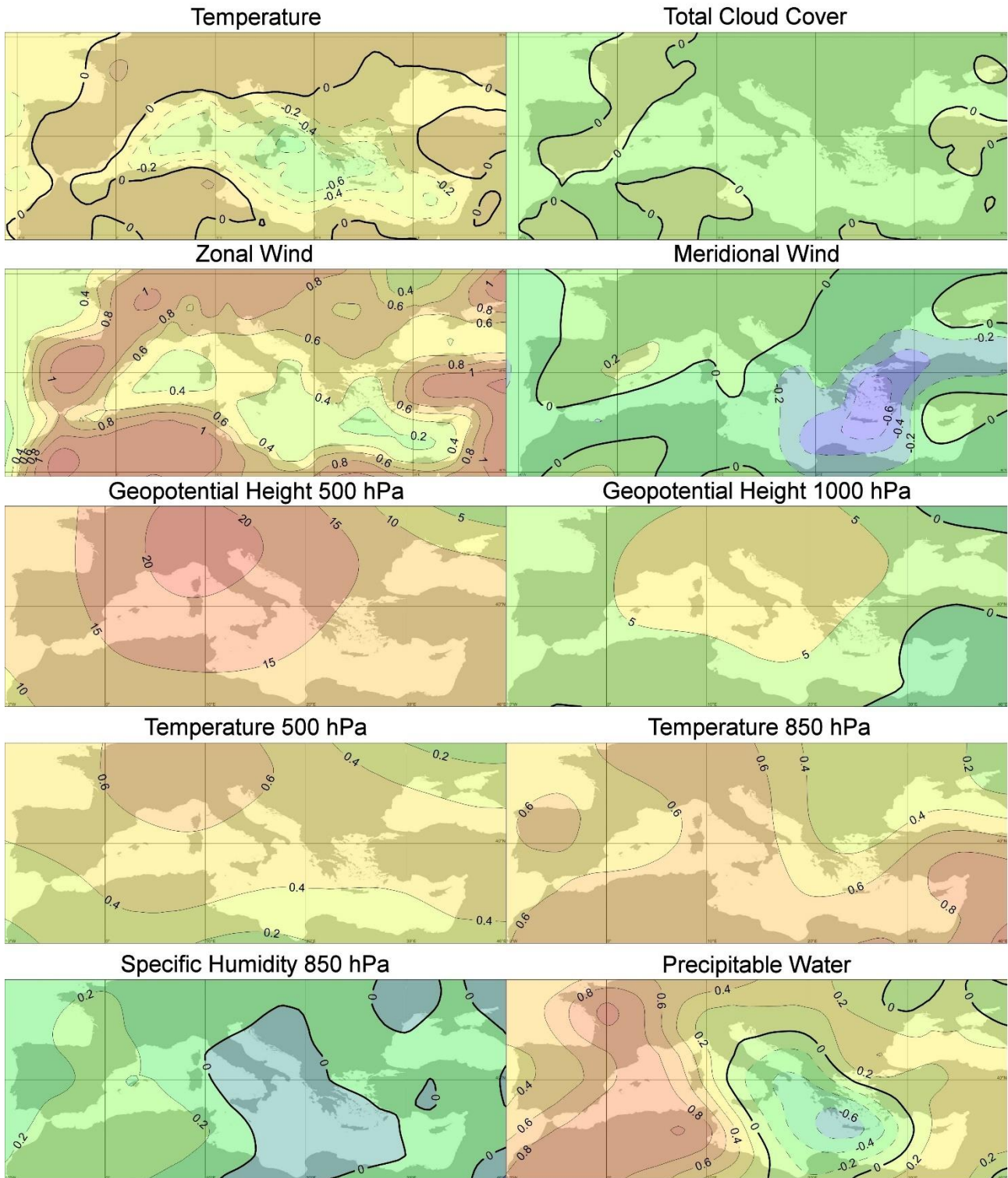
Σχήμα Π 30. Όπως στο σχήμα Π 29, αλλά για την εποχή της άνοιξης.

1969-1998 : Summer



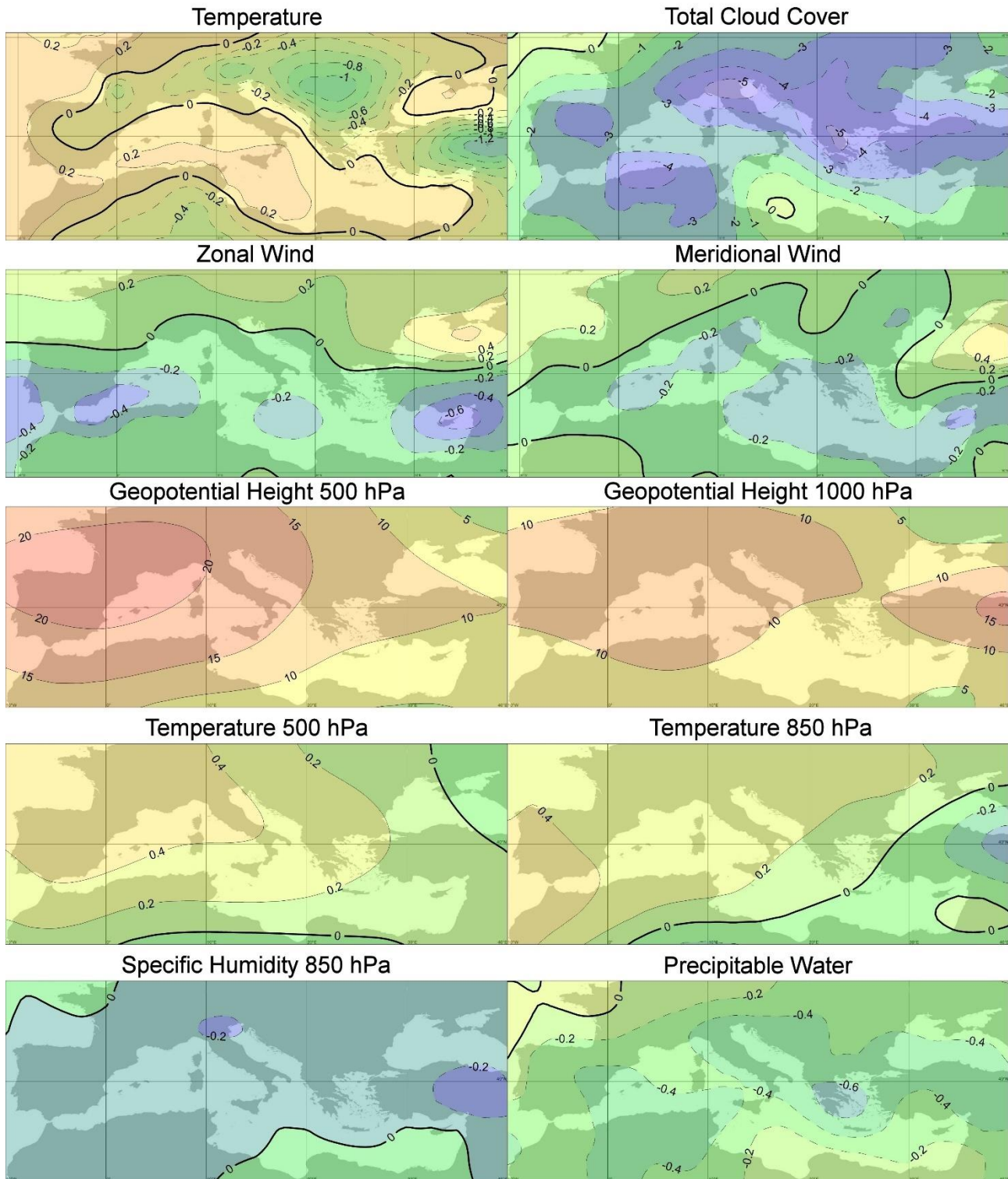
Σχήμα Π 31. Όπως στο σχήμα Π 29, αλλά για την εποχή του θέρους.

1969-1998 : Autumn



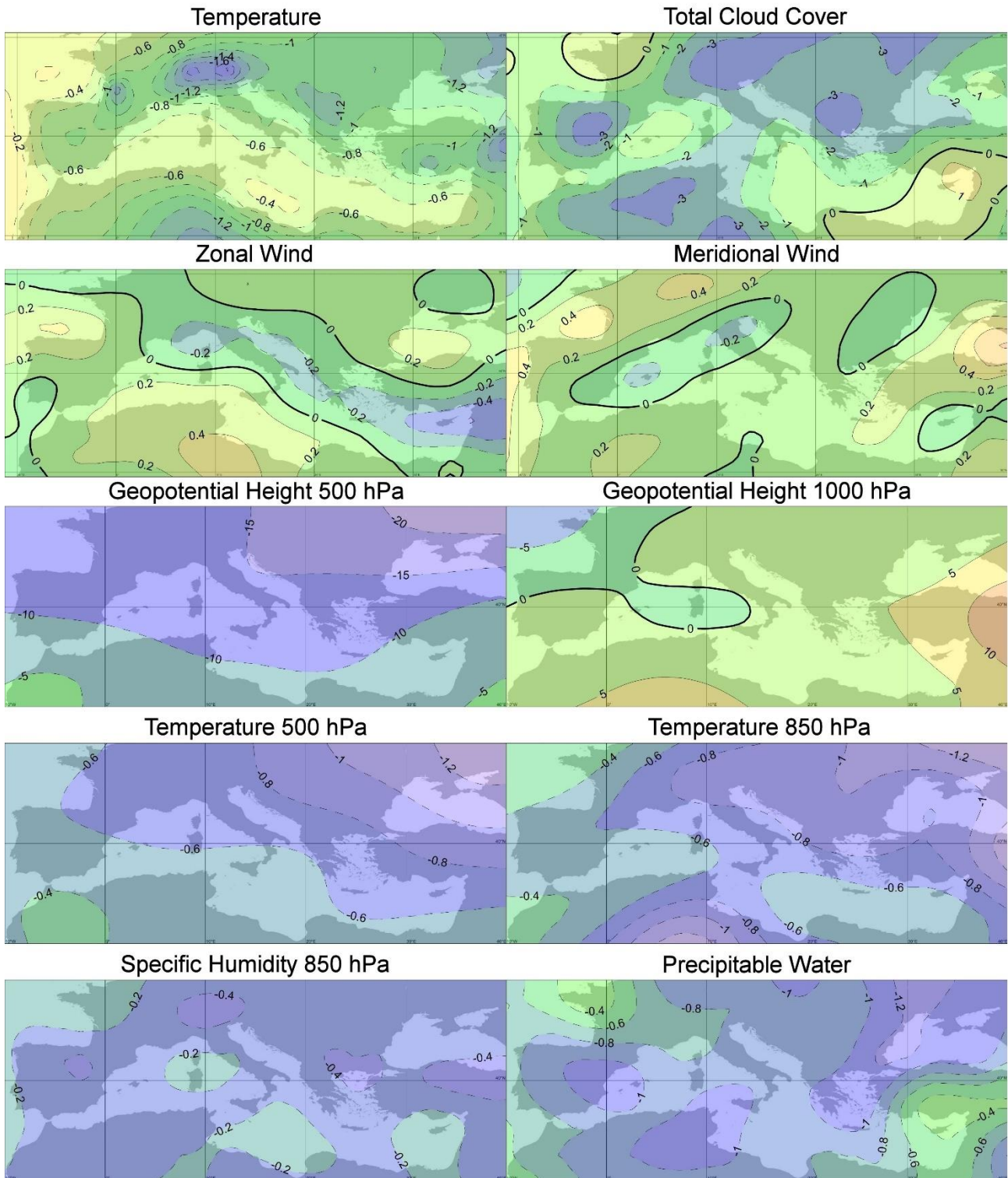
Σχήμα Π 32. Όπως στο σχήμα Π 29, αλλά για την εποχή του φθινοπώρου.

1979-2008 : Winter



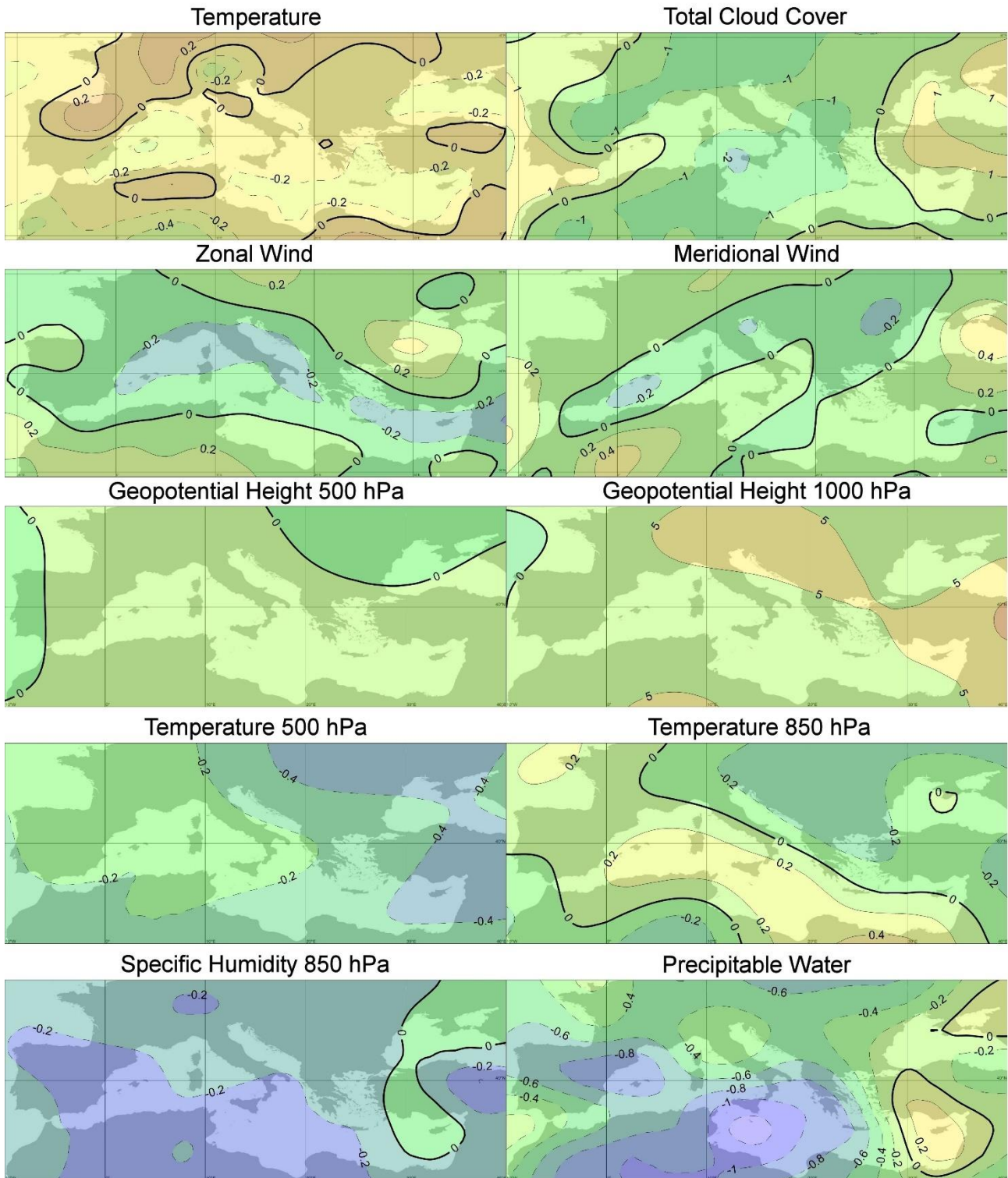
Σχήμα Π 33. Οι μέσοι χάρτες των αποχών της θερμοκρασίας στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης ($^{\circ}\text{C}$), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης (m/sec), του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa ($^{\circ}\text{C}$), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m^2), για την περίοδο 1979-2008 και για την εποχή του χειμώνα όπως ορίστηκε με τη μέθοδο WTF.

1979-2008 : Spring



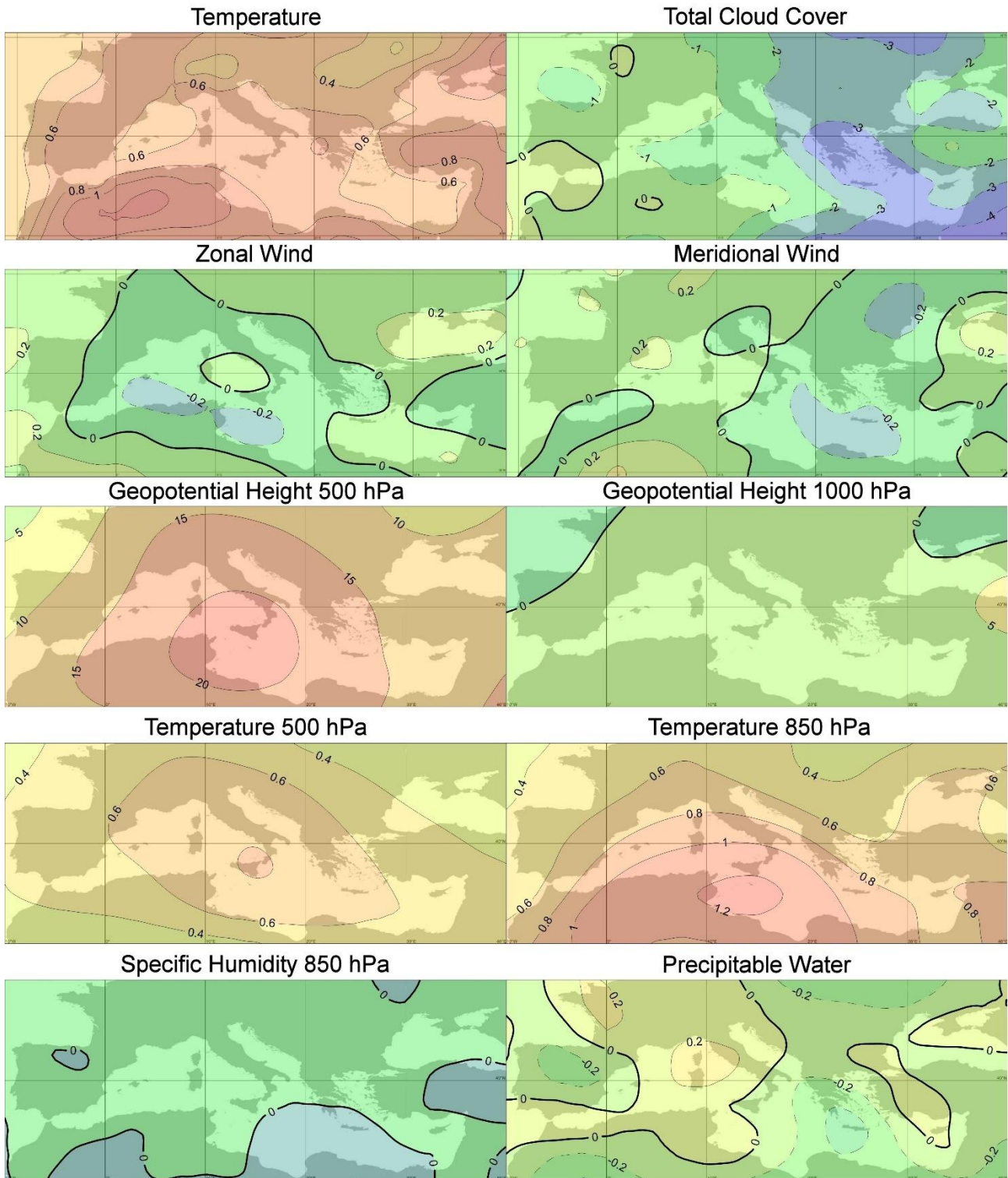
Σχήμα Π 34. Όπως στο σχήμα Π 33, αλλά για την εποχή της άνοιξης.

1979-2008 : Summer



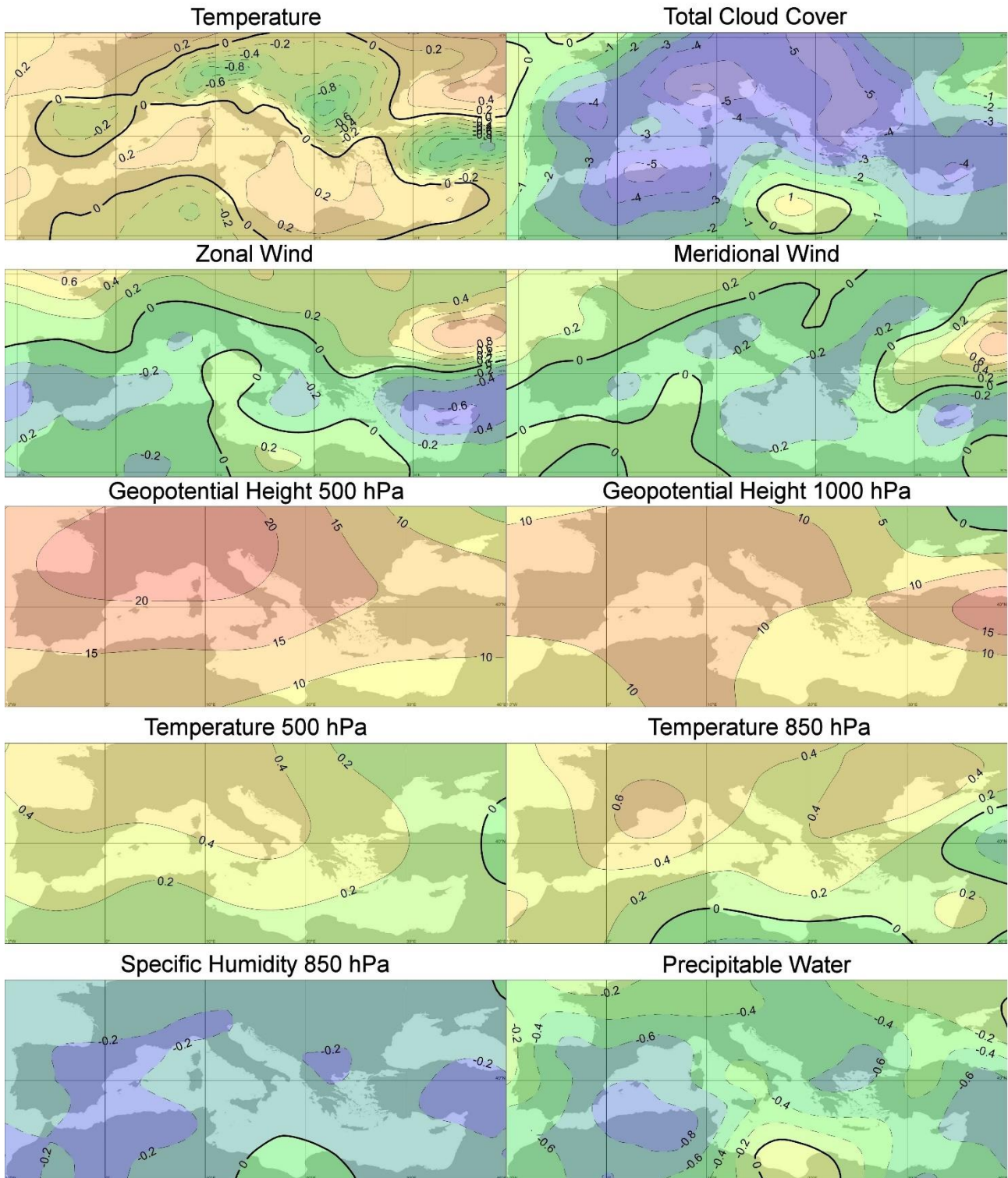
Σχήμα Π 35. Όπως στο σχήμα Π 33, αλλά για την εποχή του θέρους.

1979-2008 : Autumn



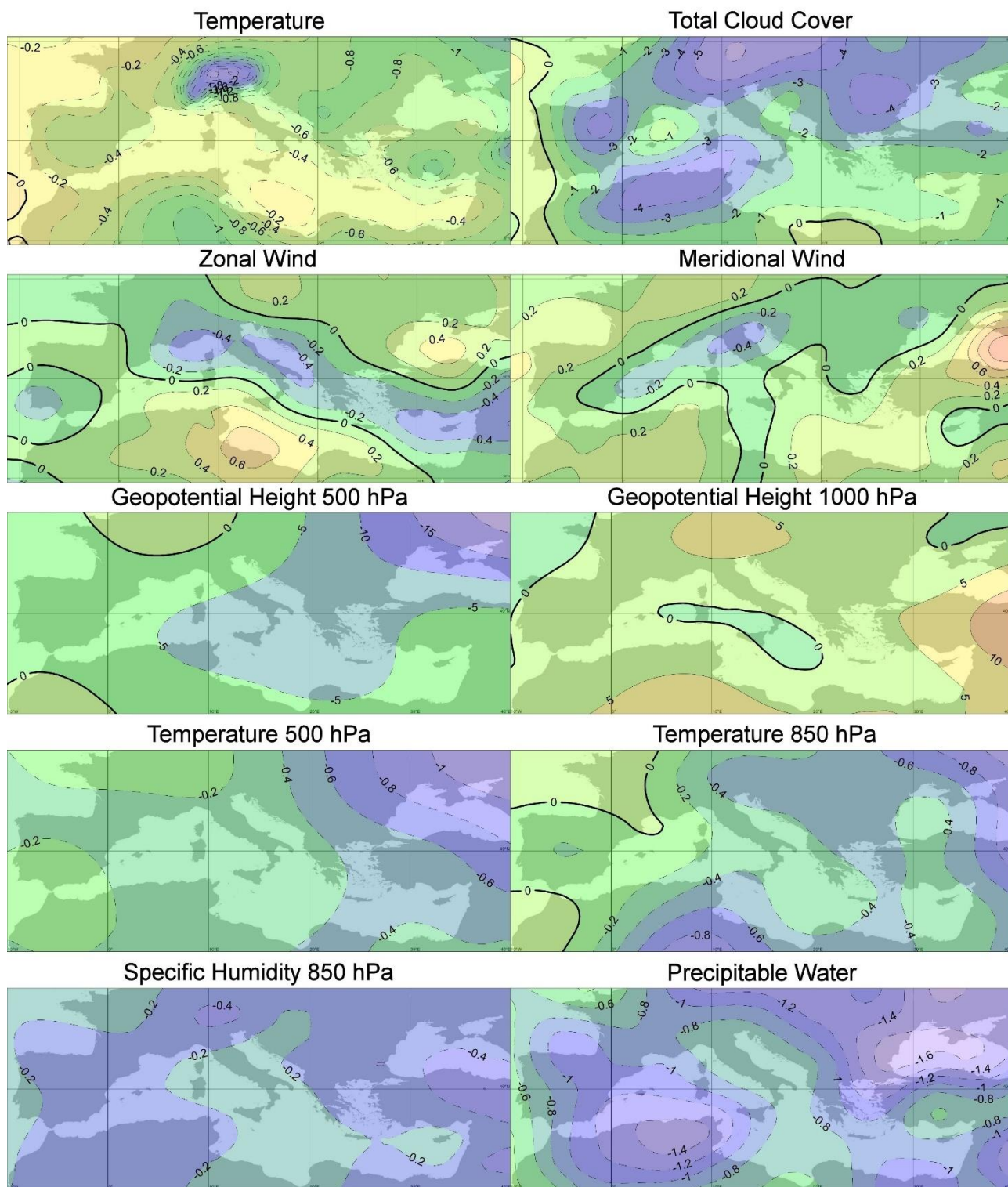
Σχήμα Π 36. Όπως στο σχήμα Π 33, αλλά για την εποχή του φθινοπώρου.

1989-2018 : Winter



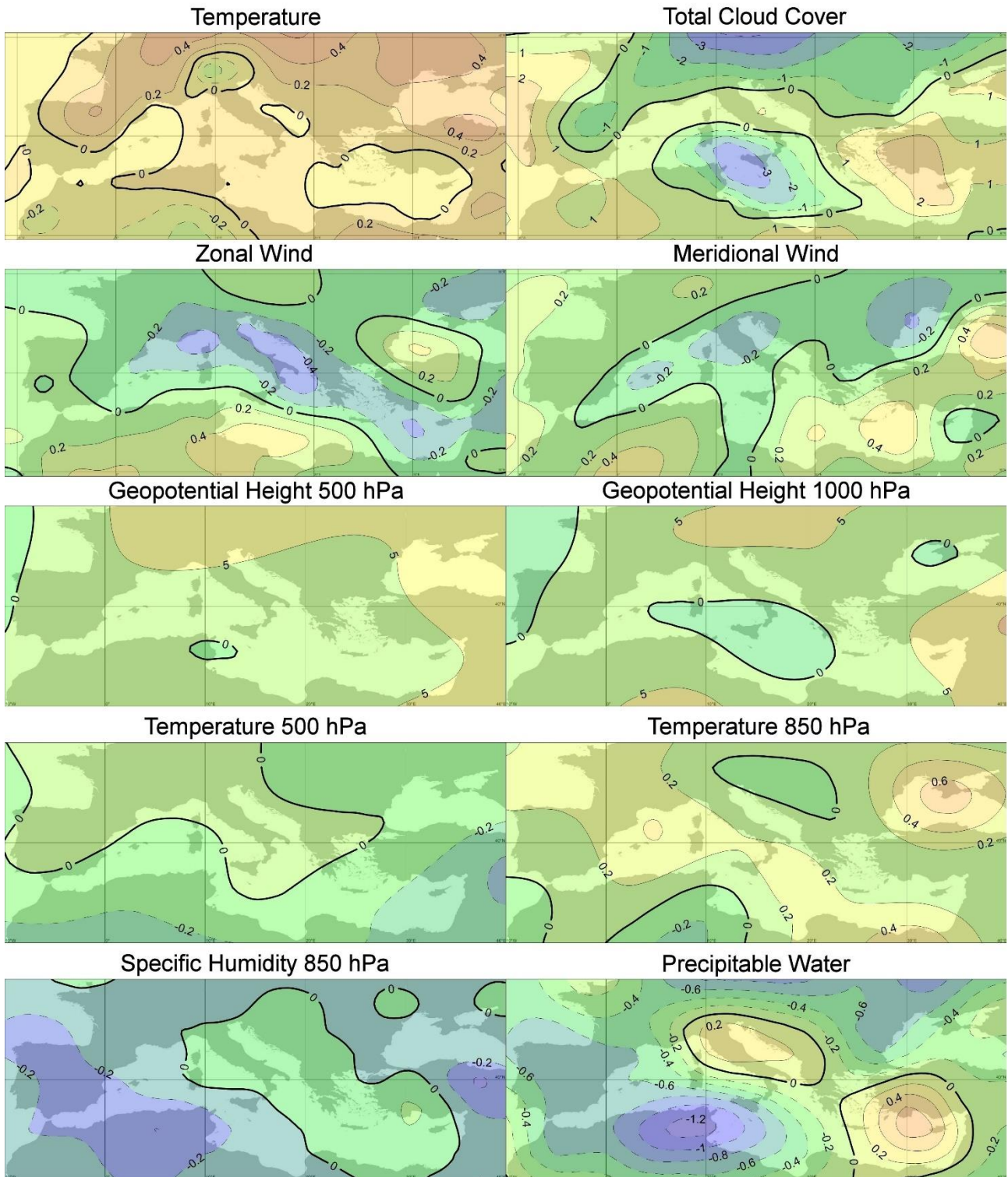
Σχήμα Π 37. Οι μέσοι χάρτες των αποχών της θερμοκρασίας στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης (°C), της ολικής νεφοκάλυψης (%), της ζωνικής και της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης (m/sec), του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa και στα 1000hPa (gpm), της θερμοκρασίας στα 500hPa και στα 850hPa (°C), της ειδικής υγρασίας στα 850hPa (g/kg) και του νετίσιμου ύδατος (kg/m²), για την περίοδο 1989-2018 και για την εποχή του χειμώνα όπως ορίστηκε με τη μέθοδο WTF.

1989-2018 : Spring



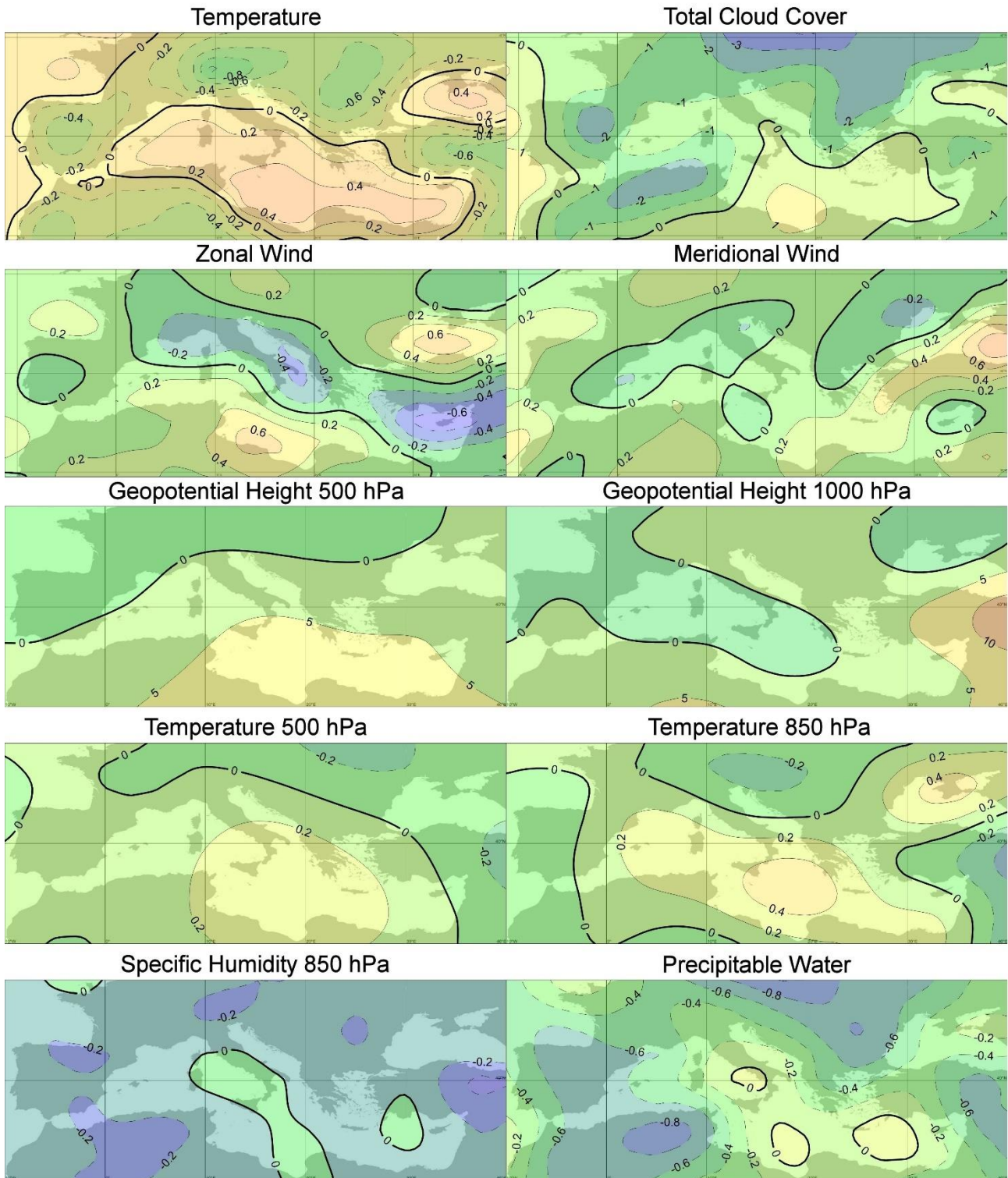
Σχήμα Π 38. Όπως στο σχήμα Π 37, αλλά για την εποχή της άνοιξης.

1989-2018 : Summer



Σχήμα Π 39. Όπως στο σχήμα Π 37, αλλά για την εποχή του θέρους.

1989-2018 : Autumn



Σχήμα Π 40. Όπως στο σχήμα Π 37, αλλά για την εποχή του φθινοπώρου.

Παράρτημα 3

Το Παράρτημα 3 περιλαμβάνει όλους τους κώδικες που γράφτηκαν στο περιβάλλον της Matlab και οι οποίοι εφαρμόζονται για την επεξεργασία και παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής.

Κώδικες Matlab

1. Κώδικας Matlab για την κατασκευή των διαγραμμάτων με τις ενδοετήσιες διακυμάνσεις των αποστάσεων από τα κέντρα των αντικειμενικά ορισμένων εποχών.

```
A=xlsread('Book1.xlsx');
Winter=A(:,1);
Spring=A(:,2);
Summer=A(:,3);
Autumn=A(:,4);
t=1:365;
plot(Winter,'color',[0 0.4470 0.7410],'LineWidth',3)
hold on
plot (Spring,'color',[0.9290 0.6940 0.1250],'LineWidth',3)
plot (Summer,'color',[0.6350 0.0780 0.1840],'LineWidth',3)
plot (Autumn,'color',[0.4660 0.6740 0.1880],'LineWidth',3)
xticks([1 32 60 91 121 152 182 213 244 274 305 335])
month = {'          Ιαν','          Φεβ','
Μάρ','          Απρ','          Μάι','
Ιούν','          Ιούλ','          Αύγ','
Σεπ','          Οκτ','          Νοέ','
Δεκ'};
xticklabels(month)
grid on
xlim([1 365])
ylim([0 7])
for i=1:size(A,1)
    MIN=min(A(i,:));
    if MIN==Winter(i,1)
```

```

        p1 = patch([i i+1 i+1 i], [0 0 7 7], [0 0.4470 0.7410],
'FaceAlpha', 0.4, 'Linestyle', 'none');
        elseif MIN==Spring(i,1)
            p2 = patch([i i+1 i+1 i], [0 0 7 7], [0.9290 0.6940
0.1250], 'FaceAlpha', 0.4, 'Linestyle', 'none');
            elseif MIN==Summer(i,1)
                p3 = patch([i i+1 i+1 i], [0 0 7 7], [0.6350 0.0780
0.1840], 'FaceAlpha', 0.4, 'Linestyle', 'none');
            else
                p4 = patch([i i+1 i+1 i], [0 0 7 7], [0.4660 0.6740
0.1880], 'FaceAlpha', 0.4, 'Linestyle', 'none');
            end
        end
end
title('CTF Μέθοδος', 'FontSize', 30, 'FontWeight', 'bold');
xlabel('Ημερομηνίες');
ylabel('Απόσταση');
set(gca, 'FontSize', 24)
hold off
legend({'Χειμώνας', 'Ανοιξη', 'Θέρος', 'Φθινόπωρο'}, 'Location', 'south
outside', 'Orientation', 'horizontal')

```

2. Κώδικας Matlab για την απόρριψη των υφέσεων οι οποίες δεν εισέρχονται στο εσωτερικό της Μεσογείου (50°B-30°B και 10°Δ-40°Α).

```
projectdir = 'C:\users\Giorgos\Desktop\coordinates_mslp';
dinfo = dir(fullfile(projectdir, '*.dat'));
num_files = length(dinfo);
filenames = fullfile(projectdir, {dinfo.name});
projectdir2 = 'C:\users\Giorgos\Desktop\start_end_lifetime';
dinfo2 = dir(fullfile(projectdir2, '*.dat'));
num_files2 = length(dinfo2);
filenames2 = fullfile(projectdir2, {dinfo2.name});
for y=1:69
    g=0;
    h=1;
    a=1;
    b=1;
    f=1;
    this_file = filenames{y};
    CS = importdata(this_file);
    this_file2 = filenames2{y};
    LT = importdata(this_file2);
    for m=1:size(LT,1)
        for k=1:LT(m,2)
            if (CS(h,1)<-10) || (CS(h,1)>40) || (CS(h,2)<30) ||
(CS(h,2)>50)
                g=g+1;
            end
            h=h+1;
        end
        if g~=LT(m,2)
            for j=1:LT(m,2)
                TCS(a,:) = CS(f,:);
                a=a+1;
                f=f+1;
            end
        end
    end
end
```



```
        TLT(b,:) = LT(m,:);
        b=b+1;
    else
        f=f+LT(m,2);
    end
    g=0;
end
name=['Med_tracks', int2str(y+1949), '.xlsx'];
xlswrite(name,TCS,'tracks');
xlswrite(name,TLT,'life');
TCS=[];
TLT=[];
CS=[];
LT=[];
end
```

3. Κώδικας Matlab για τον υπολογισμό της πυκνότητας των τροχιών των υφέσεων ανά πλεγματοεικό σημείο.

```
T2=xlsread("Med_tracks_xy_lt.xlsx",'tracks');
T=round(T2);
a=1;
for x=-15:1:50
    for y=20:1:55
        A(a,1)=x;
        A(a,2)=y;
        a=a+1;
    end
end
C=zeros(size(A,1),1);
for i=1:size(T,1)
    for k=1:size(A,1)
        if A(k,1)==T(i,1) && A(k,2)==T(i,2)
            C(k,1)=C(k,1)+1;
        end
    end
end
xlswrite("Cell_frequency.xlsx",A,'coord');
xlswrite("Cell_frequency.xlsx",C,'freq');
```

4. Κώδικας Matlab για τον υπολογισμό των περιπτώσεων κυκλογένεσης των υφέσεων ανά πλεγματοειδές σημείο.

```
T2=xlsread("Med_tracks_xy_lt.xlsx",'tracks');
T=round(T2);
L=xlsread("Med_tracks_xy_lt.xlsx",'life');
f=1;
a=1;
for x=-15:1:50
    for y=20:1:55
        A(a,1)=x;
        A(a,2)=y;
        a=a+1;
    end
end
C=zeros(size(A,1),1);
for i=1:size(L,1)
    for j=1:L(i)
        X(1,j)=T(f,1);
        Y(1,j)=T(f,2);
        f=f+1;
    end
    for k=1:size(A,1)
        if A(k,1)==X(1,1) && A(k,2)==Y(1,1)
            C(k,1)=C(k,1)+1;
        end
    end
end
X=[];
Y=[];
end
xlswrite("Track_cyclogenesis.xlsx",A,'Track_cyclogenesis','A:B');
xlswrite("Track_cyclogenesis.xlsx",C,'Track_cyclogenesis','C:C');
```

5. Κώδικας Matlab για την γραμμική παρεμβολή των γεωγραφικών συντεταγμένων (γεωγραφικού μήκους και πλάτους) των τροχιών των υφέσεων.

```
T=xlsread("Med_tracks_xy_lt.xlsx",'tracks');
L=xlsread("Med_tracks_xy_lt.xlsx",'life');
f=1;
M=max(L);
for i=1:size(L,1)
    for j=1:L(i)
        X(1,j)=T(f,1)+j*0.000001;
        Y(1,j)=T(f,2)+j*0.000001;
        f=f+1;
    end
t=linspace(0,size(X,2)-1,size(X,2));
t2=linspace(0,size(X,2)-1,M);
xp=interp1(t,X,t2,'linear');
yp=interp1(t,Y,t2,'linear');
g=1;
    for k=1:size(xp,2)
        G(i,g)=xp(k);
        G(i,g+1)=yp(k);
        g=g+2;
    end
xp=[];
yp=[];
X=[];
Y=[];
t=0;
t2=0;
end
S=round(G,1);
xlswrite('Tracks_interpolated.xlsx',S);
```

6. Κώδικας Matlab για το σχεδιασμό των τροχιών των υφέσεων κάθε συστάδας, συμπεριλαμβανομένων των τροχιών με τη μικρότερη απόσταση από τα κέντρα και των μέσω των τροχιών των συστάδων.

```
for t=1:12
    f1=sprintf('C%dcoord',t);
    f2=sprintf('C%ddist',t);
    f3=sprintf('C%dmean',t);
    P=xlsread("12clusters_tracks_Inter.xlsx",f1);
    P2=xlsread("12clusters_tracks_Inter.xlsx",f2);
    P3=xlsread("12clusters_tracks_Inter.xlsx",f3);
    x=zeros(1,size(P,2)/2);
    y=zeros(1,size(P,2)/2);
    img = imread('Domain_Map.jpg');
    image(img,'XData',[-15 50],'YData',[55 20])
    set(gca,'YDir','normal');
    title('C%d',t,'fontsize',40);
    hold on
    for i=1:size(P,1)
        k=1;
        for j=1:size(P,2)/2
            x(1,j)=P(i,k);
            y(1,j)=P(i,k+1);
            k=k+2;
        end
        plot(x,y,'k','linewidth',0.5)
        hold on
        p1.Color(4)=0.5;
        xlim([-15 50])
        ylim([20 55])
    end
    min=min(P2);
    for a=1:size(P2,1)
        k=1;
        if P2(a,1)==min
```

```

        for b=1:size(P,2)/2
            x(1,b)=P(a,k);
            y(1,b)=P(a,k+1);
            k=k+2;
        end
        plot(x,y,'r','linewidth',2)
        xlim([-15 50])
        ylim([20 55])
        hold on
    end
end
k=1;
for c=1:size(P,2)/2
    x(1,c)=P3(1,k);
    y(1,c)=P3(1,k+1);
    k=k+2;
end
plot(x,y,'g','linewidth',2)
xlim([-15 50])
ylim([20 55])
f4=sprintf('C%d.png',t);
print(gcf,f4,'-dpng','-r300');
close all;
clear all;
end

```

7. Κώδικας Matlab για τον υπολογισμό της συχνότητας των υφέσεων κάθε συστάδας, ανά εξάωρο.

```
for t=1:12
    F=zeros(1464,1);
    filename=sprintf('C%d',t);
    A=xlsread('12clusters_Inter_life_6h.xlsx',filename);
    C(:,1)=A(:,1);
    C(:,2)=A(:,3);
    for i=1:size(C,1)
        if C(i,1)>0
            for j=C(i,1):C(i,2)
                F(j)=F(j)+1;
            end
        else
            for k=C(i,1):C(i,2)
                if k<=0
                    F(1460+k)=F(1460+k)+1;
                else
                    F(k)=F(k)+1;
                end
            end
        end
    end
end
end
xlswrite('Med_cycl_intra_annual_freq_6h.xlsx',F,filename);
clear;
end
```