



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΑΡΙΑ Π. ΚΕΡΑΣΙΛΙΔΟΥ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ MADDEN-JULIAN ΚΥΜΑΝΣΗΣ (MJΟ)
ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020





ΜΑΡΙΑ Π. ΚΕΡΑΣΙΛΙΔΟΥ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ MADDEN-JULIAN KYMANΣΗΣ (MJO) ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών
Σπουδών 'Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον'

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 20/02/20

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Επιβλέπουσα
Κωσταντία Τολικά, Επίκουρη Καθηγήτρια
Ευθυμία Κωστοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια

© Μαρία Π. Κερασιλίδου, Γεωλόγος, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ MADDEN-JULIAN KYMANΣΗΣ (MJO) ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ
ΕΥΡΩΠΗΣ – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Maria P. Kerasilidou, Geologist, 2020

All rights reserved.

THE IMPACT OF MADDEN-JULIAN OSCILLATION (MJO) ON THE EUROPEAN
CLIMATE– *Master Thesis*



Citation:

Κερασλίδου Μ. Π., 2020. – Η επίδραση της Madden-Julian κύμανσης (MJO) στο κλίμα της Ευρώπης.

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Kerasilidou M., P., 2020. – The impact of the Madden-Julian oscillation (MJO) on the European climate.

Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Στη μνήμη
της αγαπημένης μου θείας,
Ελένης



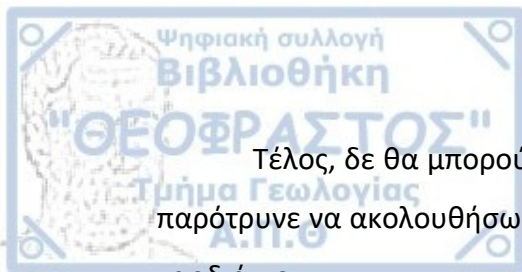
Η παρούσα διατριβή με τίτλο «Η επίδραση της Madden-Julian Κύμανσης (MJO) στο κλίμα της Ευρώπης» εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον» του τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.).

Με την ολοκλήρωση της εργασίας μου αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Κα Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Αναπληρώτρια καθηγήτρια του τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών. Την ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη και την εκτίμηση που μου έδειξε, τη συνεχή καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία που είχαμε.

Ιδιαίτερως να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής, την Κα Κωνσταντία Τολίκα, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. και την Κα. Ευθυμία Κωστοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου, που δεχτήκανε να αξιολογήσουν την εργασία μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κο Θεόδωρο Καρακώστα καθώς και όλους τους καθηγητές του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Ακόμα, οφείλω να ευχαριστήσω την Υποψήφια Διδάκτορα του τομέα Κονδυλία Βελίκου, για τις πολύ χρήσιμες υποδείξεις της στον προγραμματισμό.

Ένα τεράστιο ευχαριστώ στους γονείς μου, Παύλο και Ευρώπη, τον αδερφό μου Θανάση και τη γιαγιά μου Μαρία, που δε σταμάτησαν στιγμή να πιστεύουν σε μένα και για τη συνεχή στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες αποδίδω στη μητέρα μου, για την αστείρευτη υπομονή και ανοχή που έδειξε κατά τη διεκπεραίωση της εργασίας μου.

Θα ήθελα ακόμα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους συμφοιτητές μου, για όλες τις χαρές, τα άγχη και τους προβληματισμούς που μοιραστήκαμε αυτή τη διετία. Ευχαριστώ επίσης τους φίλους μου και όλα τα άτομα που στάθηκαν κοντά μου αυτά τα χρόνια, κάνοντας την καθημερινότητα μου πιο όμορφη. Ιδιαίτερως να ευχαριστήσω την Εμμανουέλα και το Γιάννη, για το συνεχές ενδιαφέρον και την ανιδιοτελή αγάπη τους.



Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω από τις ευχαριστίες μου τη γυναίκα που με παρότρυνε να ακολουθήσω τις θετικές επιστήμες και που θα την έχω για πάντα μέσα στην καρδιά μου.

Μαρία Κερασιλίδου, 2020

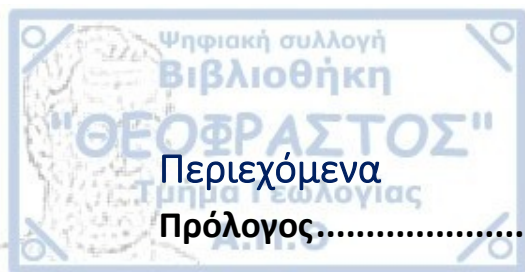


Αντικειμενικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της ατμοσφαιρικής κύμανσης Madden-Julian (MJO) στο κλίμα της Ευρώπης. Ειδικότερα εξετάζεται η συσχέτιση των οκτώ φάσεων MJO με συγκεκριμένες κλιματικές παραμέτρους, τόσο για το χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα επανανάλυσης από το NCEP/NCAR, που αντιπροσωπεύουν τις ανωμαλίες και τη μέση κατάσταση για τις κλιματικές παραμέτρους της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, της ατμοσφαιρικής πίεσης, του ανέμου στην επιφάνεια και στα 250hPa, για την περίοδο 1976-2015. Αφού εντοπίστηκαν οι ακραίες τιμές του δείκτη που αντιστοιχούν σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90%, πραγματοποιήθηκε για κάθε παράμετρο οπτικοποίηση των δεδομένων. Από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται πως για κάθε κλιματική παράμετρο, ανά φάση προκύπτουν διαφορετικά συμπεράσματα τα οποία ποικίλουν ανά εποχή. Ειδικότερα, για τη χειμερινή περίοδο η 7^η και 8^η φάση του MJO συνδέεται με πτώση της θερμοκρασίας κυρίως στη Β-ΒΑ Ευρώπη ενώ η αύξηση της θερμοκρασίας στην περιοχή της Σκανδιναβίας συνδέεται με την 1^η και 2^η φάση. Αντίθετα κατά την καλοκαιρινή περίοδο, η ελάττωση της θερμοκρασίας στην περιοχή της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης συνδέεται με τις φάσεις 4 έως 6. Η ενίσχυση της θετικής φάσης του NAO συνδέεται με αύξηση της βροχόπτωσης στην περιοχή της Σκανδιναβίας στις φάσεις 2 έως 4 (χειμώνας), ενώ η εξασθένηση του αντικυκλώνα των Αζορών (3^η, 5^η και 8^η φάση-καλοκαίρι) συνδέεται με την ελάττωση της βροχόπτωσης στην κεντρική Ευρώπη. Τέλος η 1^η και 2^η φάση του δείκτη συνδέονται με την ενίσχυση των Ετησίων ανέμων στην ανατολική Μεσόγειο κατά τη θερινή περίοδο.



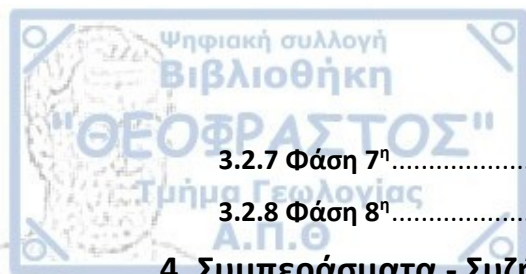
Abstract

The aim of the present study is to investigate the impact of Madden-Julian Oscillation on the climate of European area, and in particular the correlation of the eight MJO phases with specific climate parameters, both for winter and summer. For this purpose, NCEP/NCAR reanalysis data were used, covering the period 1976-2015. The reanalysis represent the anomalies and mean condition for the climate parameters of temperature, rainfall, atmospheric pressure, wind at surface and at 250hPa. Extreme values of the RMM index (>90%) were chosen and they were visualized for each parameter. The results show that for each climate parameter, different conclusions are obtained per phase, which vary by season. Specifically, for the winter period the 7th and 8th phase of the MJO is associated with a decrease in temperature mainly in N-NE Europe. The increase in temperature on the Scandinavian region is associated with the 1st and 2nd phase. On the other hand, during the summer season, the decrease in temperature in central and northern Europe is associated with phases 4 to 6. The enhancement of the positive NAO phase is associated with an increase in rainfall in the Scandinavian region in phases 2 to 4 (winter), while the weakening of the Azores cyclone (3rd, 5th and 8th phase-summer) is associated with the decrease in precipitation parameter in central Europe. The 1st and 2nd phase of MJO is associated with the strengthening of the Etesian winds in eastern Mediterranean during summer season.



Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	i
Περίληψη	iii
Abstract	iv
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Τηλεσυνδέσεις	1
1.2 Μέθοδοι ανίχνευσης Τηλεσυνδέσεων	3
1.3 Γνωστοί τύποι Τηλεσυνδέσεων.....	5
1.4 Κύμανση Madden-Julian	11
1.4.1 Χαρακτηριστικά του MJO.....	12
1.4.2 Παγκόσμιες επιδράσεις της κύμανσης Madden-Julian	16
1.4.3 Στόχος Εργασίας	20
2. Δεδομένα-Μεθοδολογία.....	21
2.1 Δεδομένα	21
2.2 Μεθοδολογία.....	23
2.2.1 Δείκτης RMM	23
3. Ανάλυση	27
3.1. Χειμώνας.....	27
3.1.1 Φάση 1 ^η	27
3.1.2 Φάση 2 ^η	33
3.1.3 Φάση 3 ^η	38
3.1.4 Φάση 4 ^η	43
3.1.5 Φάση 5 ^η	48
3.1.6 Φάση 6 ^η	53
3.1.7 Φάση 7 ^η	58
3.1.8 Φάση 8 ^η	63
3.2 Καλοκαίρι.....	67
3.2.1 Φάση 1 ^η	67
3.2.2 Φάση 2 ^η	72
3.2.3 Φάση 3 ^η	75
3.2.4 Φάση 4 ^η	78
3.2.5 Φάση 5 ^η	82
3.2.6 Φάση 6 ^η	85



3.2.7 Φάση 7 ^η	88
3.2.8 Φάση 8 ^η	92
4. Συμπεράσματα - Συζήτηση.....	96
Βιβλιογραφία	103
Διαδικτυακές πηγές	109
Παράρτημα.....	110
Π.1 Φάση 1^η - Π.1.1 Χειμώνας.....	110
Π.1.2 Καλοκαίρι	112
Π.2 Φάση 2^η - Π.2.1 Χειμώνας.....	114
Π.2.2 Καλοκαίρι	116
Π.3 Φάση 3^η - Π.3.1 Χειμώνας.....	118
Π.3.2 Καλοκαίρι	120
Π.4 Φάση 4^η - Π.4.1 Χειμώνας.....	122
Π.4.2 Καλοκαίρι.....	124
Π.5 Φάση 5^η - Π.5.1 Χειμώνας.....	126
Π.5.2 Καλοκαίρι.....	128
Π.6 Φάση 6^η - Π.6.1 Χειμώνας.....	130
Π.6.2 Καλοκαίρι	132
Π.7 Φάση 7^η - Π.7.1 Χειμώνας.....	134
Π.7.2 Καλοκαίρι	136
Π.8 Φάση 8^η - Π.8.1 Χειμώνας.....	138
Π.8.2 Καλοκαίρι	140

1. Εισαγωγή

Ο καιρός σ' ένα συγκεκριμένο μέρος δεν αποτελεί ένα απομονωμένο φαινόμενο, αλλά είναι στενά συνδεδεμένος με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στις παρακείμενες ή ακόμα και στις απομακρυσμένες περιοχές του πλανήτη. Συχνά οι αποστάσεις που λαμβάνουν χώρα τα διάφορα καιρικά φαινόμενα είναι μεγάλες και μπορεί να καλύπτουν ακόμα και του μισού πλανήτη. Τα φαινόμενα αυτά, ανάλογα με την έκταση που καταλαμβάνουν ταξινομούνται σε κάποια κλίμακα. Οι μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικές διαταραχές συνδέονται σε αξιόλογο βαθμό με τη μεταβλητότητα του κλίματος και χαρακτηρίζονται ως τηλεσυνδέσεις. Αυτές σχετίζονται άμεσα με σημαντικές ανωμαλίες που εμφανίζουν οι κλιματικές παράμετροι τόσο στα συστήματα που εντοπίζονται τοπικά, όσο και στα κέντρα δράσης απομακρυσμένων περιοχών.

1.1 Τηλεσυνδέσεις

Ο όρος «τηλεσύνδεση» (teleconnection) αναφέρεται σ' ένα επαναλαμβανόμενο και επίμονο, μεγάλης κλίμακας χωρικό μοτίβο της ατμόσφαιρας, που συνδέει τις καιρικές και κλιματικές ανωμαλίες μεταξύ μεγάλων αποστάσεων του πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα με βάση τον ορισμό της Αμερικανικής Μετεωρολογικής Εταιρίας (2000), ο όρος αυτός αναφέρεται ως η στατιστικά σημαντική συσχέτιση που παρατηρείται μεταξύ δύο ή περισσότερων περιοχών που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση. Η παρουσία τους σχετίζεται άμεσα με τις διακυμάνσεις που σημειώνονται στις κλιματικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, η βροχόπτωση, ο άνεμος, στα διάφορα γεωδυναμικά ύψη στην ατμόσφαιρα κοκ. Αναφέρονται συχνά και ως χαμηλής συχνότητας μεταβολές, καθώς πρόκειται για ατμοσφαιρικές ανωμαλίες που επιμένουν για μια βδομάδα ή και περισσότερο.

Εμφανίζονται κυρίως σαν προτιμώμενες καταστάσεις της φυσικής μεταβλητότητας της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, με γεωγραφικά καθορισμένα κέντρα δράσης τα οποία δεν παραμένουν σταθερά (Hatzaki, 2007). Σε γενικές γραμμές, τα χαμηλής συχνότητας ατμοσφαιρικά μοτίβα, ταξινομούνται σε δυο τύπους ανάλογα με την κλίμακα χρόνου :

- **Στους μεγάλης χρονικής κλίμακας τύπους**, οι οποίοι πρόκειται για περιόδους μεγαλύτερες των 30 ημερών. Αυτοί χαρακτηρίζονται από διπολικά μοτίβα που επεκτείνονται στις

περιοχές εξόδου του αεροχειμάρρου και φαίνεται να εξασθενούν με την πάροδο του χρόνου. Τα διπολικά πρότυπα τείνουν να αναπτύσσονται με την εξώθηση κινητικής ενέργειας από τις μέσες ροές, και με βάση στατιστικές και εμπειρικές μελέτες παρουσιάζουν ισχυρό σήμα σε ενδοεποχιακή κλίμακα χρόνου.

- **Στους ενδιάμεσης χρονικής κλίμακας τύπους**, δηλαδή σε περιόδους μεταξύ 10 και 30 ημερών. Αυτοί εμφανίζονται ως κυματοειδή μοτίβα. Τα κέντρα δράσης που δημιουργούνται εξαιτίας των καθοδικών κινήσεων παραμένουν σχεδόν σταθερά και συχνά ερμηνεύονται ως η διασπορά ενέργειας των κυμάτων Rossby της ατμόσφαιρας (Hsun and Lin, 1991; Blackmon et al, 1984).

Παρόλο που οι ατμοσφαιρικές αυτές ανωμαλίες μπορεί να επιμένουν για αρκετές εβδομάδες ή και μήνες, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μερικές φορές εμφανίζονται για αλλεπάλληλα έτη, αντικατοπτρίζοντας ένα σημαντικό μέρος της ενδοετήσιας μεταβλητότητας της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Πολλά πρότυπα τηλεσυνδέσεων είναι ακόμα και πλανητικής κλίμακας, και εξαπλώνονται πάνω από τις ωκεάνιες λεκάνες και τις ηπείρους. Η παρουσία της είναι ακόμη πιο έντονη τη χειμερινή περίοδο του βορείου ημισφαιρίου καθώς τότε είναι μέγιστη η ενέργεια των πλανητικών κυμάτων.

Η μελέτη των ταλαντώσεων ατμοσφαιρικής πίεσης σε ημισφαιρική και παγκόσμια κλίμακα, έχει παραπάνω από έναν αιώνα ιστορία σύμφωνα με τους Barry και Carleton (2001). Ο Ångström(1935) ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τον όρο τηλεσύνδεση, προκειμένου να περιγράψει τα πρότυπα των κλιματικών διακυμάνσεων και συγκεκριμένα μελέτησε την ευρέως γνωστή Βορειοατλαντική Κύμανση (North Atlantic Oscillation, NAO). Οι πρώτοι που παρείχαν μια κατανοητή σύνοψη για τους τύπους των τηλεσυνδέσεων ήταν οι Wallace και Gutzler (1981). Οι τελευταίοι μελέτησαν συγκεκριμένα τις μέσες μηνιαίες τιμές της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας και στο πεδίο των γεωδυναμικών υψών στα 500hPa κατά το χειμώνα του Βορείου ημισφαιρίου. Κατά τη δεκαετία του 1980, με τη βελτίωση των κλιματικών δεδομένων σε σταθμούς δόθηκε η δυνατότητα της λεπτομερούς εντόπισης τηλεσυνδέσεων σε μεγαλύτερες αποστάσεις κατά μήκος της ατμόσφαιρας. Έτσι, προτάθηκαν προς μελέτη περισσότερα ατμοσφαιρικά μοτίβα και επομένως έγινε επιτακτική η ανάγκη για συλλογή περαιτέρω δεδομένων παρατηρήσεων καθώς και η ανάλυση νέων μεταβλητών, προκειμένου να συσχετιστούν κατ' αυτόν τον τρόπο συγκεκριμένες παγκόσμιες/περιοχικές κλιματικές ανωμαλίες με τις τηλεσυνδέσεις (Bin et al.,2019).

Στο παρελθόν η μελέτη των χαρακτηριστικών τους αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές χωρικής ανάλυσης (Wallace and Gutzler, 1981; Horel, 1981; Barnston and Livezey, 1987; Mo and Chil, 1987; Kushnir and Wallace, 1989; Rogers, 1990; Cheng and Wallace, 1993) ενώ έχουν βρεθεί και δημοσιεύσεις από χάρτες τηλεσυνδέσεων (Barry and Carleton, 2001). Ωστόσο το επιστημονικό ενδιαφέρον φαίνεται να επικεντρώνεται περισσότερο στους μηχανισμούς γένεσης των τηλεσυνδέσεων οι οποίοι φαίνεται να προέρχονται είτε από εσωτερικές ατμοσφαιρικές διεργασίες είτε από εξωγενείς παράγοντες. Σημαντικό ρόλο στη δημιουργία τους παρουσιάζουν η αλληλεπίδραση στρατόσφαιρας-τροπόσφαιρας, οι συνοπτικής κλίμακας στρόβιλοι, η διάδοση των Rossby κυμάτων στα μέσα γεωγραφικά πλάτη ενώ έχει βρεθεί ότι και η επίδραση των ωκεανών συμβάλλει στην κατανόηση των ατμοσφαιρικών τηλεσυνδέσεων (Hatzaki, 2007).

Τα μοτίβα των κλιματικών ανωμαλιών αντανakλούν σε ευρύτερες αλλαγές στα κύματα της ατμόσφαιρας και στη θέση του αεροχειμάρρου. Συνεπώς, εμφανίζουν έντονες επιδράσεις κυρίως στις τροχιές των υφέσεων, στη θερμοκρασία, στην εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων ακόμα και στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (Oldenborgh et al., 1999). Γι' αυτό το λόγο, έχει αυξηθεί σημαντικά το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για τις τηλεσυνδέσεις τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς η ερμηνεία τους μπορεί να συνεισφέρει στην ανάλυση συγκεκριμένων εποχιακών καταστάσεων καθώς και στη βελτίωση των κλιματικών προβολών στο μέλλον. Συγκεκριμένα, μπορούν να συμβάλλουν στην πρόγνωση του μέσου καιρού που θα αναμένεται μετά από ένα διάστημα συνήθως κάποιων μηνών ή εποχών, αλλά όχι στη μεγάλη εύρους πρόγνωση καιρού.

1.2 Μέθοδοι ανίχνευσης Τηλεσυνδέσεων

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ανάγκη για τη μελέτη και τον εντοπισμό των ατμοσφαιρικών κέντρων ανωμαλίας, οδήγησε στην ανάπτυξη διάφορων μεθόδων καθορισμού των τηλεσυνδέσεων. Τα μοτίβα ανωμαλιών γίνονται αντιληπτά μέσω των μεταβολών που εντοπίζονται στις κλιματικές παραμέτρους όπως στην πίεση της επιφάνειας της θάλασσας, στη θερμοκρασία, στα γεωδυναμικά ύψη στα διάφορα επίπεδα της ατμόσφαιρας κ.ο.κ. Ποικίλουν οι τεχνικές με τις οποίες αναγνωρίζονται αυτά τα μοτίβα, με τις πιο διαδεδομένες να αναλύονται παρακάτω.

Ο πιο συχνός, εμπειρικός και στατιστικός τρόπος ανίχνευσης αυτών, αποτελεί η μέθοδος ανάλυσης συσχετίσεων, κατά την οποία άλλωστε προκύπτει και ο όρος «τηλεσύνδεση». Με βάση τη μέθοδο αυτή, υπολογίζονται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των κλιματικών/μετεωρολογικών παραμέτρων ανάμεσα σε όλα τα σημεία του πλέγματος ή των μετεωρολογικών σταθμών των δυο γεωγραφικά απομακρυσμένων περιοχών (Barnston και Livezey, 1987). Οι υψηλότεροι συντελεστές που προκύπτουν είτε είναι θετικοί είτε αρνητικοί, υποδεικνύουν τα κέντρα της τηλεσύνδεσης. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή μειονεκτεί, καθώς δεν παρέχει έναν αντικειμενικό τρόπο καθορισμού των κέντρων δράσης και επίσης απαιτεί μεγάλο υπολογιστικό χρόνο (Χατζάκη, 2008).

Η Ανάλυση των Ορθογώνιων Εμπειρικών Συναρτήσεων (Empirical Orthogonal Analysis, EOF) ή αλλιώς η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (Principal Component Analysis-PCA; Von Storch και Navarra, 1999) αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες στατιστικές μεθόδους στην κλιματολογία και τη μετεωρολογία. Δίνει τη δυνατότητα μείωσης της διάστασης ενός συνόλου μεταβλητών, απομακρύνοντας το θόρυβο και διατηρώντας παράλληλα τις περισσότερες πληροφορίες που εμπεριέχονται στις αρχικές μεταβλητές, αποσκοπώντας στη μελέτη μόνο των παραμέτρων που αντιπροσωπεύουν το ευρύτερο σύνολο.

Παρόμοια μέθοδο αποτελεί η Ανάλυση των Ορθογώνιων Εμπειρικών Συναρτήσεων με περιστροφή (Rotated Empirical Orthogonal Analysis, REOF), συχνά αποκαλούμενη ως varimax περιστροφή. Η τελευταία χρησιμοποιεί ένα γραμμικό μετασχηματισμό των «μη-περιστρεφόμενων» EOFs (Horel 1981; Barnston and Livezey 1987). Στόχος αυτής της μεθόδου είναι να ελαχιστοποιηθεί η πολυπλοκότητα, καθιστώντας τις μεγάλες φορτίσεις μεγαλύτερες και τις μικρές, μικρότερες. Για τη διεκπεραίωση αυτής της μεθόδου, αρχικά πραγματοποιείται ανάλυση EOF και στη συνέχεια επιλέγεται ένα υποσύνολο το οποίο υποβάλλεται σε περιστροφή varimax (Von Storch and Zwiers 1999). Αποτέλεσμα αυτής της τεχνικής είναι ότι προκύπτουν στατιστικά σταθερά πεδία στα οποία μπορεί πιο εύκολα να δοθεί κάποια φυσική ερμηνεία. Επίσης ευρέως εφαρμόζεται η Ανάλυση Κανονικών Συσχετίσεων (Canonical Correlation Analysis-CCA; Wallace et al., 1992).

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και πιο σύγχρονες μέθοδοι οι οποίες συμπεριλαμβάνουν την ανάλυση πλέγματος (cluster analysis) σε παγκόσμια κλίμακα. Μια ευρέως γνωστή τεχνική αποτελούν οι Αυτοοργανούμενοι Χάρτες (Self Organizing Maps, SOM

or Kohonen maps) οι οποίοι είναι ένα είδος Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων. Με την ανάλυση SOM τα μοτίβα αναπαρίστανται ακόμα πιο ρεαλιστικά σε σχέση με τη REOF μέθοδο, καθώς αυτά που εμφανίζουν μεγαλύτερες ομοιότητες οργανώνονται και τοποθετούνται πιο κοντά απ' ό,τι με τα υπόλοιπα στο πλέγμα (Rousi et al., 2015). Μέσω αυτών των μεθόδων και πολλών ακόμα, έχουν εντοπιστεί μέχρι σήμερα τα διάφορα μοτίβα τηλεσυνδέσεων.

1.3 Γνωστοί τύποι Τηλεσυνδέσεων

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται ποικίλα πρότυπα ατμοσφαιρικών ανωμαλιών. Παρακάτω ακολουθεί ανάλυση των πιο γνωστών τύπων τηλεσύνδεσης.

Μια από τις πιο γνωστές ατμοσφαιρικές ανωμαλίες της ατμόσφαιρας είναι η Νότια Ταλάντωση (Southern Oscillation-SO) η οποία σχετίζεται με το φαινόμενο El Niño και αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως ENSO. Πρόκειται για μια κύμανση η οποία αφορά την αλληλεπίδραση ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και την ωκεάνια επιφάνεια και επηρεάζει την ετήσια και εποχιακή μεταβλητότητα τόσο του καιρού, όσο και του κλίματος σε όλο τον κόσμο και ειδικότερα στον Ειρηνικό, τον Ατλαντικό και τον Ινδικό Ωκεανό. Παρατηρείται στην Τροπική και Ισημερινή ζώνη και εκτείνεται μεταξύ των ανατολικών ακτών της Αυστραλίας και της δυτικής Νότιας Αμερικής και του Περού. Ο Walker το 1923 ήταν ο πρώτος ο οποίος περιέγραψε τη συγκεκριμένη κύμανση. Ο τελευταίος, εντόπισε δυο σταθμούς, του Darwin στην Αυστραλία και του νησιού της Ταϊτής, οι οποίοι περιείχαν δεδομένα καταγραφών 100 χρόνων. Ύστερα από τη διεκπεραίωση της μελέτης του έδειξε ότι οι 2 αυτοί σταθμοί εμφανίζουν σημαντική συσχέτιση μεταξύ τους. Υπο κανονικές συνθήκες, εξαιτίας των θερμών υδάτων που χαρακτηρίζουν την περιοχή του δυτικού Ειρηνικού, ο αέρας θερμαίνεται και υφίσταται ανοδικές κινήσεις. Συνεπώς, δημιουργούνται νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης και κατ' επέκταση καταιγίδες, που συντελούν στη δημιουργία ενός κέντρου χαμηλών πιέσεων. Αντίθετα, στην περιοχή του ανατολικού Ειρηνικού, η θερμοκρασία των υδάτων είναι αρκετά χαμηλότερη και επομένως ο αέρας που βρίσκεται σ' επαφή με την επιφάνεια της θάλασσας ψύχεται. Επομένως ευνοούνται οι καθοδικές κινήσεις στην περιοχή αυτή, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη υψηλών πιέσεων και στην απουσία βροχόπτωσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα δυο αυτά κέντρα δράσης δημιουργούν μια κλειστή κυκλοφορία αέρα, η οποία είναι γνωστή ως κυκλοφορία Walker.

Κατά την τελευταία, οι επιφανειακοί αληγείς άνεμοι που πνέουν από τα ανατολικά προς τα δυτικά ανέρχονται και επιστρέφουν με καθοδικές κινήσεις ως ανώτεροι δυτικοί άνεμοι στις δυτικές ακτές της Νότιας Αμερικής. Όταν η κυκλοφορία Walker εξασθενεί παρατηρούνται χαμηλές πιέσεις πάνω από τον ανατολικό Ειρηνικό και υψηλές πάνω από το δυτικό Ειρηνικό. Αυτή είναι η Νότια Κύμανση και συνδέεται με το φαινόμενο El Niño, το οποίο χαρακτηρίζεται από αντιστροφή της κατάστασης στη θερμοκρασία των υδάτων του ωκεανού. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα κατά μέσο όρο κάθε τέσσερα χρόνια και οι επιπτώσεις του συνήθως είναι καταστροφικές ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις. Αντίθετα, η ενίσχυση της κυκλοφορίας του Walker προκαλεί ανωμαλία La niña η οποία έχει ως αποτέλεσμα ψυχρότερες θερμοκρασίες στον ωκεανό (Rousi, 2015).

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποια από τα κύρια πρότυπα τηλεσύνδεσης τα οποία επηρεάζουν την ατμοσφαιρική κυκλοφορία ολόκληρου του πλανήτη :

- **Κύμανση Βορείου Ατλαντικού** (North Atlantic Oscillation-NAO), η οποία αρχικά αναγνωρίστηκε από τους Walker και Bliss (1932). Πρόκειται για μια μεσημβρινή ταλάντωση μεγάλης κλίμακας η οποία υπολογίζεται από τη διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ του χαμηλού κέντρου πιέσεων στην περιοχή της Ισλανδίας και του εκτεταμένου υψηλού περίπου πάνω από την περιοχή των Αζορών. Κατά τη θετική φάση του δείκτη, παρατηρείται μεγάλη βαροβαθμίδα μεταξύ των δυο κέντρων κατά τη χειμερινή περίοδο. Τα αποτελέσματα αυτής της κατάστασης είναι η επικράτηση ψυχρών συνθηκών στο Βορειοδυτικό Ατλαντικό, αύξηση των θερμοκρασιών και των βροχοπτώσεων στη βόρεια Ευρώπη, καθώς και χαμηλές θερμοκρασίες και ξηρασία στη Μέση Ανατολή και τη Μεσόγειο. Από την άλλη, η αρνητική φάση χαρακτηρίζεται από την εξασθένιση των δυο κέντρων δράσης και συνεπώς παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες και έντονη ξηρασία στη Βόρεια Ευρώπη και αύξηση της θερμοκρασίας και υγρασία στη Μεσόγειο.
- **Κύμανση Σκανδιναβίας** (Scandinavia Pattern). Η τηλεσύνδεση αυτή αναφέρεται για πρώτη φορά από τους Barnston και Livezey το 1987, οι οποίοι εντόπισαν ένα βασικό κέντρο κυκλοφορίας πάνω από τη Σκανδιναβία και άλλα κέντρα αντίθετου σήματος και όχι τόσο ισχυρά πάνω από την ανατολική Ρωσία/ δυτική Μογγολία και τη δυτική Ευρώπη. Η θετική φάση αυτής της κύμανσης σχετίζεται με την ύπαρξη θετικών ανωμαλιών στο πεδίο των γεωδυναμικών υψών, που συχνά αναπαρίστανται ως αντικυκλώνες εμποδισμού πάνω από

τη Σκανδιναβία και τη δυτική Ρωσία. Κατά την αρνητική φάση παρατηρούνται αντίθετες ανωμαλίες στα γεωδυναμικά ύψη πάνω από τις αντίστοιχες περιοχές.

- **Κύμανση Polar/Eurasia** (Polar/Eurasia Pattern). Η τηλεσύνδεση αυτή εμφανίζεται όλες τις εποχές του έτους. Κατά τη θετική φάση του δείκτη παρατηρούνται αρνητικές ανωμαλίες στο πεδίο των γεωδυναμικών υψών πάνω από την πολική περιοχή, και θετικές πάνω από τη βόρεια Κίνα και τη Μογγολία. Αυτό το μοτίβο σχετίζεται με διακυμάνσεις στην ένταση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας πάνω από τον βόρειο πόλο, με τη θετική φάση να αναπαρίσταται μ' έναν ενισχυμένο πολικό στρόβιλο, του οποίου οι τιμές των αρνητικών ανωμαλιών είναι μικρότερες από τη μέση τιμή. Κατά τη διάρκεια της αρνητικής φάσης επικρατούν αντίθετες ανωμαλίες και επομένως ο πολικός στρόβιλος είναι πιο ασθενής. Η κύμανση αυτή σχετίζεται με υψηλότερες της μέσης τιμής θερμοκρασίες στη ανατολική Σιβηρία και μικρότερες στην ανατολική Κίνα, καθώς και με υψηλότερα των κανονικών ποσά βροχόπτωσης στην πολική περιοχή βόρεια της Σκανδιναβίας.
- **Κύμανση Ειρηνικού - Βορείου Αμερικής** (Pacific-North American Pattern- PNA; Walker και Bliss,1932; Barnston και Livezey,1987). Ο δείκτης αυτός προκύπτει από τα αποτελέσματα συσχέτισης των κέντρων του υψηλού του βόρειου Ειρηνικού και του χαμηλού στις Αλεούτιες νήσους. Οι σημαντικότερες ανωμαλίες εντοπίζονται κατά τη χειμερινή περίοδο και η τηλεσύνδεση αυτή σχετίζεται με ισχυρές διακυμάνσεις στην ένταση και στη θέση του αεροχειμάρρου. Η θετική (αρνητική) φάση συνδέεται με την εμφάνιση χαμηλότερων (υψηλότερων) του κανονικού πιέσεων πάνω από τις Αλεούτιες νήσους και τις νοτιοδυτικές ΗΠΑ, και υψηλότερα (χαμηλότερα) του κανονικού γεωδυναμικά ύψη στη βόρεια Αμερική.
- **Κύμανση Ανατολικού Ατλαντικού–Δυτικής Ρωσίας** (East Atlantic-Western Russia/ Eurasia-2 Pattern), η οποία εντοπίστηκε αρχικά από τον Horel (1981). Η τηλεσύνδεση αυτή εμφανίζει τετραπολική δομή. Κατά τη θετική φάση του δείκτη, καταγράφονται θετικές ανωμαλίες των γεωδυναμικών υψών πάνω από τη δυτική Ευρώπη και τη βόρεια Κίνα και αρνητικές πάνω από τον κεντρικό-βόρειο Ατλαντικό και από την περιοχή βόρεια της Κασπίας θάλασσας. Από τα δεδομένα των χρονοσειρών αυτής της τηλεσύνδεσης διαπιστώνεται σημαντική υπερετήσια (interannual) και υπερεποχιακή (interseasonal) μεταβλητότητα.
- **Κύμανση Ανατολικού Ατλαντικού** (East-Atlantic Pattern-EA; Wallace και Gutzler,1984; Barnston και Livezey,1987). Χαρακτηρίζεται από μια διπολική δομή η οποία μοιάζει πολύ με τη Βορειοατλαντική Κύμανση καθώς έχει και αυτή διεύθυνση Βορρά-Νότου. Η διαφορά

τους έγκειται στο γεγονός ότι τα κέντρα δράσης του EA pattern φαίνεται να είναι μετατοπισμένα προς τα νοτιοανατολικά. Κατά τη θετική φάση, σημειώνονται υψηλότερες των μέσων τιμών θερμοκρασίες στην Ευρώπη και χαμηλότερες στις νότιες ΗΠΑ την περίοδο Ιανουαρίου- Μαΐου και στις κεντρικές και βόρειες ΗΠΑ τους μήνες Ιούλιο-Οκτώβριο. Ακόμα, συνδέεται με υψηλά ποσά βροχόπτωσης στη βόρεια Ευρώπη και τη Σκανδιναβία και συνθήκες ξηρασίας στη νότια Ευρώπη και τη Μεσόγειο.

- **Κύμανση Δυτικού Ειρηνικού (West Pacific Pattern).** Η τηλεσύνδεση αυτή αρχικά μελετήθηκε από τους Wallace και Gutzler (1981) και στη συνέχεια από τους Barnston και Livezey (1987). Λαμβάνει χώρα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ωστόσο εντοπίζεται ευκολότερα κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης όπου διακρίνεται ένα δίπολο αντίθετων ανωμαλιών το οποίο έχει διεύθυνση βορρά-νότου. Το ένα κέντρο του διπόλου βρίσκεται πάνω από τη χερσόνησο Καμτσάκας και το άλλο επεκτείνεται πάνω από τις περιοχές της νοτιοανατολικής Ασίας και του δυτικού υποτροπικού Ειρηνικού. Η θετική φάση χαρακτηρίζεται από υψηλότερες της μέσης τιμής θερμοκρασίες πάνω από τα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη του δυτικού βόρειου Ειρηνικού τόσο τη χειμερινή όσο και την εαρινή περίοδο, και χαμηλότερες θερμοκρασίες πάνω από την ανατολική Σιβηρία όλες τις εποχές. Επίσης, συνοδεύεται από μεγαλύτερα του μέσου όρου ποσά βροχόπτωσης όλη τη διάρκεια του έτους στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη του βόρειου Ειρηνικού και μικρότερα κατά μήκος του κεντρικού Ειρηνικού κυρίως το χειμώνα και την άνοιξη.
- **Κύμανση Madden-Julian (Madden-Julian Oscillation).** Πρόκειται για μια ατμοσφαιρική διαταραχή που λαμβάνει χώρα στην Τροπική Ζώνη και συγκεκριμένα ανάμεσα στη Σιγκαπούρη και τη νήσο Καντών. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της συγκεκριμένης κύμανσης σε επόμενο υποκεφάλαιο καθώς μελετάται στην παρούσα διπλωματική.
- **Βόρειας Θάλασσας-Κασπίας (North Sea-Caspian Pattern),** η οποία αναγνωρίστηκε αρχικά από τους Kutiel και Benaroch (2002). Η τηλεσύνδεση NCP εντοπίζεται μεταξύ της Βόρειας Θάλασσας και της περιοχής βόρεια της Κασπίας και είναι πιο εμφανής κατά την ψυχρή περίοδο, στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa. Θεωρείται ότι η αρνητική φάση του δείκτη σχετίζεται με γεγονότα μειωμένων βροχοπτώσεων και αυξημένων θερμοκρασιών στις περιοχές της δυτικής Τουρκίας, των Βαλκανίων και της Μέσης Ανατολής. Αντίθετα κατά τη θετική φάση, παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας και αύξηση του ποσού βροχόπτωσης στις αντίστοιχες περιοχές. Η ουδέτερη φάση δεν εμφανίζει κάποια ανωμαλία.

- **Αρκτική Κύμανση** (Arctic Oscillation-AO; Lorenz,1950) ή Δακτυλιοειδής Κύμανση Βορείου ημισφαιρίου (Northern Annular Mode-NAM). Η τηλεσύνδεση AO σχετίζεται με ανωμαλίες της πίεσης στην Αρκτική και ανωμαλίες αντίθετου σήματος στα μέσα γεωγραφικά πλάτη (37° - 45° N). Η θετική (αρνητική) φάση, χαρακτηρίζεται από χαμηλές (υψηλές) σχετικά πιέσεις πάνω από την περιοχή της Αρκτικής και σχετικά πιο υψηλές (χαμηλές) στα μέσα γεωγραφικά πλάτη.
- **Ανταρκτική Κύμανση** (Antarctic Oscillation-AA) ή Δακτυλιοειδής Κύμανση Νοτίου ημισφαιρίου (Southern Annular Mode-SAM). Είναι το κυρίαρχο μοτίβο κλιματικής μεταβλητότητας στο Νότιο ημισφαίριο. Όπως και στην Αρκτική κύμανση (AO), έτσι και σ' αυτήν κατά τη θετική φάση παρατηρούνται χαμηλές πιέσεις στην πολική περιοχή και υψηλότερες στα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Αντίθετες ανωμαλίες παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της αρνητικής φάσης.
- **Κύμανση Τροπικών/Βορείου Ημισφαιρίου** (Tropical/Northern Hemisphere-TNH). Η κύμανση αυτή αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τους Mo και Livezey (1986). Φαίνεται να είναι επικρατέστερη τη χειμερινή περίοδο και συγκεκριμένα από το Δεκέμβριο ως το Φεβρουάριο. Συνίσταται από ένα κύριο κέντρο ανωμαλιών το οποίο εκτείνεται πάνω από τον κόλπο της Αλάσκας και ένα άλλο κέντρο αντίθετου σήματος πάνω από τον κόλπο Χάντσον. Μια ασθενέστερη ανωμαλία παρόμοια με αυτή του κόλπου της Αλάσκας εξαπλώνεται κατά μήκος του Μεξικού και στα νοτιοανατολικά των ΗΠΑ. Η θετική φάση του TNH δείκτη σχετίζεται με αρνητικές ανωμαλίες στο πεδίο της θερμοκρασίας στις δυτικές και κεντρικές ΗΠΑ καθώς και στον ανατολικό Καναδά. Επίσης συνοδεύεται από έντονες βροχοπτώσεις, μεγαλύτερες της μέσης τιμής, κατά μήκος του υποτροπικού, κεντρικού και ανατολικού Ειρηνικού και ασθενέστερες βροχοπτώσεις στις περιοχές δυτικά των ΗΠΑ, κατά μήκος της Κούβας και του κεντρικού βόρειου Ατλαντικού.
- **Μεσογειακή Κύμανση** (Mediterranean Oscillation-MO). Σύμφωνα με τους Conte et al. (1989), πρόκειται για τον εντοπισμό διαφορών στις τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας μεταξύ δυο κέντρων δράσης στην ανατολική και τη δυτική Μεσόγειο. Πιο συγκεκριμένα, το ένα κέντρο τοποθετείται στο Κάιρο και το άλλο στο Αλγέρι. Κατά τη θετική φάση σημειώνονται υψηλότερες από τη μέση τιμή πιέσεις στη δυτική Μεσόγειο και χαμηλότερες στην ανατολική, ενώ κατά την αρνητική φάση παρατηρούνται αντίθετες ανωμαλίες.

- **Κύμανση Ανατολικής Μεσογείου** (Eastern Mediterranean Pattern-EMP; Hatzaki et al., 2007).

Πρόκειται για την τηλεσύνδεση μεταξύ της ανατολικής Μεσογείου και του βορειοανατολικού Ατλαντικού η οποία εντοπίζεται στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa και 300 hPa κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο. Η θετική φάση χαρακτηρίζεται από θετικές ανωμαλίες στην περιοχή του Ατλαντικού και αρνητικές πάνω από την ανατολική Μεσόγειο. Η κατάσταση αυτή ενισχύει τη μεσημβρινή κυκλοφορία με αποτέλεσμα να μεταφέρεται ψυχρός αέρας στην Ευρώπη. Αντίθετα, η αρνητική φάση συνοδεύεται από έντονη κυκλωνική ανωμαλία πάνω από τον Ατλαντικό και αντικυκλωνική πάνω από τη Μεσόγειο ενισχύοντας τη ζωνική κυκλοφορία.

- **Κύμανση Pacific Transition** (Pacific Transition Pattern-PT). Είναι μια ατμοσφαιρική κυκλοφορία η οποία λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια του Αυγούστου-Σεπτεμβρίου. Στην κύμανση αυτή παρατηρούνται ανωμαλίες στο γεωδυναμικό ύψος των 500 hPa οι οποίες εκτείνονται κατά μήκος του κεντρικού υποτροπικού βόρειου Ειρηνικού μέχρι τα ανατολικά των ΗΠΑ. Κατά τη θετική φάση παρατηρούνται μεγαλύτερα των κανονικών γεωδυναμικά ύψη πάνω από τη δυτική Χαβάη και κατά μήκος της βόρειας Αμερικής μικρότερα στην άλλη μεριά του διπόλου πάνω από τον κόλπο της Αλάσκας και στα νοτιοανατολικά των ΗΠΑ.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως τα διάφορα μοτίβα που δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα πάνω από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές μπορούν να επηρεάσουν της ατμοσφαιρική κυκλοφορία σε ευρύτερη κλίμακα και επομένως καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την κλιματική μεταβλητότητα του πλανήτη. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε μια συγκεκριμένη ατμοσφαιρική διαταραχή, την Madden-Julian Κύμανση, η οποία εξαπλώνεται στην Τροπική Ζώνη. Παρακάτω ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της συγκεκριμένης κύμανσης.

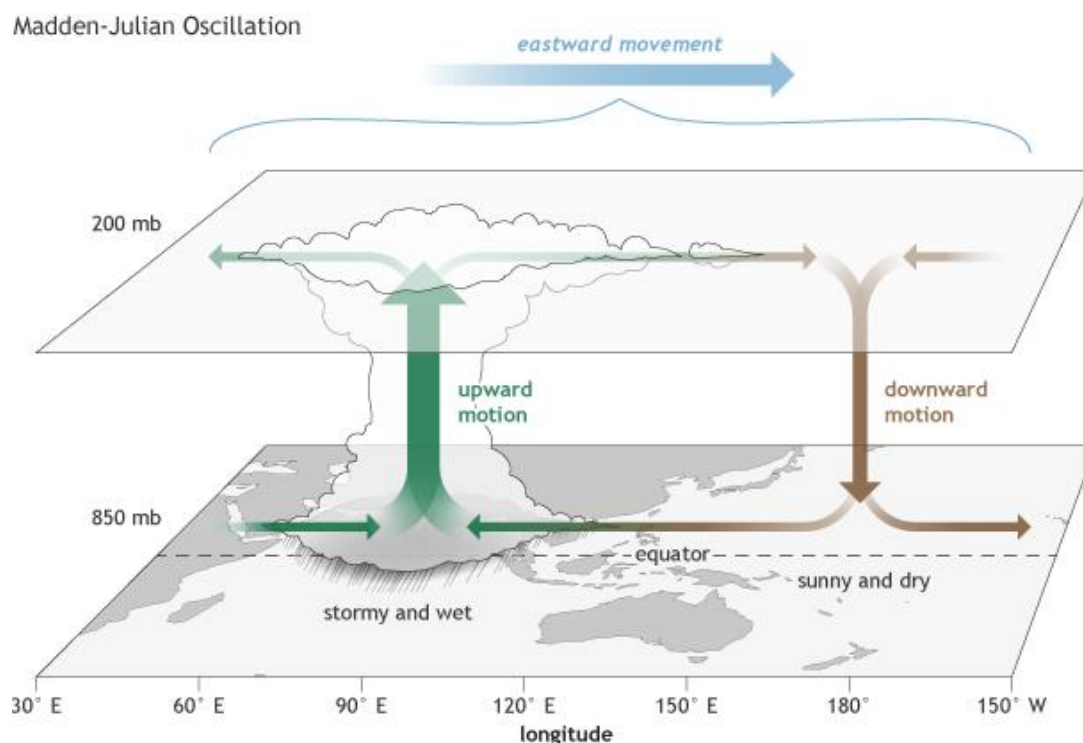
1.4 Κύμανση Madden-Julian

Η Madden-Julian ταλάντωση (Madden-Julian oscillation, MJO), είναι το κυρίαρχο πρότυπο ενδοεποχιακής διακύμανσης στην Τροπική ζώνη και βασίζεται στην αλληλεπίδραση του συστήματος ωκεανού-ατμόσφαιρας. Αποτελείται από μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικά μοτίβα και χαρακτηρίζεται από έντονη ανωμεταφορά (deep convection), η οποία συμβάλλει στη μεταβολή της πίεσης, της βροχόπτωσης, των ανέμων καθώς και άλλων παραμέτρων. Η MJO κύμανση διαδίδεται προς τα ανατολικά κατά μήκος του ισημερινού Ινδικού και δυτικού/κεντρικού ωκεανού, με μέση ταχύτητα περίπου 5m/sec. Αφού ολοκληρώσει έναν παγκόσμιο κύκλο στη ζώνη των Τροπικών, επιστρέφει στην αρχική της θέση σε περίοδο 30-90 ημέρες περίπου. Αυτό το φαινόμενο αναφέρθηκε για πρώτη φορά από τους Roland Madden και Paul Julian στην αρχή της δεκαετίας του '70 οι οποίοι μελετούσαν τους τροπικούς ανέμους σε σχέση με τα κέντρα δράσης τους. Στη συνέχεια κίνησε το ενδιαφέρον πολλών επιστημόνων της ωκεανογραφίας και της ατμόσφαιρας σε ολόκληρο τον κόσμο (Gottschalk J. et al., 2010).

Η Madden-Julian κύμανση αποτελεί αντικείμενο έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιώντας είτε πραγματικά δεδομένα σταθμών, είτε με την εφαρμογή κλιματικών μοντέλων. Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών αποδεικνύουν ότι η MJO επιφέρει πολυάριθμες επιπτώσεις τόσο στον καιρό όσο και στο κλίμα του πλανήτη. Αναλυτικότερα, μπορεί να επιδράσει στη μεταβλητότητα της βροχόπτωσης πάνω από τα νησιά του Ειρηνικού, στις περιοχές της Ασίας που επηρεάζονται από τους μουσσώνες, στην Αυστραλία, στις δυτικές ακτές της νοτίου Αμερικής και στην Αφρική. Ωστόσο, η επίδραση της δεν περιορίζεται μόνο στους τροπικούς αλλά επεκτείνεται και σε ευρύτερες περιοχές (Zheng and Chang, 2019). Επίσης, καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την πλανητικής κλίμακας ατμοσφαιρική κυκλοφορία και την αλληλεπίδραση της με τις δραστηριότητες μέσης κλίμακας. Επομένως μπορεί να συμβάλλει στη διακύμανση και άλλων τηλεσυνδέσεων όπως για παράδειγμα του ENSO. Αυτό ωστόσο, δε συνεπάγεται ότι είναι το μοναδικό στοιχείο που επηρεάζει την ενδοεποχιακή κύμανση στην περιοχή των Τροπικών.

1.4.1 Χαρακτηριστικά του MJO

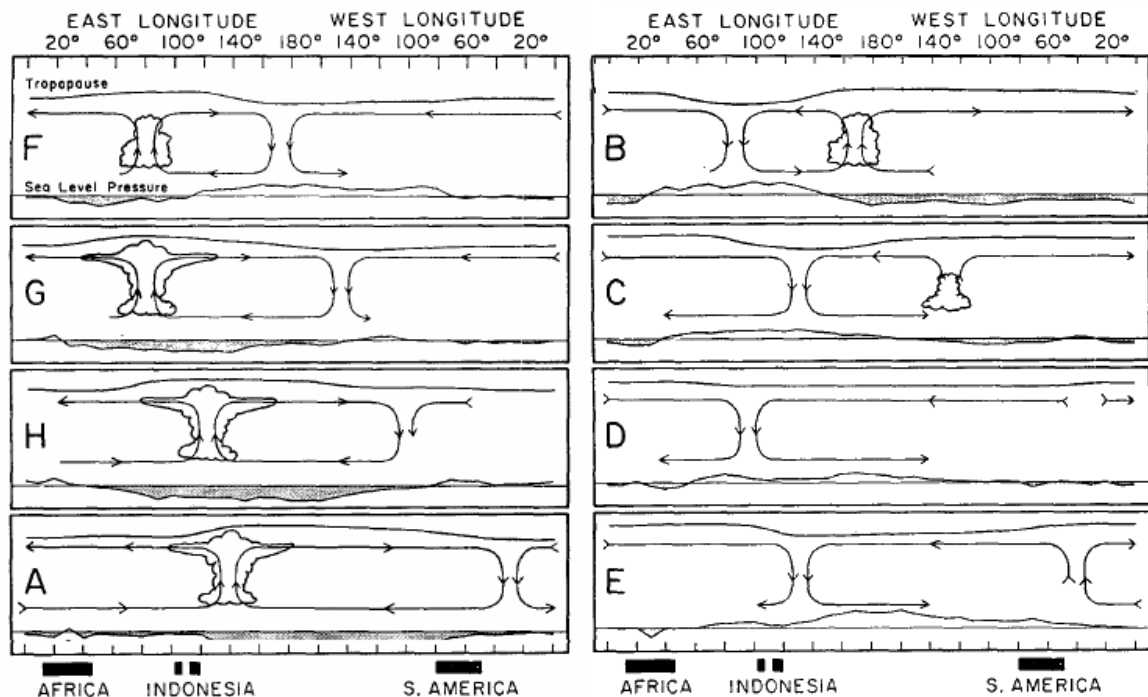
Η κύμανση Madden-Julian όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, εντοπίζεται από τη συνεχή διάδοση ατμοσφαιρικών ανωμαλιών μεγάλης κλίμακας στην περιοχή του ισημερινού Ινδικού και δυτικού Ειρηνικού ωκεανού, με κατεύθυνση προς τα ανατολικά (Εικόνα 1.4.1.1). Κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του MJO παρατηρείται ένα «δίπολο» το οποίο καθορίζεται από ανωμαλίες αντίθετου σήματος. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζονται περιοχές στις οποίες επικρατούν ισχυρές ανοδικές κινήσεις που συνδέονται με βροχοπτώσεις που ξεπερνούν τη μέση τιμή, χαρακτηρίζοντας έτσι την υγρή φάση του δείκτη ("active phase"). Οι περιοχές αυτές συνοδεύονται τόσο από τα ανατολικά όσο και από τα δυτικά από άλλες με ασθενή ανωμεταφορά, ελάχιστα ποσά βροχοπτώσης (μικρότερα από τη μέση τιμή), σηματοδοτώντας τη ξηρή φάση του δείκτη ("inactive" ή "suppressed phase"). Οι δυο αυτές φάσεις της κύμανσης MJO μπορούν να συνυπάρχουν αν και τα δυο κέντρα δράσης είναι ασθενή, δηλαδή αν το ένα αρχίζει να δημιουργείται πάνω από τον Ινδικό και το άλλο είναι στο στάδιο αποσύνθεσης στον Ειρηνικό ωκεανό (Wheeler and Hendon, 2004). Τέλος, συνδέονται μεταξύ τους μέσω ανατρεπόμενων ζωνικών κυκλοφοριών που εκτείνονται κατακόρυφα από την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι την τροπόσφαιρα (Zhang, 2005).



Εικόνα 1. 1 Κύμανση Madden-Julian (Juan Antonio Palma Solís, 2019).

Ανάλογα με την ένταση και τη χρονική στιγμή που λαμβάνουν χώρα τα φαινόμενα εξαιτίας αυτών των μοτίβων, ο δείκτης διακρίνεται σε ευρύτερες φάσεις (Εικόνα 1.4.2.2, www.metoffice.gov):

- **Φάση 1^η** : Διακρίνεται από την ενίσχυση των ανοδικών κινήσεων και επομένως από την εμφάνιση έντονων βροχοπτώσεων πάνω από το δυτικό Ινδικό ωκεανό (Εικόνα 1.2, F).
- **Φάση 2^η και 3^η** : Το ενισχυμένο σύστημα ανοδικών κινήσεων κινείται προς τα ανατολικά με αργούς ρυθμούς, πάνω από την Αφρική, τον Ινδικό ωκεανό και την Ινδική χερσόνησο (Εικόνα 1.2, G, H).
- **Φάση 4^η και 5^η** : Το σύστημα αρνητικών ανωμαλιών φτάνει πάνω από τη Θάλασσα περιοχή της Ινδονησίας και το δυτικό Ειρηνικό (Εικόνα 1.2, A, B).
- **Φάση 6^η, 7^η και 8^η** : Οι έντονες βροχοπτώσεις συνεχίζουν να κινούνται προς τα ανατολικά , προς το δυτικό Ειρηνικό μέχρι που εξασθενούν περίπου στο κέντρο του Ειρηνικού ωκεανού (Εικόνα 1.2, C, D, E).
- Ξεκινά ο επόμενος κύκλος MJO.



Εικόνα 1.3 Σχηματική αναπαράσταση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και της ανωμεταφοράς της Madden-Julian κύμανσης κατά τη διάρκεια των 8 φάσεων (Madden and Julian, 1972).

Η κύμανση Madden-Julian εμφανίζει κάποια ιδιαίτερα γνωρίσματα όπως για παράδειγμα η ενδοεποχιακή περιοδικότητα, ο εποχιακός κύκλος, η γεωγραφική προτίμηση,

η διακριτή δομή της σε πολλαπλά επίπεδα και πολλά ακόμα. Ο συνδυασμός των παραπάνω, κάνει τη συγκεκριμένη ατμοσφαιρική ανωμαλία να διαφέρει από τα άλλα ενδοεποχιακά φαινόμενα στους τροπικούς. Κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά της κύμανσης MJO αναλύονται παρακάτω.

I. Ενδοεποχιακή περιοδικότητα (Intraseasonal period)

Η Madden-Julian ατμοσφαιρική διαταραχή, έχει διάρκεια περιόδου περίπου 30-100 μέρες. Παρόλο που αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως «ταλάντωση», δεν ταλαντώνεται κανονικά. Θεωρείται μια εξαιρετικά επεισοδιακή ή διακριτή κύμανση (Salby and Hendon, 1994). Το εύρος της περιόδου που κυριαρχεί (30-100 μέρες) υποδηλώνει την ύπαρξη ενός μεσοδιαστήματος μεταξύ των δυο διαδοχικών γεγονότων, το οποίο είναι ανώμαλο και οι ταχύτητες διάδοσης των δυο συμβάντων μπορεί να διαφέρουν. Η κύμανση υπόκειται σ' έναν εποχιακό κύκλο και σε ενδοετήσιες μεταβολές εμφανίζοντας υψηλότερες συχνότητες κάποιες φορές απ' ότι άλλες.

II. Εποχιακός κύκλος (Seasonal cycle)

Ο ισχυρός εποχιακός κύκλος στον οποίο υπόκειται η MJO, επιδρά τόσο στην ένταση όσο και στη γεωγραφική θέση της κύμανσης. Η πρώτη περίοδος που εμφανίζει μέγιστες τιμές ανωμαλιών είναι το καλοκαίρι/φθινόπωρο της Αυστραλίας, όπου τα ισχυρότερα σήματα της κύμανσης εντοπίζονται νότια του ισημερινού. Αντίθετα η δεύτερη περίοδος αιχμής (peak season) παρατηρείται κατά το καλοκαίρι του βορείου ημισφαιρίου με τα ισχυρότερα σήματα να εμφανίζονται πάνω από τον ισημερινό. Η πρώτη περίοδος σχετίζεται με τους καλοκαιρινούς μουσώνες της Αυστραλίας ενώ η δεύτερη με τους καλοκαιρινούς μουσώνες της Ασίας (Lawrence and Webster, 2002). Αυτή η εποχιακή μετατόπιση της κύμανσης κατά γεωγραφικό πλάτος, είναι πιο έντονη στο δυτικό Ειρηνικό παρά στον Ινδικό ωκεανό. Στη στενή ζώνη (5°N - 5°S) ο εποχιακός κύκλος της MJO εμφανίζει ένα μόνο μέγιστο κατά το αυστραλιανό καλοκαίρι/ φθινόπωρο, ενώ στον ανατολικό Ειρηνικό εμφανίζεται ένα μόνο ξεχωριστό μέγιστο κατά το καλοκαίρι του βορείου ημισφαιρίου.

III. Γεωγραφική προτίμηση (Geographical preference)

Τα ισχυρά σήματα ανωμεταφοράς της Madden-Julian κύμανσης περιορίζονται στην περιοχή του Ινδικού και δυτικού Ειρηνικού ωκεανού. Αυτό οφείλεται στην έντονη αστάθεια

κέντρων δράσης προς τα δυτικά. Ακριβώς μπροστά από το κέντρο δράσης (στα ανατολικά), εντοπίζονται θετικές ανωμαλίες στο πεδίο της υγρασίας, απόκλιση των ανέμων στα κατώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας η οποία συνοδεύεται από καθοδικές κινήσεις. Αντίθετα, πίσω από το κέντρο ανωμεταφοράς (στα δυτικά) επικρατούν αρνητικές ανωμαλίες στο πεδίο της υγρασίας και ενισχυμένες ανοδικές κινήσεις. Αυτή ζωνική ασυμμετρία, δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την δημιουργία νέων συστημάτων κατακόρυφης ανάπτυξης στα ανατολικά των ήδη υπάρχοντων, και αποδυναμώνει την ανάπτυξη στα δυτικά ωθώντας κατά αυτό τον τρόπο τη διάδοση της κύμανσης προς τα ανατολικά.

1.4.2 Παγκόσμιες επιδράσεις της κύμανσης Madden-Julian

Η ατμοσφαιρική κύμανση Madden-Julian, μετά από πολυάριθμες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν, αποδεικνύεται ότι επηρεάζει σημαντικά παγκοσμίως τόσο τον καιρό όσο και το κλίμα του πλανήτη μέσω δύο μηχανισμών. Ο πρώτος είναι άμεσος, και γίνεται μέσω της ενίσχυσης ή της αποδυνάμωσης της ανωμεταφοράς και της βροχόπτωσης, κατά μήκος της διάδοσης του από τον Ινδικό ως τον Ειρηνικό ωκεανό. Ο δεύτερος είναι έμμεσος καθώς προκύπτει ως αποτέλεσμα της δημιουργίας ατμοσφαιρικών ή ωκεάνιων διαταραχών που διαδίδονται σε περιοχές με μικρό ή και καθόλου σήμα του MJO. Παρακάτω ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων επιπτώσεων της κύμανσης αυτής.

Ο MJO είναι μια από τις κύριες πηγές ενδοεποχιακών διαταραχών στα περισσότερα, αν όχι σε όλα, τα συστήματα μουσώνων. Περίπου το 33-80% της ενδοεποχιακής μεταβλητότητας της βροχόπτωσης στους μουσώνες σχετίζεται με την κύμανση αυτή. Για την ακρίβεια, επηρεάζει αξιόλογα την περίοδο έναρξης, διακοπής και την ένταση κυρίως των μουσώνων της Ινδίας και της Αυστραλίας. Παράλληλα καθορίζει τη δραστηριότητα και τη συχνότητα των τροπικών κυκλώνων κατά μήκος των ωκεάνιων λεκανών (Lavender and Matthews, 2009), καθώς και τις ακραίες βροχοπτώσεις οι οποίες είναι περίπου 40% υψηλότερες κατά την υγρή φάση του δείκτη ("active phase") σε σχέση με τη ξηρή ("inactive phase").

Η κύμανση MJO επιδρά τόσο στις ατμοσφαιρικές όσο και στις θαλάσσιες ροές. Ειδικότερα παρατηρούνται μεταβολές στη θερμοκρασία και την αλμυρότητα της ανώτερης επιφάνειας των ωκεανών όπως και στο βάθος του θερμοκλινούς (Kessler 2012; Hendon 2012). Ακόμη η στάθμη της θάλασσας παρουσιάζει διαταραχές μεγαλύτερες από 10

εκατοστά εξαιτίας της επίδρασης του MJO. Οι ισχυρότερες λαμβάνουν χώρα κατά μήκος του ισημερινού στις περιοχές του Ειρηνικού, της Σουμάτρα, στον κόλπο της Βεγγάλης και της Καρπεντάρια. Επίσης, η κύμανση αυτή επηρεάζει αξιοσημείωτα την αναπαραγωγή ισημερινών ωκεάνιων ρευμάτων και προκαλεί ενδοεποχιακές μεταβολές σε αυτά όπως στο ρεύμα της Σομαλίας και στο ρεύμα του Ινδικού ωκεανού, νότια του ισημερινού (Mysak and Mertz, 1984).

Αρκετοί τύποι ατμοσφαιρικών αερίων υπόκεινται σε εποχιακές μεταβολές εξαιτίας της κύμανσης MJO. Το τροποσφαιρικό όζον (O_3) παρουσιάζει στις υποτροπικές περιοχές, θετικές (αρνητικές) ανωμαλίες στην ανώτερη ατμόσφαιρα των κυκλωνικών (αντικυκλωνικών) συστημάτων, στα ανατολικά (δυτικά) των κέντρων ανωμεταφοράς του MJO. Διακυμάνσεις παρατηρούνται στο μονοξείδιο του άνθρακα (CO) κοντά στην τροπόπαυση κατά τη διάδοση του κέντρου ανωμεταφοράς. Θετικές (αρνητικές) ανωμαλίες του CO στο μεταβατικό στρώμα της τροπόπαυσης σχετίζονται με ενίσχυση (αποδυνάμωση) της MJO ανωμεταφοράς. Αντίστοιχες ανωμαλίες αναφέρονται και στις ενδοεποχιακές μεταβολές του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στα μέσα της τροπόσφαιρας. Εξαιτίας της έντονης ανωμεταφοράς που λαμβάνει χώρα στα κέντρα αρνητικών ανωμαλιών, προκαλούνται μεταβολές και στην ποσότητα των υδρατμών τόσο της ανώτερης όσο και της κατώτερης ατμόσφαιρας διαταράσσοντας κατ' αυτό τον τρόπο τον υδρολογικό κύκλο (Waliser et al., 2009). Ανωμαλίες καταγράφονται και στην ανάπτυξη της χλωροφύλλης, του φυτοπλαγκτόν και σε διάφορα άλλα θρεπτικά της ανώτερης επιφάνειας των ωκεανών (Wong and Dessler, 2007).

Ακόμα, η ατμοσφαιρική διαταραχή Madden-Julian επηρεάζει την ένταση και τη χρονική στιγμή της Νότιας Κύμανσης-El Niño (ENSO) επηρεάζοντας τόσο την επιφάνεια όσο και το βάθος του ωκεανού. Αυτή η επίδραση του MJO επιφέρει σημαντικές πλανητικές κλιματικές επιπτώσεις. Ωστόσο η κύμανση αυτή δεν περιορίζεται μόνο στην περιοχή των τροπικών αλλά παίζει ουσιαστικό ρόλο στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία των μέσων γεωγραφικών πλατών (Gottschalck, 2010). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ενεργοποίηση των κυμάτων Rossby, η οποία προκύπτει εξαιτίας της ενέργειας που εκλύεται από τα έντονα συστήματα αρνητικών ανωμαλιών της κύμανσης MJO. Τα κύματα Rossby διαδίδονται στην ατμόσφαιρα, ενισχύοντας ή διακόπτοντας blocking μοτίβα (blocking

Αρκτικής κύμανσης (AO-NAM), η οποία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις κλιματικές ανωμαλίες στο βόρειο ημισφαίριο. Οι Miller et al. (2003) και αργότερα οι Zhou και Miller (2005) αναφέρουν συγκεκριμένα την αλληλεπίδραση μεταξύ των δυο διακυμάνσεων. Ειδικότερα, διαπιστώνεται πως όταν κατά τη χειμερινή περίοδο ενισχύεται (αποδυναμώνεται) η δραστηριότητα ανωμεταφοράς στον Ινδικό ωκεανό, η Αρκτική κύμανση βρίσκεται στη θετική (αρνητική) της φάση. Ακόμη, όταν η ενισχυμένη (εξασθενημένη) ανωμεταφορά εντοπίζεται πάνω από τη Θαλάσσια Ήπειρο, αυξάνεται ο αριθμός ημερών της θετικής (αρνητικής) φάσης AO. Η επίδραση του MJO στην Αρκτική κύμανση δε θα ήταν εφικτή χωρίς τη συμβολή των κυμάτων Rossby τα οποία διαδίδονται μέσω της μεσημβρινής κυκλοφορίας.

Παρόμοιες συνθήκες λαμβάνουν χώρα και στο νότιο ημισφαίριο όπου κυρίαρχο ρόλο στις κλιματικές διακυμάνσεις έχει η Ανταρκτική κύμανση (AAO-SAM). Το χειμώνα της Αυστραλίας, η αρνητική (θετική) φάση του AAO φαίνεται να σχετίζεται με ισχυρή (εξασθενημένη) δραστηριότητα ανωμεταφοράς πάνω από τον κεντρικό Ειρηνικό. Η Ανταρκτική κύμανση φτάνει στο μέγιστο της θετικής της φάσης μόλις η ανωμεταφορά λαμβάνει χώρα στον ισημερινό Ινδικό ωκεανό (North, Zhang and Pyle, 2014).

Η αλληλεπίδραση μεταξύ της ατμοσφαιρικής διαταραχής Madden-Julian και του δίπολου του Ινδικού ωκεανού (Indian Ocean Dipole, IOD), αποτελεί μια ακόμα χαρακτηριστική περίπτωση. Η εξασθενημένη ανωμεταφορά του MJO που λαμβάνει χώρα στον ισημερινό Ινδικό ωκεανό σχετίζεται τους ισχυρούς ανατολικούς ανέμους, οι οποίοι εξαναγκάζουν σε ανάδυση τα ωκεάνια κύματα Kelvin. Η παραπάνω κατάσταση έχει ως αποτέλεσμα την ανάδυση του θερμοκλινούς στον ανατολικό Ινδικό ωκεανό, και συνεπώς την έναρξη της θετικής φάσης του IOD. Αντίθετα η ισχυρή ανωμεταφορά στον ισημερινό Ινδικό ωκεανό που συνδέεται με την κύμανση MJO, μπορεί να οδηγήσει σε τερματισμό της θετικής φάσης του IOD. Η κατάσταση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της καταβύθισης των ωκεάνιων κυμάτων Kelvin που τείνουν να ωθήσουν τα θερμοκλινές προς τα βαθύτερα και επομένως ευνοείται η έναρξη της αρνητικής φάσης του IOD.

Από όλα τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως οι ευρείες επιδράσεις του MJO στον καιρό, στο κλίμα και σε πολλά άλλα φαινόμενα, αποτελούν μια ισχυρή απόδειξη της μοναδικότητας της κύμανσης αυτής. Δεν έχει βρεθεί σχεδόν κανένα άλλο ατμοσφαιρικό



φαινόμενο που να παρουσιάζει παρόμοιες επιδράσεις με τις αντίστοιχες της κύμανσης Madden-Julian.

1.4.3 Στόχος Εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της ατμοσφαιρικής διαταραχής Madden-Julian, στο κλίμα της Ευρώπης. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, χρησιμοποιούνται οι ακραίες τιμές ενός δείκτη πολλαπλών μεταβλητών που εκφράζει την ατμοσφαιρική διαταραχή Madden-Julian. Με βάση αυτές εξετάζεται η μεταβολή σε συγκεκριμένες κλιματικές παραμέτρους κατά τη διάρκεια των οχτώ φάσεων του δείκτη, για το χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1976-2015. Συνεπώς, γίνεται προσπάθεια συσχέτισης των φάσεων του δείκτη με τις πιο σημαντικές ανωμαλίες που προκύπτουν στις διαφορετικές κλιματικές παραμέτρους.

2. Δεδομένα-Μεθοδολογία

2.1 Δεδομένα

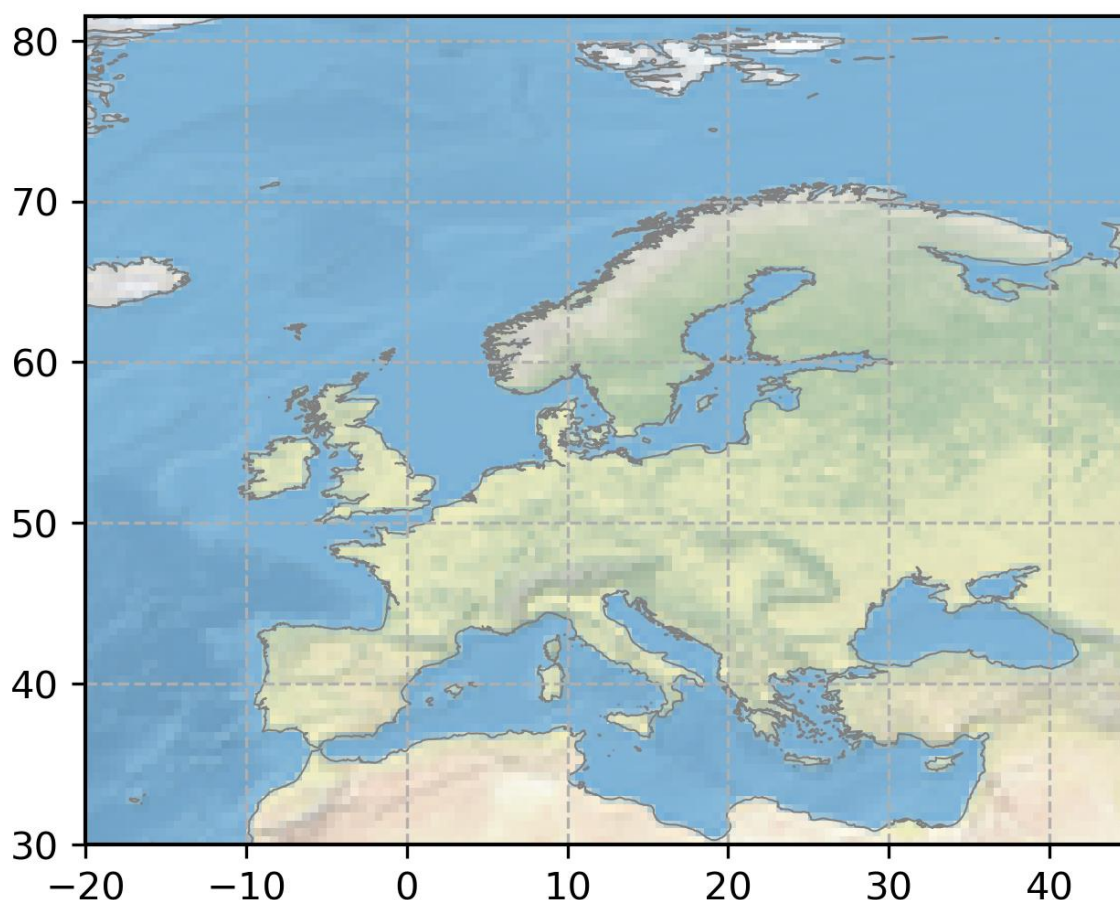
Για τη διεκπεραίωση της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα reanalysis από το NCEP/NCAR για την περίοδο 1976-2015. Ειδικότερα, συγκεντρώθηκαν δεδομένα που αντιπροσωπεύουν τόσο τις κλιματικές ανωμαλίες, όσο και τη μέση κατάσταση της περιόδου αναφοράς για την περιοχή της Ευρώπης. Οι κλιματικές παράμετροι που εξετάζονται είναι η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η πίεση στη στάθμη της θάλασσας και ο άνεμος τόσο στην επιφάνεια όσο και στα 250 hPa.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως χρησιμοποιούνται κλιματικά δεδομένα reanalysis, τα οποία προσφέρουν τις περισσότερες φορές μεγάλη ακρίβεια για παρελθοντικές καταστάσεις. Με τα reanalysis γίνεται εφικτή η αριθμητική περιγραφή του κλίματος, καθώς τα τελευταία προκύπτουν από το συνδυασμό των πραγματικών παρατηρήσεων και των προγνωστικών μοντέλων που χρησιμοποιεί ο οργανισμός. Περιγράφουν διάφορες κλιματικές παραμέτρους τόσο στην επιφάνεια όσο και στα υψηλότερα επίπεδα όπως τη θερμοκρασία του αέρα και της επιφάνειας της θάλασσας, τη βροχόπτωση, την πίεση, τον άνεμο σε διαφορετικά υψόμετρα, την υγρασία του εδάφους. Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι προκειμένου να δημιουργηθούν, είναι επιτακτική ανάγκη η ανάκτηση παρατηρήσεων από πολλές διαφορετικές πηγές όπως μετεωρολογικούς σταθμούς ξηράς, θάλασσας, ραδιοβολίσεις, δορυφόρους κλπ. (Kistler et al., 2001). Τα δεδομένα reanalysis του NCEP/NCAR είναι διαθέσιμα σε πλέγμα με χωρική ανάλυση $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ το οποίο καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη.

Τα NCEP/NCAR reanalysis δεδομένα αποτελούν μια βάση κλιματικών δεδομένων τα οποία προέρχονται από τη συνεργασία του Εθνικού Κέντρου Περιβαλλοντικών Προβλέψεων (National Center for Environmental Prediction-NCEP) και του Εθνικού Κέντρου Ατμοσφαιρικών Ερευνών (National Center for Atmospheric Research-NCAR) των Η.Π.Α (Kalnay et al., 1996). Στο σχεδιασμό του προγράμματος των reanalysis, συμμετείχαν περίπου 25 επιστήμονες από το NCEP's Environmental Modeling Center, το Climate Prediction Center (CPC), το Coupled Model Project και από το Central Operations. Ερευνητές από το NCAR βοήθησαν στη συλλογή και την ανάκτηση μεγάλων σετ δεδομένων από διεθνείς πηγές, τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα από τα Παγκόσμια Συστήματα Τηλεπικοινωνιών (Global

Telecommunications Systems-GTS). Αργότερα και άλλοι οργανισμοί όπως το National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), το European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) κ.α. συνέβαλλαν σημαντικά στην παροχή δεδομένων. Στόχος αυτής της κοινής προσπάθειας είναι η δημιουργία νέων ατμοσφαιρικών αναλύσεων με τη χρήση ιστορικών δεδομένων (από το 1948 και μετά) και η παραγωγή δεδομένων που αντιπροσωπεύουν την τρέχουσα ατμοσφαιρική κατάσταση, προκειμένου να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της επιστημονικής κοινότητας.

Στην παρούσα εργασία, μελετάται γεωγραφικά η περιοχή της Ευρώπης, και συγκεκριμένα το χωρικό παράθυρο με συντεταγμένες από 20°Δ έως 45°Α γεωγραφικά μήκη και 30°Β έως 80°Β γεωγραφικά πλάτη. Τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα στην ιστοσελίδα του ESRL (Earth System Research Laboratory's Physical Sciences Division) και επιλέχθηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές που καλύπτουν την χρονική περίοδο 1976-2015 λόγω πληθώρας δεδομένων.



Εικόνα 2.1. Απεικόνιση της περιοχής ενδιαφέροντος.

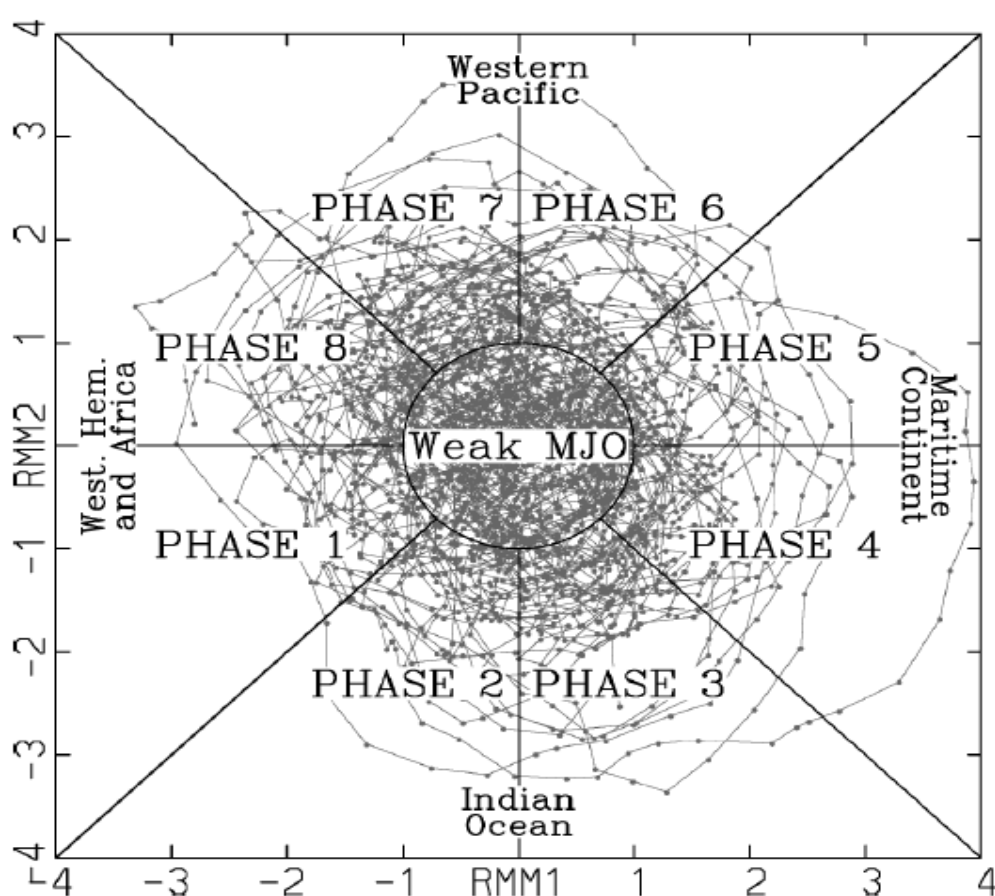
Η ακριβής αναπαράσταση της κύμανσης Madden-Julian αποτέλεσε μια πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα. Οι πρώτες απόπειρες διάγνωσης του MJO έγιναν από τους Madden και Julian το 1972, οι οποίοι πραγματοποίησαν ανάλυση του φάσματος ενέργειας (power-spectral analysis) (Straub, 2013). Αργότερα το 1985 οι Weickmann et al. επιχείρησαν έναν εναλλακτικό τρόπο φιλτραρίσματος της ζώνης διέλευσης (bandpass filtering), ενώ το 1990 οι Rui και Wang προσπάθησαν να εντοπίσουν μεμονωμένα MJO γεγονότα σε διαγράμματα Hovmöller (χρόνου-γεωγραφικού μήκους). Το 1998 οι Maloney και Hartmann εφάρμοσαν ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (Empirical Orthogonal Analysis, EOF) στη φιλτραρισμένη ζώνη διέλευσης των ζωνικών ανέμων στα 850hPa, προκειμένου να εξάγουν έναν MJO δείκτη για ένα σύνθετο κύκλο ζωής. Παρόλο που τέτοιοι δείκτες αποτυπώνουν την Madden-Julian κύμανση στο πεδίο των ανέμων και της ανωμεταφοράς, το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκε μόνο μια παράμετρος δε φάνηκε αποτελεσματικό για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο. Παράλληλα, οι τεχνικές bandpass-filtering είναι επίσης ανεπαρκείς καθώς δημιουργούν μεγάλες παραμορφώσεις στα άκρα της χρονοσειράς (Liu et al., 2016).

2.2.1 Δείκτης RMM

Για την παρακολούθηση της εξέλιξης του MJO σε πραγματικό χρόνο, σε μέγεθος, σε φάση, σε βαροκλιτική δομή και ανωμεταφορά, οι Wheeler και Hendon (2004) ανέπτυξαν ένα δείκτη πολλαπλών μεταβλητών (real-time multivariate MJO index, RMM). Ο δείκτης RMM προκύπτει από την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (Empirical Orthogonal Analysis, EOF) των ημερήσιων δεδομένων ανωμαλιών τόσο των ζωνικών ανέμων στα 200hPa και 850hPa (U200-U850), όσο και της μέσης εξερχόμενης μεγάλου μήκους ακτινοβολίας (outgoing longwave radiation, OLR) στα γεωγραφικά πλάτη των 15°B-15°N. Από την ανάλυση που πραγματοποιείται προκύπτουν δυο κύριες συνιστώσες οι RMM1 και RMM2 οι οποίες είναι ορθογώνιες μεταξύ τους. Ακολουθεί κανονικοποίηση των τελευταίων, προκειμένου να βρεθεί η τιμή του ημερήσιου εύρους που δίνεται από τη παρακάτω σχέση (Wheeler και Hendon, 2004):

$$daily\ amplitude = \sqrt{RMM_1^2 + RMM_2^2}$$

Κάθε μέρα αναπαρίσταται ως ένα σημείο σ' ένα διδιάστατο Καρτεσιανό διάγραμμα φάσεων (Εικόνα 2.2.1.1), προκειμένου να περιγράψει γεωγραφικά κατά προσέγγιση τη διάδοση προς τα ανατολικά των φάσεων της κύμανσης. Η ένωση αυτών των σημείων σηματοδοτεί τον κύκλο ζωής του MJO. Όσο πιο μεγάλη είναι η απόσταση από το κέντρο, τόσο πιο ισχυρή είναι η κύμανση και επομένως σημειώνονται πιο έντονα φαινόμενα. Αντίθετα, κύκλοι μικρού εύρους υποδεικνύουν ασθενή φάση του δείκτη και σε μερικές περιπτώσεις που η τιμή του εύρους είναι μικρότερη της μονάδας, η κύμανση θεωρείται πως δεν υφίσταται και αναφέρεται ως φάση 0 (Zhang,2013).



Εικόνα 2.2 Διάγραμμα του κύκλου ζωής του MJO-Διάγραμμα φάσεων του δείκτη RMM (Wheeler and Hendon,2004).

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι ο δείκτης πολλαπλής μεταβλητότητας RMM αποτελεί την καλύτερη δυνατή προσέγγιση για την αναπαράσταση της ατμοσφαιρικής διαταραχής Madden-Julian σε οποιαδήποτε φάση εξέλιξης. Γι' αυτό το λόγο, και για την επίτευξη των στόχων της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης RMM. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν τα ημερήσια δεδομένα των RMM1 και RMM2 από την

ιστοσελίδα του Australian Government Bureau of Meteorology
(<http://www.bom.gov.au/climate/mjo/>). Αρχικά εντοπίσθηκαν όλες οι ακραίες ημερήσιες τιμές

του δείκτη που αντιστοιχούν σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90% προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ένας αντικειμενικός τρόπος επιλογής των ακραίων τιμών του δείκτη. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για κάθε μια από τις 8 φάσεις, τόσο για τη χειμερινή όσο και για τη θερινή περίοδο. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.1) απεικονίζονται αναλυτικά το πλήθος των ημερών που αντιστοιχεί σε κάθε φάση του δείκτη ανά μήνα για την περίοδο ενδιαφέροντος 1976-2015, και το πλήθος των ημερών που αντιστοιχούν στις ακραίες τιμές του δείκτη. Από το πίνακα προκύπτει ότι για χειμερινή περίοδο η 3^η και 5^η φάση (Δεκέμβριο) και 7^η (Φεβρουάριος) εμφανίζουν το μεγαλύτερο πλήθος ημερών ακραίων τιμών του δείκτη. Αντίθετα, για τη καλοκαιρινή περίοδο η 1^η φάση (Ιούλιος και Αύγουστος) και η 2^η φάση (Ιούνιος) εμφανίζουν τις μεγαλύτερες τιμές. Στα αποτελέσματα του Δεκεμβρίου διαπιστώνεται ένα σφάλμα της τάξης 0,5% λόγω έλλειψης δεδομένων.

Πίνακας 2..1 Αναλυτική καταγραφή του πλήθους ημερών(Π.Η.) που αντιστοιχούν σε κάθε φάση του δείκτη RMM ανά μήνα, και του πλήθους ημερών των ακραίων τιμών (Π.Η.Α.Τ.).

Φάση	1 ^η		2 ^η		3 ^η		4 ^η		5 ^η		6 ^η		7 ^η		8 ^η	
	Π.Η.	Π.Η.Α.Τ.	Π.Η.	Π.Η.Α.Τ.	Π.Η.	Π.Η.Α.Τ.	Π.Η.	Π.Η.Α.Τ.	Π.Η.	Π.Η.Α.Τ.	Π.Η.	Π.Η.Α.Τ.	Π.Η.	Π.Η.Α.Τ.	Π.Η.	Π.Η.Α.Τ.
ΔΕΚ	105	10	138	11	171	21	162	19	178	22	152	16	183	19	120	13
ΙΑΝ	107	10	148	18	158	17	137	14	155	16	189	17	186	19	160	16
ΦΕΒ	92	11	92	13	130	16	149	15	135	16	168	18	230	24	134	14
ΙΟΥΝ	187	18	202	22	119	15	152	15	141	16	144	16	99	11	126	14
ΙΟΥΛ	251	26	176	19	131	14	127	14	122	12	130	14	148	17	124	11
ΑΥΓ	244	25	219	19	134	14	114	11	143	13	152	13	104	11	99	10

Ακόμη, υπολογίστηκε η μέση τιμή του δείκτη για κάθε φάση (Μ.Τ.Φ.) ανά μήνα, όπως και η μέση τιμή των ακραίων τιμών του δείκτη RMM (Μ.Τ.Α.Τ) για κάθε φάση μηνιαίως (Πίνακας 2.2). Όπως γίνεται αντιληπτό υπάρχει σχετικά μεγάλη διαφορά μεταξύ των δυο μέσων τιμών. Οι μεγαλύτερες μέσες τιμές του δείκτη εμφανίζονται τη χειμερινή περίοδο για τη 3^η φάση (Ιανουάριος), τη 4^η φάση (Φεβρουάριος) και 8^η φάση (Φεβρουάριος).

Πίνακας 2.2 Αναλυτική καταγραφή της μέσης τιμής του δείκτη RMM για κάθε φάση ανά μήνα (Μ.Τ.Φ.), και η μέση τιμή των ακραίων (Μ.Τ.Α.Τ.).

Φάση	1 ^η		2 ^η		3 ^η		4 ^η		5 ^η		6 ^η		7 ^η		8 ^η	
	Μ.Τ.Φ	Μ.Τ.Α.Τ.	Μ.Τ.Φ	Μ.Τ.Α.Τ.	Μ.Τ.Φ	Μ.Τ.Α.Τ.	Μ.Τ.Φ	Μ.Τ.Α.Τ.	Μ.Τ.Φ	Μ.Τ.Α.Τ.	Μ.Τ.Φ	Μ.Τ.Α.Τ.	Μ.Τ.Φ	Μ.Τ.Α.Τ.	Μ.Τ.Φ	Μ.Τ.Α.Τ.
ΔΕΚ	1.0	2.1	1.0	2.2	1.3	2.5	1.1	2.2	1.1	2.3	1.1	2.7	1.1	2.4	1.0	2.4
ΙΑΝ	1.2	2.3	1.3	2.7	1.4	3.1	1.1	2.7	1.2	2.6	1.3	2.6	1.4	2.6	1.3	2.7
ΦΕΒ	0.9	1.7	1.0	2.0	1.2	2.7	1.3	3.2	1.1	2.8	1.1	2.5	1.2	2.6	1.4	3.1
ΙΟΥΝ	1.2	2.3	1.0	2.2	1.0	2.2	1.0	1.9	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.1	1.3	2.5
ΙΟΥΛ	1.2	2.4	1.0	2.0	0.9	2.2	0.8	1.5	1.0	2.0	1.0	2.3	1.0	2.9	1.0	2.1
ΑΥΓ	1.0	2.2	1.0	2.0	0.9	1.9	0.8	2.1	1.2	2.5	1.2	2.4	0.8	1.9	0.8	1.9

Στη συνέχεια αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα του NCEP/NCAR τα ημερήσια δεδομένα που αντιστοιχούν στις ακραίες τιμές του δείκτη RMM, για κάθε μια από τις κλιματικές παραμέτρους που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη. Ειδικότερα συγκεντρώθηκαν οι μέσες ημερήσιες τιμές που αντιπροσωπεύουν τη μέση κατάσταση και υπολογίστηκαν οι ατμοσφαιρικές ανωμαλίες με βάση τη διαφορά του κλιματικού μέσου για κάθε μήνα από τη μέση κατάσταση των ακραίων τιμών του δείκτη. Τα δεδομένα κλιματικών ανωμαλιών αφορούν τις παραμέτρους της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας, ενώ αυτά της μέσης κατάστασης τον άνεμο στην επιφάνεια και στα 250hPa και την πίεση στην επιφάνεια. Ακολούθησε επεξεργασία των δεδομένων με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Climate Data Operators (CDO) και χαρτογράφηση αυτών μέσω της γλώσσας προγραμματισμού NCAR Command Language (NCL). Το λογισμικό της CDO αποτελεί ένα πρόγραμμα που περιέχει εντολές αριθμητικών και στατιστικών συναρτήσεων που δίνουν τη δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων (Kaspar et al., 2009). Από την άλλη, η NCL είναι μια γλώσσα που είναι σχεδιασμένη για επεξεργασία και οπτικοποίηση επιστημονικών δεδομένων (Meier-Fleischer and Böttinger, 2013). Τέλος, ελέγχθηκε και χαρτογραφήθηκε η στατιστική σημαντικότητα για τις παραμέτρους της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης χρησιμοποιώντας το στατιστικό Student t-test σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

3. Ανάλυση

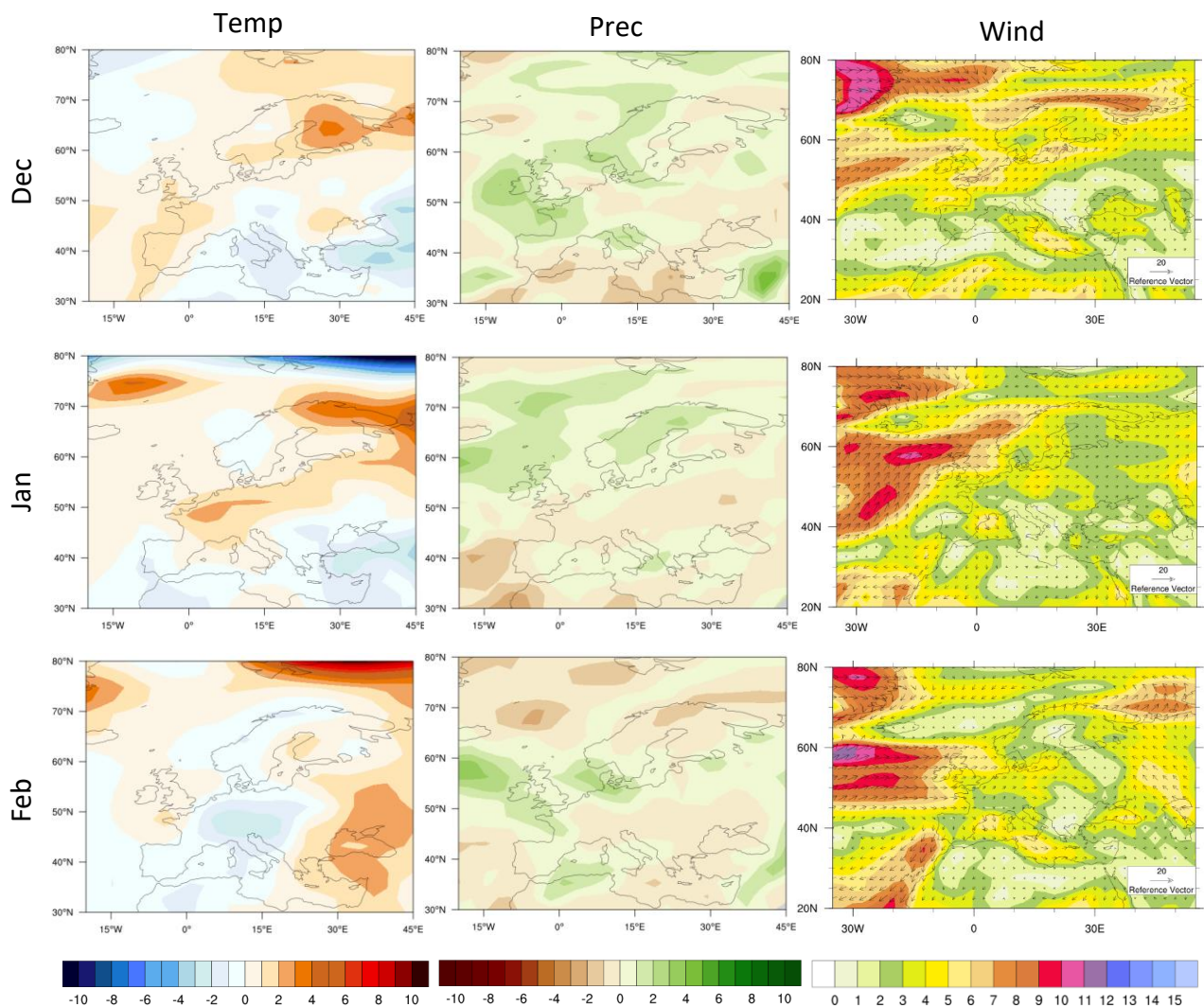
Αρχικά επιλέχθηκαν για κάθε φάση της κύμανσης Madden Julian οι ακραίες τιμές του δείκτη RMM που αντιστοιχούν σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90%, τόσο για το χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι της περιόδου 1976-2015. Στη συνέχεια εντοπίστηκαν οι ημέρες που αντιστοιχούν στις ακραίες τιμές του δείκτη και χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαράσταση των μέσων χαρτών και των ανωμαλιών για κάθε μια από τις κλιματικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν οι μέσοι χάρτες για τα πεδία ανωμαλιών της θερμοκρασίας, της ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας και της βροχόπτωσης τόσο σε χιλιοστά όσο και σε ποσοστό επι τοις εκατό. Ακόμα, πραγματοποιήθηκε η χωρική απεικόνιση του αεροχειμάρρου στο γεωδυναμικό ύψος των 250hPa, του μέσου του ανέμου (διεύθυνση και ταχύτητα) και της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια. Οι χάρτες ανωμαλιών της βροχόπτωσης σε ποσοστά, οι μέσες πιέσεις της επιφάνειας της θάλασσας και οι χάρτες στατιστικής σημαντικότητας βρίσκονται στο παράρτημα του κειμένου, και αναφέρονται στο κείμενο με το Π, για παράδειγμα σχήμα Π.1.

3.1. Χειμώνας

3.1.1 Φάση 1^η

Κατά την πρώτη φάση παρατηρούνται στο πεδίο της θερμοκρασίας θετικές ανωμαλίες πάνω από την περιοχή της Σκανδιναβίας και της Ευρώπης για τους δυο πρώτους μήνες του χειμώνα, ενώ το Φεβρουάριο φαίνεται ότι η μορφή αυτή αλλάζει. Ειδικότερα, για το Δεκέμβριο η μέγιστη ανωμαλία σημειώνεται πάνω από την περιοχή της Φινλανδίας και εκτιμάται περίπου στους 4°C πάνω από τη μέση τιμή. Αντίθετα στην περιοχή της Μεσογείου οι θερμοκρασίες εμφανίζονται ψυχρότερες από τις κανονικές. Από την απεικόνιση της μέσης κατάστασης του ανέμου, προκύπτει πως καθ' όλη τη διάρκεια του χειμώνα πνέουν στην Ευρώπη δυτικοί-νοτιοδυτικοί άνεμοι ενώ στη Μεσόγειο άνεμοι βορειοδυτικής διεύθυνσης. Συγκεκριμένα το Δεκέμβριο στη βόρεια Ευρώπη επικρατούν ασθενείς δυτικοί-νοτιοδυτικοί άνεμοι και στη Μεσόγειο βορειοδυτικοί μεγαλύτερης έντασης. Οι άνεμοι που πνέουν βόρεια της Ευρώπης φαίνεται να επηρεάζουν το πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης καθώς μεταφέρουν υγρές αέριες μάζες και επηρεάζουν τα επίπεδα υγρασίας. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μία μετακίνηση της ζώνης υετού προς τη Σκανδιναβία. Παράλληλα αύξηση της βροχόπτωσης σημειώνεται και στο νοτιοδυτικό τμήμα της Ασίας, ενώ ξηρότερες συνθήκες επικρατούν πάνω από τη νότια Μεσόγειο. Λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστιαίο πεδίο

ανωμαλιών της βροχόπτωσης (Σχήμα Π.1) επιβεβαιώνεται η παραπάνω κατάσταση, καθώς προκύπτει ότι στην περιοχή της βόρειο-δυτικής Ευρώπης και της νότιο-δυτικής Ασίας



Σχήμα 3.1 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας (°C) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την πρώτη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

υπάρχει αύξηση κατά 4%-6% και 10% αντίστοιχα. Στη Μεσόγειο επικρατεί ξηρασία της τάξης 3%-4% η οποία στο ανατολικό τμήμα της είναι στατιστικά σημαντική (Σχήμα Π.2). Όσο αφορά το πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας, από τη μέση κατάσταση (Σχήμα Π.1) γίνεται αντιληπτό πως τα μόνιμα κέντρα δράσης παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία για την περιοχή της Ευρώπης. Αναλυτικότερα, υψηλές πιέσεις επικρατούν πάνω από τις περιοχές της Σιβηρίας και της Ασίας εξαιτίας της ύπαρξης του Σιβηρικού αντικυκλώνα, ενώ οι υψηλές πιέσεις που σημειώνονται πάνω από τη Μεσόγειο οφείλονται στον αντικυκλώνα των Αζορών. Αντίθετα, χαμηλές πιέσεις χαρακτηρίζουν τις περιοχές του βόρειο-βορειοδυτικού Ατλαντικού καθώς

εκεί κυριαρχεί το χαμηλό της Ισλανδίας. Το πεδίο ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης, συγκρινόμενο με τη μέση κατάσταση, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Συγκεκριμένα, χαρακτηριστική είναι η αποδυνάμωση του Σιβηρικού αντικυκλώνα και η ενίσχυση του χαμηλού της Ισλανδίας πάνω από την πολική περιοχή. Υψηλότερες των μέσων εμφανίζονται και οι πιέσεις στην περιοχή της δυτικής και ανατολικής Ευρώπης. Η παραπάνω κατάσταση φαίνεται να εξηγείται και από τη μέση ροή του αεροχειμάρρου. Σε γενικές γραμμές, κατά τη χειμερινή περίοδο εξαιτίας της μεγάλης βαροβαθμίδας και θερμοβαθμίδας ενισχύονται οι άνεμοι στην ατμόσφαιρα. Ως εκ τούτου, ο αεροχειμάρρος το χειμώνα είναι πιο ισχυρός και εμφανίζει μεγάλο εύρος ταχυτήτων. Από την απεικόνιση της μέσης ροής του αεροχειμάρρου (Σχήμα 3.2) κατά το Δεκέμβριο ο τελευταίος φαίνεται να κινείται σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη. Οι υψηλότερες ταχύτητες σημειώνονται στην περιοχή του Ειρηνικού, στο βορειοδυτικό Ατλαντικό και νότια της Μεσογείου ενισχύοντας τα αντίστοιχα συστήματα.

Τον Ιανουάριο της πρώτης φάσης, στο πεδίο της θερμοκρασίας φαίνεται να επιμένουν οι θετικές ανωμαλίες στην περιοχή της Σκανδιναβίας και της κεντρικής Ευρώπης. Η μέγιστη ανωμαλία σημειώνεται στην περιοχή της Γαλλίας και βόρεια της Σκανδιναβίας όπου παρατηρείται αύξηση κατά 2°C και 4°C αντίστοιχα. Αρνητικές ανωμαλίες σημειώνονται στην ανατολική Μεσόγειο και δυτικά της Τουρκίας με πτώση της θερμοκρασίας κατά 3°C από τη μέση τιμή. Από τη μέση κατάσταση του ανέμου διαπιστώνεται πως συνεχίζεται η νότιο-νοτιοδυτική ροή βόρεια της Ευρώπης η οποία ενισχύεται ακόμη περισσότερο καθώς επικρατούν άνεμοι μεγαλύτερης έντασης. Οι τελευταίοι φαίνεται να συσχετίζονται με το πεδίο ανωμαλίας της βροχόπτωσης. Συγκεκριμένα, οι υγροί νοτιοδυτικοί άνεμοι φαίνεται να μεταφέρουν τη ζώνη βροχόπτωσης βορειότερα στην περιοχή της βόρειας Αγγλίας και Σκανδιναβίας. Από το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (Π.1), παρατηρείται ότι η αύξηση της βροχόπτωσης φτάνει το 5%. Περισσότερες βροχοπτώσεις παρατηρούνται επίσης στην κεντρική Μεσόγειο ενώ στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη επικρατούν ξηρότερες συνθήκες. Η ροή του αεροχειμάρρου εμφανίζει αυξημένες ταχύτητες στο βορειοδυτικό Ατλαντικό και νότια της Μεσογείου, ενώ οι μέγιστες που φτάνουν τα 65-70 m/sec επικρατούν στα δυτικά του Ειρηνικού ωκεανού. Η έντονη ροή του αεροχειμάρρου ενισχύει τα συστήματα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Παρατηρώντας τη μέση ατμοσφαιρική πίεση (Π.1), επιβεβαιώνεται η παραπάνω κατάσταση καθώς στην δυτική και κεντρική Ευρώπη επιμένουν οι υψηλές πιέσεις που οφείλονται στην επέκταση του

αντικυκλώνα των Αζορών ο οποίος μετατοπίζεται δυτικότερα σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο. Παράλληλα τα εποχικά κέντρα δράσης της Σιβηρίας και του βορειοδυτικού Καναδά παρουσιάζονται ιδιαίτερα ενισχυμένα διακόπτοντας τις χαμηλές πιέσεις της Ισλανδίας και των Αλεούτιων. Συγκρίνοντας την κατάσταση αυτή με το πεδίο ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης, προκύπτει πως στην περιοχή της δυτικής Ευρώπης επικρατούν υψηλότερες των κανονικών πιέσεις και χαμηλότερες στο βόρειο Ατλαντικό, γεγονός που συνεπάγεται την ενίσχυση του υψηλού των Αζορών και του χαμηλού της Ισλανδίας. Η ενδυνάμωση των δυο κύριων κέντρων δράσης στον Ατλαντικό, συνεπάγονται ενίσχυση του ΝΑΟ στη περιοχή και πιθανότατα σχετίζεται με την μετατόπιση του πολικού αεροχειμάρρου προς τα ανατολικά ο οποίος ενισχύει την ατμοσφαιρική κυκλοφορία.

Το Φεβρουάριο της πρώτης φάσης, παρατηρείται αλλαγή στη μορφή του πεδίου της θερμοκρασίας. Ειδικότερα, οι θετικές ανωμαλίες φαίνεται να έχουν μεταφερθεί στην ανατολική Ευρώπη και Μεσόγειο, ενώ ψυχρότερες των "κανονικών" θερμοκρασιών παρουσιάζονται στην κεντρική και δυτική Ευρώπη. Οι θετικές ανωμαλίες στα ανατολικά πιθανότατα σχετίζονται με του νότιους ισχυρούς ανέμους που πνέουν στην περιοχή και μεταφέρουν θερμές αέριες μάζες. Παράλληλα, στο πεδίο της μέσης κατάστασης του ανέμου φαίνεται πως στη Μεσόγειο επικρατούν σχεδόν μέτριοι βορειοδυτικοί άνεμοι ενώ στην Ευρώπη ισχυροί άνεμοι δυτικής διεύθυνσης. Οι τελευταίοι συνοδεύονται από υγρές αέριες μάζες που επηρεάζουν τη βόρεια Ευρώπη. Αναλυτικότερα, παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2-3mm στις περιοχές της βόρειας Γαλλίας, Ιρλανδίας και Αγγλίας καθώς και στις χώρες που περιβάλλουν από τα νοτιοδυτικά τη Βόρεια Θάλασσα (Πίνακας 3.1). Αντίθετα στην υπόλοιπη Ευρώπη και στην κεντρική-ανατολική Μεσόγειο επικρατούν λιγότερες βροχοπτώσεις σε σχέση με τις φυσιολογικές συνθήκες της τάξης μεγέθους 3% και 4% με βάση το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών. Η μειωμένη βροχόπτωση μάλιστα που καταγράφεται στη λεκάνη της Μεσογείου είναι στατιστικά σημαντική (Π.2). Η ροή του αεροχειμάρρου εμφανίζεται παρόμοια με αυτή του Ιανουαρίου. Συγκεκριμένα, αναπτύσσονται υψηλές ταχύτητες μεγαλύτερες των 50m/sec, επικρατούν σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη (20°-30°B) κατά μήκος της Αφρικής και της Ασίας καθώς. Παρόμοιες συνθήκες επικρατούν και κατά μήκος ηπείρου της βόρειας Αμερικής. Ωστόσο, οι μέγιστες ταχύτητες που φτάνουν τα 70 m/sec σημειώνονται στα δυτικά του Ειρηνικού ωκεανού, πάνω από την Ιαπωνία. Η έντονη ροή του αεροχειμάρρου επηρεάζει τα συστήματα

κυκλοφορίας στο βόρειο ημισφαίριο. Αναλυτικότερα, από τη μέση ατμοσφαιρική πίεση (Π.1) διαπιστώνεται πως στην κεντρική και δυτική Ευρώπη επικρατούν υψηλές πιέσεις ενώ στη βόρεια Ευρώπη και Σκανδιναβία το αντίθετο. Ακόμα, παρατηρείται πως ο Σιβηρικός αντικυκλώνας εμφανίζεται ιδιαίτερα ενισχυμένος και εκτεταμένος καθώς φτάνει σε πολύ υψηλά γεωγραφικά πλάτη, σχεδόν κοντά στον πόλο. Ωστόσο από το πεδίο ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας, γίνεται αντιληπτό πως στην ανατολική- βορειοανατολική Ευρώπη επικρατούν χαμηλότερες των κανονικών πιέσεις, σηματοδοτώντας την ενδυνάμωση του χαμηλού της Ισλανδίας ενώ παράλληλα ο αντικυκλώνας των Αζορών φαίνεται αρκετά ενισχυμένος σε σύγκριση με τη μέση κατάσταση (Σχήμα 3.2).

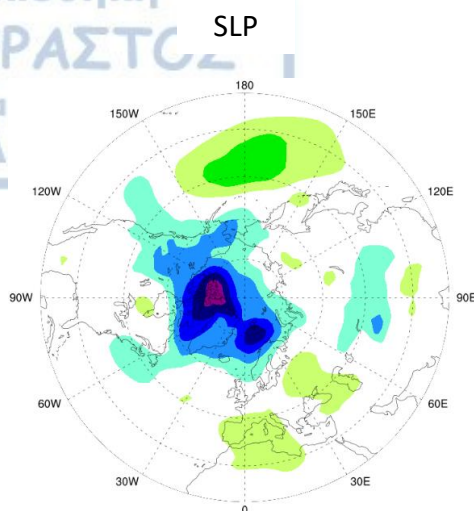
Πίνακας 3.1 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την πρώτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015). Με ροζ γέμισμα υποδηλώνεται η θετική στατιστική σημαντικότητα και με θαλασσί η αρνητική.

	Dec				Jan				Feb			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↑	↓	↑	↑	-	↑	↑	↑	↓	↓	↑
Prec	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓
Wind	NΔ	NΔ	NΔ	NΔ	NΔ-Δ	BΔ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	NA
SLP	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑

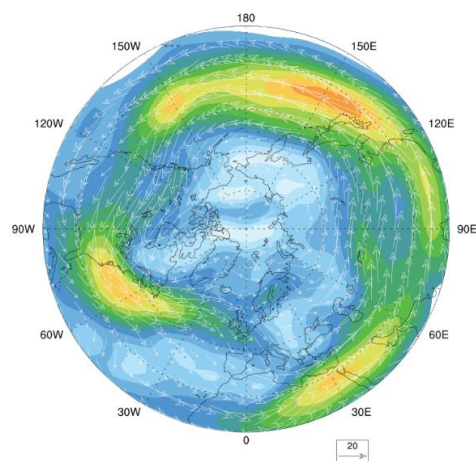
Πίνακας 3.1 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά τη πρώτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec			Jan			Feb		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑
Prec	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓
Wind	BΔ	BΔ	Δ	BΔ	-	-	BΔ	BΔ-Δ	Δ
SLP	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓

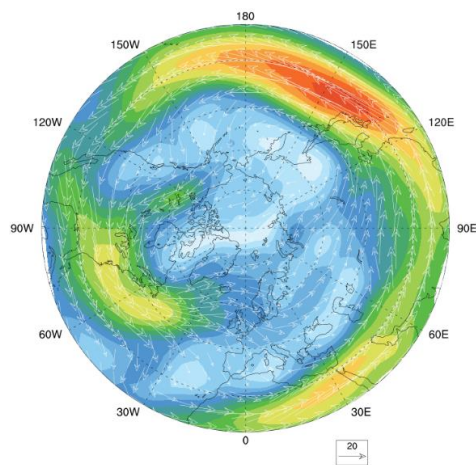
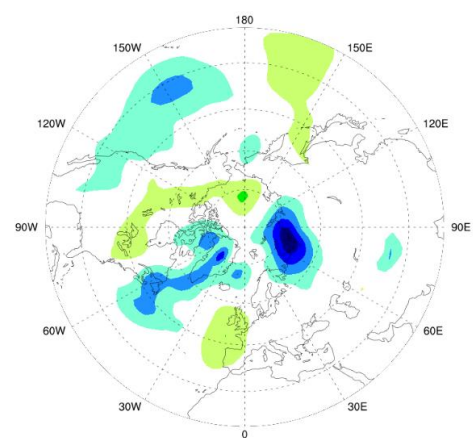
Dec



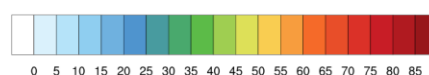
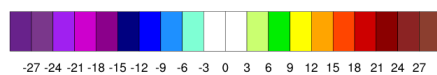
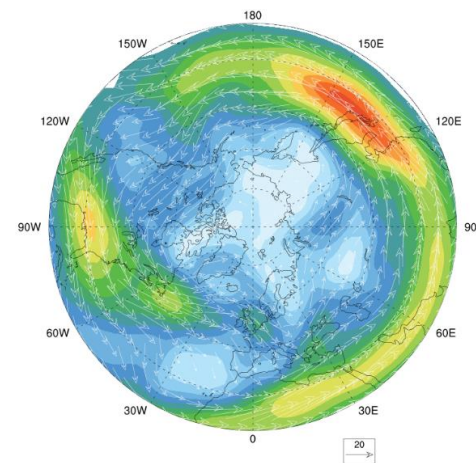
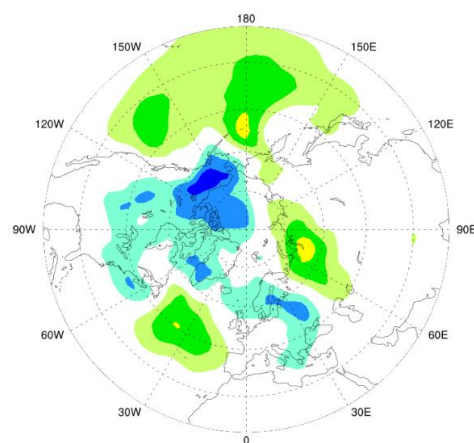
Jet



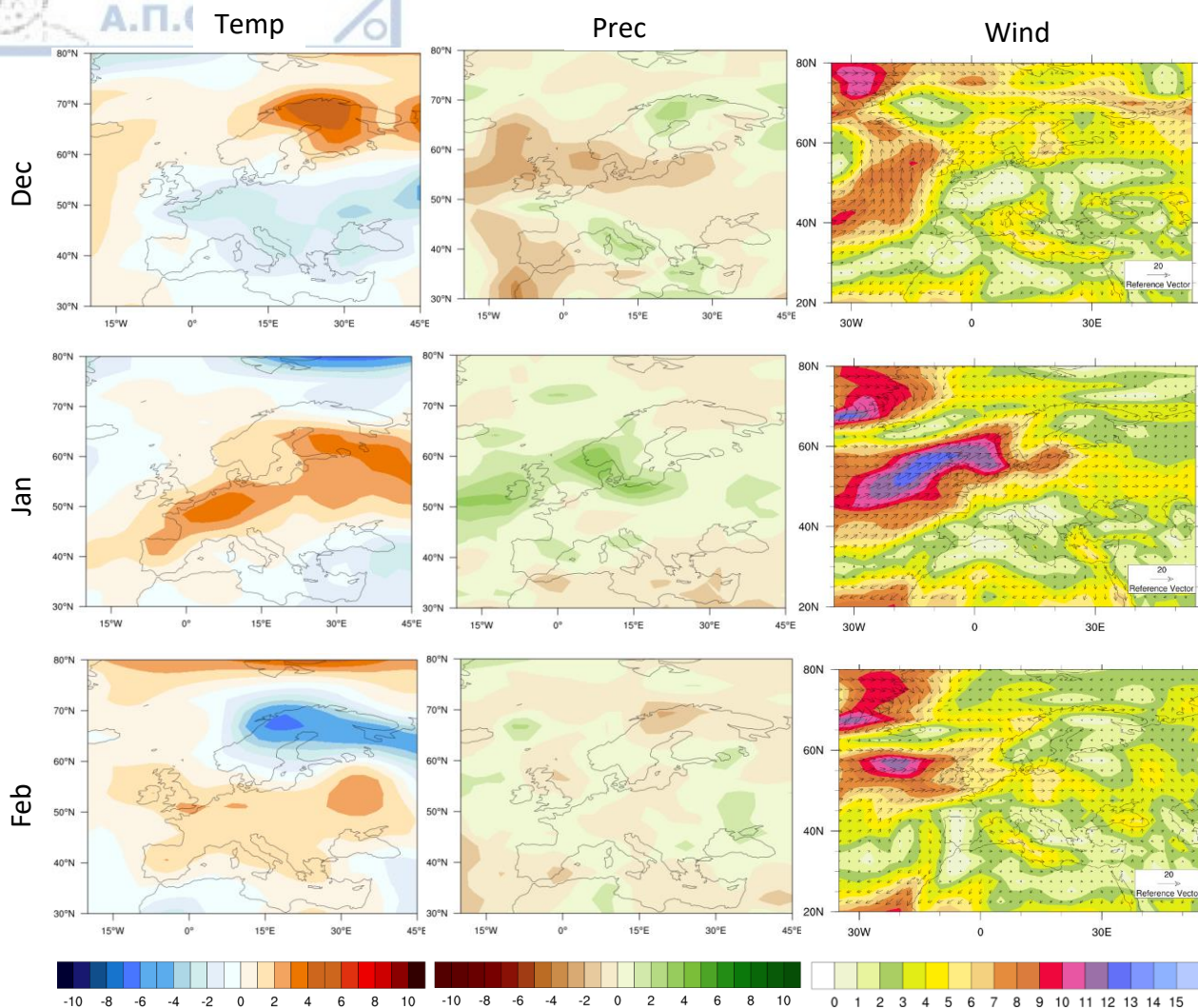
Jan



Feb



Σχήμα 3.1 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την πρώτη φάση για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.3 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά τη δεύτερη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Κατά τη δεύτερη φάση του MJO, με μια πρώτη ματιά παρατηρείται πως στο πεδίο της θερμοκρασίας αρχικά επικρατούν θετικές ανωμαλίες. Ειδικότερα, το Δεκέμβριο της δεύτερης φάσης, καταγράφονται ψυχρότερες των μέσων θερμοκρασιών συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης, με εξαίρεση το βόρειο τμήμα όπου σημειώνεται αύξηση κατά 4°C - 5°C σε σχέση με τη μέση κατάσταση. Παράλληλα με τις υψηλότερες θερμοκρασίες στη περιοχή της Σκανδιναβίας παρατηρείται και αύξηση της βροχόπτωσης κατά 5% με βάση το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών (Π.5). Συγχρόνως, παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2mm-3mm στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο ενώ στην υπόλοιπη Ευρώπη εντοπίζεται έντονη ξηρασία η οποία είναι στατιστικά σημαντική (Π.6). Από την αναπαράσταση της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας (Π.5),

διαπιστώνεται πως στην περιοχή της Ευρώπης επικρατεί ένα υψηλό σύστημα πιέσεων το οποίο πιθανότατα είναι ψυχρού πυρήνα καθώς συνοδεύεται από ξηρασία αλλά και πτώση της θερμοκρασίας. Από το πεδίο ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης διαπιστώνεται πως επικρατούν υψηλότερες των μέσων πιέσεις ανάμεσα στην Αγγλία και τη Σκανδιναβία (Σχήμα 3.4). Στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο πνέουν ισχυροί βορειοδυτικοί άνεμοι (Πίνακας 3.4) οι οποίοι καταλήγουν σε δυτικής διεύθυνσης στο ανατολικό τμήμα της. Στο πεδίο του μέσου ανέμου, καταγράφονται άνεμοι δυτικής διεύθυνσης στη βόρεια Ευρώπη, η οποία φαίνεται να σχετίζεται και με την αύξηση της βροχόπτωσης στην αντίστοιχη περιοχή (Πίνακας 3.3). Τέλος, από την απεικόνιση του αεροχειμάρρου, ο τελευταίος παρουσιάζει συνεχόμενη και ενισχυμένη ροή στο μεγαλύτερο εύρος του, με ταχύτητες που ξεπερνούν τα 55m/sec. Υψηλές ταχύτητες αναπτύσσει και ο πολικός αεροχείμαρρος στο δυτικό Ατλαντικό, ο οποίος φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τα συστήματα κυκλοφορίας που επιδρούν στην Ευρώπη.

Κατά τον Ιανουάριο της δεύτερης φάσης, στο πεδίο της θερμοκρασίας παρατηρείται πως οι θετικές ανωμαλίες εμφανίζονται νοτιότερα της Σκανδιναβίας και καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση. Συγκεκριμένα σημειώνεται αύξηση της θερμοκρασίας στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και οι μέγιστες τιμές φτάνουν σχεδόν τους 4°C πάνω από τη μέση τιμή στο ανατολικό τμήμα αυτής. Παράλληλα και η αύξηση που σημειώνεται στην Ιβηρική χερσόνησο είναι στατιστικά σημαντική (Σχήμα Π.6). Αντίθετα, στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο καταγράφονται ψυχρότερες συνθήκες. Η δομή του αεροχειμάρρου παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με την αντίστοιχη του Δεκέμβρη. Ωστόσο η ροή είναι ακόμα πιο έντονη, καθώς στο μεγαλύτερο εύρος του οι ταχύτητες ξεπερνούν τα 65m/sec ενισχύοντας κατά αυτό τον τρόπο την ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Ο πολικός αεροχείμαρρος μετακινείται προς τα ανατολικά φτάνοντας μέχρι την περιοχή της Αγγλίας. Με την μετατόπιση του πολικού αεροχειμάρρου προς τον ανατολικό Ατλαντικό παρατηρείται ενίσχυση των κέντρων δράσης αντίθετου σήματος που εντοπίζονται στην έξοδο του. Συγκεκριμένα στην αριστερή έξοδο του εμφανίζεται ιδιαίτερα ενδυναμωμένο το χαμηλό της Ισλανδίας το οποίο συναντά το χαμηλό σύστημα πιέσεων που προϋπήρχε βόρεια της Σκανδιναβίας (Π.5). Οι χαμηλές πιέσεις επηρεάζουν τη βόρεια Ευρώπη καθώς μετατοπίζονται προς τα νότια. Αντίθετα στη δεξιά έξοδο του πολικού αεροχειμάρρου εντοπίζεται ενισχυμένο ένα αντικυκλωνικό σύστημα που εκτείνεται πάνω από τη περιοχή της Ευρώπης. Οι άνεμοι στο βορειοανατολικό τμήμα του Ατλαντικού και του Ηνωμένου Βασιλείου, πνέουν πολύ ισχυροί νοτιοδυτικοί

άνεμοι (Σχήμα 3.3, Πίνακας 3.3) σηματοδοτώντας πιθανότατα την κυκλωνική κίνηση του χαμηλού της Ισλανδίας. Οι τελευταίοι είναι υπεύθυνοι για την αυξημένη βροχόπτωση στην Αγγλία και στις χώρες που περιβάλλουν από τα δυτικά τη Βόρεια Θάλασσα, όπου παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2mm και 3-4mm αντίστοιχα. Οι ψυχρές συνθήκες που επικρατούν στη κεντρική και ανατολική Μεσόγειο συνοδεύονται από στατιστικά σημαντική μείωση της βροχόπτωσης της τάξης μεγέθους 2-3% (Σχήμα Π.5, Π.6).

Οι χαμηλές πιέσεις φαίνεται να επιμένουν και κατά το Φεβρουάριο της δεύτερης φάσης στην περιοχή της βόρειας Ευρώπης ενώ παράλληλα εξαπλώνονται και στο βορειοανατολικό τμήμα αυτής (Σχήμα Π.5). Στη δυτική και κεντρική Ευρώπη συνεχίζουν να επικρατούν υψηλές πιέσεις μικρότερης έντασης από τις αντίστοιχες της προηγούμενης περιόδου. Παράλληλα, από το πεδίο ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης επιβεβαιώνεται πως τόσο στην ανατολική Ευρώπη όσο και στην κεντρική Μεσόγειο επικρατούν χαμηλότερες των μέσων τιμών πιέσεις (Σχήμα 3.4). Οι χαμηλές πιέσεις που επικρατούν στη βόρεια Ευρώπη συνοδεύονται και από πτώση της θερμοκρασίας, της τάξης 3°C ως 6°C, καθώς παρατηρούνται αρνητικές ανωμαλίες στην αντίστοιχη περιοχή. Η ζώνη θετικών ανωμαλιών φαίνεται να μετατοπίζεται προς τα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη παρουσιάζοντας ωστόσο μικρότερη μεταβολή, αφού παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και η μέγιστη στους 3°C να καταγράφεται πάνω από τις χώρες της Μαύρης Θάλασσας. Η αύξηση της θερμοκρασίας που εντοπίζεται στη δυτική Μεσόγειο και στη Μεγάλη Βρετανία παρουσιάζει στατιστική σημαντικότητα (Π.6). Στο πεδίο του μέσου ανέμου, ισχυροί άνεμοι δυτικής συνιστώσας πνέουν πάνω από το Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο πνέουν ισχυροί βορειοδυτικοί-δυτικοί άνεμοι που μπορεί να συνδεθούν με την εμφάνιση του Μιστράλ στη περιοχή (Πίνακας 3.3). Στη βόρεια Ευρώπη καταγράφονται ξηρότερες συνθήκες της μέσης κατάστασης. Στην υπόλοιπη Ευρώπη δε σημειώνεται κάποια αξιόλογη μεταβολή στο πεδίο της βροχόπτωσης, ενώ στις χώρες βόρεια της Μαύρης Θάλασσας σημειώνεται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2%-5% με βάση το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών(Π.5). Τέλος, όσο αφορά την απεικόνιση του αεροχειμάρρου φαίνεται να παρουσιάζει παρόμοια δομή με την αντίστοιχη Ιανουαρίου. Η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου φτάνει τα 75-80m/sec πάνω από το δυτικό βόρειο Ειρηνικό ενώ ο πολικός αεροχείμαρρος παρουσιάζει μέγιστη ταχύτητα 60m/sec στα ανατολικά της βορείου Αμερικής. Οι υψηλές ταχύτητες του πολικού αεροχειμάρρου επεκτείνονται ως και

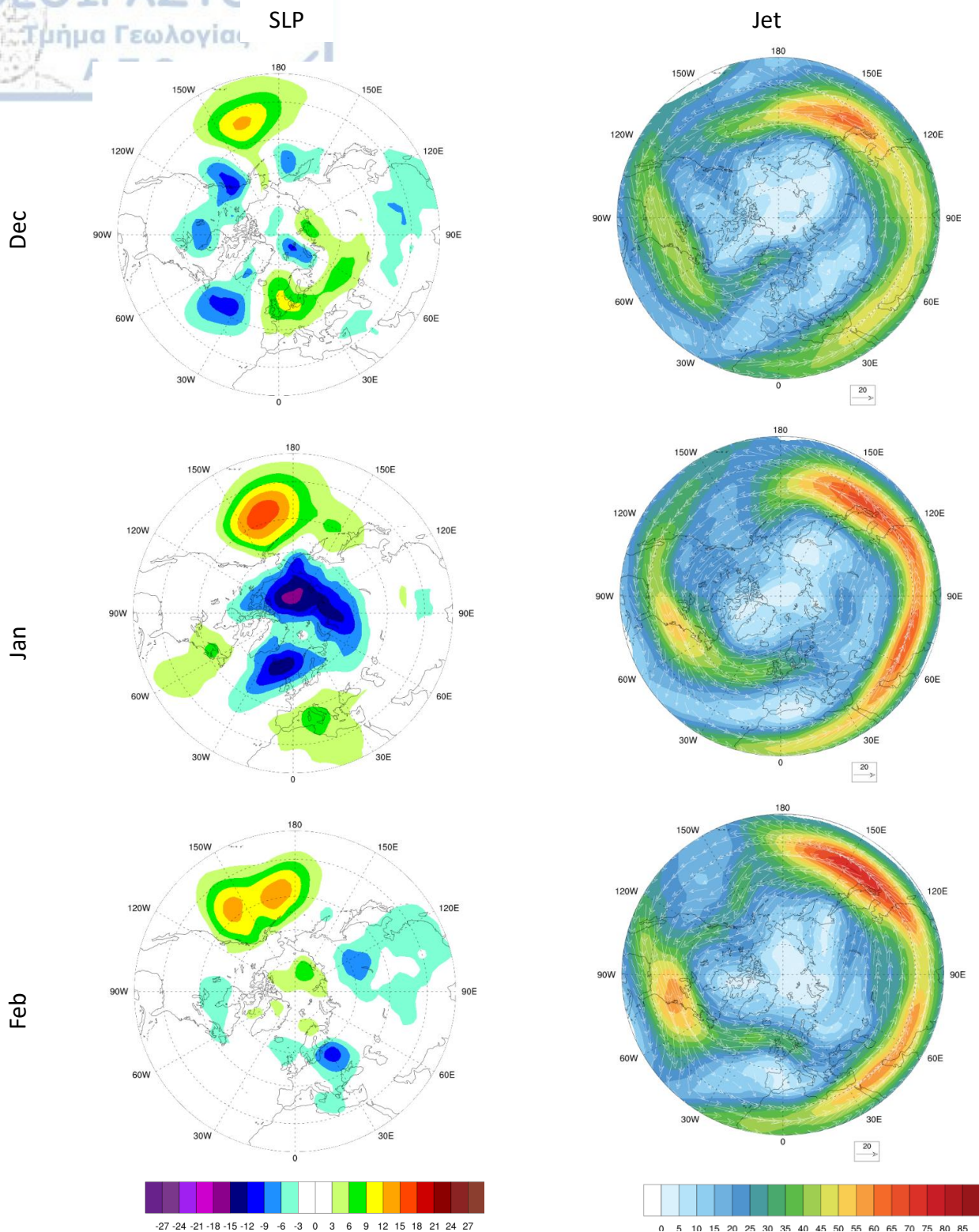
τον ανατολικό Ατλαντικό και πιθανότατα οφείλεται για τη μεταβολή που εμφανίζουν τα συνοπτικά συστήματα που εντοπίζονται στην Ευρώπη .

Πίνακας 3.3 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά τη δεύτερη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

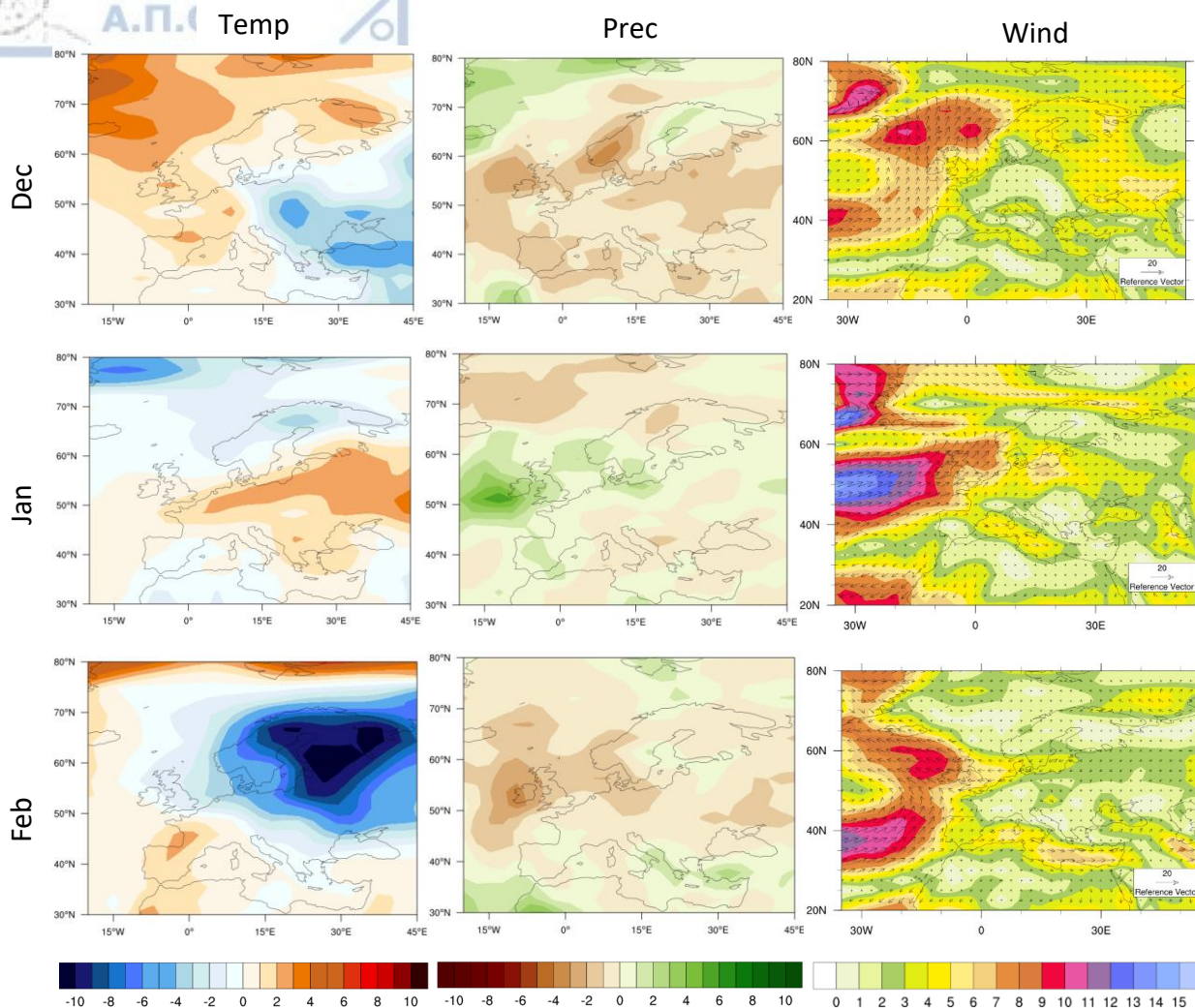
	Dec				Jan				Feb			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑
Prec	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	-	↓	↑
Wind	Δ	Δ-ΝΔ	ΝΔ	ΝΔ	ΝΔ	ΝΔ	Δ	Δ	ΝΔ	Δ	Δ	ΝΔ
SLP	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓

Πίνακας 3.4 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά τη δεύτερη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec			Jan			Feb		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑
Prec	↓	↑	↑	↑	↓	↓	-	-	-
Wind	ΒΔ	ΒΔ-Δ	Δ	-	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	Δ	-
SLP	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑



Σχήμα 3.4 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά τη δεύτερη φάση για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.5 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας(°C) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την τρίτη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Η τρίτη φάση του δείκτη παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Κατά το Δεκέμβριο της τρίτης φάσης του δείκτη RMM, από το πεδίο της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας (Π.9), γίνεται αντιληπτό πως υψηλές πιέσεις λαμβάνουν χώρα στην περιοχή της Ευρώπης ενώ χαμηλές πιέσεις επικρατούν στο κεντρικό, βόρειο Ατλαντικό υποδεικνύοντας το χαμηλό της Ισλανδίας. Από το πεδίο ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης διαπιστώνεται πως οι υψηλές πιέσεις που εντοπίζονται στη βόρεια και ανατολική Ευρώπη, είναι αρκετά μεγαλύτερες των μέσων τιμών (Σχήμα 3.6). Οι τελευταίες φανερώνουν την ύπαρξη ενός καλά οργανωμένου υψηλού συστήματος πιέσεων το οποίο συνοδεύεται από χαμηλές θερμοκρασίες και έλλειψη υετού. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από το πεδίο της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης καθώς στην αντίστοιχη περιοχή παρατηρείται στατιστικά σημαντικότητα με πτώση κατά 2°C-5°C και

ελάττωση της βροχόπτωσης κατά 1mm-3mm αντίστοιχα (Σχήμα Π.9). Στη δυτική Ευρώπη και στη βορειοανατολική Σκανδιναβία καταγράφονται θετικές ανωμαλίες στο πεδίο της θερμοκρασίας με τη μείωση της βροχόπτωσης να επιμένει. Οι άνεμοι στη θαλάσσια περιοχή δυτικά της Ευρώπης είναι νότιοι-νοτιοδυτικοί πάνω από το βορειοανατολικό Ατλαντικό ακολουθώντας κυκλωνική τροχιά. Από την αναπαράσταση του αεροχειμάρρου διαπιστώνεται πως ο πολικός εκτείνεται στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, πάνω από τις ανατολικές ΗΠΑ και τον Ατλαντικό, και παρουσιάζει υψηλές ταχύτητες οι οποίες στην περιοχή εξόδου του, καθορίζουν σημαντικά την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην περιοχή της Ευρώπης. Στο υπόλοιπο τμήμα του, επεκτείνεται στα χαμηλά και μέσα γεωγραφικά πλάτη, και συγκεκριμένα από την ανατολική Αφρική ως τον ανατολικό Ατλαντικό, έχοντας συνεχή δομή και αυξημένες ταχύτητες με τις μέγιστες να φτάνουν τα 70m/sec.

Ο Ιανουάριος της 3^{ης} φάσης είναι ένας από τους τρεις μήνες που εμφανίζει την μεγαλύτερη ένταση του δείκτη RMM. Εξετάζοντας τη ροή του αεροχειμάρρου κατά την περίοδο του Ιανουαρίου της ίδιας φάσης, παρατηρείται πως συνεχίζεται η αδιάκοπη δομή του καταλαμβάνοντας μεγαλύτερη έκταση, από τις δυτικές ακτές της Αφρικής έως τον ανατολικό Ατλαντικό (Σχήμα 3.6). Οι ταχύτητες είναι πιο αυξημένες στο μεγαλύτερο εύρος του με τις μέγιστες στα 80m/sec πάνω από την Ιαπωνία. Παράλληλα, ο πολικός αεροχείμαρρος φαίνεται να έχει μετατοπιστεί προς τα ανατολικά. Επεκτείνεται στα μέσα γεωγραφικά πλάτη πάνω από τις ανατολικές ΗΠΑ μέχρι το βορειοανατολικό Ατλαντικό, επιδρώντας σημαντικά στα συστήματα κυκλοφορίας της Ευρώπης. Συγκεκριμένα, παρατηρώντας τα κέντρα δράσης που αναπτύσσονται στην έξοδο του αεροχειμάρρου (Π.9), εντοπίζονται στα δεξιά αυτού υψηλές πιέσεις που οφείλονται στον αντικυκλώνα των Αζορών, ενώ στα αριστερά χαμηλές πιέσεις που προκύπτουν από το κέντρο δράσης της Ισλανδίας δημιουργώντας μία καλά δομημένη θετική φάση του ΝΑΟ. Παρατηρώντας τη ροή του μέσου ανέμου στο βορειοανατολικό Ατλαντικό διακρίνονται νοτιοδυτικοί άνεμοι έντασης 10-14m/sec οι οποίοι υποδεικνύουν την κυκλωνική κίνηση του χαμηλού της Ισλανδίας (Σχήμα 3.5, Πίνακας 3.5). Οι τελευταίοι επηρεάζουν σημαντικά τη βροχόπτωση καθώς μεταφέρουν υγρές αέριες μάζες στην Αγγλία και στις χώρες που περιβάλλουν τη βόρεια Θάλασσα. Ειδικότερα, στις περιοχές αυτές παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2%-4% από τη μέση τιμή, με βάση το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών (Π.9), ενώ στην υπόλοιπη Ευρώπη όπου επικρατούν νοτιοδυτικοί-δυτικοί άνεμοι δε σημειώνεται κάποια

αξιόλογη μεταβολή. Νότια των ισχυρών ανέμων στον ανατολικό Ατλαντικό, γίνεται αντιληπτή μέσω των ανέμων η αντικυκλωνική ροή του υψηλού των Αζορών. Στην κεντρική Μεσόγειο, πνέουν ξηροί βορειοδυτικοί άνεμοι (Μιστράλ, (Σχήμα 3.5, Πίνακας 3.6)). Τέλος, όσο αφορά το πεδίο της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι στη βόρεια Ευρώπη, όπου επεκτείνονται οι χαμηλές πιέσεις του κέντρου της Ισλανδίας, επικρατούν αρνητικές ανωμαλίες, ενώ στην υπόλοιπη Ευρώπη θετικές της τάξης μεγέθους 2°C - 3°C πάνω από τη μέση τιμή.

Κατά το Φεβρουάριο της τρίτης φάσης, η ροή του αεροχειμάρρου τροποποιείται. Αρχικά το εύρος του περιορίζεται γεωγραφικά σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο, καθώς εκτείνεται αδιάκοπα από την κεντρική Αφρική ως το δυτικό Ειρηνικό. Παρότι το εύρος των ταχυτήτων του ανέμου είναι μικρότερο, παρουσιάζει δύο μέγιστα της τάξης 65m/sec , όπου το ένα βρίσκεται πάνω τη νότιο Ασία και το άλλο πάνω από την Ιαπωνία και το δυτικό Ειρηνικό. Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι η άμεση επίδραση στα συστήματα κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας. Ειδικότερα, από τη μέση ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (Π.9) γίνεται αντιληπτό πως ο Σιβηρικός αντικυκλώνας ωθείται προς τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και εξασθενεί. Επεκτείνεται στη βόρεια Ευρώπη και καλύπτει την πολική περιοχή όπου φαίνεται πως συναντάει τις υψηλές ατμοσφαιρικές πιέσεις του αντικυκλώνα του βόρειου Καναδά. Παράλληλα, ο πολικός αεροχείμαρρος μετατοπίζεται δυτικότερα καθώς εκτείνεται πλέον από τις ΗΠΑ ως τον κεντρικό Ατλαντικό. Η υποχώρηση του αεροχειμάρρου προς τα δυτικά σε συνδυασμό με τις υψηλές πιέσεις που επικρατούν στην πολική περιοχή αναγκάζουν το χαμηλό της Ισλανδίας να μετατοπιστεί νοτιότερα προς τον κεντρικό βόρειο Ατλαντικό. Χαμηλότερες πιέσεις εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης, της Μεσογείου και της Ασίας. Η σημαντική αύξηση της πίεσης σε σχέση με τη μέση κατάσταση στη βόρεια Ευρώπη συνοδεύεται από ακραία πτώση της θερμοκρασίας και ξηρασία. Ειδικότερα, παρατηρώντας το πεδίο της θερμοκρασίας καταγράφεται στατιστικά σημαντική πτώση κατά 10°C πάνω από την ανατολική Σκανδιναβία και το βορειοδυτικό τμήμα της Μόσχας (Σχήμα 3.5, Πίνακας 3.5), ενώ παράλληλα στη βόρεια και ανατολική Ευρώπη σημειώνεται πτώση κατά 4°C - 9°C . Οι άνεμοι στο βόρειο Ατλαντικό είναι νοτιοδυτικοί, ισχυροί και ακολουθούν τη ροή του κυκλωνικού συστήματος της Ισλανδίας. Στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης επικρατούν πολύ ασθενείς άνεμοι οι οποίοι ευνοούν την ανάπτυξη ξηρότερων συνθηκών. Αντίθετα, στη Μεσόγειο (Σχήμα 3.5, Πίνακας

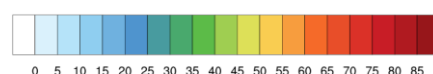
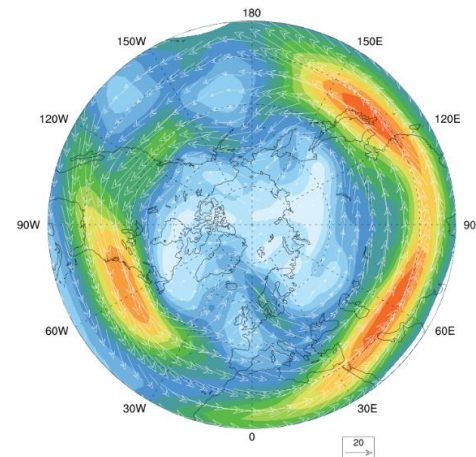
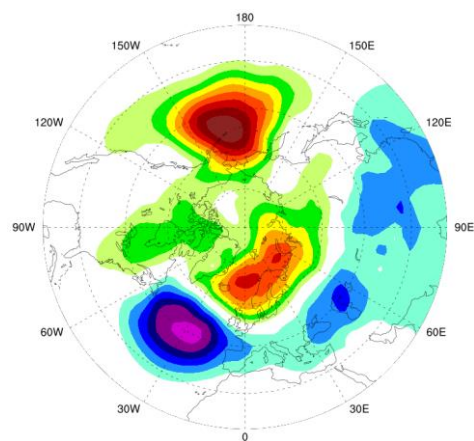
3.6) πνέουν ισχυροί, δυτικοί άνεμοι οι οποίοι μεταφέρουν υγρές αέριες μάζες και έχουν ως αποτέλεσμα της αύξηση της βροχόπτωσης κατά 4%-5% (Π.9) στην ανατολική Μεσόγειο και στην περιοχή της νότιας Τουρκίας.

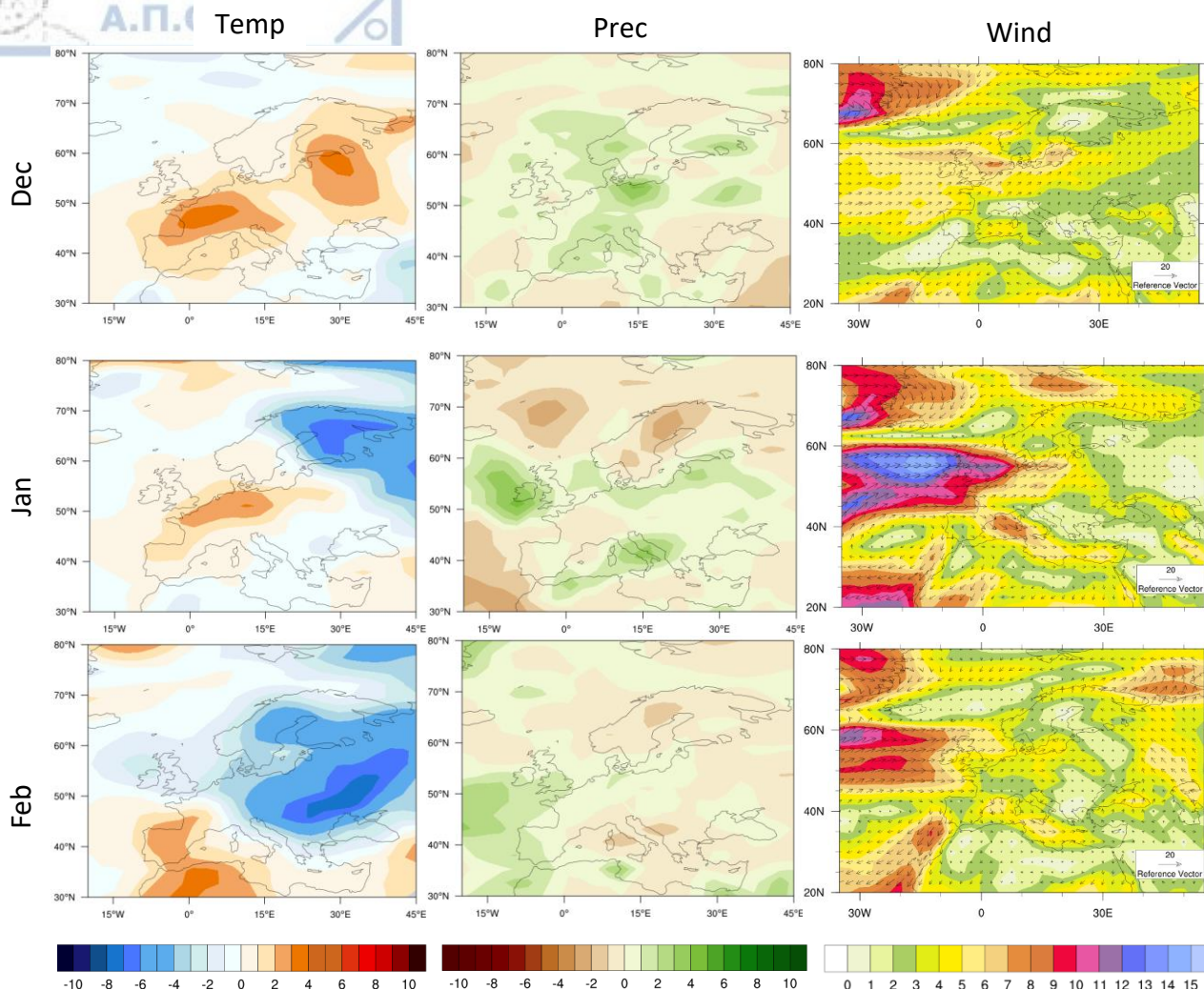
Πίνακας 3.5 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την τρίτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec				Jan				Feb			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↓
Prec	↓	↓	↓	↓	↑	↑	-	-	↓	↓	↓	↓
Wind	Δ	-	NΔ	Δ	NΔ	NΔ	NΔ	Δ	-	NΔ	-	-
SLP	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑

Πίνακας 3.6 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την τρίτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec			Jan			Feb		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓
Prec	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑
Wind	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	Δ	Δ	Δ
SLP	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	-	-





Σχήμα 3.7 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την τέταρτη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Το Δεκέμβριο της τέταρτης φάσης, η δομή του αεροχειμάρρου φαίνεται συνεχής και εκτείνεται στα χαμηλά γεωγραφικά πλάτη από την ανατολική Αφρική ως τον κεντρικό Ειρηνικό. Η ροή των ταχυτήτων που αναπτύσσει κυμαίνεται στα 55m/sec και οι μέγιστες φτάνουν τα 65-70m/sec (Σχήμα 3.8). Η παραπάνω κατάσταση υποδηλώνει ότι ο αεροχείμαρρος δεν είναι αρκετά ισχυρός σε σχέση με άλλες περιόδους. Παράλληλα, ιδιαίτερα εξασθενημένος εμφανίζεται και ο πολικός αεροχείμαρρος ο οποίος περιορίζεται γεωγραφικά πάνω από τη βόρεια Αμερική και εμφανίζει πολύ χαμηλές ταχύτητες της τάξης 40-45m/sec. Ως εκ τούτου η ατμοσφαιρική κυκλοφορία διαμορφώνεται ως εξής: Χαμηλές πιέσεις, μικρότερες της μέσης κατάστασης, λαμβάνουν χώρα στη βόρεια Ευρώπη και στο βόρειο τμήμα της Σιβηρίας σηματοδοτώντας την ενίσχυση του χαμηλού της Ισλανδίας

μέγιστη 3°C στη Γαλλία. Ωστόσο, στην ανατολική Μεσόγειο και στις Βαλκανικές χώρες παρουσιάζεται πτώση της θερμοκρασίας με τη μέγιστη της τάξης 5°C-6°C να εντοπίζεται στη βορειοανατολική Σκανδιναβία και στη βορειοανατολική Ευρώπη (Σχήμα 3.7, Πίνακας 3.7). Στο πεδίο του μέσου ανέμου, λόγω της θετικής φάσης του NAO παρατηρείται στο βορειοανατολικό Ατλαντικό ισχυροί-σχεδόν θυελλώδεις, δυτικοί άνεμοι οι οποίοι επεκτείνονται στην περιοχή της Αγγλίας. Οι τελευταίοι πιθανότατα είναι υπεύθυνοι για την αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2%-3% με βάση το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών (Π.13), στην αντίστοιχη περιοχή. Οι δυτικοί άνεμοι που πνέουν στη βόρεια κεντρική Ευρώπη ενισχύουν τη μεταφορά υγρών θαλάσσιων μαζών στις χώρες που περιβάλλουν από τα νότια τη Βόρεια και τη Βαλτική Θάλασσα με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 1mm-2mm. Παράλληλα βορειοδυτικοί άνεμοι πνέουν στον κόλπο του Λέοντα (Μιστράλ). Αύξηση της βροχόπτωσης παρατηρείται στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου, ενώ στην ανατολική Μεσόγειο δε σημειώνεται κάποια αξιόλογη μεταβολή στο πεδίο της βροχόπτωσης (Πίνακας 3.8).

Το Φεβρουάριο της τέταρτης φάσης ο αεροχείμαρρος περιορίζεται γεωγραφικά σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο, καθώς λαμβάνει χώρα από την ανατολική Αφρική ως τον κεντρικό Ειρηνικό (Σχήμα 3.8). Ωστόσο, η ροή ταχυτήτων δε μεταβάλλεται σημαντικά. Οι ταχύτητες που αναπτύσσονται κυμαίνονται μεταξύ 55-65m/sec και οι μέγιστες φτάνουν τα 80-85m/sec πάνω από τις ανατολικές ακτές της Ασίας. Η ενέργεια που αποδεσμεύεται από τον αεροχείμαρρο μεταφέρεται στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη ενισχύοντας την ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Συγκεκριμένα παρατηρώντας τους χάρτες της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης (Π.13), διαπιστώνεται πως ο Σιβηρικός αντικυκλώνας εξαπλώνεται βορειότερα καλύπτοντας την πολική περιοχή. Αντίθετα ο πολικός αεροχείμαρρος εμφανίζεται ιδιαίτερα αποδυναμωμένος. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μετατόπιση του τελευταίου δυτικότερα σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο, καθώς εκτείνεται στο βορειοδυτικό Ατλαντικό, και οι ταχύτητες του φτάνουν τα 45-50m/sec. Η υποχώρηση του πολικού αεροχείμαρρου προς τα δυτικά σε συνδυασμό με την επέκταση του Σιβηρικού αντικυκλώνα προς το βόρειο πόλο έχει ως αποτέλεσμα την ώθηση του χαμηλού της Ισλανδίας προς τα νοτιότερα και συγκεκριμένα στο βόρειο κεντρικό Ατλαντικό. Το κυκλωνικό αυτό σύστημα εμφανίζεται ιδιαίτερα ενισχυμένο καθώς σημειώνονται αρνητικές ανωμαλίες στο πεδίο της πίεσης. Στον κεντρικό Ατλαντικό εξαπλώνεται το υψηλό των Αζορών, το οποίο μεταφέρει υψηλές πιέσεις στις ανατολικές ΗΠΑ και στη δυτική Ευρώπη και Αφρική. Το

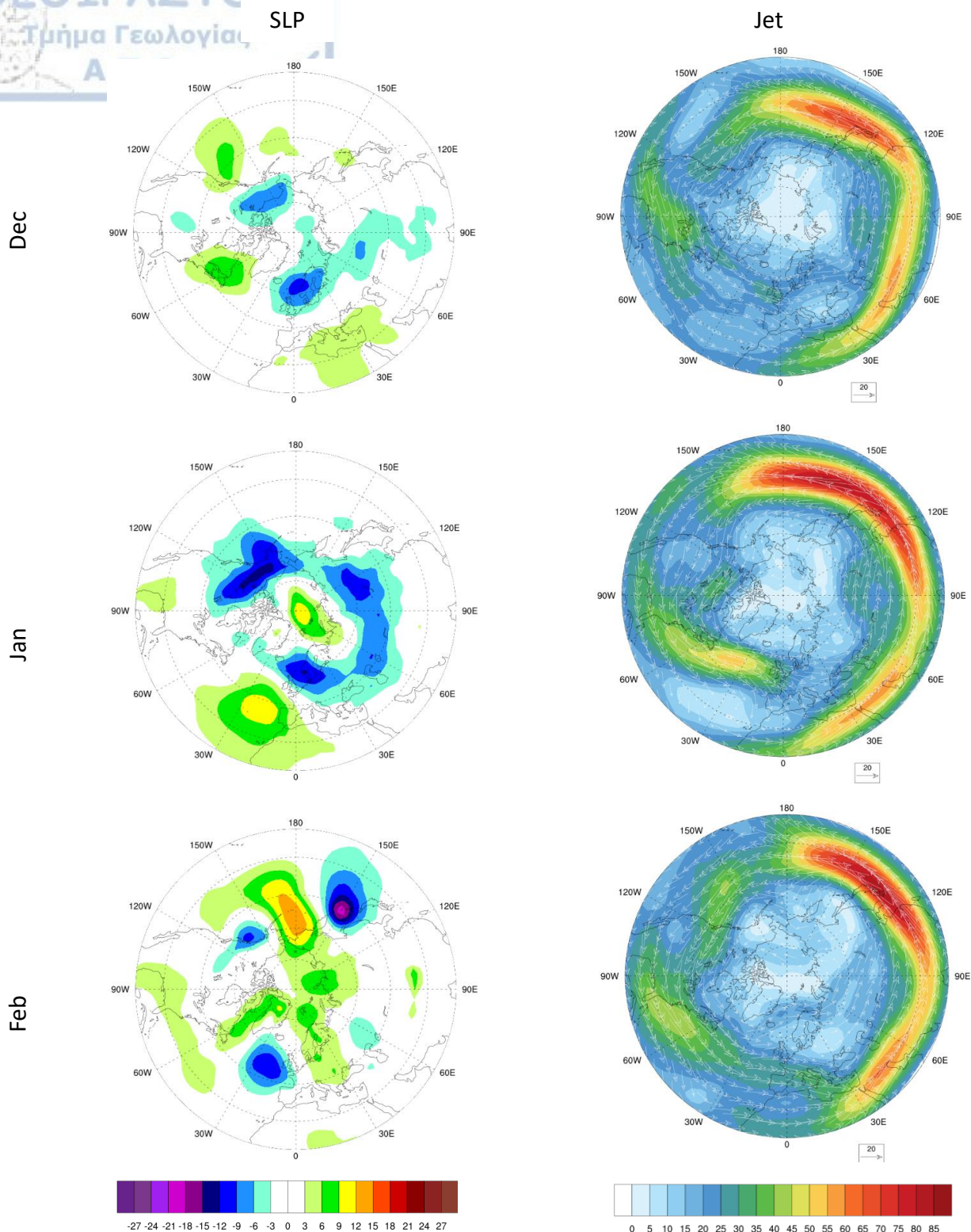
σύστημα αυτό σχετίζεται με τους ασθενείς, δυτικούς ανέμους που πνέουν στη δυτική Ευρώπη και μεταφέρουν υγρές αέριες μάζες που αυξάνουν τη βροχόπτωση κατά 2mm στη νότια Αγγλία και Πορτογαλία (Σχήμα 3.7, Πίνακας 3.7). Το Φεβρουάριο, η 4^η φάση παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ένταση του δείκτη σε όλη τη περίοδο μελέτης. Αυτή λοιπόν φαίνεται να συνδέεται με υψηλές πιέσεις πάνω από τη Βαλκανική και ανατολική Ευρώπη, με ακραία πτώση της θερμοκρασίας και ελάττωση της βροχόπτωσης. Η μέγιστη πτώση καταγράφεται στους 7°C βόρεια των χωρών της Μαύρης θάλασσας και είναι στατιστικά σημαντική (Π.14). Στις περιοχές όπου παρατηρείται νηνεμία βρίσκεται το κέντρο του αντικυκλώνα.

Πίνακας 3.7 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την τέταρτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

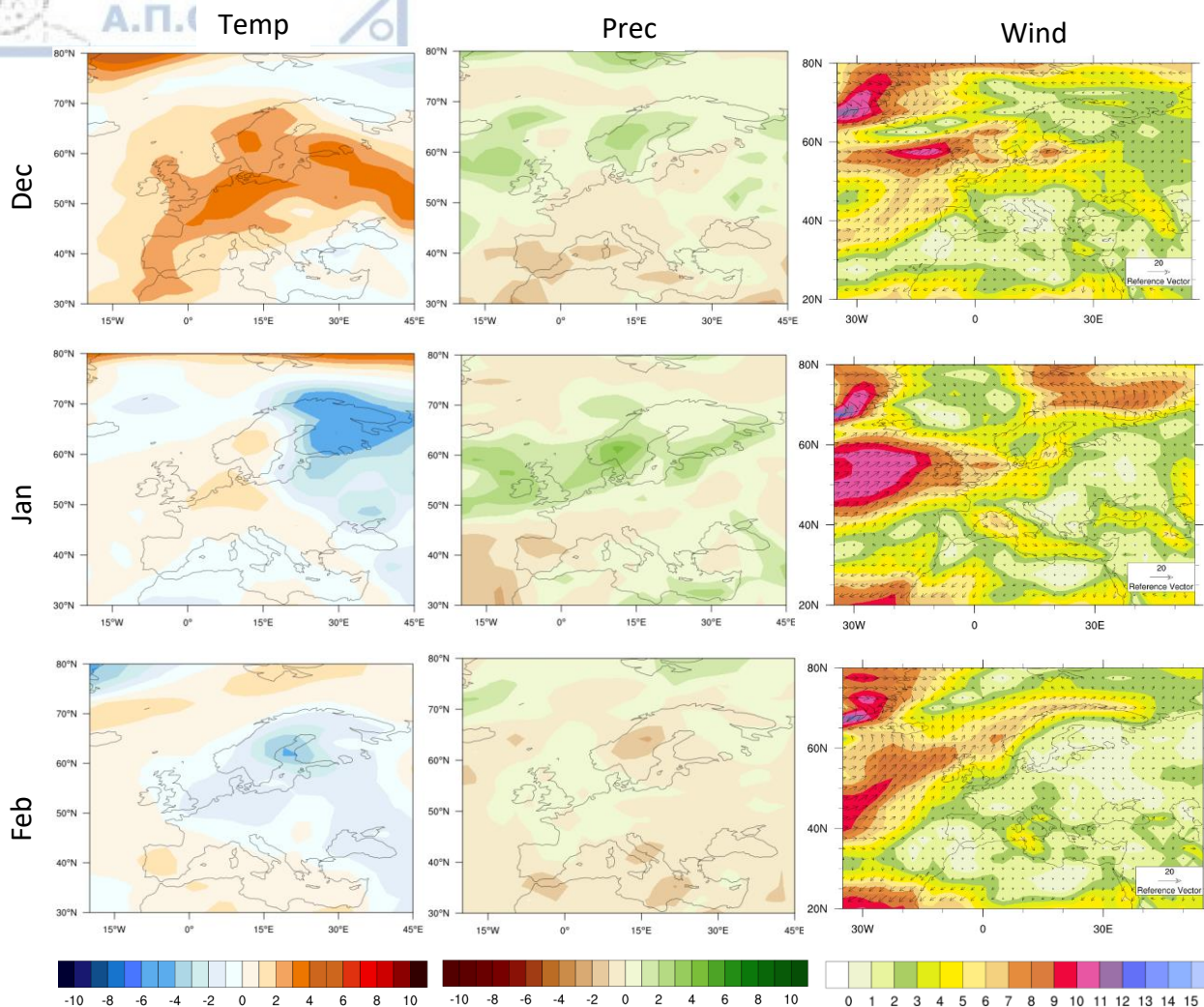
	Dec				Jan				Feb			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↓
Prec	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓
Wind	Δ	NΔ	NΔ	NΔ	Δ-NΔ	Δ	NΔ	NΔ	Δ	Δ	Δ	NA
SLP	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

Πίνακας 3.8 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την τέταρτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec			Jan			Feb		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓
Prec	↓	↑	↓	↓	↑	-	↓	↓	↓
Wind	Δ	Δ	Δ-BΔ	BΔ	BΔ-Δ	Δ	BΔ	Δ	Δ
SLP	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑



Σχήμα 3.8 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την τέταρτη φάση για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.9 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας(°C) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την πέμπτη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Ο Δεκέμβριος της 5^{ης} φάσης εμφανίζει μεγάλη συχνότητα εμφάνισης ακραίων τιμών του δείκτη RMM. Το Δεκέμβριο ο αεροχειμάρρος εκτείνεται από την ανατολική Αφρική ως τον κεντρικό, βόρειο Ειρηνικό, αναπτύσσει ταχύτητες μεγαλύτερες των 55m/sec μεταφέροντας ενέργεια στο χαμηλό των Αλεούτιων νήσων. Οι μέγιστες ταχύτητες φτάνουν τα 75m/sec πάνω από την ανατολική Ασία (Σχήμα 3.10). Ωστόσο ο πολικός αεροχειμάρρος παρουσιάζεται ιδιαίτερα αποδυναμωμένος καταλαμβάνοντας έκταση από τις κεντρικές ΗΠΑ ως το βορειοδυτικό Ατλαντικό και οι ταχύτητες του κυμαίνονται 40-45m/sec. Στην αριστερή έξοδο του αεροχειμάρρου λαμβάνουν χώρα στην περιοχή του κεντρικού, βόρειου-βορειοανατολικού ωκεανού οι χαμηλές πιέσεις του κέντρου δράσης της Ισλανδίας (Π.5.17). Οι τελευταίες επεκτείνονται μέχρι τη βόρεια Ευρώπη όπου εμφανίζουν αρκετά χαμηλότερες

πιέσεις σε σχέση με τη μέση κατάσταση. Το χαμηλό σύστημα γίνεται αντιληπτό και από το πεδίο του μέσου ανέμου καθώς στη θαλάσσια περιοχή βόρεια της Ευρώπης πνέουν νοτιοδυτικοί άνεμοι που ακολουθούν την κυκλωνική ροή του συστήματος. Οι άνεμοι αυτοί μεταφέρουν υγρές αέριες μάζες στην αντίστοιχη περιοχή και στη βόρεια Σκανδιναβία, αυξάνοντας τη βροχόπτωση κατά 2mm-3mm (Σχήμα 3.9). Στην υπόλοιπη Ευρώπη επικρατούν υψηλές πιέσεις όπου πιθανότατα οφείλονται σε μία θερμή εισβολή η οποία μεταφέρει θερμές αέριες μάζες από τη ζώνη των Τροπικών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη στατιστικά σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C-4°C στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της δυτικής Μεσογείου η οποία συνοδεύεται και από ξηρασία (Π.18, Πίνακας 3.9). Στην υπόλοιπη Μεσόγειο δε σημειώνεται κάποια αξιόλογη μεταβολή στο πεδίο της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης καθώς και στου μέσου ανέμου αφού καταγράφονται πολύ ασθενείς άνεμοι.

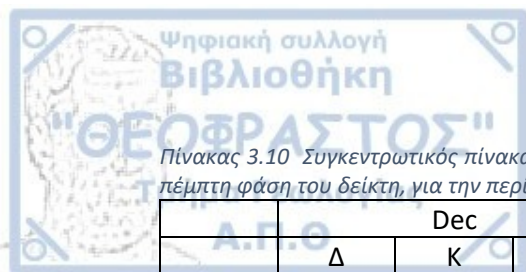
Κατά τον Ιανουάριο ο αεροχείμαρρος παρουσιάζει παρόμοια δομή με την προηγούμενη περίοδο, με τη διαφορά ότι καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση και είναι λίγο πιο ενισχυμένος. Ειδικότερα, ο τελευταίος εκτείνεται από την κεντρική Αφρική πλέον, ως τον κεντρικό Ειρηνικό με τις μέγιστες ταχύτητες να σημειώνονται στα 70-75m/sec πάνω από το δυτικό Ειρηνικό και τις παράκτιες περιοχές της ανατολικής Ασίας. Η ενέργεια που μεταδίδεται προς τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη ενισχύει τον Σιβηρικό αντικυκλώνα. Παρατηρώντας το πεδίο ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης, διαπιστώνεται ότι το υψηλό σύστημα πιέσεων της Σιβηρίας επεκτείνεται προς τα βόρεια και εμφανίζει πολύ μεγαλύτερες των μέσων τιμών πιέσεις (Σχήμα 3.10). Στη περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού σημειώνονται αρκετά χαμηλότερες της μέσης κατάστασης πιέσεις, οι οποίες σηματοδοτούν το χαμηλό της Ισλανδίας, ενώ νοτιότερα καταγράφονται αρκετά υψηλές πιέσεις που υποδεικνύουν την παρουσία του αντικυκλώνα των Αζορών. Η ζωνική ροή στο βορειοανατολικό Ατλαντικό μεταφέρει υγρές αέριες μάζες στην Αγγλία και τη Σκανδιναβία αυξάνοντας τη βροχόπτωση κατά 2mm-3mm (Σχήμα 3.9, Πίνακας 3.9). Η κίνηση αυτή συνοδεύεται και από μικρή αύξηση της θερμοκρασίας της τάξης 1°C-2°C στη δυτική και κεντρική Ευρώπη ενώ η βροχόπτωση δεν παρουσιάζει κάποια αξιοσημείωτη μεταβολή. Στην Μεσόγειο και στην ανατολική Ευρώπη σε γενικές γραμμές παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας με τη μέγιστη στους 5°C να καταγράφεται στην ανατολική Σκανδιναβία. Τέλος, στη Μεσόγειο πνέουν βορειοδυτικοί-δυτικοί άνεμοι οι οποίοι σχετίζονται με την

αύξηση της βροχόπτωσης κατά 3%-6%, με βάση το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (Π.17), στο ανατολικό τμήμα της.

Στο τέλος του χειμώνα, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία δε διαφοροποιείται σημαντικά. Ο αεροχειμάρρος παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με την προηγούμενη περίοδο. Εκτείνεται γεωγραφικά στην ίδια περιοχή και κυμαίνεται σε όμοιο εύρος ταχυτήτων. Ο αεροχειμάρρος τροφοδοτεί με ενέργεια το Σιβηρικό αντικυκλώνα που βρίσκεται στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη με αποτέλεσμα ο τελευταίος να ενισχύεται και να εξαπλώνεται βορειότερα. Η κίνηση αυτή ακολουθείται από μία υποχώρηση του πολικού αεροχειμάρρου η οποία συνοδεύεται από τη μετακίνηση του χαμηλού της Ισλανδίας νοτιότερα, στο βορειοδυτικό Ατλαντικό, προκαλώντας αρκετά χαμηλότερες των μέσων τιμών πιέσεις στην αντίστοιχη περιοχή. Αντίθετα στα δεξιά του πολικού αεροχειμάρρου στον κεντρικό Ατλαντικό εντοπίζονται υψηλές πιέσεις που υποδηλώνουν την παρουσία του αντικυκλώνα των Αζορών ο οποίος εξαπλώνεται σημαντικά (Π.17). Παράλληλα, υψηλές πιέσεις επικρατούν και στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης καθώς εντοπίζεται ένα αντικυκλωνικό σύστημα το οποίο προκαλεί μεγαλύτερες των μέσων τιμών πιέσεις στις βαλκανικές χώρες και ιδιαίτερα στη βορειοανατολική Ευρώπη (Σχήμα 3.10). Το σύστημα αυτό επιφέρει μείωση της βροχόπτωσης και πολύ ασθενείς ανέμους στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Η απουσία βροχόπτωσης στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης της Μεσογείου είναι στατιστικά σημαντική (Σχήμα Π.18, Πίνακας 3.10). Παράλληλα συνοδεύεται από μικρή πτώση της θερμοκρασίας της τάξης 1°C-2°C στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη, και η μέγιστη σημειώνεται στους 3°C-4°C στις χώρες που περιβάλλουν τη Βαλτική Θάλασσα. Στη Μεσόγειο και τη δυτική Ευρώπη παρατηρείται μικρή αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C και 2°C αντίστοιχα.

Πίνακας 3.9 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την πέμπτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

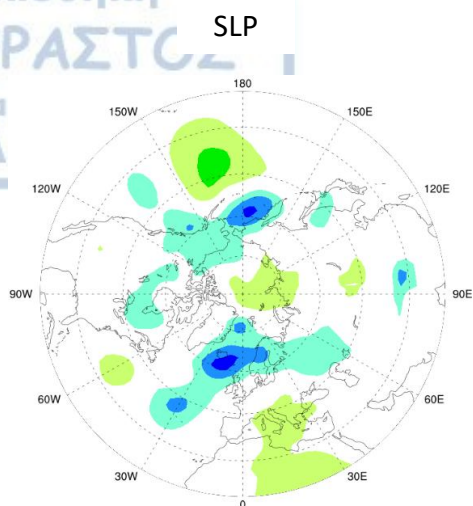
	Dec				Jan				Feb			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓
Prec	↑	↓	↓	↑	↑	↓	-	-	↓	↑	↓	↓
Wind	NΔ	Δ	NΔ	Δ	Δ-NΔ	Δ	NΔ-Δ	-	NΔ	-	-	-
SLP	↓	↑	↑	↑		↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑



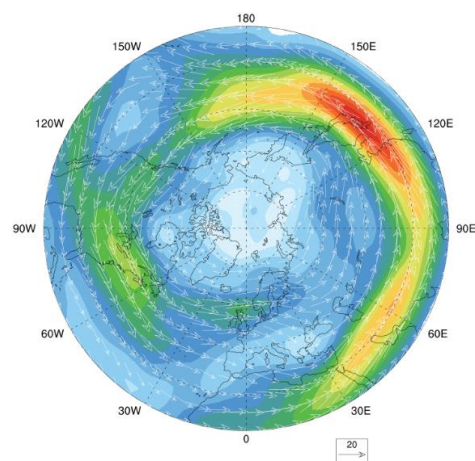
Πίνακας 3.10 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την πέμπτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec			Jan			Feb		
	Δ	Κ	Α	Δ	Κ	Α	Δ	Κ	Α
T	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Prec	↓	↓	↓	↓	-	↑	↓	↓	↓
Wind	-	-	Δ	ΒΔ	ΒΔ	Δ	ΒΔ	ΒΔ	-
SLP	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

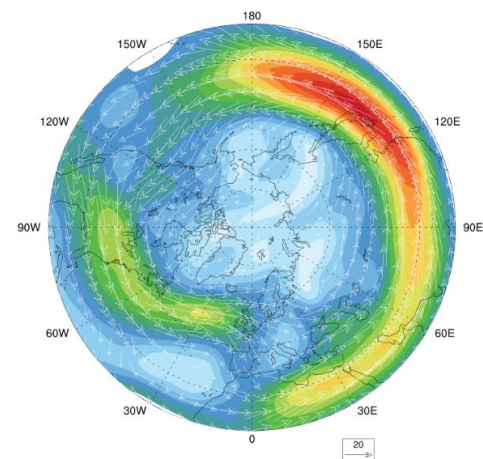
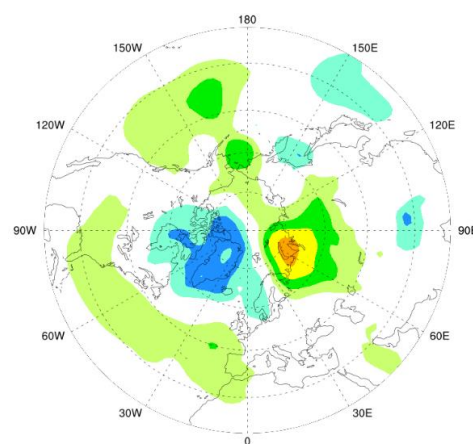
Dec



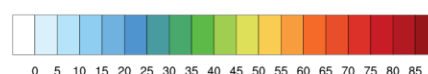
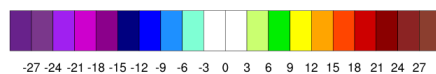
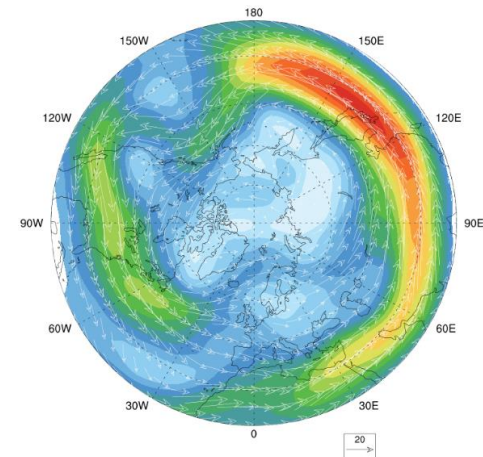
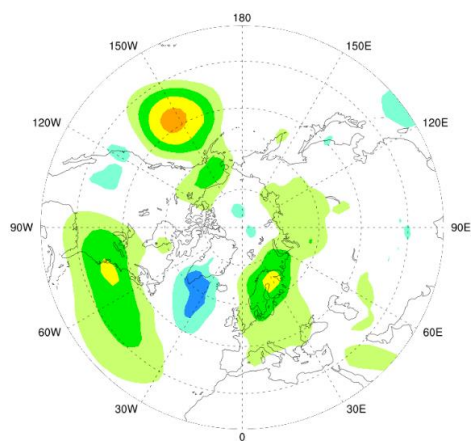
Jet



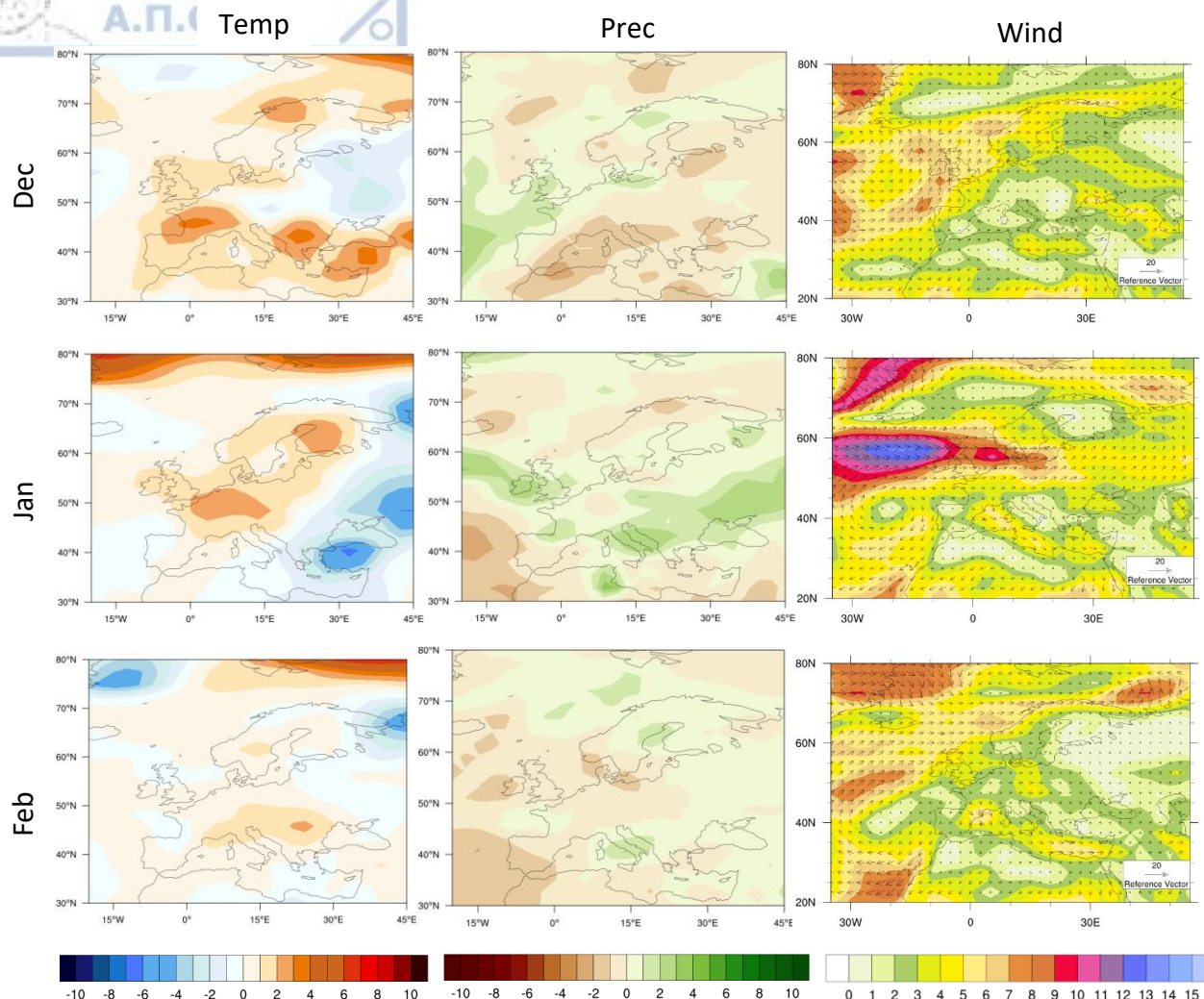
Jan



Feb



Σχήμα 3.10 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης(mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure,SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την πέμπτη φάση για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.11 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας(°C) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την έκτη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Οι ακραίες τιμές του Δείκτη RMM για την 6^η φάση του MJO, στην αρχή του χειμώνα συνδέονται με τη αδιάκοπη δομή του αεροχειμάρρου η οποία εκτείνεται από τα χαμηλότερα προς τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες που αναπτύσσει, 70-75m/sec, λαμβάνουν χώρα στο δυτικό Ειρηνικό ωκεανό και στα παράλια της ανατολικής Ασίας (Σχήμα 3.12). Η ενέργεια που μεταδίδεται από τον αεροχειμάρρο ενισχύει τα συνοπτικά συστήματα που βρίσκονται βορειότερα. Ειδικότερα, από το πεδίο ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης διαπιστώνεται πως το χαμηλό των Αλεούτιων νήσων παρουσιάζει αρκετά χαμηλότερες των μέσων τιμών πιέσεις. Στην κεντρική Σιβηρία εντοπίζεται αποδυναμωμένος ο Σιβηρικός αντικυκλώνας, ωστόσο από το πεδίο της μέσης κατανομής της πίεσης (Π.21), παρατηρείται πως αυτός μεταφέρει υψηλές πιέσεις μέχρι και στην πολική περιοχή. Όσο αφορά τον πολικό αεροχειμάρρο, οι μέγιστες ταχύτητες του

φτάνουν τα 50-55m/sec οι οποίες εκτείνονται γεωγραφικά στα ανατολικά του Καναδά ως το βορειοδυτικό Ατλαντικό. Στην αριστερή έξοδο του πολικού αεροχειμάρρου εντοπίζεται το χαμηλό της Ισλανδίας το οποίο εμφανίζεται αρκετά ενισχυμένο και φτάνει μέχρι το βόρειο κεντρικό Ατλαντικό. Αντίθετα, στα δεξιά του αεροχειμάρρου σημειώνονται υψηλές πιέσεις οι οποίες πιθανότατα υποδεικνύουν το μετατοπισμένο υψηλό του βορειοδυτικού Καναδά. Αξιόλογη μετατόπιση παρουσιάζει και ο αντικυκλώνας των Αζορών, ο οποίος λαμβάνει χώρα στη βόρεια Αφρική. Στην κεντρική Ευρώπη εντοπίζεται ένα υψηλό σύστημα πιέσεων το οποίο είναι υπεύθυνο για τις θετικές ανωμαλίες που παρατηρούνται στην βόρεια και κεντρική Ευρώπη και στη κεντρική Μεσόγειο σύμφωνα με το πεδίο ανωμαλιών της πίεσης. Το σύστημα αυτό συνοδεύεται και από μικρή πτώση της θερμοκρασίας της τάξης 1°C - 3°C στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη (Σχήμα 3.11, Πίνακας 3.11). Στη δυτική Μεσόγειο, τα Βαλκάνια και τη Μεσόγειο σημειώνονται θετικές ανωμαλίες στο πεδίο της θερμοκρασίας, καθώς καταγράφεται αύξηση κατά 2°C - 4°C , η οποία στην Ιβηρική χερσόνησο και στα ανατολικά της λεκάνης εμφανίζει στατιστική σημαντικότητα (Σχήμα Π.22, Πίνακας 3.12). Το κέντρο του υψηλού όπου εντοπίζεται στην κεντρική Ευρώπη, γίνεται εύκολα αντιληπτό από το πεδίο του μέσου ανέμου όπου επικρατεί νηνεμία. Στην υπόλοιπη περιοχή επικρατούν ασθενείς άνεμοι που ακολουθούν την αντικυκλωνική ροή του συστήματος ενώ στον βορειοανατολικό Ατλαντικό επικρατούν ισχυροί, νοτιοδυτικοί άνεμοι οι οποίοι σηματοδοτούν την παρουσία του χαμηλού της Ισλανδίας. Στο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης παρότι δεν σημειώνονται αξιόλογες μεταβολές, παρατηρείται ελάττωση της βροχόπτωσης η οποία είναι στατιστικά σημαντική (Π.22).

Στα μέσα του χειμώνα, ο αεροχειμάρρος εμφανίζει μία μη καλά δομημένη μορφή εμφανίζοντας ένα μικρό σπάσιμο στη ροή του, στα κεντρικά της Ασίας. Οι μέγιστες ταχύτητες φτάνουν τα 75-80m/sec στα παράλια της ανατολικής Ασίας και στο δυτικό Ειρηνικό. Παράλληλα υψηλές ταχύτητες της τάξης 55-60m/sec αναπτύσσονται από τη δυτική Αφρική ως τη δυτική περιοχή της Ασίας. Από το πεδίο της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης (Π.21), γίνεται αντιληπτό ότι ο Σιβηρικός αντικυκλώνας είναι πιο ενισχυμένος, καθώς εξαπλώνεται προς την πολική περιοχή και συναντά τις υψηλές πιέσεις του αντικυκλώνα του βορειοδυτικού Καναδά. Παρατηρείται μία μετατόπιση του πολικού αεροχειμάρρου, η οποία συνοδεύεται από τη μετακίνηση του χαμηλού της Ισλανδίας πάνω από τη βόρεια Ευρώπη, όπου καταγράφονται αρκετά χαμηλότερες των μέσων τιμών πιέσεις (Σχήμα 3.12). Αντίθετα

στη δεξιά έξοδο του αεροχειμάρρου λαμβάνουν χώρα υψηλές πιέσεις οι οποίες σηματοδοτούν την παρουσία του ενισχυμένου αντικυκλώνα των Αζορών. Από το πεδίο του μέσου ανέμου προκύπτει ότι η ενισχυμένη ζωνική κυκλοφορία έχει μετακινηθεί βόρεια των Βρετανικών Νήσων. Θετικές ανωμαλίες παρατηρούνται στο πεδίο στη θερμοκρασίας στη κεντρική και βόρεια Ευρώπη (Σχήμα 3.11, Πίνακας 3.11). Στην ανατολική Ευρώπη και Μεσόγειο, όπου επικρατούν επίσης υψηλές πιέσεις, παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας κατά 2°C - 5°C , η οποία συνοδεύεται και από στατιστικά σημαντική αύξηση της βροχόπτωσης κατά 3%-5% και μέγιστη 7% βόρεια της Μαύρης Θάλασσας, με βάση το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών (Π.21, Π.22).

Το Φεβρουάριο της έκτης φάσης, ο αεροχειμάρρος παρουσιάζει παρόμοια δομή με την προηγούμενη περίοδο, με τις μέγιστες ταχύτητες και πάλι να εμφανίζονται στο δυτικό Ειρηνικό. Βορειότερα του αεροχειμάρρου, παρατηρώντας το πεδίο της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης (Σχήμα Π.21) διαπιστώνεται πως παρόλο που οι αντικυκλωνικές συνθήκες του κέντρου της Σιβηρίας συνεχίζουν να επεκτείνονται και να επιμένουν πάνω από την πολική περιοχή, παρατηρείται ένα σπάσιμο των υψηλών πιέσεων. Ειδικότερα, ο αντικυκλώνας της Σιβηρίας όπως φαίνεται και από το πεδίο ανωμαλιών της πίεσης, εμφανίζει αρκετά χαμηλότερες των μέσων τιμών πιέσεις σε αντίθεση με τις πολύ υψηλές πιέσεις που εντοπίζονται στην πολική περιοχή (Σχήμα 3.12). Ο πολικός αεροχειμάρρος υποχωρεί προς τα δυτικά και εκτείνεται πλέον από τις δυτικές ΗΠΑ ως το βορειοδυτικό Ατλαντικό. Ως εκ τούτου μεταβάλλεται η δομή των συνοπτικών συστημάτων που καθορίζουν την ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Συγκεκριμένα το υψηλό των Αζορών φαίνεται να ενισχύεται και να εξαπλώνεται στον ανατολικό και βόρειο Ατλαντικό καθώς και στη δυτική Ευρώπη. Οι υψηλές πιέσεις που εξαπλώνονται τόσο στην πολική περιοχή όσο και στον ανατολικό Ατλαντικό περιορίζουν σημαντικά την έκταση του χαμηλού της Ισλανδίας το οποίο εντοπίζεται ιδιαίτερα αποδυναμωμένο, οδηγώντας σε εξασθένηση του ΝΑΟ. Από το πεδίο του μέσου ανέμου, στον ανατολικό Ατλαντικό γίνεται αντιληπτή η παρουσία του συστήματος των Αζορών καθώς οι άνεμοι που επικρατούν ακολουθούν την αντικυκλωνική ροή. Στην υπόλοιπη Ευρώπη πνέουν ασθενείς δυτικοί άνεμοι ενώ στη Μεσόγειο, βορειοδυτικοί-δυτικοί άνεμοι (Μιστράλ). Αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2mm παρατηρείται στην κεντρική Μεσόγειο συγκεκριμένα στην περιοχή της Ιταλίας (Πίνακας 3.12). Οι θετικές ανωμαλίες στο πεδίο της θερμοκρασίας μετατοπίζονται νοτιότερα σε σχέση

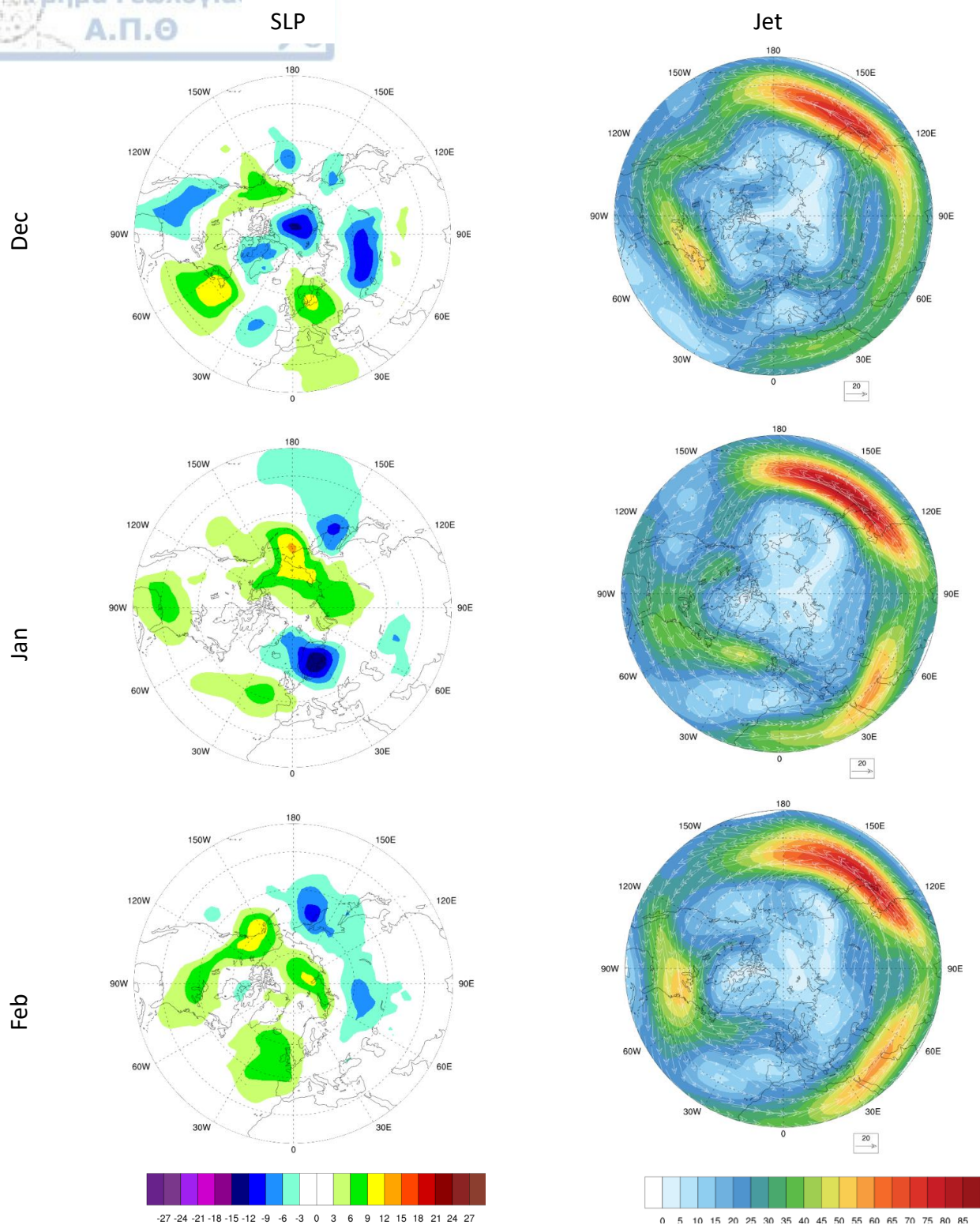
με τον Ιανουάριο, στην νότια κεντρική Ευρώπη και στα Βαλκάνια, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 2°C-3°C (Σχήμα 3.11, Πίνακας 3.11). Σε γενικές γραμμές ο Φεβρουάριος της έκτης φάσης του δείκτη RMM μπορεί να χαρακτηριστεί χωρίς σημαντική επίδραση στις κλιματικές παραμέτρους.

Πίνακας 3.11 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την έκτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

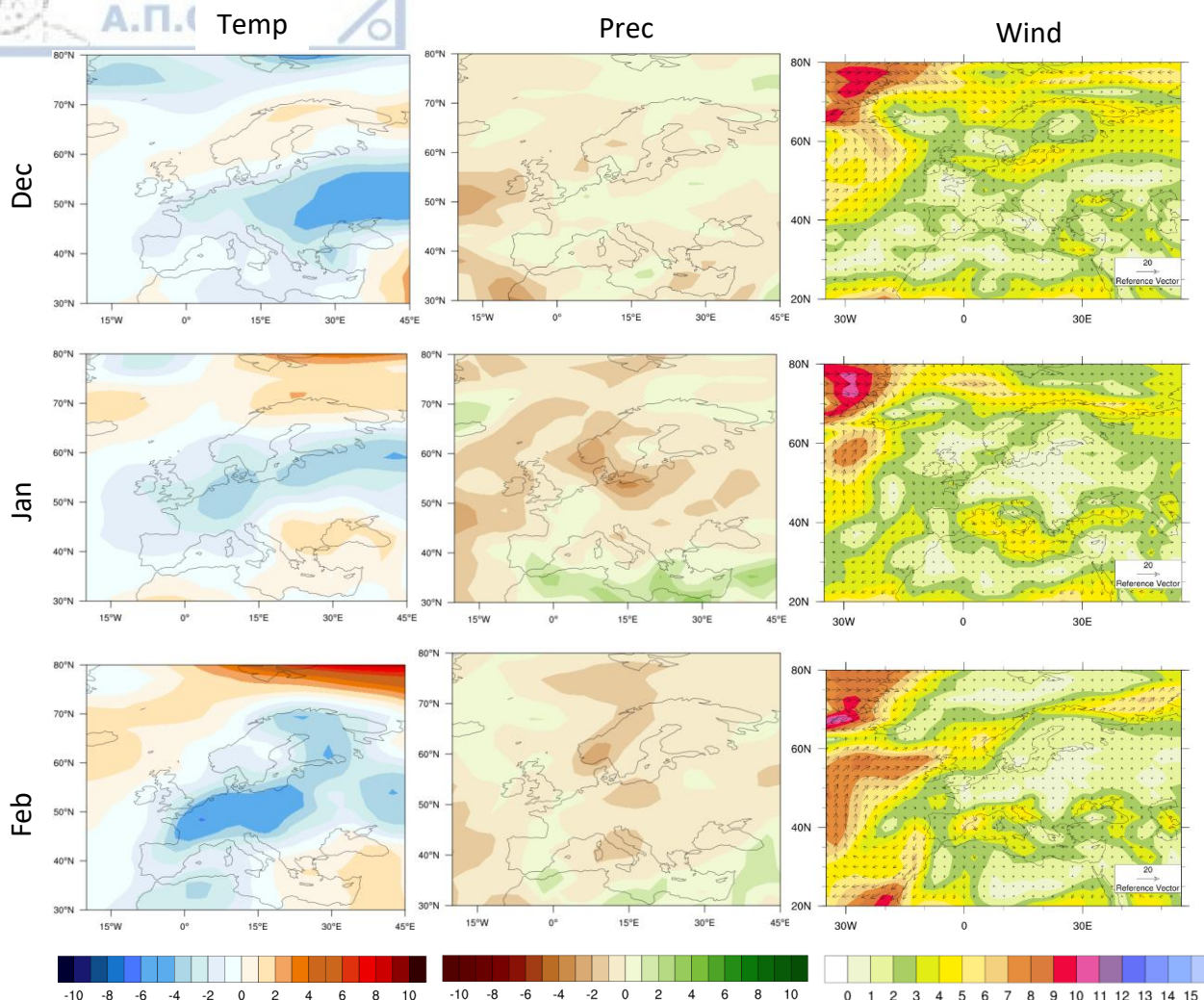
	Dec				Jan				Feb			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓
Prec	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↓
Wind	Δ	NΔ	-	Δ	NΔ-Δ	NΔ	-	Δ	Δ	BA	Δ	-
SLP	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	-	↑	↑	↑

Πίνακας 3.12 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την έκτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec			Jan			Feb		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↑
Prec	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑
Wind	-	BΔ	Δ	-	BΔ	Δ	BΔ	BΔ-Δ	Δ
SLP	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑



Σχήμα 3.12 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης(mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure,SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την έκτη φάση για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.13 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας(°C) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την έβδομη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Κατά το Δεκέμβριο της έβδομης φάσης, ο αεροχειμάρρος εμφανίζει διακοπτόμενη δομή με τις μέγιστες ταχύτητες στα 70-75m/sec να εντοπίζονται στο δυτικό Ειρηνικό. Ο πολικός αεροχειμάρρος εκτείνεται στο ανατολικό τμήμα της βορείου Αμερικής ως το βορειοδυτικό Ατλαντικό χωρίς όμως να αναπτύσσει πολύ υψηλές ταχύτητες. Ως εκ τούτου στην αριστερή έξοδο του πολικού αεροχειμάρρου εντοπίζεται το χαμηλό της Ισλανδίας το οποίο είναι αρκετά αποδυναμωμένο. Αυτό γίνεται αντιληπτό από το πεδίο ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης αφού στην περιοχή του χαμηλού κέντρου δράσης επικρατούν υψηλότερες των μέσων τιμών πιέσεις (Σχήμα 3.14). Στην παραπάνω κατάσταση πιθανότατα συμβάλλει τόσο η παρουσία του αντικυκλώνα του βορειοδυτικού Καναδά, όσο και η σφήνα υψηλών πιέσεων που εντοπίζεται ανάμεσα στο χαμηλό της Ισλανδίας και στο χαμηλό

συνοπτικό σύστημα βόρεια της Σκανδιναβίας και της Σιβηρίας. Οι υψηλές πιέσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, λόγω της αντικυκλωνικής κίνησης που αναπτύσσουν περιορίζουν την κυκλωνική ροή του κέντρου δράσης της Ισλανδίας με αποτέλεσμα αυτό να αποδυναμώνεται. Στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης επικρατούν υψηλές πιέσεις (Π.25) οι οποίες πιθανότατα προέρχονται από την επέκταση του Σιβηρικού αντικυκλώνα. Οι νοτιοδυτικοί ασθενείς άνεμοι που πνέουν στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη υποδηλώνουν την αντικυκλωνική ροή των υψηλών πιέσεων. Στη βόρεια Σκανδιναβία εμφανίζονται θετικές ανωμαλίες στο πεδίο της θερμοκρασίας (Σχήμα 3.13, Πίνακας 3.13). Αντίθετα, στην υπόλοιπη Ευρώπη και Μεσόγειο όπου υπερισχύουν οι υψηλές πιέσεις παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας κατά 2°C - 4°C από τη μέση τιμή, με τη μέση μέγιστη στους 5°C στις χώρες που βρίσκονται βορειότερα της Μαύρης Θάλασσας και να είναι στατιστικά σημαντική (Π.26). Όσο αφορά το πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης, καταγράφεται ελάττωση της βροχόπτωσης που σημειώνεται πιο σημαντική στην ανατολική Μεσόγειο και στην Τουρκία.

Στα μέσα του χειμώνα ενισχύεται η ροή του αεροχειμάρρου καθώς αποκτά πλέον αδιάκοπη δομή και αναπτύσσει υψηλότερες ταχύτητες με τις μέγιστες στα 75-80m/sec να εντοπίζονται και πάλι στο δυτικό Ειρηνικό ωκεανό. Η ενέργεια που μεταφέρεται από τον αεροχείμαρρο τροφοδοτεί τα συνοπτικά συστήματα που αναπτύσσονται στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Συγκεκριμένα από το πεδίο της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης (Π.25) παρατηρείται πως ο Σιβηρικός αντικυκλώνας εξαπλώνεται μέχρι την πολική περιοχή και το χαμηλό των Αλεούτιων εμφανίζεται αρκετά ενδυναμωμένο. Παράλληλα ο πολικός αεροχείμαρρος επιμένει στα ανατολικά της βόρειας Αμερικής και στο βορειοδυτικό Ατλαντικό έχοντας αυξημένες ταχύτητες σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο. Παρά τις υψηλότερες ταχύτητες που αναπτύσσει η ροή του πολικού αεροχειμάρρου, στην έξοδο του τελευταίου τα κέντρα δράσης αντίθετου σήματος εμφανίζουν σημαντικές μεταβολές. Ειδικότερα, το χαμηλό της Ισλανδίας εμφανίζει αρκετά υψηλότερες των μέσων τιμών πιέσεις, ενώ στον κεντρικό Ατλαντικό παρουσιάζονται αρνητικές ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης σηματοδοτώντας την αποδυνάμωση του αντικυκλώνα των Αζορών (Σχήμα 3.14). Το χαμηλό σύστημα βόρεια της Σκανδιναβίας αποδυναμώνεται ακόμη περισσότερο αφού η δράση του περιορίζεται εξαιτίας της εξάπλωσης του Σιβηρικού αντικυκλώνα και της παρουσίας της σφήνας υψηλών πιέσεων η οποία φαίνεται να επιμένει.

Στην υπόλοιπη Ευρώπη επικρατούν σχετικά υψηλές πιέσεις. Με την εξασθένηση του χαμηλού συστήματος βόρεια της Σκανδιναβίας μετατοπίζονται και οι θετικές ανωμαλίες του πεδίου της θερμοκρασίας προς τα βόρεια, επιτρέποντας τις αρνητικές να τις αντικαταστήσουν. Ως εκ τούτου στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης παρατηρείται στατιστικά σημαντική πτώση της θερμοκρασίας η οποία συνοδεύεται από αρκετά ασθενείς ανέμους και μείωση της βροχόπτωσης της τάξης 2-3% (Π.25, Π.26). Στη δυτική Μεσόγειο πνέουν από τον κόλπο του Λέοντα ασθενείς βορειοδυτικοί άνεμοι οι οποίοι καταλήγουν σε δυτικούς στην ανατολική Μεσόγειο και πιθανότατα σχετίζονται με την αύξηση της βροχόπτωσης 2-3mm στην αντίστοιχη περιοχή (Σχήμα 3.13, Πίνακας 3.13). Με την αύξηση της υγρασίας στα ανατολικά της κλειστής λεκάνης της Μεσογείου, ευνοείται η αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας (sea surface temperature, SST). Η παραπάνω κατάσταση σε συνδυασμό με τη στροφή των δυτικών ανέμων σε νότιους στην περιοχή της Μαύρης Θάλασσας πιθανότατα ευθύνεται για την άνοδο της θερμοκρασίας κατά 2°C-4°C στα Βαλκάνια και την ανατολική Μεσόγειο.

Το Φεβρουάριο της έβδομης φάσης, όπου εμφανίζεται και η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ακραίων τιμών, η δομή του αεροχειμάρρου δεν είναι τόσο ισχυρή (Σχήμα 3.14). Ο Σιβηρικός αντικυκλώνας ενισχύεται σημαντικά καθώς οι υψηλές πιέσεις εξαπλώνονται προς την πολική περιοχή μέχρι που συναντούν τον αντικυκλώνα του Καναδά (Π.25). Το υψηλό της Σιβηρίας επεκτείνεται προς τα δυτικά, και πιθανά συνδέεται με υψηλές πιέσεις στην κεντρική-ανατολική Ευρώπη και στη Σκανδιναβία. Οι υψηλές πιέσεις στην περιοχή της Ευρώπης συνεχίζουν να συνοδεύονται από στατιστικά σημαντικές αρνητικές ανωμαλίες στο πεδίο της θερμοκρασίας (Π.26). Παράλληλα στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη όπου πνέουν πολύ ασθενείς άνεμοι παρατηρείται μείωση της βροχόπτωσης κατά 2-3% σύμφωνα με το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (Π.25). Στον Ατλαντικό ωκεανό εντοπίζονται ενδυναμωμένα τα δυο κέντρα δράσης αντίθετου σήματος. Ειδικότερα, στα βορειοδυτικό Ατλαντικό εμφανίζεται το χαμηλό της Ισλανδίας το οποίο αρχίζει να ενισχύεται και πάλι ενώ στα ανατολικά αναπτύσσεται το υψηλό των Αζορών το οποίο οδηγεί σε επικράτηση των υψηλών πιέσεων στην αντίστοιχη περιοχή και στη δυτική Ευρώπη. Το τελευταίο σύστημα γίνεται αντιληπτό και από το πεδίο του μέσου ανέμου καθώς οι άνεμοι φαίνεται να ακολουθούν την αντικυκλωνική ροή του υψηλού των Αζορών στα ανατολικά

του Ατλαντικού (Σχήμα 3.13). Στη δυτική Μεσόγειο επικρατούν βορειοδυτικοί σχεδόν μέτριοι άνεμοι οι οποίοι στη συνέχεια εξασθενούν.

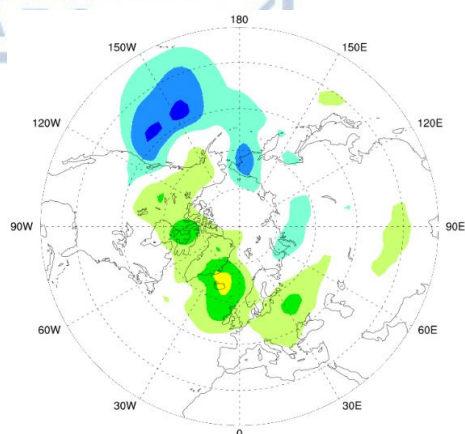
Πίνακας 3.13 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την έβδομη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec				Jan				Feb			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Prec	-	-	-	-	↓	↓	↓	↓	↓	-	↓	↓
Wind	Δ	-	NΔ	NΔ	Δ	-	-	-	NΔ	-	BΔ	-
SLP	-	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

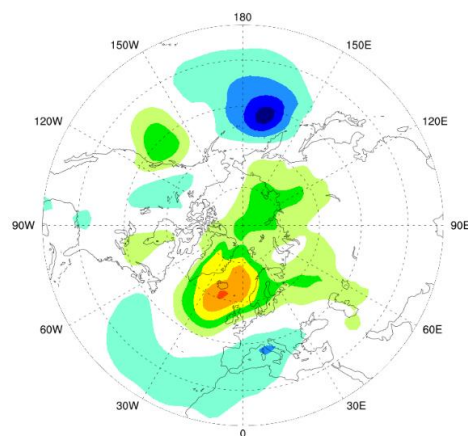
Πίνακας 3.14 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την έβδομη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec			Jan			Feb		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓
Prec	-	-	↓	-	-	↑	↓	↓	↑
Wind	-	Δ	Δ	BΔ	Δ	Δ	BΔ	Δ	-
SLP	↑	↑	↑	↑	-	↑	↑	-	↑

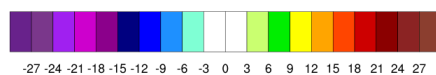
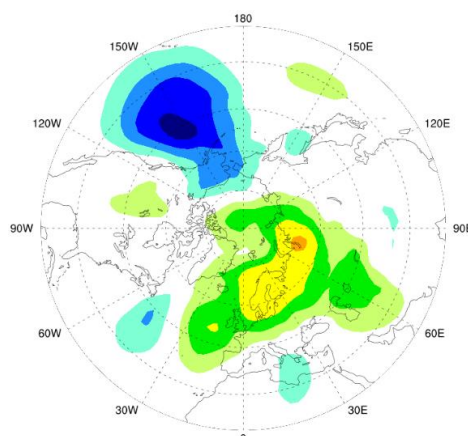
Dec



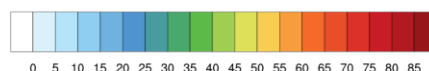
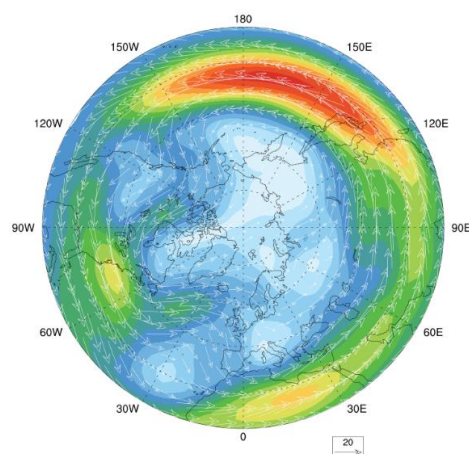
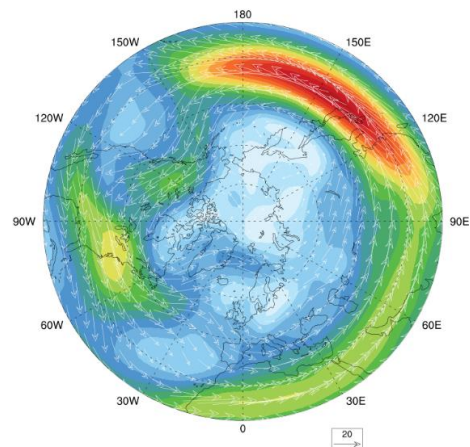
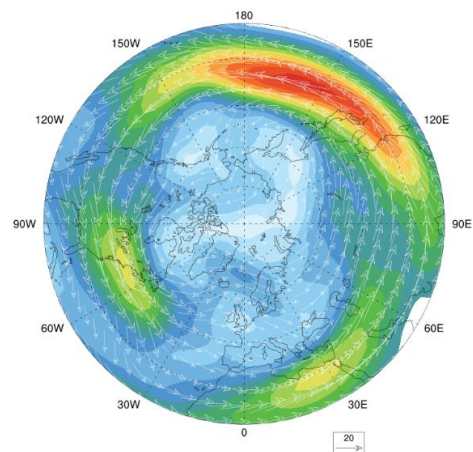
Jan



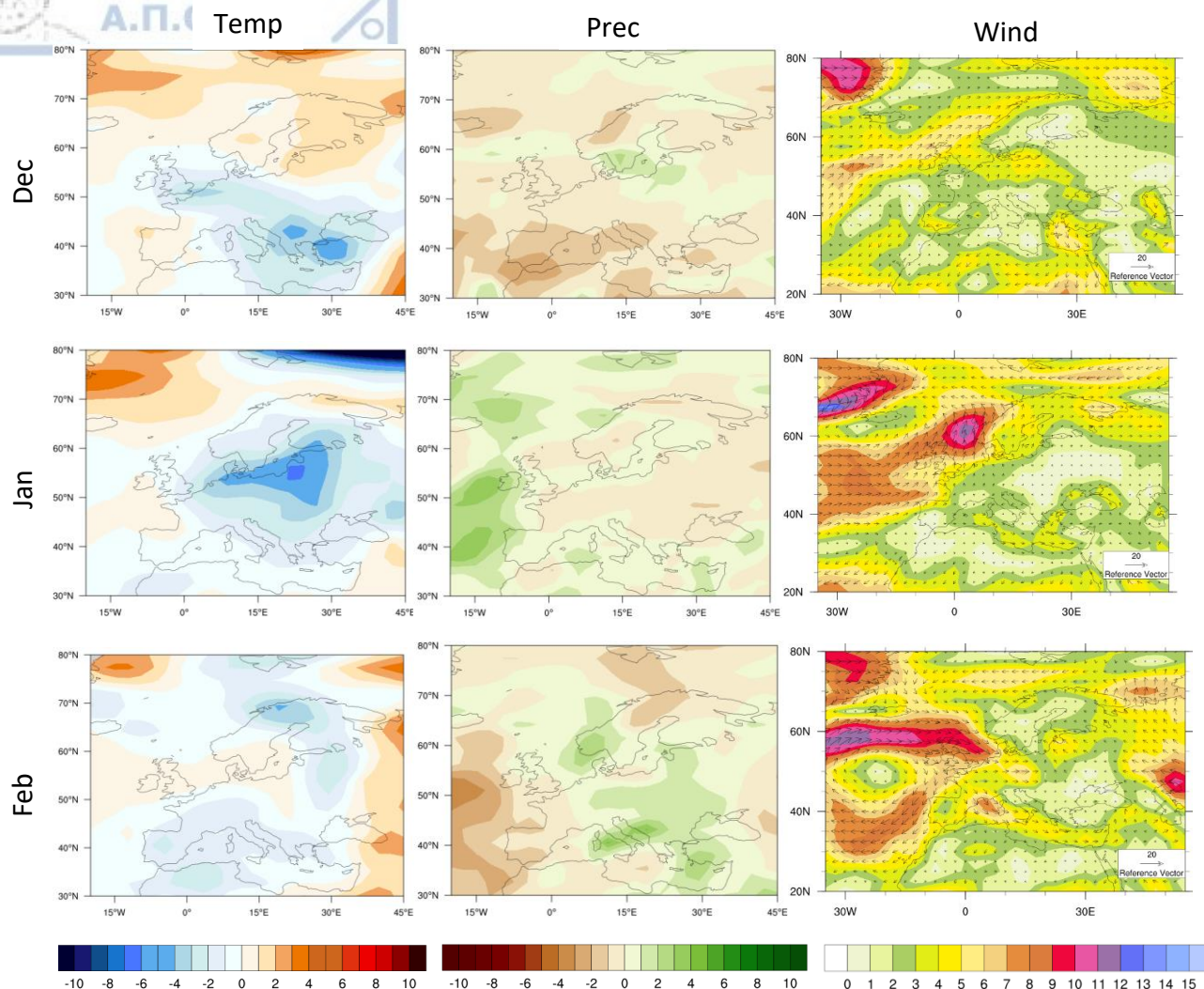
Feb



Jet



Σχήμα 3.14 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την έβδομη φάση για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.15 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας(°C) και της βροχόπτωσης(mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την όγδοη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Το Δεκέμβριο της όγδοης φάσης του δείκτη RMM, από την αναπαράσταση του αεροχειμάρρου διαπιστώνεται ότι ο τελευταίος εμφανίζει μη συνεχόμενη δομή με τις μέγιστες ταχύτητες στα 70-75m/sec στο δυτικό Ειρηνικό. Οι μέγιστες ταχύτητες του πολικού αεροχειμάρρου εκτείνονται στα ανατολικά της βορείου Αμερικής ενισχύοντας το χαμηλό της Ισλανδίας. Χαμηλές πιέσεις καταγράφονται και στον αρκτικό ωκεανό, πάνω από τη Σιβηρία. Πάνω από τις βαλκανικές χώρες εντοπίζεται το κέντρο ενός υψηλού συστήματος του οποίου οι πιέσεις επεκτείνονται στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης (Σχήμα Π.29). Πιθανότατα πρόκειται για ένα αντικυκλωνικό σύστημα ψυχρού πυρήνα καθώς στο κέντρο του συστήματος όπου φαίνεται να επικρατούν ασθενείς άνεμοι, παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας κατά 4°C-5°C όπως και ελάττωση της βροχόπτωσης κατά 3% με βάση το

ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης. Οι υψηλές πιέσεις του συστήματος συνοδεύονται από πτώση της θερμοκρασίας και από μείωση της βροχής στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Μεσογείου, με εξαίρεση την περιοχή της Σκανδιναβίας όπου καταγράφονται θετικές ανωμαλίες στο πεδίο της θερμοκρασίας (Σχήμα 3.15). Όσο αφορά το πεδίο του μέσου ανέμου, στην κεντρική Ευρώπη πνέουν δυτικοί άνεμοι οι οποίοι ακολουθούν την αντικυκλωνική ροή του υψηλού ενώ στην ανατολική Μεσόγειο επικρατούν σχεδόν μέτριοι άνεμοι βορειοδυτικής διεύθυνσης (Πίνακας 3.15, Πίνακας 3.16).

Τον Ιανουάριο παρατηρείται μετακίνηση των συνοπτικών συστημάτων προς τα ανατολικά. Παράλληλα με τη μετατόπιση των υψηλών ταχυτήτων του πολικού αεροχειμάρρου προς το βορειοανατολικό Ατλαντικό, εντοπίζεται ενίσχυση και μεταβολή της θέσης του χαμηλού της Ισλανδίας προς τα ανατολικά το οποίο φτάνει μέχρι την περιοχή της βόρειας Αγγλίας. Το χαμηλό βόρεια της Σιβηρίας αποδυναμώνεται και οι υψηλές πιέσεις που προϋπήρχαν ανάμεσα στα δυο χαμηλά εξαλείφονται. Ωστόσο στον πόλο λαμβάνουν χώρα υψηλές πιέσεις. Μετατόπιση προς τα βορειοανατολικά υφίσταται και το υψηλό σύστημα της περιοχής των Βαλκανίων το οποίο συναντά τις υψηλές πιέσεις του Σιβηρικού αντικυκλώνα που εξαπλώνεται σημαντικά (Π.29). Στην περιοχή της Ευρώπης συνεχίζουν να επιμένουν οι υψηλές πιέσεις οι οποίες συνοδεύονται από ελάττωση της βροχόπτωσης και πτώση της θερμοκρασίας με τη στατιστικά σημαντική μέγιστη στους 4°C - 5°C να μετατοπίζεται στις χώρες της Βαλτικής. Από το πεδίο του μέσου ανέμου γίνεται αντιληπτή και η κυκλωνική ροή του συστήματος της Ισλανδίας, καθώς πολύ ισχυροί δυτικοί-νοτιοδυτικοί άνεμοι πνέουν στο βορειοανατολικό Ατλαντικό. Ισχυροί άνεμοι εμφανίζονται και στα παράλια της Σκανδιναβίας (Σχήμα 3.15, Πίνακας 3.15). Η αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2mm στη δυτική Αγγλία και Πορτογαλία συνδέεται με τη νοτιοδυτική ροή, καθώς μεταφέρει υγρές αέριες μάζες στις αντίστοιχες περιοχές. Στην περιοχή της Μεσογείου όπου επιμένουν οι αρνητικές ανωμαλίες στο πεδίο της θερμοκρασίας, πνέουν βορειοδυτικοί άνεμοι οι οποίοι αυξάνουν κατά τόπους τα ποσά υγρασίας κατά 2-3% (Π.30, Πίνακας 3.16).

Στα τέλη του χειμώνα η 8^η φάση συνδέεται με μεγάλες τιμές του δείκτη RMM, με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία να μεταβάλλεται σημαντικά. Αρχικά το εύρος το αεροχειμάρρου επεκτείνεται γεωγραφικά και ενισχύεται η ροή του κατά τόπους (Σχήμα 3.16). Η ενέργεια που μεταφέρεται από τον αεροχειμάρρο στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη ενισχύει τα συνοπτικά συστήματα. Συγκεκριμένα στην αριστερή έξοδο του αεροχειμάρρου εντοπίζεται

ιδιαίτερα ενισχυμένο το χαμηλό των Αλεούτιων όπως και ο Σιβηρικός αντικυκλώνας ο οποίος εμφανίζει πολύ υψηλές πιέσεις που φτάνουν μέχρι τα 1045hPa. Παράλληλα ιδιαίτερα ισχυρό εντοπίζεται και το υψηλό των Αζορών το οποίο επεκτείνεται στον Ατλαντικό ωκεανό και εμποδίζει τη ροή του πολικού αεροχειμάρρου προκαλώντας το σπάσιμο του. Η δράση του πολικού αεροχειμάρρου σε συνδυασμό με τις υψηλές πιέσεις που εμφανίζονται στον πόλο περιορίζουν σημαντικά την κυκλωνική ροή του χαμηλού της Ισλανδίας έχοντας ως αποτέλεσμα την εξασθένηση του (Π.29). Οι υψηλές πιέσεις που προϋπήρχαν στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης διακόπτονται από μια σφήνα χαμηλών πιέσεων που εισβάλλει στη βόρεια Ευρώπη και επιφέρει χαμηλότερες των μέσων πιέσεις στην ανατολική Ευρώπη, στα Βαλκάνια και στη Μεσόγειο (Σχήμα 3.16). Οι χαμηλές πιέσεις στις περιοχές αυτές συνοδεύονται από ξηρασία η οποία είναι στατιστικά σημαντική (Π.30). Αντίστοιχη αύξηση της βροχόπτωσης σημειώνεται και στην κεντρική Μεσόγειο, η οποία πιθανότατα σχετίζεται με τη σφήνα χαμηλών πιέσεων στη περιοχή (Σχήμα 3.15, Πίνακας 3.16). Από το πεδίο του μέσου ανέμου διακρίνεται η ροή του αεροχειμάρρου καθώς επικρατούν στον ανατολικό Ατλαντικό άνεμοι που ξεπερνούν τα 12m/sec ενώ νοτιότερα οι άνεμοι ακολουθούν την αντικυκλωνική ροή του υψηλού των Αζορών. Στο πεδίο της θερμοκρασίας συνεχίζουν να επικρατούν οι αρνητικές ανωμαλίες στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης.

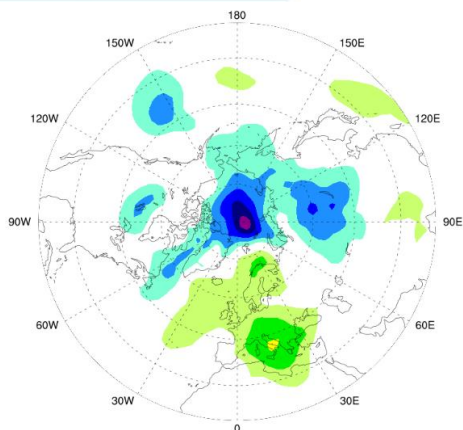
Πίνακας 3.15 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την όγδοη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec				Jan				Feb			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑
Prec	↓	↓	↓	-	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑
Wind	NΔ	A	NΔ-Δ	Δ	NΔ-Δ	NΔ	-	-	BΔ	BΔ	Δ	NA
SLP	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↓

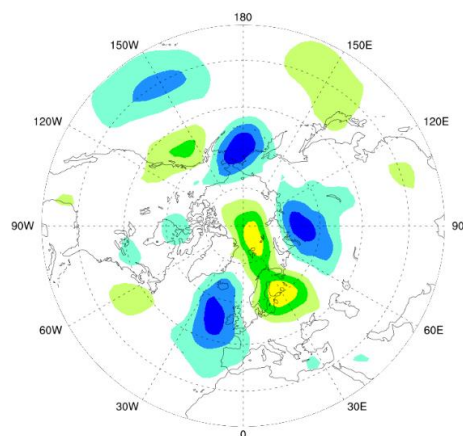
Πίνακας 3.16 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την όγδοη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Dec			Jan			Feb		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Prec	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↑
Wind	A	-	BΔ	BΔ	BΔ	Δ	BΔ	BΔ-Δ	Δ
SLP	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓

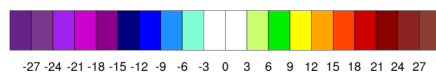
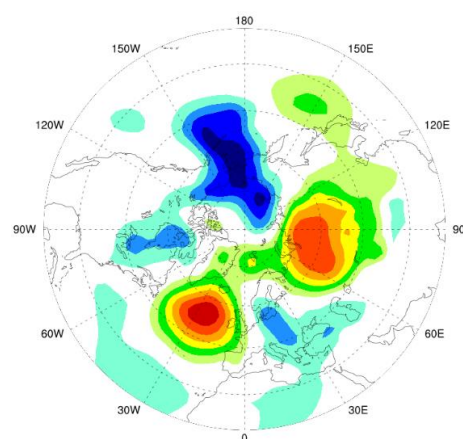
Dec



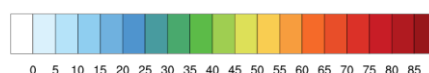
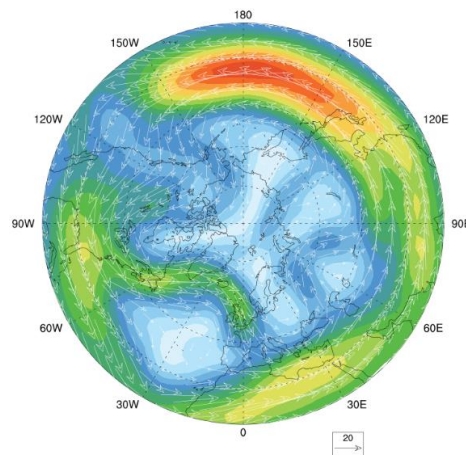
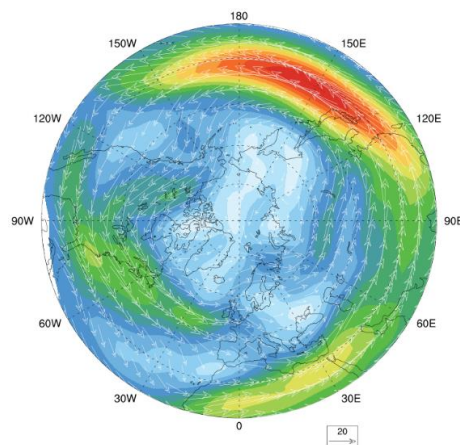
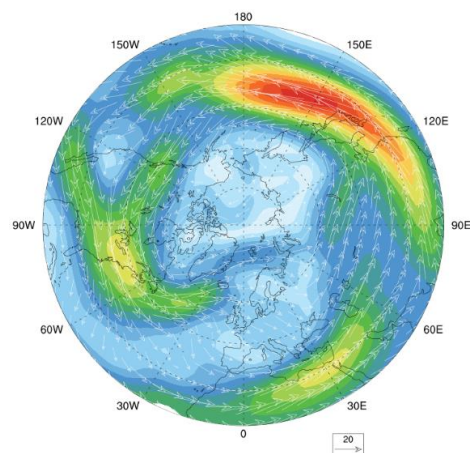
Jan



Feb



Jet



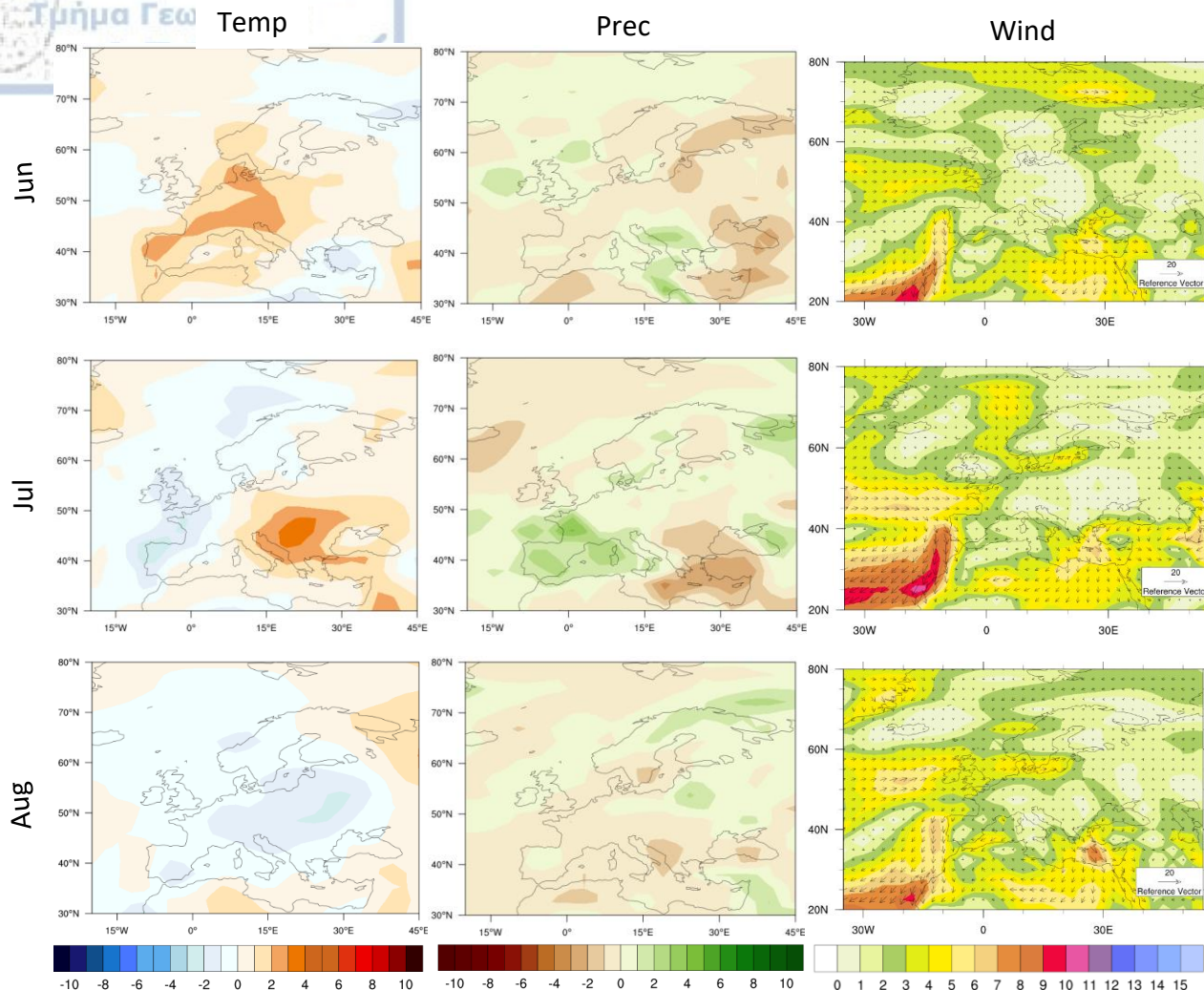
Σχήμα 3.16 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχευμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την όγδοη φάση για τη χειμερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

3.2 Καλοκαίρι

Τη θερινή περίοδο εξαιτίας της κλίσης που παρουσιάζει ο άξονας περιστροφής της Γης, οι ακτίνες του Ηλίου πέφτουν κάθετα στο βόρειο ημισφαίριο του πλανήτη. Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης είναι να μειώνεται η θερμοκρασιακή και η βαρομετρική διαφορά μεταξύ των τροπικών και των πολικών περιοχών, και επομένως οι άνεμοι δεν είναι τόσο ισχυροί όσο το χειμώνα. Συνεπώς μειώνεται και η ένταση του αεροχειμάρρου καθώς αναπτύσσονται μικρότερες ταχύτητες ανέμου, ενώ παράλληλα ο τελευταίος μετατοπίζεται αποδυναμωμένος στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη αποκτώντας σταδιακά δακτυλιοειδή δομή. Η εξασθένηση και η μετατόπιση του αεροχειμάρρου επηρεάζει τα κέντρα δράσης αλλά και την ευρύτερη συνοπτική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, στα ανατολικά επικρατεί το χαμηλό του Πακιστάν.

3.2.1 Φάση 1^η

Κατά την πρώτη φάση του δείκτη RMM, ο αεροχειμάρρος στη αρχή του θέρους εμφανίζει πιο αποδιοργανωμένη δομή η οποία σταδιακά μεταβάλλεται και γίνεται πιο δακτυλιοειδής. Ειδικότερα, τον Ιούνιο, ο αεροχειμάρρος είναι μετατοπισμένος βορειότερα απ' ότι ήταν τη χειμερινή περίοδο και εμφανίζεται αρκετά εξασθενημένος (Σχήμα 3.18). Οι μέγιστες ταχύτητες που αναπτύσσει κατά την περίοδο αναφοράς (1976-2015) επικεντρώνονται στον Ειρηνικό ωκεανό ενώ παράλληλα η δομή του είναι αρκετά αποδιοργανωμένη. Όσο αφορά τη συνοπτική κατάσταση, από το πεδίο της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης (Π.3) γίνεται αντιληπτό πως στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης επικρατούν υψηλές πιέσεις. Στην ανατολική Ευρώπη και Μεσόγειο δε σημειώνονται αξιόλογες μεταβολές στο πεδίο της πίεσης, με εξαίρεση το νοτιοανατολικό τμήμα της Μεσογείου που φαίνεται να επηρεάζεται από τις κυκλωνικές συνθήκες του χαμηλού του Πακιστάν. Η συνοπτική κατάσταση αντικατοπτρίζεται και από πεδίο του μέσου ανέμου. Ειδικότερα, οι πολύ ασθενείς βόρειοι-βορειοδυτικοί στη δυτική Ευρώπη και οι ασθενείς δυτικοί άνεμοι στην περιοχή της Αγγλίας σηματοδοτούν την επέκταση του αντικυκλώνα των Αζορών προς τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Οι τελευταίοι συνοδεύονται από αύξηση της βροχόπτωσης (2%, Π.3) στην περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου. Στη δυτική και κεντρική Ευρώπη επικρατούν θερμές και ξηρές αέριες μάζες από την περιοχή των τροπικών, αυξάνοντας τη θερμοκρασία στατιστικώς σημαντικά κατά 2°C-3°C (Σχήμα 3.17, Πίνακας 3.17). Οι υψηλές πιέσεις πάνω από τα Βαλκάνια σε συνδυασμό με την κυκλωνική ροή που



Σχήμα 3.17 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας(°C) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την πρώτη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

αναπτύσσεται στα νοτιοανατολικά της Μεσογείου ενισχύει τους βορειοδυτικούς ανέμους που πνέουν στο Αιγαίο (Ετησίες Άνεμοι, Πίνακας 3.18). Οι άνεμοι αυτοί, μετριάζουν τη θερινή άνοδο της θερμοκρασίας, σημειώνοντας μικρή πτώση κατά 1°C-2°C σε σχέση με τη μέση τιμή, ενώ παράλληλα συνοδεύονται και από ελάττωση της βροχόπτωσης.

Στα μέσα του θέρους, ο αεροχειμαρρος μετατοπίζεται ακόμη βορειότερα αποκτώντας πλέον δακτυλιοειδή δομή. Υψηλές ταχύτητες 35-40m/sec εντοπίζονται στο βόρειο κεντρικό Ατλαντικό καθώς και στα γεωγραφικά πλάτη νότια της Αγγλίας (Σχήμα 3.18). Η τοποθέτηση αυτή του τελευταίου συμβάλλει σημαντικά στις μεταβολές που σημειώνονται στις κλιματικές παραμέτρους. Ειδικότερα, η ενέργεια που μεταφέρεται από τον αεροχειμαρρο στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, ενισχύει τον αντικυκλώνα των Αζορών καθώς οι υψηλές πιέσεις στο κέντρο του συστήματος φτάνουν τα 1035mb. Στην αριστερή

έξοδο του, στην περιοχή της Σκανδιναβίας εντοπίζονται χαμηλές πιέσεις (Π.3) οι οποίες είναι αρκετά μικρότερες των μέσων τιμών. Το σύστημα χαμηλών πιέσεων στην περιοχή αυτή γίνεται αντιληπτό και από το πεδίο του μέσου ανέμου καθώς οι άνεμοι ακολουθούν την κυκλωνική ροή, ενώ παράλληλα συνοδεύεται και από αύξηση της βροχόπτωσης της τάξης 2-4%. Σε γενικές γραμμές στην Ευρώπη και στη Μεσόγειο καταγράφονται φυσιολογικές πιέσεις με ελάχιστες αξιόλογες μεταβολές. Οι άνεμοι που ακολουθούν τη ροή του αεροχειμάρρου στον ανατολικό Ατλαντικό, (Σχήμα 3.17). Οι τελευταίοι μεταφέρουν ψυχρές αέριες μάζες από τον Ατλαντικό, μετατοπίζοντας τις θετικές ανωμαλίες στα ανατολικά, και έχουν ως αποτέλεσμα την στατιστικά σημαντική πτώση της θερμοκρασίας κατά 1°C - 3°C στη δυτική Ευρώπη (Π.3, Πίνακας 3.18). Η κατάσταση αυτή συνοδεύεται και από αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2mm-3mm στη δυτική Ευρώπη και Μεσόγειο. Αντίθετα στην ανατολική Μεσόγειο επικρατούν αρκετά ξηρότερες των μέσων συνθήκες οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές (Π.4). Το γεγονός αυτό πιθανότατα συνδέεται με τη μεταφορά των χαμηλών πιέσεων του συστήματος του Πακιστάν βορειότερα. Συγκεκριμένα, με τη μετατόπιση του χαμηλού βορειότερα, ενισχύεται η βαροβαθμίδα και ενδυναμώνονται οι Ετησίες άνεμοι στην ανατολική Μεσόγειο έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση της ξηρασίας στην περιοχή αυτή.

Τον Αύγουστο ο αεροχειμάρρος μετατοπίζεται ακόμη βορειότερα και εμφανίζει μη συνεχόμενη δακτυλιοειδή δομή. Οι υψηλές ταχύτητες επιμένουν στον Ατλαντικό ωκεανό ενώ παράλληλα σημαντική αύξηση της ροής παρατηρείται και στην ανατολική Μεσόγειο. Οι χαμηλές πιέσεις στη Σκανδιναβία συνδέονται με μικρή αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2mm. Οι αντικυκλωνικές συνθήκες του συστήματος των Αζορών γίνονται αντιληπτές και από το πεδίο του μέσου ανέμου όπου διακρίνεται η αντικυκλωνική ροή στα δυτικά της Ευρώπης και της Μεσογείου (Σχήμα 3.17). Η έντονη βαροβαθμίδα που σχηματίζεται ανάμεσα στις υψηλές πιέσεις της κεντρικής Ευρώπης-Βόρεια Βαλκάνια και τις χαμηλές πιέσεις στην ανατολική Μεσόγειο έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση των Ετησίων ανέμων καθώς αναπτύσσονται ταχύτητες της τάξης 9m/sec. Από το πεδίο της θερμοκρασίας διαπιστώνεται ότι στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης επικρατούν αρνητικές ανωμαλίες, προκαλώντας πτώση κατά 2°C - 3°C σε σχέση με τη μέση κατάσταση στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη. Η πτώση αυτή είναι στατιστικά σημαντική (Π.4). Στο πεδίο της βροχόπτωσης δε σημειώνονται αξιόλογες μεταβολές με εξαίρεση τη μικρή ξηρασία που σημειώνεται στα

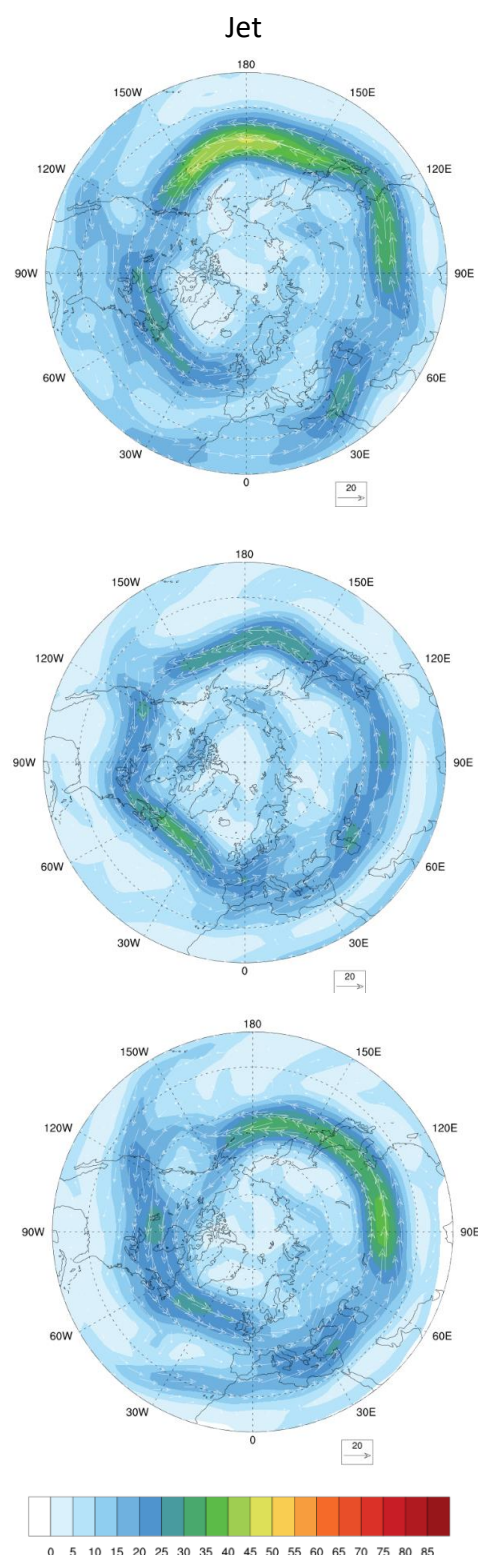
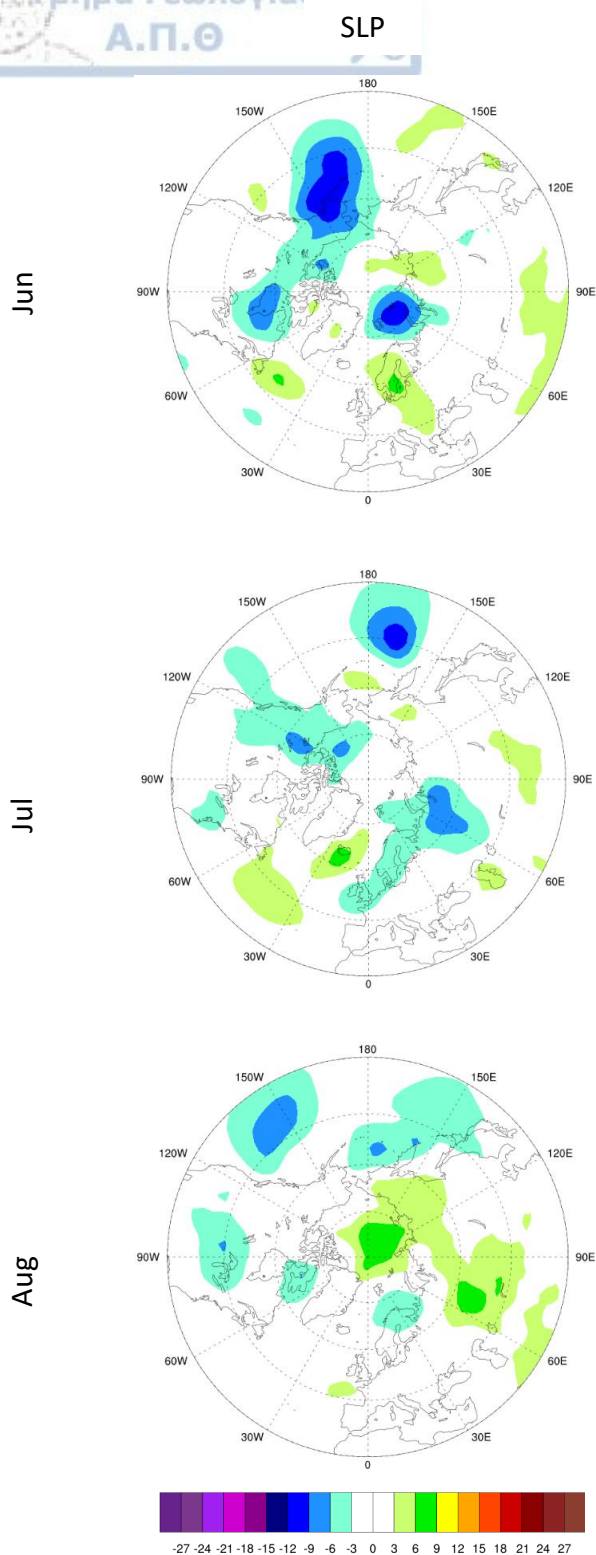
Βαλκάνια (Πίνακας 3.18) και την αύξηση της βροχόπτωσης κατά 1m-2mm στη βορειοανατολική Ευρώπη.

Πίνακας 3.17 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την πρώτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

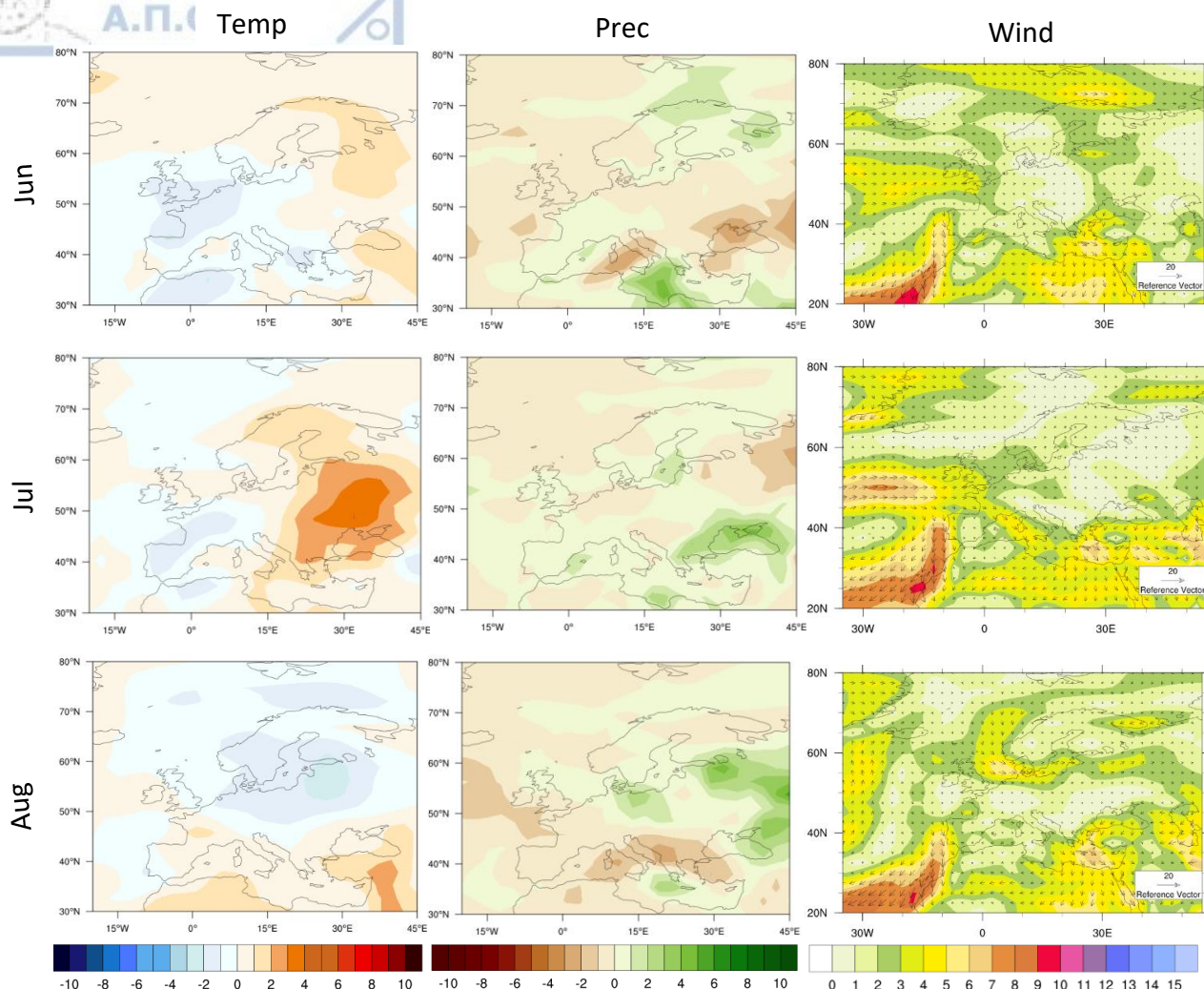
	Jun				Jul				Aug			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓
Prec	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	-	↓	↑
Wind	Δ	BΔ	Δ	-	Δ-BΔ	Δ-BΔ	Δ	-	Δ	B-Δ	-	-
SLP	↑	↑	↑	-	↓	↑	-	-	↓	↑	↑	-

Πίνακας 3.18 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την πρώτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun			Jul			Aug		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑
Prec	↓	↑	↓	↑	↓	↓	-	-	-
Wind	BA	BΔ	BΔ	-	BΔ	BΔ	BA	BΔ	BΔ
SLP	↑	↑	↓	-	-	↓	↑	-	↓



Σχήμα 3.18 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την πρώτη φάση για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.19 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου (m/sec) κατά τη δεύτερη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Κατά τη δεύτερη φάση του MJO, παρατηρούνται ποικίλες μεταβολές στις κλιματικές παραμέτρους από περίοδο σε περίοδο. Από το πεδίο της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης διαπιστώνεται πως στην αρχή του θέρους καταγράφονται φυσιολογικές τιμές στο πεδίο της πίεσης στην περιοχή της Ευρώπης. Εξάιρεση αποτελούν οι χαμηλές πιέσεις που εντοπίζονται στην ανατολική Μεσόγειο και οι υψηλές στο Ηνωμένο Βασίλειο που πιθανότατα προέρχονται από την επέκταση του αντικυκλώνα των Αζορών (Π.7). Παρατηρείται πτώση της θερμοκρασίας κατά 1°C - 2°C στη δυτική-κεντρική Ευρώπη και στην Αγγλία, εξαιτίας των ισχυρών δυτικών ανέμων που πνέουν στον Ατλαντικό, ενώ στην Ανατολική Ευρώπη και τη Σκανδιναβία παρατηρείται αύξηση. Οι τελευταίες συνοδεύονται από αύξηση της βροχόπτωσης στη Σκανδιναβία και από ξηρασία στην ανατολική Ευρώπη αντίστοιχα (Σχήμα 3.19, Πίνακας 3.19). Στα μέσα του καλοκαιριού η συνοπτική κατάσταση μεταβάλλεται καθώς

κυκλωνικές συνθήκες που επικρατούσαν βόρεια της Σιβηρίας, μετατοπίζονται πλέον νοτιότερα καλύπτοντας τη βόρεια Ευρώπη, ενώ παράλληλα οι χαμηλές πιέσεις του Πακιστάν μεταφέρονται στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Αποτέλεσμα της παραπάνω κατάστασης είναι να εξαπλώνονται στη βόρεια, κεντρική Ευρώπη και στην ανατολική και κεντρική Μεσόγειο χαμηλές πιέσεις οι οποίες συνοδεύονται από στατιστική σημαντική άνοδο της θερμοκρασίας (έως και 4°C) και αύξηση κατά τόπους της βροχόπτωσης (Π.8, Σχήμα 3.19). Κατά τον Αύγουστο οι πιέσεις στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης φαίνεται να επανέρχονται στις φυσιολογικές τιμές, με τις χαμηλές να επιμένουν στην ανατολική Μεσόγειο και τη Σκανδιναβία. Ψυχρές και υγρές αέριες μάζες από τον Ατλαντικό κινούνται προς τη Ευρώπη, έχοντας ως αποτέλεσμα τη στατιστικά σημαντική πτώση της θερμοκρασίας κατά 1°C-3°C στην βόρεια, κεντρική και ανατολική Ευρώπη (Π.8). Παράλληλα σημειώνεται αύξηση της βροχόπτωσης στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη με τη μέγιστη στα 3-5mm να καταγράφεται στο ανατολικό τμήμα της. Στην υπόλοιπη Ευρώπη διακρίνονται θερμότερες και ξηρότερες συνθήκες με εξαίρεση την αύξηση της βροχόπτωσης κατά 1-2mm που σημειώνεται στο νότιο τμήμα της Ελλάδας, όπου και επιμένουν οι Ετησίες άνεμοι. Από το πεδίο του μέσου ανέμου διαπιστώνεται πως καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου οι άνεμοι στην ηπειρώτική περιοχή είναι κατά μέσο όρο αρκετά ασθενείς ενώ στη θάλασσα αναπτύσσουν υψηλότερες ταχύτητες.

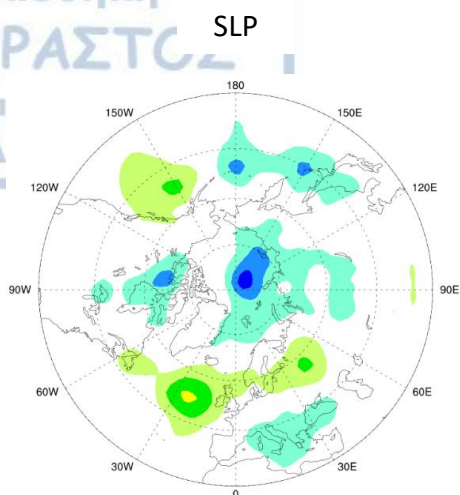
Πίνακας 3.19 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά τη δεύτερη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun				Jul				Aug			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓
Prec	↑	↑	-	↓	-	↑	↓	↑	-	↓	↑	↑
Wind	Δ	Δ-BΔ	-	-	Δ	BΔ	-	-	Δ	B-BΔ	-	Δ
SLP	↑	↑	-	-	↓	↑	↓	↓	↓	-	-	-

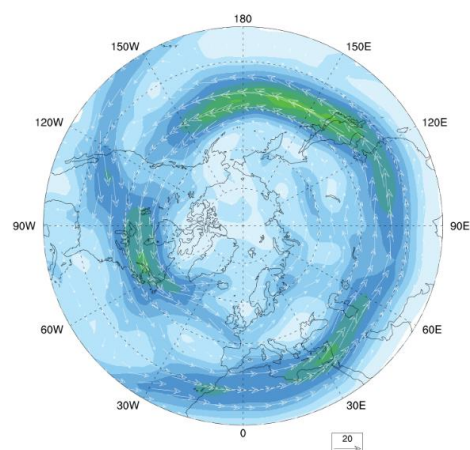
Πίνακας 3.20 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά τη δεύτερη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun			Jul			Aug		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑
Prec	↓	↑	-	↑	↑	↑	↓	↓	↑
Wind	BΔ	BΔ-Δ	Δ	BΔ	BΔ	BΔ	-	BΔ	BΔ
SLP	-	↓	↑	-	↓	↓	-	↓	↓

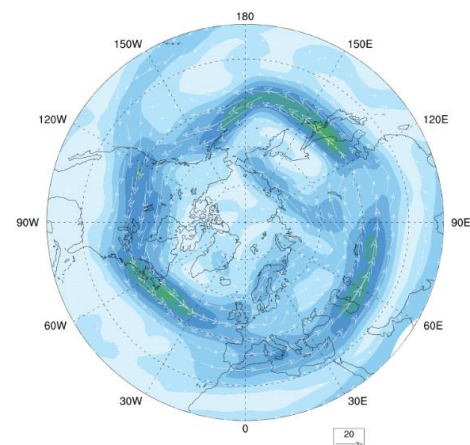
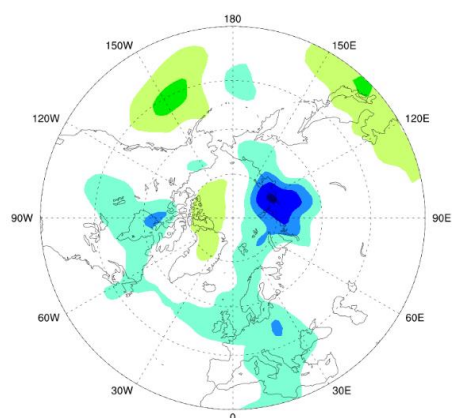
Jun



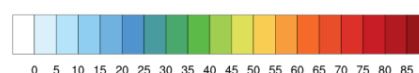
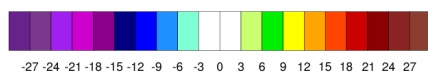
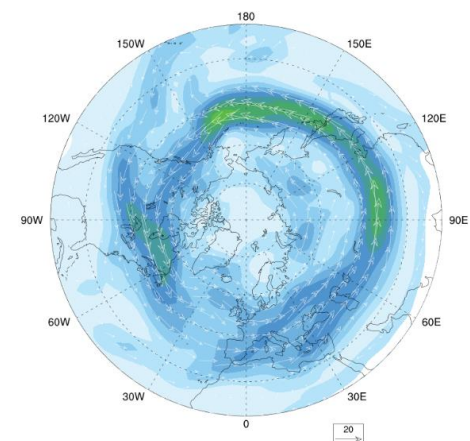
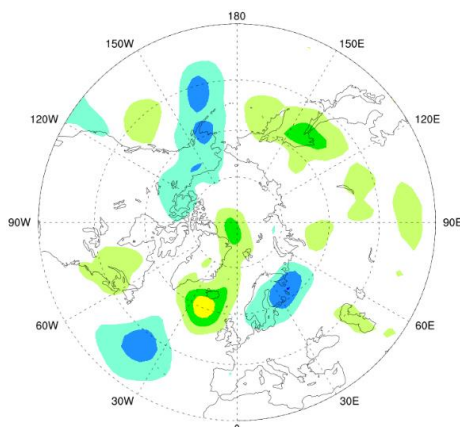
Jet



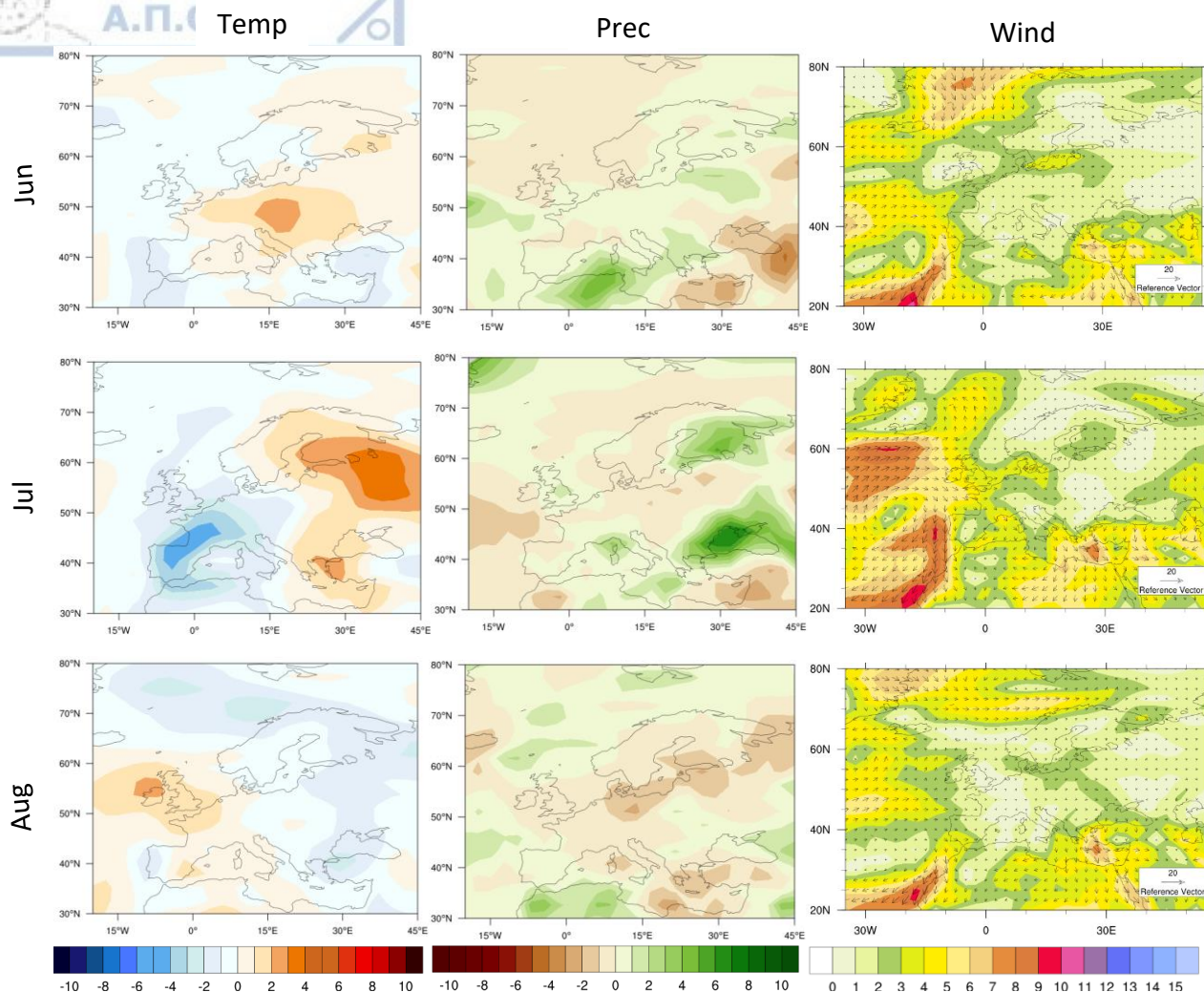
Jul



Aug



Σχήμα 3.20 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την δεύτερη φάση για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.21 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας (°C) και της βροχόπτωσης(mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την τρίτη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Κατά την τρίτη φάση της θερινής περιόδου η ατμοσφαιρική κυκλοφορία παρουσιάζει αξιοσημείωτες μεταβολές. Παρατηρώντας τη συνοπτική κατάσταση, διαπιστώνεται πως στην αρχή του θέρους στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης επικρατούν φυσιολογικές κατά μέσο όρο πιέσεις, με τις χαμηλότερες να σημειώνονται στη βόρεια Σκανδιναβία και την ανατολική Μεσόγειο (Π.11), και τις υψηλότερες στον Ατλαντικό ωκεανό. Στο πεδίο της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας (Σχήμα 3.21) δε σημειώνονται αξιόλογες μεταβολές με εξαίρεση τις υψηλότερες των μέσων τιμών θερμοκρασίες (3°C) που καταγράφονται στην κεντρική Ευρώπη. Όσο αφορά το πεδίο της βροχόπτωσης, παρατηρείται αύξηση κατά 2-3% (Π.11) στη δυτική Ευρώπη και Μεσόγειο, όπως επίσης και αύξηση κατά 2mm στα Βαλκάνια και στην ανατολική Ευρώπη. Στα μέσα του καλοκαιριού ο αεροχείμαρρος εμφανίζει υψηλές ταχύτητες της τάξης 30-40m/sec (Σχήμα 3.22) που εντοπίζονται πάνω από τη Μεσόγειο και

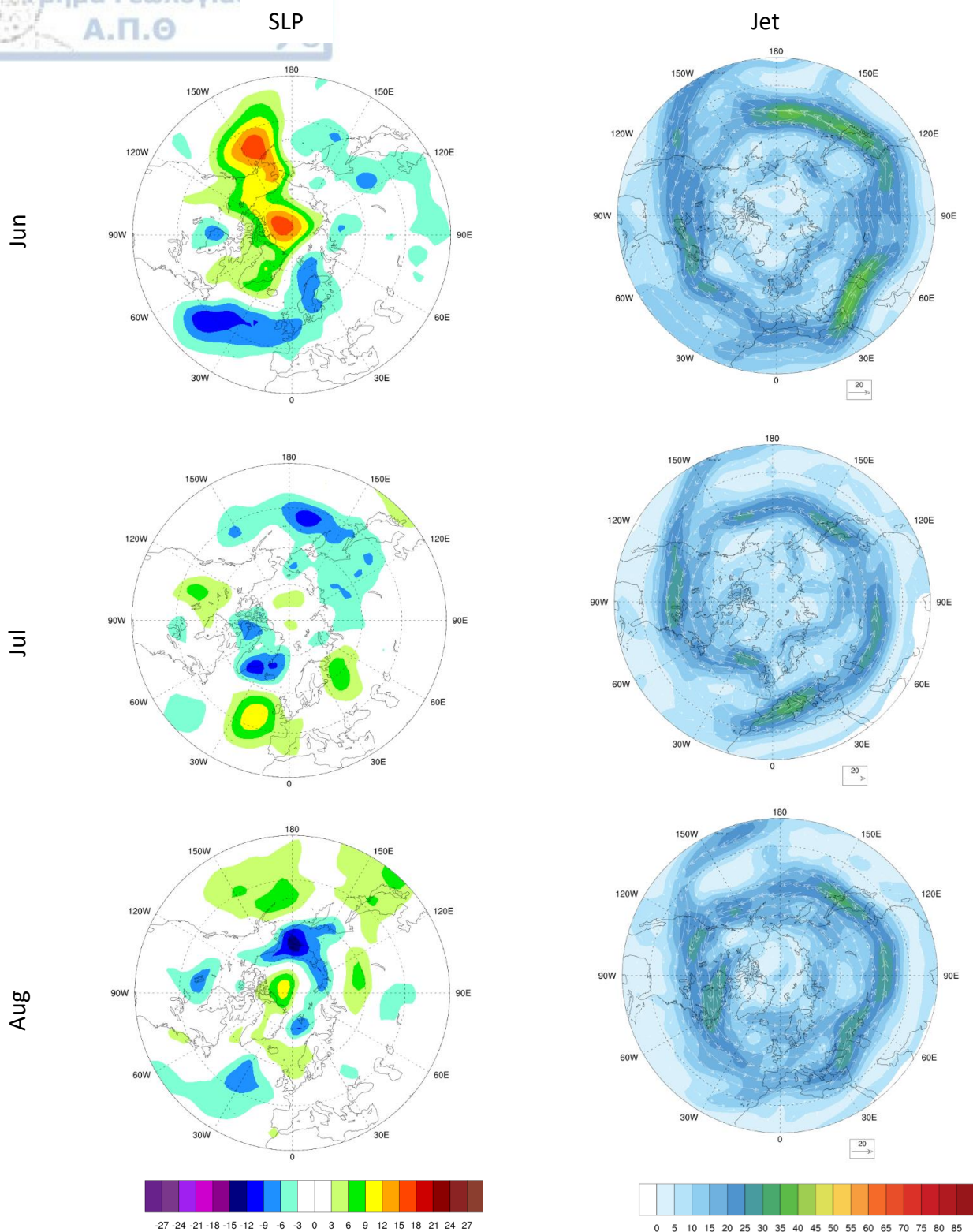
τον Ατλαντικό. Ο αντικυκλώνας των Αζορών επεκτείνεται στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και ενισχύεται, καθώς διακρίνονται ψυχροί δυτικοί-βορειοδυτικοί άνεμοι που πνέουν προς τη δυτική Ευρώπη (Σχήμα 3.21, Πίνακας 3.21). Οι τελευταίοι μεταφέρουν ψυχρές αέριες μάζες από τον Ατλαντικό ωκεανό έχοντας ως αποτέλεσμα την στατιστικά σημαντική πτώση της θερμοκρασίας κατά 2°C-5°C και τη μετατόπιση των θερμών αέριων μαζών προς τα ανατολικά (3°C και 4°C). Παράλληλα αξιόλογες μεταβολές σημειώνονται και στο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης καθώς παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2-5% στις χώρες που περιβάλλουν τη Μαύρη Θάλασσα και 2-5mm στη Σκανδιναβία (Π.11). Στο τέλος της θερινής περιόδου όπου ο αεροχείμαρρος εμφανίζεται αρκετά αποδυναμωμένος, τα συνοπτικά συστήματα και κατ' επέκταση οι κλιματικές παράμετροι που εξετάζονται, δεν εμφανίζουν αξιοσημείωτες ανωμαλίες. Ειδικότερα, στο δυτική και κεντρική Ευρώπη επικρατούν υψηλές πιέσεις οι οποίες συνοδεύονται από μικρή αύξηση της θερμοκρασίας της τάξης 1°C και αύξηση της βροχόπτωσης κατά 1-2% στα δυτικά (Π.11). Παράλληλα στατιστικά σημαντική άνοδος κατά 2°C σημειώνεται και στη Μεγάλη Βρετανία (Π.12), ενώ στην υπόλοιπη περιοχή επικρατούν αρνητικές ανωμαλίες της τάξης 1°C-2°C.

Πίνακας 3.21 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την τρίτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

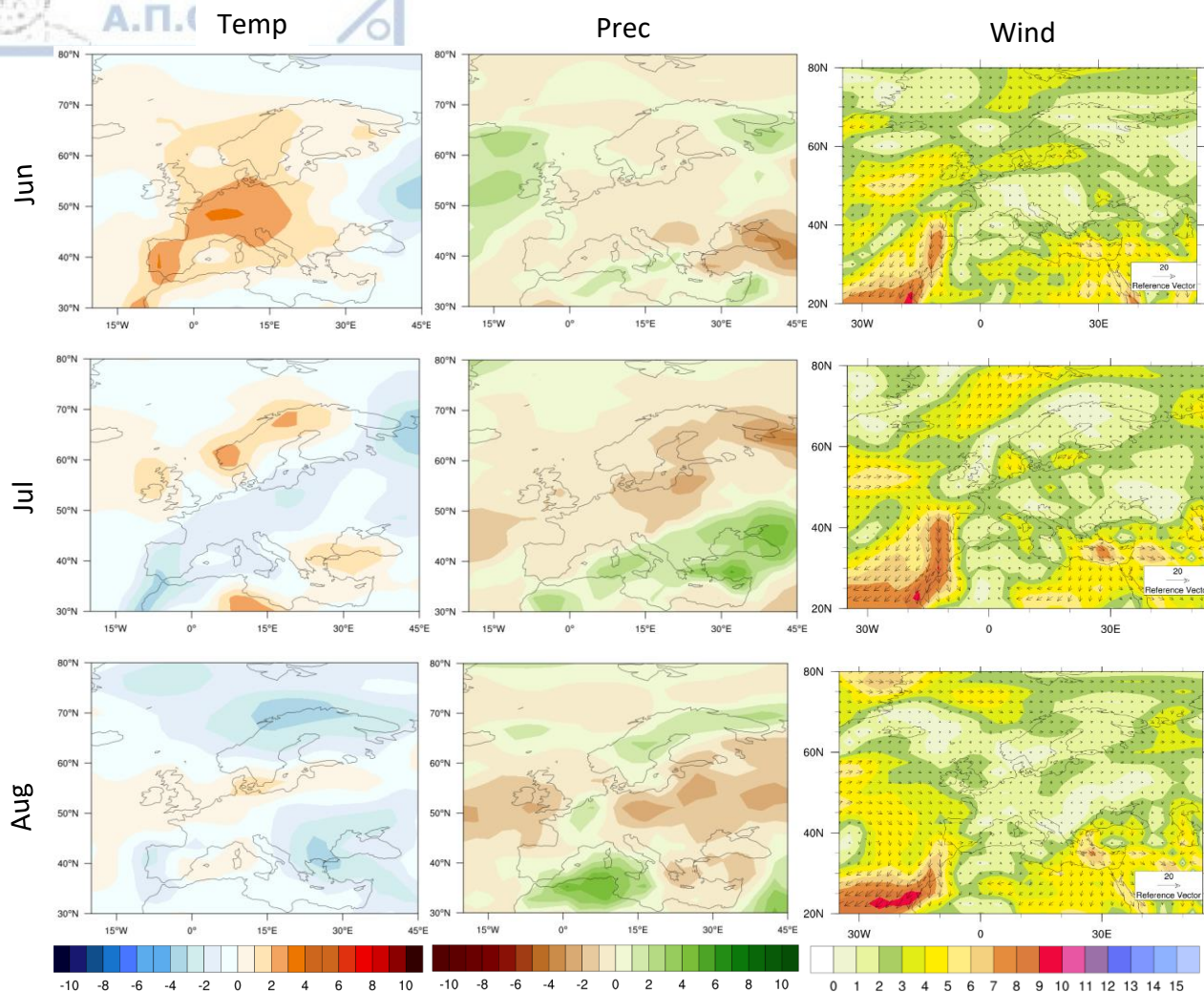
	Jun				Jul				Aug			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓
Prec	↓	↑	-	↑	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓
Wind	Δ	BΔ	-	-	Δ	BΔ	-	-	Δ	Δ	Δ	-
SLP	↓	↑	-	-	↓	↑	↑	-	↓	↑	-	-

Πίνακας 3.22 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την τρίτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun			Jul			Aug		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓
Prec	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓
Wind	-	-	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	-	BΔ	BΔ
SLP	-	-	↓	-	-	↓	-	-	↓



Σχήμα 3.22 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχεμαρρου (δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την τρίτη φάση για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.23 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας (°C) και της βροχόπτωσης(mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την τέταρτη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Το θέρος της τέταρτης φάσης του MJO παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Στην αρχή της περιόδου, τον Ιούνιο ο αεροχείμαρρος είναι μετατοπισμένος στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη με τις μέγιστες ταχύτητες στα 40-45m/sec να εντοπίζονται στη Νότιο Ασία (Σχήμα 3.23). Η ενέργεια που μεταφέρεται από τον αεροχείμαρρο τροφοδοτεί τα συνοπτικά συστήματα της ατμόσφαιρας. Συγκεκριμένα από το πεδίο της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης (Π.15) παρατηρείται πως χαμηλές πιέσεις εξαπλώνονται τόσο στη Νότιο Ασία όσο και στην ανατολική Μεσόγειο από την επέκταση του χαμηλού του Πακιστάν. Παράλληλα χαμηλότερες των μέσων τιμών πιέσεις αναπτύσσονται και στη δυτική Σιβηρία και βορειοανατολικά της Σκανδιναβίας οι οποίες συνοδεύονται και από αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2-3mm. Αντίθετα στη δυτική και κεντρική Ευρώπη αλλά και στη δυτική Μεσόγειο, παρατηρείται επέκταση του αντικυκλώνα των Αζορών. Η αντικυκλωνική ροή

φέρει υγρούς δυτικούς ανέμους στο Ηνωμένο Βασίλειο προκαλώντας αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2-4% στη δυτική Αγγλία (Π.15). Όσο αφορά το πεδίο της θερμοκρασίας, γίνεται αντιληπτό πως οι θετικές ανωμαλίες εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και της Μεσογείου καθώς σημειώνεται στατιστική σημαντική αύξηση κατά 2°C - 4°C σε σχέση με τη μέση τιμή. Εξαίρεση αποτελεί το ανατολικό τμήμα της Ευρώπης όπου καταγράφονται χαμηλότερες των μέσων θερμοκρασίες οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές (Π.16).

Τον Ιούλιο ο αεροχειμάρρος μετατοπίζεται ακόμη βορειότερα και εμφανίζεται αρκετά αποδυναμωμένος (Σχήμα 3.24). Στον Ατλαντικό ωκεανό λαμβάνει χώρα ο αντικυκλώνας των Αζορών ο οποίος με βάση το πεδίο ανωμαλιών εμφανίζεται αρκετά ενισχυμένος και επεκτείνεται στη δυτική και βόρεια Ευρώπη δημιουργώντας έντονη αντικυκλωνική ροή στο Βόρειο Ατλαντικό. Παράλληλα βορειοδυτικοί άνεμοι καταγράφονται και στην ανατολική Μεσόγειο (Ετήσιες) υποδηλώνοντας τη μεγάλη βαροβαθμίδα που δημιουργείται ανάμεσα στις χαμηλές πιέσεις που προκύπτουν από το βαρομετρικό χαμηλό του Πακιστάν και στις υψηλές πιέσεις στα Βαλκάνια. Τον Ιούλιο παρατηρείται μικρή πτώση της θερμοκρασίας κατά 2°C - 3°C σε όλη την Ευρώπη, με εξαίρεση το βόρειο τμήμα της στο οποίο περιορίζονται οι υψηλότερες των μέσων τιμές (Σχήμα 3.23, Πίνακας 3.23). Τέλος χαρακτηριστική είναι η κατάσταση στο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης, καθώς παρατηρείται πως στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης επικρατούν στατιστικά σημαντικές ξηρότερες των μέσων συνθήκες (Π.16). Αντίθετα, στη Μεσόγειο, στα Βαλκάνια και στις χώρες που περιβάλλουν τη Μαύρη Θάλασσα σημειώνεται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2-3% σύμφωνα με το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών (Π.15).

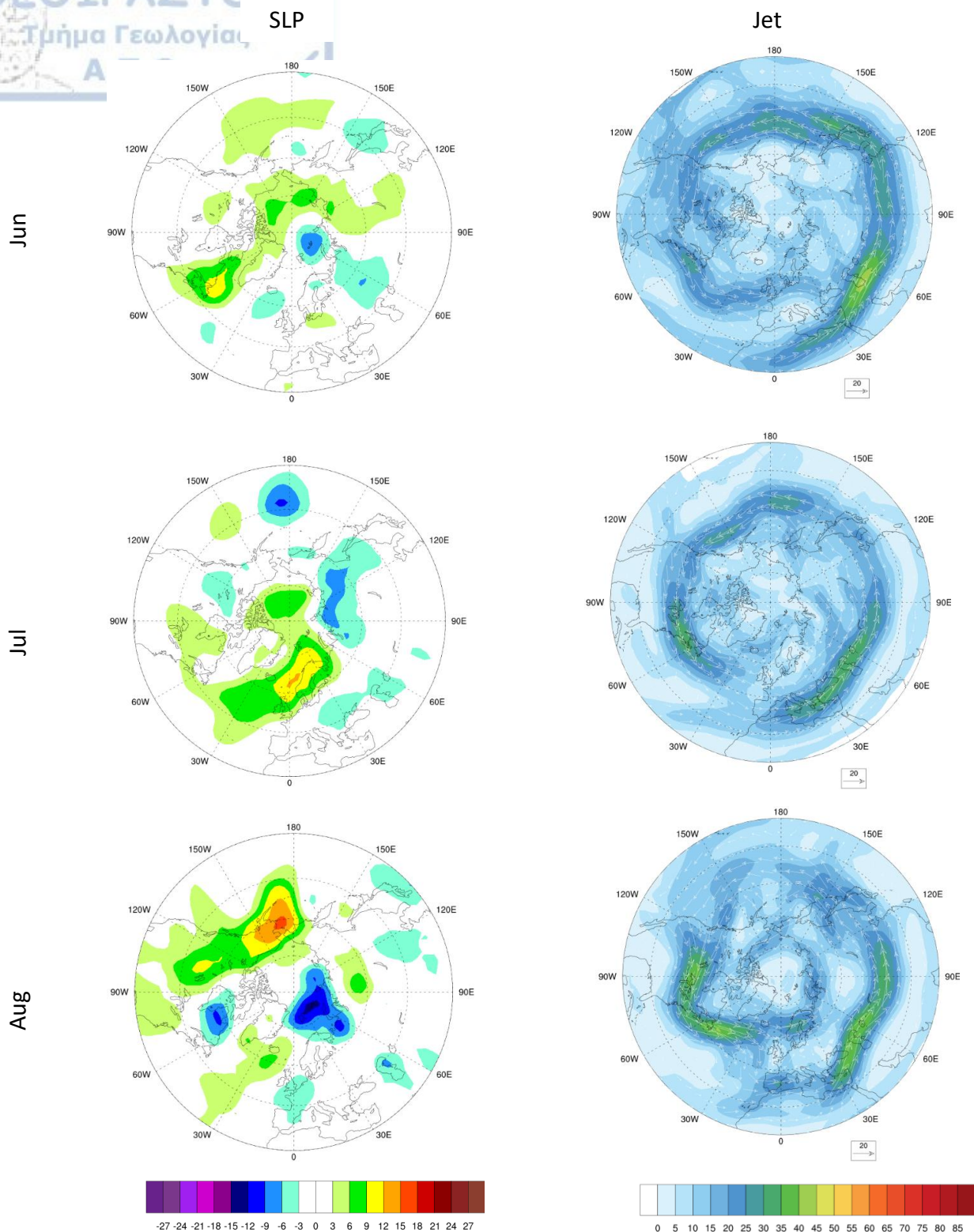
Στο τέλος του θέρους η ροή του αεροχειμάρρου εξασθενεί ακόμη περισσότερο. Ειδικότερα, παρατηρώντας τη μέση ατμοσφαιρική κατάσταση (Π.15) και το πεδίο ανωμαλιών της πίεσης (Σχήμα 3.24), διαπιστώνεται ότι ο αντικυκλώνας των Αζορών είναι αρκετά εξασθενημένος καθώς εμφανίζει χαμηλότερες των μέσων τιμών πιέσεις. Χαμηλές πιέσεις επικρατούν στη Σκανδιναβία που συνοδεύονται από αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2-3mm και πτώση της θερμοκρασίας κατά 2°C - 4°C σε σχέση με τη μέση κατάσταση (Σχήμα 3.23, Πίνακας 3.23). Παράλληλα αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2-5mm σημειώνεται στη δυτική-κεντρική Μεσόγειο (Πίνακας 3.24).

Πίνακας 3.23 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την τέταρτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

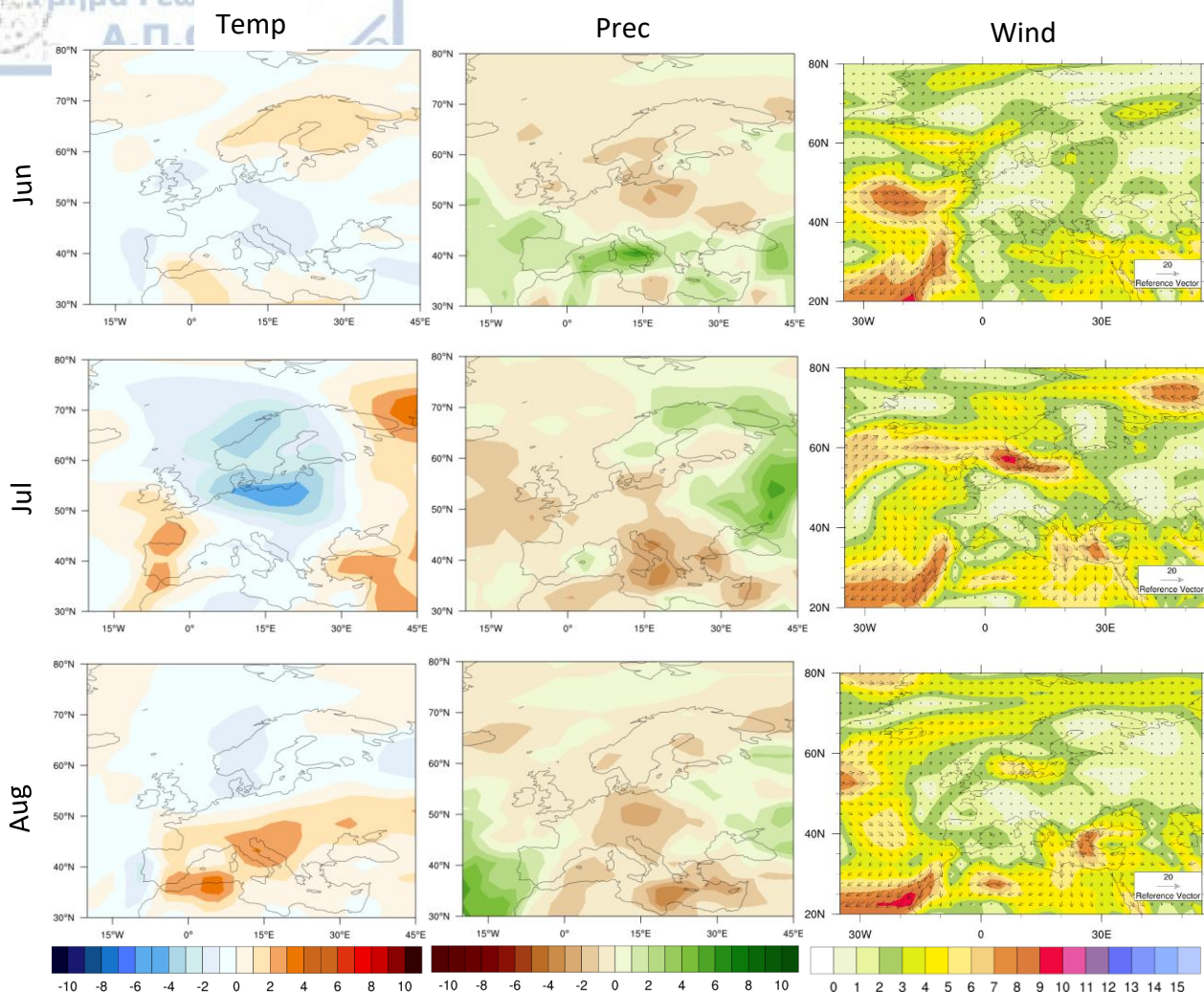
	Jun				Jul				Aug			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Prec	↑	-	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑	-	↓	↓
Wind	Δ	B-ΒΔ	-	ΒΔ	Δ-ΝΔ	B	ΒΔ	ΒΔ	Δ	ΒΔ	-	-
SLP	↓	↑	↑	-	↑	↑	↑	-	↓	↑	-	-

Πίνακας 3.24 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την τέταρτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun			Jul			Aug		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↑	-	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓
Prec	↓	-	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓
Wind	-	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	ΒΔ	-	ΒΔ	ΒΔ
SLP	↑	-	↓	-	-	↓	-	-	↓



Σχήμα 3.24 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την τέταρτη φάση για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.25 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας (°C) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την πέμπτη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Από το Σχήμα 3.26 προκύπτει ότι ο αεροχειμαρρος, τον Ιούνιο της πέμπτης φάσης, είναι μετατοπισμένος στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και παρουσιάζει μέγιστες ταχύτητες στα 40-45m/sec. Από το πεδίο της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης (Π.19) διαπιστώνεται ότι στο νότιο τμήμα του Βόρειου Ατλαντικού βρίσκεται ο αντικυκλώνας των Αζορών ενώ βορειότερα το χαμηλό της Ισλανδίας. Η συνοπτική αυτή κατάσταση στον Ατλαντικό επιφέρει βορειοδυτικούς ανέμους, που μεταφέρουν ψυχρές αέριες μάζες στη δυτική Ευρώπη, με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας κατά 1°C-2°C στην κεντρική Ευρώπη. Εξάιρεση αποτελεί η περιοχή της Σκανδιναβίας όπου εντοπίζονται θετικές ανωμαλίες (Σχήμα 3.25, Πίνακας 3.25). Όσο αφορά τη βροχόπτωση, παρατηρώντας το ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών (Π.19) σημειώνεται σημαντική άνοδος στο δυτική Ευρώπη και τη δυτική-κεντρική Μεσόγειο (Πίνακας 3.26). Παράλληλα, μικρή αύξηση εντοπίζεται και στο

ανατολικό Αιγαίο, παρόλο που επικρατούν βορειοδυτικοί άνεμοι (Ετησίες) στην αντίστοιχη περιοχή. Αντίθετα στην υπόλοιπη Ευρώπη καταγράφονται αρνητικές ανωμαλίες της τάξης 2-4% οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές (Π.19).

Τον Ιούλιο, ο αντικυκλώνας των Αζορών εμφανίζεται ενισχυμένος (Π.19), ενώ παράλληλα εξαπλώνεται στη δυτική Ευρώπη και στη Μεγάλη Βρετανία. Χαμηλές πιέσεις εντοπίζονται πάνω από τη Σκανδιναβία που συνοδεύονται από στατιστικά σημαντική πτώση της θερμοκρασίας (3°C-5°C, Π.20) και από αύξηση της βροχόπτωσης κατά 2-3mm στη βόρεια Σκανδιναβία. Στην υπόλοιπη Ευρώπη όπως και στην κεντρική-ανατολική Μεσόγειο επικρατούν ξηρότερες των μέσων συνθήκες κατά 2-3% (Π.19). Η μείωση της βροχόπτωσης στο ανατολικό τμήμα της Μεσογείου πιθανότατα προκύπτει ως αποτέλεσμα των βορειοδυτικών ανέμων που πνέουν στην περιοχή.

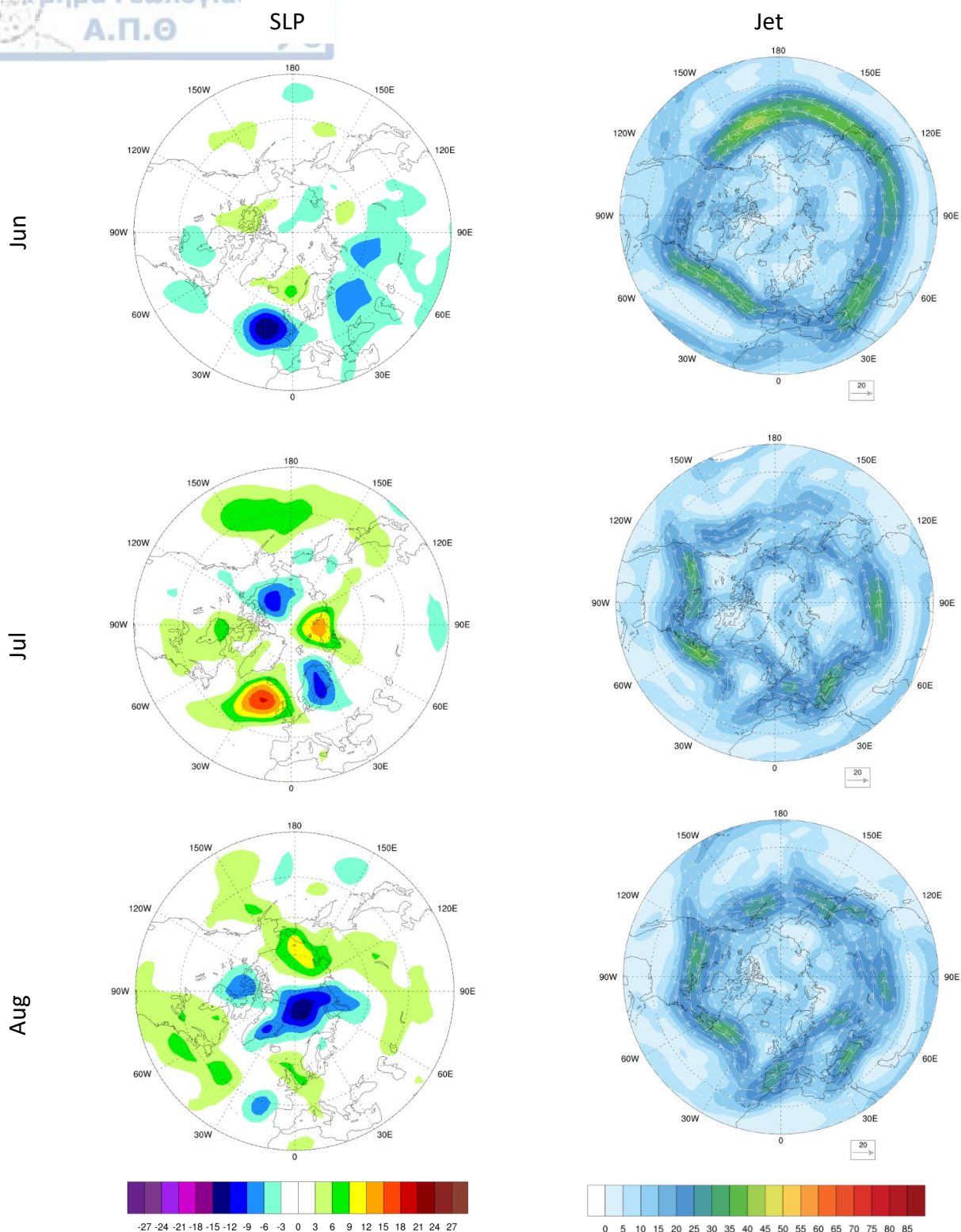
Τον Αύγουστο ο αντικυκλώνας των Αζορών εξασθενημένος πλέον υποχωρεί στη βασική του θέση. Υψηλές πιέσεις εντοπίζονται πάνω από την κεντρική Ευρώπη εγκλωβίζοντας θερμές και ξηρές αέριες μάζες στη περιοχή, ενώ αντίθετα στο ανατολικό τμήμα της Μεσογείου εξαπλώνονται χαμηλές πιέσεις που υποδεικνύουν την παρουσία του χαμηλού του Πακιστάν (Π.19). Αποτέλεσμα της έντονης βαροβαθμίδας που δημιουργείται μεταξύ των δυο συστημάτων αντίθετου σήματος, είναι η ενίσχυση των βορειοδυτικών ανέμων που πνέουν στην ανατολική Μεσόγειο (Ετησίες).

Πίνακας 3.25 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την πέμπτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun				Jul				Aug			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↑	↓
Prec	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓
Wind	A-BA	BΔ	--	-	Δ-BΔ	B	Δ-BΔ	Δ	Δ	BΔ	-	-
SLP	↓	-	-	↓	↑↓	↑	↑	↓	↓↑	↑	↑	-

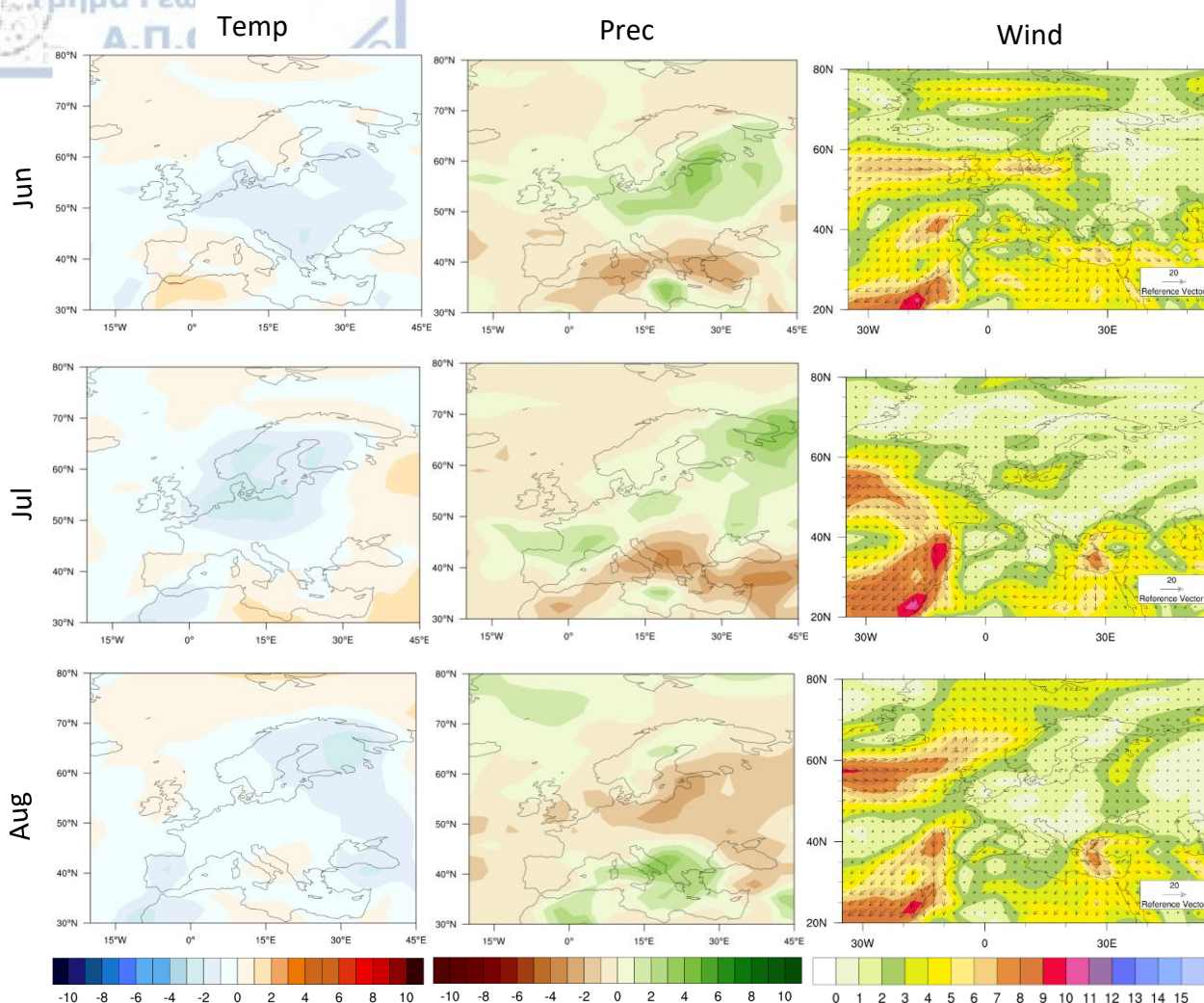
Πίνακας 3.26 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την πέμπτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun			Jul			Aug		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	-
Prec	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↓
Wind	-	BΔ	BΔ	A	BΔ	BΔ	-	BΔ	BΔ
SLP	-	-	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↓



Σχήμα 3.26 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την πέμπτη φάση για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

3.2.6 Φάση 6^η



Σχήμα 3.27 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας (°C) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου (m/sec) κατά την έκτη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Η έκτη φάση κατά τη θερινή περίοδο διαφέρει σημαντικά από την προηγούμενη. Με μια πρώτη ματιά διαπιστώνεται πως στο πεδίο της θερμοκρασίας επικρατούν κυρίως αρνητικές ανωμαλίες, οι οποίες παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα (Σχήμα 3.27, Π.24). Από το πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης γίνεται αντιληπτό πως καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου σημειώνεται αύξηση της βροχόπτωσης στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης και ξηρότερες συνθήκες στη Μεσόγειο, ενώ στο τέλος της περιόδου η κατάσταση αυτή αντιστρέφεται. Παρατηρώντας τη συνοπτική κατάσταση συμπεραίνεται πως κατά τη φάση αυτή ο αντικυκλώνας των Αζορών είναι ενισχυμένος και μετατοπισμένος προς τα βόρεια. Οι υψηλές πιέσεις του συστήματος εξαπλώνονται κατά περιόδους και στην Ευρώπη ενώ στην ανατολική Μεσόγειο επικρατούν κυρίως χαμηλές πιέσεις οι οποίες προέρχονται

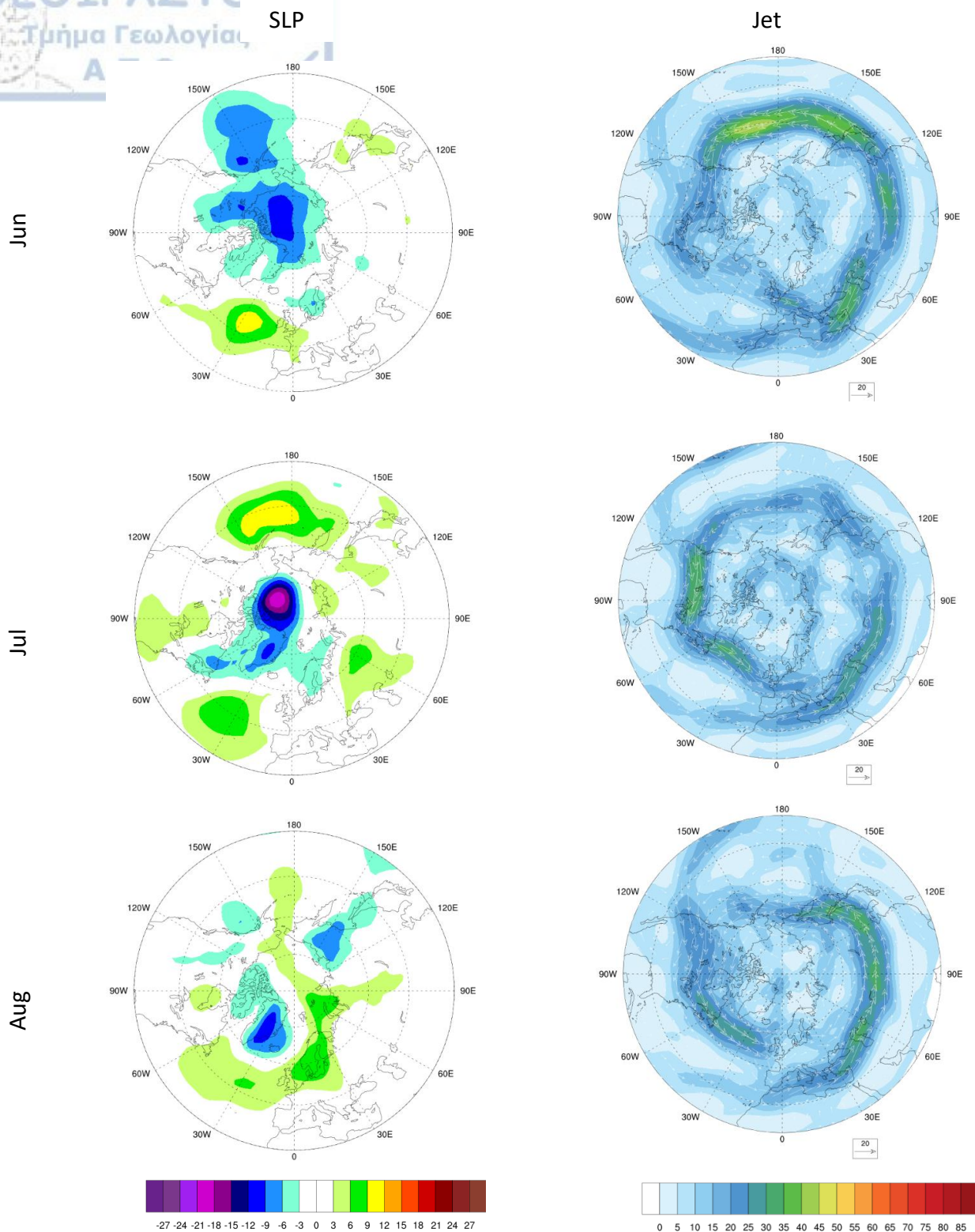
από την επέκταση συστήματος του Πακιστάν (Π.23). Η ροή των συστημάτων αντικατοπτρίζεται και στο πεδίο του μέσου ανέμου.

Πίνακας 3.27 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την έκτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

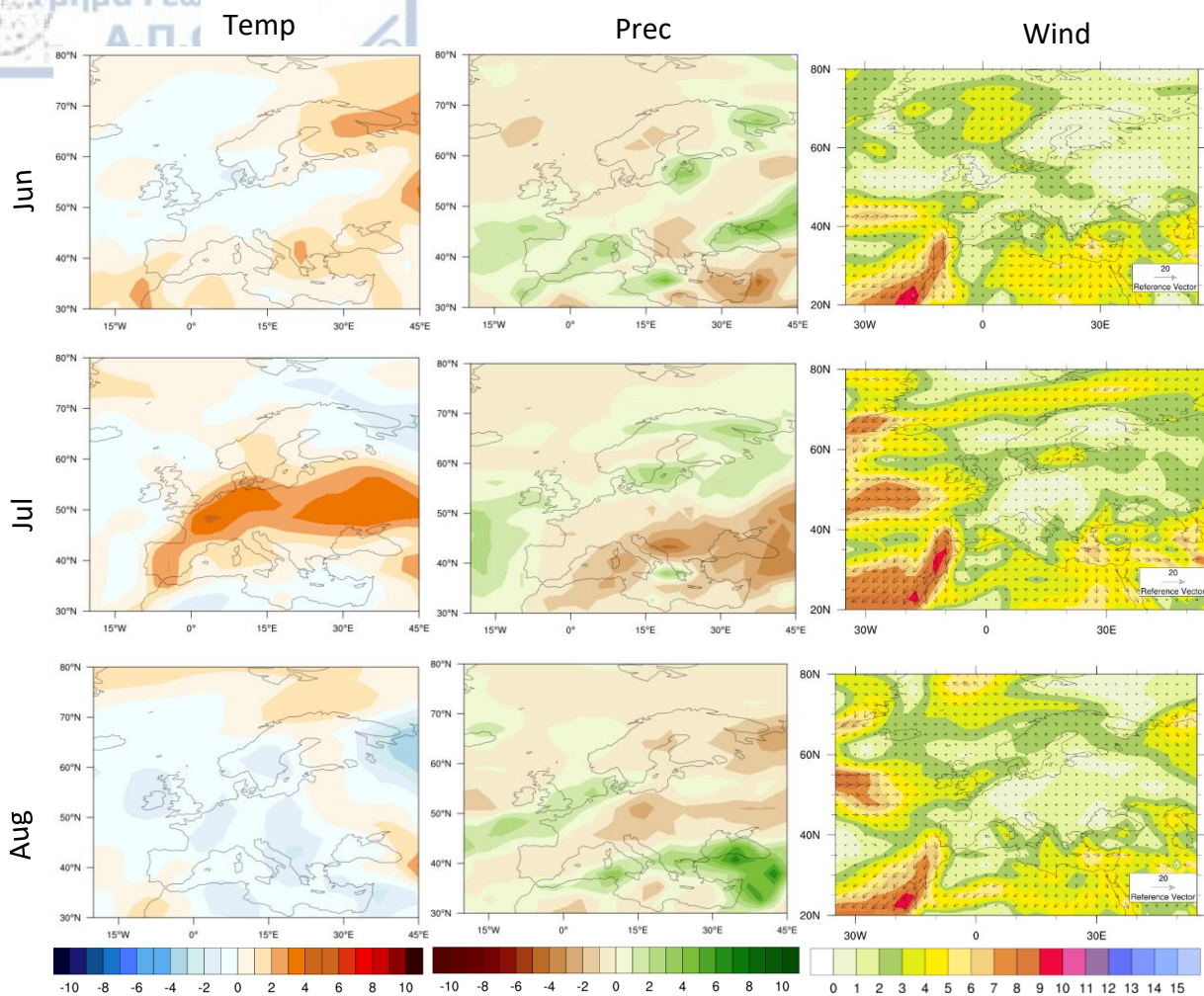
	Jun				Jul				Aug			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Prec	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓
Wind	Δ	BΔ	Δ	-	Δ	BΔ	Δ	-	NΔ	B	-	-
SLP	↓	↑	↑	↓	↓	↑	-	-	↑	↑	↑	↓

Πίνακας 3.28 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την έκτη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun			Jul			Aug		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓
Prec	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑
Wind	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	-	BΔ	BΔ
SLP	↑	↑	↓	-	-	↓	-	-	↓



Σχήμα 3.28 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την έκτη φάση για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.29 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) και της βροχόπτωσης (mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την έβδομη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Τον Ιούνιο της έβδομης φάσης, ο αεροχείμαρρος παρουσιάζει οργανωμένη δακτυλιοειδή δομή και λαμβάνει χώρα σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη (Σχήμα 3.30). Ο αντικυκλώνας των Αζορών επεκτείνεται ως την Ιβηρική χερσόνησο. Η αντικυκλωνική ροή του αντικατοπτρίζεται και στο πεδίο του ανέμου καθώς στον Ατλαντικό επικρατούν βορειοδυτικοί-βόρειοι άνεμοι που επηρεάζουν τη δυτική Ευρώπη. Η βαροβαθμίδα που σχηματίζεται πάνω από το Αιγαίο ενισχύει την εμφάνιση των Ετησίων ανέμων. Οι τελευταίοι συνδέονται με την ελάττωση της βροχόπτωσης στην ανατολική Μεσόγειο, η οποία είναι στατιστικά σημαντική (Π.28, Πίνακας 3.30), που σημειώνεται στα ανατολικά της λεκάνης της Μεσογείου. Στατιστικά σημαντικές ξηρότερες συνθήκες καταγράφονται και στα ανατολικά της Ευρώπης, ενώ αύξηση της βροχόπτωσης της τάξης 3-4% παρατηρείται στην Ιβηρική χερσόνησο. Στο πεδίο της θερμοκρασίας κατά κύριο λόγο παρατηρούνται θετικές ανωμαλίες της τάξης 1°C - 2°C , με εξαίρεση μια σφήνα ψυχρής αέριας μάζας που εντοπίζεται

στην περιοχή της Μεγάλης Βρετανίας και στη βόρεια Ευρώπη προκαλώντας πτώση κατά 1°C (Σχήμα 3.29, Πίνακας 3.29).

Τον Ιούλιο, η συνοπτική κατάσταση δε μεταβάλλεται σημαντικά. Το χαμηλό της Ισλανδίας και ο αντικυκλώνας των Αζορών επιμένουν στον Ατλαντικό ωκεανό, και οι υψηλές πιέσεις στην κεντρική και δυτική Ευρώπη. Η κυκλωνική ροή στο βόρειο Ατλαντικό φέρει νοτιοδυτικούς ανέμους στο Ηνωμένο Βασίλειο και μεταφέρουν υγρές αέριες μάζες οι οποίες αυξάνουν κατά 1-2mm τη βροχόπτωση (Σχήμα 3.29, Πίνακας 3.29). Αύξηση της βροχόπτωσης της τάξης 2-3% (Π.27) παρατηρείται κατά τόπους και στην Σκανδιναβική χερσόνησο. Στην υπόλοιπη Ευρώπη επικρατούν ξηρότερες συνθήκες οι οποίες στην περιοχή των Βαλκανίων εμφανίζουν στατιστική σημαντικότητα. Όσο αφορά το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας, οι θετικές ανωμαλίες συνεχίζουν να επιμένουν και μάλιστα είναι στατιστικά σημαντικές στο μεγαλύτερο εύρος της (Π.28). Η αύξηση της θερμοκρασίας που σημειώνεται είναι ακόμη μεγαλύτερη σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο και εμφανίζει μέσο μέγιστο στους 5°C στο Βέλγιο.

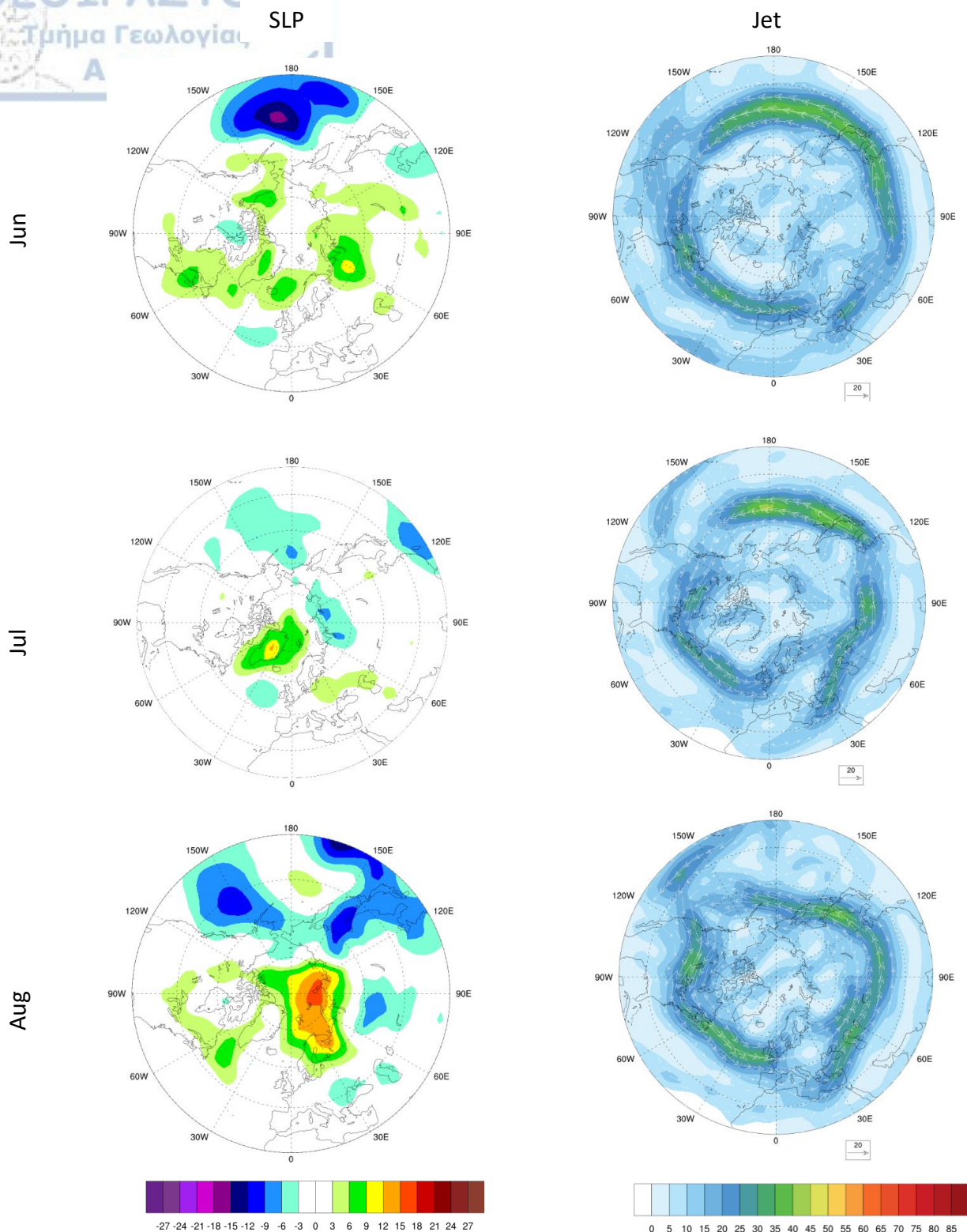
Στο τέλος της θερινής περιόδου, ο αεροχειμαρρος επιμένει στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη με μέσες ταχύτητες της τάξης των 20-25m/sec. Η κυκλωνική κίνηση γύρω από το χαμηλό στο βόρειο Ατλαντικό προκαλεί δυτικούς ανέμους στη περιοχή που μεταφέρουν στα νότια της Μεγάλης Βρετανίας υγρές αέριες μάζες με αποτέλεσμα να αυξάνεται η βροχόπτωση κατά 2mm (Σχήμα 3.28). Παράλληλα αύξηση της βροχόπτωσης σημειώνεται και στη Δυτική Μεσόγειο, στην Ελλάδα και στις χώρες νότια της Μαύρης Θάλασσας. Στην υπόλοιπη Ευρώπη καταγράφονται ξηρότερες συνθήκες οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της. Στο πεδίο της θερμοκρασίας στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης παρατηρούνται αρνητικές ανωμαλίες που υποδεικνύουν μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας της τάξης 1°C-2°C.

Πίνακας 3.29 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την έβδομη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

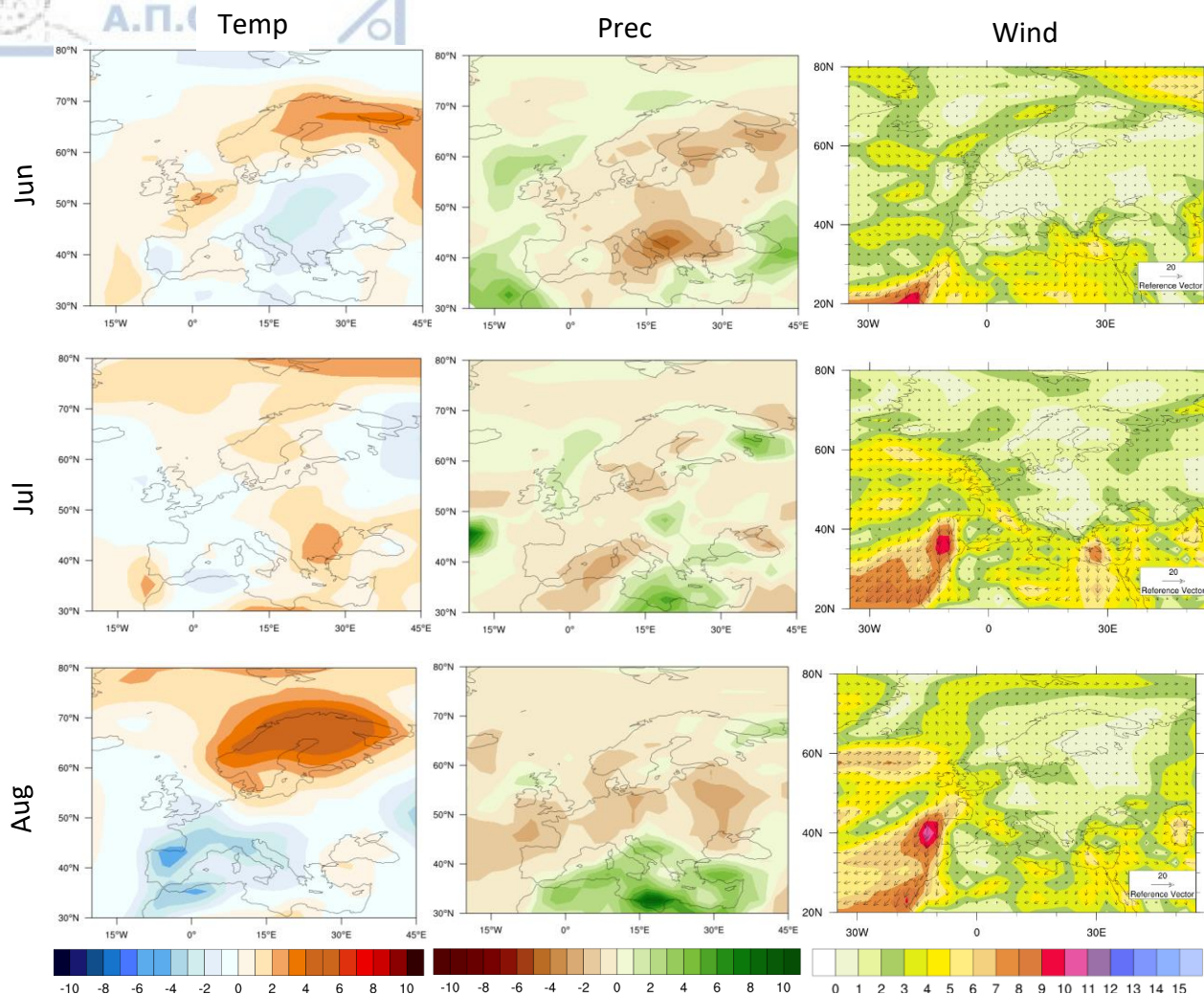
	Jun				Jul				Aug			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↑
Prec	↓	↑	-	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓
Wind	Δ	Δ-BΔ	-	-	Δ-NΔ	BΔ	-	-	Δ	B-BΔ	-	-
SLP	-	↑	↑	-	↓	↑	↑	-	↓	↑	-	-

Πίνακας 3.30 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την έβδομη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun			Jul			Aug		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓
Prec	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑
Wind	-	BΔ	BΔ	-	BΔ	BΔ	-	BΔ	BΔ
SLP	↑	-	↓	↑	-	↓	-	-	↓



Σχήμα 3.30 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την έβδομη φάση για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).



Σχήμα 3.31 Πεδία των ανωμαλιών της θερμοκρασίας (°C) και της βροχόπτωσης(mm), και της μέσης κατάστασης του ανέμου(m/sec) κατά την όγδοη φάση των ακραίων τιμών του δείκτη RMM για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

Παρατηρώντας τη συνοπτική κατάσταση της όγδοης φάσης του θέρους, διαπιστώνεται ότι ο αντικυκλώνας των Αζορών λαμβάνει χώρα νοτιότερα σε σχέση με τη θέση που εμφανίζεται τη συγκεκριμένη περίοδο και είναι αρκετά αποδυναμωμένος (Σχήμα 3.32). Το γεγονός αυτό πιθανότατα σχετίζεται και με τη θέση του αεροχειμάρρου στα υψηλότερα επίπεδα, η ροή του οποίου είναι αρκετά ασθενής με αποτέλεσμα να μη μεταφέρεται η απαραίτητη ενέργεια στα συνοπτικά συστήματα. Υψηλές πιέσεις εντοπίζονται στη δυτική Μεσόγειο και στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη. Οι τελευταίες μάλιστα που γίνονται αντιληπτές στη Σκανδιναβική χερσόνησο και στη δυτική Σιβηρία είναι υψηλότερες της μέσης κατάστασης και συνοδεύονται από στατιστικά αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C-4°C. Στην υπόλοιπη Ευρώπη εμφανίζονται αρνητικές ανωμαλίες στο πεδίο της θερμοκρασίας οι οποίες φτάνουν τους 2°C-3°C στην κεντρική Ευρώπη-Βαλκάνια

και είναι στατιστικά σημαντικές (Π.32). Στατιστικά σημαντική ελάττωση της βροχόπτωσης παρατηρείται στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης. Αντίθετα μικρή αύξηση της βροχόπτωσης σημειώνεται στην ανατολική και δυτική Μεσόγειο και στην ωκεάνια περιοχή που περιβάλλει την Ευρώπη (Σχήμα 3.31, Πίνακας 3.31).

Τον Ιούλιο η μετακίνηση του αεροχειμάρρου βορειότερα συνοδεύεται από την μετατόπιση του αντικυκλώνα των Αζορών, του οποίου οι υψηλές πιέσεις επεκτείνονται πλέον στη Μεγάλη Βρετανία και στην Ιβηρική χερσόνησο. Στην Ευρώπη φαίνεται να επικρατούν φυσιολογικές πιέσεις με εξαίρεση το βόρειο τμήμα της όπου καταγράφονται υψηλότερες της μέσης κατάστασης (Σχήμα 3.32). Αντίθετα χαμηλές πιέσεις εξαπλώνονται στην ανατολική Μεσόγειο υποδεικνύοντας την παρουσία του χαμηλού του Πακιστάν ενισχύοντας τους Ετησίες ανέμους στη περιοχή (Π.31). Η αντικυκλωνική ροή λόγω του συστήματος των Αζορών μεταφέρει ψυχρότερες κατά 1°C αέριες μάζες στη περιοχή της δυτικής Ευρώπης. Ωστόσο στην υπόλοιπη Ευρώπη σημειώνονται υψηλότερες των μέσων θερμοκρασίες με τις μέγιστες στους 3°C στην περιοχή των Βαλκανίων, η οποίες συνοδεύονται και από μικρή αύξηση της βροχόπτωσης (Σχήμα 3.31, Πίνακας 3.31). Παράλληλα θετικές ανωμαλίες στο πεδίο της βροχόπτωσης παρουσιάζονται και στην ανατολική Μεσόγειο ενώ στα δυτικά της λεκάνης παρατηρούνται αρνητικές ανωμαλίες οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές (Π.32). Στατιστικά σημαντική ξηρασία διακρίνεται και στις χώρες που περιβάλλουν από τα δυτική Βαλτική Θάλασσα.

Τον Αύγουστο της όγδοης φάσης η ενίσχυση της ροής του αεροχειμάρρου έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά ενέργειας και την ενδυνάμωση των συνοπτικών συστημάτων της ατμόσφαιρας. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι τόσο ο αντικυκλώνας των Αζορών όσο και οι υψηλές πιέσεις που εντοπίζονται στη βόρεια και ανατολική Ευρώπη είναι αρκετά υψηλότερες σε σχέση με τη μέση κατάσταση (Σχήμα 3.32, Π.31). Οι τελευταίες μάλιστα συνοδεύονται και από αξιόλογη αύξηση της θερμοκρασίας της τάξης 2°C - 5°C στη Σκανδιναβική χερσόνησο, η οποία παρουσιάζει στατιστική σημαντικότητα (Σχήμα Π.32). Αντίθετα στην υπόλοιπη Ευρώπη και Μεσόγειο καταγράφονται αρνητικές ανωμαλίες στο πεδίο της θερμοκρασίας με μέγιστη στατιστικά σημαντική πτώση στους 4°C - 5°C στην Ιβηρική χερσόνησο. Η πτώση αυτή της θερμοκρασίας πιθανότατα σχετίζεται με τους μέτριους, βόρειους-βορειοδυτικούς ανέμους στην αντίστοιχη περιοχή οι οποίοι υποδεικνύουν την αντικυκλωνική κίνηση του αντικυκλώνα των Αζορών (Σχήμα 3.31,

Πίνακας 3.31). Όσο αφορά το πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης διαπιστώνεται πως οι θετικές ανωμαλίες που εντοπίζονταν την προηγούμενη περίοδο στην ανατολική και κεντρική Μεσόγειο εξαπλώνονται στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης, ενώ στην υπόλοιπη Ευρώπη καταγράφονται ξηρότερες της μέσης κατάστασης συνθήκες.

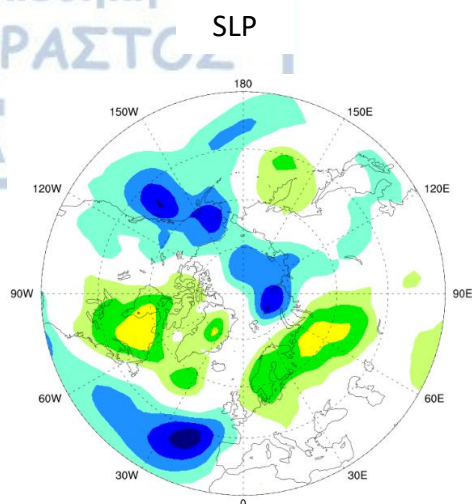
Πίνακας 3.31 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Ευρώπης, κατά την όγδοη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun				Jul				Aug			
	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A	B	Δ	K	A
T	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓
Prec	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓
Wind	-	-	-	-	Δ	B-ΒΔ	-	-	Δ	B-ΒΔ	-	-
SLP	↑	-	↑	-	↑	↑	-	-	↑	↑	-	↑

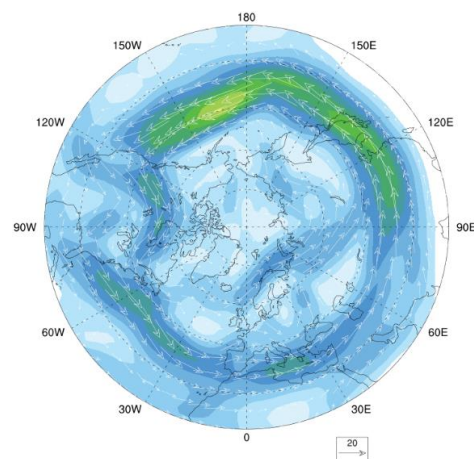
Πίνακας 3.32 Συγκεντρωτικός πίνακας ανάλυσης των κλιματικών παραμέτρων για την περιοχή της Μεσογείου, κατά την όγδοη φάση του δείκτη, για την περίοδο αναφοράς (1976-2015).

	Jun			Jul			Aug		
	Δ	K	A	Δ	K	A	Δ	K	A
T	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓
Prec	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑
Wind	-	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ	BΔ
SLP	↑	-	↓	↓	-	↑	-	-	↓

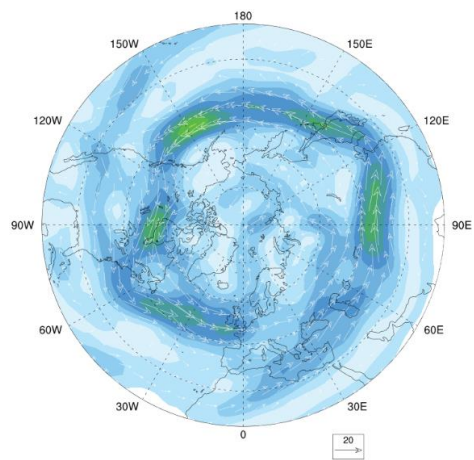
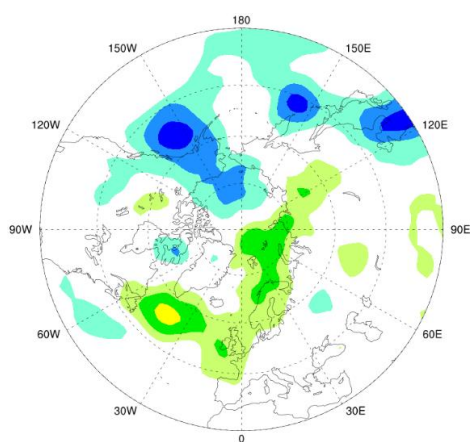
Jun



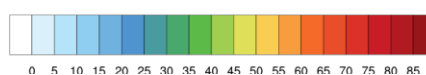
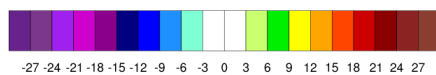
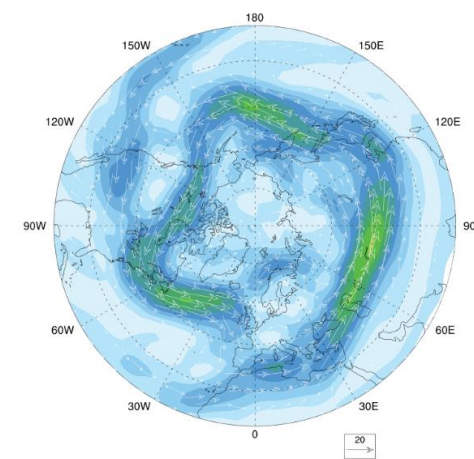
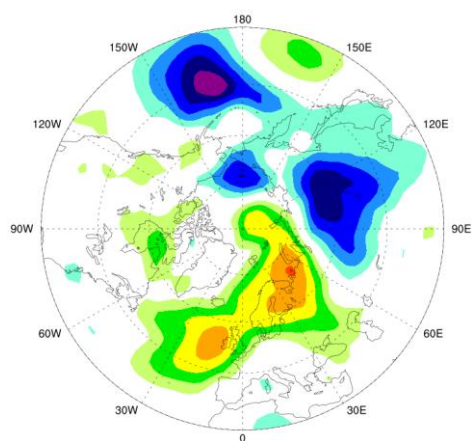
Jet



Jul



Aug



Σχήμα 3.32 Ανωμαλίες στο πεδίο της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (sea level pressure, SLP, αριστερή στήλη) και η μέση ροή του αεροχειμάρρου (m/sec, δεξιά στήλη) με βάση τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM κατά την όγδοη φάση για τη θερινή περίοδο αναφοράς (1976-2015).

4. Συμπεράσματα - Συζήτηση

Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας είναι η μελέτη της κλιματικής επίδρασης της ατμοσφαιρικής διαταραχής Madden-Julian, στην περιοχή της Ευρώπης. Συγκεκριμένα διερευνάται ο τρόπος με τον οποίο συσχετίζονται οι ακραίες τιμές του δείκτη πολλαπλών μεταβλητών RMM, με τις κλιματικές παραμέτρους της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, του ανέμου και της πίεσης στην επιφάνεια που εξετάζονται στην παρούσα εργασία.

Για το λόγο αυτό, αρχικά επιλέχθηκαν οι ακραίες τιμές του δείκτη RMM που αντιστοιχούν σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90%, για το χειμώνα και το καλοκαίρι της περιόδου 1976-2015. Αφού εντοπίστηκαν οι ημερομηνίες που αντιστοιχούν στις ακραίες τιμές του δείκτη για κάθε φάση, ανακτήθηκαν τα δεδομένα reanalysis για κάθε μια από τις κλιματικές παραμέτρους από το NCEP/NCAR. Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν αναπαριστούν τη μέση κατάσταση και τις κλιματικές ανωμαλίες για την περιοχή της Ευρώπης κατά την περίοδο αναφοράς. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η στατιστική σημαντικότητα για τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, διεξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Κατά τη χειμερινή περίοδο, από τους χάρτες ανωμαλιών του πεδίου της θερμοκρασίας διαπιστώνεται πως για τις ακραίες τιμές του δείκτη RMM, στη περιοχή της Ευρώπης, όταν επικρατεί η 7^η και η 8^η φάση καταγράφεται στατιστικά σημαντική πτώση της θερμοκρασίας, εξαίρεση αποτελεί η βόρεια Ευρώπη η οποία παρουσιάζει αύξηση της θερμοκρασίας ιδιαίτερα στη περιοχή της βόρειο-ανατολικής Ευρώπης. Η θερμοκρασία επίσης ελαττώνεται κατά την διάρκεια των δύο φάσεων (7^η και 8^η) σε όλη τη Μεσόγειο. Κατά τη διάρκεια της 7ης φάσης εμφανίζονται πολύ εξασθενημένα τα κέντρα δράσης των Αζορών και της Ισλανδίας, δηλαδή επικρατεί η αρνητική φάση του NAO, γεγονός που συμπίπτει με την έρευνα των Henderson et al. (2016), οι οποίοι κατέληξαν ότι η αρνητική φάση του NAO σχετίζεται με τη φάση 7 της κύμανσης Madden-Julian. Αντίθετα, το χειμώνα όταν επικρατούν οι υπόλοιπες φάσεις (εκτός της 3^{ης}) παρατηρείται στατιστικά σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας κυρίως στην περιοχή της κεντρικής Ευρώπης. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης και οι υψηλότερες των μέσων θερμοκρασιών που καταγράφονται στην περιοχή της Σκανδιναβίας το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο της 1^{ης} και 2^{ης} φάσης. Η τελευταία περίπτωση έχει επίσης μελετηθεί και από τους Matsueda και Takaya (2015), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι τα ακραία θερμά επεισόδια τα τελευταία χρόνια στην περιοχή της

Σκανδιναβίας σχετίζονται με τη φάση 1 και 2 του δείκτη RMM. Επίσης, οι Matsueda και Takaya (2015) ισχυρίζονται ότι τα ακραία ψυχρά επεισόδια στην ανατολική Ευρώπη συνδέονται με την 4^η φάση του δείκτη, γεγονός που συμπίπτει με τα αποτελέσματα του Φεβρουαρίου της 3^{ης} και 4^{ης} φάσης της παρούσας εργασίας. Οι υψηλές πιέσεις στη περιοχή της Σκανδιναβίας και τη δυτική Ρωσία πρέπει να συνδέονται με αυτά τα ακραία ψυχρά επεισόδια. Ακόμη, μελέτες των Porebska και Zdunek (2013) υποδεικνύουν ότι υψηλά συστήματα πιέσεων πάνω από τη δυτική Ρωσία και την κεντρική Ευρώπη, συνδέονται με ψυχρά επεισόδια στην Ευρώπη, γεγονός που θα μπορούσε να αποδοθεί στην επίδραση της 3^{ης} φάσης του MJO.

Όσο αφορά τη βροχόπτωση το χειμώνα, εκτιμάται ότι ο δείκτης πολλαπλής μεταβλητότητας RMM στο μεγαλύτερο εύρος του, συνοδεύεται από στατιστικά σημαντικές αρνητικές ανωμαλίες. Ειδικότερα, η 1^η, 3^η και η 6^η φάση φαίνεται να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική έλλειψη της βροχόπτωσης σε μεγάλο τμήμα της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης. Η Μεσόγειος για την ίδια περίοδο και για τις ίδιες φάσεις εμφανίζει μειωμένη βροχόπτωση στα δυτικά και για κάποιους μήνες και στο ανατολικό τμήμα της. Ωστόσο διακρίνονται και επεισόδια στα οποία σημειώνονται αξιόλογες θετικές ανωμαλίες, όπως για τους δύο πρώτους χειμερινούς μήνες της 4^{ης} φάσης, οι οποίες συνδέονται με χαμηλές πιέσεις πάνω από την Σκανδιναβία και την εμφάνιση του Scandinavian σύστημα τηλεσύνδεσης στη περιοχή. Έρευνα της Wibig (1999) αποδεικνύει ότι η αύξηση της βροχόπτωσης κατά τη χειμερινή περίοδο στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη ευνοείται κατά την αρνητική φάση της κύμανσης της Σκανδιναβίας, ενώ κατά τη θετική καταγράφονται ξηρότερες συνθήκες. Η αύξηση της βροχόπτωσης που παρατηρείται στην περιοχή της Σκανδιναβίας κατά τον Ιανουάριο της 2^{ης}, 3^{ης} και 4^{ης} φάσης, φαίνεται να συνδέεται με την ενισχυμένη μορφή του θετικού NAO. Έρευνα της Uno (2003) αποδεικνύει ότι το χειμώνα οι Νορβηγικές ακτές παρουσιάζουν αυξημένη βροχόπτωση, ως αποτέλεσμα τόσο της ορογραφίας όσο και των έντονων υγρών δυτικών ανέμων που προκύπτουν εξαιτίας της θετικής φάσης του NAO, μια ακόμα απόδειξη που συσχετίζει τις συγκεκριμένες φάσεις της κύμανσης Madden-Julian με τη θετική φάση NAO. Επίσης, οι Lin et al. (2015), διαπίστωσαν ότι όταν εντοπίζεται έντονη ανωμεταφορά στον Ινδικό ωκεανό, δηλαδή κατά τις φάσεις 2 έως 4, είναι πολύ πιο συχνά τα επεισόδια θετικής φάσης NAO. Οι Henderson et al. (2016) απέδειξαν ότι η 4^η φάση του MJO συνδέεται άμεσα με τη θετική του NAO, ενώ οι Cassou et

al. (2008) υποστηρίζουν ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης της θετικής φάσης του NAO, μετά τη φάση 3 του δείκτη RMM.

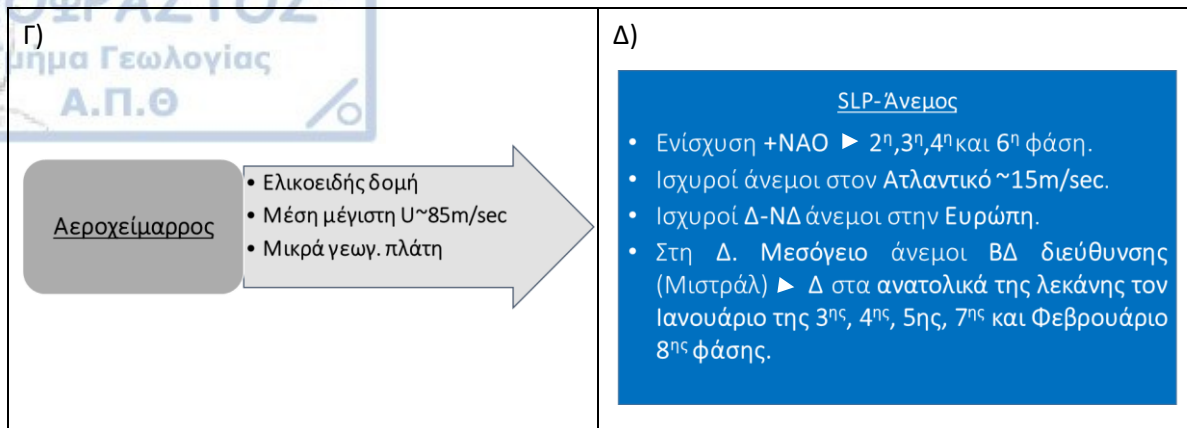
Η επίδραση της κύμανσης Madden-Julian στα συνοπτικά συστήματα αντικατοπτρίζεται και στο πεδίο του ανέμου. Από την αναπαράσταση της μέσης κατάστασης του ανέμου κατά τη διάρκεια του χειμώνα, γίνεται αντιληπτό ότι οι φάσεις του MJO που επηρεάζουν εντονότερα την ατμοσφαιρική κυκλοφορία παρουσιάζουν αυξημένες ταχύτητες ανέμου. Συγκεκριμένα, τα κέντρα δράσης της Ισλανδίας και των Αζορών στον Ατλαντικό ωκενό είναι ιδιαίτερα έντονα, κατά τις φάσεις 3^{ης}, 4^{ης}, και 8^{ης} φάσης όπου εμφανίζουν αυξημένες ταχύτητες ανέμου που φτάνουν μέχρι και τα 15m/sec. Οι άνεμοι αυτοί, φτάνουν στην περιοχή της Ευρώπης έχοντας δυτική-νοτιοδυτική διεύθυνση. Οι Donat et al. (2010) υποστηρίζουν ότι ροή από τα δυτικά (ΒΔ, Δ, ΝΔ) στην περιοχή της Ευρώπης προκύπτει εξαιτίας της θετικής φάσης του NAO, αποτέλεσμα που θα μπορούσε να συσχετιστεί με τους ισχυρούς δυτικούς-νοτιοδυτικούς ανέμους κατά τον Ιανουάριο της 2^{ης}, 3^{ης}, 4^{ης} και 6^{ης} της παρούσας εργασίας. Στη Μεσόγειο επικρατούν κυρίως στα δυτικά βορειοδυτικοί άνεμοι οι οποίοι καταλήγουν στο κεντρικό-ανατολικό τμήμα της λεκάνης ως δυτικοί και πιθανότατα συνδέονται με την αύξηση της βροχόπτωσης στη κεντρική Μεσόγειο. Σύμφωνα με τους Cassia et al. (2005) ο ξηρός και ψυχρός, βορειοδυτικός άνεμος που κανελίζεται πάνω από την κοιλάδα του Ροδανού και συνεχίζει προς τον κόλπο του Λέοντα και τη Μεσόγειο είναι ο Μιστράλ, ο οποίος προκύπτει ως αποτέλεσμα της ορογραφίας. Συνεπώς, μια υπόθεση που θα μπορούσε να γίνει είναι ότι η κύμανση Madden-Julian μπορεί να ενισχύσει την ένταση του Μιστράλ ανέμου στην Μεσόγειο.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, που η διαφορά θερμοκρασίας και η βαροβαθμίδα είναι πιο έντονη στο βόρειο ημισφαίριο, ενισχύεται η ροή των ανέμων τόσο στην επιφάνεια όσο και στα υψηλότερα επίπεδα. Από την αναπράσταση του αεροχειμάρρου διαπιστώνεται πως στο σύνολο των φάσεων του δείκτη RMM, αυτός εμφανίζει ελικοειδή δομή. Σε γενικές γραμμές η δομή του αεροχειμάρρου κατά τη χειμερινή περίοδο είναι η εξής : κατά το Δεκέμβριο ο αεροχείμαρρος επεκτείνεται γεωγραφικά από τα ανατολικά της Αφρικής περίπου, μέχρι και τον Ειρηνικό όπου εκεί παρουσιάζει τη μέγιστη μέση ταχύτητα, που μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 65-70m/sec. Ο πολικός αεροχείμαρρος επικρατεί πάνω από τη βόρεια Αμερική ως και το δυτικό Ατλαντικό. Τον Ιανουάριο εξαπλώνεται ακόμη περισσότερο, από τις δυτικές ακτές της Αφρικής έως και τον Ειρηνικό με ακόμη πιο

αυξημένες ταχύτητες ανέμου που φτάνουν τα 85m/sec. Ο πολικός αεροχειμάρρος εντοπίζεται πάνω από τη βόρεια Αμερική και εξαπλώνεται πάνω από τον Ατλαντικό, φτάνοντας μέχρι και τις δυτικές ακτές της Ευρώπης σε κάποιες φάσεις (2^η, 3^η, 4^η, 5^η, 6^η και 8^η). Αυτή η διάταξη του αεροχειμάρρου, σε συνδυασμό με τις διαταραχές που εντοπίζονται στα χαμηλότερα επίπεδα, ευνοεί τη δημιουργία και καλή οργάνωση των συνοπτικών συστημάτων στις περιοχές εξόδου. Συγκεκριμένα κατά τον Ιανουάριο της 2^{ης}, 3^{ης}, 4^{ης}, 5^{ης}, 6^{ης} και 8^{ης} φάσης στην αριστερή έξοδο του αεροχειμάρρου εντοπίζεται καλά οργανωμένο το χαμηλό της Ισλανδίας, ενώ στη δεξιά έξοδο ο αντικυκλώνας των Αζορών. Σύμφωνα με τη μελέτη του Νέου (2017), επιβεβαιώνεται ότι η δεξιά έξοδος του αεροχειμάρρου είναι περιοχή αντικυκλωνικής καμπυλότητας ενώ η αριστερή είναι περιοχή κυκλωνικής καμπυλότητας. Το Φεβρουάριο ο αεροχειμάρρος παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά του Ιανουαρίου με τη διαφορά ότι η ροή του δεν είναι τόσο ισχυρή. Ο πολικός αεροχειμάρρος υποχωρεί πλέον προς το δυτικό Ατλαντικό και της ανατολικές ακτές της Αμερικής, με τα κέντρα δράσης της Ισλανδίας και των Αζορών να μετατοπίζονται προς τα δυτικά του Ατλαντικού. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του Φεβρουαρίου της 8^{ης} φάσης, όπου ο πολικός αεροχειμάρρος διασπάται και μετατοπίζεται προς το βόρειο Ατλαντικό εξαιτίας της μεγάλης επέκτασης του αντικυκλώνα των Αζορών, περιορίζοντας σημαντικά το χαμηλό της Ισλανδίας.

Πίνακας 4. 1 Συγκεντρωτικός πίνακας καταγραφής συμπερασμάτων για τις παραμέτρους της θερμοκρασίας (Α), της βροχόπτωσης (Β), του ανέμου στα 250 hPa (Γ) και του ανέμου και της πίεσης στην επιφάνεια (Δ) κατά τη χειμερινή περίοδο.

A) <pre> graph LR A[Θερμοκρασία] --> B[Αύξηση] A --> C[Πτώση] B --> D["Στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης (σ.σ) με εξαίρεση την 3η φάση"] B --> E["1η και 2η στη Σκανδιναβία (σ.σ.)"] C --> F["7η και 8η φάση στη Β-ΒΑ Ευρώπη (σ.σ.)"] </pre>	B) <u>Βροχόπτωση</u> • Στατιστικά σημαντική μείωση κατά την 1^η, 3^η και 6^η φάση στη Κ-Β Ευρώπη και Δ-Α Μεσόγειο. • Αύξηση στη Σκανδιναβία κατά τη 2^η, 3^η και 4^η φάση.
--	---



Αντίθετα τη θερινή περίοδο, όπου οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στο βόρειο ημισφαίριο εξαιτίας της κλίσης του άξονα της γης, μειώνεται η θερμοκρασιακή και η βαρομετρική διαφορά μεταξύ των πολικών και των τροπικών περιοχών. Συνεπώς μειώνεται και η ένταση του ανέμου στην επιφάνεια αλλά και στα υψηλότερα επίπεδα. Ειδικότερα, από την απεικόνιση του αεροχειμάρρου γίνεται αντιληπτό ότι αυτός εντοπίζεται στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη αρκετά εξασθενημένος. Στο μεγαλύτερο εύρος των φάσεων της κύμανσης Madden-Julian, ο αεροχειμάρρος κατά τον Ιούνιο εκτείνεται στα μέσα γεωγραφικά πλάτη με μέγιστη μέση ταχύτητα που φτάνει τα 45 m/sec . Κατά τον Ιούλιο εκτείνεται αποδυναμωμένος στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη έχοντας πλέον οργανωμένη δακτυλιοειδή δομή, ενώ τον Αύγουστο αποδιοργανώνεται εμφανίζοντας κάποια σπασίματα στη δομή του. Οι Koch et al. (2006) υποστηρίζουν ότι στο βόρειο ημισφαίριο το χειμώνα, ο αεροχειμάρρος έχει έντονη σπειροειδή δομή, ενώ το καλοκαίρι εμφανίζεται ως ένας δακτύλιος με αρκετά εξασθενημένη ροή. Με την εξασθένηση και τη μετατόπιση του αεροχειμάρρου στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη επηρεάζεται και η ευρύτερη κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Το καλοκαίρι δεν είναι τόσο ξεκάθαρο το σήμα των 8 φάσεων του MJO στη θερμοκρασία της Ευρώπης. Οι υψηλές θερμοκρασίες στη περιοχή της Σκανδιναβίας συνδέονται με τη 4^η και 8^η φάση, στη κεντρική Ευρώπη με την 7^η φάση, ενώ οι τρεις πρώτες φάσεις συνδέονται με υψηλές θερμοκρασίες στην ανατολική Μεσόγειο και τα Βαλκάνια. Αντίθετα, στατιστικά σημαντικές αρνητικές ανωμαλίες σημειώνονται στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη όταν επικρατεί η 4^η, 5^η και 6^η φάση. Οι Andrade et al. (2012) υποστηρίζουν ότι τα θερμά επεισόδια στις περισσότερες περιοχές της Ευρώπης το καλοκαίρι, συνδέονται με υψηλά συστήματα εμποδισμού που προκαλούν μεταφορά θερμού αέρα πάνω από την

περιοχή. Οι ανωμαλίες που καταγράφονται στο πεδίο της θερμοκρασίας ιδιαίτερα τη καλοκαιρινή περίοδο προκαλούν ποικίλες επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και στον άνθρωπο, καθώς πιθανότατα ευθύνονται για την αύξηση των πυρκαγιών, της ανθρώπινης θνησιμότητας, την καταστροφή καλλιεργειών και πολλών ακόμα καταστροφών (Beniston et al., 2007).

Όσο αφορά το πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης, διαπιστώνεται πως στο σύνολο των φάσεων κατά τη θερινή περίοδο παρατηρείται στατιστικά σημαντική μείωση της βροχόπτωσης στην περιοχή της Ευρώπης και στο ανατολικό τμήμα της Μεσογείου (1^η και 6^η φάση). Οι Lelieveld et al. (2012), υποστηρίζουν ότι το νότιο-ανατολικό τμήμα της Μεσογειακής λεκάνης, χαρακτηρίζεται από έλλειψη βροχόπτωσης και θερινή ξηρασία. Ωστόσο αύξηση της βροχόπτωσης καταγράφεται στην Ευρώπη κατά την 5^η, 6^η και 7^η φάση. Σύμφωνα με την έρευνα των Ionita et al. (2011), οι ξηρότερες συνθήκες που καταγράφονται τη θερινή περίοδο στη κεντρική και νότια Ευρώπη και η αύξηση της βροχόπτωσης στη Σκανδιναβία, σχετίζονται με την παρουσία θετικών ανωμαλιών στο πεδίο της πίεσης πάνω από την Ευρώπη και αρνητικών πάνω από τη Σκανδιναβία και τη Σιβηρία. Η παραπάνω κατάσταση συμπίπτει με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας καθώς παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν κατά τον Ιούλιο της 7^{ης} φάσης.

Σε γενικές γραμμές από το πεδίο ανωμαλιών και μέσης κατάστασης της ατμοσφαιρικής πίεσης γίνεται αντιληπτό ότι τα μόνιμα κέντρα δράσης των Αζορών και της νοτιοανατολικής Ασίας επηρεάζουν σημαντικά το κλίμα της Ευρώπης τη θερινή περίοδο. Συγκεκριμένα στον Ατλαντικό ωκεανό εντοπίζεται ο αντικυκλώνας των Αζορών ο οποίος εμφανίζει τις υψηλότερες πιέσεις στα μέσα του θέρους, τον Ιούλιο, ενώ στην ανατολική Μεσόγειο επικρατούν χαμηλές πιέσεις που προκύπτουν από το σύστημα του Πακιστάν. Οι φάσεις του MJO που φαίνεται να παρουσιάζουν μεγαλύτερες μεταβολές στο πεδίο της πίεσης είναι ο Ιούνιος της 3^{ης}, 5^{ης} και 8^{ης} φάσης, όπου ο αντικυκλώνας των Αζορών είναι αρκετά εξασθενημένος και στην Ευρώπη επικρατούν χαμηλότερες των μέσων πιέσεις. Αντίθετα, κατά την 4^η, 6^η και 7^η φάση εκδηλώνονται αρκετά υψηλότερες της μέσης κατάστασης πιέσεις στη βόρεια Ευρώπη.

Τέλος, διαπιστώνεται ότι η κύμανση Madden-Julian δεν επιδρά σημαντικά στο πεδίο του μέσου ανέμου κατά τη θερινή περίοδο. Στο σύνολο των φάσεων διακρίνονται στην περιοχή του Ατλαντικού ωκεανού άνεμοι, οι οποίοι ακολουθούν τη ροή των συστημάτων

και συγκεκριμένα την αντικυκλωνική κίνηση του υψηλού των Αζορών., προκαλώντας δυτικούς ανέμους στη περιοχή της Ευρώπης (6^η και 5^η φάση). Ακόμη, χαρακτηριστικοί είναι οι βορειοδυτικοί, άνεμοι που πνέουν στα ανατολικά της Μεσογείου (Ετησίες), οι οποίοι προκύπτουν εξαιτίας της βαροβαθμίδας που αναπτύσσεται μεταξύ των χαμηλών πιέσεων του συστήματος της νοτιοανατολικής Ασίας και των υψηλότερων πιέσεων που επικρατούν στα Βαλκάνια. Η 1^η και 2^η φάση του δείκτη φαίνεται να συνδέεται με την ενίσχυση των Ετησίων, καθώς τότε επικρατούν άνεμοι μεγαλύτερης έντασης στην ανατολική Μεσόγειο.

Πίνακας 4. 2 Συγκεντρωτικός πίνακας καταγραφής συμπερασμάτων για τις παραμέτρους της θερμοκρασίας (Α), της βροχόπτωσης (Β), του ανέμου στα 250 hPa (Γ) και του ανέμου και της πίεσης στην επιφάνεια (Δ) κατά τη θερινή περίοδο.

Α)	Β) <u>Βροχόπτωση</u> • Στατιστικά σημαντική μείωση στο σύνολο των φάσεων στην Ευρώπη και Α Μεσόγειο. • Αξιόλογη αύξηση στην Ευρώπη κατά τη 5^η, 6^η και 7^η φάση.
Γ)	Δ) <u>SLP- Άνεμος</u> • Χαμηλότερες πιέσεις στην Ευρώπη κατά 3^{ης}, 5^{ης} και 8^{ης} φάσης → εξασθένηση του αντικυκλώνας Αζορών. • Υψηλότερες πιέσεις στην Β. Ευρώπη κατά την 4^η, 6^η και 7^η φάση. • Ενίσχυση ΒΔ ανέμων στην Α. Μεσόγειο (Ετησίες) κατά την 1^η και 2^η φάση.

Συμπερασματικά από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας διαπιστώνεται πως η κύμανση Madden-Julian, παρά το γεγονός ότι εντοπίζεται στην περιοχή των τροπικών, επηρεάζει το κλίμα της Ευρώπης κυρίως τη χειμερινή περίοδο. Η επίδραση της κύμανσης στις κλιματικές παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν εξαρτάται από τη φάση του δείκτη.

American Meteorological Society, 2000: Glossary of Meteorology, 2nd Edition. Cambridge, Massachusetts, Retrieved from the WWW, September 20, 2007: <http://amsglossary.allenpress.com>.

Andrade, C., Leite, S. M., and Santos, J. A., 2012: Temperature extremes in Europe: Overview of their driving atmospheric patterns. *Natural Hazards and Earth System Science*, 1671–1691.

Ångström, A, 1935: Teleconnections of Climatic Changes in present time. *Geografiska Annaler*, 17, 242–258.

Barry R.G. and Carleton A.M., 2001: *Synoptic and Dynamic Climatology*, Routledge Publications, London, 620.

Barnston, A. G., and Livezey, R. E., 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly weather review*, 115(6), 1083–1126.

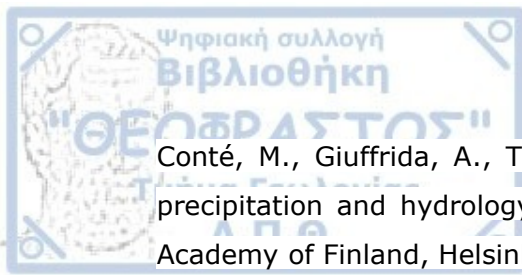
Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palutikof J, Schöll R, Semmler T, Woth K. 2007: Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Clim. Change*, 71–95.

Bin, Y., Lin, H., and Soulard, N., 2019: A comparison of north American surface temperature and temperature extreme anomalies in association with various atmospheric teleconnection patterns. *Atmosphere*, 10, 172.

Blackmon, M.L., Lee, Y.H., and Wallace, J. M., 1984: Horizontal structure of 500 mb fluctuations with long intermediate and short time scales as deduced from lag-correlation statistics. *J. Atmos. Sci.*, 41, 981–991

Caccia, L., Guénard, V., Benech, B., Campistron, B., and Drobinski, P., 2004: Vertical velocity and turbulence aspects during Mistral events as observed by UHF wind profilers. *Annales Geophysicae*, 3927, 3927–3936.

Cassou, C., 2008: Intraseasonal interaction between the Madden– Julian Oscillation and the North Atlantic Oscillation. *Nature*, 523–527.



Conté, M., Giuffrida, A., Tedesco, S., 1989: The Mediterranean oscillation. Impact on precipitation and hydrology in Italy. Conference on: Climate Water. Publication of the Academy of Finland, Helsinki, 11-15 September 1989, 121-137.

Donat, G., Leckebusch, C., Pinto, G., and Ulbrich, U., 2010: Examination of wind storms over Central Europe with respect to circulation weather types and NAO phases. *International Journal of Climatology*, 1294, 1289–1300.

Gottschalck, J., Wheeler, M., Weickmann, K., Vitart, F., Savage, N., Lin, H., Hendon, H., Waliser, D., Sperber, K., Nakagawa, M., Prrestrelo, C., Flatau, M., and Higgins, W., 2010: A framework for assessing operational Madden-Julian oscillation forecasts. *American Meteorology Society*, 1247-1258.

Gutzler, DS, 2015: Climate Variability: Seasonal and Interannual Variability, *Encyclopedia of Atmospheric Sciences 2nd Edition, Volume 2*, 61-68.

Feldstein, S., & Franzke, C. (2017). Atmospheric Teleconnection Patterns. In C. Franzke & T. O'Kane (Eds.), *Nonlinear and Stochastic Climate Dynamics* (pp. 54-104). Cambridge: Cambridge University Press.

Hatzaki M, H.A. Flocas, D.N. Asimakopoulos, and P. Maheras, 2007: The eastern Mediterranean teleconnection pattern: identification and definition. *International Journal of Climatology*, 27, 727-737.

Henderson, S. A., Maloney, E. D., and Barnes, E. A., 2016: The influence of the Madden-Julian oscillation on Northern Hemisphere winter blocking. *Journal of Climate*, 4609, 4613, 4597–4616.

Horel, J.D., 1981: A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500 mb height field. *Monthly Weather Review*, 109, 2080–2092.

Hsu, H.H., and Lin S.H., 1991: Global teleconnections in the 250-mb streamfunction field during the northern hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 120, 1169-1190.

Johnson, N. C., and S. B. Feldstein, 2010. The continuum of North Pacific sea level pressure patterns: Intraseasonal, interannual, and interdecadal variability. *Journal of Climate*, 23.

Ionita, M., Lohmann, G., Rimbu, N., Chelcea, S., and Dima, M., 2012: Interannual to decadal summer drought variability over Europe and its relationship to global sea surface temperature. *Climate Dynamics*, 363–377.

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., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, D., 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 437-470.

Kaspar, F., Schulzweida, U., and Wetterdienst, D., 2009: "Climate Data Operators" As a User-Friendly Processing Tool for Cmsaf'S Satellite-Derived Climate Monitoring Products.

Kessler, W. S., 2012: Intraseasonal Variability of the Atmosphere–Ocean Climate System, Second edition, W. K.-M. Lau and D. E. Waliser, Eds., Springer, 199–246.

Kiladis, G. N., and Weickmann, K. M., 1992: Circulation anomalies associated with tropical convection during northern winter. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 1900–1923.

Kiladis, G. N., Straub, K. H., and Haertel, P. T., 2005: Zonal and vertical structure of the Madden-Julian Oscillation. *J. Atmos. Sci.*, in press.

Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., Fiorino, M., 2001: The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 247–267.

Koch, P., Wernli, H., and Davies, H. C., 2006: An event-based jet-stream climatology and typology. *International Journal of Climatology*, 290, 283–301.

Kutiel, H., and Benaroch, Y., 2002: North sea-Caspian Pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 17-28.

Lavender, S., and Matthews, A., 2009: Response of the West African monsoon to the Madden-Julian oscillation. *J. Climate*, 22, 4097–4116.

Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., El Maayar, M., Giannakopoulos, C., Hannides, C., Lange, M., Tanarhte, M., Tyrllis, E., and Xoplaki, E., 2012: Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Climatic Change*, 667–687.

Lin, H., G. Brunet, and J. S. Fontecilla, 2010. Impact of the Madden-Julian Oscillation on the intraseasonal forecast skill of the North Atlantic Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 37.

Lin, H., Brunet, G., & Yu, B. (2015). Interannual variability of the Madden-Julian Oscillation and its impact on the North Atlantic Oscillation in the boreal winter. *Geophysical Research Letters*, 5571–5576.

Liu, P., Zhang, Q., Zhang, C., Zhu, Y., Khairoutdinov, M., Kim, H., Schumacher, C., and Zhang, 2016 :A revised real-time multivariate MJO index. *American Meteorology Society*, 627-642.

Madden, R. A., and Julian, P. R., 1971: Description of a 40–50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 702–708.

Madden, R. A., and Julian, P. R., 1972: Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40–50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 1109–1123.

Maloney, E. D., and D. L. Hartmann, 1998: Frictional moisture convergence in a composite life cycle of the Madden– Julian oscillation. *J. Climate*, 11, 2387–2403.

Maloney, E. D., and Sobel, A. H., 2004: Surface fluxes and ocean coupling in the tropical intraseasonal oscillation. *J. Climate*, 17, 4368–4386.

Matsueda, S., and Takaya, Y., 2015: The Global Influence of the Madden–Julian Oscillation on Extreme Temperature Events*. *Journal of Climate*, 4145, 4141–4151.

Meier-Fleischer, K., and Böttinger, M., 2013: NCL Tutorial-High Quality Graphics with NCL 6.1.2. Dkrz, 1–150.

Miller, A. J., S. Zhou, and S. K. Yang, 2003: Relationship of the Arctic and Antarctic Oscillations to the outgoing longwave radiation. *J. Climate*, 16, 1583-1592.

Mo, K.C., and Livezey, R.E., 1986: Tropical-extratropical geopotential height teleconnections during the northern hemisphere winter. *American Meteorological Society*, 114, 2488-2515.

Mori, M., and M. Watanabe, 2008. The growth and triggering mechanisms of the PNA: A MJO-PNA coherence. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 86, 213–236.

Mysak, L. A., and Mertz, G. J., 1984: A 40- to 60-day oscillation in the source region of the Somali Current during 1976. *J. Geophys. Res.*, 89, 711–715.

North, G. R., Zhang, F., and Pyle, J. , 2014. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences:Second Edition*, 77, 625-631.

Oldenborgh G.J.V., Burgers G. and Tank A.K., 1999: On the El Niño teleconnection to spring precipitation in Europe, *J. Climatol.*, 20, 565-574.

Porebska, M., and Zdunek, M., 2013: Analysis of extreme temperature events in central Europe related to high pressure blocking situations in 2001-2011. *Meteorologische Zeitschrift*, 533-540.

Rousi, E., Anagnostopoulou, C., Tolika, K., and Maheras, P., 2015: Representing teleconnection patterns over Europe: A comparison of SOM and PCA methods. *Atmospheric Research*, 152, 123-137.

Rui, H., and B. Wang, 1990: Development characteristics and dynamic structure of tropical intraseasonal convection anomalies. *J. Atmos. Sci.*, 47, 357-379.

Salby, M. L., and Hendon, H. H., 1994: Intraseasonal behavior of clouds, temperature, and winds in the tropics. *J. Atmos. Sci.*, 51, 2207-2224.

Straub, K. H., 2013: MJO initiation in the real-time multivariate MJO index. *J. Climate*, 26, 1130-1151.

Straub, K. H., and Kiladis, G. N., 2002: Observations of a convectively coupled Kelvin wave in the eastern Pacific ITCZ. *J. Atmos. Sci.*, 30-53.

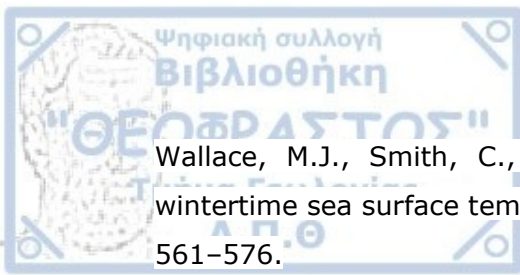
Uvo, C. B., 2003: Analysis and regionalization of northern European winter precipitation based on its relationship with the North Atlantic oscillation. *International Journal of Climatology*, 1185-1194.

Von Storch, H., and F. W. Zwiers, 1999. *Statistical Analysis in Climate Research*, Cambridge University Press, Cambridge.

Waliser, D. E., Tian, B., Xie, X., Liu, W. T., Schwartz, M. J., and Fetzer, E. J., 2009: How well can satellite data characterize the water cycle of the Madden-Julian Oscillation? *Geophys. Res. Lett.*, 36, L21803, doi:10.1029/2009GL040005.

Walker, G., T., and Bliss, E. W., 1932: World weather V. *Mem Royal Meteorology Society*, 4, 53-84.

Wallace, J. M. and Gutzler, D. S., 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 109, 784-812.



Wallace, M.J., Smith, C., Bretherton, C.S., 1992: Singular value decomposition of wintertime sea surface temperature and 500-mb height anomalies. *Journal of Climate*, 5, 561–576.

Weickmann, K. M., G. R. Lussky, and J. E. Kutzbach, 1985: Intraseasonal (30–60 day) fluctuations of outgoing longwave radiation and 250 mb streamfunction during northern winter. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 941–961.

Wibig, J. , 1999: Precipitation in Europe in relation to circulation patterns at the 500 hPa level. *International Journal of Climatology*, 267, 253–269.

Wheeler, M., C., and Hendon, H.H., 2004: An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. *Monthly Weather Review.*, 132, 1917–1932.

Wong, S., and Dessler, A. E., 2007: Regulation of H₂O and CO in tropical tropopause layer by the Madden–Julian oscillation. *J. Geophys. Res.*, 112, D14305, doi:10.1029/2006JD007940.

Zhang, C., 2005: Madden-Julian oscillation. *Reviews of Geophysics.*, 43, 1–36.

Zhang, C., 2013: Madden-Julian oscillation: Bridging weather and climate. *American Meteorology Society*, 1849–1870.

Zheng, C., and Chang, E.K.M., 2019: The role of MJO propagation, lifetime, and intensity on modulating the temporal evolution of the MJO extratropical response, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124, 5352–5378.

Νέος Π., 2017, Ο ρόλος του υποτροπικού και πολικού αεροχειμάρρου κατά τη διάρκεια της εκρηκτικής κυκλογένεσης στη Μεσόγειο, Μεταπτυχιακή διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής, Αθήνα, Ελλάδα.

Ρούση Ε., 2014, Εκτιμήσεις των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών στη Μεσόγειο με τη χρήση περιοχικών κλιματικών μοντέλων, , Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα.



<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/teleintro.shtml>

www.ncdc.noaa.gov

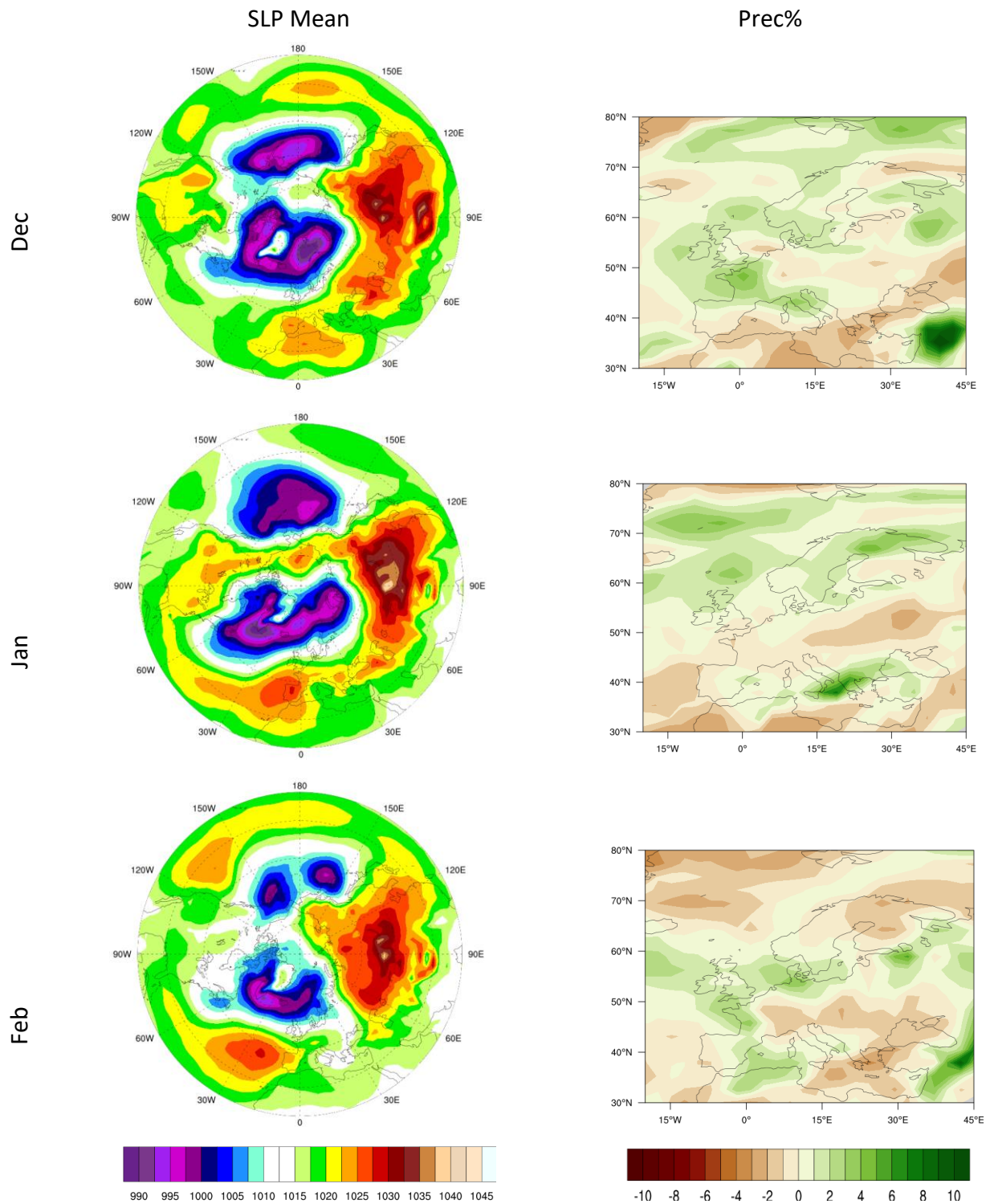
www.metoffice.gov

<http://metyuc.com.mx/>

<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/reanalysis.html>

<http://www.bom.gov.au/climate/mjo/>

<https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/embedded/cdo.pdf>

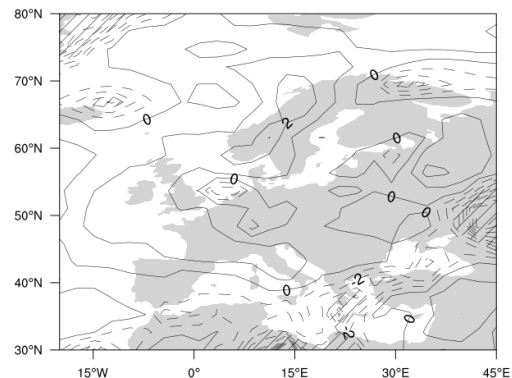
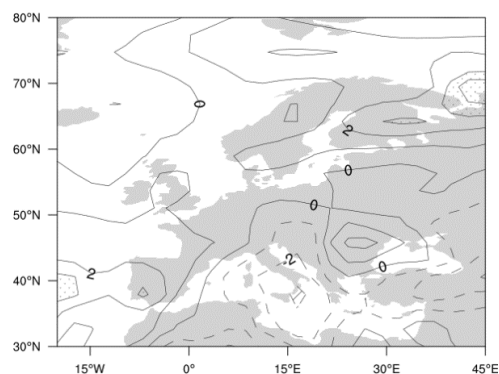


Π.1 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την πρώτη φάση του χειμώνα της περιόδου αναφοράς (1976-2015).

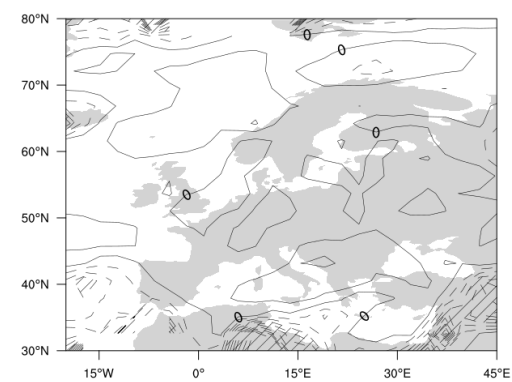
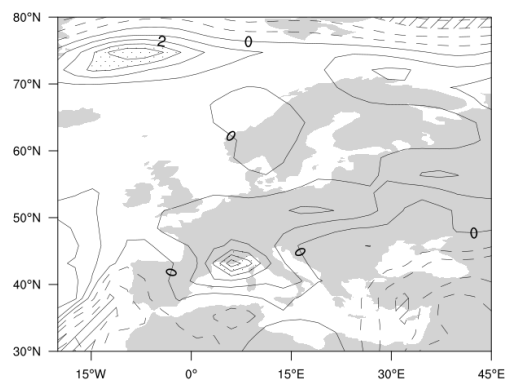
SS Temp

SS Prec

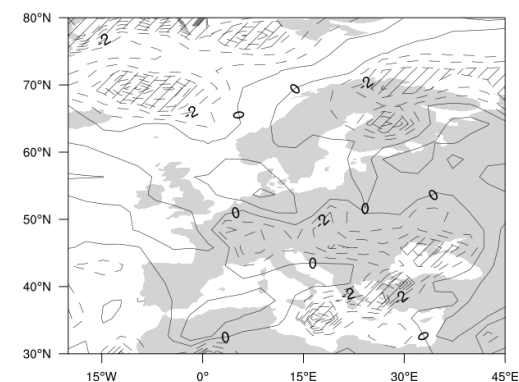
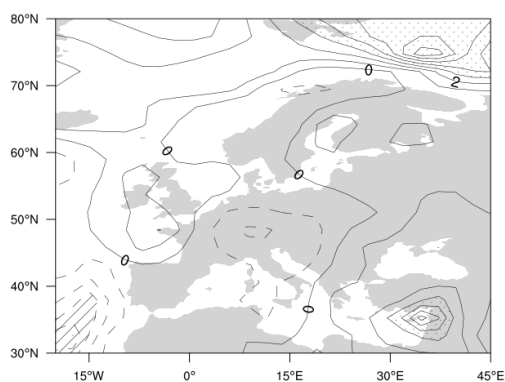
Dec



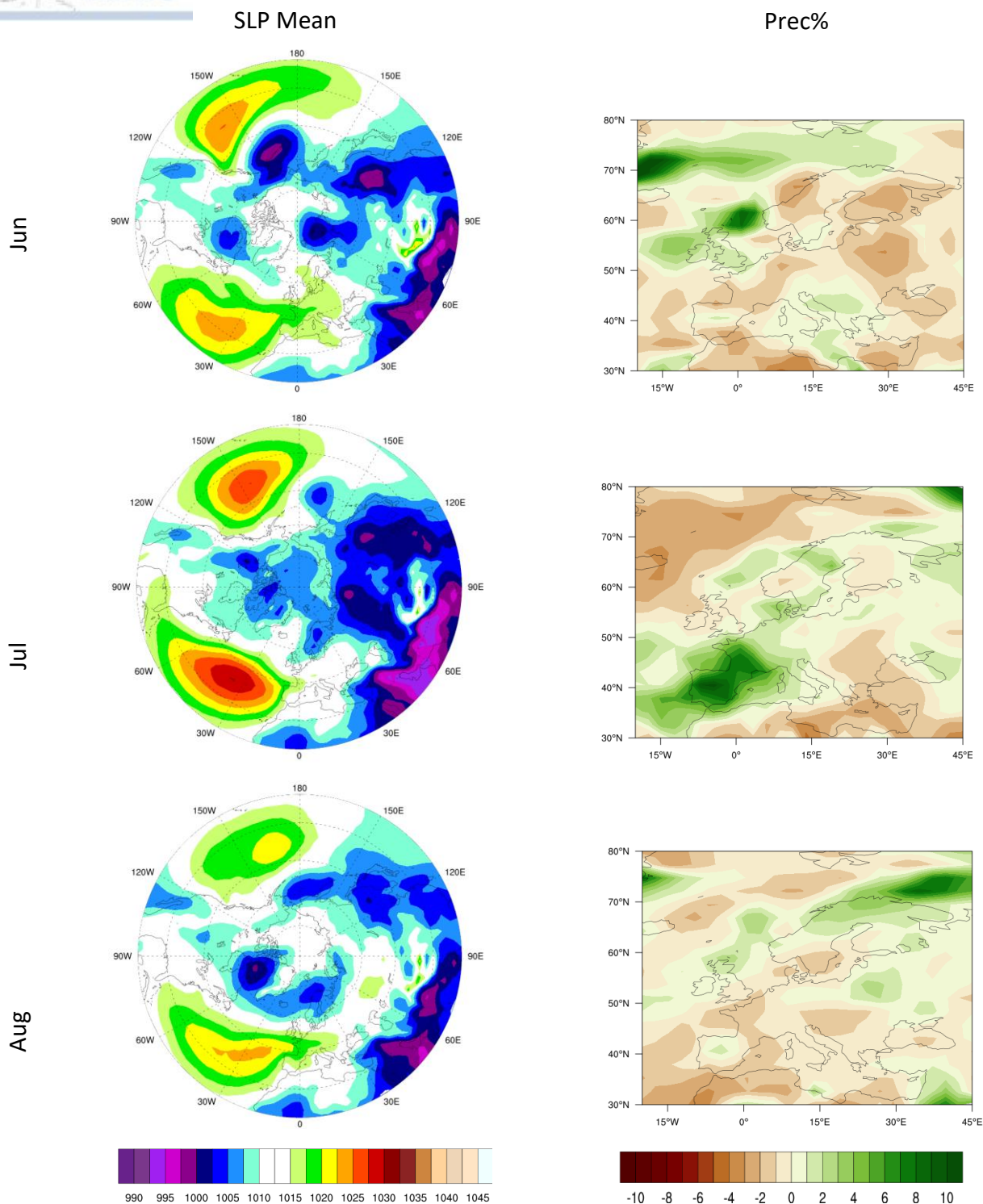
Jan



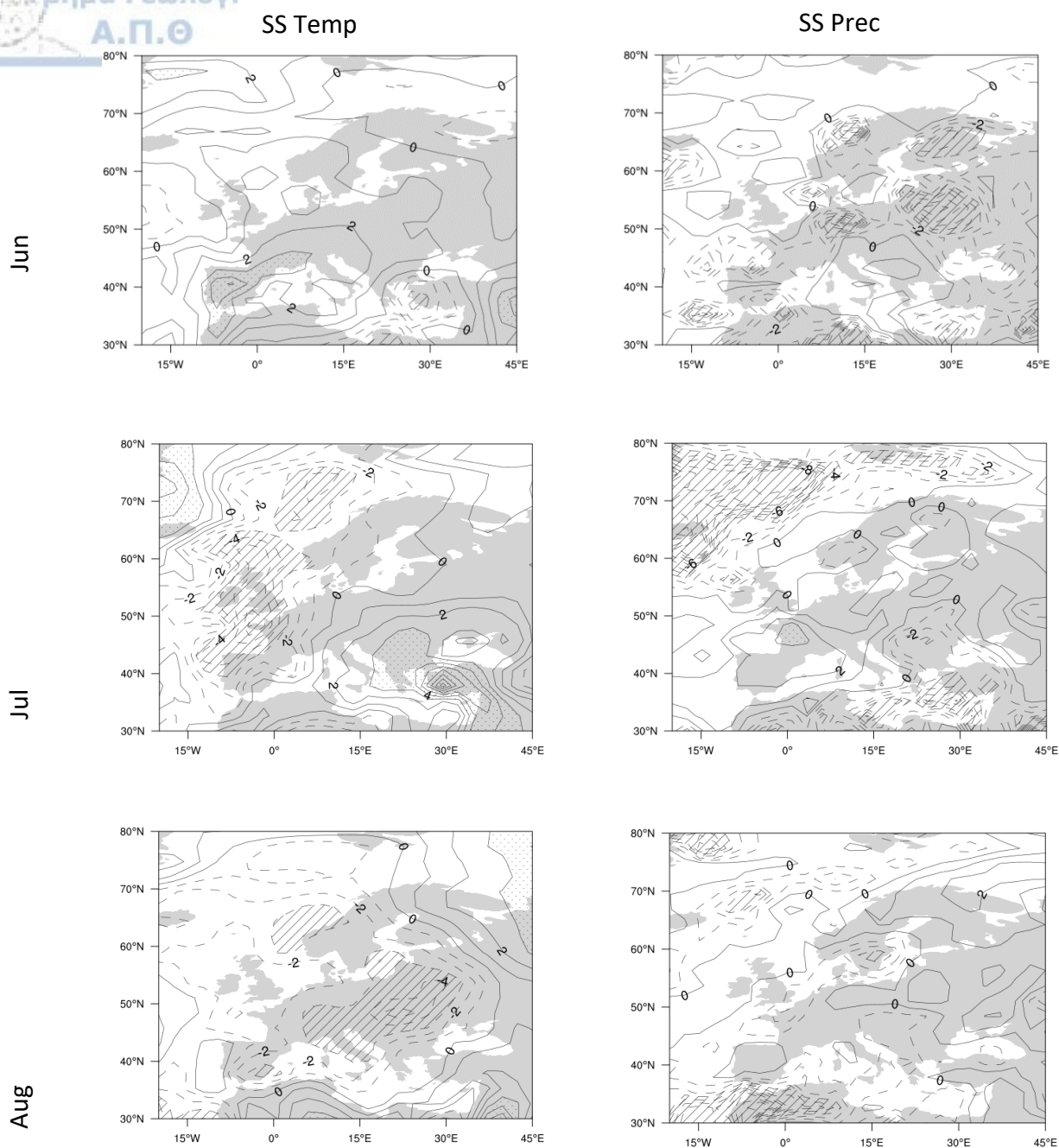
Feb



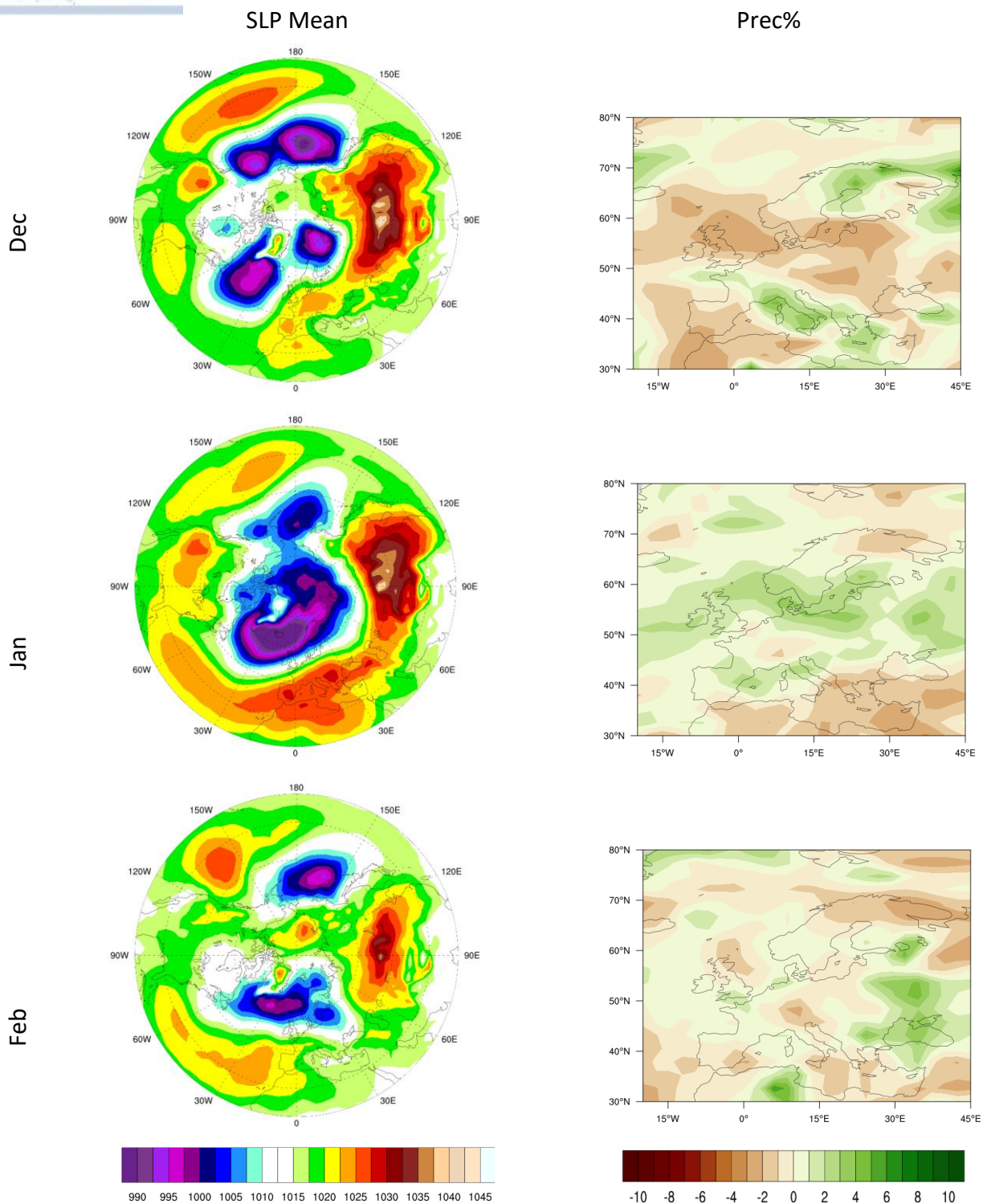
Π.2 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την πρώτη φάση της χειμερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.



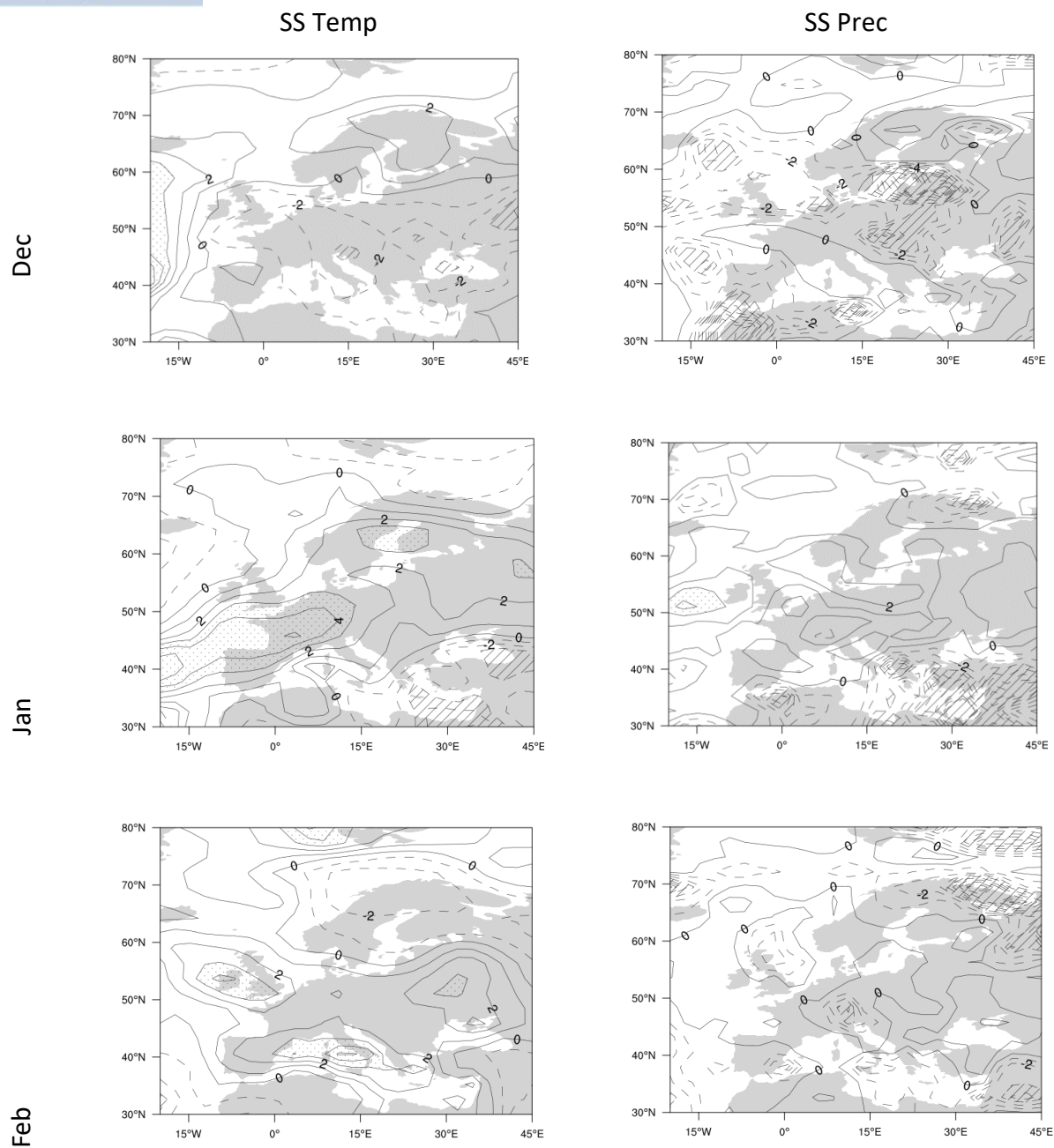
Π.3 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την πρώτη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015).



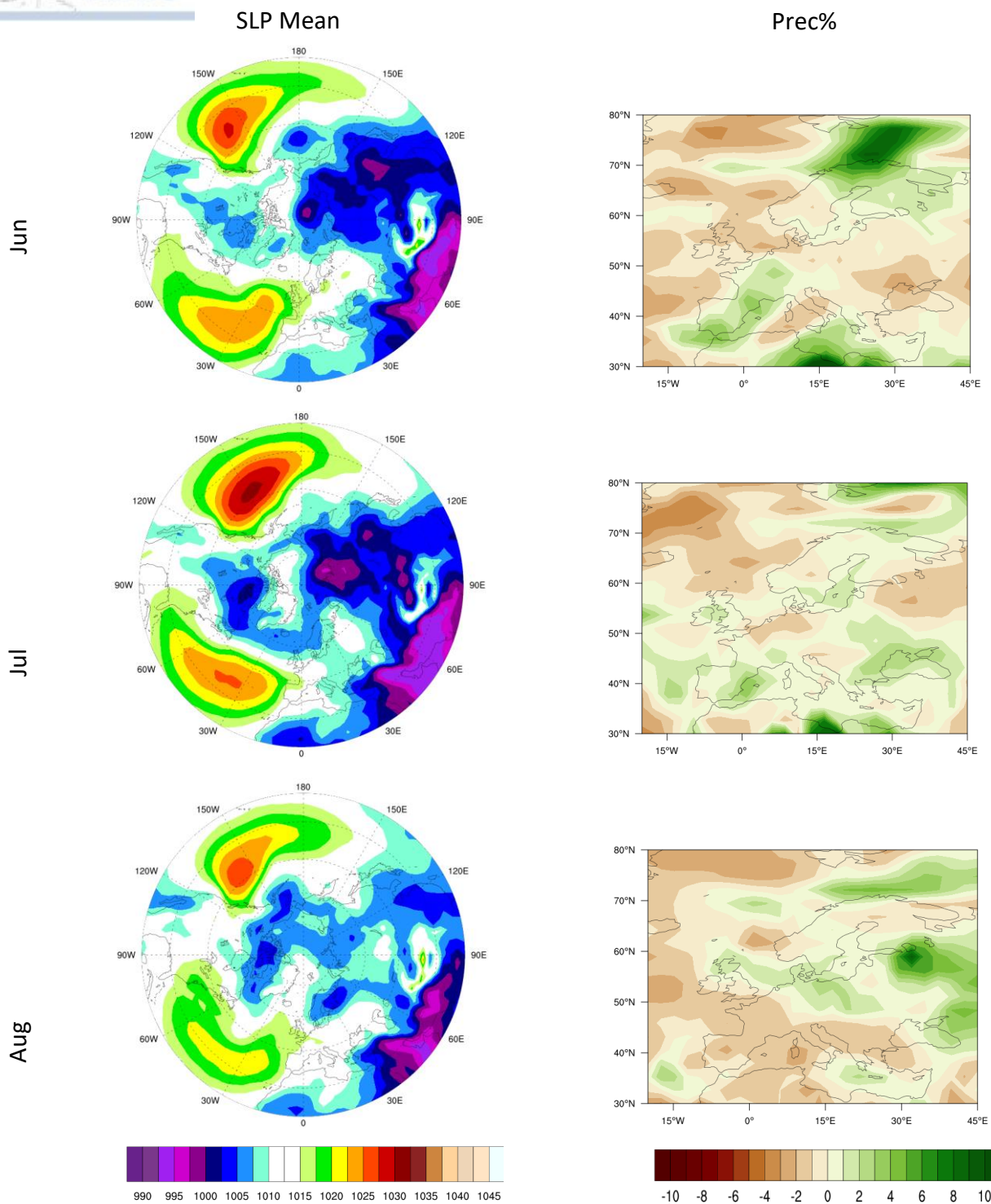
Π.4 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την πρώτη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.



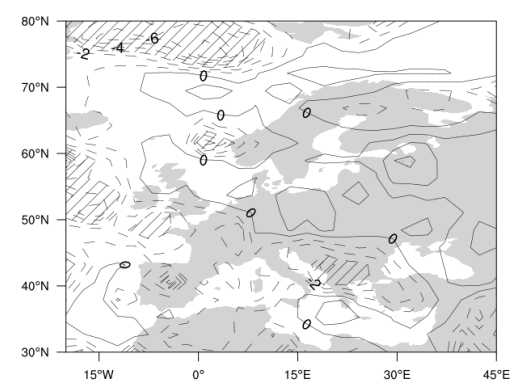
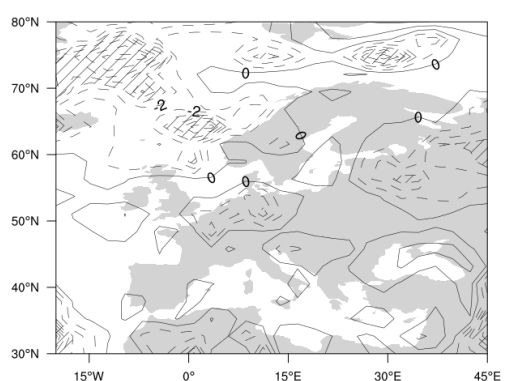
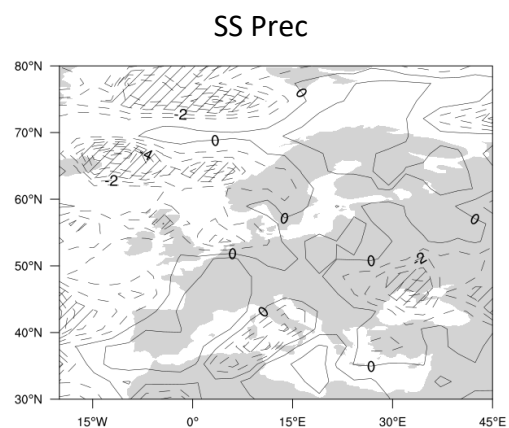
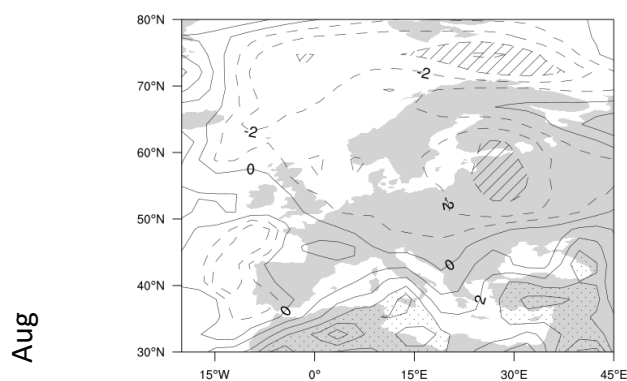
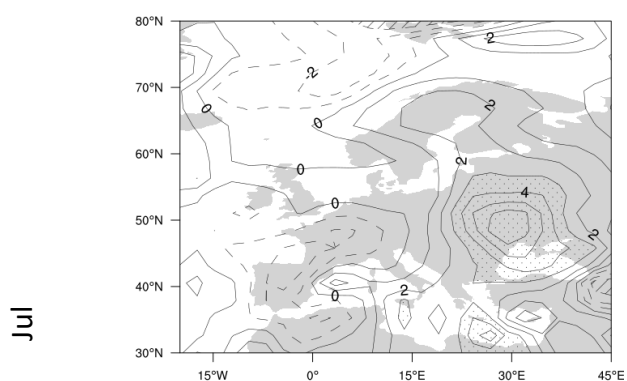
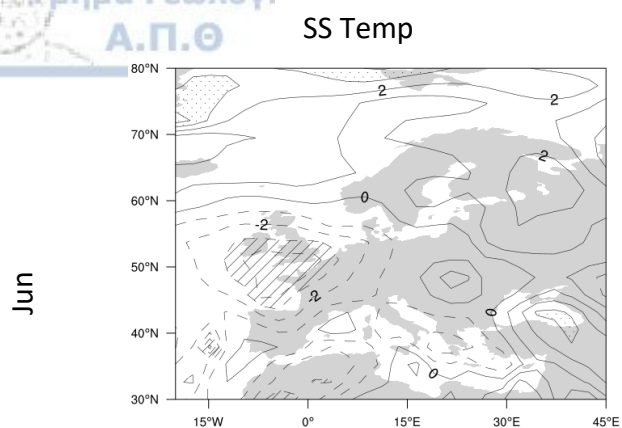
Π.5 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για τη δεύτερη φάση του χειμώνα της περιόδου αναφοράς (1976-2015).



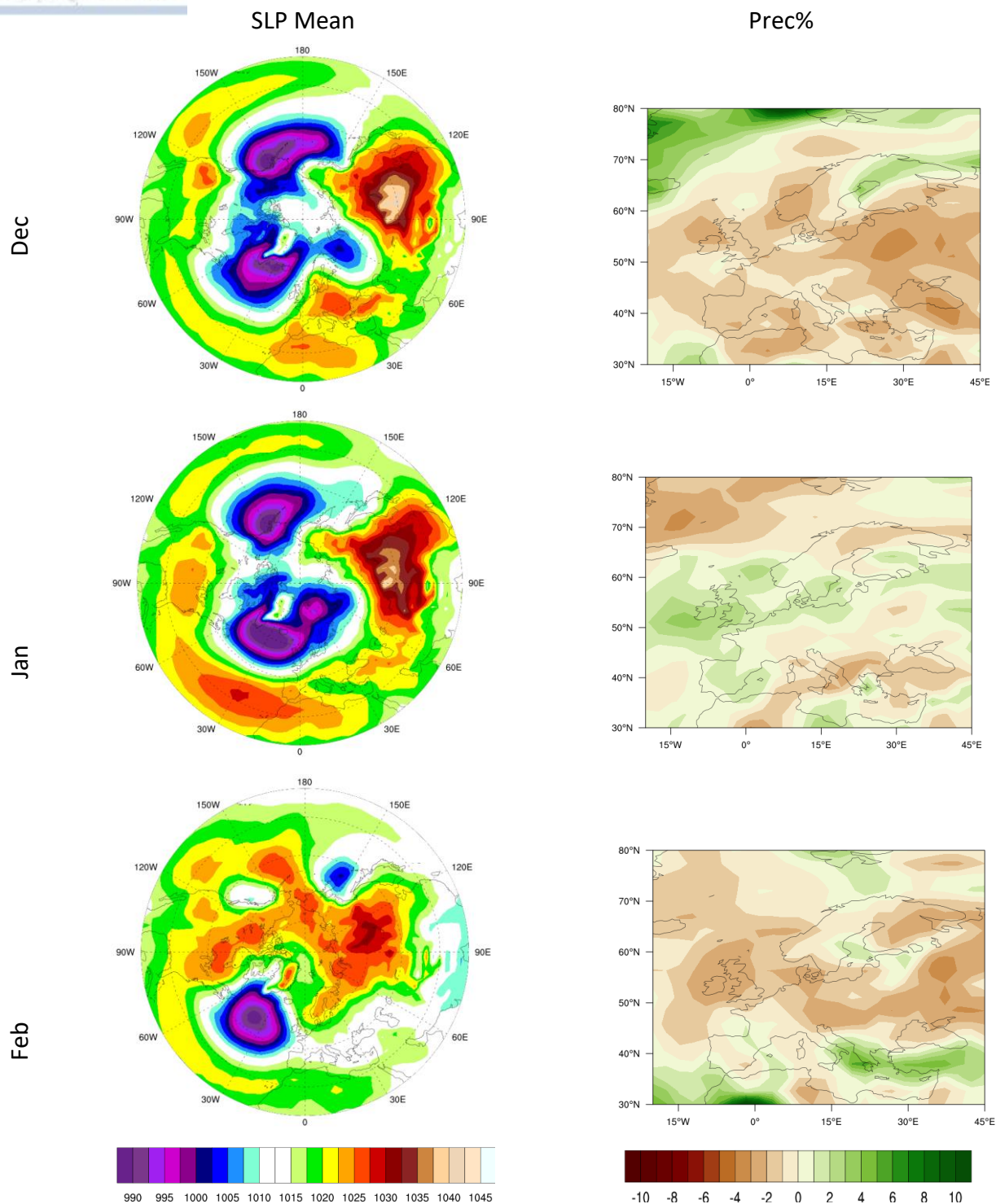
Π.6 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για τη δεύτερη φάση της χειμερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.



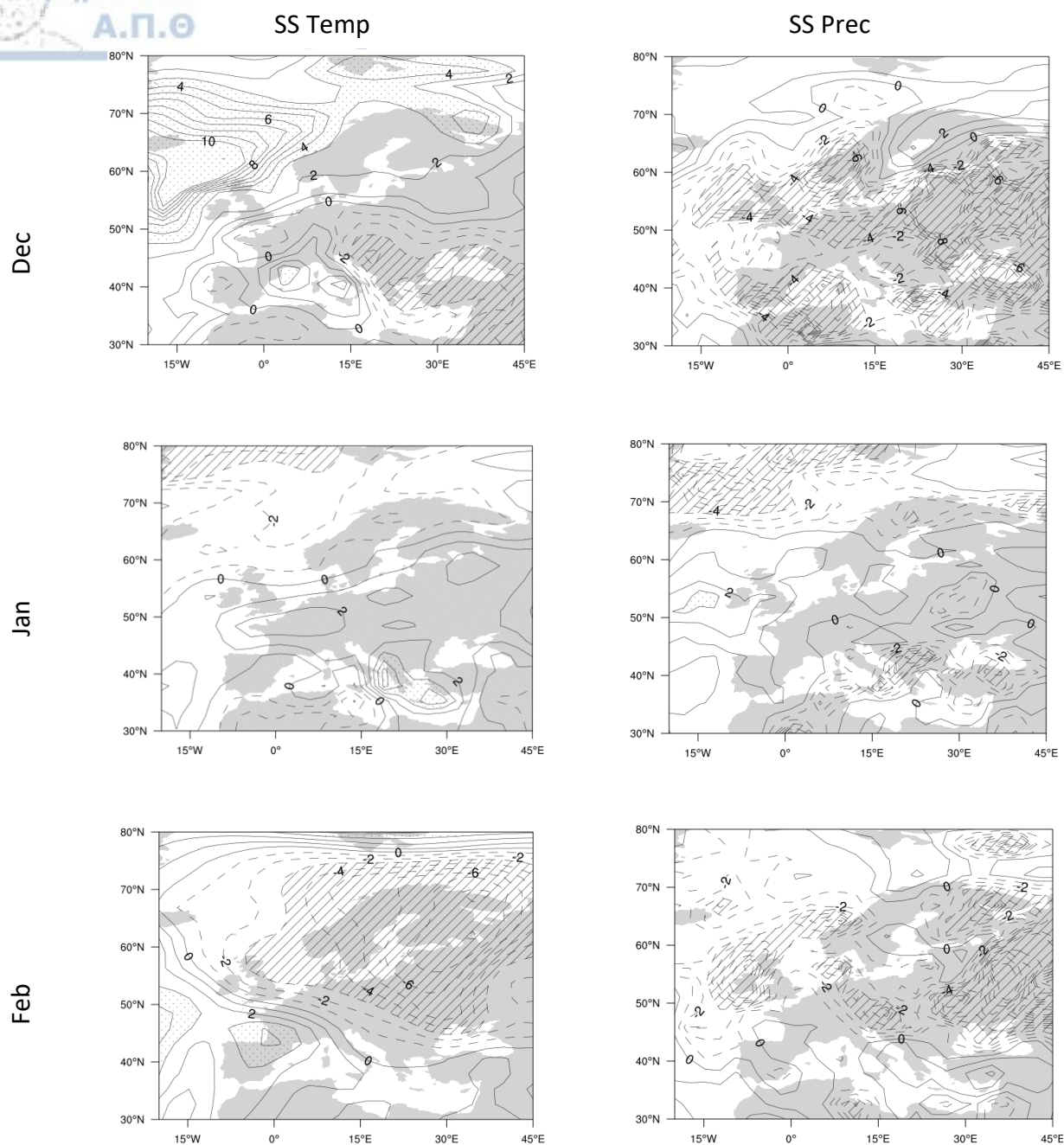
Π.7 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για τη δεύτερη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015).



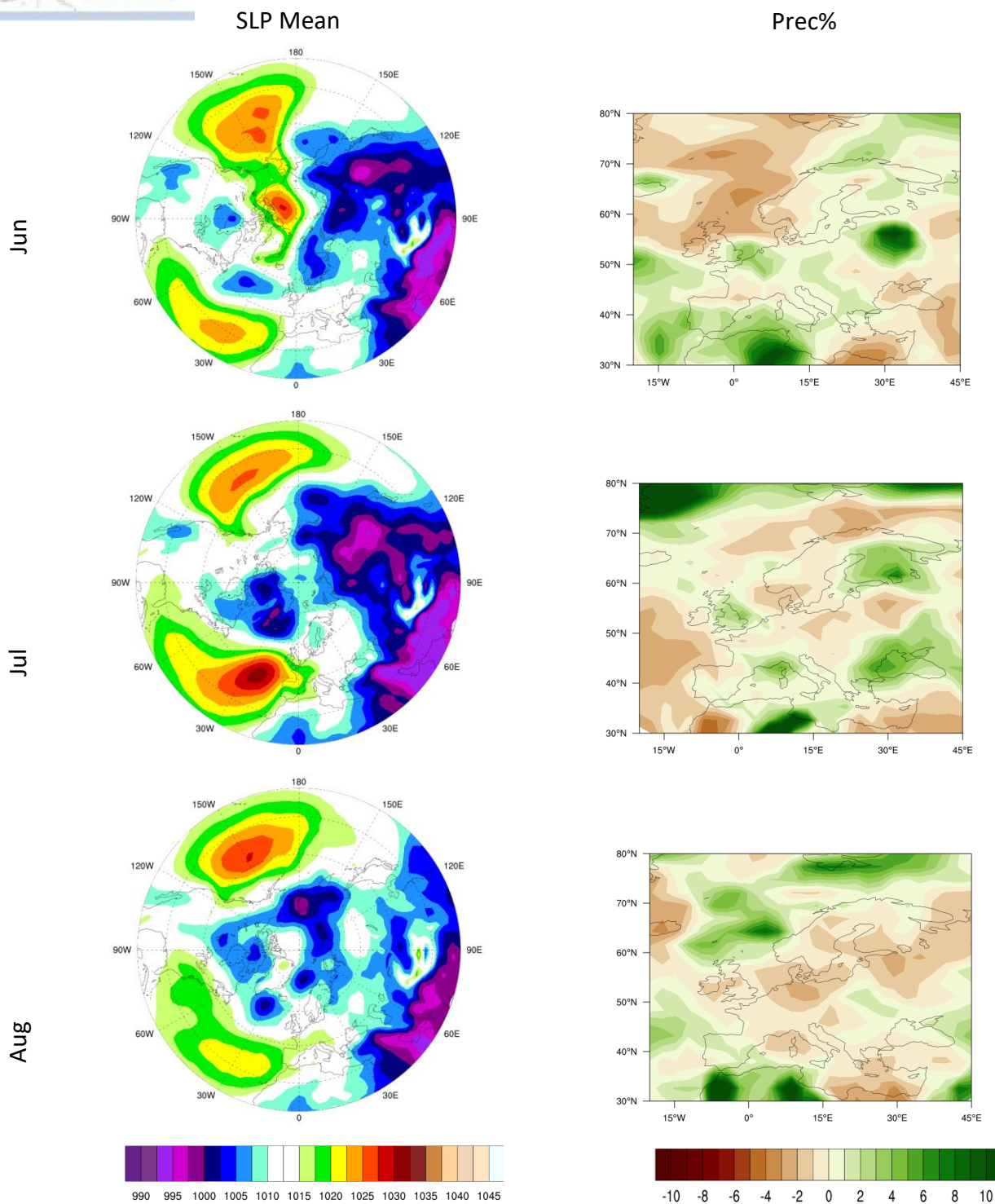
Π.8 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για τη δεύτερη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.



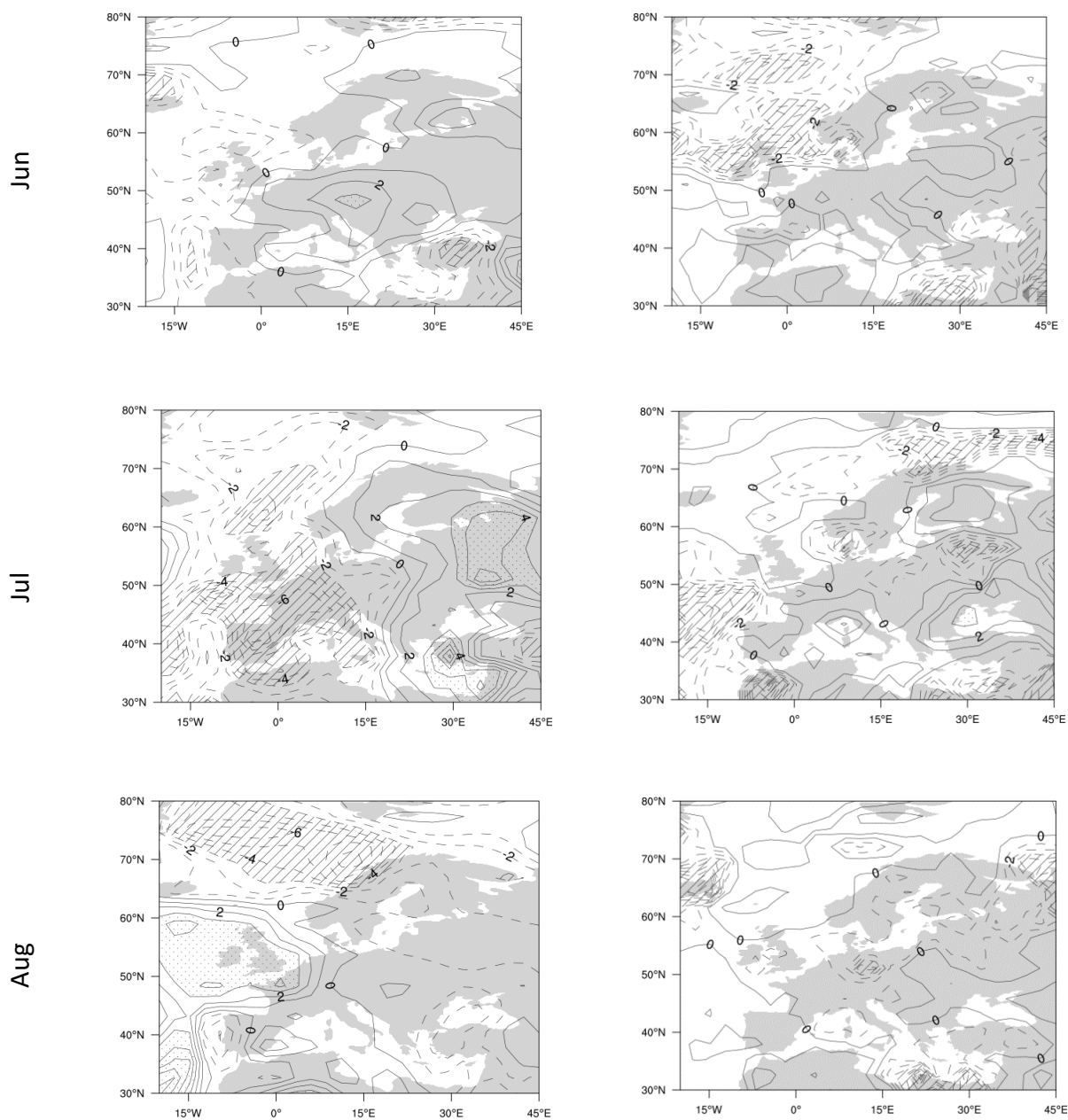
Π.9 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την τρίτη φάση του χειμώνα της περιόδου αναφοράς (1976-2015).



Π.10 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την τρίτη φάση της χειμερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.



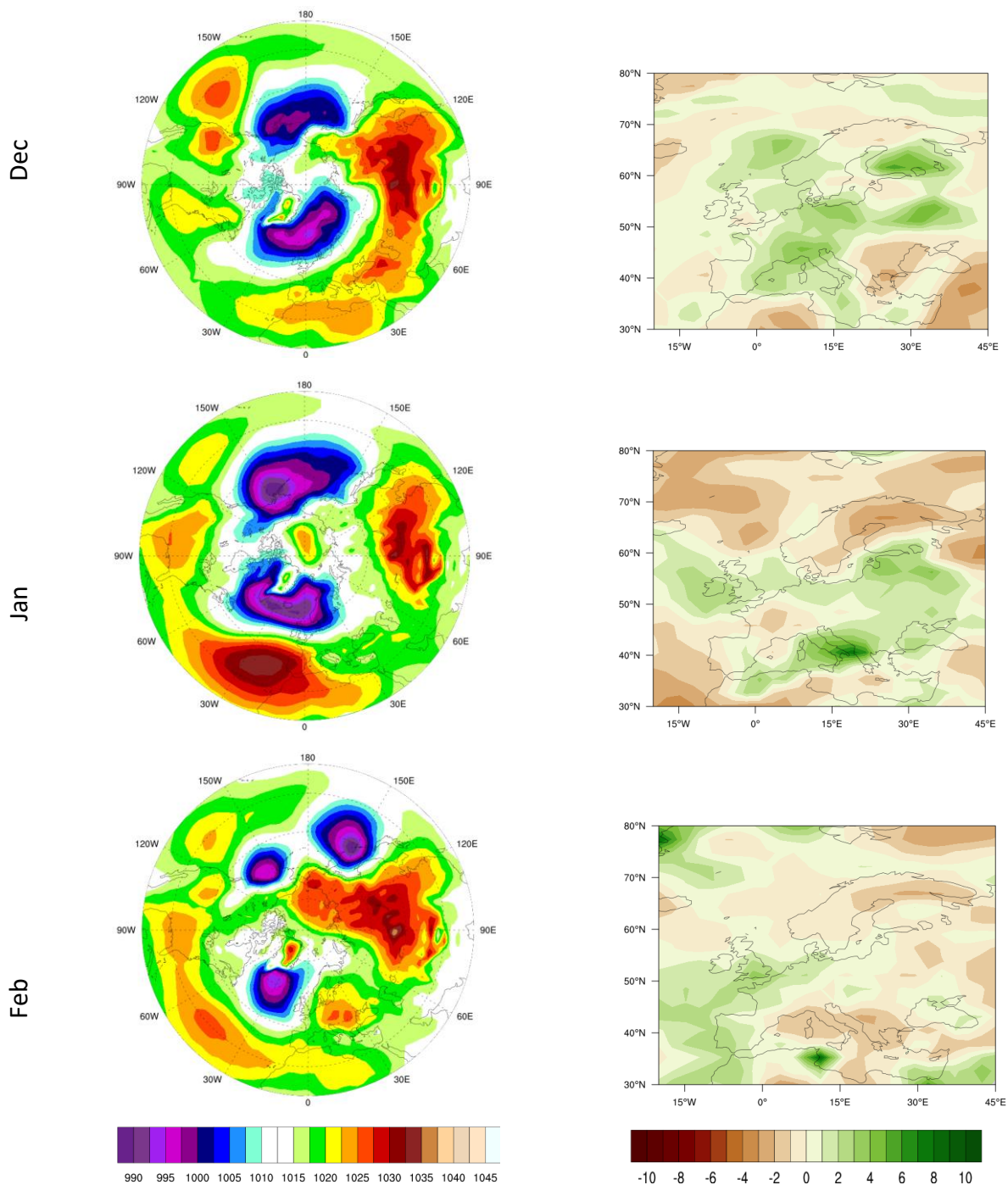
Π.11 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την τρίτη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015).



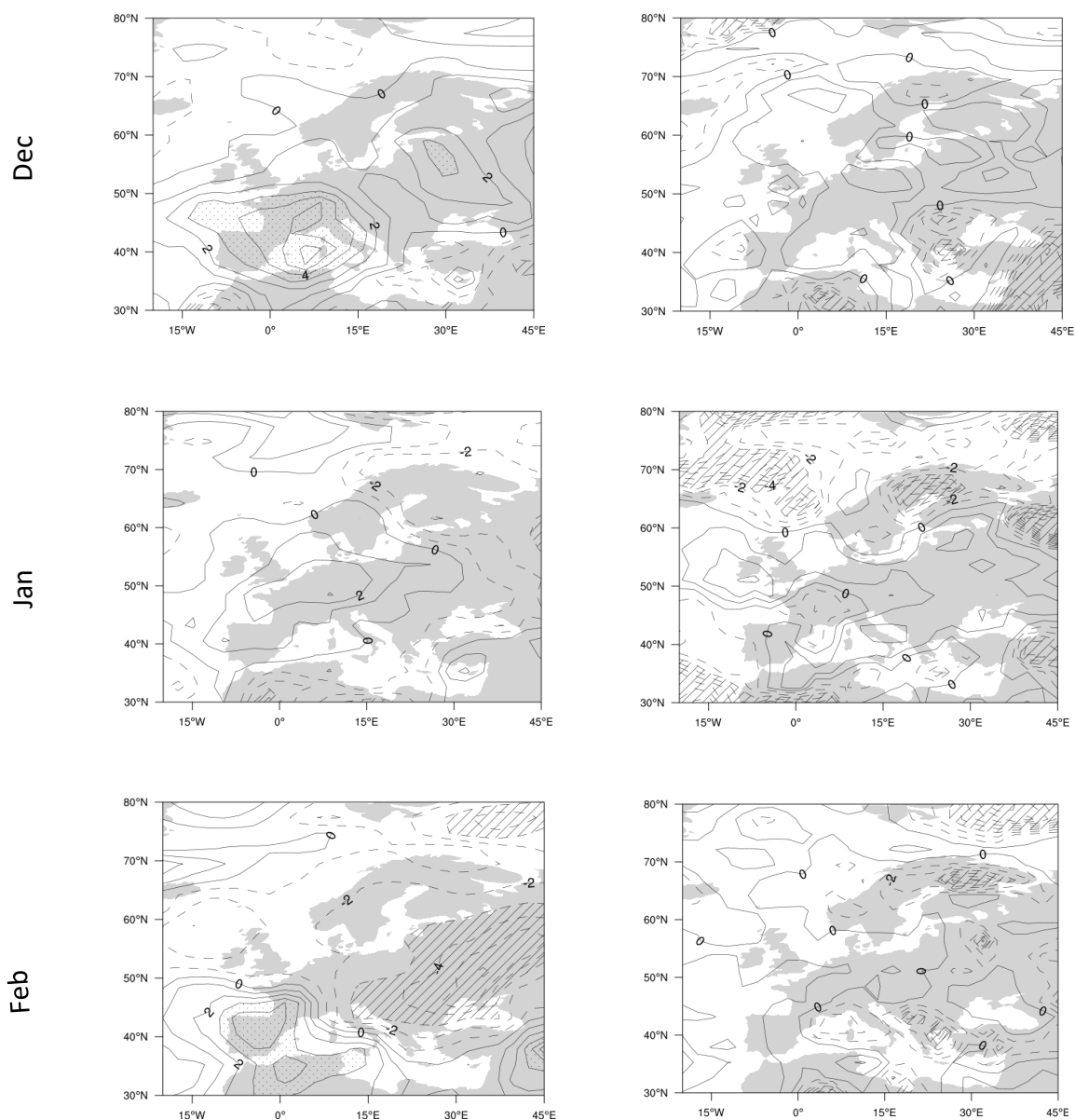
Π.12 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την τρίτη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.

SLP Mean

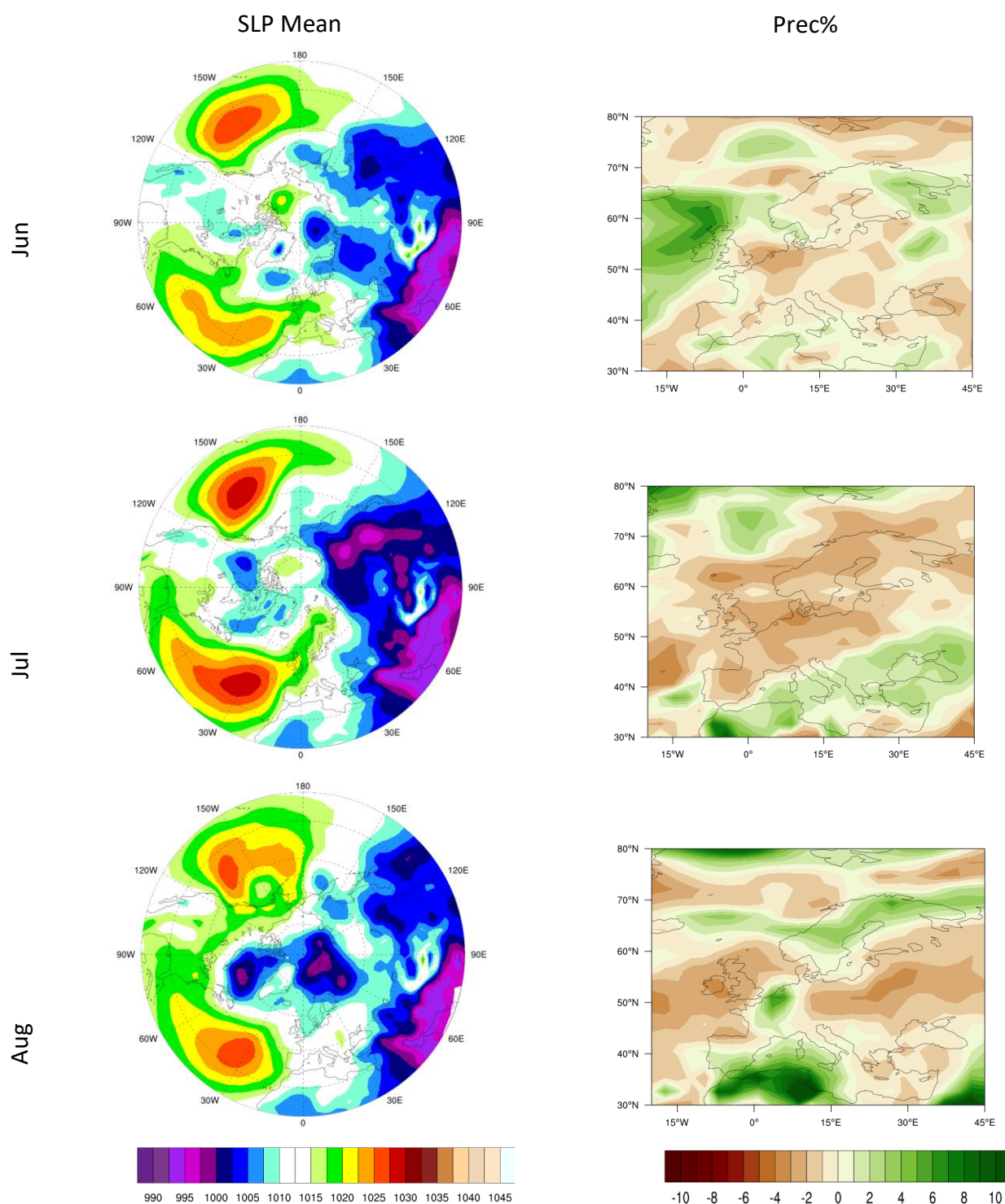
Prec%



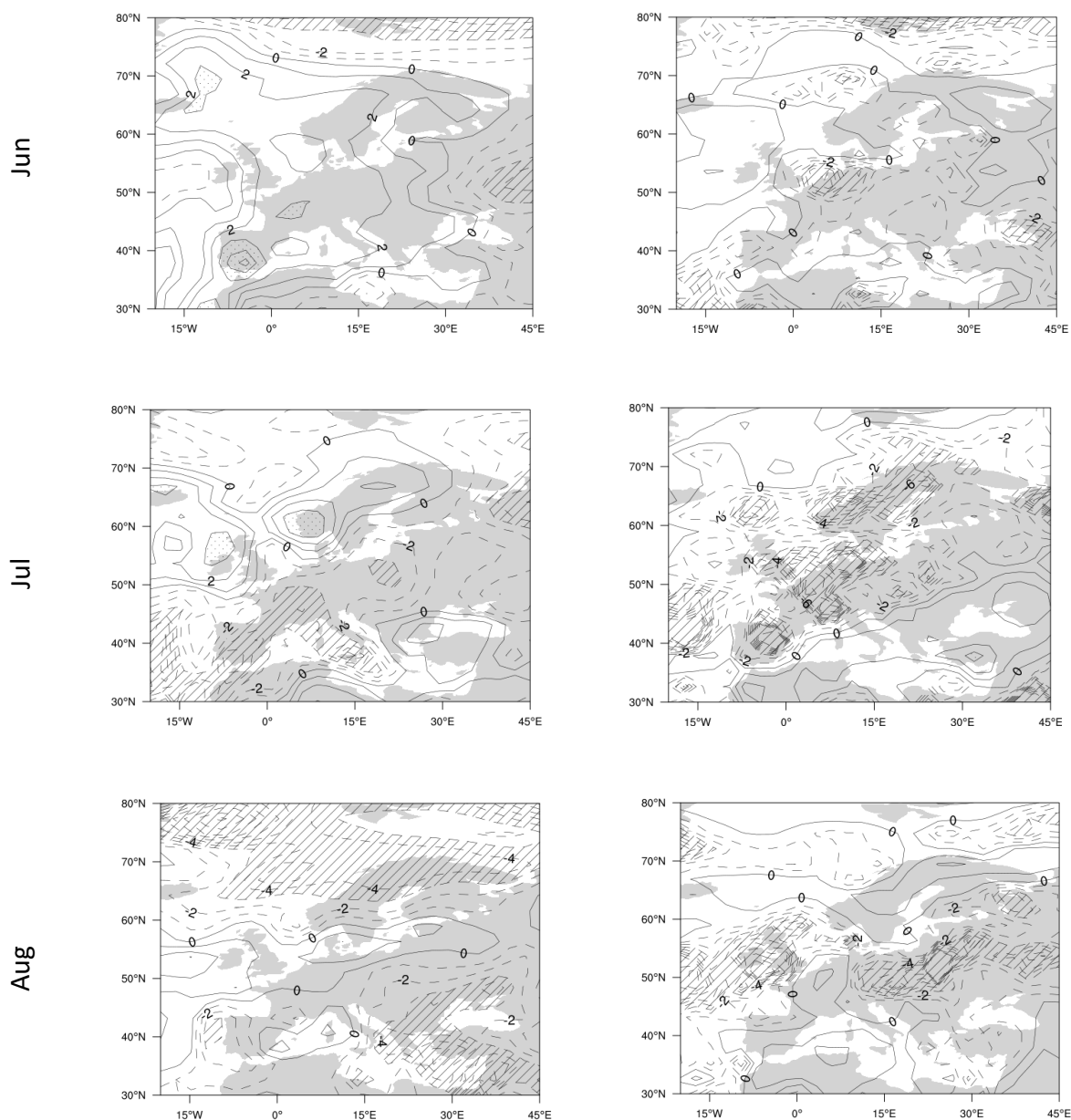
Π.13 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την τέταρτη φάση του χειμώνα της περιόδου αναφοράς (1976-2015).



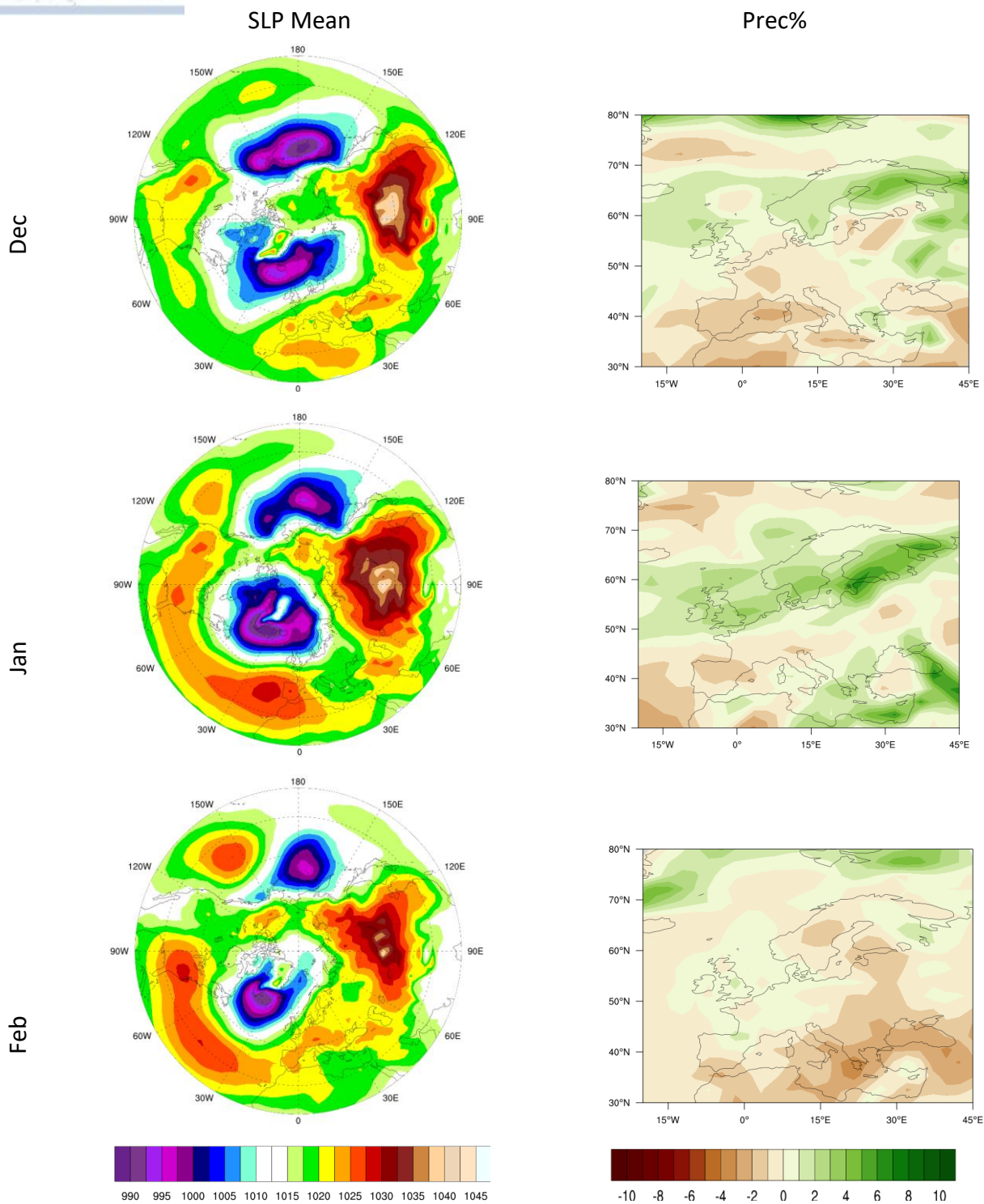
Π.14 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την τέταρτη φάση της χειμερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.



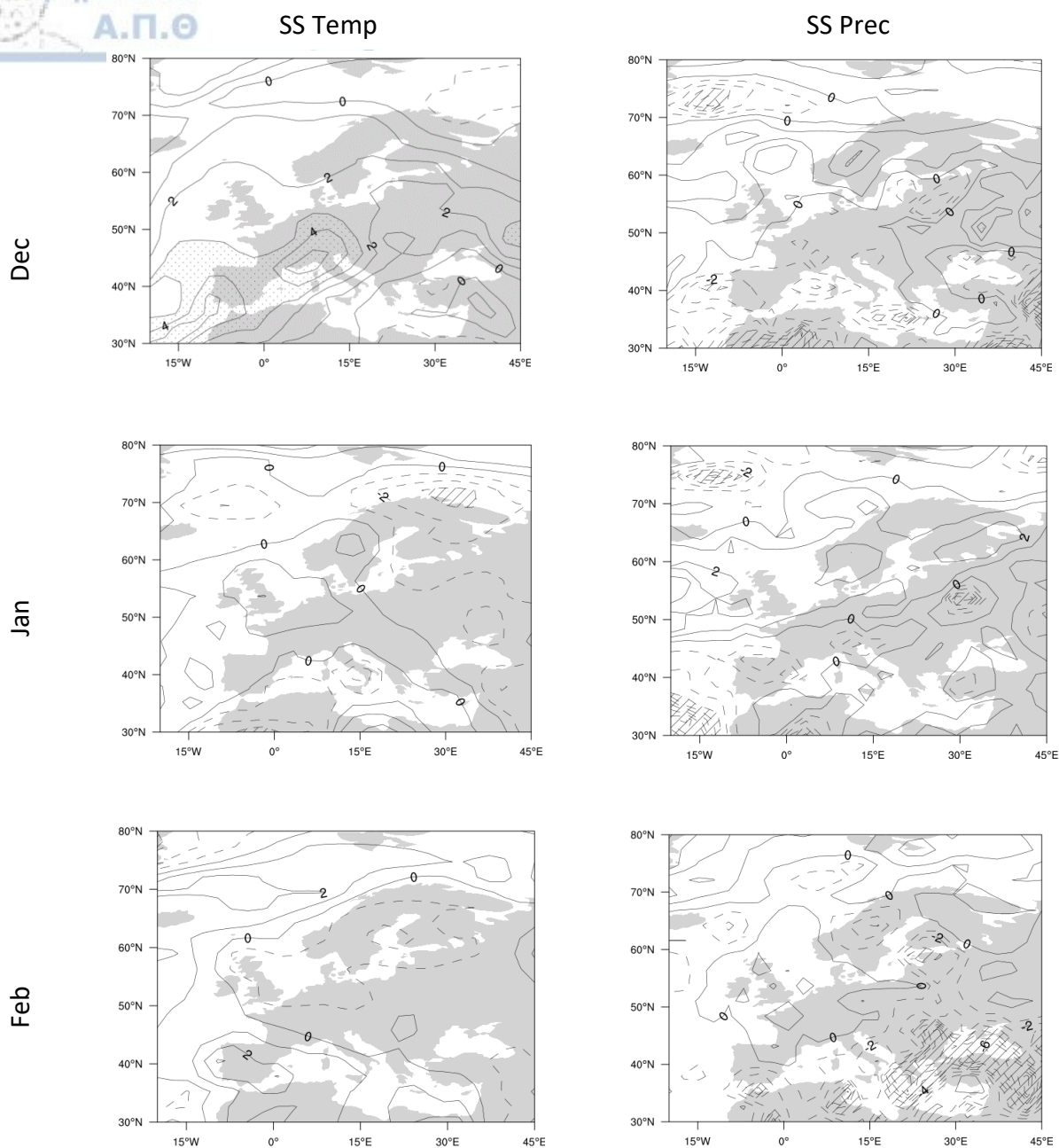
Π.15 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (%), (δεξιά) για την τέταρτη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015).



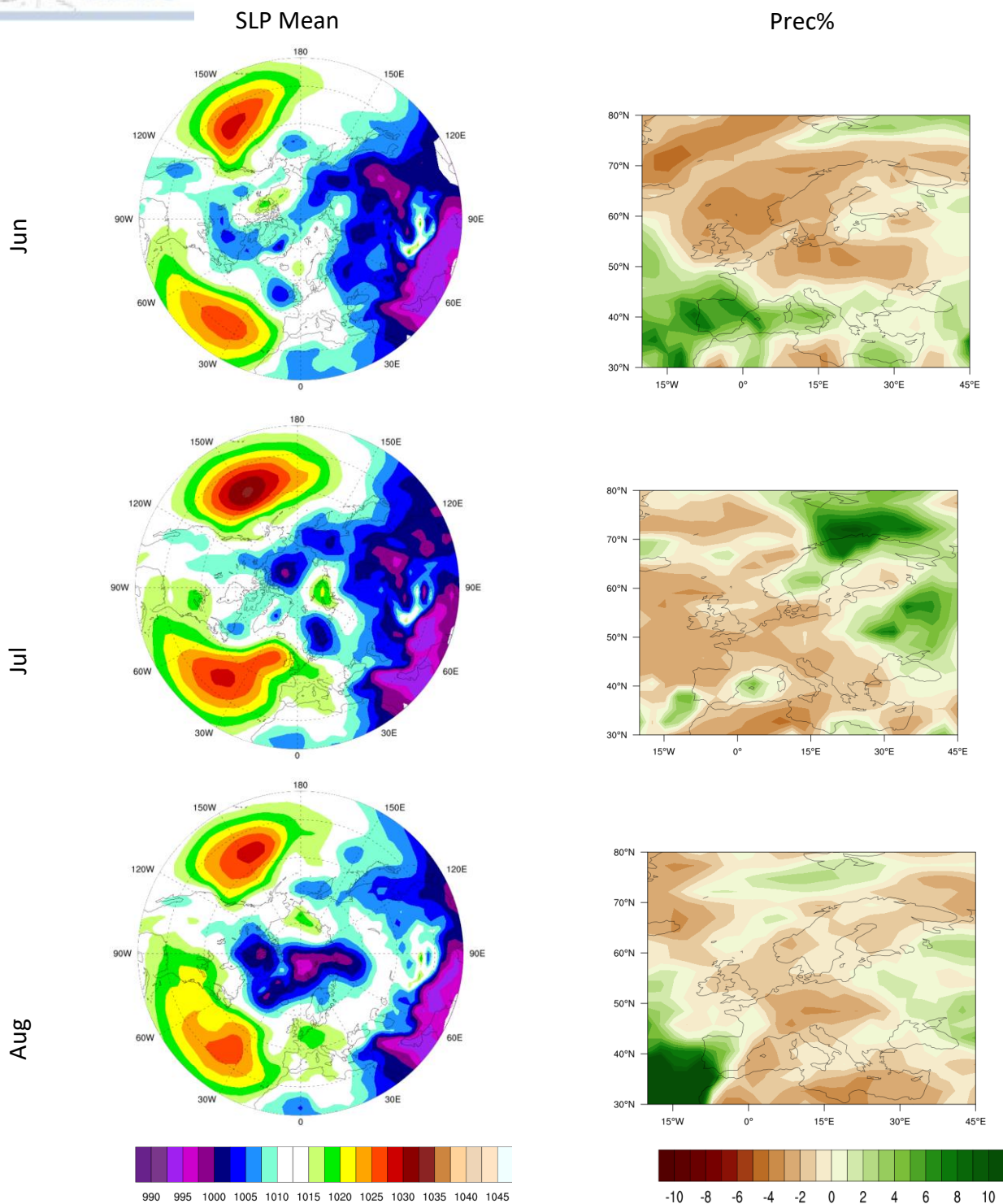
Π.16 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την τέταρτη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.



Π.17 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την πέμπτη φάση του χειμώνα της περιόδου αναφοράς (1976-2015).



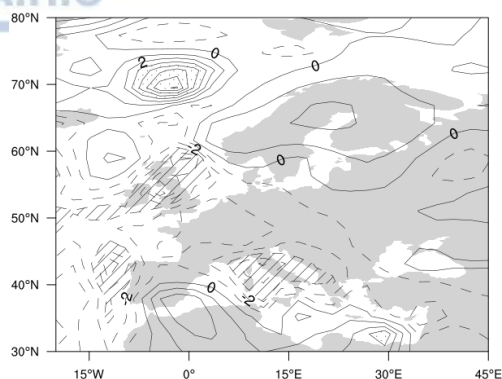
Π.18 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την πέμπτη φάση της χειμερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.



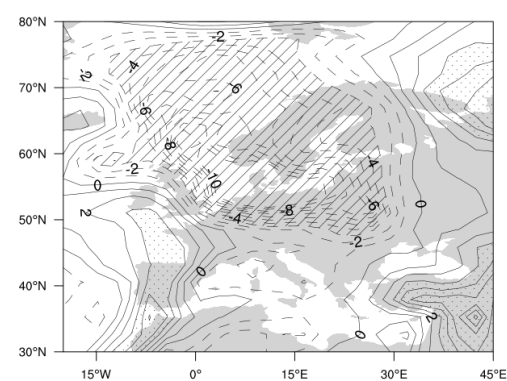
Π.19 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την έκτη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015).

SS Temp

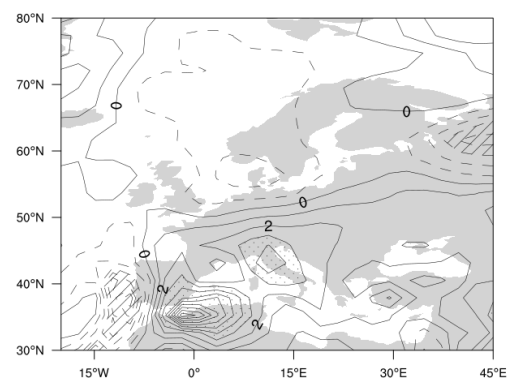
Jun



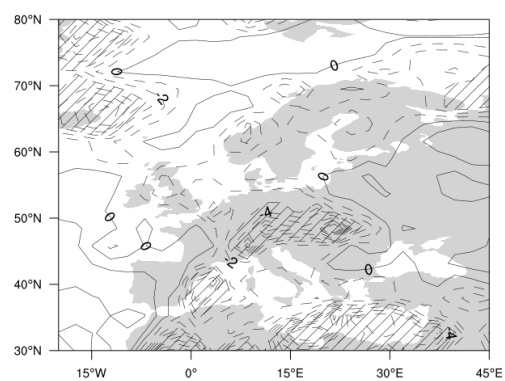
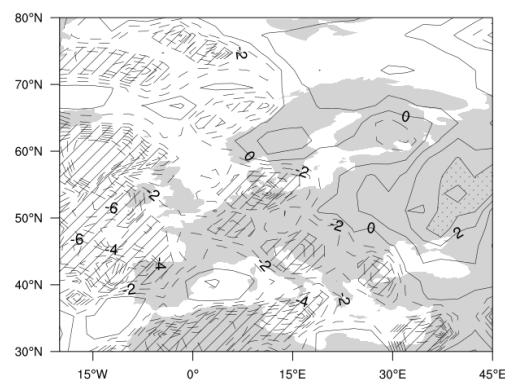
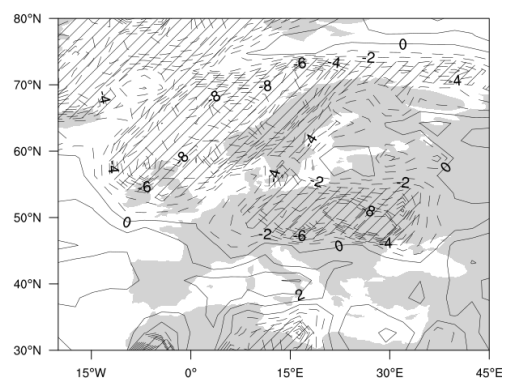
Jul



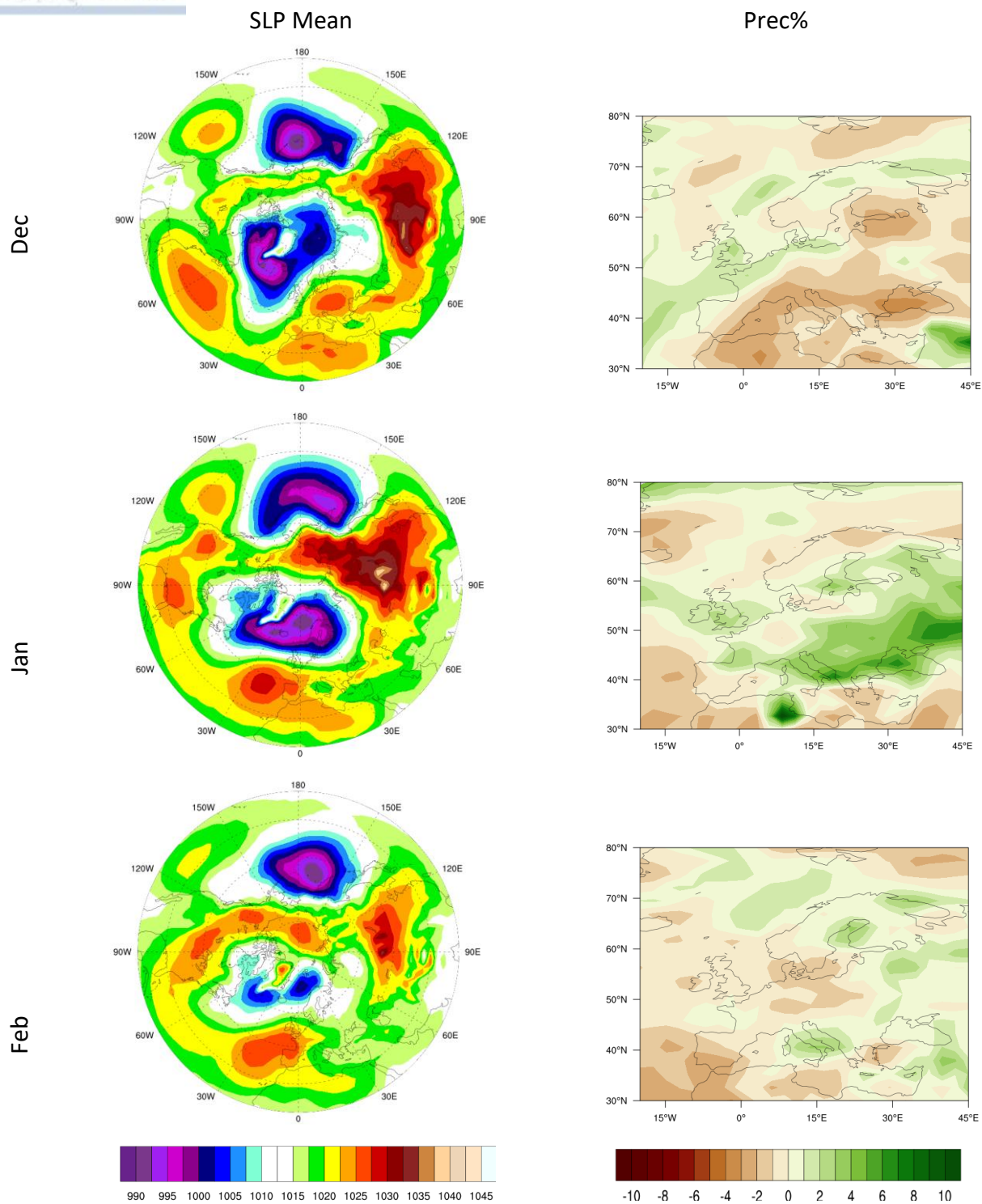
Aug



SS Prec



Π.20 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την έκτη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.

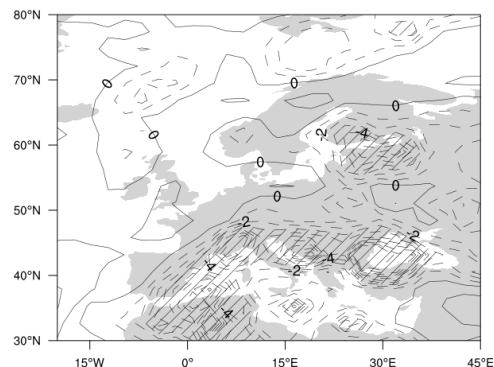
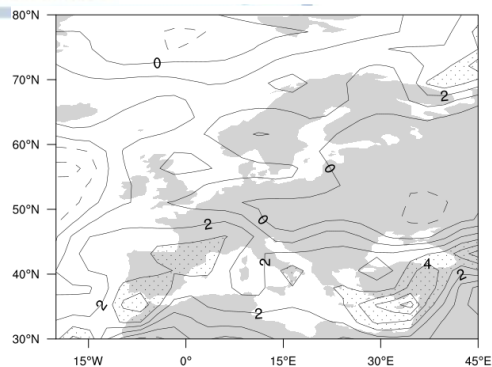


Π.21 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την έκτη φάση του χειμώνα της περιόδου αναφοράς (1976-2015).

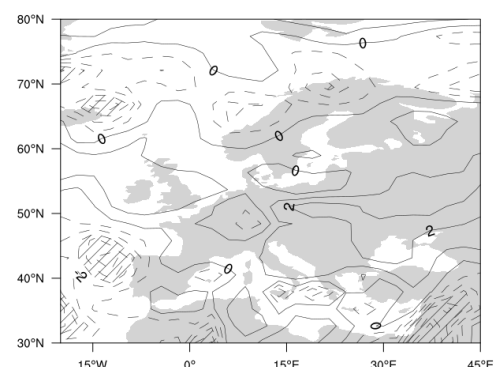
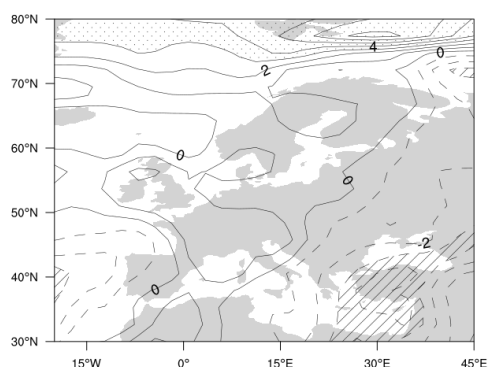
SS Temp

SS Prec

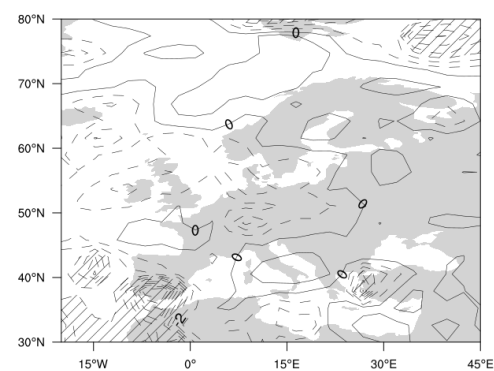
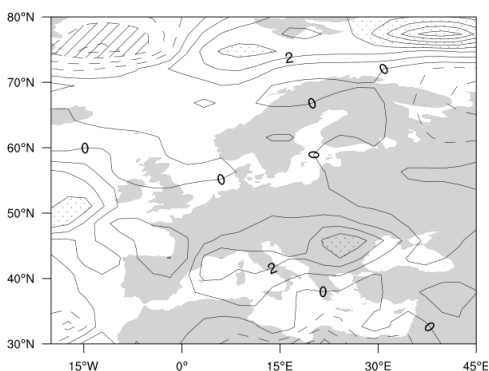
Dec



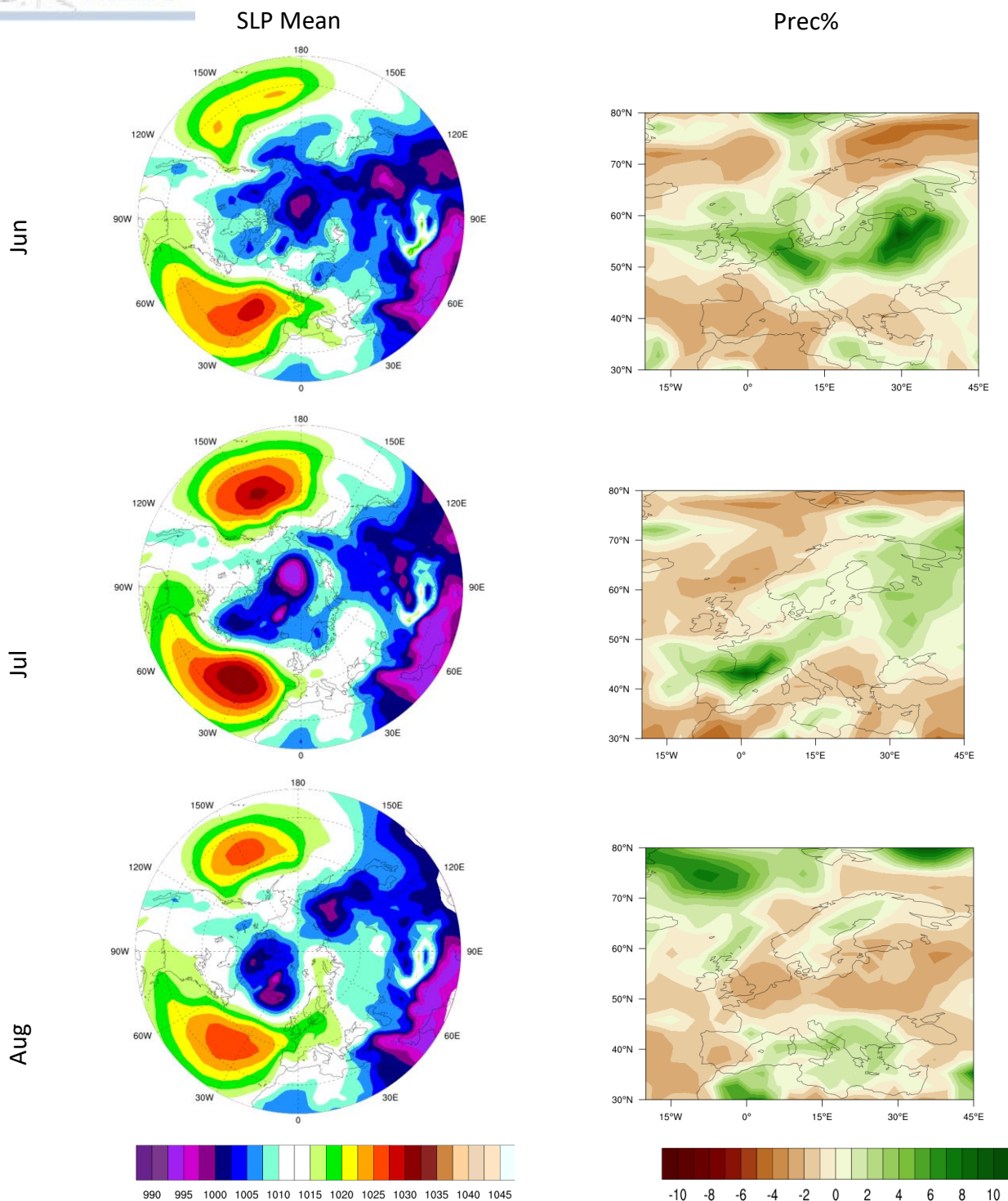
Jan



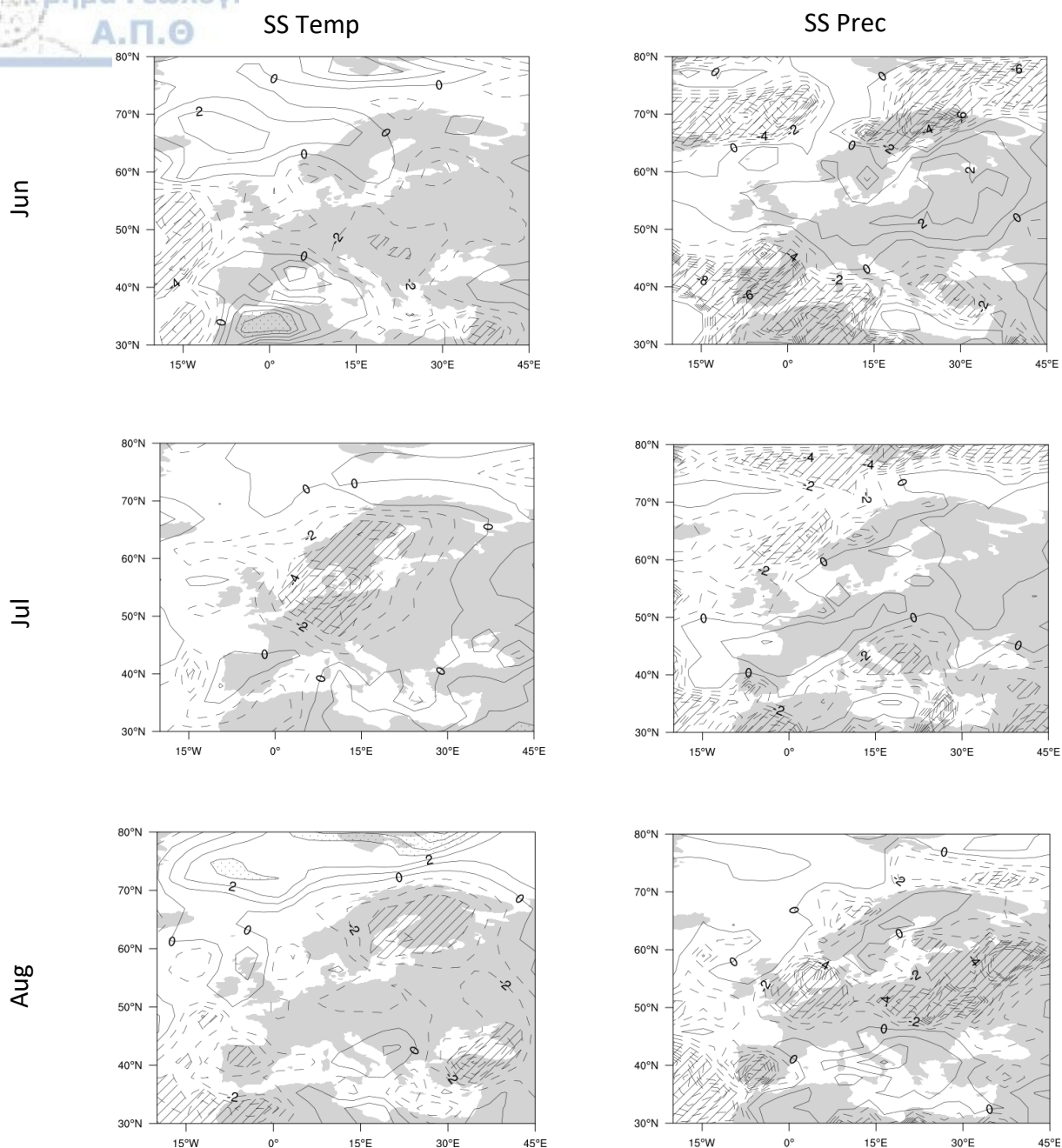
Feb



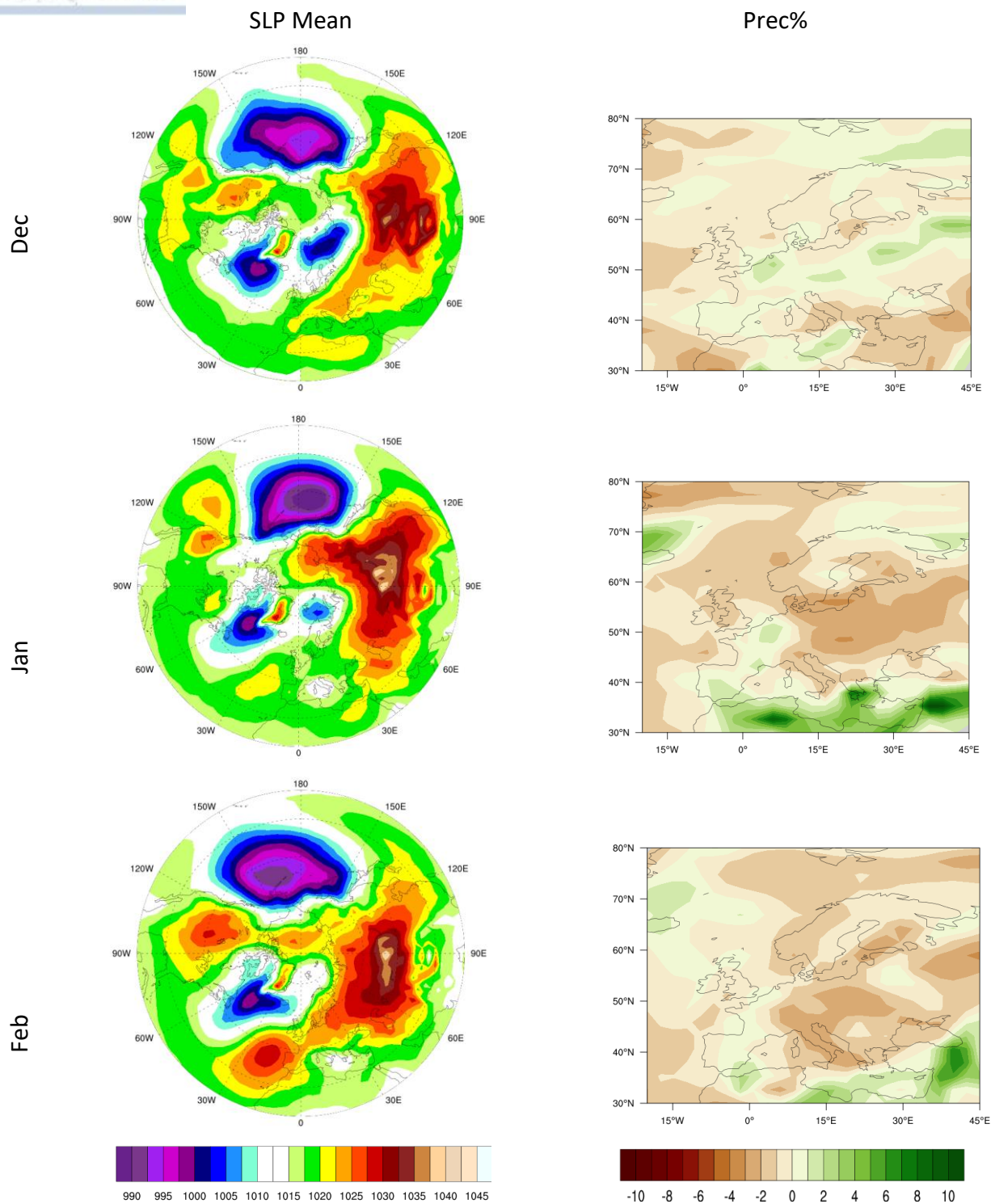
Π.22 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την έκτη φάση της χειμερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.



Π.23 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την έκτη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015).

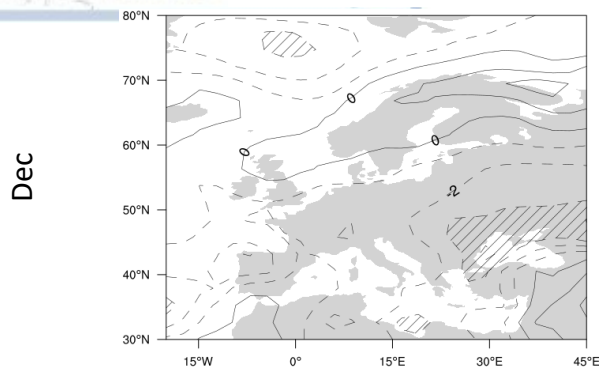


Π.24 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την έκτη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.

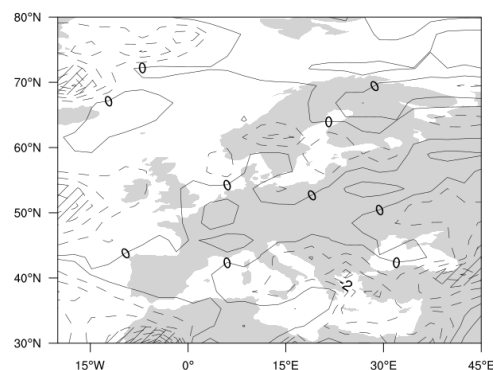


Π.25 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (δεξιά) για την έβδομη φάση του χειμώνα της περιόδου αναφοράς (1976-2015).

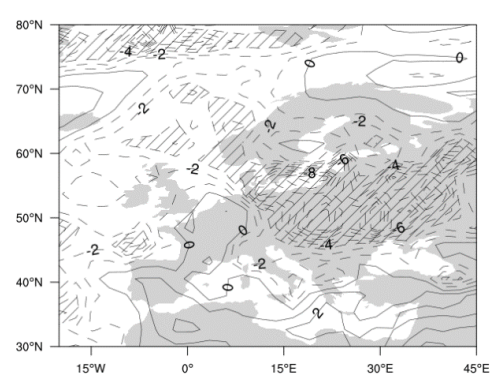
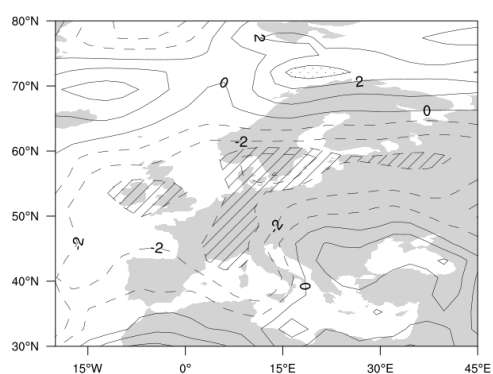
SS Temp



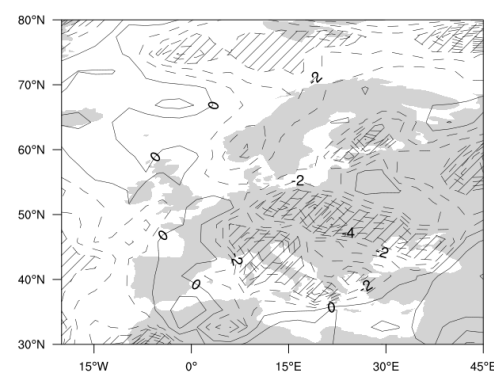
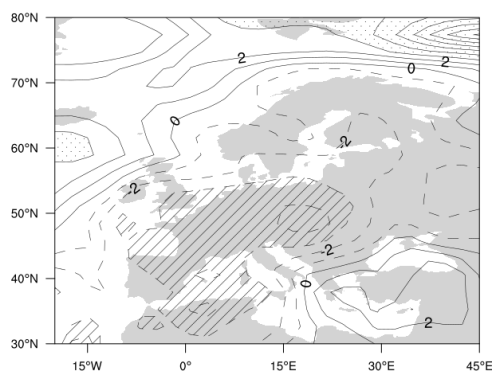
SS Prec



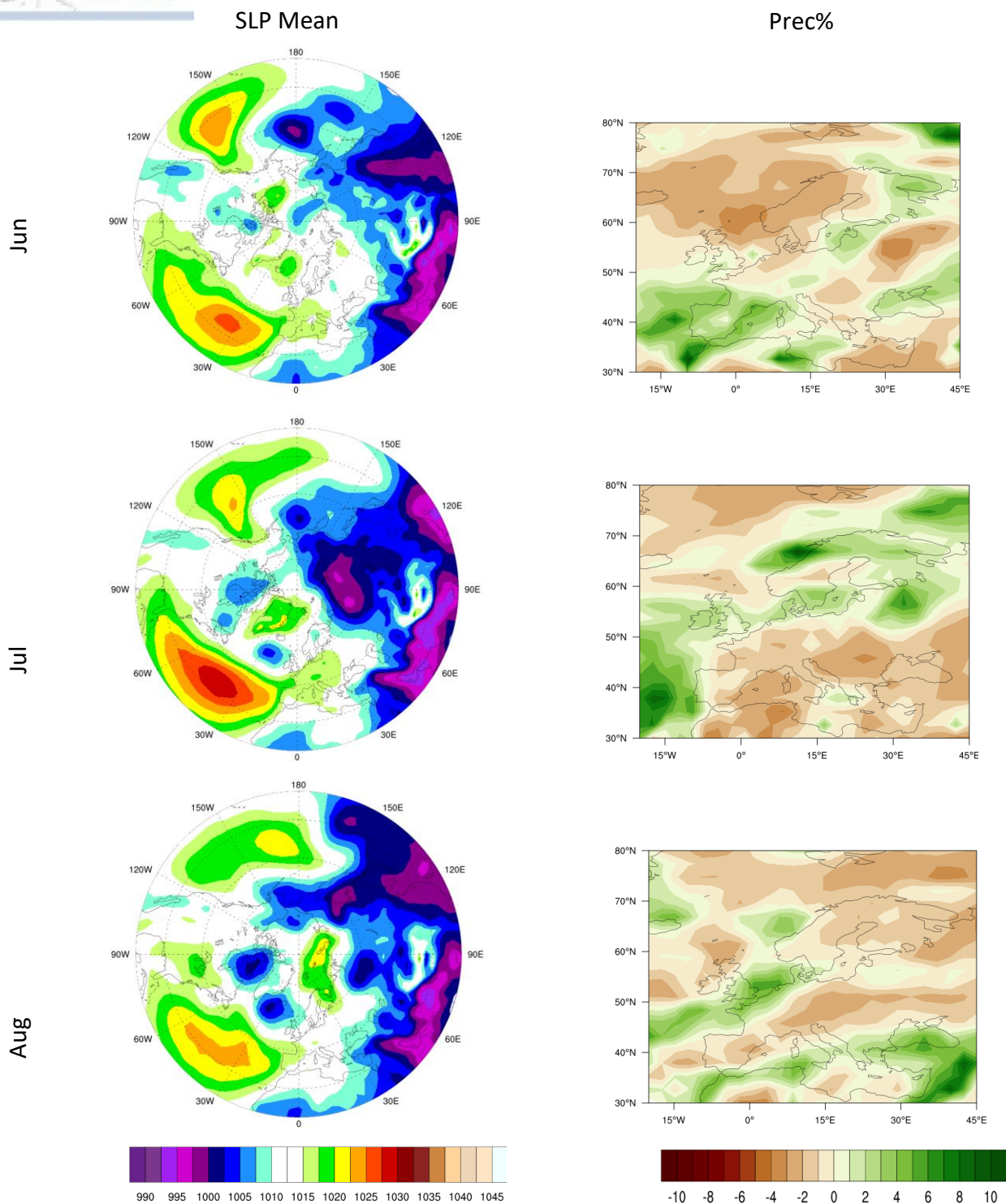
Jan



Feb

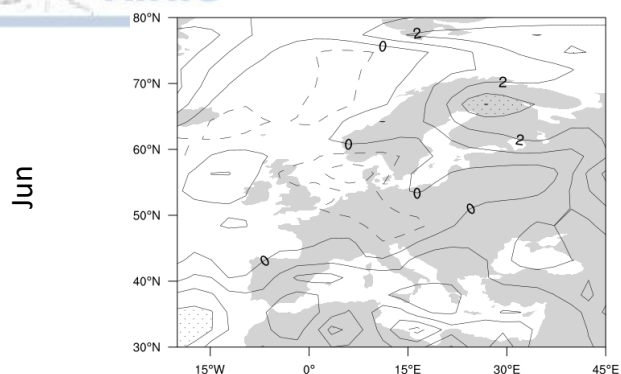


Π.26 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την έβδομη φάση της χειμερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.

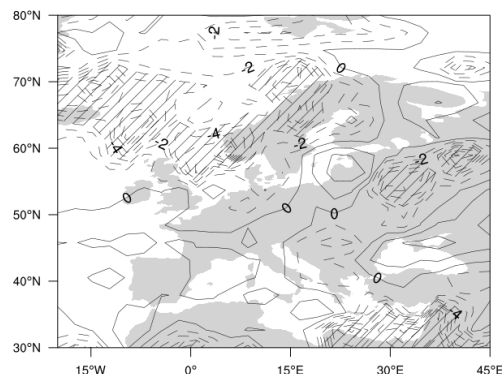


Π.27 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την εβδομή φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015).

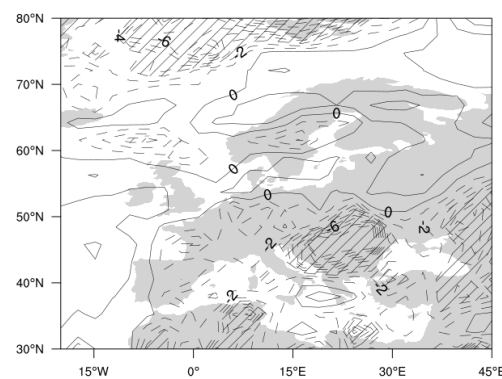
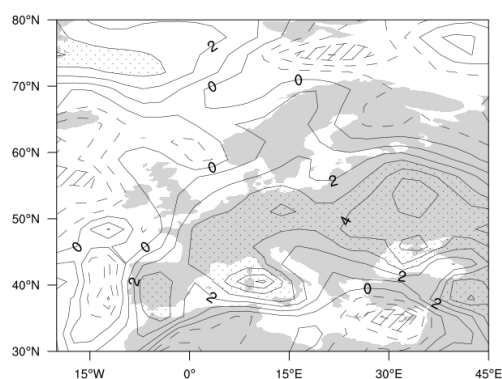
SS Temp



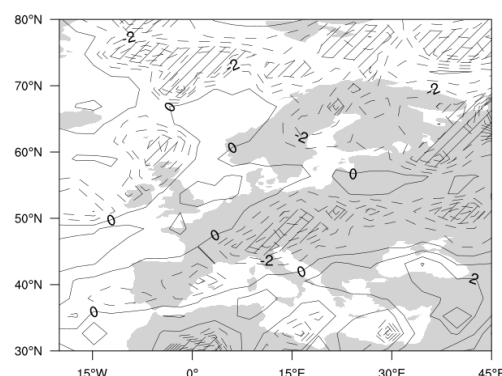
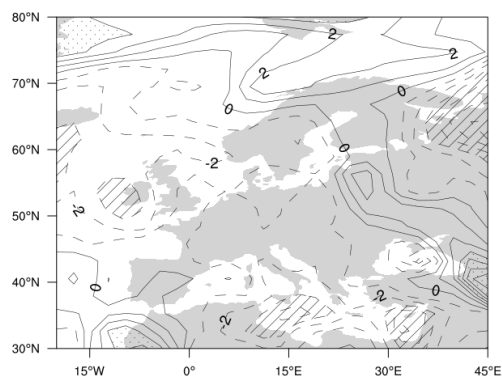
SS Prec



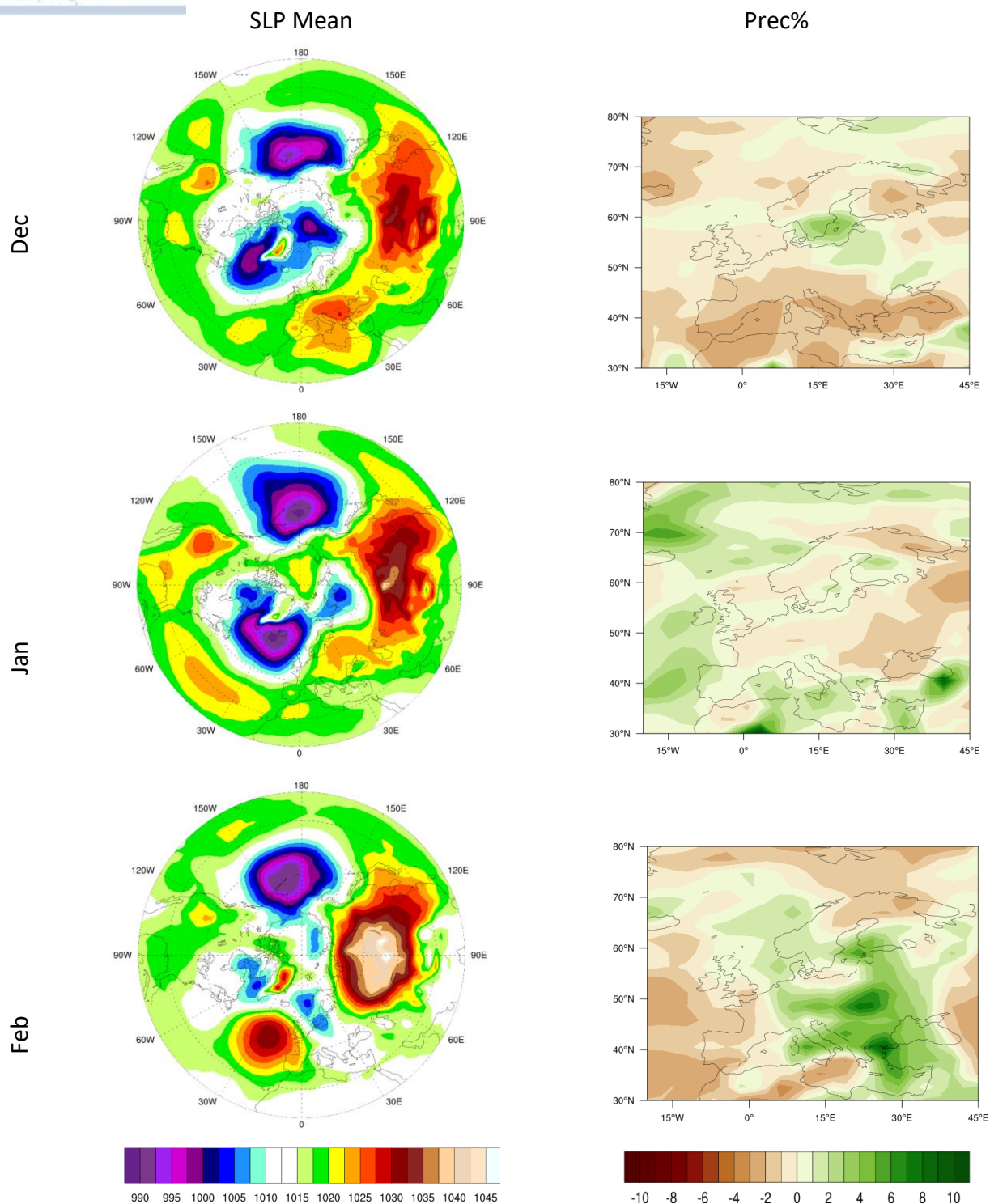
Jul



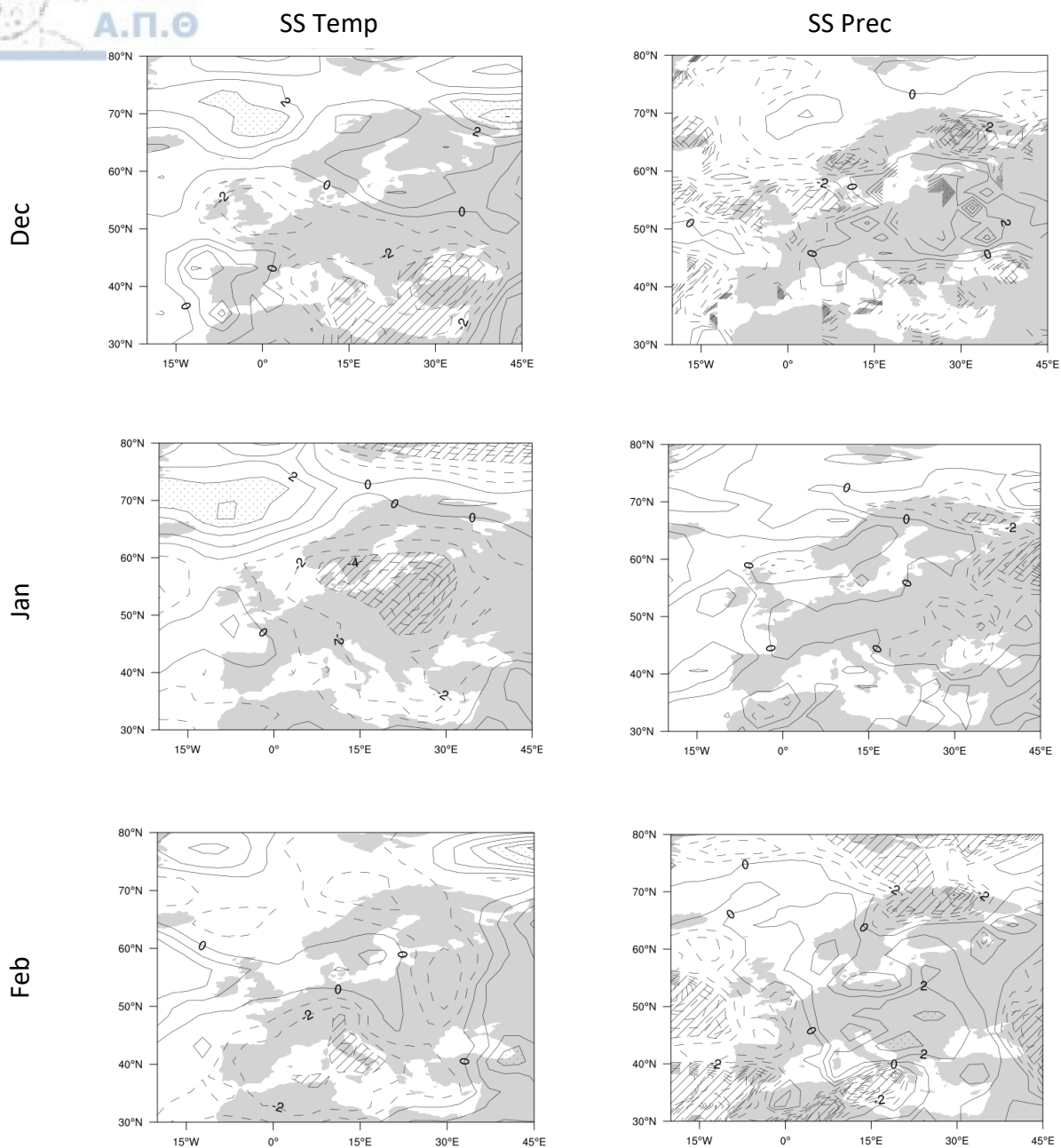
Aug



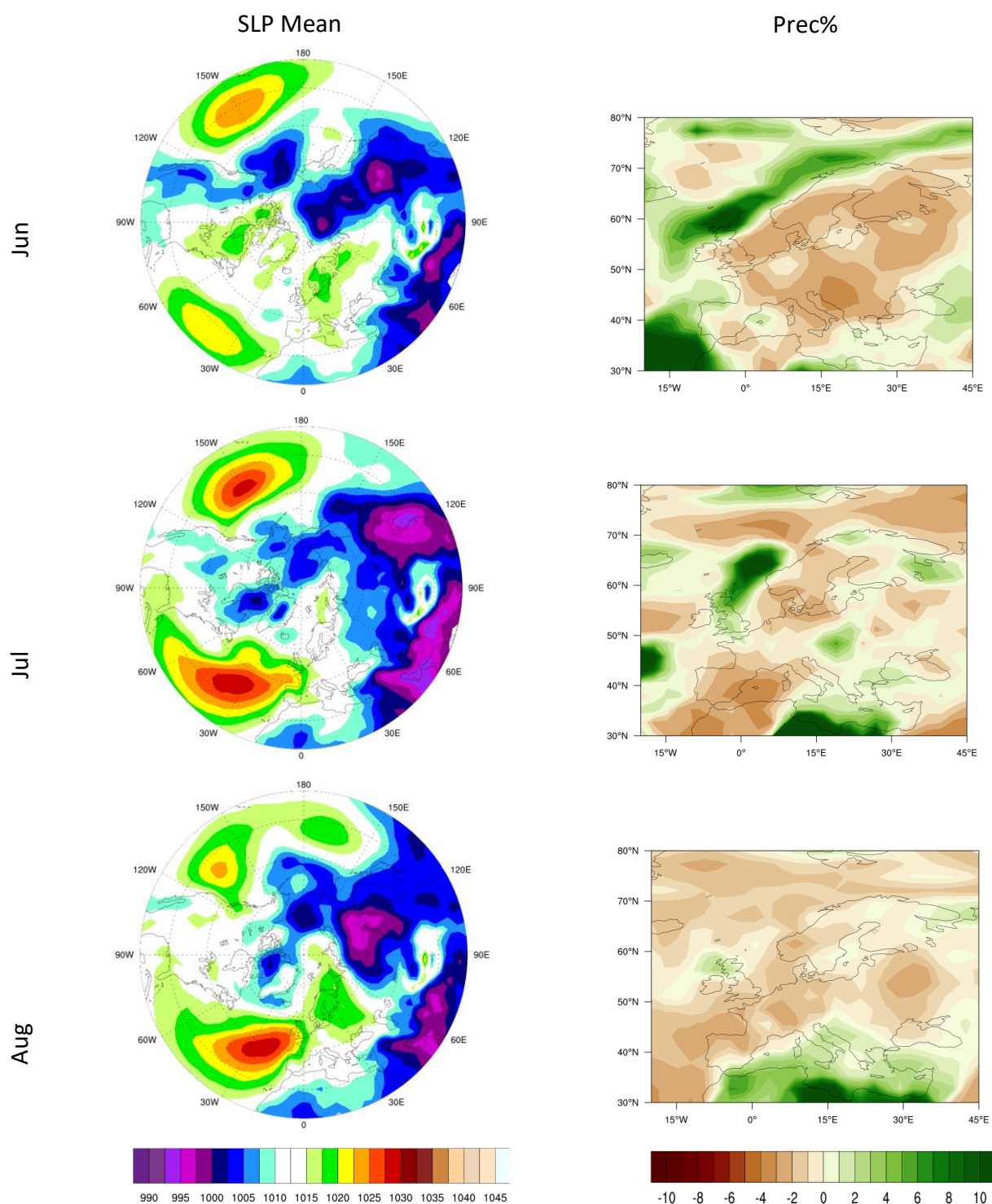
Π.28 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την έβδομη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.



Π.29 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (% , δεξιά) για την όγδοη φάση του χειμώνα της περιόδου αναφοράς (1976-2015).

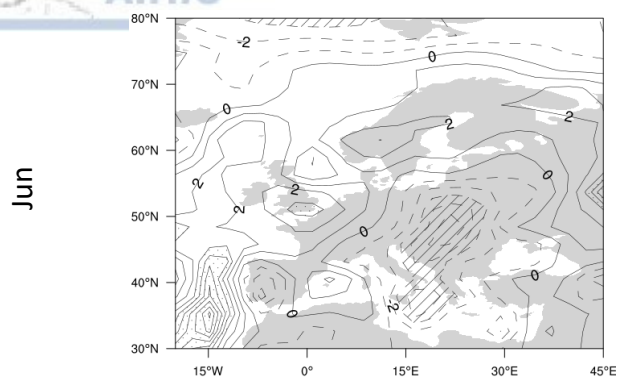


Π.30 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την όγδοη φάση της χειμερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.

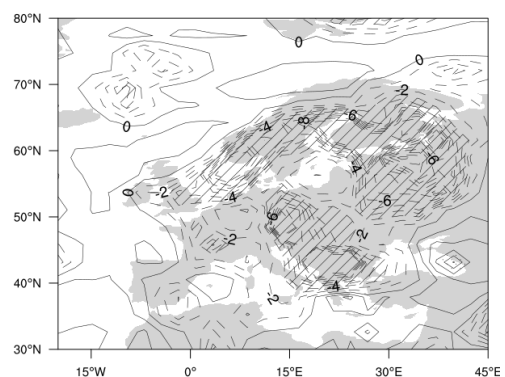


Π.31 Μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης (mb) στη μέση στάθμη της θάλασσας (αριστερά) και ποσοστιαίο πεδίο ανωμαλιών της βροχόπτωσης (%), (δεξιά) για την όγδοη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015).

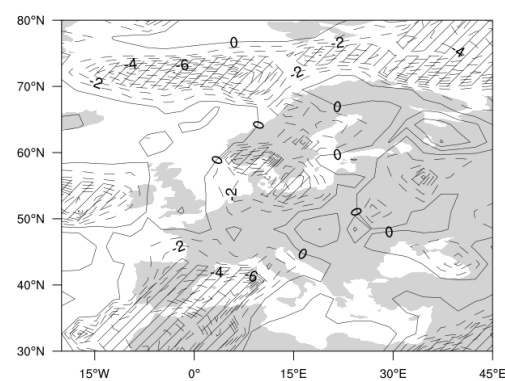
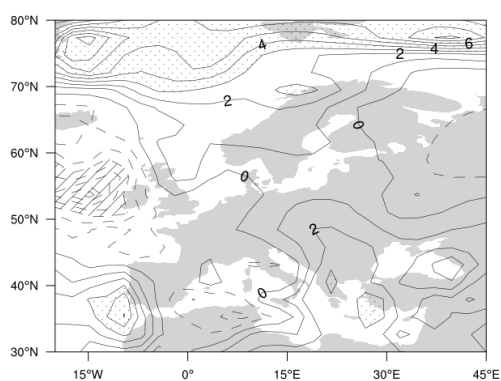
SS Temp



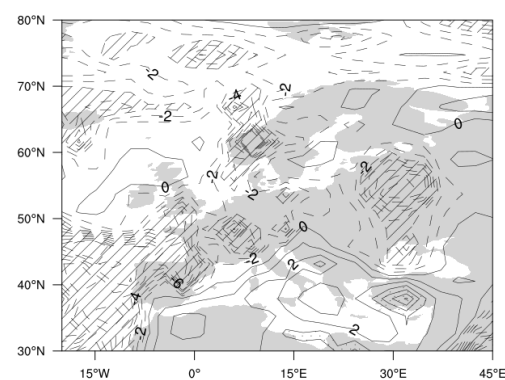
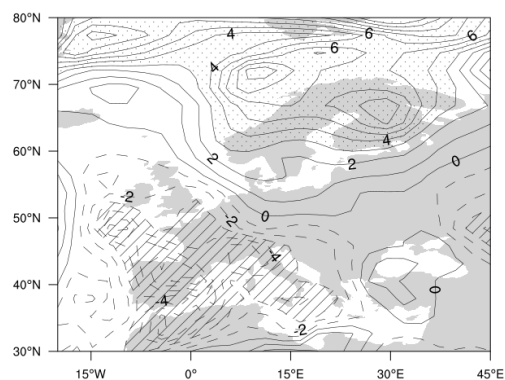
SS Prec



Jul



Aug



Π.32 Απεικόνιση της στατιστικής σημαντικότητας για το πεδίο ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αριστερή στήλη) και της βροχόπτωσης (δεξιά στήλη) για την όγδοη φάση της θερινής περιόδου αναφοράς (1976-2015). Οι τελίτσες αναπαριστούν τις περιοχές με θετική στατιστική σημαντικότητα, ενώ οι γραμμοσκιάσεις τις περιοχές με αρνητική στατιστική σημαντικότητα.