



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΙΩΑΝΝΑ ΧΑΡΙΤΙΔΟΥ

ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΟΑΤΛΑΝΤΙΚΗΣ ΚΥΜΑΝΣΗΣ (NORTH ATLANTIC
OSCILLATION-NAO) ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2023





ΙΩANNA ΧΑΡΙΤΙΔΟΥ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 6001

ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΟΑΤΛΑΝΤΙΚΗΣ ΚΥΜΑΝΣΗΣ (NORTH ATLANTIC
OSCILLATION-NAO) ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπουσα

Χριστίνα Αναγνωστοπούλου



© Ιωάννα Χαριτίδου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΟΑΤΛΑΝΤΙΚΗΣ ΚΥΜΑΝΣΗΣ (NORTH ATLANTIC OSCILLATION-NAO) ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ – Διπλωματική Εργασία

© Ioanna Charitidou, School of Geology AUTH, Dept of Meteorology and Climatology, 2023.

All rights reserved. THE IMPACT OF THE NORTH ATLANTIC OSCILLATION-NAO IN THE CLIMATE OF EUROPE – Bachelor Thesis

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.

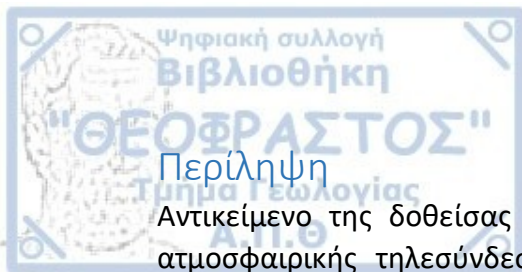
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή με τίτλο «Οι Επιπτώσεις της Βορειοατλαντικής Κύμανσης (North Atlantic Oscillation-NAO) στο Κλίμα της Ευρώπης» εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.).

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών, για την άριστη συνεργασία, την πολύτιμη καθοδήγηση και τον χρόνο που διέθεσε στα πλαίσια πραγματοποίησης της πτυχιακής. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω πολύ τους γονείς μου και τους φίλους μου, οι οποίοι υπήρξαν συνεχή στήριγμα καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.



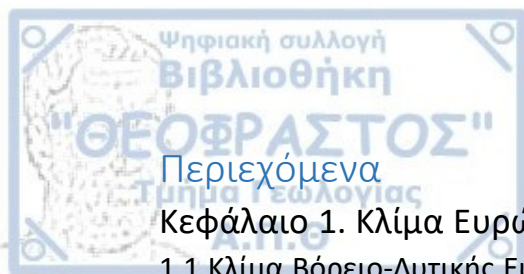
Περίληψη

Αντικείμενο της δοθείσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης, North Atlantic Oscillation (NAO), στο κλίμα της Ευρώπης, με απώτερο σκοπό την παρακολούθηση της μεταβολής των ανέμων, της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Αρχικά, γίνεται αναφορά στο κλίμα της Ευρώπης και έπειτα αναλύεται η ατμοσφαιρική τηλεσύνδεση και εκτενέστερα το North Atlantic Oscillation. Στην συνέχεια, για τον σκοπό της εργασίας, συλλέχθηκαν δεδομένα από το 73 ετών (1/1/1950 – 26/2/2023) από το National Oceanic and Atmospheric Administration. Για τις ημέρες που ο δείκτης NAO σημείωνε ακραία τιμή, σχεδιάστηκαν χάρτες μέσης θερμοκρασίας και ανωμαλιών της θερμοκρασίας, χάρτες ημερήσιας βροχόπτωσης και ανωμαλιών της βροχόπτωσης και χάρτες κίνησης του αεροχειμάρρου στην Ευρώπη. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν πως κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην Νότια Ευρώπη και χαμηλότερες στην Βόρεια Ευρώπη, ενώ κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην Βόρεια Ευρώπη και χαμηλότερες στην Νότια Ευρώπη. Επιπλέον διαπιστώνεται πως κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, αυξάνονται τα κατακρημνίσματα στην Νότια Ευρώπη και μειώνονται στην Βόρεια Ευρώπη, ενώ κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, αυξάνονται στην Βόρεια Ευρώπη και μειώνονται στην Νότια Ευρώπη.



Abstract

The aim of this study is to investigate the influence of the North Atlantic Oscillation (NAO) on the climate of Europe, with the ultimate goal of monitoring the variation of winds, temperature and precipitation. First, the climate of Europe is discussed and then the atmospheric teleconnection and, more extensively, the North Atlantic Oscillation is analyzed. Then, for the purpose of this study, 73 years of data (1/1/1950 - 2/26/2023) were collected from the National Oceanic and Atmospheric Administration. For days when the NAO was at an extreme value, maps of mean temperature and temperature anomalies, maps of daily precipitation and precipitation anomalies and maps of airflow movement in Europe were drawn. The results confirm that during the negative phase of the NAO, higher temperatures are observed in Southern Europe and lower in Northern Europe, while during the positive phase of the NAO, higher temperatures are observed in Southern Europe and lower in Northern Europe. Furthermore, it is found that during the negative phase of the NAO, precipitation increases in Southern Europe and decreases in Northern Europe, while during the positive phase of the NAO, it increases in Northern Europe and decreases in Southern Europe.



Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Κλίμα Ευρώπης.....	2
1.1 Κλίμα Βόρειο-Δυτικής Ευρώπης.....	2
1.2 Κλίμα Μεσογείου.....	2
1.3 Κλίμα Βόρειο-Ανατολικής Ευρώπης.....	3
Κεφάλαιο 2. Ατμοσφαιρική Τηλεσύνδεση.....	5
2.1 Εισαγωγή.....	5
2.2 Εφαρμογές ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης.....	6
2.3 Μέθοδοι ανάλυσης-εντοπισμού ατμοσφαιρικών τηλεσυνδέσεων.....	7
2.3.1 Correlation Analysis.....	7
2.3.2 Principal Component Analysis/ Empirical Orthogonal Function Analysis.....	8
2.3.3 Rotated Principal Component Analysis.....	8
2.3.4 Cluster Analysis.....	9
2.4 Χρονική κλίμακα μοτίβων τηλεσύνδεσης.....	9
2.5 Χάρτες τηλεσύνδεσης	9
2.6 Τύποι ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης	10
Κεφάλαιο 3. North Atlantic Oscillation.....	14
3.1 Εισαγωγή.....	14
3.2 Μηχανισμοί του NAO.....	17
3.3 Συσχετισμός της ροής του ανέμου με τις επιφανειακές θερμοκρασίες.....	17
3.4 Επιπτώσεις του NAO.....	18
3.4.1 Καταιγίδες και κατακρημνίσματα.....	18
3.4.2 Θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας.....	18
3.4.3 Θαλάσσιος πάγος.....	19
3.5 Επιδράσεις του NAO στο Βόρειο Ημισφαίριο.....	19
Κεφάλαιο 4. Δεδομένα του North Atlantic Oscillation του 1950-2023....	20
4.1 Δεδομένα του NAO του 1950-1959.....	20
4.2 Δεδομένα του NAO του 1960-1969.....	23
4.3 Δεδομένα του NAO του 1970-1979.....	27
4.4 Δεδομένα του NAO του 1980-1989.....	32
4.5 Δεδομένα του NAO του 1990-1999.....	40
4.6 Δεδομένα του NAO του 2000-2009.....	47
4.7 Δεδομένα του NAO του 2010-2019.....	60
4.8 Δεδομένα του NAO του 2020-2023.....	70
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα.....	71
Βιβλιογραφία.....	74

1.1. Κλίμα Βόρειο-Δυτικής Ευρώπης

Η Βόρειο-Δυτική Ευρώπη εκτός από την Σκανδιναβία και τις Ανατολικές περιοχές της Γερμανίας, της Πολωνίας και της Σουηδίας χαρακτηρίζεται από εύκρατο, υγρό, ωκεάνιο κλίμα (Cfb, Cfc). Δηλαδή από ήπια και βροχερά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες, με συνεχή δραστηριότητα καταιγίδας, λόγω των δυτικών ανέμων. Τους χειμερινούς μήνες, η μέση θερμοκρασία είναι 0°C. Αντίθετα, κατά την διάρκεια των θερμότερων μηνών, οι μέσες θερμοκρασίες είναι περίπου στους 22°C. Η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται γενικά μεταξύ 500 και 2500 mm. Σε αρκετές περιοχές, οι βροχοπτώσεις διαρκούν περισσότερο από 150 ημέρες τον χρόνο, αν και συχνά είναι μικρής έντασης. Οι θερμοκρασίες στην περιοχή της Ευρώπης έχουν σημειώσει σημαντική αύξηση, κυρίως από το 1991 μέχρι και σήμερα, με ρυθμό αύξησης 0.5°C ανά δεκαετία (Bolle H. J., 2003). Όσο αφορά τα κατακρημνίσματα, μείωση παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στη περιοχή της Μεσογείου ενώ στη περιοχή της Μεγάλης Βρετανίας παρατηρείται μια σχετική αύξηση.

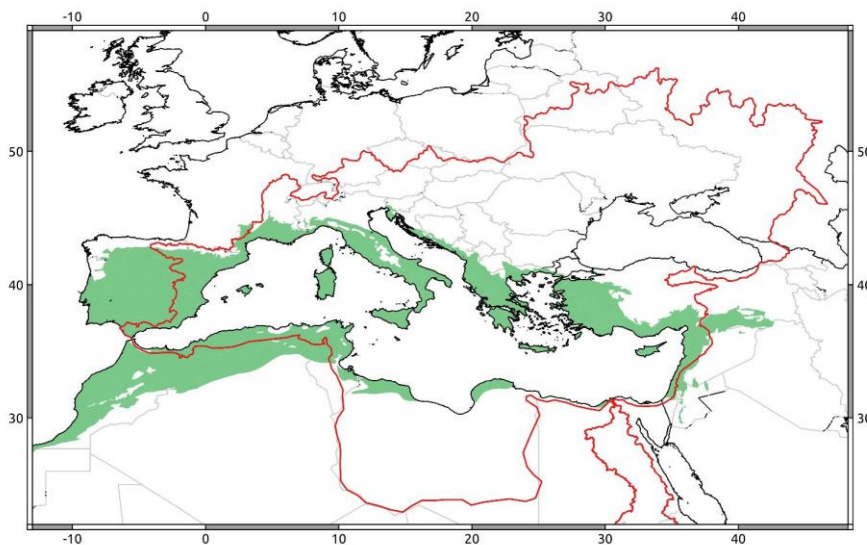


Εικόνα 1.1 Χάρτης ωκεάνιου κλίματος στην Ευρώπη (Géron C. et al., 2021).

1.2. Κλίμα Μεσογείου

Η περιοχή της Μεσογείου, μέρος της οποίας είναι η Ισπανία, η Πορτογαλία, η Νότια Γαλλία, η Νότια Ιταλία και η Ελλάδα, χαρακτηρίζεται από εύκρατο, ξηρό, Μεσογειακό κλίμα (Csa, Csb). Πιο αναλυτικά, από ήπιους και υγρούς χειμώνες και από θερμά και ξηρά καλοκαίρια, που προκύπτουν κυρίως στα Δυτικά των ηπείρων, σε γεωγραφικό πλάτος 30-40° και Νότια του ισημερινού. Η πολυσύνθετη μορφολογία της

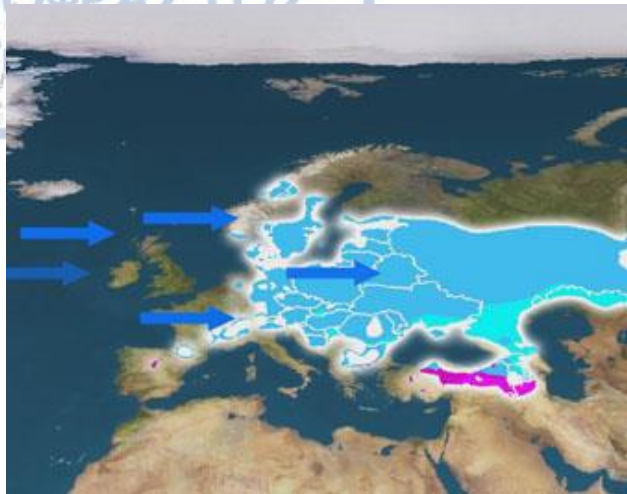
Μεσογείου, η ύπαρξη ευδιάκριτων λεκανών, κόλπων, νησιών και χερσονήσων, και η παρουσία οροσειρών γύρω από την θάλασσα της Μεσογείου οδηγούν σε πιο έντονα κλιματικά χαρακτηριστικά, καθώς καθορίζουν κατά ένα βαθμό την ατμοσφαιρική και ωκεάνια κυκλοφορία. Το Βόρειο τμήμα της Μεσογείου σχετίζεται με την μεταβλητότητα στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, ενώ το Νότιο τμήμα από τον δακτύλιο κυκλοφορίας μεταξύ του ισημερινού και των υποτροπικών γεωγραφικών πλατών, γνωστό ως δακτύλιος Hadley cell. Οι μεταβολές της ετήσιας θερμοκρασίας είναι γενικά μικρότερες από αυτές στην Βόρεια Ευρώπη και η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται μεταξύ 350 και 900 mm. Όσο αφορά τα κατακρημνίσματα, αύξηση παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στις Άλπεις και στις Ανατολικές ακτές της Αδριατικής και της Ιόνιου θάλασσας και στην Μαύρη θάλασσα και Βόρειο-Δυτικά της Ισπανίας. Ενώ, οι βροχοπτώσεις μειώθηκαν στην Νότια Ιβηρική χερσόνησο.



Εικόνα 1.2 Χάρτης Μεσογειακού κλίματος στην Ευρώπη (Pausas J.G. et al., 2019).

1.3. Κλίμα Βόρειο-Ανατολικής Ευρώπης

Η Βόρειο-Ανατολική Ευρώπη, δηλαδή η Ανατολική Γερμανία, η Πολωνία, η Τσεχία, η Αυστρία, η Λιθουανία, η Εσθονία, η Ουκρανία, η Ρουμανία καθώς και η Σκανδιναβία χαρακτηρίζονται από Ηπειρωτικό, υγρό κλίμα (Dfa, Dfb, Dfc). Πιο συγκεκριμένα από ψυχρούς χειμώνες και θερμά καλοκαίρια. Η μέση θερμοκρασία τους ψυχρούς μήνες είναι κάτω από τους 0°C ενώ άνω των 10°C είναι συνήθως τέσσερις μήνες. Οι μέγιστες θερμοκρασίες, που παρατηρούνται το καλοκαίρι, κυμαίνονται μεταξύ των 21-28 °C. Η ετήσια βροχόπτωση είναι μεταξύ 500 με 1250 mm. Περισσότερα κατακρημνίσματα σημειώνονται τα τελευταία χρόνια στις Δυτικές ακτές της Σκανδιναβίας, ενώ λιγότερα σημειώνονται στη Φιλανδία (Bolle H. J., 2003).



Εικόνα 1.3 Χάρτης ηπειρωτικού κλίματος στην Ευρώπη
(<https://images.app.goo.gl/qcw9S267jZr3j65XA>).

2.1. Εισαγωγή

Ο όρος «ατμοσφαιρική τηλεσύνδεση» αναφέρεται σε χωρικά μοτίβα της ατμόσφαιρας, τα οποία συνδέουν καιρικές και κλιματικές ανωμαλίες, οι οποίες βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφουν καταστάσεις φυσικής μεταβλητότητας της κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας μεταξύ κέντρων δράσης. Τα χωρικά μοτίβα χαρακτηρίζονται από διάρκεια μίας με δύο εβδομάδες ή και περισσότερο, δηλαδή συνήθως διαρκούν περισσότερο από άλλα ατμοσφαιρικά φαινόμενα λόγω του μεγάλου μήκους κύματος τους, του ρυθμού δημιουργίας και καταστροφή τους και του μηχανισμού δύναμης τους. Παράλληλα, είναι περιοδικά, καθώς παρόμοια μοτίβα τείνουν να επαναλαμβάνονται συνεχώς.

Η ανακάλυψη των ατμοσφαιρικών τηλεσυνδέσεων χρονολογείται από την εποχή των Βίκινγκς. Μεταξύ των πρώτων παρατηρητών των ατμοσφαιρικών τηλεσυνδέσεων ήταν οι Σκανδιναβοί ή οι Βίκινγκς. Οι πρώτοι εγκαταστάθηκαν στην Γροιλανδία και σε ένα ανώνυμο βιβλίο τους, που βρέθηκε, με το όνομα «Kings Mirror», του έτους 1235, αναφέρονταν ότι οι ψυχρές συνθήκες στην Γροιλανδία συμπίπτουν με θερμές συνθήκες απομακρυσμένων περιοχών και αντίστροφα. Αρκετούς αιώνες αργότερα, το 1785, ο Δανός Hans Egedem έγραψε ότι στην Γροιλανδία, όλοι οι χειμώνες είναι ψυχροί αλλά διαφέρουν. Οι Δανοί είχαν παρατηρήσει ότι όταν ο χειμώνας στην Δανία ήταν ψυχρός, ο χειμώνας στην Γροιλανδία πιο ήπιος και αντίστροφα.

Αρκετές ακόμα παρατηρήσεις ακολούθησαν, με τον όρο «ατμοσφαιρική τηλεσύνδεση» να συναντάται για πρώτη φορά από τους Walker και Bliss το 1932, σε μία έρευνα τους σχετικά με την ανακάλυψη του North Pacific Oscillation, του North Atlantic Oscillation και του Southern Oscillation. Αργότερα, το 1966, ο Bjerknes αποδεικνύει ότι η μελέτη των Walker και Bliss για το Southern Oscillation, συνδέεται άμεσα με την SST του κεντρικού Ειρηνικού, με την ισχύ των αληγών ανέμων και του υποτροπικού αεροχειμάρρου και με την πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας πάνω από τον Βόρειο-Ανατολικό Ειρηνικό. Σε μία άλλη μελέτη ορόσημο, το 1981, οι Wallace και Gutzler ανακάλυψαν στο Βόρειο Ατλαντικό δύο μοτίβα, το Eastern Atlantic και το Western Atlantic. Μια ακόμη εκτεταμένη και συστηματική μελέτη για τις τηλεσυνδέσεις ήταν αυτή των Barnston και Livezey (1987). Εφάρμοσαν την μέθοδο Empirical Orthogonal Function Analysis στο γεωδυναμικό πεδίο ύψους 700 hPa για δεδομένα 35 ετών για όλους τους μήνες του έτους. Με αποτέλεσμα να βρουν παρόμοια μοτίβα με εκείνα που βρέθηκαν σε προηγούμενες μελέτες, με το NAO (North Atlantic Oscillation) να κυριαρχεί για τους περισσότερους μήνες και να ακολουθεί η PNA (Pacific North America) για τη χειμερινή περίοδο. Ακολούθως, οι Johnson και Feldstein (2010) παρατήρησαν ότι ένα σύνολο από μοτίβα Pacific North America υφίστανται αλλαγή στην συχνότητα τους με την φάση του ENSO (El Nino-Southern Oscillation). Πιο συγκεκριμένα, οι δύο φάσεις του Pacific North America

είναι ενεργές και κυμαίνονται στην χρονική κλίμακα των 7 έως 10 ημερών, κατά τη διάρκεια της θετικής φάσης ENSO, της ουδέτερης φάσης ENSO και της αρνητικής φάσης ENSO. Ωστόσο, η συχνότητα της θετικής φάσης του Pacific North Oscillation είναι μεγαλύτερη κατά την διάρκεια του El Nino και μικρότερη κατά την διάρκεια του La Nina, αντίστροφα για την αρνητική φάση του Pacific North Oscillation (Feldstein S. B. et al., 2017).

Η ατμοσφαιρική τηλεσύνδεση σχετίζεται με μεταβολές της θερμοκρασίας, του ανέμου και της βροχόπτωσης. Η παρουσία ράχης συνδέεται με υψηλότερες θερμοκρασίες. Αντιθέτως, η παρουσία αυλών με χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αυτές οι θερμοκρασιακές μεταβολές εκτείνονται κάθετα στο μεγαλύτερο τμήμα της τροπόσφαιρας. Οι σχέσεις της τηλεσύνδεσης με την θερμοκρασία, τον άνεμο και την βροχόπτωση περιπλέκονται από την αλληλεπίδραση των τηλεσυνδέσεων και των καταιγίδων συνοπτικής κλίμακας. Γεγονός που οφείλεται στο ότι οι τηλεσυνδέσεις αλλάζουν την πορεία που διαγράφουν οι καταιγίδες. Οι καταιγίδες συνοπτικής κλίμακας διαδίδονται προς τα Ανατολικά κατά μήκος της τροχιάς του αεροχειμάρρου, του οποίου η θέση μετατοπίζεται από το αντίστοιχο μοτίβο τηλεσύνδεσης. Οι καταιγίδες αυτές συνδέονται με ισχυρούς ανέμους, έντονα κατακρημνίσματα και μεταβολές της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια, που σχετίζεται με θερμό και ψυχρό μέτωπο. Σε μία δεδομένη τοποθεσία, η συχνότητα των καταιγίδων σε συνδυασμό με τις προαναφερόμενες μεταβολές μεταβάλλεται στην χρονική περίοδο των 1- 4 εβδομάδων όπου τα μοτίβα τηλεσύνδεσης είναι ενεργά (Feldstein S. B. et al., 2017).

2.2. Εφαρμογές ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης

Στη πρόβλεψη του καιρού, η ακρίβεια που παρουσιάζουν τα δελτία καιρού, με χρόνο ολοκλήρωσης από επτά μέχρι και δέκα ημέρες, είναι μεγαλύτερη από τα αντίστοιχα με χρόνο ολοκλήρωσης από έναν μέχρι και μερικούς μήνες. Με τα μοτίβα τηλεσύνδεσης όμως, η ακρίβεια που θα εμφανίσουν τα δελτία καιρού για τις επόμενες δέκα με τριάντα ημέρες γίνεται όλο και μεγαλύτερη.

Συμπληρωματικά, τα μοτίβα τηλεσύνδεσης συνδέονται και με την κλιματική αλλαγή και την παγκόσμια υπερθέρμανση του πλανήτη. Από μελέτες πρόκυψε ότι η αύξηση των θερμοκηπικών αερίων, που οδηγεί στην μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος και των θαλάσσιων πάγων, εκδηλώθηκε σε δεκαετείς μεταβολές στην συχνότητα εμφάνισης των ατμοσφαιρικών μοτίβων Southern Annular Mode (SAM) και Northern Annular Mode (NAM).

Αδιαμφισβήτητη είναι η επίδραση των τηλεσυνδέσεων και σε άλλους παραμέτρους. Λόγου χάρη, εκτός από την εφαρμογή στο κλίμα και στο καιρό, σχετίζονται με την μεταβλητότητα του θαλάσσιου πάγου στην Αρκτική και την Ανταρκτική, με τις μεγάλης κλίμακας ανωμαλίες της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας και με τις διακυμάνσεις της θερμόαλης κυκλοφορίας. Επιπρόσθετα, το NAO και το SAM συνδέονται με την μεταβλητότητα του στρατοσφαιρικού όζον. Οι επιπτώσεις τους είναι εμφανείς και στην βιόσφαιρα καθώς επηρεάζουν τα θαλάσσια και χερσαία

οικοσυστήματα. Για παράδειγμα, το πρότυπο NAO σχετίζεται με την περίοδο μετανάστευσης των πτηνών στην Βόρεια Ευρώπη, με τον πληθυσμό των πτηνών στις Ηνωμένες Πολιτείες, με τον πληθυσμό των ψαριών του Βόρειου Ατλαντικού, με το πλαγκτόν, με τον πληθυσμό των θηλαστικών στην Αρκτική καθώς και με την περίοδο άνθησης αρκετών ειδών φυτών (Steven B. Feldstein et al., 2017). Ενώ το πρότυπο τηλεσύνδεσης PNA σχετίζεται με τις δασικές πυρκαγιές στις Δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες και το SAM με τον πληθυσμό των πτηνών στην Ανταρκτική. Ακόμα, συνδέονται με την ανθρώπινη υγεία και την θνησιμότητα, καθώς με τις καιρικές και κλιματικές αλλαγές ευνοείται η εξάπλωση ιών. Επομένως, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η πλήρης κατανόηση της τηλεσύνδεσης είναι μεγάλης σημασίας.

2.3. Μέθοδοι ανάλυσης – εντοπισμού ατμοσφαιρικών τηλεσυνδέσεων

Κατά την διάρκεια των τελευταίων 100 ετών, τα μοτίβα τηλεσύνδεσης της ατμόσφαιρας έχουν ταυτοποιηθεί με διάφορες ατμοσφαιρικές μεταβλητές, όπως με την πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας ή με την επιφανειακή θερμοκρασία. Ως εκ τούτου, αρκετές τεχνικές έχουν υιοθετηθεί για τον εντοπισμό των μοτίβων, με τις πιο δημοφιλείς να είναι: (1) Correlation Analysis, (2) Principal Component Analysis ή αλλιώς Empirical Orthogonal Function Analysis, (3) Rotated Principal Component Analysis και (4) Cluster Analysis.

2.3.1. Correlation Analysis

Τα μοτίβα τηλεσύνδεσης μπορούν να εξαχθούν από την ανάλυση συσχέτισης (Correlation Analysis). Πρόκειται για την πιο ακριβή εμπειρική στατιστική τεχνική για τον εντοπισμό των ατμοσφαιρικών τηλεσυνδέσεων. Λαμβάνοντας υπόψιν ένα μετεωρολογικό πεδίο, όπως το γεωδυναμικό ύψος, το οποίο δηλώνει το ύψος από μία ισοβαρική επιφάνεια στην ατμόσφαιρα. Το γεωδυναμικό ύψος, ϕ , είναι συνάρτηση του γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους καθώς και του χρόνου. Η συσχέτιση του ύψους από δύο σημεία i και j δίνεται από τον τύπο:

$$H_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N \phi'_{i,k} \phi'_{j,k}}{\left(\sum_{k=1}^N \phi'^2_{i,k}\right)^{1/2} \left(\sum_{k=1}^N \phi'^2_{j,k}\right)^{1/2}}$$

Η παράμετρος H (correlation matrix) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός χάρτη τηλεσύνδεσης. Στην ανάλυση συσχέτισης, οι δύο πόλοι ορίζονται ως τα σημεία που παρουσιάζουν τη μέγιστη αρνητική ή θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους. Ωστόσο απαιτεί μεγάλο υπολογιστικό χρόνο, ενώ έχει αποδειχθεί ότι δεν εντοπίζει πάντα χωρικά τα πιο αντιπροσωπευτικά σημεία ως πόλους ή δεν απεικονίζει πάντα σωστά τη χρονική εξέλιξη τους. Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (Principal Component Analysis) ή αλλιώς ανάλυση των ορθογώνιων εμπειρικών συναρτήσεων (Empirical Orthogonal Function Analysis) μπορεί να παράγει τέτοιου είδους πληροφορία.

2.3.2. Principal Component Analysis / Empirical Orthogonal Function Analysis

Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (Principal Component Analysis) είναι από τις πιο διαδεδομένες στατιστικές μεθόδους στην κλιματολογία και την μετεωρολογία και συχνά αναφέρεται και ως ανάλυση των ορθογώνιων εμπειρικών συναρτήσεων (Empirical Orthogonal Function Analysis). Πρόκειται για μία μέθοδο καθορισμού της δομής της επαναλαμβανόμενης μεταβλητότητας.

Για παράδειγμα, θεωρούμε ένα σετ από χρονοσειρές, η καθεμία από τις οποίες αποτελείται από μηνιαίους μέσους όρους στα 500 mb ύψος ενός συνόλου από J μήνες. Η κάθε σειρά περιγράφει την μεταβλητότητα στα 500 mb ύψος σε ένα συγκεκριμένο σημείο του πλέγματος του εθνικού μετεωρολογικού κεντρικού δικτύου. Οι παρατηρήσεις ομαλοποιούνται αφαιρώντας τους μακροπρόθεσμους μέσους όρους από το κατάλληλο μηνιαίο πρόγραμμα και διαιρώντας την ανωμαλία από την κατάλληλη μηνιαία τυπική απόκλιση. Υπολογίζοντας τις ομαλοποιημένες ανωμαλίες με αυτόν τον τρόπο, εξαλείφεται ο εποχιακός κύκλος. Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες μετατρέπει το αρχικό σετ σε ένα καινούργιο σετ από χρονοσειρές ή κύριες συνιστώσες. Η μετατροπή αυτή καθορίζεται με βάση τις συσχετίσεις μεταξύ όλων των αρχικών ζευγών χρονοσειρών στα 500mb ύψος. Παρέχει τη δυνατότητα μείωσης της διάστασης ενός συνόλου μεταβλητών διατηρώντας παράλληλα τις περισσότερες από τις πληροφορίες που περιέχονται στις αρχικές μεταβλητές.

Επομένως, η μελέτη είναι πολύ απλοποιημένη, ειδικά για μεγάλο αριθμό παραμέτρων και μόνο εκείνες που αντιπροσωπεύουν ένα ευρύτερο σύνολο μπορούν να μελετηθούν. Τα μοτίβα που προκύπτουν από την μέθοδο αυτή είναι χωρικά και χρονικά ανεξάρτητα. Τέτοιου είδους μοτίβα λειτουργούν σαν βοηθητικά εργαλεία για την ανακάλυψη της προέλευσης και του κύριου μηχανισμού μεταβλητότητας.

2.3.3. Rotated Principal Component Analysis

Η στροφή των κύριων συνιστωσών (Rotated Principal Component Analysis) προτείνεται όταν κύριος σκοπός της μεθόδου είναι η φυσική ερμηνεία των μοτίβων και όχι η μείωση των δεδομένων. Με την μέθοδο αυτή, γίνεται γραμμική μεταφορά του "Unrotated" Principal Component Analysis. Σε αντίθεση με την μέθοδο Principal Component Analysis, επιτρέπει την συσχέτιση των κύριων συνιστωσών. Η διαδικασία αυτή τίθεται σε αμφισβήτηση από την επιστημονική κοινότητα. Οι υποστηρικτές της θεωρούν ότι οδηγεί σε σημαντικά φυσικά και στατιστικά μοτίβα αλλά και βελτιώνει και διευκολύνει την ερμηνεία τους. Επιπρόσθετα, υπάρχουν δύο κατηγορίες στροφής. Η ορθογώνια στροφή, η οποία διατηρεί τον ορθογώνιο περιορισμό, ακόμα και με την αλλαγή των σχέσεων μεταξύ των συνιστωσών και η πλάγια στροφή, στην οποία μπορεί να βρεθεί η κοινή διακύμανση μεταξύ τους.

Η μέθοδος Cluster Analysis είναι η λιγότερη διαδεδομένη για τον εντοπισμό ατμοσφαιρικών τηλεσυνδέσεων. Συνήθως πραγματοποιείται ομαδοποίηση k-means και ανάλυση με self-organizing map (SOM), με την τελευταία διαδικασία να γίνεται όλο και πιο δημοφιλής την τελευταία δεκαετία. Με την ανάλυση με self-organizing map (SOM), τα μοτίβα που προκύπτουν είναι πιο ρεαλιστικά από εκείνα που προκύπτουν από την μέθοδο, Rotated Principal Component Analysis. Τα μοτίβα οργανώνονται σε ένα πλέγμα, όπου τα πιο παρόμοια βρίσκονται κοντά και σε κάθε μοτίβο αποδίδεται μια συχνότητα εμφάνισης. Η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη για την ομαδοποίηση περιοχών, που χαρακτηρίζονται με παρόμοιες καιρικές και κλιματικές συνθήκες.

2.4. Χρονική κλίμακα μοτίβων τηλεσύνδεσης

Οι περισσότερες έρευνες των τηλεσυνδέσεων επικεντρώνονταν κυρίως στα χωρικά χαρακτηριστικά τους, παρά στην χρονική μεταβλητότητα τους. Τα μοτίβα των τηλεσυνδέσεων έχουν σταθερή χωρική δομή για τουλάχιστον ένα μήνα. Ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την χρονική κλίμακα. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι τύποι μεγάλης χρονικής κλίμακας, των οποίων η περίοδος διαρκεί περισσότερο από τριάντα ημέρες και στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι τύποι ενδιάμεσης χρονικής κλίμακας, των οποίων η περίοδος διαρκεί δέκα με τριάντα ημέρες (Κερασιλίδου Μ. Π., 2020). Έτσι, πραγματοποιήθηκαν έρευνες με την χρήση μέσων μηνιαίων ή εποχιακών δεδομένων, από τις οποίες αποδείχθηκε ότι τα μοτίβα έχουν μία χρονική κλίμακα ελαφρώς μεγαλύτερη από εκείνη που σχετίζεται με τα καθημερινά καιρικά φαινόμενα και ότι τα μοτίβα δεν εξαρτώνται απαραίτητα από την επιβολή των ορίων (boundary forcing). Η χρονική κλίμακα διαφέρει από μοτίβο σε μοτίβο. Για παράδειγμα, η χρονική κλίμακα του El Nino, Southern Oscillation κυμαίνεται από μερικούς μήνες μέχρι και λίγα χρόνια. Αντίθετα, το North Atlantic Oscillation έχει μικρότερη κλίμακα, μεταξύ ημερών με εβδομάδες. Ενώ υπάρχουν και μοτίβα τηλεσύνδεσης με χρονικές κλίμακες δεκαετιών, όπως συμβαίνει στο Pacific Decadal Oscillation.

2.5. Χάρτες τηλεσύνδεσης

Οι χάρτες τηλεσύνδεσης παρέχουν πληροφορίες για την δομή της επαναλαμβανόμενης μεταβλητότητας του κλίματος. Αρχικά, κατασκευάστηκαν από μετεωρολογικές παραμέτρους, οι οποίες υπολογίστηκαν στην επιφάνεια της Γης, όπως η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία και τα κατακρημνίσματα. Η στατιστική συσχέτιση των διακυμάνσεων παρέχει ένα μέτρο της ισχύς της τηλεσύνδεσης. Η ισχύς και η δομή της οποίας μεταβάλλονται ανάλογα την εποχή, το υψόμετρο, την επιλογή της μεταβλητότητας και τον προσωρινό μέσο όρο των δεδομένων.

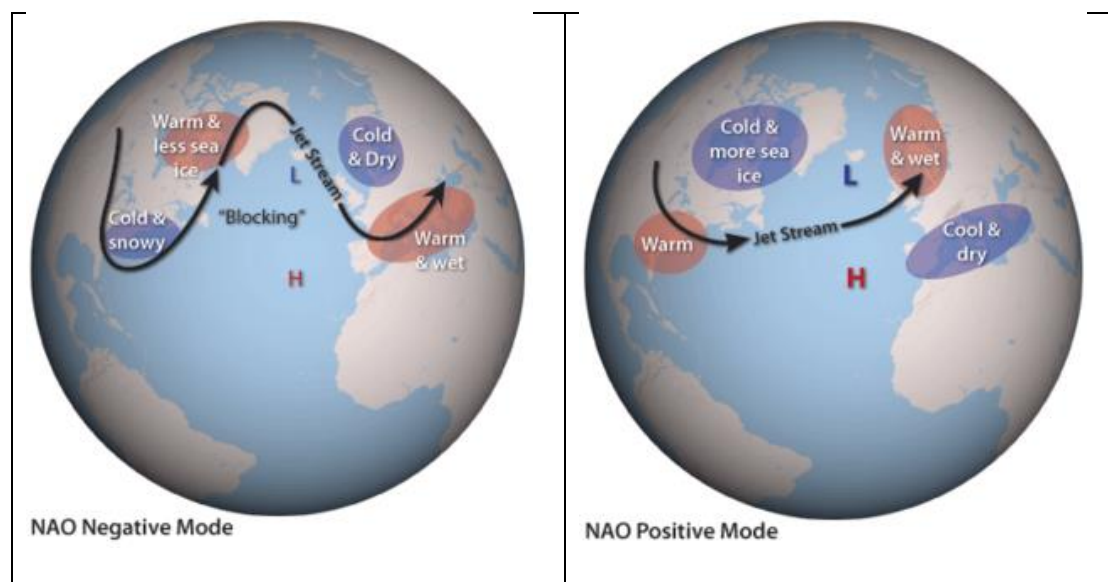
Για παράδειγμα, ένας χάρτης τηλεσύνδεσης μπορεί να απεικονίζει την συσχέτιση μεταξύ της επιφανειακής θερμοκρασίας στον Ειρηνικό Ωκεανό και της βροχόπτωσης στην Νότια Αμερική, επισημαίνοντας την επίδραση του El Nino στο καιρό και στο

κλίμα της αντίστοιχης περιοχής. Σε άλλη περίπτωση, μπορεί να απεικονίζει την συσχέτιση μεταξύ της ατμοσφαιρικής πίεσης στον Βόρειο Ατλαντικό και των θερμοκρασιών στην Ευρώπη, επισημαίνοντας την επίδραση του North Atlantic Oscillation στο καιρό και στο κλίμα της Ευρώπης. Οι χάρτες τηλεσυνδέσεων αποτελούν χρήσιμα εργαλεία για την κατανόηση των μηχανισμών και των επιδράσεων των τηλεσυνδέσεων στη μεταβλητότητα του καιρού και του κλίματος, καθώς και για την πρόβλεψη και την προετοιμασία για ακραία καιρικά φαινόμενα. Μπορούν επίσης να βοηθήσουν στον εντοπισμό των περιοχών που είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στα καιρικά και κλιματικά φαινόμενα που προκαλούνται από τις τηλεσυνδέσεις.

2.6. Τύποι Ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης

Τα πιο διαδεδομένα μοτίβα ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης του Βόρειου Ημισφαιρίου είναι το North Atlantic Oscillation (NAO), το Northern Annular Mode ή αλλιώς Arctic Oscillation (NAM/AO) και το Pacific North American (PNA). Στο Νότιο ημισφαίριο, κυρίαρχα μοτίβα ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης είναι το Southern Annular Mode (SAM), το El Nino Southern Oscillation (ENSO).

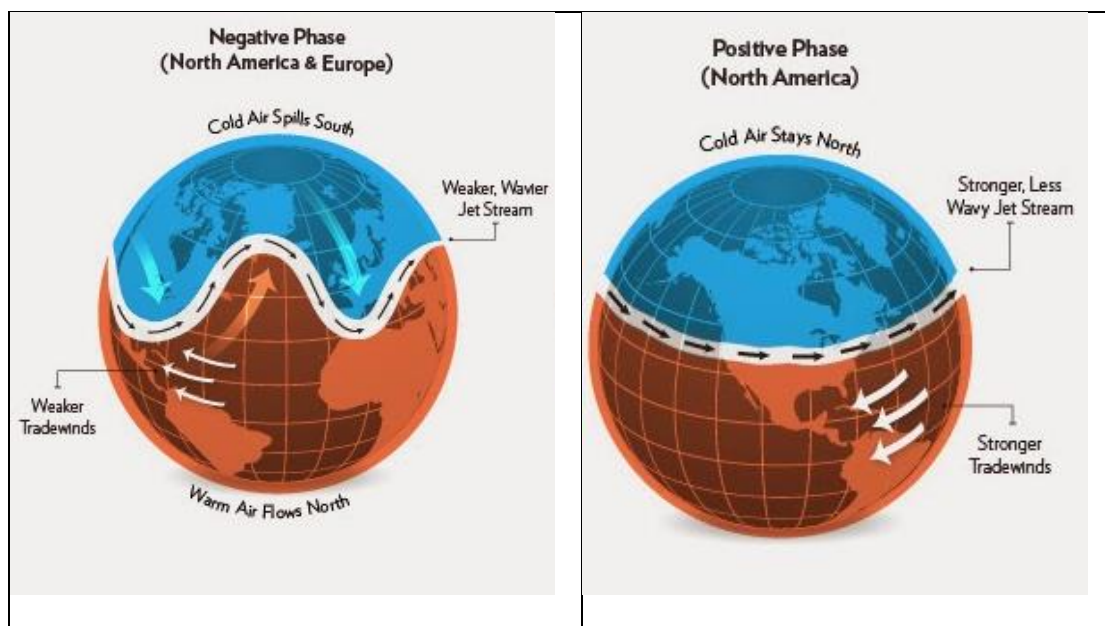
Το μοτίβο του NAO, το οποίο αναλύεται περαιτέρω στο κεφάλαιο 4, διαμορφώνεται από δύο κέντρα δράσης του Βόρειου Ατλαντικού, δηλαδή του αντικυκλώνα των Αζορών και του χαμηλού της Ισλανδίας και διακρίνεται σε δύο φάσεις, την θετική και την αρνητική. Κατά την πρώτη περίπτωση, παρατηρείται μεγαλύτερη βαροβαθμίδα ανάμεσα στα δύο κέντρα δράσης, ενώ στην δεύτερη περίπτωση μικρότερη βαροβαθμίδα ανάμεσα στα δύο κέντρα δράσης.



Εικόνα 2.1 Η αρνητική και θετική φάση του North Atlantic Oscillation (https://www.climate.gov/sites/default/files/NAO_Schematic_0.png).

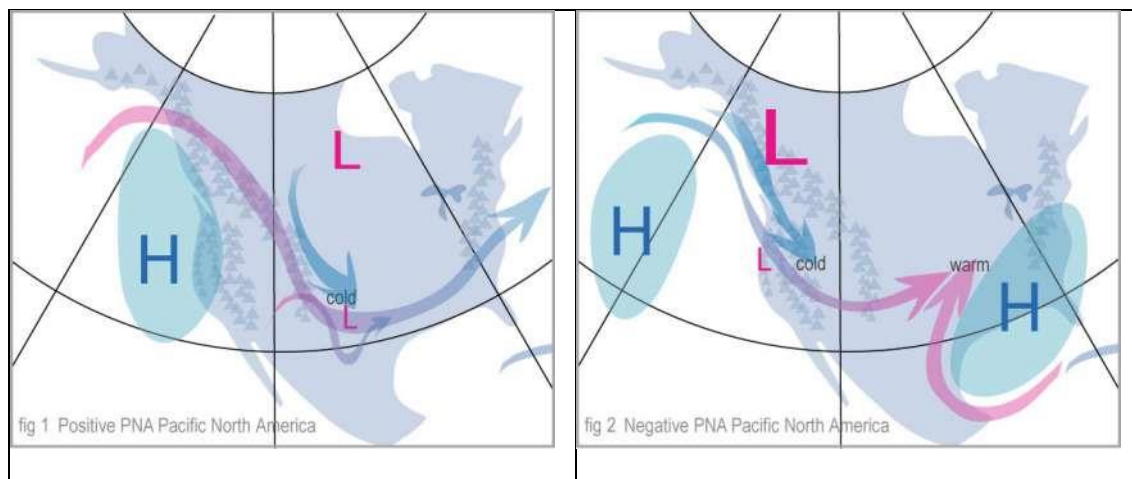
Το μοτίβο του NAM/AO, το οποίο μοιάζει με το προαναφερόμενο, χαρακτηρίζεται από την δεξιόστροφη κυκλοφορία ανέμων γύρω από την Αρκτική, σε γεωγραφικό πλάτος 55° Βόρεια. Κατά την θετική φάση του δείκτη, σχηματίζεται δακτύλιος ισχυρών ανέμων γύρω από τον Βόρειο Πόλο, που περιβάλλει ψυχρότερη αέρια μάζα

στον Βόρειο Πόλο. Οι άνεμοι γύρω από τον Βόρειο Πόλο γίνονται ασθενέστεροι κατά την αρνητική φάση του δείκτη, με αποτέλεσμα την διείσδυση προς τα Νότια ψυχρών και αρκτικών αέριων μαζών και την αύξηση των καταιγίδων στα μέσα γεωγραφικά πλάτη.



Εικόνα 2.2 Η αρνητική και θετική φάση του Northern Annular Mode ή Arctic Oscillation (<https://images.app.goo.gl/C8TUm2Viqlw33Ncq6>).

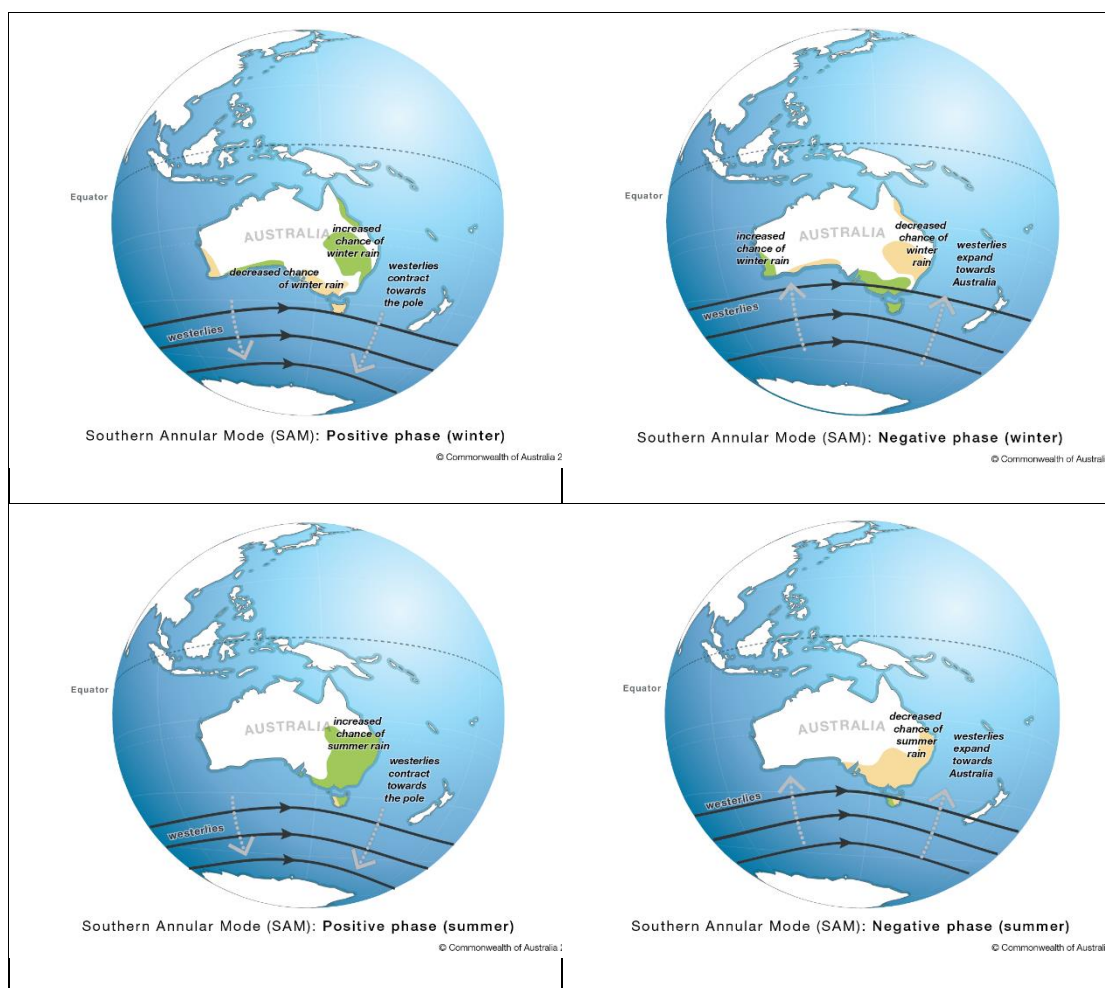
Το μοτίβο του PNA διαμορφώνεται από τέσσερα κέντρα δράσης, το χαμηλό των Αλεούτιων στον Βόρειο Ειρηνικό και της Νότιο-Ανατολικής Αμερικής, τον αντικυκλώνα του Βόρειου Καναδά και του Βόρειου Ειρηνικού. Το μοτίβο του PNA εμφανίζεται καθ' όλη την διάρκεια του έτους εκτός από τον Ιούνιο και τον Ιούλιο. Την περίοδο του χειμώνα, το κέντρο των Αλεούτιων εκτείνεται στα Βόρεια γεωγραφικά πλάτη του Βόρειου Ειρηνικού. Την άνοιξη, περιορίζεται στον κόλπο της Αλάσκας. Ωστόσο, ο αντικυκλώνας του Βόρειου Ειρηνικού πετυχαίνει το μέγιστο πλάτος του, την άνοιξη. Η θετική φάση του δείκτη χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες πιέσεις στο χαμηλό των Αλεούτιων και στις Νότιο-Δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες ενώ η αρνητική φάση χαρακτηρίζεται από υψηλότερες πιέσεις.



2.3 Η θετική και αρνητική φάση του Pacific North

(America <https://images.app.goo.gl/kWkQaorkqURHKFTv6>).

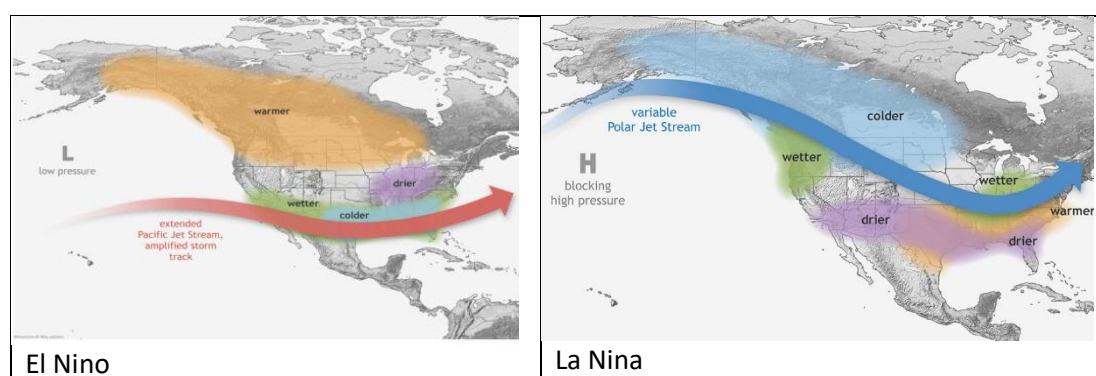
Το μοτίβο του SAM είναι το αντίστοιχο NAM του Νότιου Ημισφαιρίου, καθώς και τα δύο χαρακτηρίζονται από ζωνική συμμετρία με την διαφορά ότι προκαλούν αντίθετα αποτελέσματα στα μεσαία και υψηλά γεωγραφικά πλάτη. Το μοτίβο του SAM χαρακτηρίζεται από την Βορρά-Νότου κίνηση ισχυρών, δυτικών ανέμων που πνέουν στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη του Νότιου Ημισφαιρίου. Το μοτίβο του SAM επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις στην Αυστραλία. Επιπρόσθετα, διακρίνεται σε τρεις φάσεις, θετική, αρνητική και ουδέτερη. Η θετική και η αρνητική φάση του δείκτη διαρκούν συνήθως μία με δύο εβδομάδες, σπανιότερα μπορούν να διαρκέσουν και μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Το φθινόπωρο και το χειμώνα, η Βόρεια και κεντρική Αυστραλία εμφανίζει ακραίες θερμοκρασίες κατά την αρνητική φάση του δείκτη. Ενώ το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στην Νότια Αυστραλία, την άνοιξη.



Εικόνα 2.4 Η θετική και αρνητική φάση του Southern Annular Mode

(<http://www.bom.gov.au/climate/about/australian-climate-influences/images/sam-summer-positive.png>).

Το μοτίβο του ENSO διαμορφώνεται από την αλληλεπίδραση της ατμόσφαιρας με την ωκεάνια επιφάνεια από την Ανατολική Αυστραλία μέχρι την Νότιο-Δυτική Αμερική. Το ENSO επηρεάζει το κλίμα και τον καιρό στις Ηνωμένες Πολιτείες καθώς και σε άλλα μέρη του κόσμου. Το ENSO διακρίνεται σε τρεις φάσεις, το El Nino, την La Nina και την ουδέτερη φάση. Το El Nino χαρακτηρίζεται από αύξηση των κατακρημνισμάτων και της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας στον κεντρικό, ανατολικό και τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό. Ενώ στην Ινδονησία, οι βροχοπτώσεις μειώνονται. Η La Nina διακρίνεται από μείωση των κατακρημνισμάτων και της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας στον κεντρικό, ανατολικό και τροπικό Ειρηνικό ωκεανό. Ενώ στην Ινδονησία, τα κατακρημνίσματα αυξάνονται. Κατά την ουδέτερη φάση του ENSO, οι θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας στον τροπικό Ειρηνικό είναι περίπου ίσες με το μέσο όρο θερμοκρασιών.



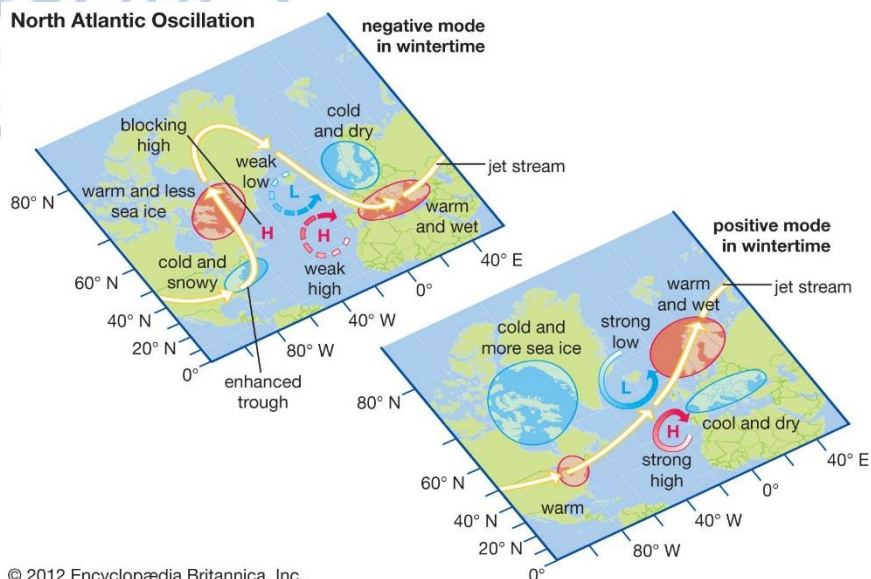
Εικόνα 2.5 Η φάση El Nino και La Nina του El Nino-Southern Oscillation (<https://oceanservice.noaa.gov/facts/elnino.jpg>).

Οι τύποι ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης δεν περιορίζονται στους προαναφερόμενους. Αντιθέτως, εξίσου σημαντικοί τύποι ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης είναι και ο Scandinavia Pattern, ο Polar/ Eurasia Pattern, ο East Atlantic-Western Russia/ Eurasia-2, ο East-Atlantic Pattern, ο West Pacific Pattern, ο Madden-Julian Oscillation, ο North Sea-Caspian Pattern, ο Antarctic Oscillation, ο Tropical/ Northern Hemisphere, ο Mediterranean Oscillation, ο East Mediterranean Pattern και ο Pacific Transition Pattern. Καθένας από τους τύπους ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης μεταβάλλει το κλίμα και τον καιρό της περιοχής που δημιουργείται καθώς και της ευρύτερης περιοχής και περιοχών που πιθανόν είναι σημαντικά απομακρυσμένες. Παρά όλα αυτά, η δοθείσα εργασία επικεντρώνεται στο North Atlantic Oscillation.

3.1. Εισαγωγή

Η σπουδαιότητα του North Atlantic Oscillation (NAO), ως ένα από τα σημαντικότερα μοντέλα ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης, είναι αδιαμφισβήτητη. Καθώς σχετίζεται άρρηκτα με το κλίμα και τον καιρό της Ευρώπης, με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία σε ημισφαιρική κλίμακα, με την παγκόσμια υπερθέρμανση και την στρατοσφαιρική και ωκεάνια κυκλοφορία. Ο δείκτης του North Atlantic Oscillation ορίζεται ως η διαφορά πίεσης της επιφάνειας της θάλασσας μεταξύ δύο μόνιμων κέντρων δράσης. Δηλαδή μεταξύ του αντικυκλώνα των Αζορών στην υποτροπική ζώνη (30°) και του χαμηλού της Ισλανδίας στην υποπολική ζώνη ($55-60^\circ$).

Το φαινόμενο του NAO διακρίνεται σε δύο φάσεις, την θετική, η οποία χαρακτηρίζεται από αντικυκλωνική ροή με ΝΔ-ΒΑ κατεύθυνση και την αρνητική φάση, η οποία χαρακτηρίζεται από κυκλωνική ροή με ΒΔ-ΝΑ κατεύθυνση. Κατά την πρώτη φάση, η διαφορά πίεσης ανάμεσα στα δύο μόνιμα κέντρα δράσης είναι μεγαλύτερη από την φυσιολογική τιμή στον κεντρικό, Βόρειο Ατλαντικό, στις Ανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες και στην Δυτική Ευρώπη. Ενώ, η διαφορά πίεσης είναι μικρότερη από την φυσιολογική τιμή στα υψηλά γεωγραφικά πλάτη του Βόρειου Ατλαντικού. Κατά την αρνητική φάση του δείκτη, η διαφορά πίεσης ανάμεσα στα δύο μόνιμα κέντρα δράσης είναι μικρότερη από την φυσιολογική τιμή στον κεντρικό, Βόρειο Ατλαντικό, στις Ανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες και στην Δυτική Ευρώπη. Αντιθέτως, η διαφορά πίεσης είναι μεγαλύτερη από την φυσιολογική τιμή στα υψηλά γεωγραφικά πλάτη του Βόρειου Ατλαντικού. Ωστόσο και η θετική και η αρνητική φάση του NAO σχετίζονται με ευρείες αλλαγές της έντασης και της θέσης του αεροχειμάρρου του Βόρειου Ατλαντικού και της διαδρομής που ακολουθούν οι καταιγίδες καθώς και με μεγάλης κλίμακας τροποποιήσεις των μοτίβων οριζόντιας και κατακόρυφης μεταφοράς θερμότητας και υγρασίας. Σε περίπτωση ισχυρής θετικής (αρνητικής) φάσης του NAO, παρατηρούνται θερμοκρασίες υψηλότερες (χαμηλότερες) του μέσου όρου στις Ανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες και στην Βόρεια Ευρώπη και χαμηλότερες (υψηλότερες) στην Γροιλανδία και συχνά στην Νότια Ευρώπη και στην Μέση Ανατολή. Παράλληλα παρατηρείται αύξηση (μείωση) των κατακρημνισμάτων στην Βόρεια Ευρώπη και στην Σκανδιναβία και μείωση (αύξηση) στην Νότια και κεντρική Ευρώπη. Κατά τη διάρκεια μίας συγκεκριμένης φάσης του δείκτη NAO για μεγάλο χρονικό διάστημα, οι ανωμαλίες των θερμοκρασιών επεκτείνονται μέχρι την κεντρική Ρωσία και την Βόρεια, κεντρική Σιβηρία.



Εικόνα 3.1 Ατμοσφαιρική πίεση κατά την αρνητική και θετική φάση του North Atlantic Oscillation (<https://images.app.goo.gl/aUd1AABBH6dnAoL19>).

Οι πρώτοι που αναγνώρισαν το φαινόμενο του NAO ήταν οι Walker και Bliss. Ο Walker κατάφερε να ομαδοποιήσει τις παγκόσμιες κλιματικές μεταβολές σε αρκετά διακριτά μοτίβα. Στην πρώτη του μελέτη για το παγκόσμιο κλίμα, που δημοσιεύτηκε το 1923, αναφέρονταν: «Μεταξύ του Ειρηνικού και του Ινδικού ωκεανού, παρατηρείται κίνηση πίεσης μεγάλης κλίμακας. Μεταξύ των Αζορών και της Ισλανδίας και μεταξύ περιοχών υψηλής και χαμηλής πίεσης στον Βόρειο Ειρηνικό, παρατηρείται κίνηση πίεσης πολύ μικρότερης κλίμακας. Να επισημανθεί ότι το υψηλό βαρομετρικό, στις δύο προαναφερόμενες περιοχές, ενισχύεται όταν η πίεση στον Ειρηνικό αυξάνεται και στον Ινδικό μειώνεται».



Εικόνα 3.2 Φωτογραφία του Gilbert Thomas Walker (<https://images.app.goo.gl/u39MowMk9WSMh7KS6>).

Οι Walker και Bliss υποστήριζαν ότι τα μοτίβα τηλεσύνδεσης της επιφανειακής θερμοκρασίας και της πίεσης της επιφάνειας της θάλασσας ήταν ένδειξη ενός μοναδικού φαινομένου, που αποκάλεσαν North Atlantic Oscillation. Έτσι, όρισαν ένα δείκτη αποτελούμενο από τον γραμμικό συνδυασμό δεδομένων της επιφανειακής

θερμοκρασίας και της πίεσης της θάλασσας από επιλεγμένους σταθμούς. Ο δείκτης τους δίνονταν από τον τύπο:

$$P_{\text{Vienna}} + 0.7P_{\text{Bermuda}} + P_{\text{Stykkisholmur}} + P_{\text{Ivigtut}} + \\ T_{\text{Bodö}} + T_{\text{Stornoway}} + 0.7(T_{\text{Hatteras}} + T_{\text{Washington}}) / 2 \\ - 0.7T_{\text{Godthaab}}$$

Όπου το P αντιπροσωπεύει την πίεση του επιφανειακού ανέμου και το T την θερμοκρασία του επιφανειακού ανέμου τον χειμώνα για την χρονική περίοδο Δεκεμβρίου - Φεβρουαρίου.

Η θετική τιμή του δείκτη αυτού συνεπάγεται με ισχυρό χαμηλό της Ισλανδίας, υψηλή πίεση κατά μήκος των 40°B, ισχυρούς δυτικούς ανέμους που διασχίζουν τον Βόρειο Ατλαντικό, χαμηλότερες θερμοκρασίες στην Γροιλανδία και την Μέση Ανατολή, υψηλότερες θερμοκρασίες στην Ανατολική Αμερική και την Βόρειο-Δυτική Ευρώπη. Ενώ, κατά την αρνητική τιμή του δείκτη πραγματοποιούνται τα αντίθετα των προαναφερόμενων. Οι Walker και Bliss υπέδειξαν ότι οι παραπάνω σχέσεις συνάδουν με τις ιδιότητες της δυναμικής. Το χαμηλό της Ισλανδίας πρέπει να είναι ευνοϊκό για να συντελέσει στην ενίσχυση της ψυχρής σύγκλισης πάνω από την περιοχή της Γροιλανδίας και του Labrador και της Νότιο-Δυτικής ροής του ήπιου, θαλάσσιου ανέμου πάνω από την Βόρειο-Δυτική Ευρώπη. Οι αντίστοιχες θετικές ανωμαλίες της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη πάνω από τον Ατλαντικό και την Μεσόγειο, θα πρέπει να συνοδεύονται από Βόρεια ροή ανέμου και θερμή σύγκλιση πάνω από την Ανατολική Αμερική. Αντιθέτως, στη Μέση Ανατολή θα επικρατήσουν οι αντίθετες συνθήκες.

Τα αποδεικτικά στοιχεία που παρουσίασαν οι Walker και Bliss τέθηκαν υπό αμφισβήτηση, διότι οι σχέσεις που περιέγραψαν ενσωματώνονται στα μοτίβα τηλεσύνδεσης τους, καθώς ο δείκτης NAO περιλαμβάνει τουλάχιστον εννέα διαφορετικές χρονοσειρές. Αργότερα το 1978, οι Van Loon και Rogers προτείνουν μία εναλλακτική μέθοδο, πιο αξιόπιστη, λόγω του ότι ο δείκτης βασίζεται αποκλειστικά στην διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της Γροιλανδίας και της Νορβηγίας. Οι υπόλοιπες σχέσεις προκύπτουν από την σύνθεση και την συσχέτιση τους σε μετεωρολογικούς χάρτες. Παράλληλα, τα αποτελέσματα τους βασίζονται σε δεδομένα από σαράντα έξι χειμώνες (1931-1976), τα οποία δεν ήταν διαθέσιμα στους Walker και Bliss. Με την μέθοδο αυτή, προέκυψε το συμπέρασμα ότι όταν οι χειμώνες είναι πιο ψυχροί στην περιοχή της Γροιλανδίας και του Labrador και πιο θερμοί στην Βόρειο-Δυτική Ευρώπη, χαρακτηρίζονται από πιο ισχυρό χαμηλό της Ισλανδίας και θετικές ανωμαλίες της πίεσης της επιφάνεια της θάλασσας στα μέσα γεωγραφικά πλάτη στον κεντρικό Βόρειο Ειρηνικό. Με βάση τα παραπάνω έγινε αντιληπτό ότι οι μετρήσεις από την διαφορά των πιέσεων μεταξύ των κέντρων του χαμηλού της Ισλανδίας και των Αλεούτιων μπορούσαν να αποτελέσουν δείκτη του NAO.

3.2. Μηχανισμοί του NAO

Λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση του NAO στο κλίμα, στην οικονομία και στα οικοσυστήματα του Βόρειου ημισφαιρίου, η κατανόηση των μηχανισμών που καθορίζουν την δομή και την μεταβλητότητα της είναι κρίσιμη. Οι αλλαγές φάσης ανά μήνα ή ανά έτος και του εύρους του NAO είναι απρόβλεπτες. Ωστόσο, εξωτερικές δυνάμεις μπορούν να επιδράσουν στην ατμόσφαιρα, καθορίζοντας την τιμή του NAO. Έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη διάφορων μηχανισμών, που μπορούν να επηρεάσουν το φαινόμενο του NAO. Οι αλλαγές του βαθμού και της θέσης του καύσωνα στην τροπική ζώνη, μπορούν να επηρεάσουν την ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από τον Βόρειο Ατλαντικό, επομένως και το NAO. Επιπρόσθετα, η θέρμανση των ωκεανών της τροπικής ζώνης είναι ασυμβίβαστη με την φυσική μεταβλητότητα του κλίματος. Συνεπώς, θα μπορούσε να προβλεφθεί το φαινόμενο του NAO, που οφείλεται στην κλιματική αλλαγή λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Τα περισσότερα κλιματικά μοντέλα προσομοιώνουν μία αυξανόμενη τάση του δείκτη NAO μέχρι το πέρας του 21ου αιώνα, με αντίστοιχες μετατοπίσεις του καιρού και του κλίματος. Ακόμα, ο μηχανισμός των αλληλεπιδράσεων στην κάτω στρατόσφαιρα μπορεί να επηρεάσει την σύνθεση της ατμόσφαιρας στο φαινόμενο του NAO. Λόγω της μεγάλης χρονικής κλίμακας της μεταβλητότητας της κυκλοφορίας της στρατόσφαιρας, η αλληλεπίδραση μεταξύ στρατόσφαιρας και τροπόσφαιρας μπορούν να αποτελέσουν εργαλείο πρόβλεψης του NAO.

3.3. Συσχετισμός της ροής του ανέμου με τις επιφανειακές θερμοκρασίες

Το North Atlantic Oscillation αναφέρεται στις μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ της Αρκτικής και του υποτροπικού Ατλαντικού. Αν και είναι εμφανής καθ' όλη την διάρκεια του έτους στο Βόρειο ημισφαίριο, οι κλιματικές ανωμαλίες του που σχετίζονται μαζί του είναι μεγαλύτερες κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν η ατμόσφαιρα είναι πιο δυναμικά ενεργή. Οι μεταβολές του δείκτη NAO επιφέρουν αλλαγές στην ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων πάνω από τον Ατλαντικό ωκεανό, οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά την μεταφορά θερμότητας και υγρασίας.

Κατά την διάρκεια των χειμερινών περιόδων με θετικό δείκτη NAO, η ενισχυμένη δυτική ροή μεταφέρει πάνω από τον Βόρειο Ατλαντικό θερμό και υγρό άνεμο στο μεγαλύτερο τμήμα της Ευρώπης και της Ασίας. Ενώ, πιο ισχυροί Βόρειοι άνεμοι μεταφέρουν ψυχρό άνεμο προς τα Νότια και μειώνουν τις επιφανειακές θερμοκρασίες στο Βόρειο-Δυτικό Ατλαντικό. Συγχρόνως, σημαντικές μεταβολές παρατηρούνται και στις θερμοκρασίες πάνω από την Βόρεια Αφρική, την Μέση Ανατολή καθώς και την Βόρεια Αμερική, οι οποίες σχετίζονται με ισχυρή δεξιόστροφη ροή γύρω από το υψηλής πίεσης κέντρο δράσης στον υποτροπικό Ατλαντικό. Το προαναφερόμενο μοτίβο θερμοκρασιών είναι σπουδαίας σημασίας. Λόγω του ότι η θερμοχωρητικότητα των ωκεανών είναι αρκετά μεγαλύτερη από των ηπείρων, ακόμα υψηλότερες είναι και οι μεταβολές των θερμοκρασιών της επιφάνειας των ηπείρων από των ωκεανών, με αποτέλεσμα την επικράτηση του μέσου όρου θερμοκρασίας του Βόρειου ημισφαιρίου. Λαμβάνοντας υπόψη το δείκτη του NAO στην Ευρασία από τον Ατλαντικό μέχρι τον Ειρηνικό, παρατηρείται ότι η

μεταβλητότητα του δείκτη αναφέρεται στο 1/3 των ετήσιων μεταβολών της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας του Βόρειου Ημισφαιρίου τον χειμώνα. Επιπλέον, οι μακροπρόθεσμες αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία, που συνδέονται με το NAO, αποτελούν τις τελευταίες δεκαετίες προειδοποίηση χειμερινής θέρμανσης στο Βόρειο ημισφαίριο.

3.4. Επιπτώσεις του NAO

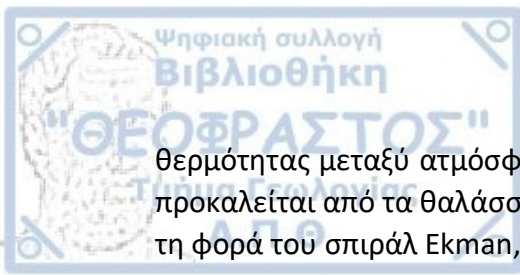
Κεφαλαιώδης είναι η επίδραση του North Atlantic Oscillation στις θερμοκρασίες κατά το χρονικό διάστημα του χειμώνα στο Βόρειο ημισφαίριο. Επιπλέον, η ταχύτητα του ανέμου και η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας σε μεγάλη έκταση του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού, της Βόρειας Αμερικής, της Αρκτικής, της Ευρασίας και της Μεσογείου σχετίζονται με την μεταβλητότητα του NAO. Οι παραπάνω μεταβολές μαζί με αυτές των κατακρημνισμάτων, των καταιγίδων, της θερμοκρασίας των ωκεανών, των θαλάσσιων ρευμάτων και του παγοκαλύμματος της θάλασσας επιδρούν σημαντικά στις ανθρώπινες δραστηριότητες καθώς και στα θαλάσσια και χερσαία οικοσυστήματα. Οι μεταβολές στα μοτίβα του Βόρειου Ατλαντικού που σχετίζονται με το NAO, συνοδεύονται από αλλαγές στην ένταση και στον αριθμό των καταιγίδων και στον καιρό τους.

3.4.1. Καταιγίδες και κατακρημνίσματα

Κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, οι χειμώνες χαρακτηρίζονται από Βόρειο-Ανατολική μετατόπιση της δραστηριότητας των καταιγίδων στον Ατλαντικό, με ενισχυμένη δραστηριότητα από το Καναδά (Newfoundland) έως την Βόρεια Ευρώπη και με μείωση της δραστηριότητας προς τα Νότια. Κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, οι χειμώνες διακρίνονται από έντονες και συχνές καταιγίδες στην περιοχή της Ισλανδίας και της θάλασσας της Νορβηγίας. Αξιοσημείωτη είναι και η επίδραση του NAO στους ωκεανούς. Ειδικότερα, την δεκαετία του 1990, που επικράτησε κυρίως η θετική φάση του δείκτη NAO, παρατηρήθηκε αύξηση του ύψους των κυμάτων πάνω από τον Βόρειο-Ανατολικό Ατλαντικό και μείωση Νότια των 40°N. Οι μεταβολές τους ύψους των κυμάτων μπορούν να επιφέρουν συνέπειες στη περιφερειακή οικολογία, στη λειτουργία και την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας ακόμη και σε δραστηριότητες που πραγματοποιούνται κοντά στην θάλασσα, όπως η εξόριση πετρελαίου. Ταυτόχρονα, πιο ξηρές συνθήκες σημειώνονται στην Νότια και κεντρική Ευρώπη, στην Μεσόγειο και σε περιοχές της Μέσης Ανατολής, ενώ περισσότερες βροχοπτώσεις σημειώνονται από την Ισλανδία μέχρι την Σκανδιναβία (Hurrell J. W. et al., 2010).

3.4.2. Θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας

Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η συσχέτιση της ισχύς του NAO με τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST). Κατά την διάρκεια του χειμώνα, το κυρίαρχο μοτίβο μεταβλητότητας του SST αποτελείται από μία ψυχρή ανωμαλία στην υποπολική περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού, μία θερμή ανωμαλία στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, στο κέντρο του Cape-Hatteras και μία ψυχρή ανωμαλία στην υποτροπική ανωμαλία μεταξύ του ισημερινού και των 30° Βόρεια. Το μοτίβο αυτό υποδηλώνει ότι οι ανωμαλίες του SST οφείλονται στις διακυμάνσεις των ανταλλαγών



θερμότητας μεταξύ ατμόσφαιρας και θάλασσας και του επιφανειακού ανέμου, που προκαλείται από τα θαλάσσια ρεύματα και τη θαλάσσια κυκλοφορία που ακολουθεί τη φορά του σπινάλ Ekman, που σχετίζονται με το NAO (Hurrell J. W. et al., 2010).

3.4.3. Θαλάσσιος πάγος

Στο μοτίβο μεταβλητότητας των πάγων της Αρκτικής, κατά την διάρκεια του χειμώνα, εμφανίζει αυξομειώσεις της έκτασης των πάγων μεταξύ της θάλασσας Labrador και της Γροιλανδίας. Ταυτόχρονα, οι διακυμάνσεις της έκτασης των πάγων σχετίζονται με τις μεταβολές της πίεσης της επιφάνειας της θάλασσας, που είναι όμοιες με του NAO. Κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, ο θαλάσσιος πάγος της θάλασσας Labrador εκτείνεται προς τα Νότια. Αντιθέτως, ο θαλάσσιος πάγος της θάλασσας της Γροιλανδίας εκτείνεται προς τα Βόρεια. Αποδεικνύεται λοιπόν, η επίδραση της ατμόσφαιρας στον θαλάσσιο πάγο, είτε δυναμικά λόγω του ανέμου, είτε θερμοδυναμικά λόγω της θερμοκρασίας του αέρα. Επομένως, η σχέση μεταξύ του δείκτη NAO και του δείκτη παγοκαλύμματος Βόρειου Ατλαντικού είναι ισχυρή (Hurrell, J. W. et al., 2010).

3.5. Επιδράσεις του NAO στο Βόρειο Ημισφαίριο

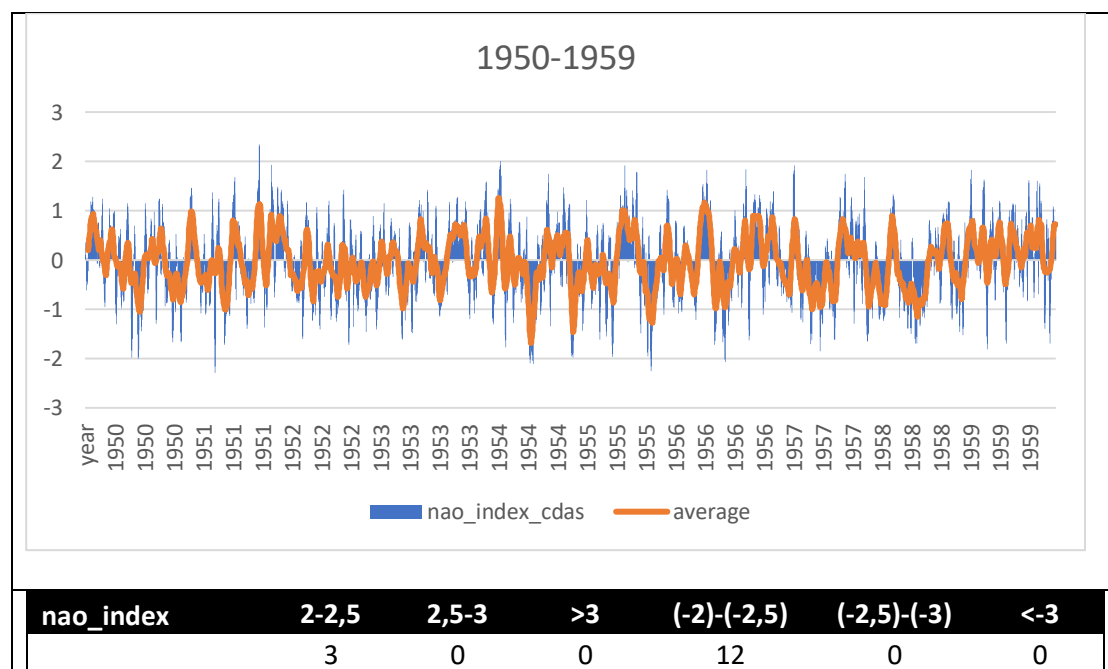
Οι επιπτώσεις του NAO είναι εμφανείς στο κλίμα στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη του Βόρειου Ημισφαιρίου καθώς και στα θαλάσσια και χερσαία οικοσυστήματα. Έχουν παρατηρηθεί πιο ήπιοι χειμώνες στην Ευρώπη και στην Ασία και πιο ψυχροί στον Ανατολικό Καναδά και στον Βόρειο-Δυτικό Ατλαντικό. Ενώ αλλαγές παρατηρήθηκαν και στις βροχοπτώσεις. Παράλληλα, σημειώθηκαν διακυμάνσεις στις εκτάσεις των παγοκαλυμμάτων στην θάλασσα του Labrador, της Γροιλανδίας και της Αρκτικής καθώς και μεταβολές των φυσικών ιδιοτήτων και πτώση της μέσης πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας της Αρκτικής. Επιπρόσθετα, επηρεάστηκε η κυκλοφορία του Ατλαντικού λόγω μεταβολών της σύγκλισης ρευμάτων στη θάλασσα του Labrador και στην θάλασσα της Γροιλανδίας και της Ισλανδίας από το NAO (Visbeck M. H. et al., 2001).

Ακόμα και σε περιοχές φαινομενικά απομακρυσμένες από τον Ατλαντικό ωκεανό, όπως η Μέση Ανατολή, αντιμετωπίζουν σημαντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με το NAO. Από καταγραφές της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της ροής του ποταμού Τίγρη – Ευφράτη, έχει αποδειχθεί ότι η μεταβλητότητα τους σχετίζεται με το NAO. Κατά την θετική φάση του NAO, οι θερμοκρασίες και οι βροχοπτώσεις τον χειμώνα στην Τουρκία ανταποκρίνονται σε ψυχρότερο και ξηρότερο κλίμα. Κατά τον παρελθόν, μεταβολές σχετιζόμενες με το NAO διαδραμάτισαν πρωταρχικό ρόλο στην ρύθμιση του κλίματος της Μέσης Ανατολής, επηρεάζοντας τις κοινωνίες, που εντοπιζόνταν κατά μήκος των ποταμών Τίγρη και Ευφράτη (Visbeck M. H. et al., 2001).

Με την χρήση δεδομένων 73 ετών (1/1/1950 – 26/2/2023) από το National Oceanic and Atmospheric Administration, παρουσιάζεται παρακάτω αναλυτικά η επίδραση του North Atlantic Oscillation στο κλίμα της Ευρώπης, εστιάζοντας στην μεταβολή της θερμοκρασίας και των κατακρημνισμάτων. Πιο αναλυτικά, αρχικά διαμορφώθηκαν ανά δεκαετίες από το 1950 μέχρι το 2023 γραφήματα διακύμανσης του δείκτη NAO και πίνακες κατηγοριοποίησης των τιμών του δείκτη NAO. Για τις ημέρες που ο δείκτης εμφάνιζε ακραία τιμή, σχεδιάστηκαν χάρτες μέσης θερμοκρασίας και ανωμαλιών της θερμοκρασίας, χάρτες ημερήσιας βροχόπτωσης και ανωμαλιών της βροχόπτωσης και χάρτες κίνησης του αεροχειμάρρου στην Ευρώπη.

4.1. Δεδομένα του NAO του 1950-1959

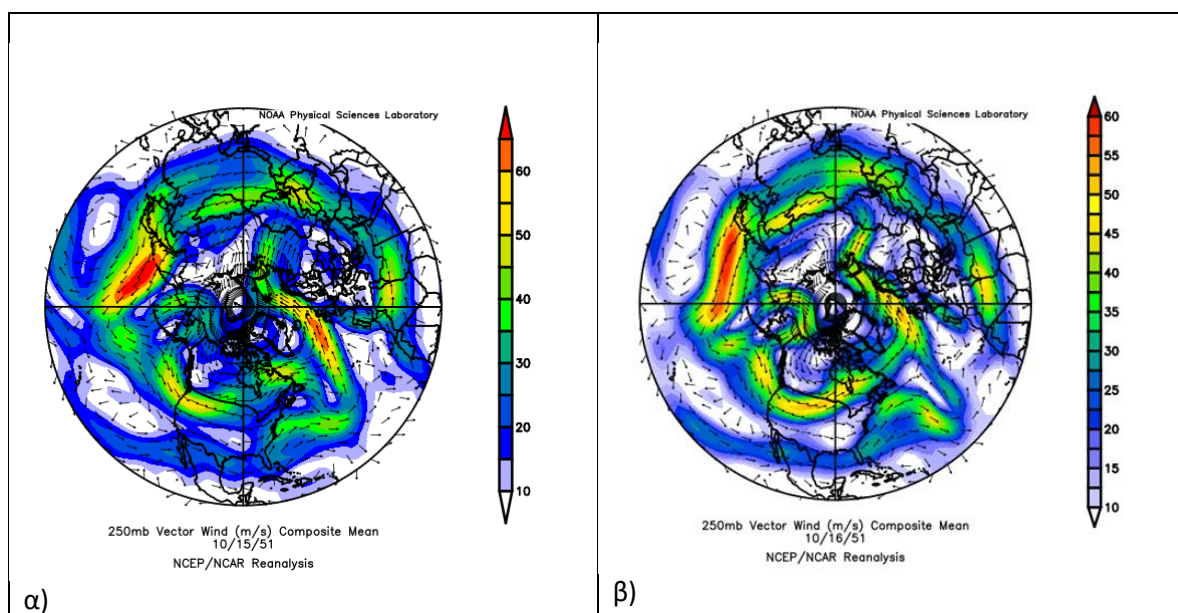
Από το Σχήμα 4.1.1 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη NAO για τη χρονική περίοδο 1950 με 1959, παρατηρείται ότι ο δείκτης εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές του (2-2,5) το 1951 με 3 περιπτώσεις (οι δύο πιο ακραίες τιμές επιλέχθηκαν για περαιτέρω ανάλυση) ενώ οι μικρότερες τιμές του δείκτη ((-2)-(-2,5)) παρατηρούνται το 1951, 1954, 1955 και 1956 με 12 περιπτώσεις.



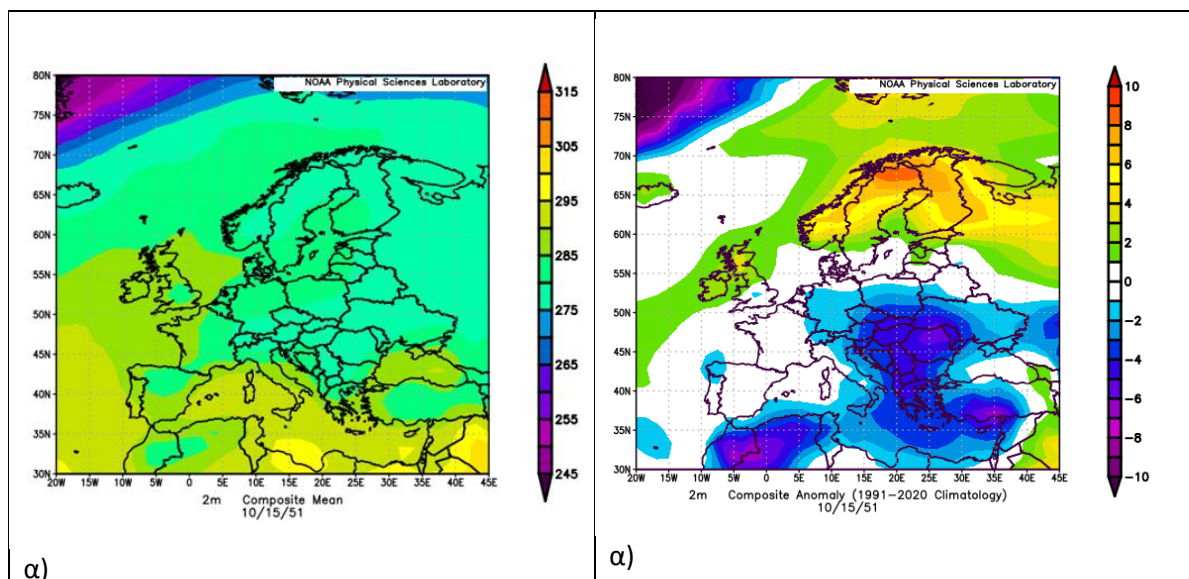
Σχήμα 4.1.1 Η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 1950-1959. Ο πίνακας στο κάτω μέρος εμφανίζει το πλήθος των περιπτώσεων ανά κατηγορία.

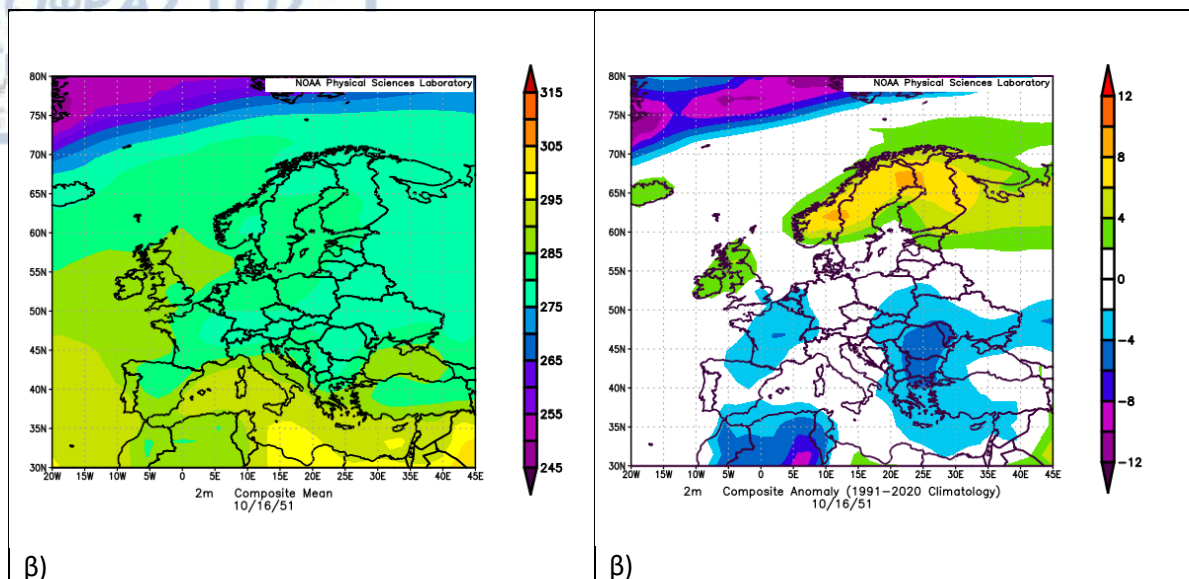
Κατά το χρονικό διάστημα του 1950-1959, παρατηρήθηκαν δύο ακραίες τιμές του δείκτη NAO. Στις 15/10/1951 και στις 16/10/1951, με τον δείκτη NAO να υπολογίζεται 2,315 και 2,352, αντίστοιχα. Κατά την θετική φάση του δείκτη, ο αεροχειμάρρος κινείται προς τα Βόρειο-Ανατολικά, μεταφέροντας θερμές και υγρές αέριες μάζες στη

Βόρεια Ευρώπη (Σχήμα 4.1.2). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι τη πρώτη ημέρα, στη περιοχή της Ευρώπης, καταγράφηκαν πιο έντονα ακραία κλιματικά φαινόμενα. Η περιοχή της Β. Ευρώπης και ειδικότερα η Σκανδιναβία παρουσίασε θερμοκρασίες υψηλότερες από το μέσο όρο κατά 4 με 8°C, αντίθετα στη Νότιο-Ανατολική Ευρώπη οι θερμοκρασίες ήταν ψυχρότερες (Σχήμα 4.1.3). Η περιοχή της Βαλκανικής Χερσονήσου παρουσίασε χαμηλές θερμοκρασίες της τάξης των -3 με -6°C μικρότερες από το μέσο όρο. Παράλληλα, παρατηρείται μία σημαντική αύξηση των κατακρημνισμάτων στην περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Μεσογείου και για τις δύο ημέρες των ακραίων τιμών του δείκτη NAO. Η βροχόπτωση στη περιοχή της Δυτικής Μεσογείου ξεπέρασε το μέσο όρο τουλάχιστον κατά 25mm (Σχήμα 4.1.4).

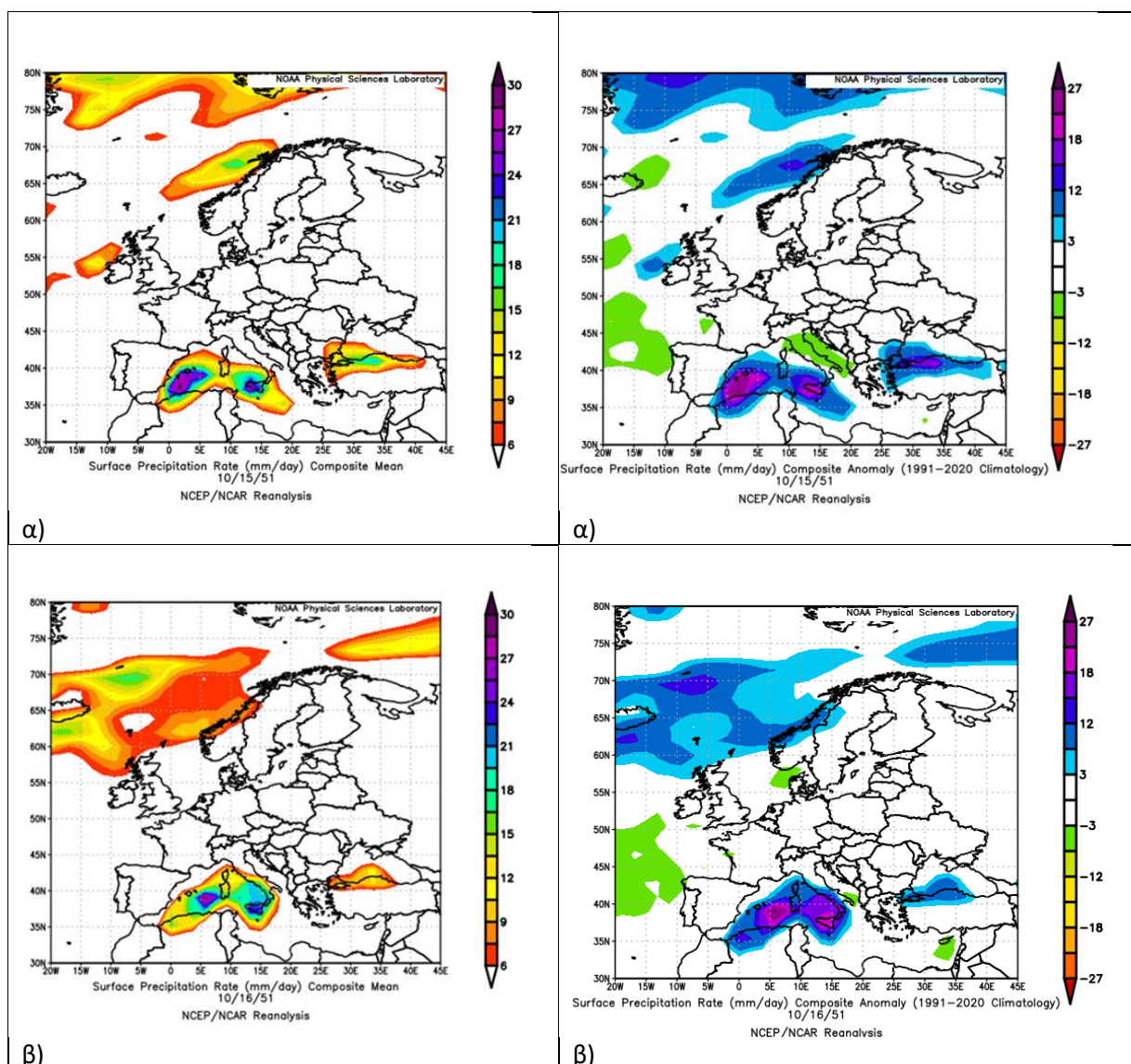


Σχήμα 4.1.2 Η θέση του αεροχειμάρρου για την α) 15/10/1951 και β) 16/10/1951.





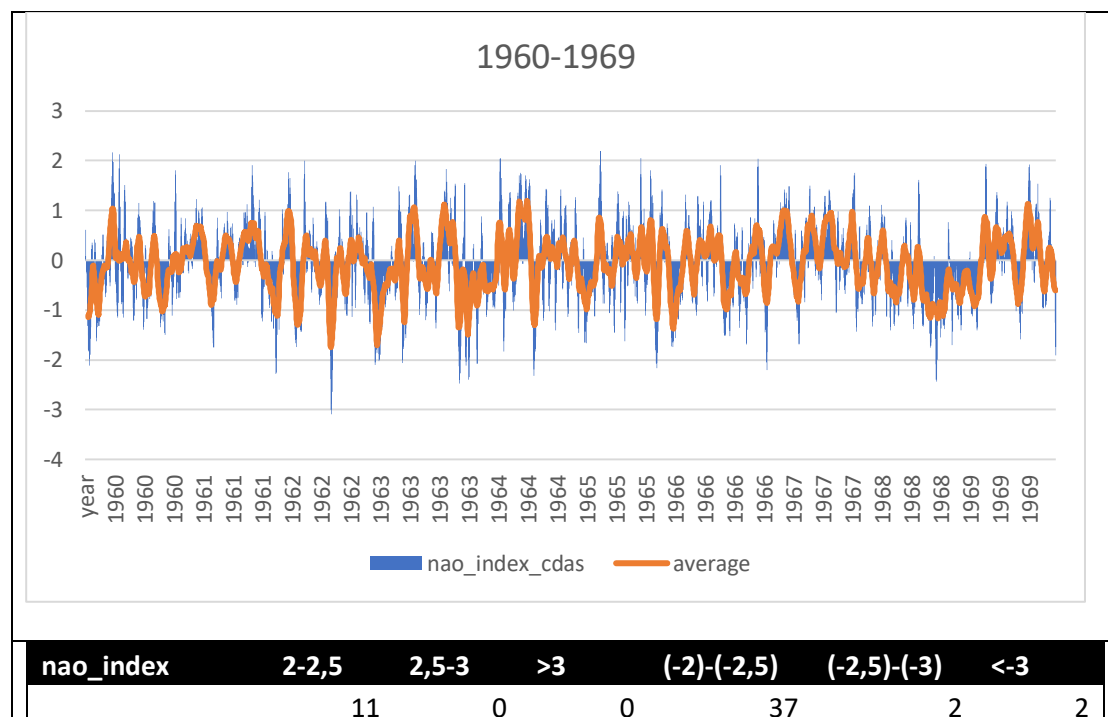
Σχήμα 4.1.3 Η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στη περιοχή της Ευρώπης (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α) 15/10/1951 και β)16/10/1951.



Σχήμα 4.1.4 Η ημερήσια βροχόπτωση (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της βροχόπτωσης της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α) 15/10/1951 και β)16/10/1951.

4.2. Δεδομένα του NAO του 1960-1969

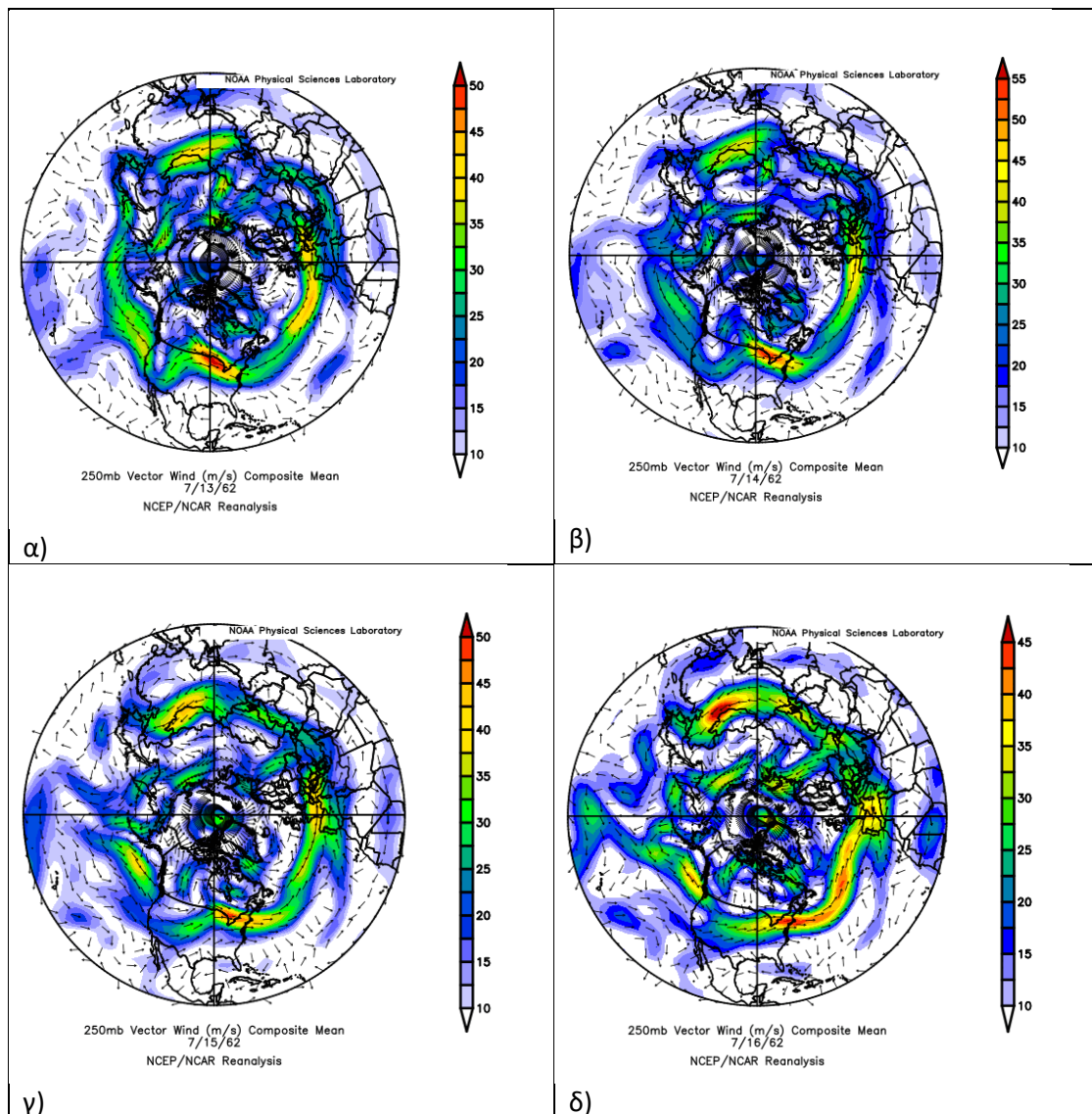
Από το σχήμα 4.2.1 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 1960 με 1969, παρατηρείται ότι ο δείκτης εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές του (2-2,5) το 1960, 1964, 1965 και 1966 με 11 περιπτώσεις ενώ για τις μικρότερες τιμές του δείκτη ((-2)- (-2,5)) παρατηρούνται 37 περιπτώσεις, ((-2,5)-(-3)) 2 περιπτώσεις (που μελετήθηκαν περαιτέρω) και μικρότερες του -3, 2 περιπτώσεις (που μελετήθηκαν περαιτέρω), το 1960, 1961, 1962, 1963, 1964, 1965, 1966 και 1968.



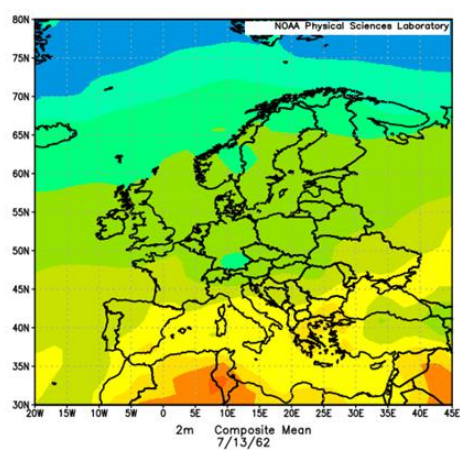
Σχήμα 4.2.1 Η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 1960-1969. Ο πίνακας στο κάτω μέρος εμφανίζει το πλήθος των περιπτώσεων ανά κατηγορία.

Κατά το χρονικό διάστημα του 1960-1969, παρατηρήθηκαν τέσσερις συνεχόμενες ακραίες τιμές του δείκτη NAO. Στις 13, 14, 15, 16 Ιουλίου του 1962, με τον δείκτη NAO να υπολογίζεται -3,004, -3,095, -2,891 και -2,637, αντίστοιχα. Κατά την αρνητική φάση του δείκτη, ο αεροχειμάρρος κινείται από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά, μεταφέροντας ψυχρές και υγρές αέριες μάζες στη Βόρεια Ευρώπη και θερμές και ξηρές αέριες μάζες την Νότια Ευρώπη. Οι μεγαλύτερες τιμές του αεροχειμάρρου εντοπίζονται στη περιοχή Βόρεια της Ιβηρικής Χερσονήσου και μόνο στις 16 Ιουλίου, η μέγιστη ταχύτητα του αεροχειμάρρου είναι πάνω στην Ιβηρική Χερσόνησο όπου και σταματά το επεισόδιο (Σχήμα 4.2.2). Ειδικότερα, για την καλοκαιρινή αυτή περίοδο, οι θερμοκρασίες στη Βόρεια και κεντρική Ευρώπη κυμαίνεται από 2°C έως 17°C, θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερες από το μέσο όρο της εποχής (θερμοκρασιακή διαφορά έως και -7°C). Η περιοχή της Βαλκανικής Χερσονήσου είναι η μόνη περιοχή που εμφανίζει υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία του

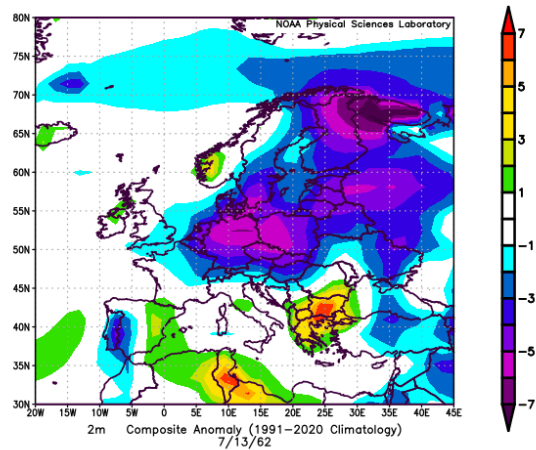
Ιουλίου κατά 7°C (Σχήμα 4.2.3). Οι βροχοπτώσεις στη περιοχή της Μεσογείου, για το ακραίο επεισόδιο αρνητικών τιμών του NAO από τις 13- 16 Ιουλίου του 1962, εμφανίζουν ένα συγκεκριμένο μοτίβο. Αυξημένες βροχοπτώσεις στην Ανατολική Ευρώπη που σταδιακά επεκτείνονται προς την κεντρική Ευρώπη με το πέρασμα των ημερών. Η περιοχή της Σκανδιναβίας παρουσιάζει βροχοπτώσεις μικρότερες από το μέσο όρο. Αντίστοιχη είναι η εικόνα για την Βόρεια Ιταλική και Βόρεια Βαλκανική Χερσόνησο (Σχήμα 4.2.4).



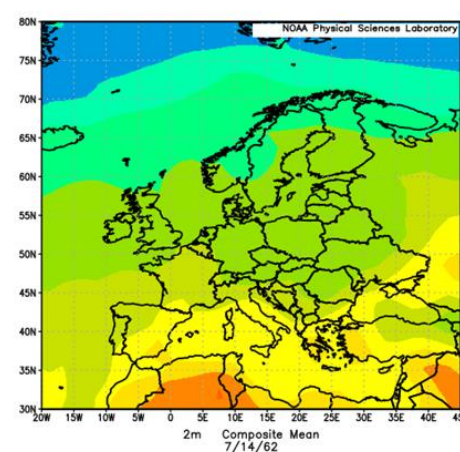
Σχήμα 4.2.2 Η θέση του αεροχειμάρρου για την α) 13/7/1962, β) 14/7/1962, γ) 15/7/1962 και δ) 16/7/1962.



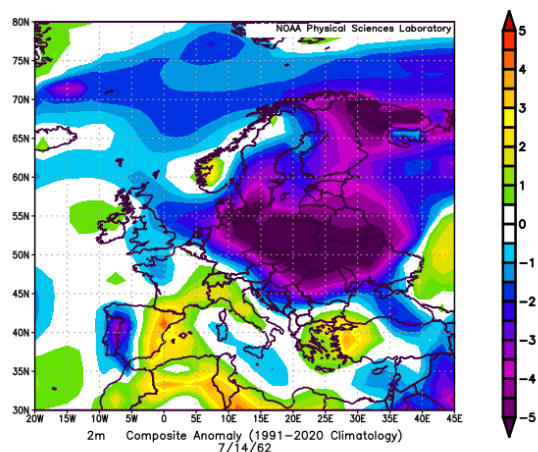
α)



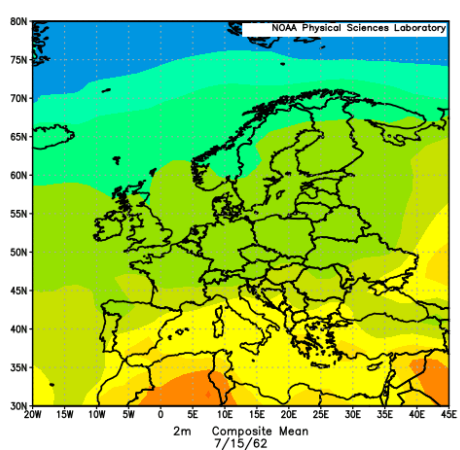
α)



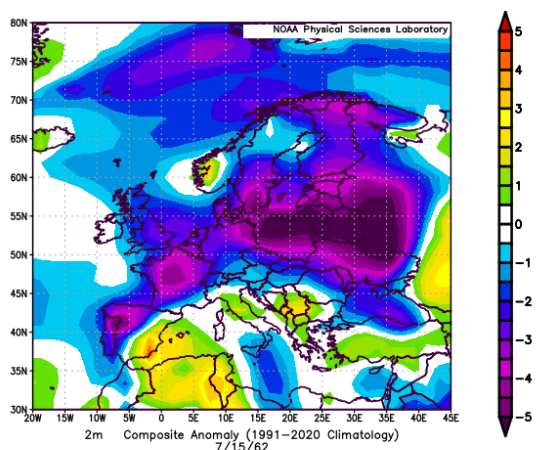
β)



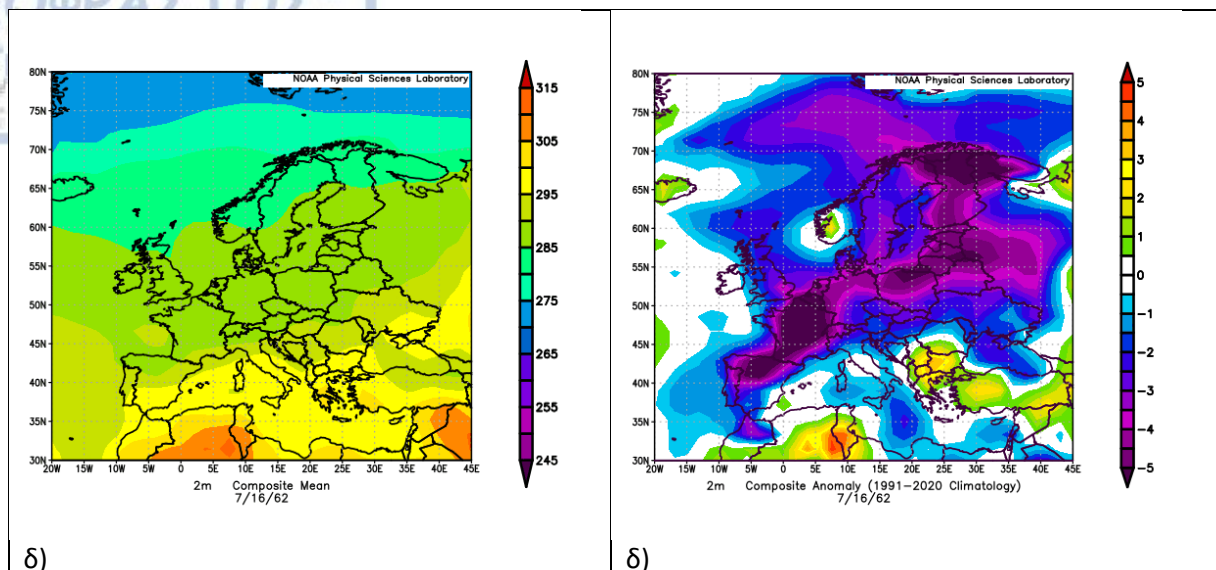
β)



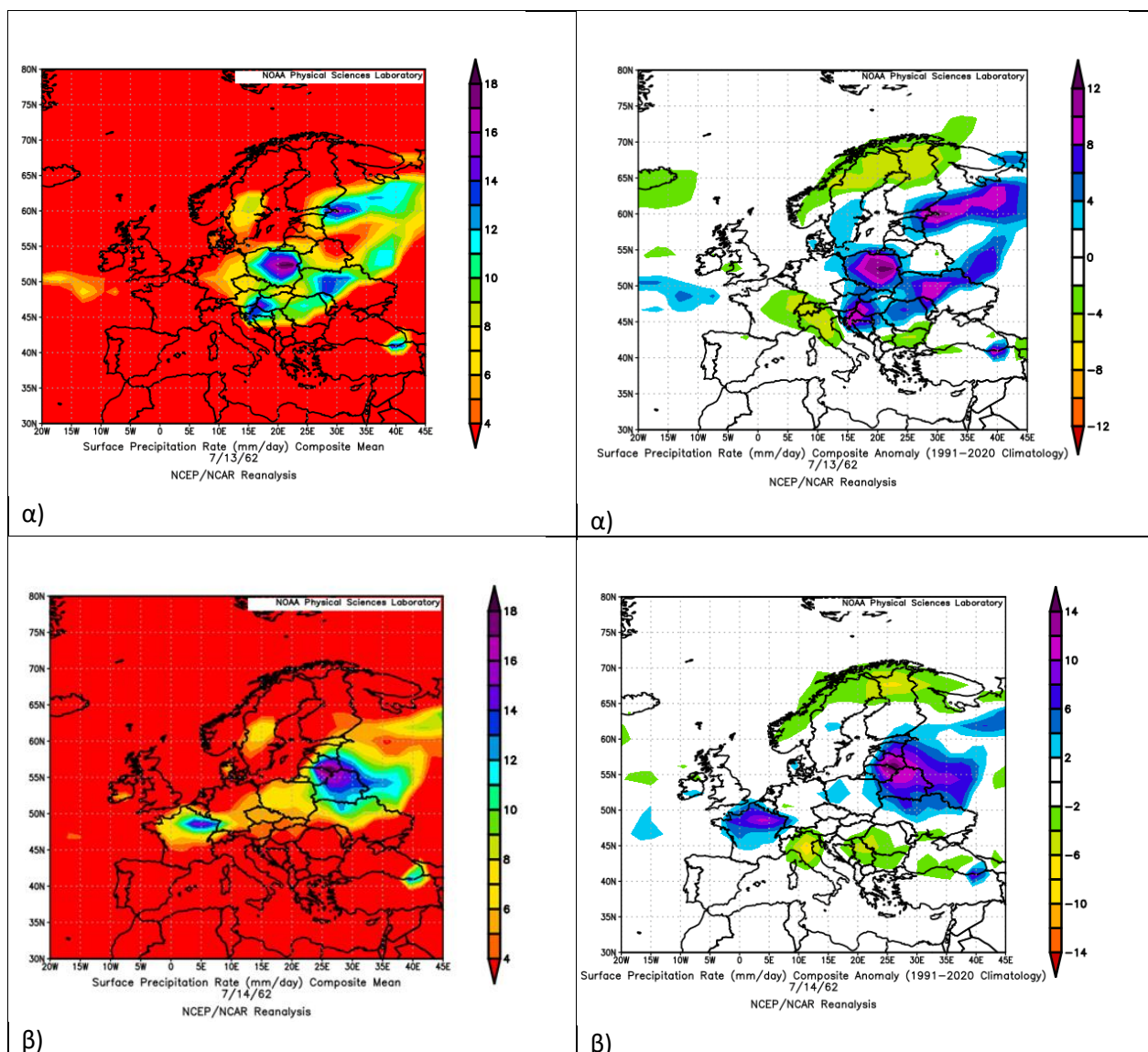
γ)

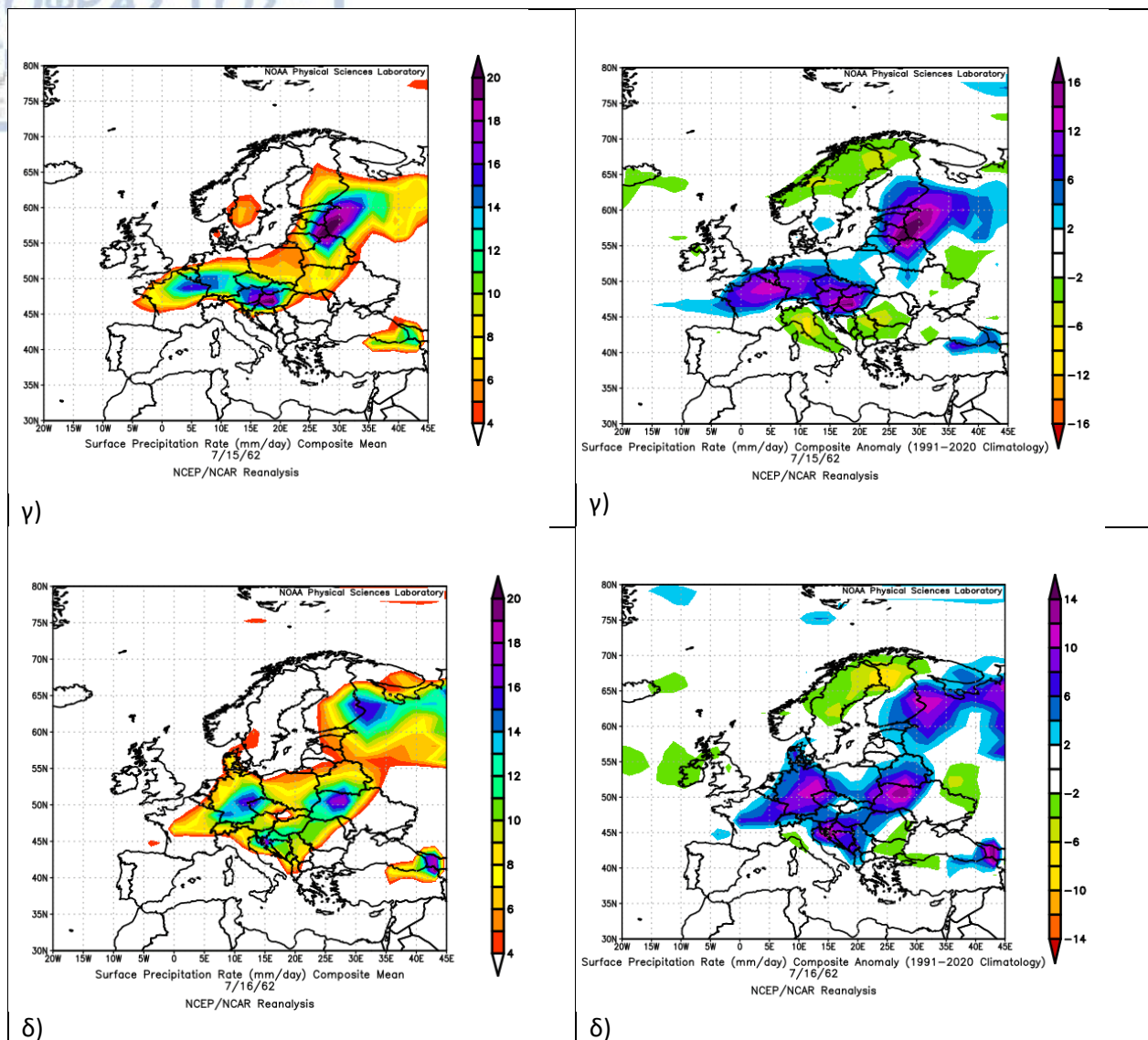


γ)



Σχήμα 4.2.3 Η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στη περιοχή της Ευρώπης (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α) 13/7/1962, β)14/7/1962, γ)15/7/1962 και δ)16/7/1962.

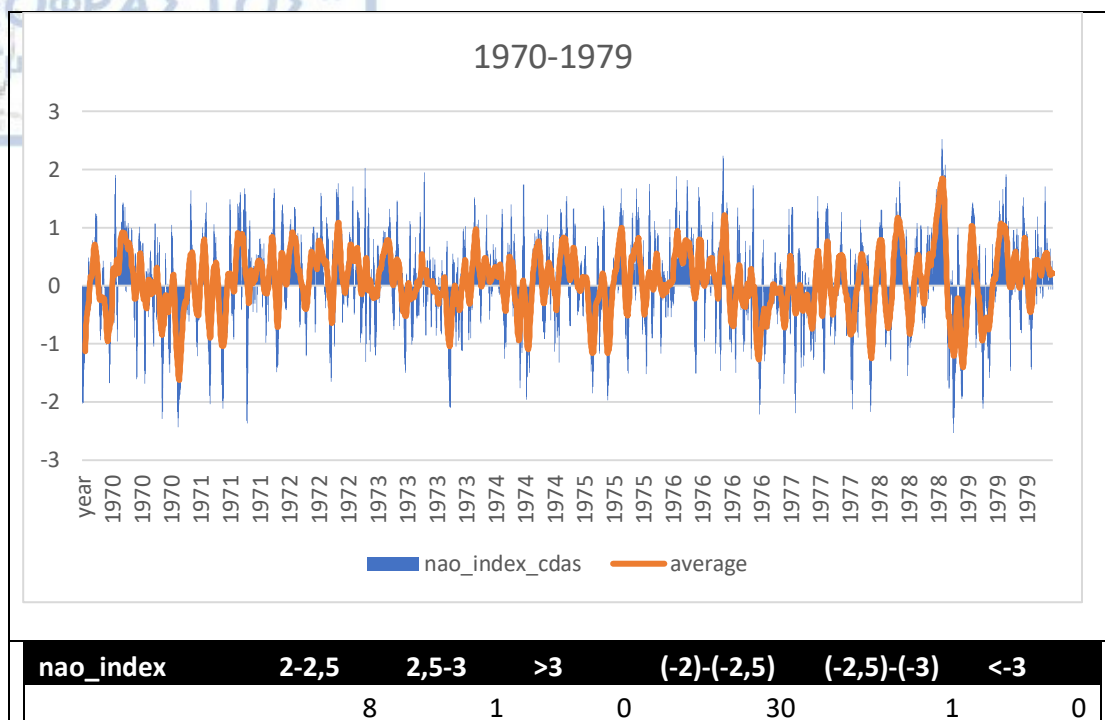




Σχήμα 4.2.4 Η ημερήσια βροχόπτωση (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της βροχόπτωσης της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α) 13/7/1962, β)14/7/1962, γ)15/7/1962 και 16/7/1962.

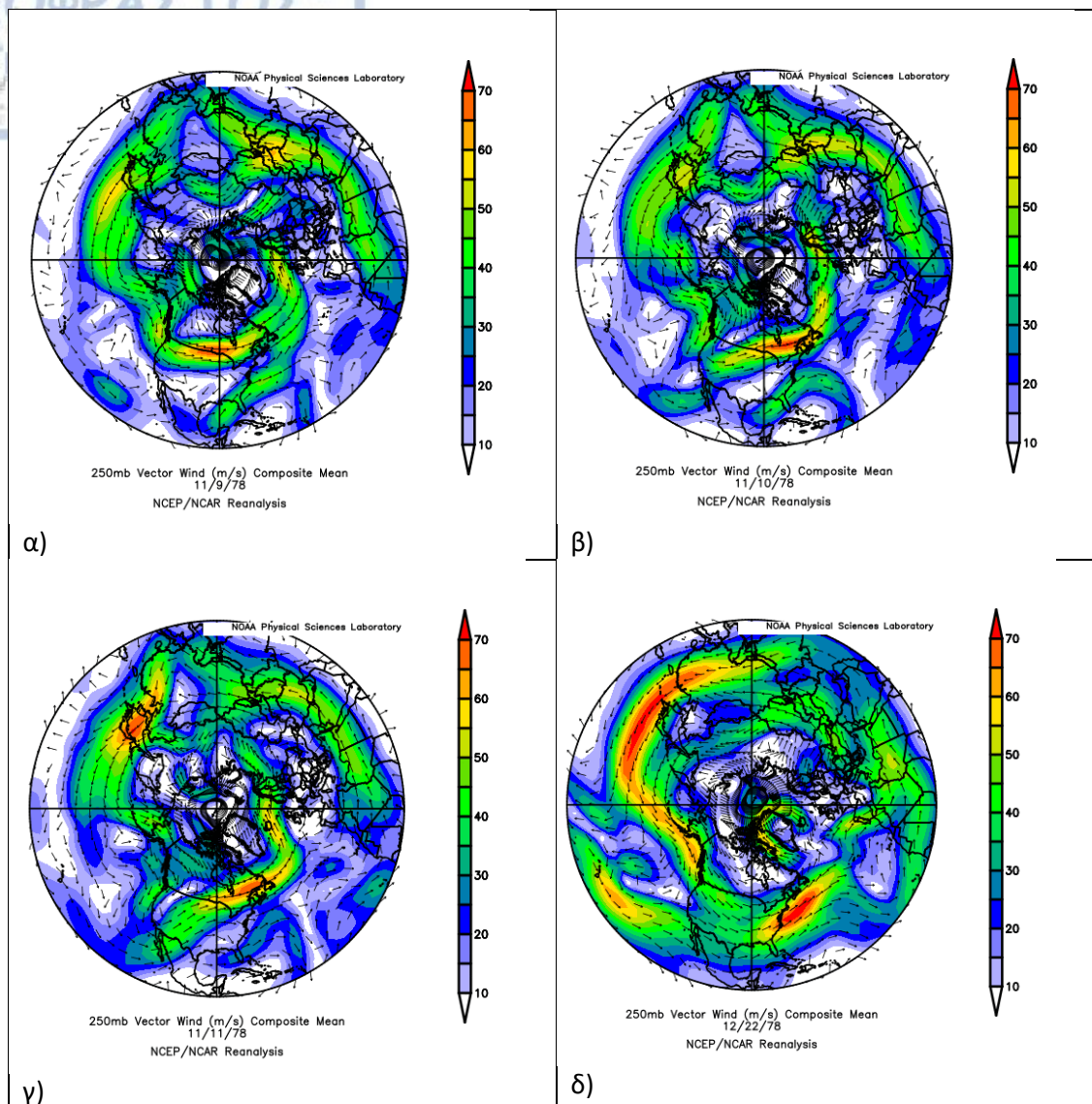
4.3 Δεδομένα του NAO του 1970-1979

Από το σχήμα 4.3.1 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη NAO για τη χρονική περίοδο 1970 με 1979, παρατηρείται ότι ο δείκτης εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές του (2-2,5) με 8 περιπτώσεις (οι δύο πιο ακραίες τιμές επιλέχθηκαν για περαιτέρω ανάλυση) και (2,5-3) με 1 περίπτωση (η περίπτωση αυτή μελετήθηκε περαιτέρω) το 1973, 1976 και 1978 ενώ οι μικρότερες τιμές του δείκτη ((-2)-(-2,5)) με 30 περιπτώσεις και ((-2,5)-(-3)) με 1 περίπτωση (η περίπτωση αυτή μελετήθηκε περαιτέρω) παρατηρούνται το 1970, 1971, 1973, 1976, 1977, 1978 και 1979.

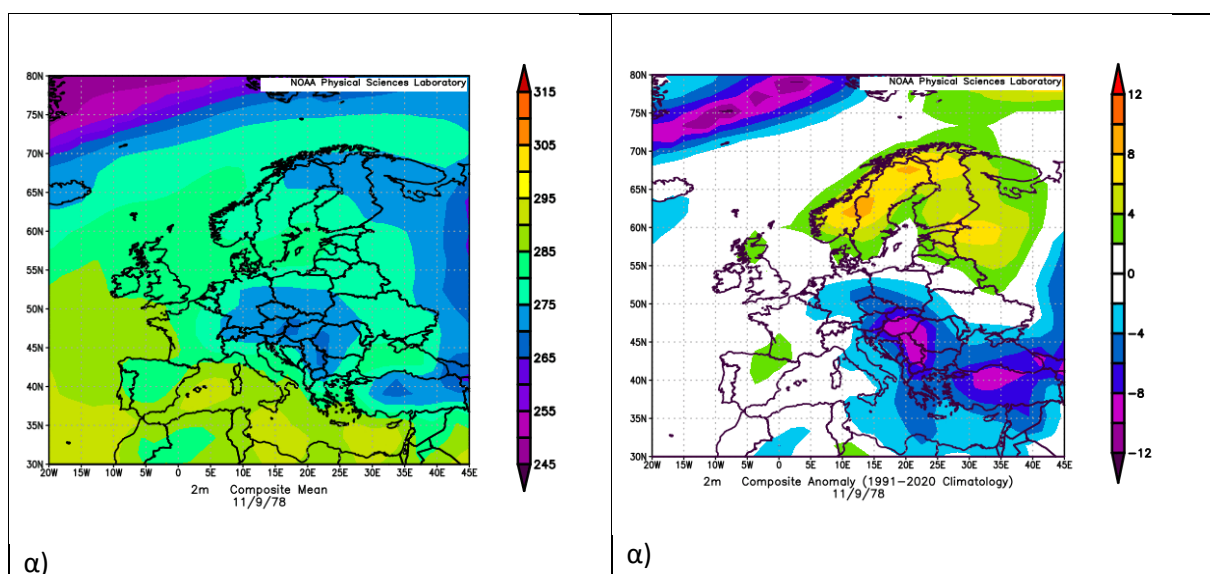


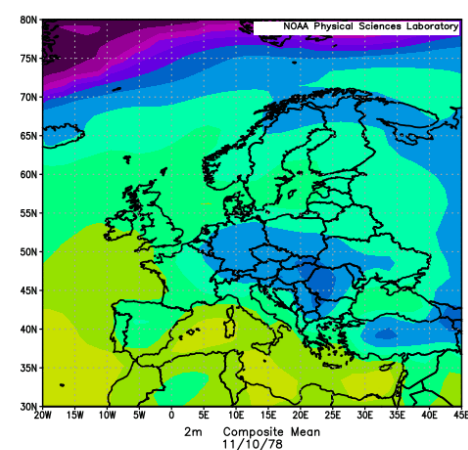
Σχήμα 4.3.1 Η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 1970-1979. Ο πίνακας στο κάτω μέρος εμφανίζει το πλήθος των περιπτώσεων ανά κατηγορία.

Κατά το χρονικό διάστημα 1970-1979, παρατηρήθηκαν τέσσερις ακραίες τιμές του δείκτη NAO. Στις 9/11/1978, 10/11/1978, 11/11/1978 και 22/12/1978, με τον δείκτη NAO να υπολογίζεται 2,52, 2,359, 2,324 και -2,532, αντίστοιχα. Κατά την θετική φάση του δείκτη, ο αεροχειμάρρος κινείται προς τα Βόρειο-Ανατολικά, μεταφέροντας θερμές και υγρές αέριες μάζες στη Βόρεια Ευρώπη. Εκτός από την τέταρτη ημερομηνία, όπου κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, η μεγαλύτερη τιμή του αεροχειμάρρου παρατηρείται στην Πορτογαλία και στην Ισπανία, με τον αεροχειμάρρο να κινείται από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά (Σχήμα 4.3.2). Τις ημέρες 9, 10 και 11 Νοεμβρίου του 1978, οι θερμοκρασίες στην Βόρεια Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα στην Σκανδιναβία ήταν υψηλότερες από το μέσο όρο κατά 3-9°C, ενώ στην κεντρική και Νότια Ευρώπη (ειδικότερα στην Βαλκανική Χερσόνησο), οι θερμοκρασίες ήταν χαμηλότερες από το μέσο όρο κατά 3-10°C. Κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO (22/12/1978), οι θερμοκρασίες στην Βόρεια Σκανδιναβία, στην Βόρεια Ιταλία και στα Βαλκάνια ήταν από το μέσο όρο μεγαλύτερες κατά 2,5-7,5°C. Αντιθέτως, χαμηλότερες έως και 17,5°C ήταν στην κεντρική Ευρώπη, την Ισπανία και την Πορτογαλία (Σχήμα 4.3.3). Ταυτόχρονα στις 10 και 11 Νοεμβρίου του 1978, παρατηρήθηκε μείωση των κατακρημνισμάτων στην Ιταλία, στη Πορτογαλία, στην Αγγλία, στην Ιρλανδία και στα σύνορα Γαλλίας- Γερμανίας. Από την άλλη, στις 22 Δεκεμβρίου του 1978, αυξήθηκαν οι βροχοπτώσεις στην Ιταλία και μειώθηκαν στην Ελλάδα (Σχήμα 4.3.4).

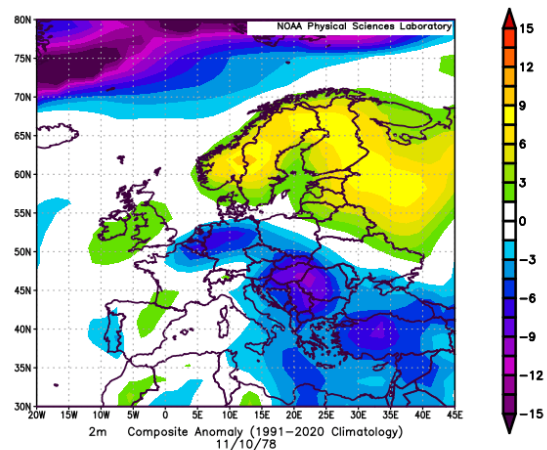


Σχήμα 4.3.2 Η θέση του αεροχειμάρρου για την α) 9/11/1978, β) 10/11/1978, γ) 11/11/1978 και δ) 22/12/1978.

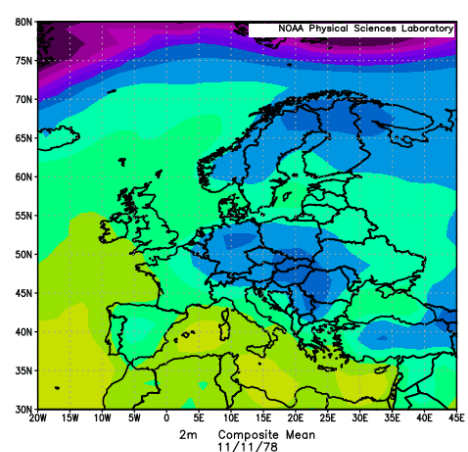




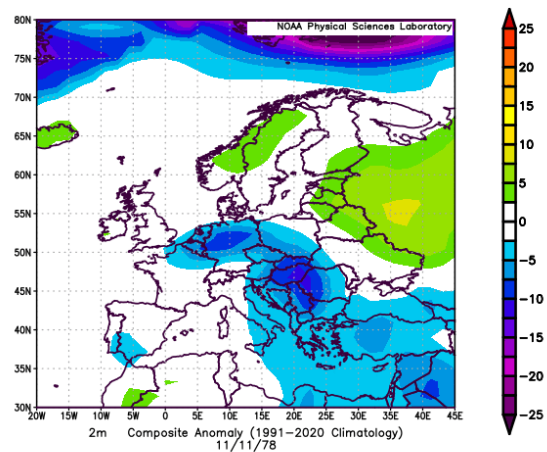
β)



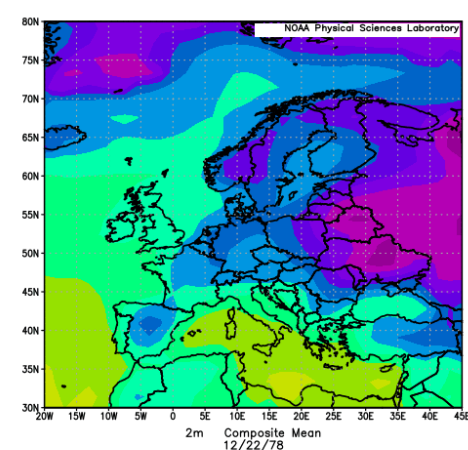
β)



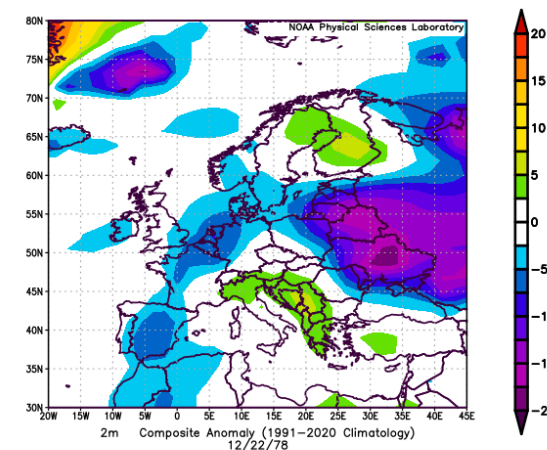
γ)



γ)

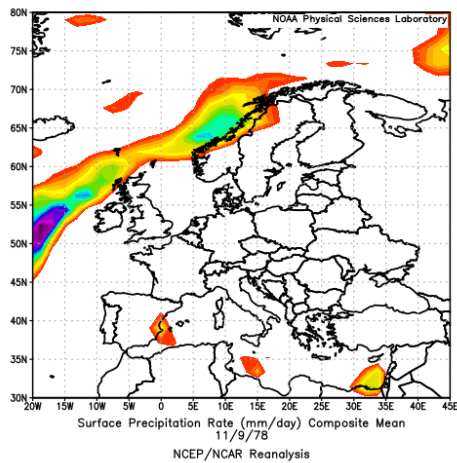


δ)

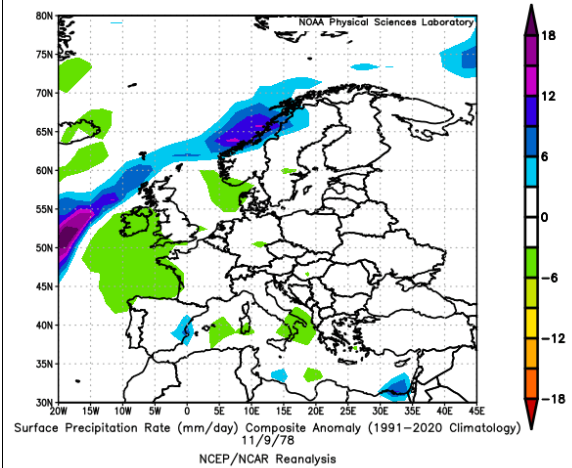


δ)

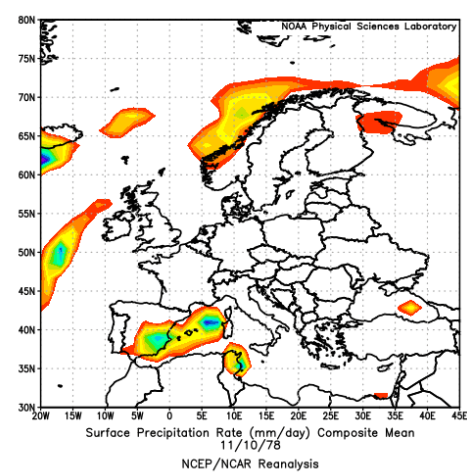
Σχήμα 4.3.3 Η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στη περιοχή της Ευρώπης (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α) 9/11/1978, β)10/11/1978, γ)11/11/1978 και δ)22/12/1978.



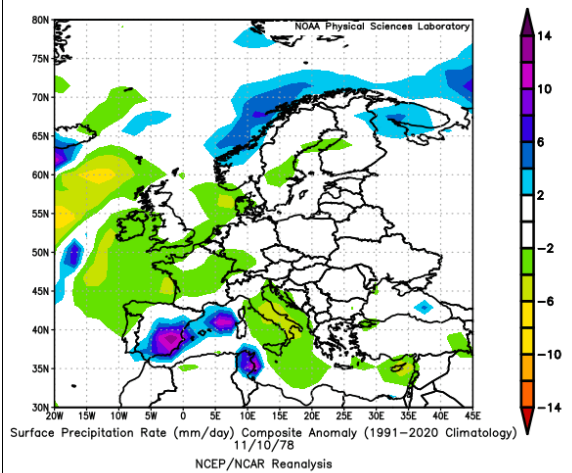
α)



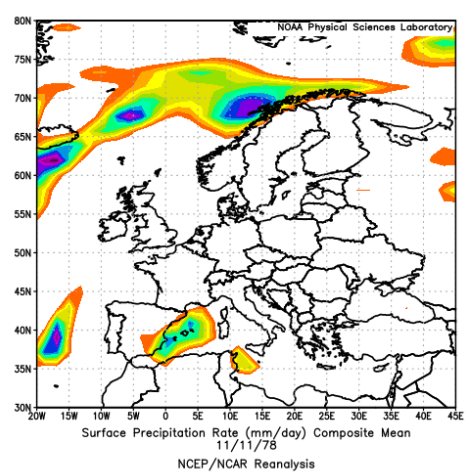
α)



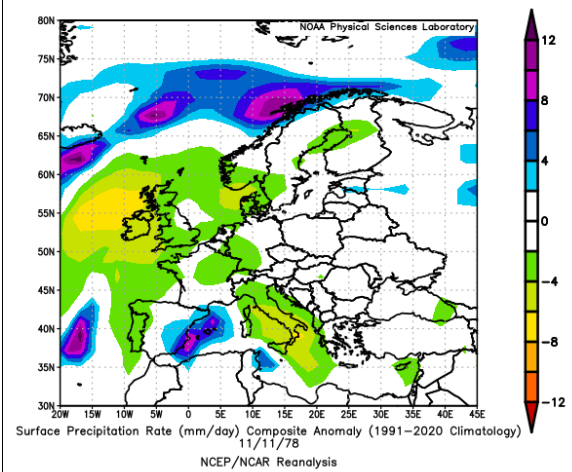
β)



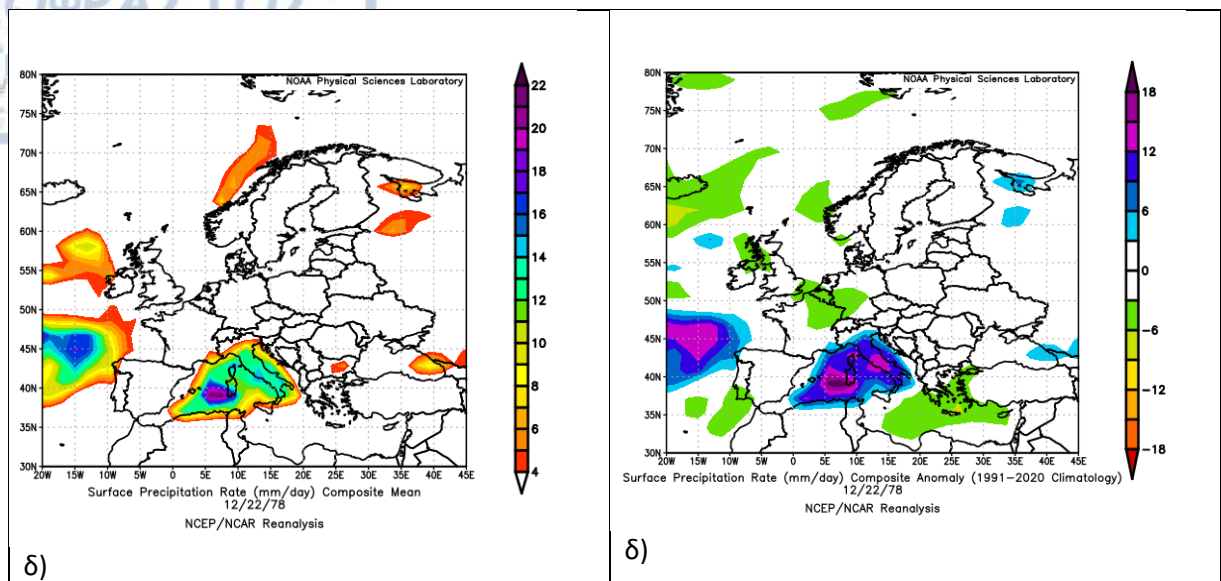
β)



γ)



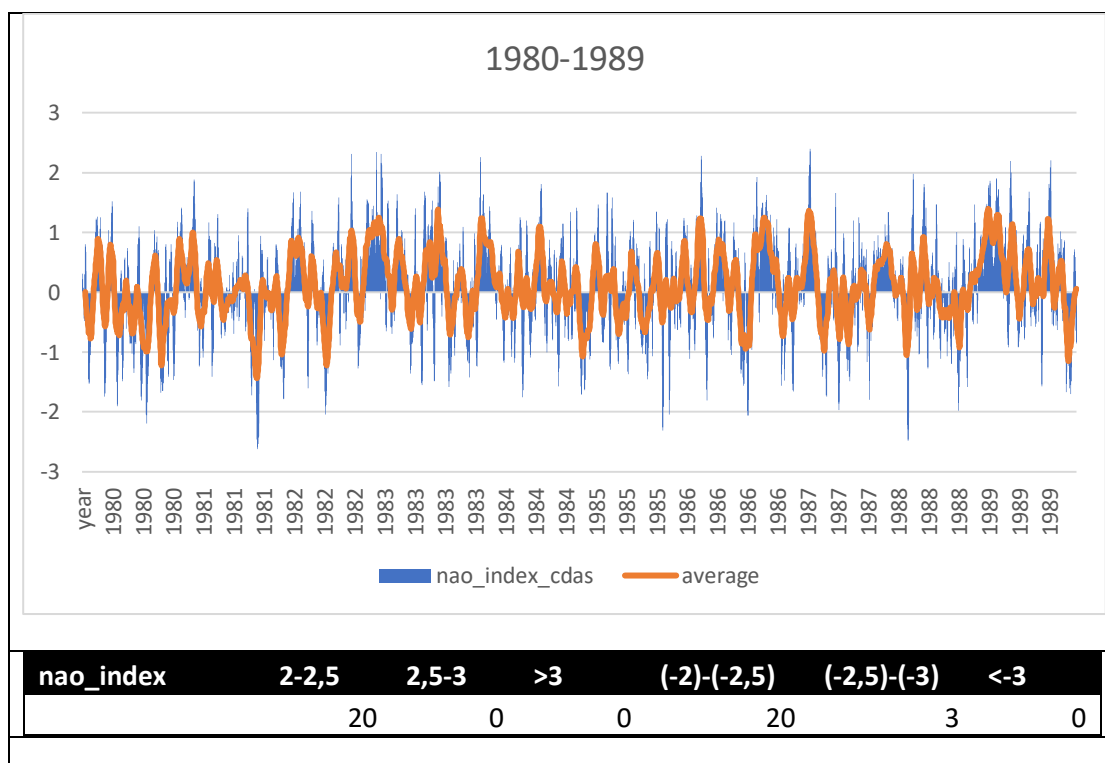
γ)



Σχήμα 4.3.4 Η ημερήσια βροχόπτωση (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της βροχόπτωσης της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α) 9/11/1978, β)10/11/1978, γ)11/11/1978 και δ)22/12/1978.

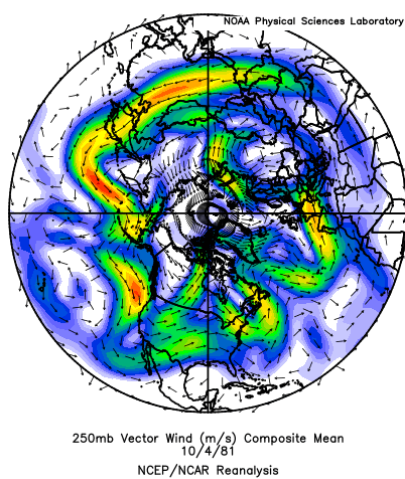
4.4 Δεδομένα του NAO του 1980-1989

Από το σχήμα 4.4.1 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 1980 με 1989, παρατηρείται ότι δείκτης εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές του (2-2,5) με 20 περιπτώσεις (οι πέντε πιο ακραίες τιμές επιλέχθηκαν για περαιτέρω ανάλυση), το 1982, 1983, 1986, 1987 και 1989 ενώ οι μικρότερες τιμές του δείκτη ((-2)- (-2,5)) με 20 περιπτώσεις και ((-2,5)-(-3)) με 3 περιπτώσεις (οι τρεις αυτές περιπτώσεις μελετήθηκαν περαιτέρω), παρατηρούνται το 1980, 1981, 1982, 1985, 1986 και 1988.

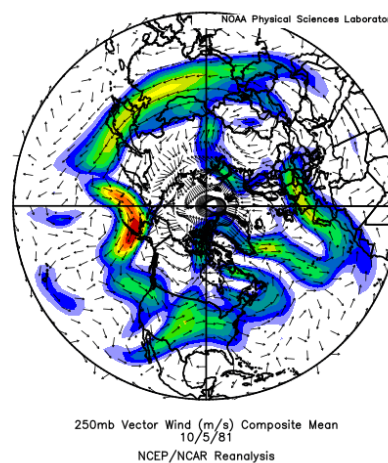


Σχήμα 4.4.1 Η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 1980-1989. Ο πίνακας στο κάτω μέρος εμφανίζει το πλήθος των περιπτώσεων ανά κατηγορία.

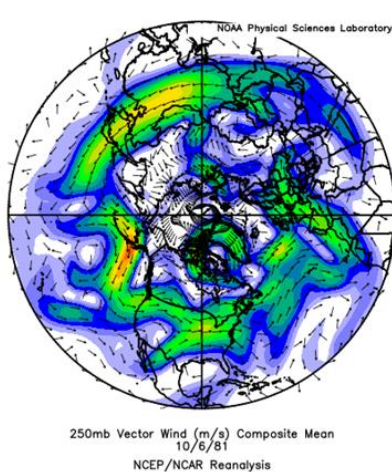
Κατά το χρονικό διάστημα 1980-1989, παρατηρήθηκαν οκτώ ακραίες τιμές του δείκτη NAO. Στις 4, 5, 6 Οκτωβρίου του 1981, στις 15 Σεπτεμβρίου και 16 Δεκεμβρίου του 1982, στις 2 Ιανουαρίου του 1983 και στις 26 και 27 Απριλίου του 1987, με τον δείκτη NAO να υπολογίζεται -2,62, -2,588, -2,539, 2,315, 2,341, 2,309, 2,394 και 2,351, αντίστοιχα. Κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO το 1981, ο αεροχείμαρρος κινείται από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά, μεταφέροντας ψυχρές και υγρές αέριες μάζες στη Βόρεια Ευρώπη και θερμές και ξηρές στη Νότια Ευρώπη. Με την μεγαλύτερη τιμή του να εντοπίζεται στην κεντρική Ευρώπη και κυρίως στην Γαλλία (Σχήμα 4.4.2.α.β.γ). Τις ημέρες αυτές σημειώθηκαν θερμοκρασίες ανώτερες από το μέσο όρο κατά 2-7°C, σχεδόν σε ολόκληρη την Ευρώπη (Σχήμα 4.4.3.α.β.γ). Επίσης, μειώθηκαν τα κατακρημνίσματα στην Ιταλία και αυξήθηκαν στην Πορτογαλία (Σχήμα 4.4.4.α.β.γ). Κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, που επικρατεί τις υπόλοιπες ημέρες, που αναφέρθηκαν, ο αεροχείμαρρος κινείται προς τα Βόρειο-Ανατολικά, μεταφέροντας θερμές και υγρές αέριες μάζες στη Βόρεια Ευρώπη (Σχήμα 4.4.2.δ.ε.στ.ζ.η). Το 1982, σημειώθηκε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2-8°C στην Δυτική Ευρώπη και μείωση της βροχοπτώσης στην Βόρεια Ιταλία στις 15 Σεπτεμβρίου, ενώ παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2-9°C σχεδόν σε όλη την Ευρώπη, των κατακρημνισμάτων στη κεντρική και Βόρεια Ευρώπη και μείωση των κατακρημνισμάτων στην Ελλάδα και την Πορτογαλία. Στις 2 Ιανουαρίου του 1983, οι θερμοκρασίες ήταν κατά 5-10°C υψηλότερες από το μέσο όρο στην Βόρειο-Δυτική Γαλλία και την Σκανδιναβία, ενώ ήταν χαμηλότερες στην Ισπανία, την Πορτογαλία και την Ανατολική Ευρώπη. Την ίδια ημέρα, σημειώθηκαν λιγότερες βροχοπτώσεις από το μέσο όρο στην Πορτογαλία, την Ιταλία, την Νότια Ελλάδα και την Δυτική Γαλλία και περισσότερες στην Ιρλανδία. Στις 26 και 27 Απριλίου του 1987, υψηλότερες από το μέσο όρο ήταν οι θερμοκρασίες στην Δυτική Ευρώπη κατά 2-7°C και χαμηλότερες στην Ανατολική Ευρώπη κατά 2-9°C. Παράλληλα, στις 26 Απριλίου παρατηρείται σημαντική μείωση των κατακρημνισμάτων στην κεντρική Δυτική Ευρώπη και στις 27 Απριλίου και στην κεντρική Ανατολική Ευρώπη. Ενώ αυξημένες ήταν οι βροχοπτώσεις στην Ανατολική Ευρώπη καθώς και στην Ιταλία και την Πορτογαλία στις 27 Απριλίου (Σχήμα 4.4.3.δ.ε.στ.ζ.η και 4.4.4.δ.ε.στ.ζ.η).



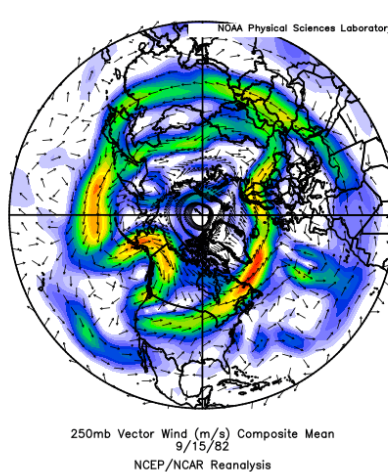
α)



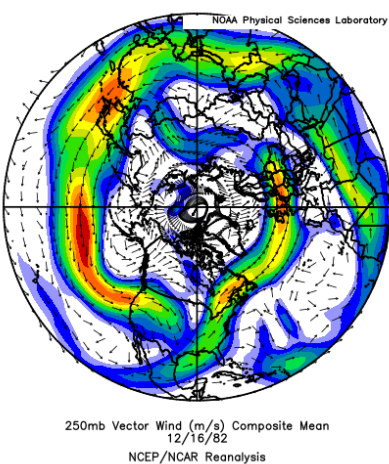
β)



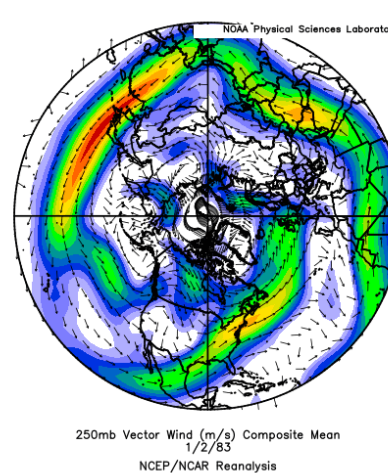
γ)



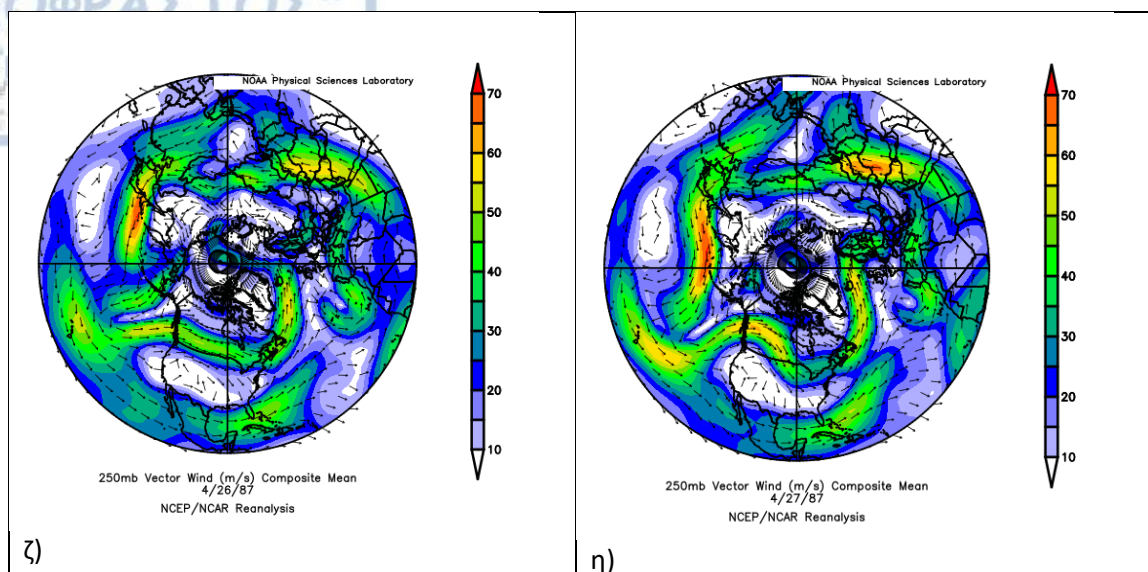
δ)



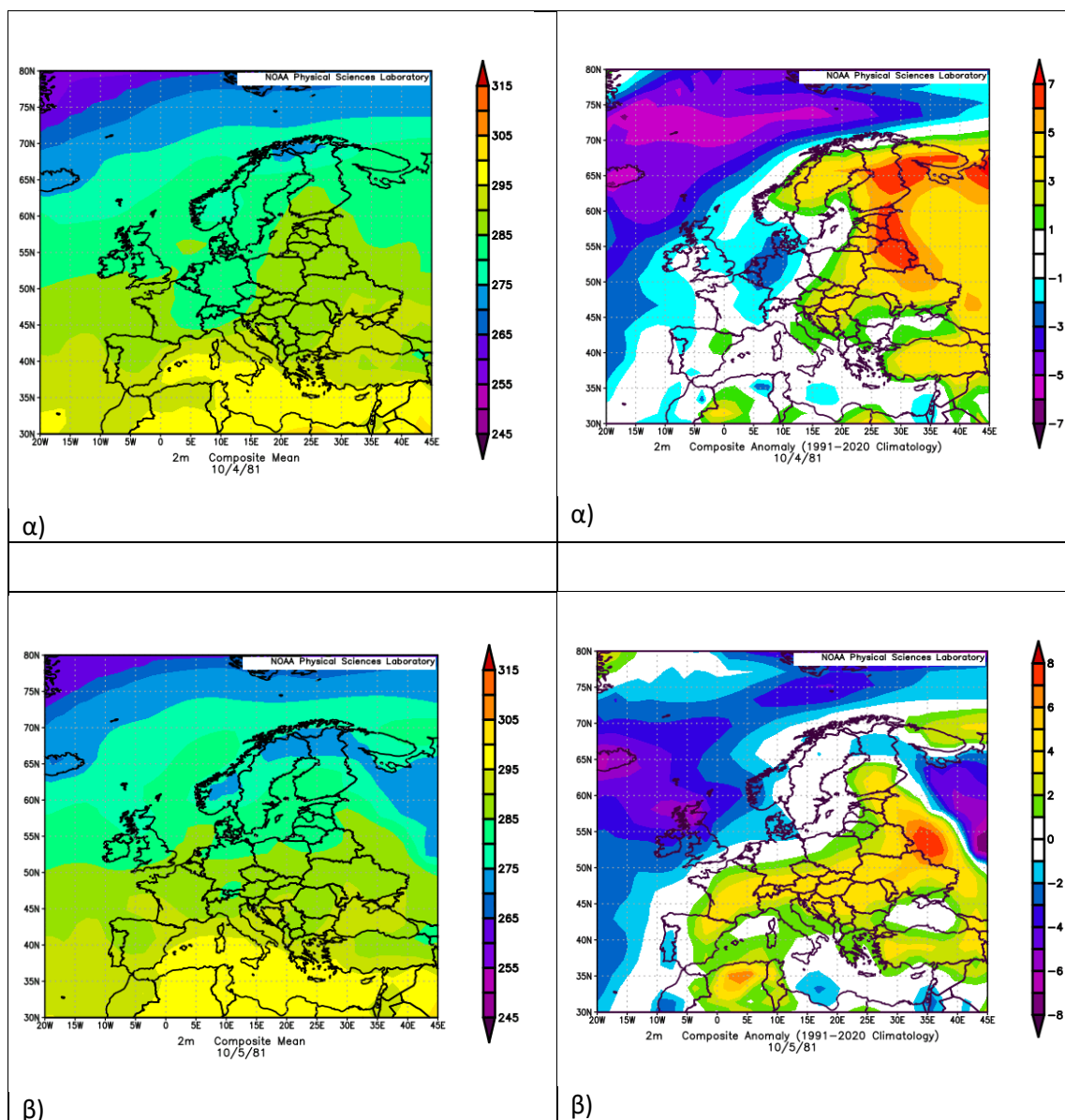
ε)

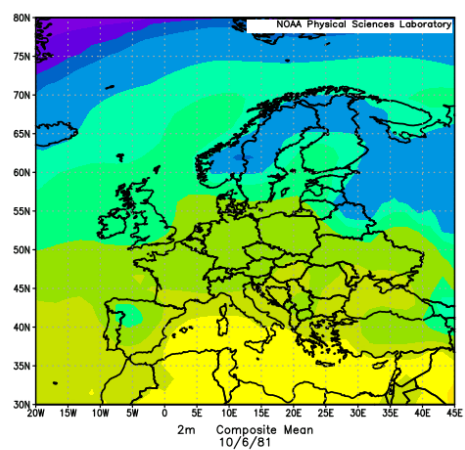


στ)

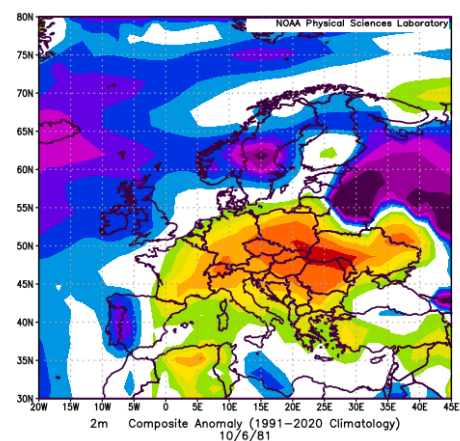


Σχήμα 4.4.2 Η θέση του αεροχειμάρρου για την α) 4/10/1981, β) 5/10/1981, γ) 6/10/1981, δ) 15/9/1982, ε) 16/12/1982, στ) 2/1/1983, ζ) 26/4/1987 και η) 27/4/1987.

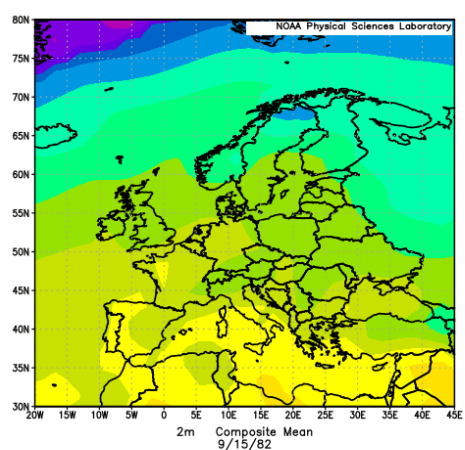




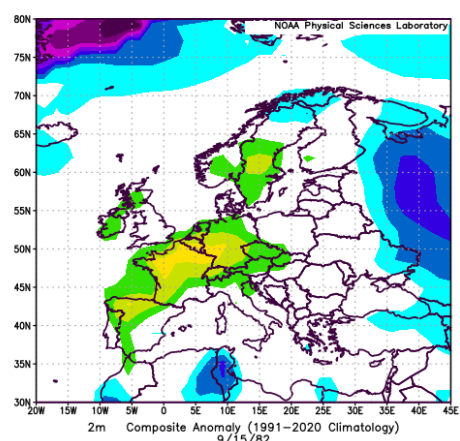
γ)



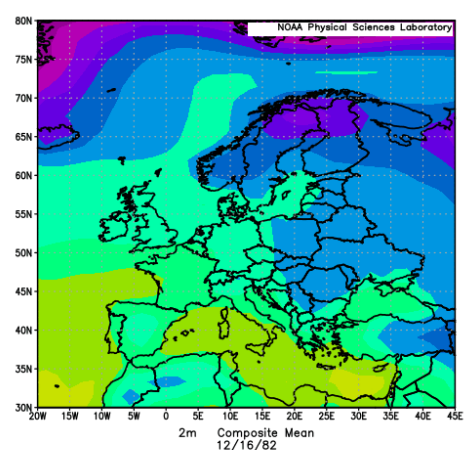
γ)



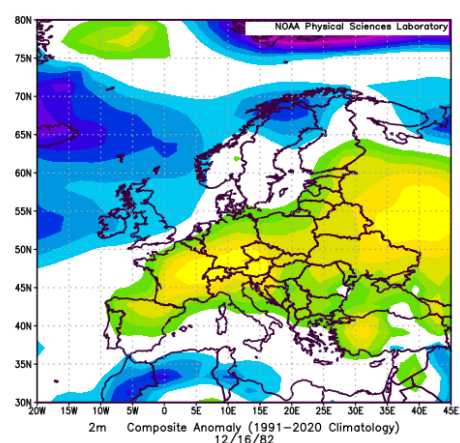
δ)



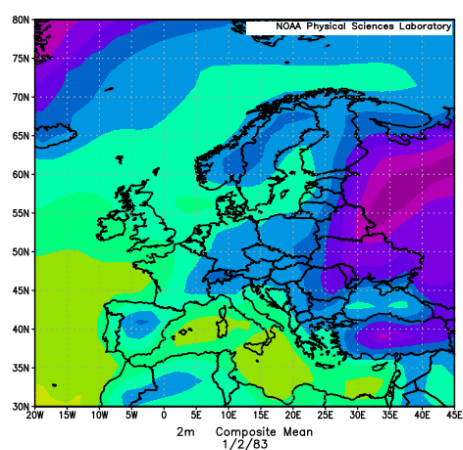
δ)



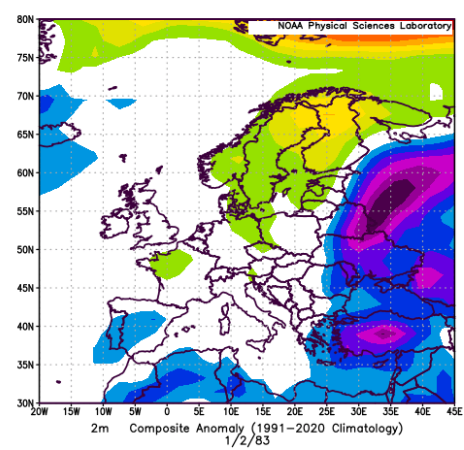
ε)



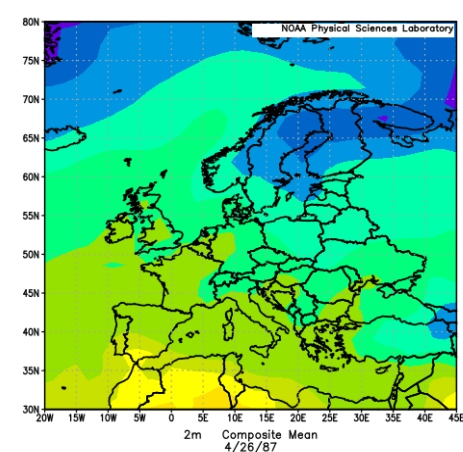
ε)



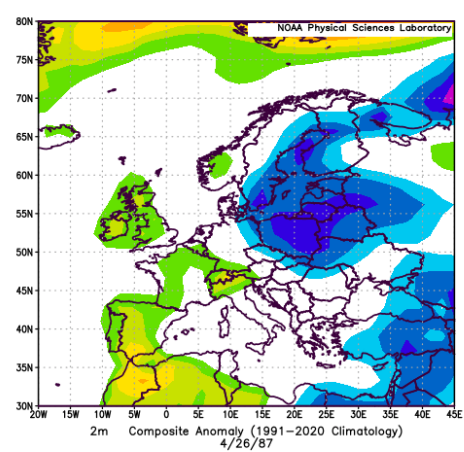
στ)



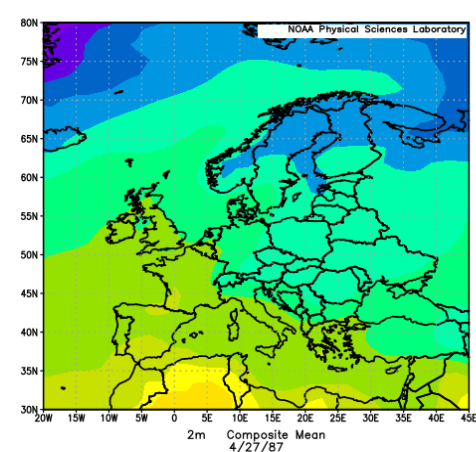
στ)



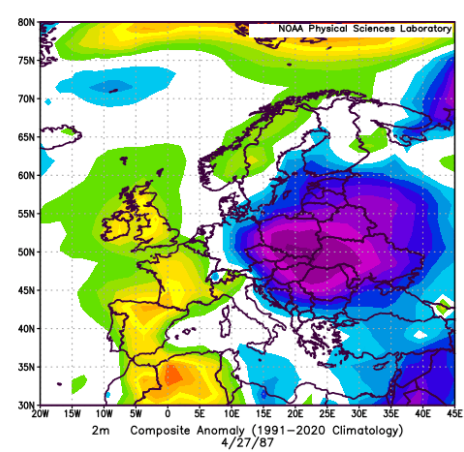
ζ)



ζ)

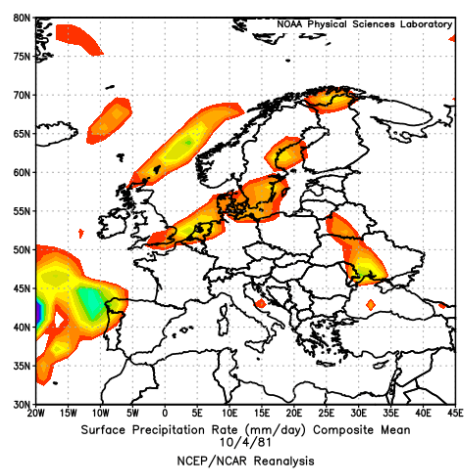


η)

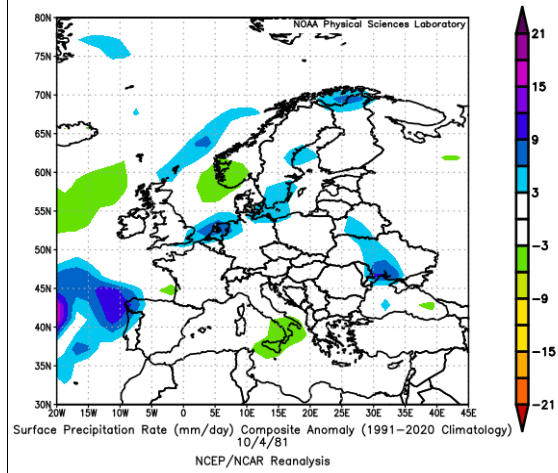


η)

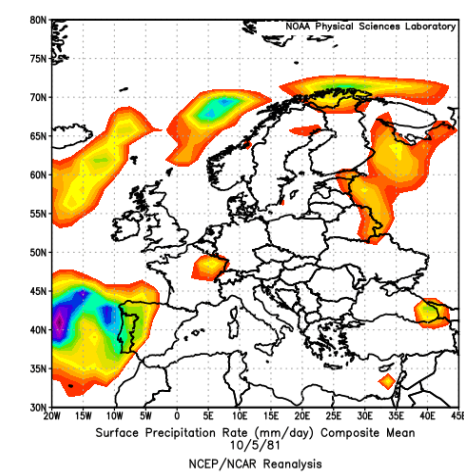
Σχήμα 4.4.3 Η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στη περιοχή της Ευρώπης (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α) 4/10/1981, β)5/10/1981, γ) 6/10/1981, δ) 15/9/1982, ε)16/12/1982, στ)2/1/1983, ζ)26/4/1987 και η)27/4/1987.



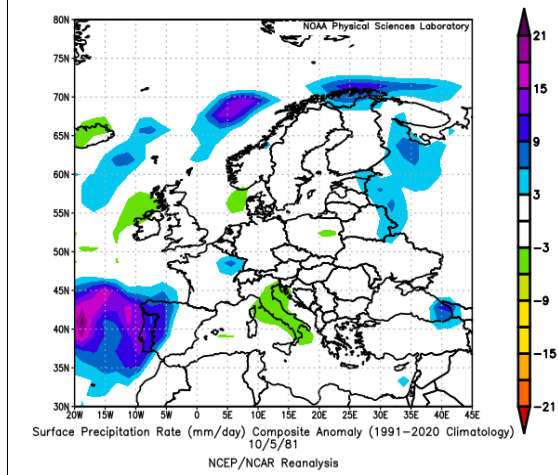
α)



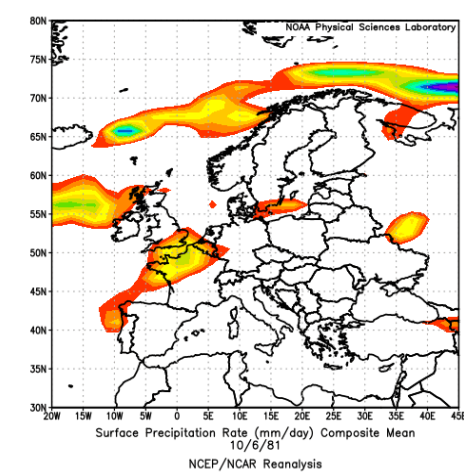
α)



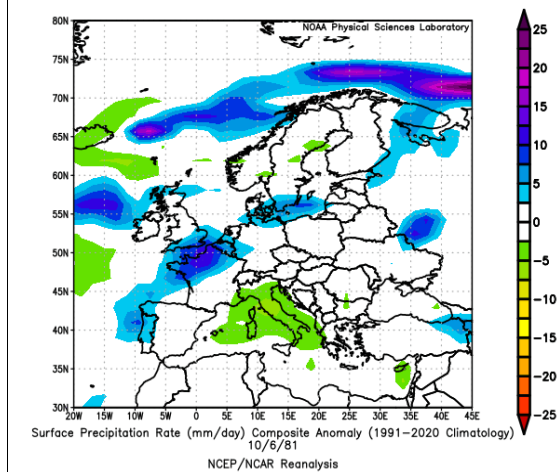
β)



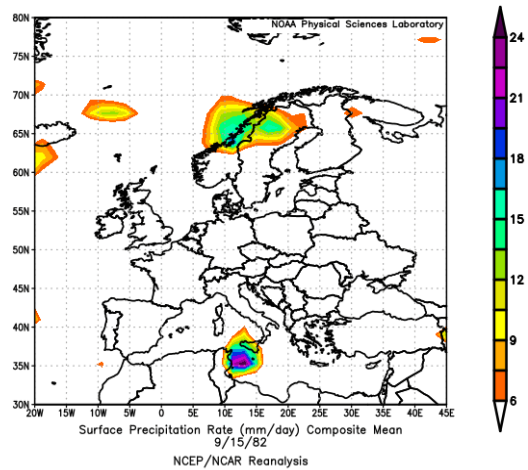
β)



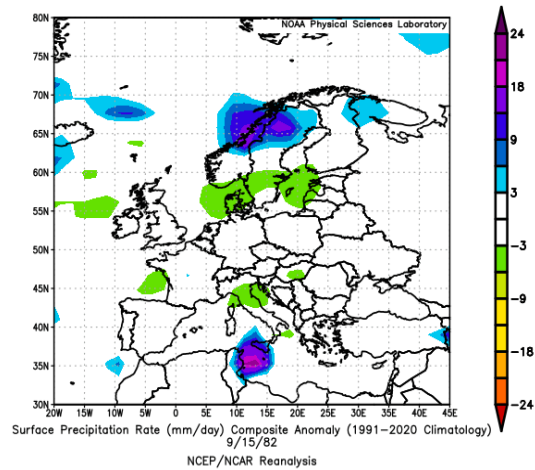
γ)



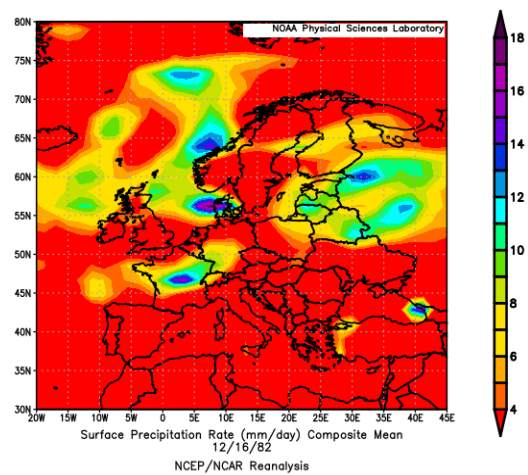
γ)



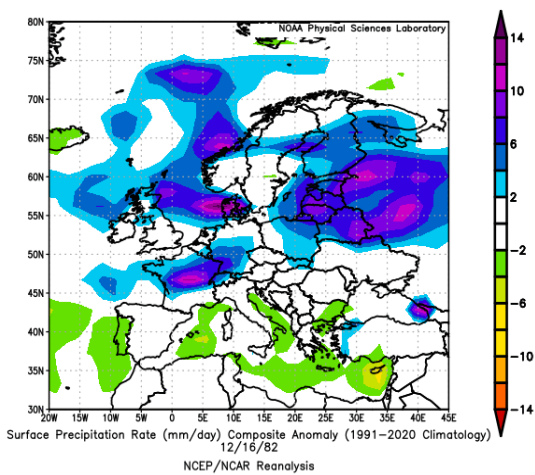
δ)



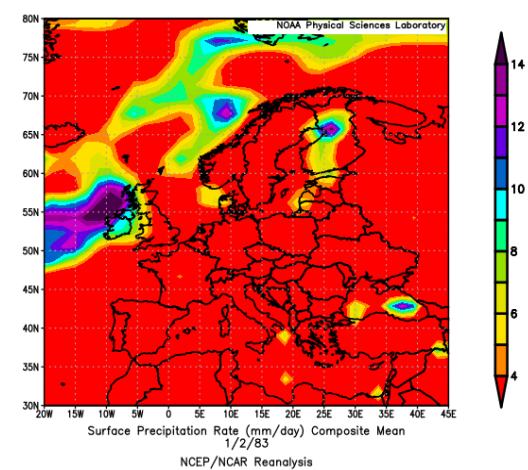
δ)



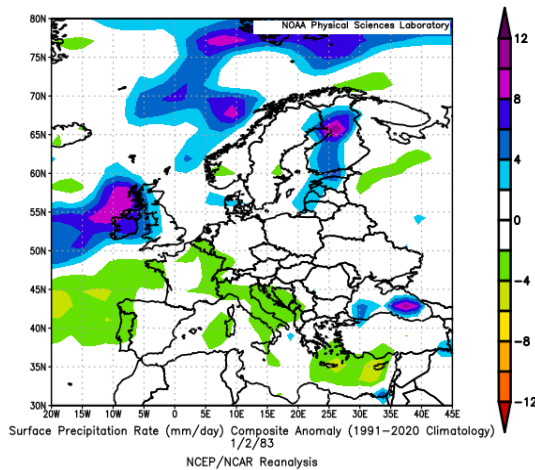
ε)



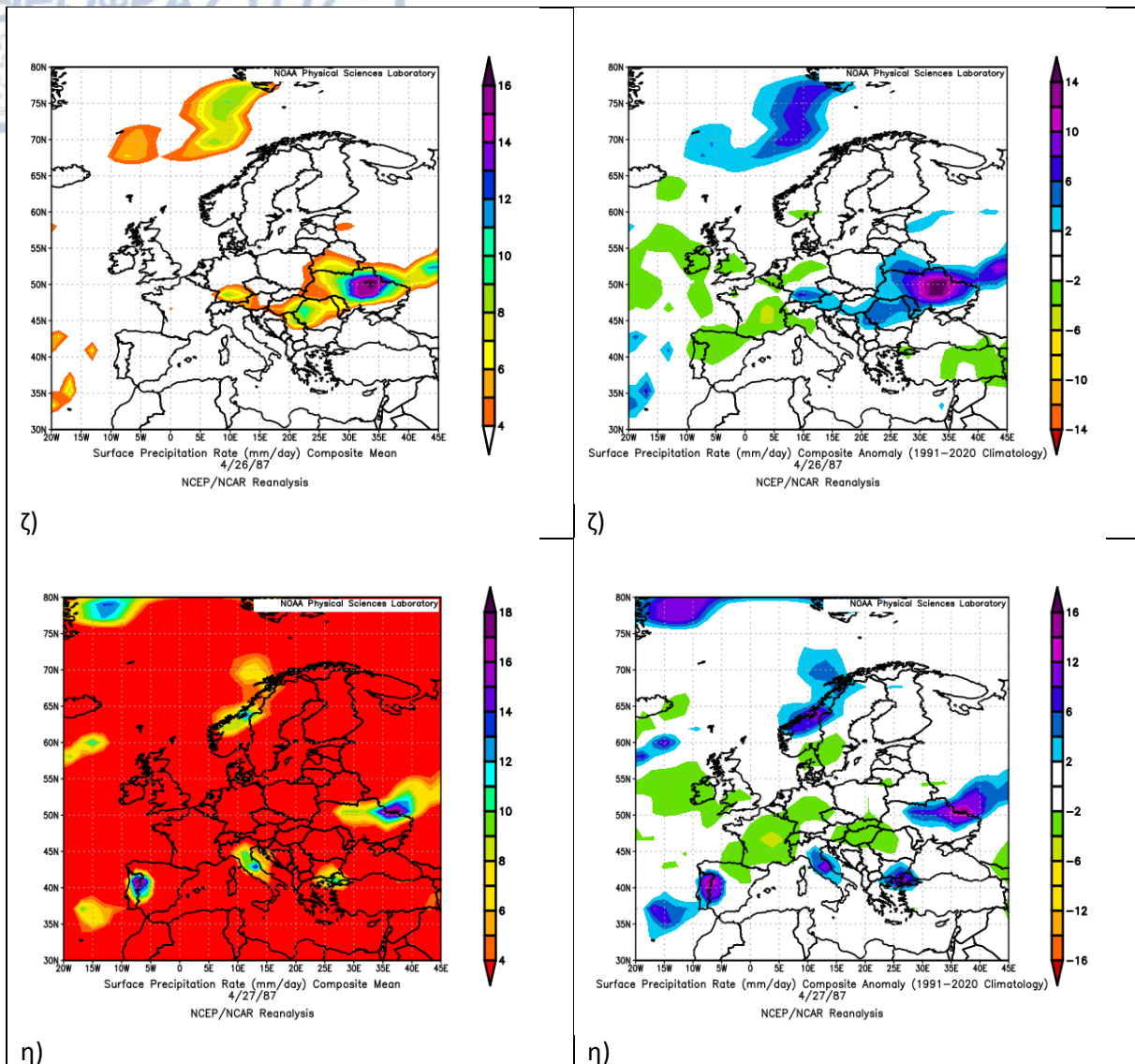
ε)



στ)



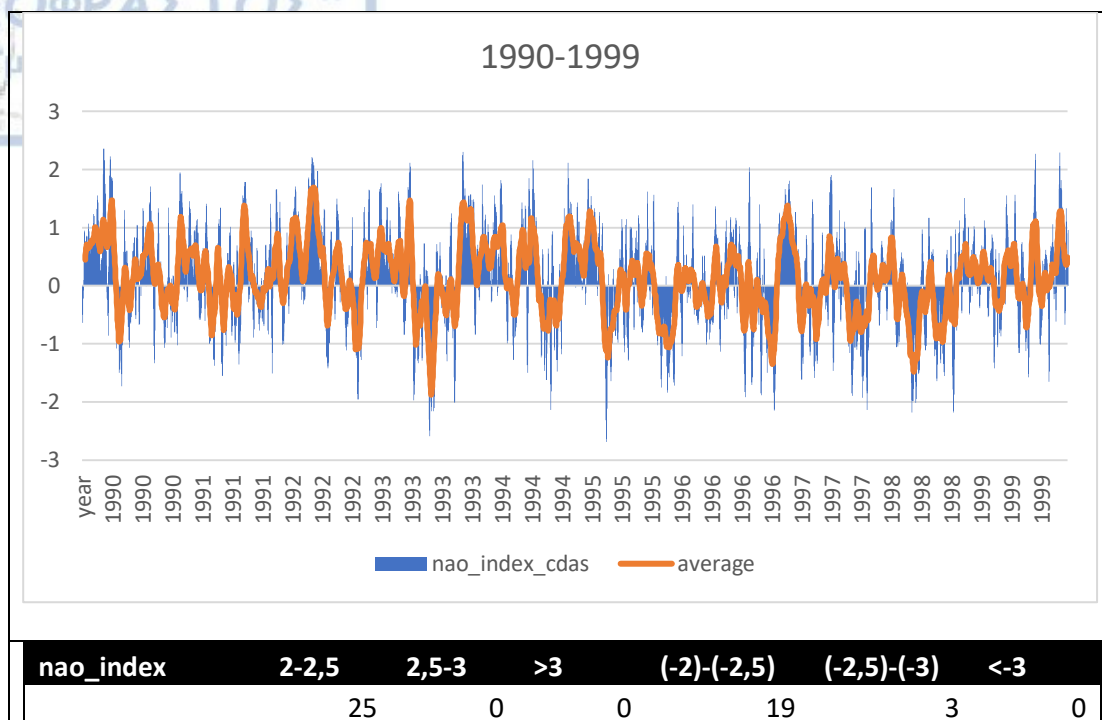
στ)



Σχήμα 4.4.4 Η ημερήσια βροχόπτωση (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της βροχόπτωσης της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α) 4/10/1981, β) 5/10/1981, γ) 6/10/1981, δ) 15/9/1982, ε) 16/12/1982, στ) 2/1/1983, ζ) 26/4/1987 και η) 27/4/1987.

4.5 Δεδομένα του NAO του 1990-1999

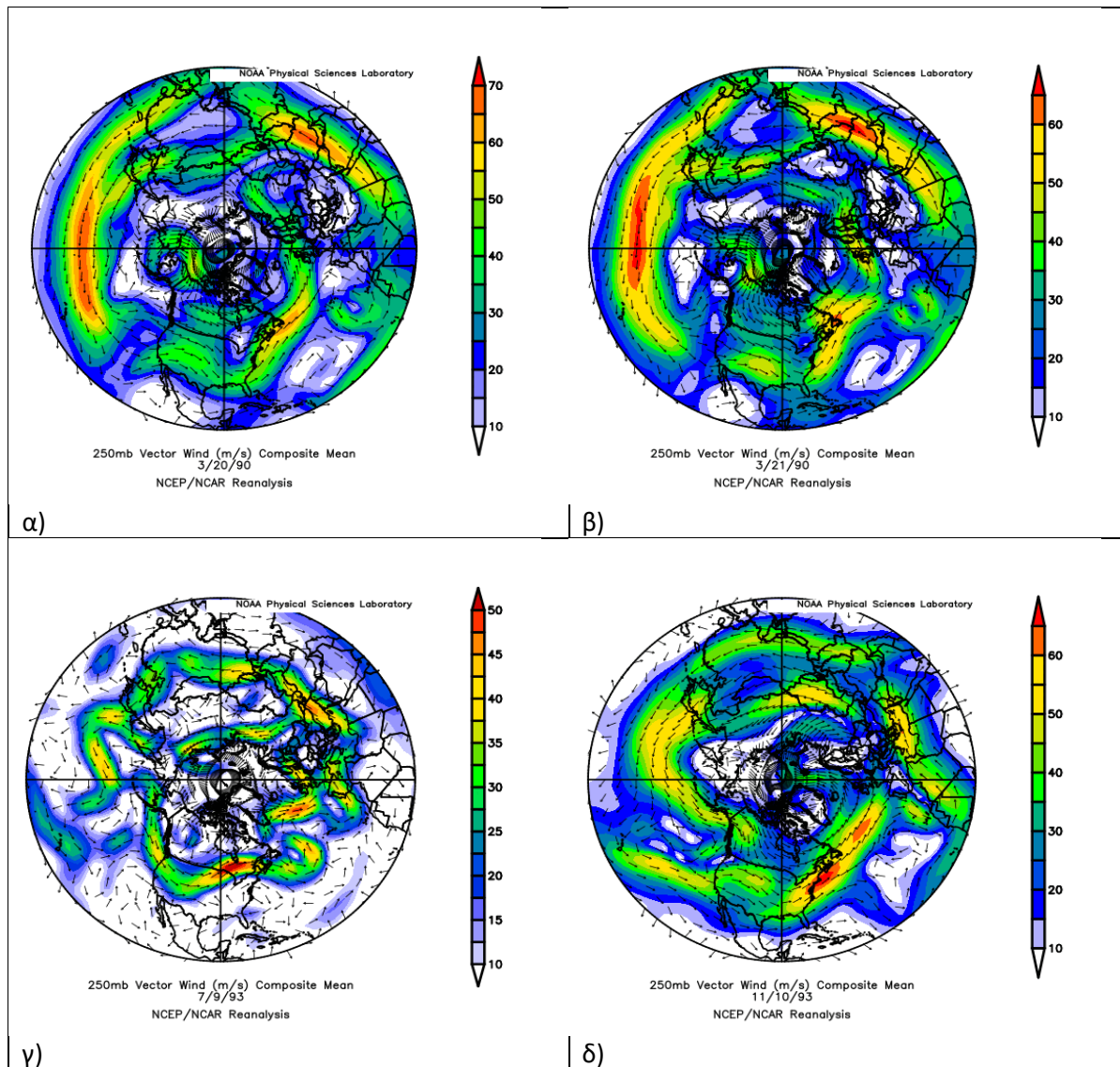
Από το σχήμα 4.5.1 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη NAO για τη χρονική περίοδο 1990 με 1999, παρατηρείται ότι ο δείκτης εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές του (2-2,5) με 25 περιπτώσεις (οι τρεις πιο ακραίες τιμές επιλέχθηκαν για περαιτέρω ανάλυση), το 1990, 1992, 1993, 1994 και 1999 ενώ οι μικρότερες τιμές του δείκτη ((-2)- (-2,5)) με 19 περιπτώσεις και ((-2,5)-(-3)) με 3 περιπτώσεις (οι περιπτώσεις αυτές μελετήθηκαν περαιτέρω), παρατηρούνται το 1993, 1994, 1995, 1996, 1997 και 1998.

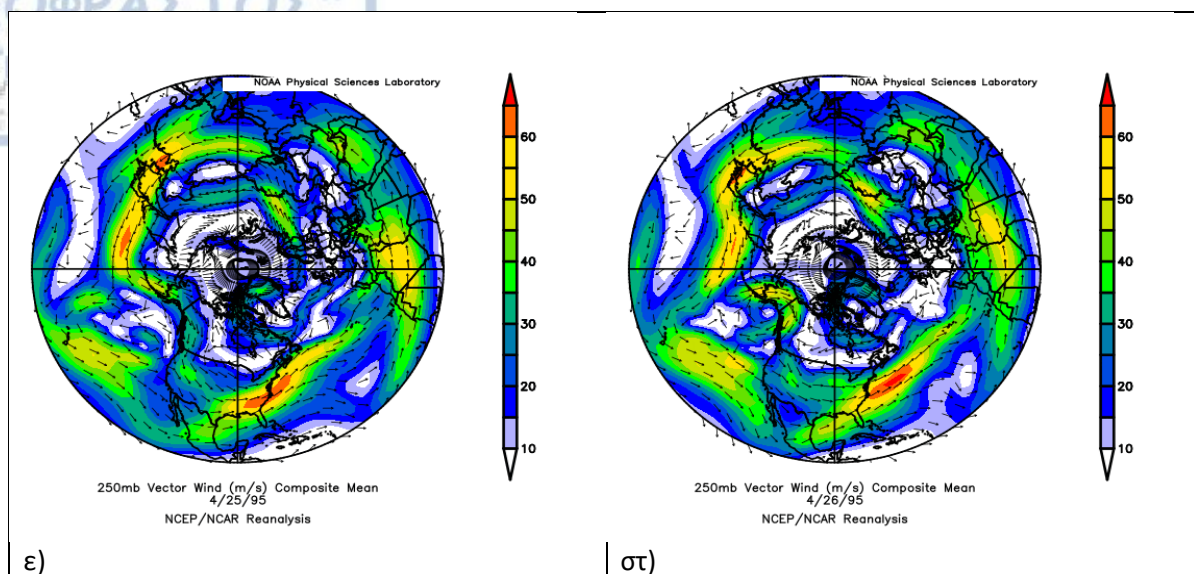


Σχήμα 4.5.1 Η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 1990-1999. Ο πίνακας στο κάτω μέρος εμφανίζει το πλήθος των περιπτώσεων ανά κατηγορία.

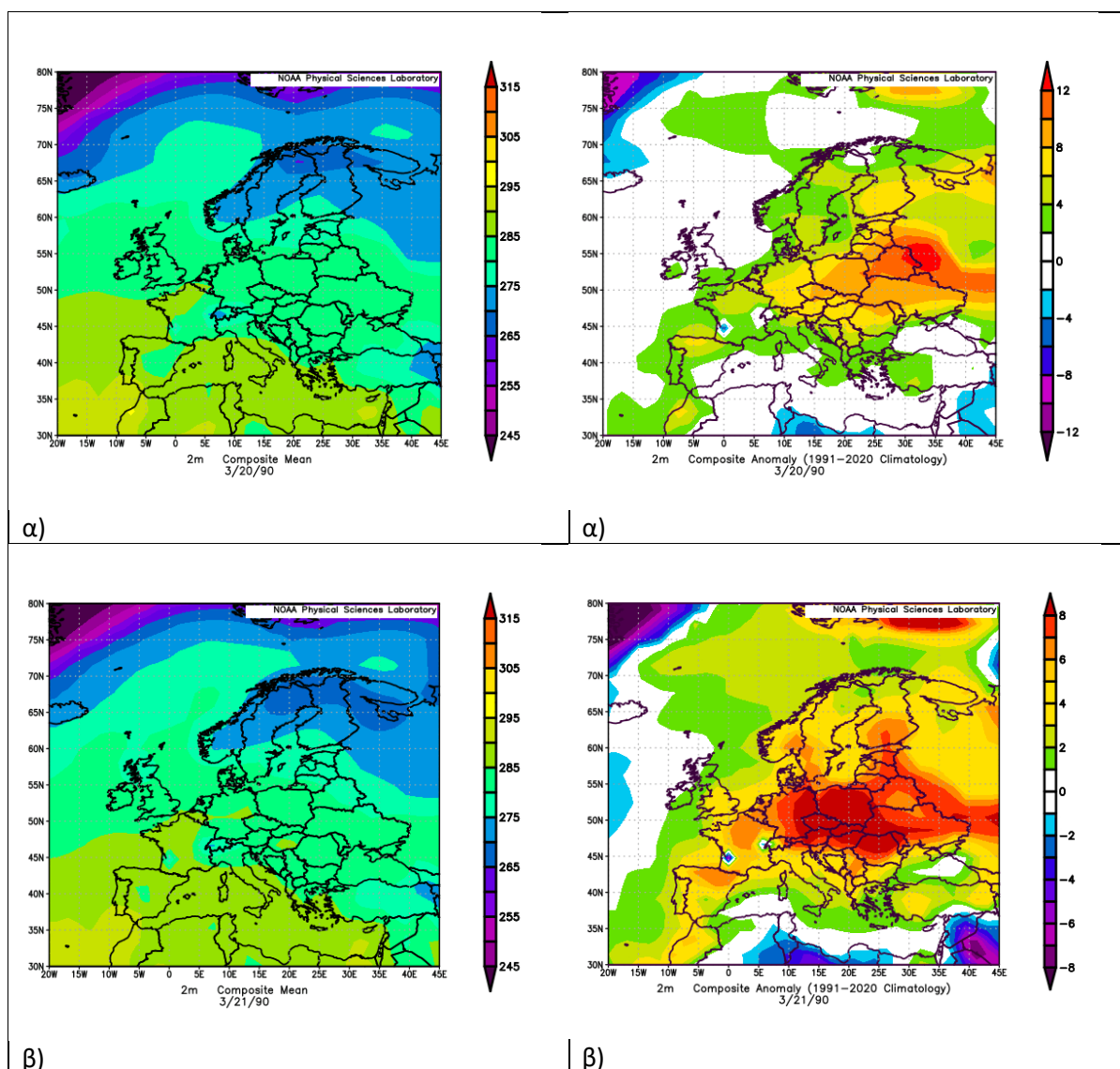
Κατά το χρονικό διάστημα 1990-1999, παρατηρήθηκαν έξι ακραίες τιμές του δείκτη NAO. Στις 20 και 21 Μαρτίου του 1990, 9 Ιουλίου του 1993, 10 Νοεμβρίου του 1993 και 25 και 26 Απριλίου του 1995, με τον δείκτη NAO να υπολογίζεται 2,355, 2,359, -2,59, 2,306, -2,691 και -2,638, αντίστοιχα. Κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, το διάστημα 20-21 Μαρτίου του 1990, ο αεροχειμάρρος με την μεγαλύτερη τιμή του στην Σκανδιναβία και την Αγγλία, κινείται προς τα Βόρειο-Ανατολικά, μεταφέροντας θερμές και υγρές αέριες μάζες στη Βόρεια Ευρώπη (4.5.2.α.β). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, προέκυψε ότι οι θερμοκρασίες αυξήθηκαν σε ολόκληρη την έκταση της Ευρώπης, με την δεύτερη μέρα η θερμοκρασίες να υπερβαίνουν τον μέσο όρο έως και 8°C. Συμπληρωματικά, οι βροχοπτώσεις αυξήθηκαν στην Σκανδιναβία, ενώ μειώθηκαν στην υπόλοιπη Ευρώπη (Σχήμα 4.5.3.α.β και 4.5.4.α.β). Σε θετική φάση βρισκόταν ο δείκτης NAO και στις 10 Νοεμβρίου του 1993, με τον αεροχειμάρρο να ακολουθεί την ίδια πορεία (Σχήμα 4.5.2.δ). Οι θερμοκρασίες ήταν 2,5-7,5°C ανώτερες από τον μέσο όρο στην Σκανδιναβία και 5-20°C κατώτερες στην Ανατολική Ευρώπη, ειδικότερα στην Ρωσία (Σχήμα 4.5.3.δ). Όσο αφορά τα κατακρημνίσματα δεν παρουσίασαν αξιοσημείωτες μεταβολές (Σχήμα 4.5.4.δ). Κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, ο αεροχειμάρρος κινείται από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά, μεταφέροντας ψυχρές και υγρές αέριες μάζες στη Βόρεια Ευρώπη και θερμές και ξηρές αέριες μάζες στην Νότια Ευρώπη (Σχήμα 4.5.2.γ.ε.στ). Στις 9 Ιουλίου του 1993, αυξημένες θερμοκρασίες κατά 1-3°C από τον μέσο όρο παρατηρήθηκαν στην Γερμανία, στην Γαλλία, στην Ισπανία, στο Βέλγιο και στην Ελβετία, ενώ μειωμένες θερμοκρασίες κατά 1-9°C από τον μέσο όρο στην Ανατολική Ευρώπη, στην Σκανδιναβία, στην Αγγλία και την Ιρλανδία (Σχήμα 4.5.3.γ). Παράλληλα, τα κατακρημνίσματα μειώθηκαν στην κεντρική Ευρώπη και αυξήθηκαν στην Αγγλία και

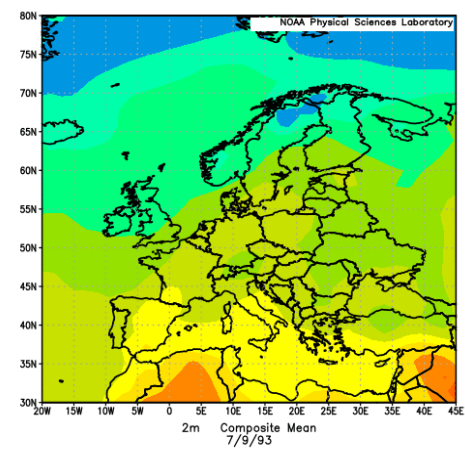
στην Ιρλανδία (Σχήμα 4.5.4.γ). Από την άλλη, το διάστημα 25-26 Απριλίου του 1995, στην Πορτογαλία, στην Ισπανία, στην Γαλλία και στην Ιταλία, οι θερμοκρασίες ήταν χαμηλότερες του μέσο όρου κατά 2-8°C και υψηλότερες στην κεντρική και Ανατολική Ευρώπη (Σχήμα 4.5.3.ε.στ). Ταυτόχρονα, αύξηση των βροχοπτώσεων σημειώθηκε στην κεντρική Ευρώπη (Σχήμα 4.5.4.ε.στ).



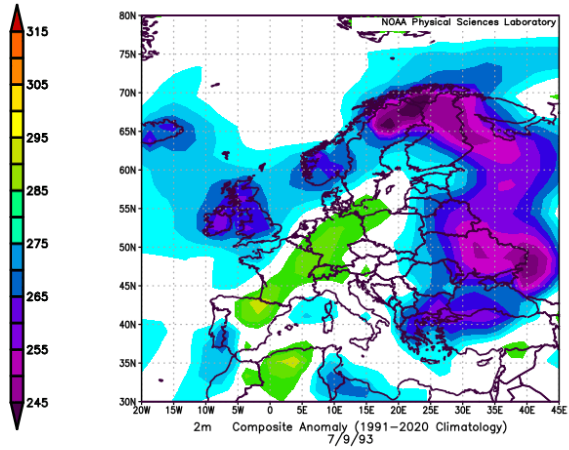


Σχήμα 4.5.2 Η θέση του αεροχειμάρρου για την α) 20/3/1990, β) 21/3/1990, γ) 9/7/1993, δ) 10/11/1993, ε) 25/4/1995, στ) 26/4/1995.

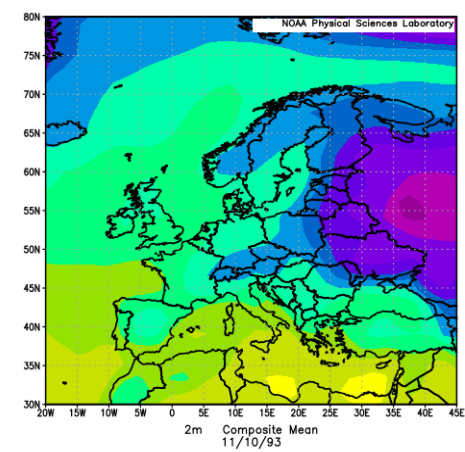




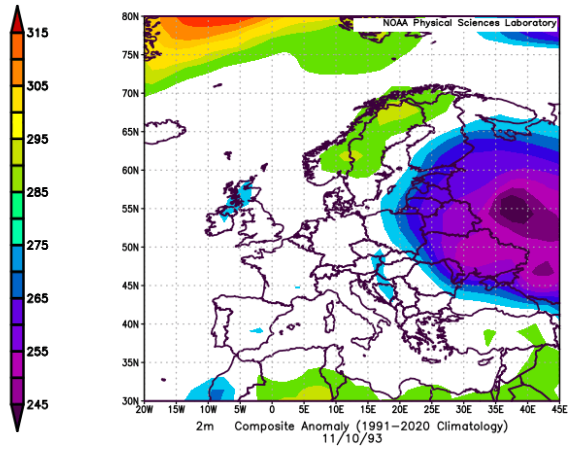
γ)



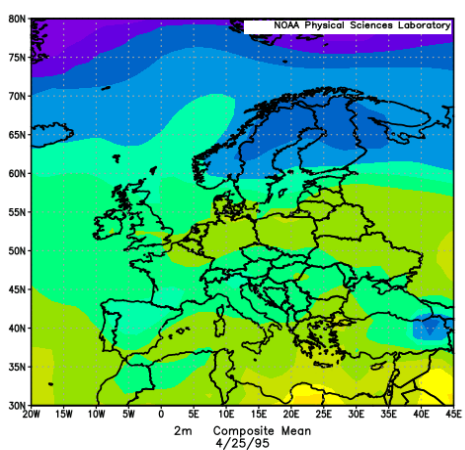
γ)



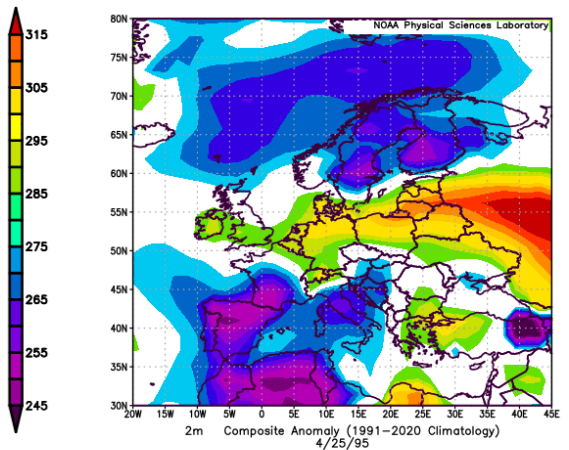
δ)



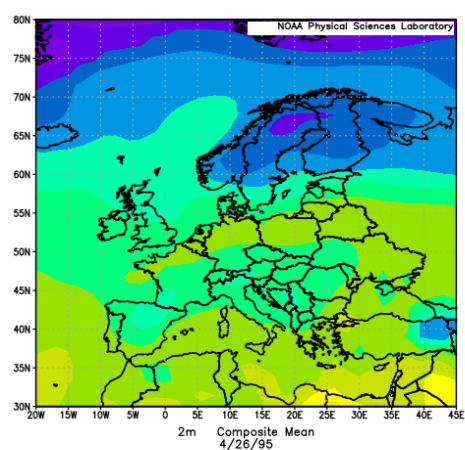
δ)



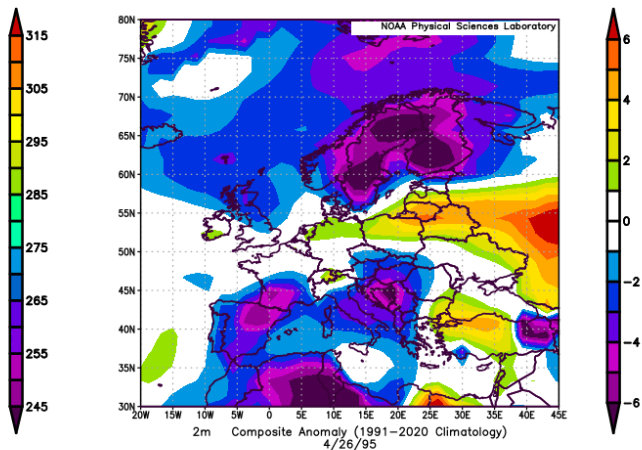
ε)



ε)

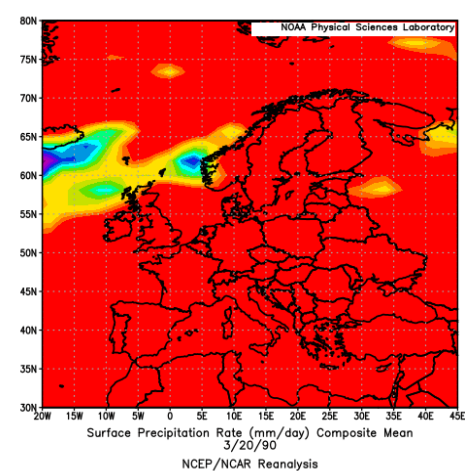


στ)

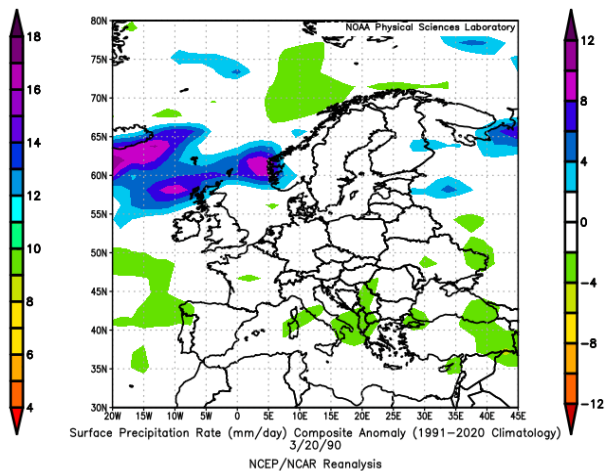


στ)

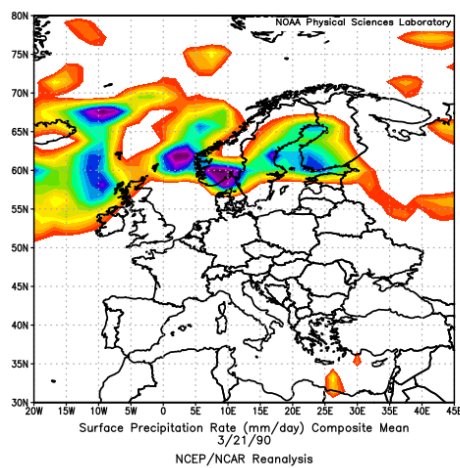
Σχήμα 4.5.3 Η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στη περιοχή της Ευρώπης (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α) 20/3/1990, β)21/3/1990, γ) 9/7/1993, δ) 10/11/1993, ε)25/4/1995, στ)26/4/1995.



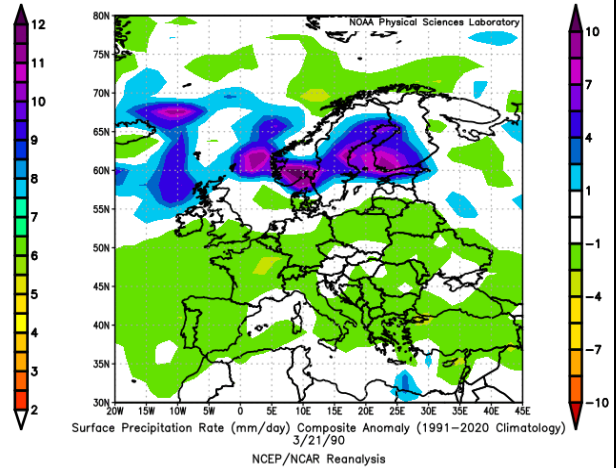
α)



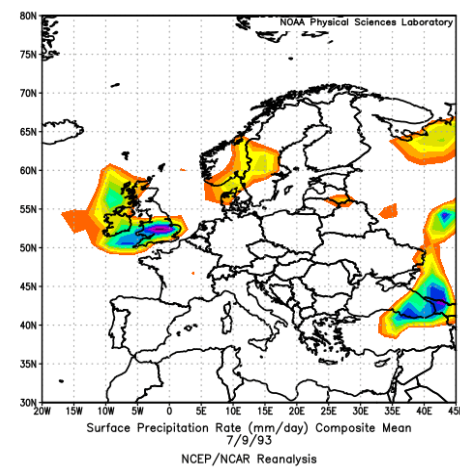
α)



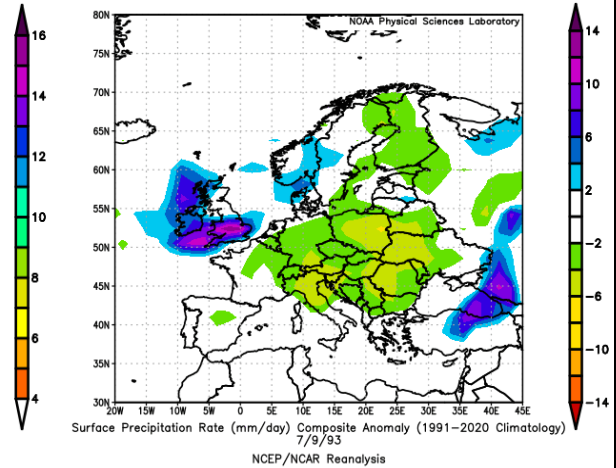
β)



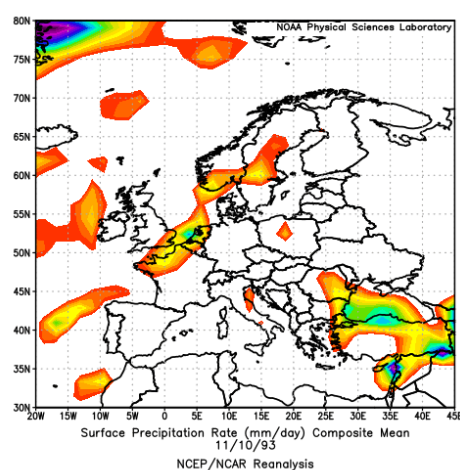
β)



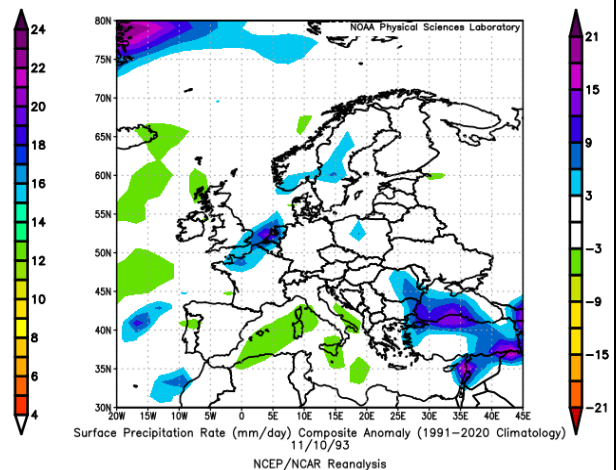
γ)



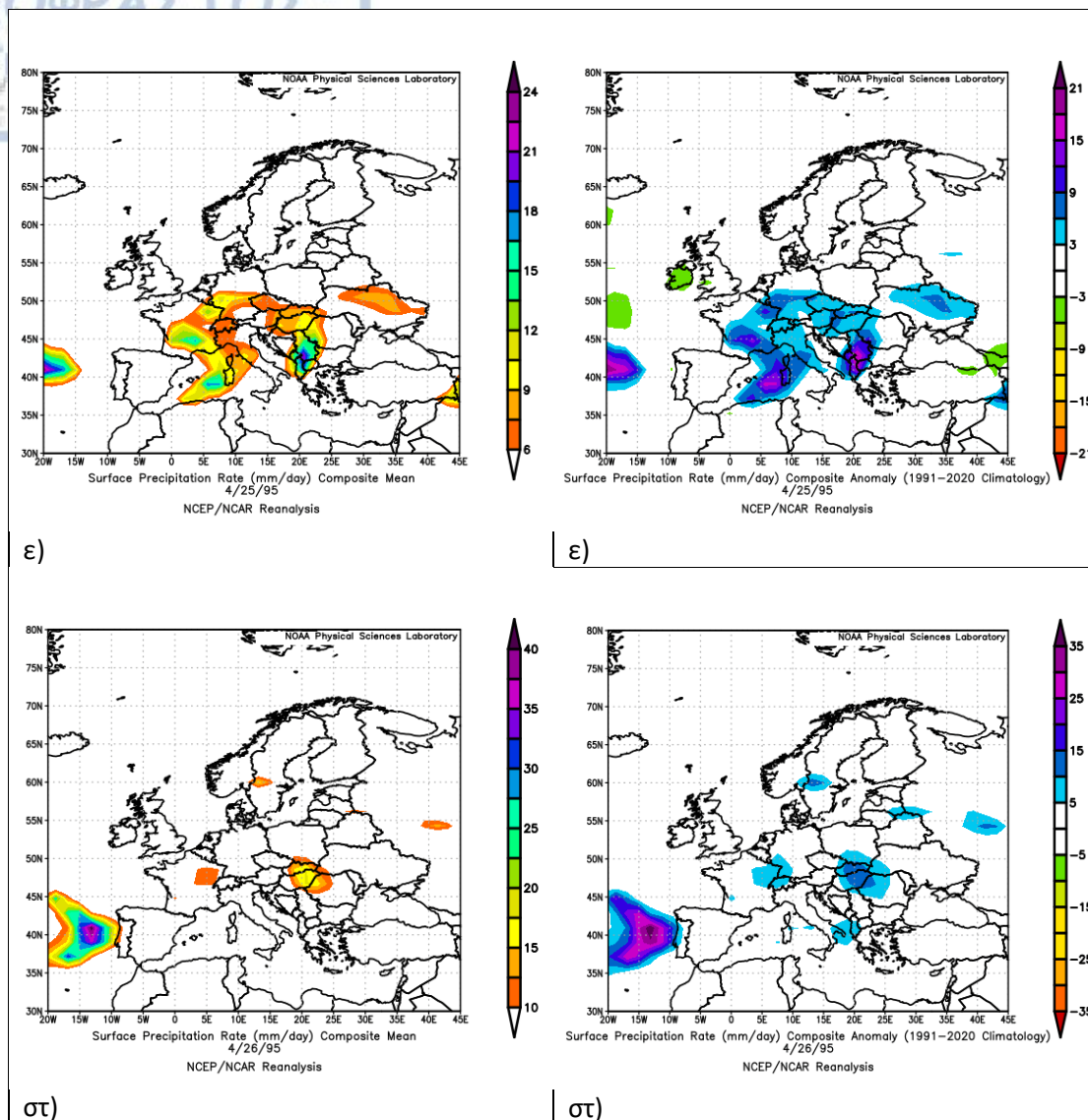
γ)



δ)



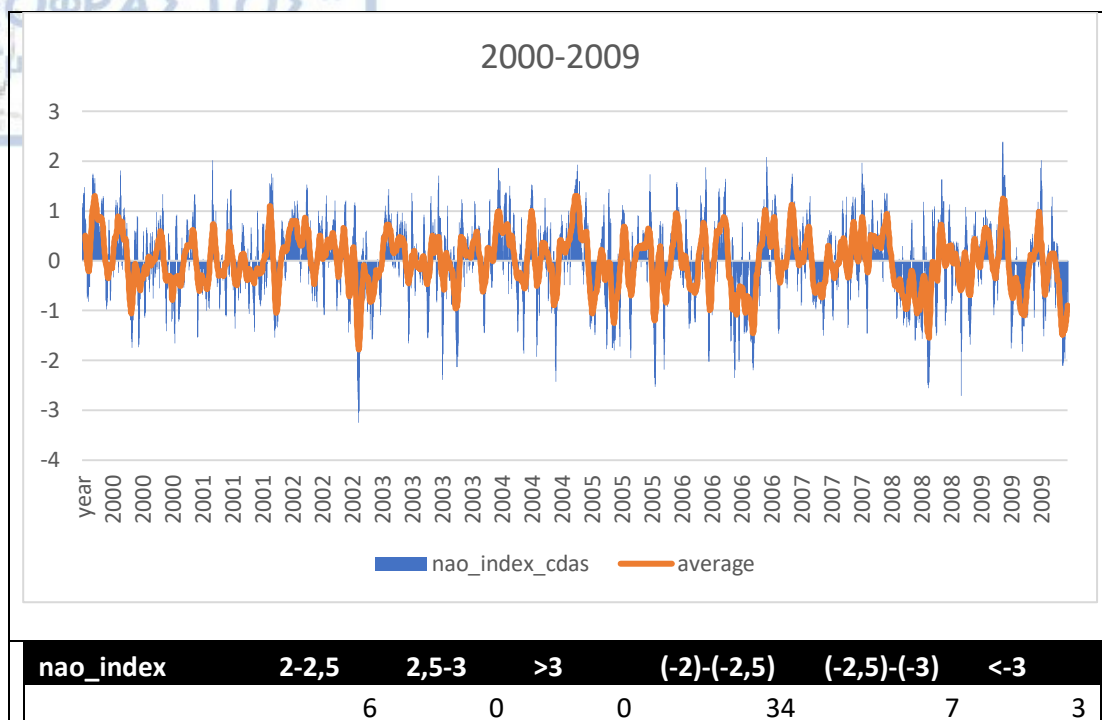
δ)



Σχήμα 4.5.4 Η ημερήσια βροχόπτωση (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της βροχόπτωσης της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α) 20/3/1990, β)21/3/1990, γ) 9/7/1993, δ) 10/11/1993, ε)25/4/1995, στ)26/4/1995.

4.6. Δεδομένα του NAO του 2000-2009

Από το γράφημα σχήμα 4.6.1 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη NAO για τη χρονική περίοδο 2000 με 2009, παρατηρείται ότι ο δείκτης εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές του (2-2,5) με 6 περιπτώσεις (οι δύο πιο ακραίες τιμές επιλέχθηκαν για περαιτέρω ανάλυση), το 2001, 2006 και 2009 ενώ οι μικρότερες τιμές του δείκτη ((-2)-(-2,5)) με 34 περιπτώσεις, ((-2,5)-(-3)) με 7 περιπτώσεις (οι επτά αυτές περιπτώσεις μελετήθηκαν περαιτέρω) και μικρότερες του -3 με 3 περιπτώσεις (οι τρεις αυτές περιπτώσεις μελετήθηκαν περαιτέρω), παρατηρούνται το 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2008 και 2009.

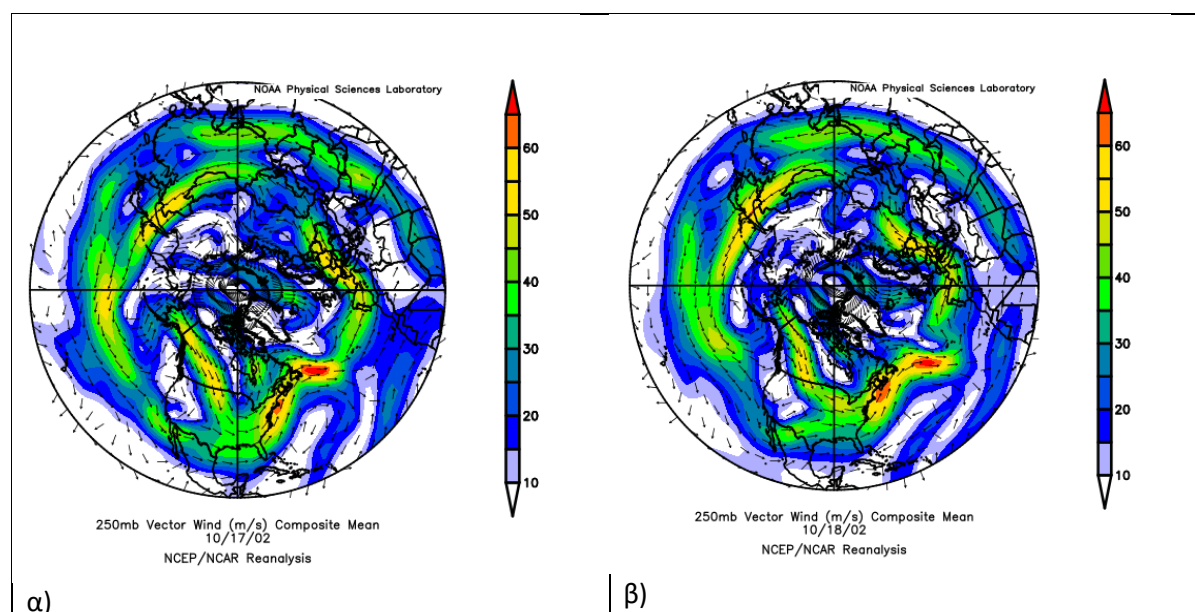


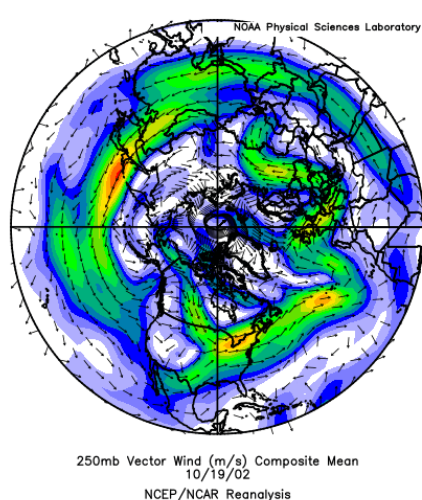
Σχήμα 4.6.1 Η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 2000-2009. Ο πίνακας στο κάτω μέρος εμφανίζει το πλήθος των περιπτώσεων ανά κατηγορία.

Κατά το χρονικό διάστημα 2000-2009, παρατηρήθηκαν δώδεκα ακραίες τιμές του δείκτη NAO. Στις 17-22 Οκτωβρίου του 2002, στις 22 Οκτωβρίου του 2005, στις 30 Ιουλίου του 2008, στις 2 Αυγούστου του 2008, στις 1 Δεκεμβρίου του 2008 και στις 3 και 4 Μαΐου του 2009, με τον δείκτη NAO να υπολογίζεται -2,636, -2,785, -2,8, -3,048, -3,254, -3,022, -2,531, -2,500, -2,552, -2,710, 2,375 και 2,387, αντίστοιχα. Κατά την αρνητική φάση του δείκτη, ο αεροχείμαρρος κινείται από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά, μεταφέροντας ψυχρές και υγρές αέριες μάζες στη Βόρεια Ευρώπη και θερμές και ξηρές αέριες μάζες στη Νότια Ευρώπη (Σχήμα 4.6.2.α.β.γ.δ.ε.στ.ζ.η.θ.ι). Στις 17 Οκτωβρίου του 2002, οι θερμοκρασίες στην Σκανδιναβία, την Αγγλία, την Ιρλανδία, την Πορτογαλία και την Ισπανία μειώνονται κατά 3-12°C από τον μέσο όρο με την Σκανδιναβία να εμφανίζει τις μεγαλύτερες διαφορές. Στην κεντρική Ευρώπη και την Ιταλία οι θερμοκρασίες αυξάνονται κατά 3-6°C. Για τις επόμενες δύο μέρες, τα κέντρα των ανωμαλιών της θερμοκρασίας (αρνητική ή θετική) κινούνται προς τα Ανατολικά (Σχήμα 4.6.3.α.β.γ). Στις 20 Οκτωβρίου του 2002, στην Ισπανία, στην Πορτογαλία, στην Δυτική Γαλλία αλλά και στην Ρωσία, σημειώνεται αύξηση των θερμοκρασιών κατά 2-8°C, ενώ στην υπόλοιπη Ευρώπη μείωση κατά 2-8°C. Οι δύο επόμενες μέρες που ακολουθούν εμφανίζουν αυξημένες θερμοκρασίες κατά 2-6°C στα Δυτικά και μειωμένες κατά 2-12°C στα Ανατολικά (Σχήμα 4.6.4.δ.ε.στ). Επιπρόσθετα, αξιοσημείωτες θερμοκρασιακές μεταβολές παρουσιάζονται στις 22 Οκτωβρίου του 2005, με την θερμοκρασία να είναι ανώτερη του μέσου όρου κατά 4-10°C στο μεγαλύτερο τμήμα της Ευρώπης καθώς και στις 1 Δεκεμβρίου του 2008, όπου Ανατολικά της Γερμανίας, οι θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες κατά 3-10°C από τον μέσο όρο και Δυτικά αυτής είναι μικρότερες (Σχήμα 4.6.3.ζ.ι). Ωστόσο, την

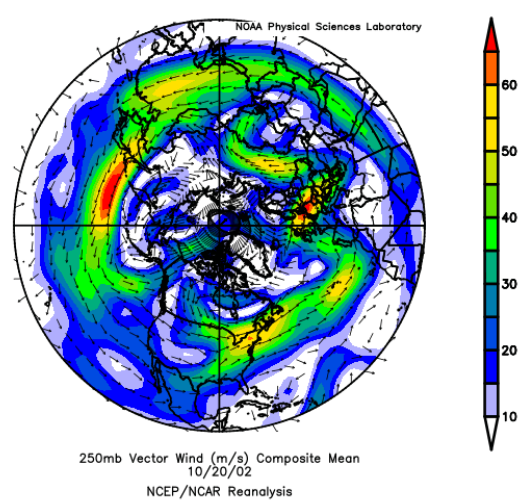
περίοδο 17-22 Οκτωβρίου του 2002, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αυξομειώσεις στον χώρο της Ευρώπης (Σχήμα 4.6.4.α.β.γ.δ.ε.στ). Η ακραία τιμή του δείκτη NAO επηρέασε κυρίως τη θερμοκρασία της περιοχής. Αντιθέτως, στις 22 Οκτωβρίου του 2005, τα κατακρημνίσματα στην Γαλλία, στην Σουηδία και στην Πορτογαλία αυξήθηκαν και στην Ελλάδα μειώθηκαν (Σχήμα 4.6.4.ζ). Στις 30 Ιουλίου του 2008, αυξήθηκαν κυρίως στις Άλπεις αλλά και στην Γαλλία, στην Γερμανία, στην Ιρλανδία και στην Νορβηγία και μειώθηκαν στην Βόρειο-Ανατολική Ευρώπη (Σχήμα 4.6.4.η). Στις 2 Αυγούστου του 2008, αυξήθηκαν στην Νορβηγία, στην Τσεχία, στην Αυστρία και στην Σλοβακία και μειώθηκαν στην Γαλλία και στην Ανατολική Ευρώπη (Σχήμα 4.6.4.θ). Καθώς και στις 1 Δεκεμβρίου του 2008, αυξήθηκαν στην Βόρεια Ιταλία και μειώθηκαν στην Νότια Ιταλία και την Νορβηγία (Σχήμα 4.6.4.ι).

Κατά την θετική φάση του δείκτη, ο αεροχειμαρρος κινείται προς τα Βόρειο-Ανατολικά, μεταφέροντας θερμές και υγρές αέριες μάζες στη Βόρεια Ευρώπη (Σχήμα 4.6.2.ια.ιβ). Την περίοδο 3-4 Μαΐου του 2009, αυξημένες θερμοκρασίες κατά 4-8°C σημειώθηκαν στην Ανατολική και κεντρική Ευρώπη και στην Πορτογαλία, ενώ θερμοκρασίες χαμηλότερες κατά 4-8°C στην Ιταλία και τα Βαλκάνια (Σχήμα 4.6.3.ια.ιβ). Όσο αφορά τα επεισόδια βροχόπτωσης, αυξήθηκαν στην κεντρική Ευρώπη, στην Ισπανία και στην Πορτογαλία και μειώθηκαν στα Βαλκάνια (Σχήμα 4.6.4.ια.ιβ).

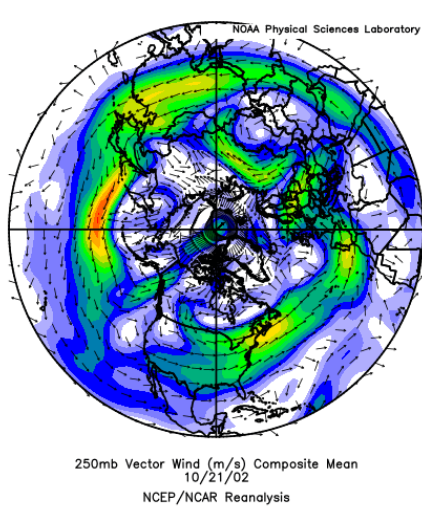




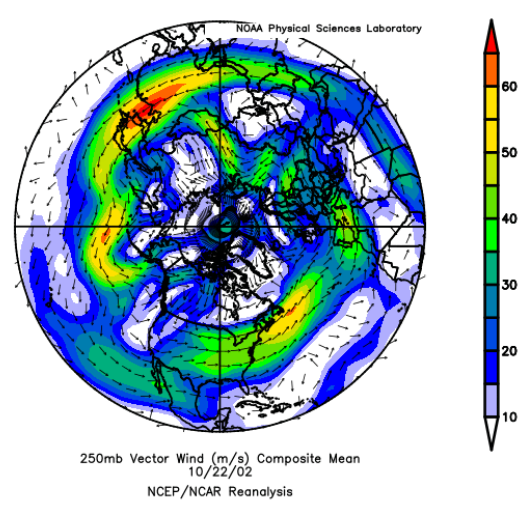
γ)



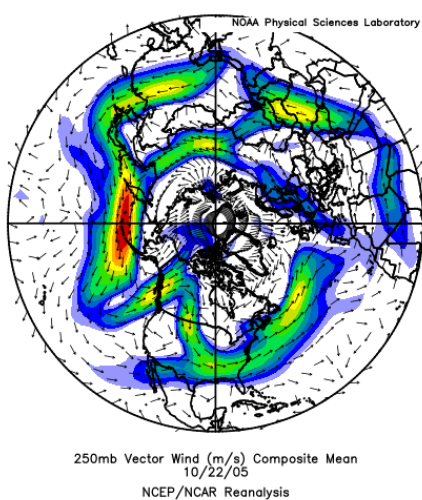
δ)



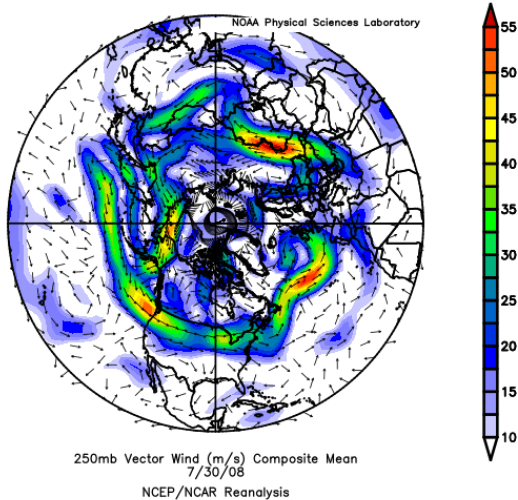
ε)



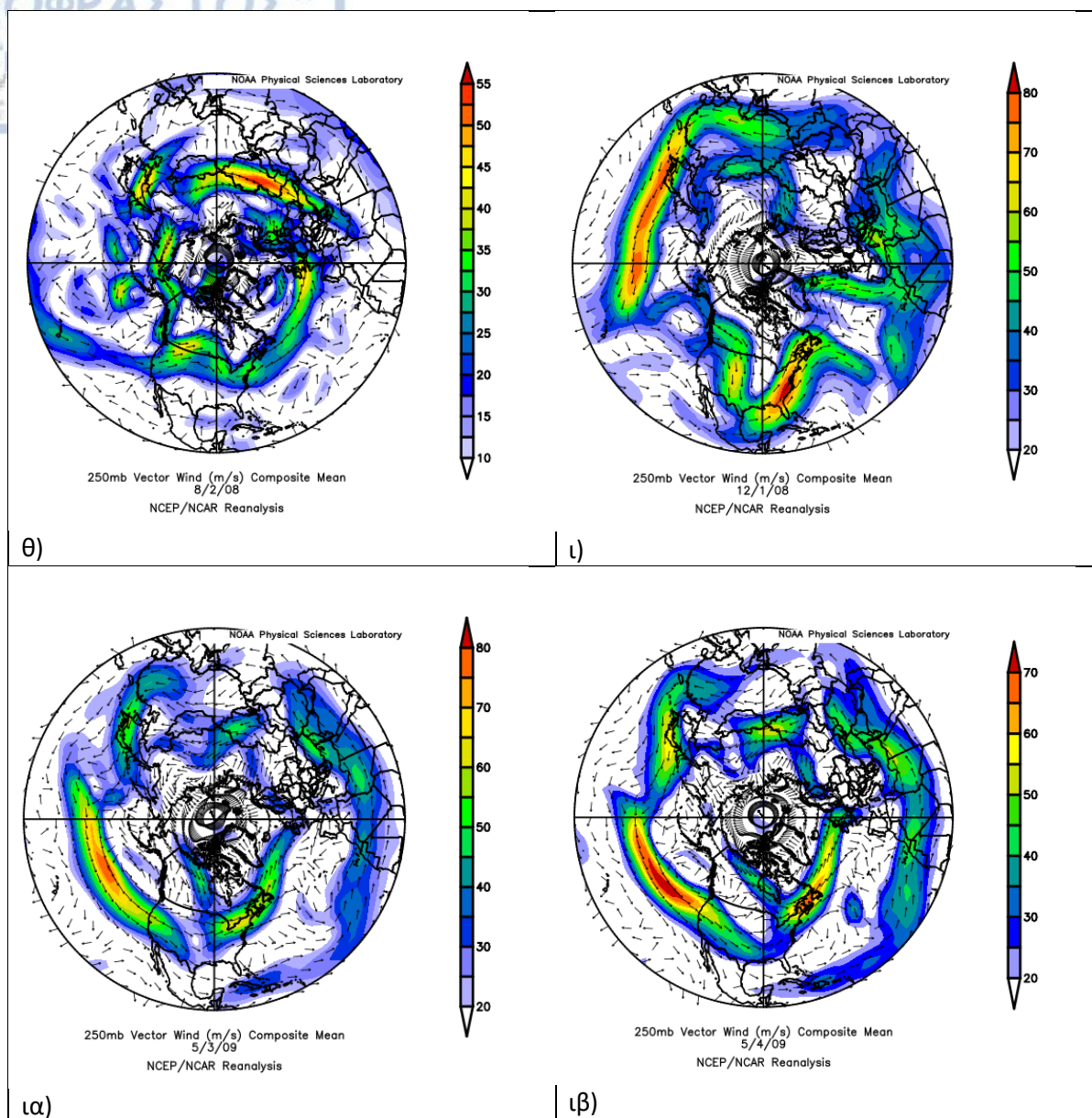
στ)



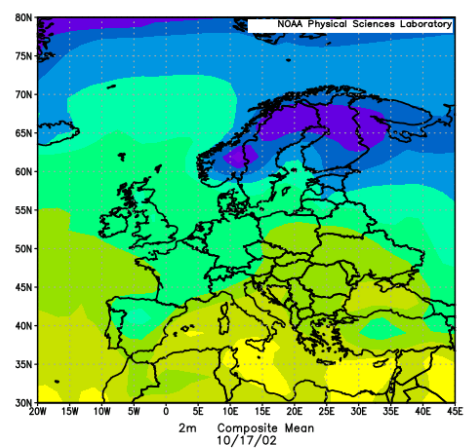
ζ)



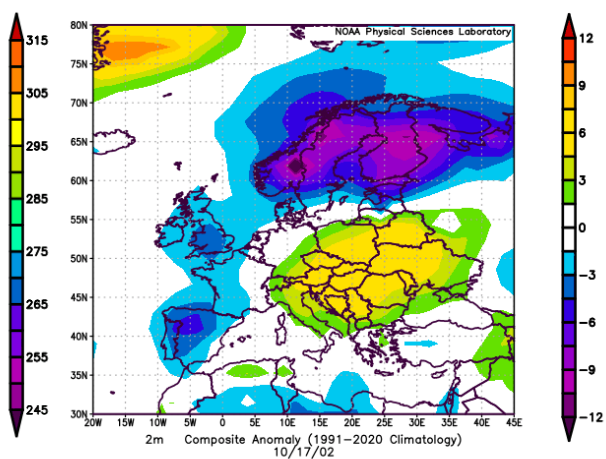
η)



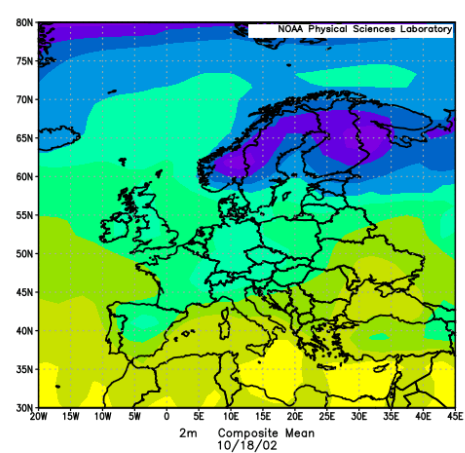
Σχήμα 4.6.2 Η θέση του αεροχειμάρρου για την α)17/10/2002, β)18/10/2002, γ)19/10/2002, δ)20/10/2002, ε)21/10/2002, στ)22/10/2002, ζ)22/10/2005, η)30/7/2008, θ)2/8/2008, ι)1/12/2008, ια)3/5/2009, ιβ)4/5/2009.



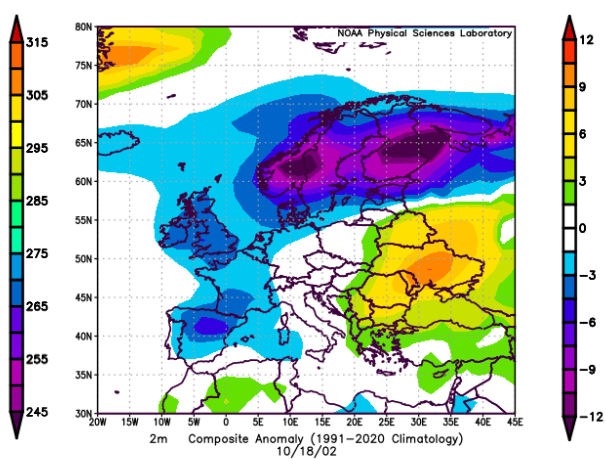
α)



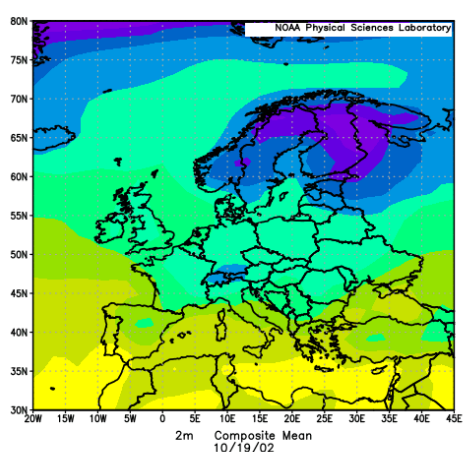
α)



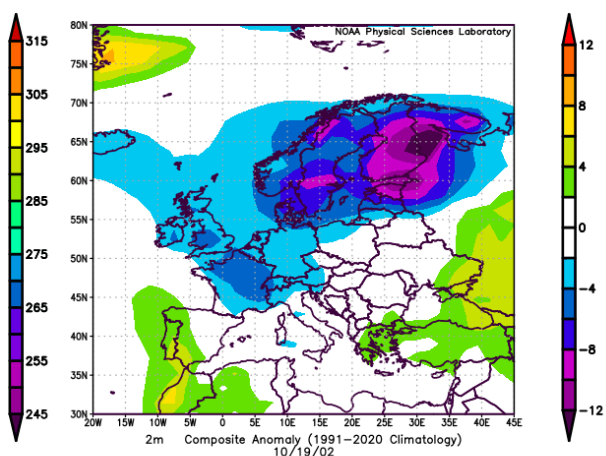
β)



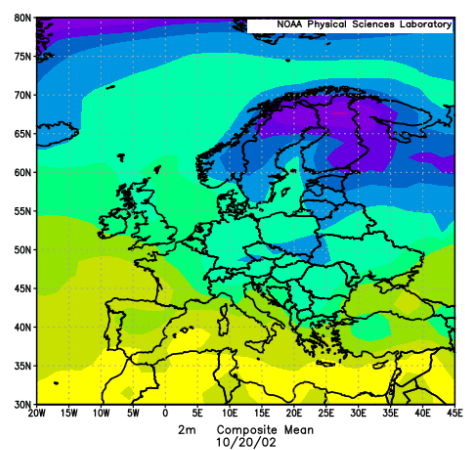
β)



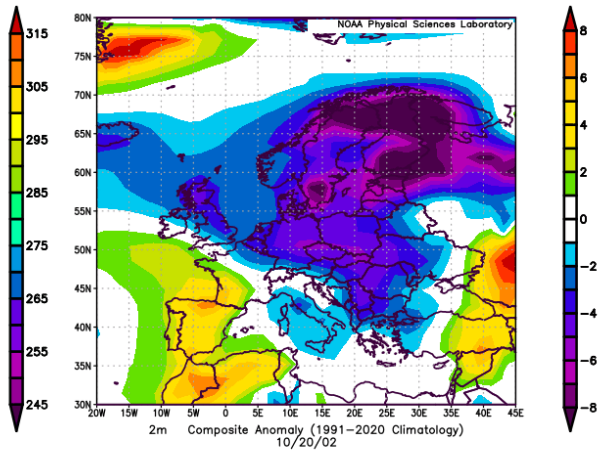
γ)



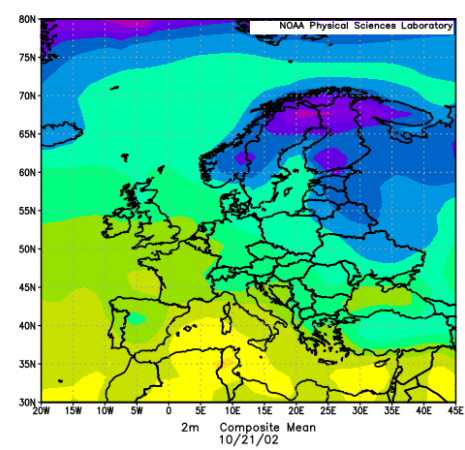
γ)



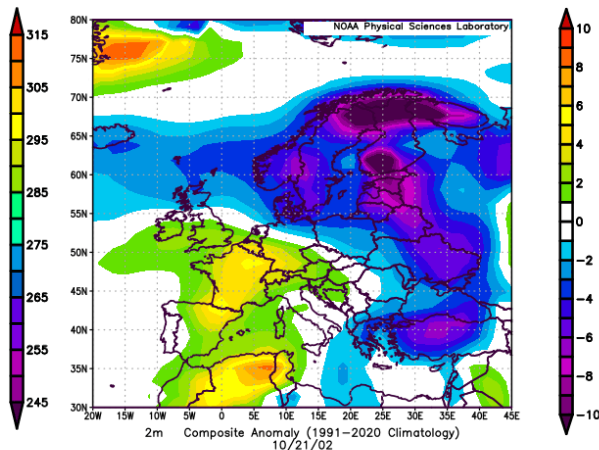
δ)



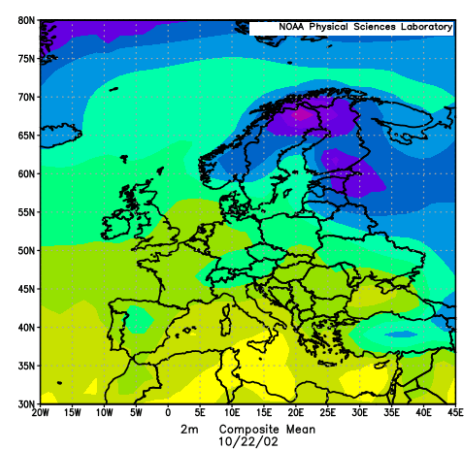
δ)



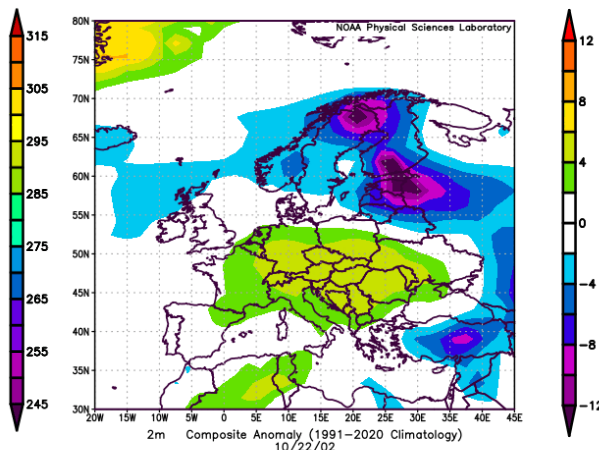
ε)



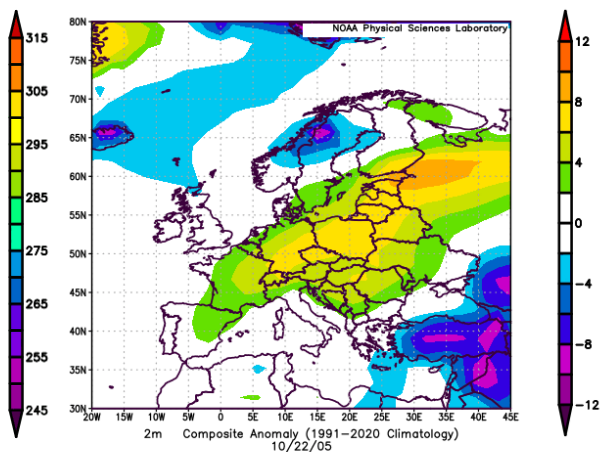
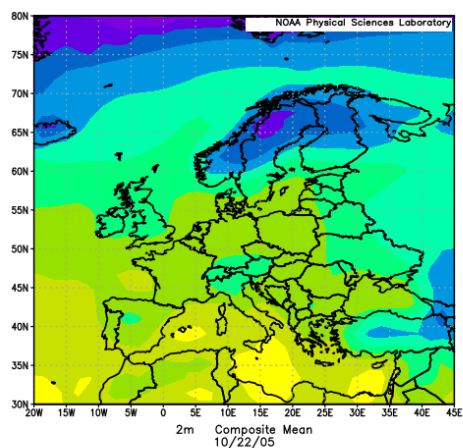
ε)



στ)

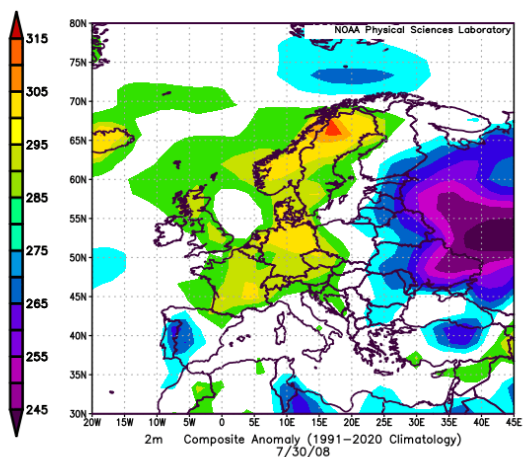
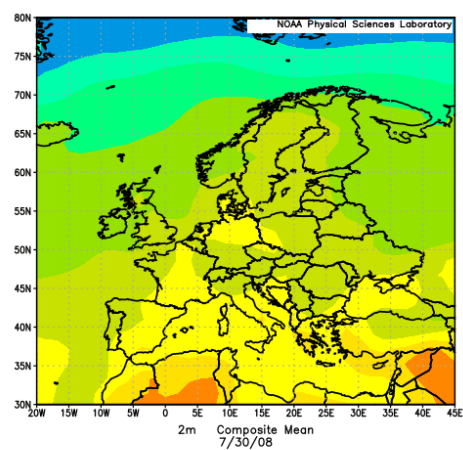


στ)



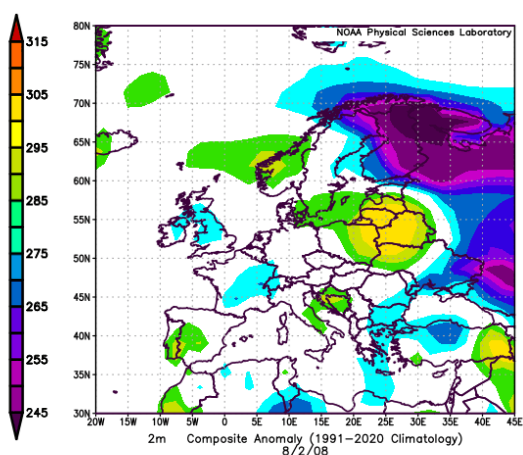
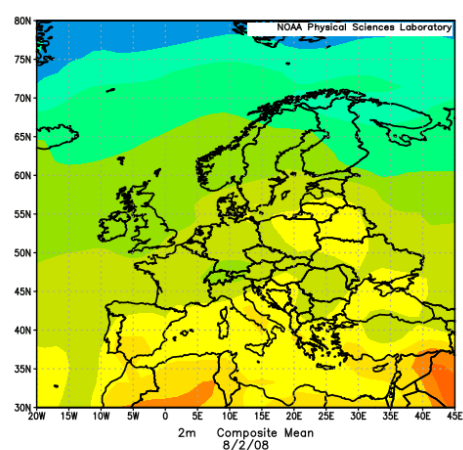
ζ)

ζ)



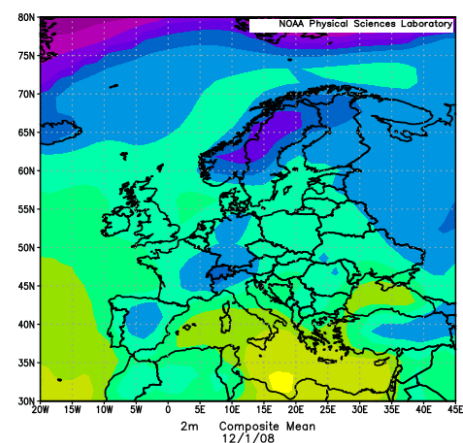
η)

η)

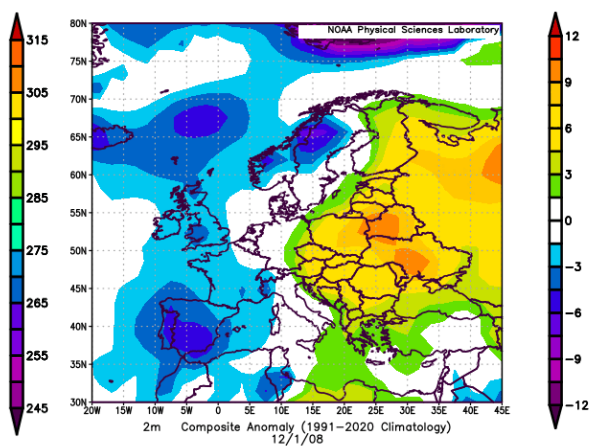


θ)

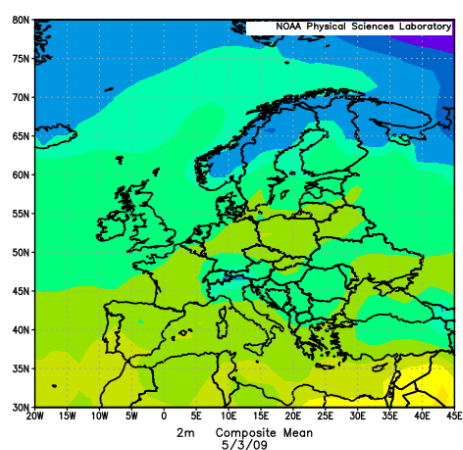
θ)



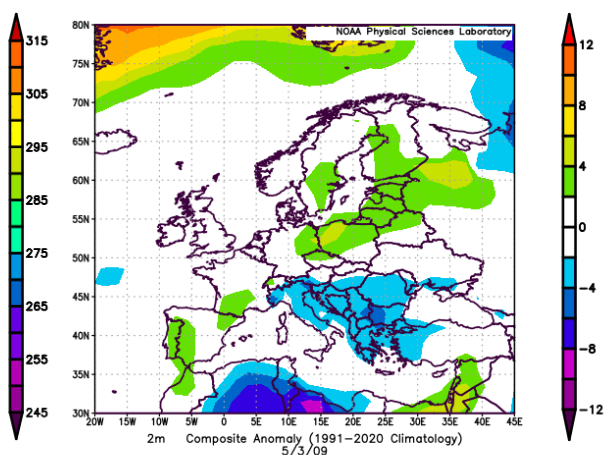
ι)



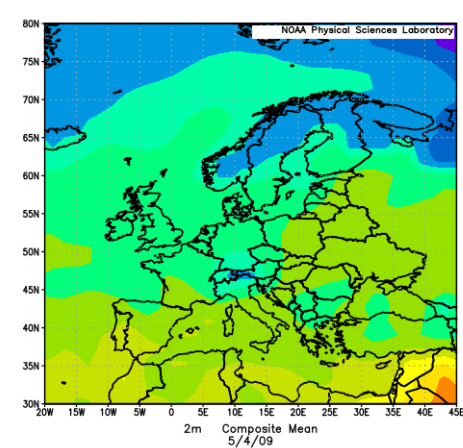
ι)



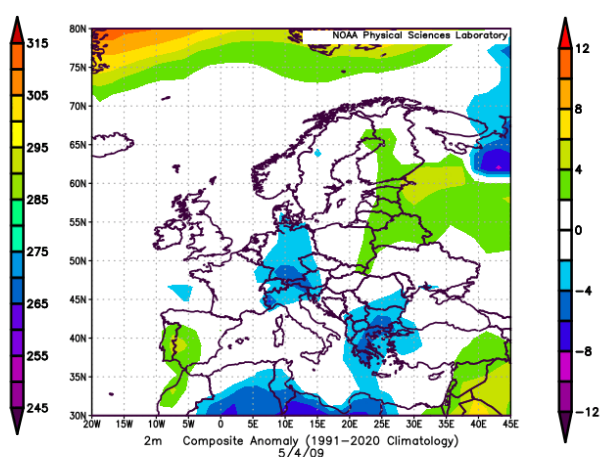
ια)



ια)



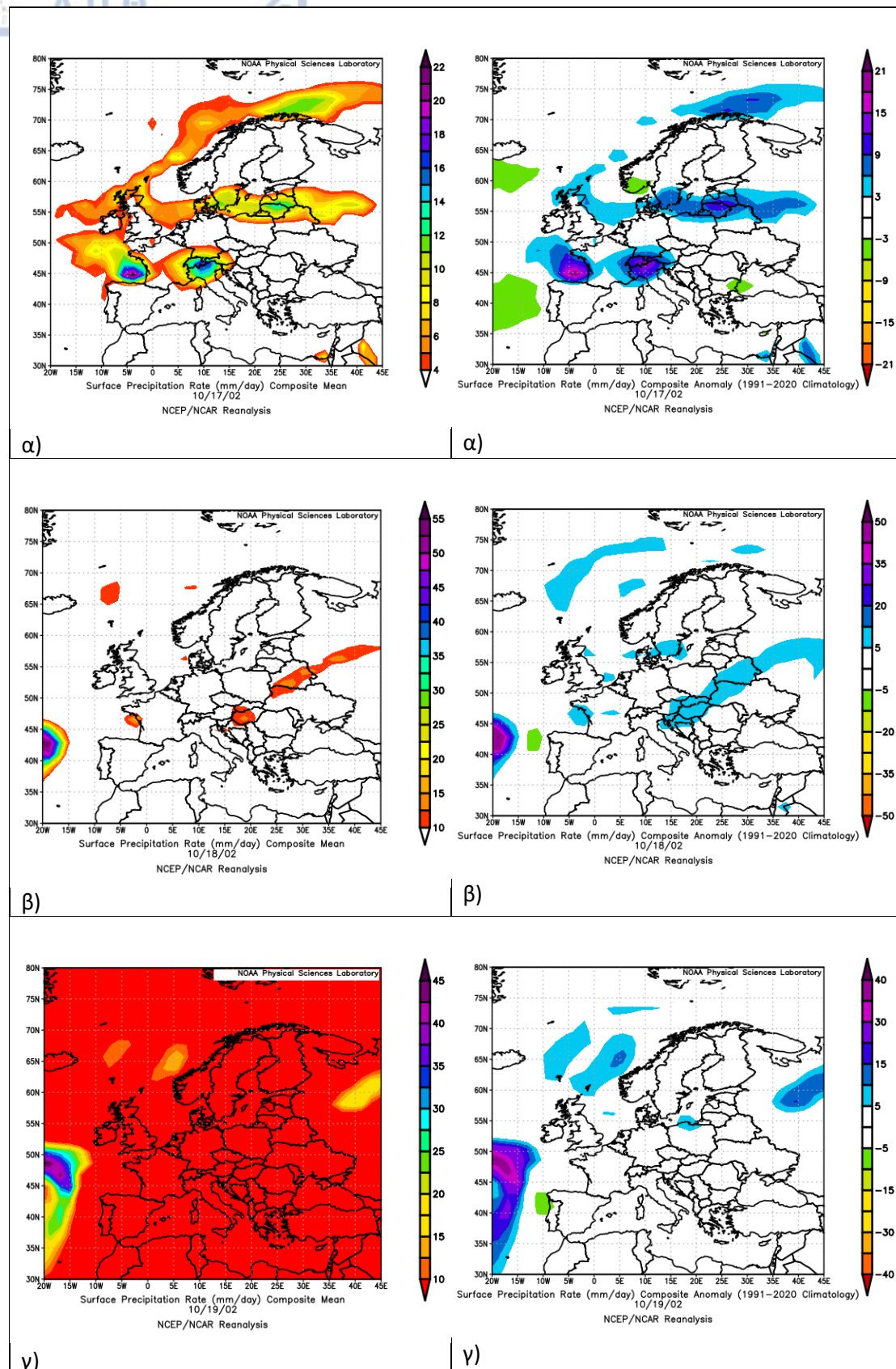
ιβ)

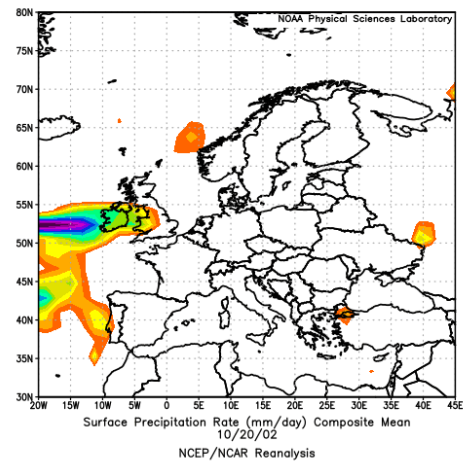


ιβ)

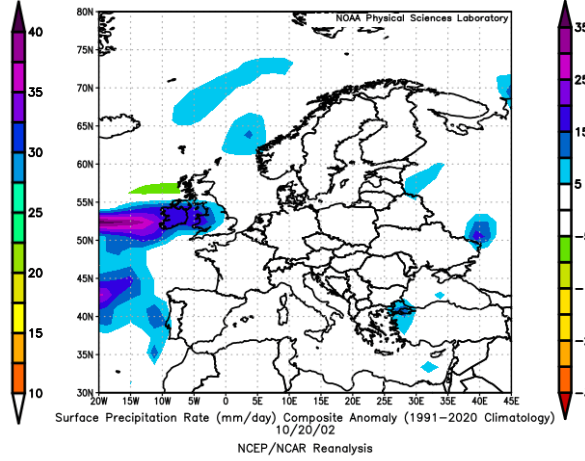
Σχήμα 4.6.3 Η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στη περιοχή της Ευρώπης (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α)17/10/2002, β)18/10/2002, γ)19/10/2002, δ)20/10/2002,

ε)21/10/2002, στ)22/10/2002, ζ)22/10/2005, η)30/7/2008, θ)2/8/2008, ι)1/12/2008,
ια)3/5/2009, ιβ)4/5/2009.

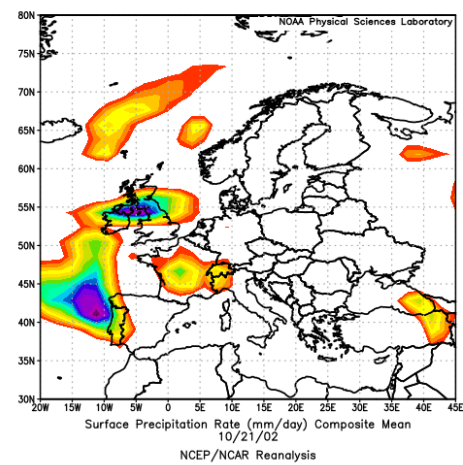




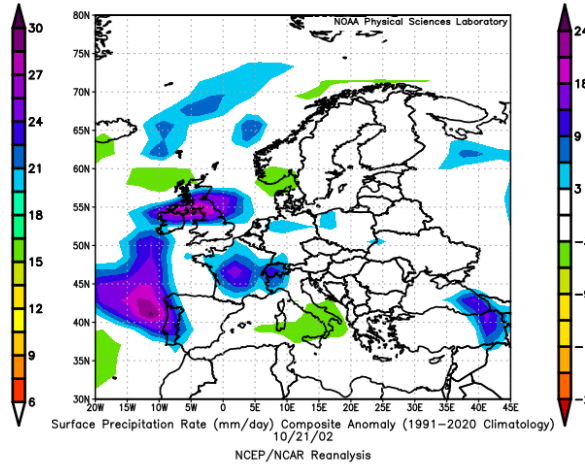
δ)



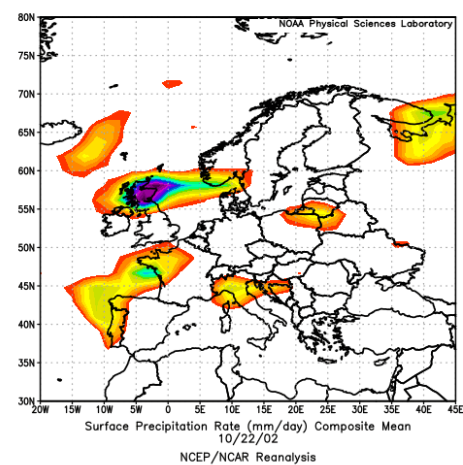
δ)



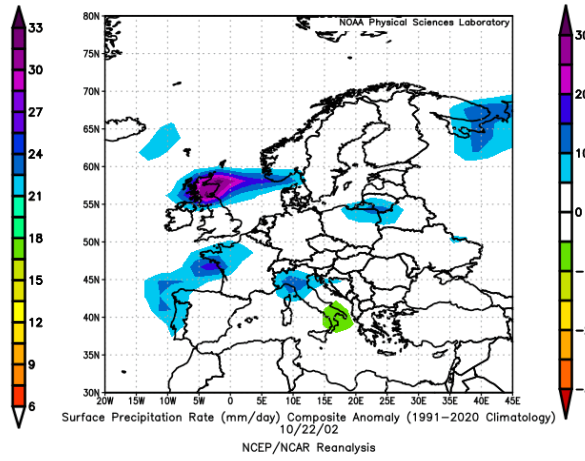
ε)



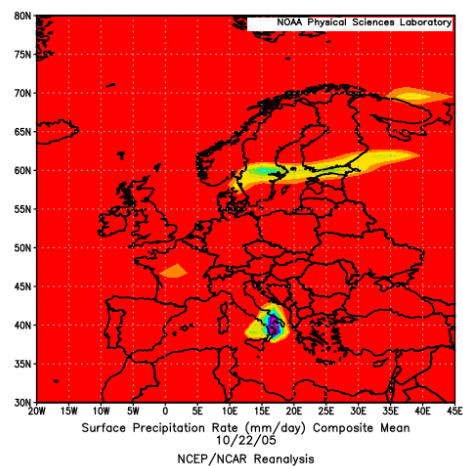
ε)



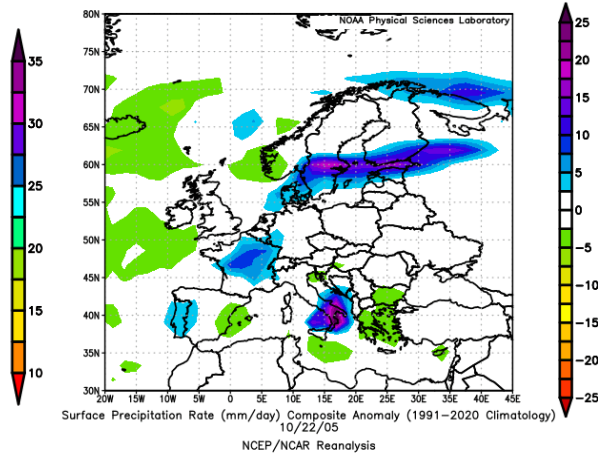
στ)



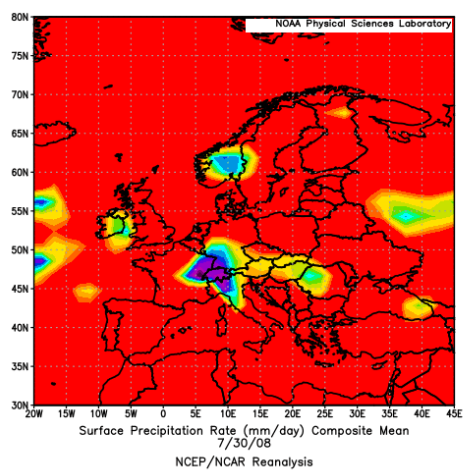
στ)



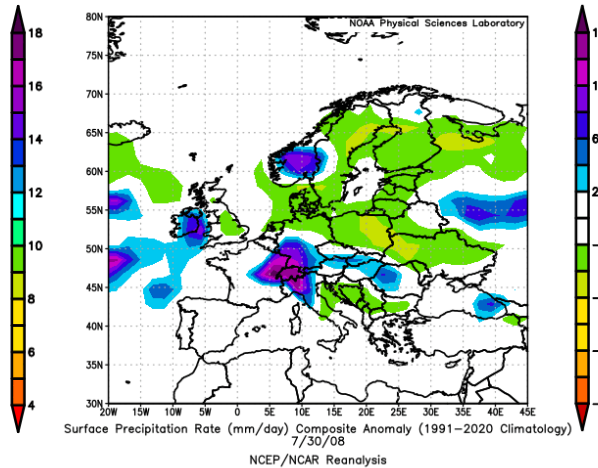
ζ)



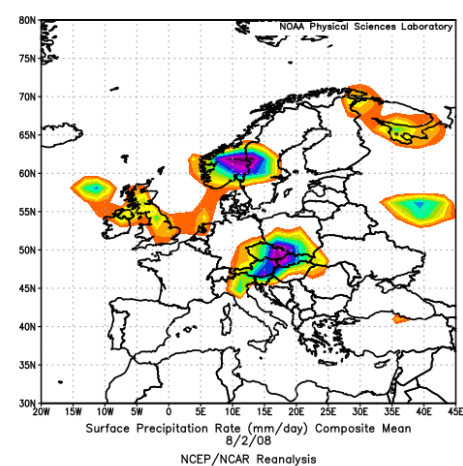
ζ)



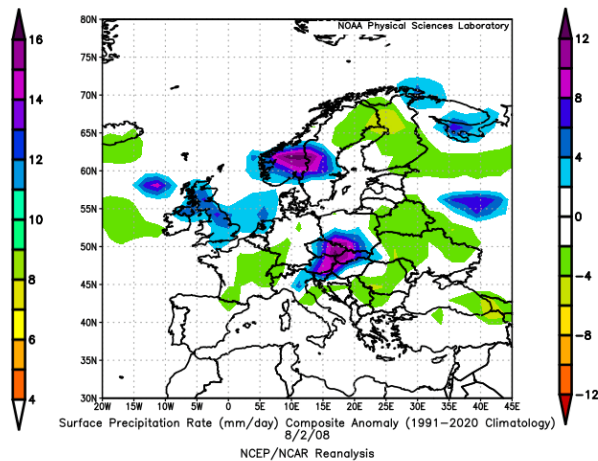
η)



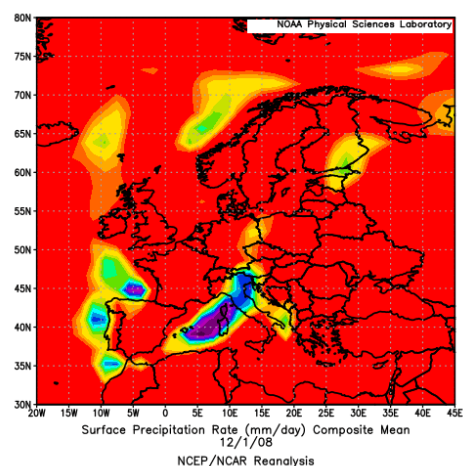
η)



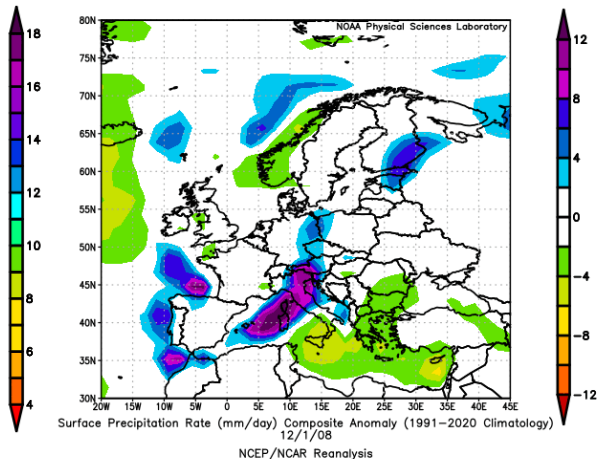
θ)



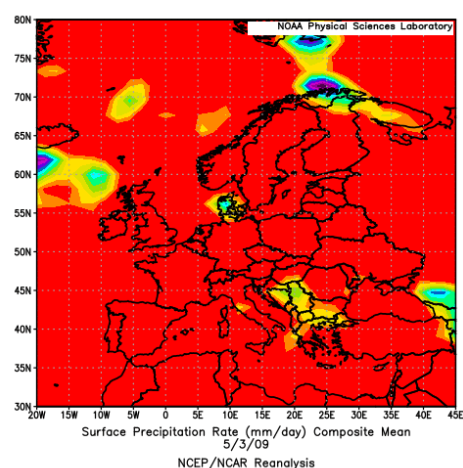
θ)



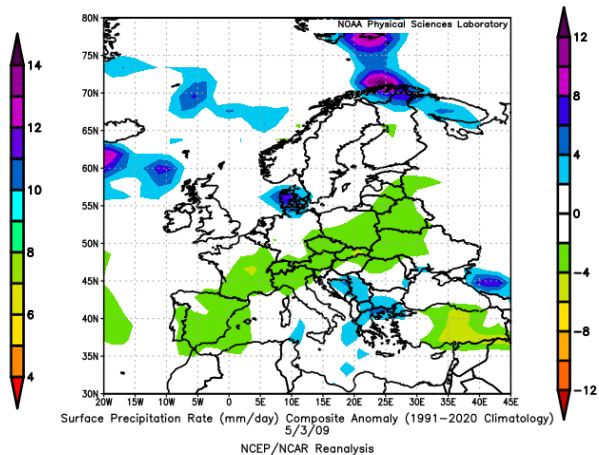
ι)



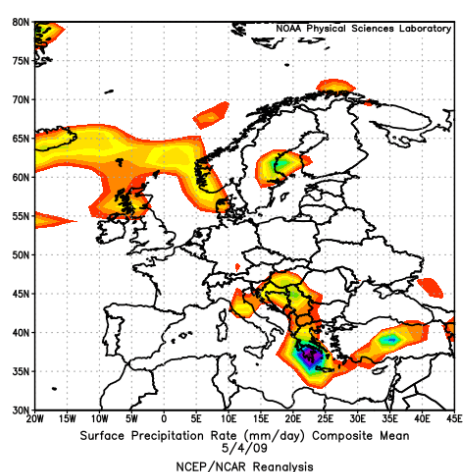
ι)



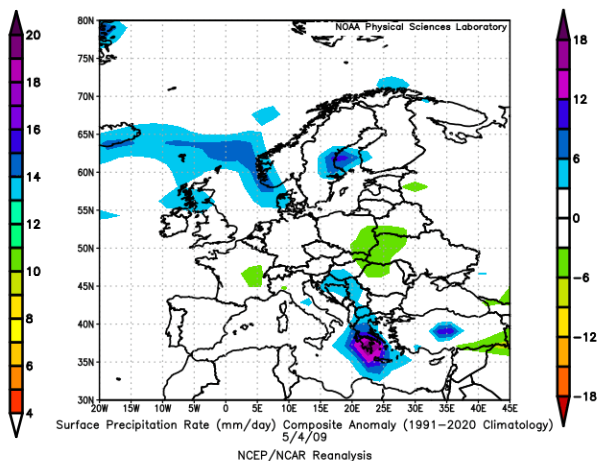
ια)



ια)



ιβ)

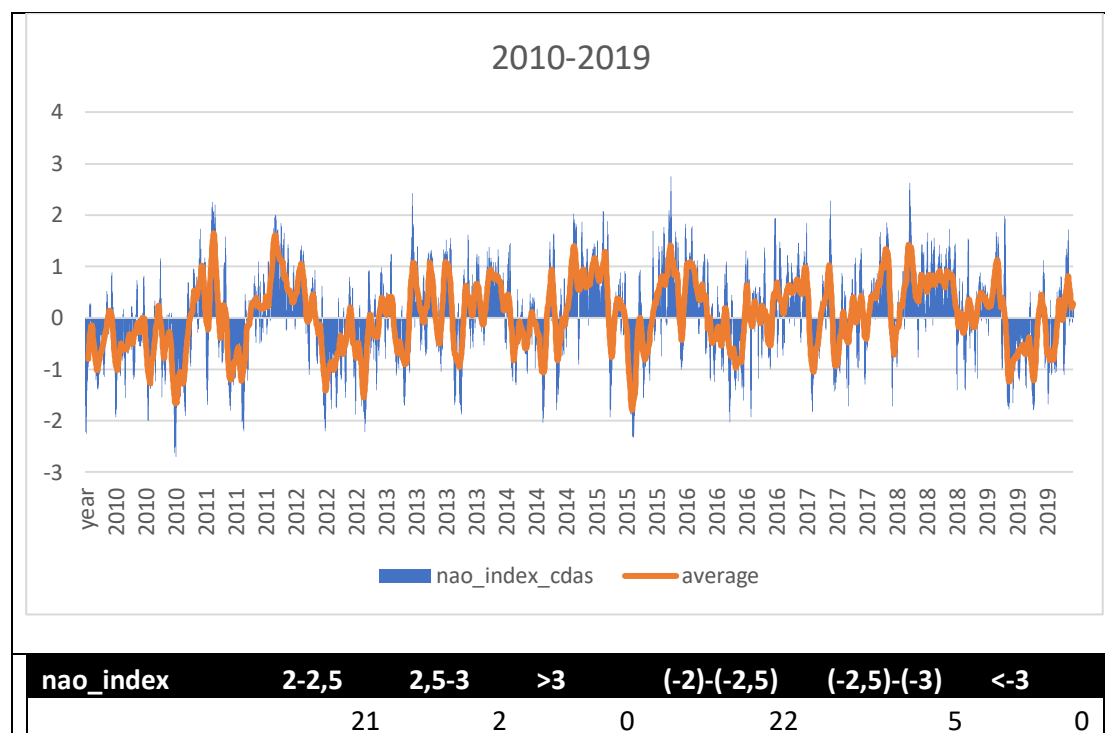


ιβ)

Σχήμα 4.6.4 Η ημερήσια βροχόπτωση (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της βροχόπτωσης της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α)17/10/2002, β)18/10/2002, γ)19/10/2002, δ)20/10/2002, ε)21/10/2002, στ)22/10/2002, ζ)22/10/2005, η)30/7/2008, θ)2/8/2008, ι)1/12/2008, ια)3/5/2009, ιβ)4/5/2009.

4.7. Δεδομένα του NAO του 2010-2019

Από το σχήμα 4.7.1 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη NAO για τη χρονική περίοδο 2010 με 2019, παρατηρείται ότι ο δείκτης εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές του (2-2,5) με 21 περιπτώσεις (οι τρεις πιο ακραίες τιμές επιλέχθηκαν για περαιτέρω ανάλυση), (2,5-3) με 2 περιπτώσεις (οι δύο αυτές περιπτώσεις μελετήθηκαν περαιτέρω), το 2011, 2013, 2015, 2017 και 2018 ενώ οι μικρότερες τιμές του δείκτη ((-2)- (-2,5)) με 22 περιπτώσεις και ((-2,5)-(-3)) με 5 περιπτώσεις (οι πέντε αυτές μετρήσεις μελετήθηκαν περαιτέρω), παρατηρούνται το 2010, 2011, 2012, 2014, 2015 και 2016.

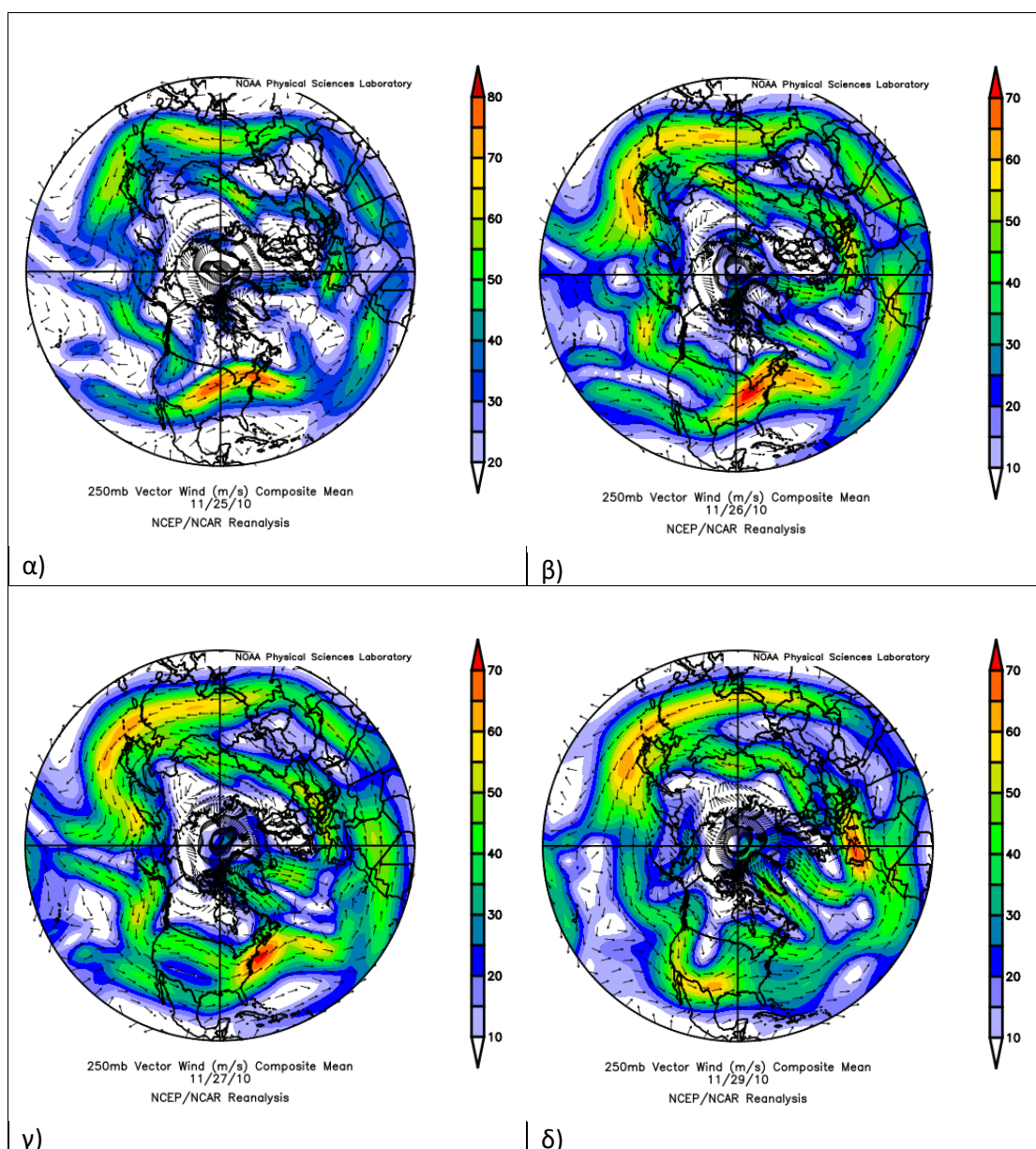


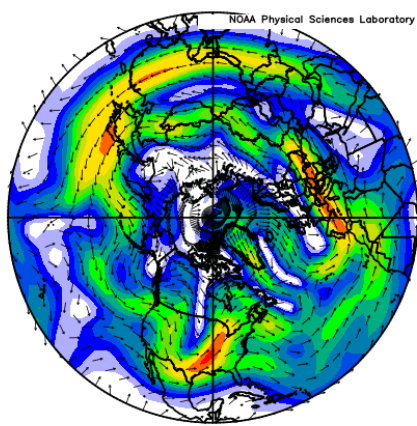
Σχήμα 4.7.1 Η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 2010-2019. Ο πίνακας στο κάτω μέρος εμφανίζει το πλήθος των περιπτώσεων ανά κατηγορία.

Κατά το χρονικό διάστημα 2010-2019, παρατηρήθηκαν δέκα ακραίες τιμές του δείκτη NAO. Στις 25-30 Νοεμβρίου του 2010 (εκτός 28 Νοεμβρίου), στις 22 Απριλίου του 2013, στις 4-5 Δεκεμβρίου του 2015 και στις 5-6 Μαΐου του 2018, με τον δείκτη NAO να υπολογίζεται -2,522, -2,631, -2,526, -2,504, -2,696, 2,422, 2,468, 2,751, 2,627, 2,495. Κατά την αρνητική φάση του δείκτη, ο αεροχείμαρρος κινείται από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά, μεταφέροντας ψυχρές και υγρές αέριες μάζες στη Βόρεια Ευρώπη και θερμές και ξηρές αέριες μάζες στη Νότια Ευρώπη, με τις μεγαλύτερες τιμές του να εντοπίζονται στην Μεσόγειο (Σχήμα 4.7.2.α.β.γ.δ.ε). Τις ημέρες, λοιπόν, 25,26,27,29 και 30 Νοεμβρίου του 2010, οι θερμοκρασίες ήταν μεγαλύτερες από τον μέσο όρο κατά 5-15°C στην Ελλάδα, στις χώρες που βρίσκονται Βόρεια της καθώς και στην Νότια Ρωσία, ενώ στην υπόλοιπη Ευρώπη επικράτησαν θερμοκρασίες χαμηλότερες από τον μέσο όρο κατά 5-15°C(Σχήμα 4.7.3.α.β.γ.δ.ε). Αρχικά η Σκανδιναβία ήταν η περιοχή με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες αλλά σταδιακά οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες εξαπλώθηκαν τόσο ανατολικά όσο και δυτικά στη περιοχή της κεντρικής Ευρώπης και ειδικότερα στη Γαλλία. Παράλληλα, οι μεταβολές

των βροχοπτώσεων δεν ήταν σημαντικές, με μείωση αυτών στην Νότια Ιταλία και Νότια Ελλάδα και αύξηση στην Ανατολική και κεντρική Ευρώπη, στις 29 Νοεμβρίου του 2010 (Σχήμα 4.7.4.α.β.γ.δ.ε).

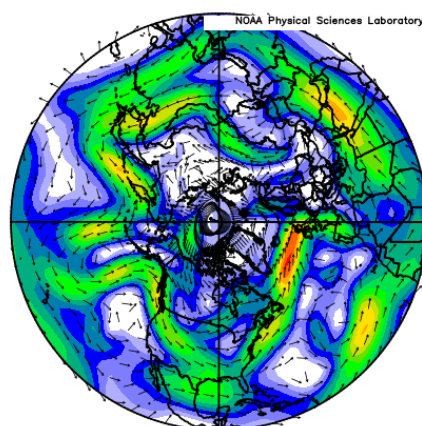
Κατά την θετική φάση του δείκτη, ο αεροχείμαρρος κινείται προς τα Βόρειο-Ανατολικά, μεταφέροντας θερμές και υγρές αέριες μάζες στη Βόρεια Ευρώπη (Σχήμα 4.7.2.στ.ζ.η.θ.ι). Την περίοδο 4-5 Δεκεμβρίου του 2015 καθώς και την περίοδο 5-6 Μαΐου του 2018, σημαντική ήταν η άνοδος της θερμοκρασίας κατά 2-10°C σχεδόν σε ολόκληρη την Ευρώπη (Σχήμα 4.7.3.ζ.η.θ.ι). Την δεύτερη περίοδο, επίσης, αυξάνονται οι βροχοπτώσεις στην Μεσόγειο (ειδικότερα στην Ελλάδα) και μειώνονται Βόρεια αυτής (Σχήμα 4.7.4.θ.ι).





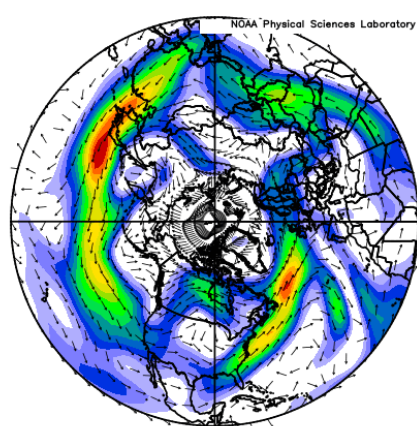
250mb Vector Wind (m/s) Composite Mean
11/30/10
NCEP/NCAR Reanalysis

ε)



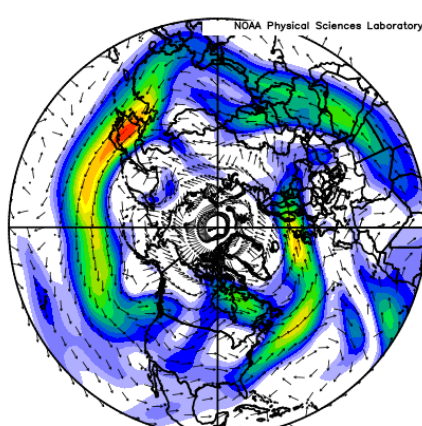
250mb Vector Wind (m/s) Composite Mean
4/22/13
NCEP/NCAR Reanalysis

στ)



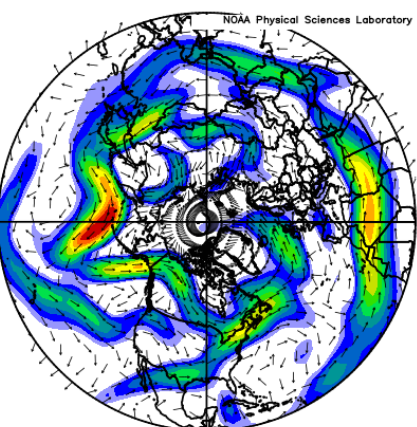
250mb Vector Wind (m/s) Composite Mean
12/4/15
NCEP/NCAR Reanalysis

ζ)



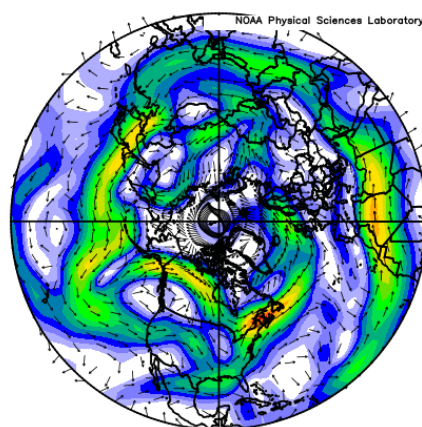
250mb Vector Wind (m/s) Composite Mean
12/5/15
NCEP/NCAR Reanalysis

η)



250mb Vector Wind (m/s) Composite Mean
5/5/18
NCEP/NCAR Reanalysis

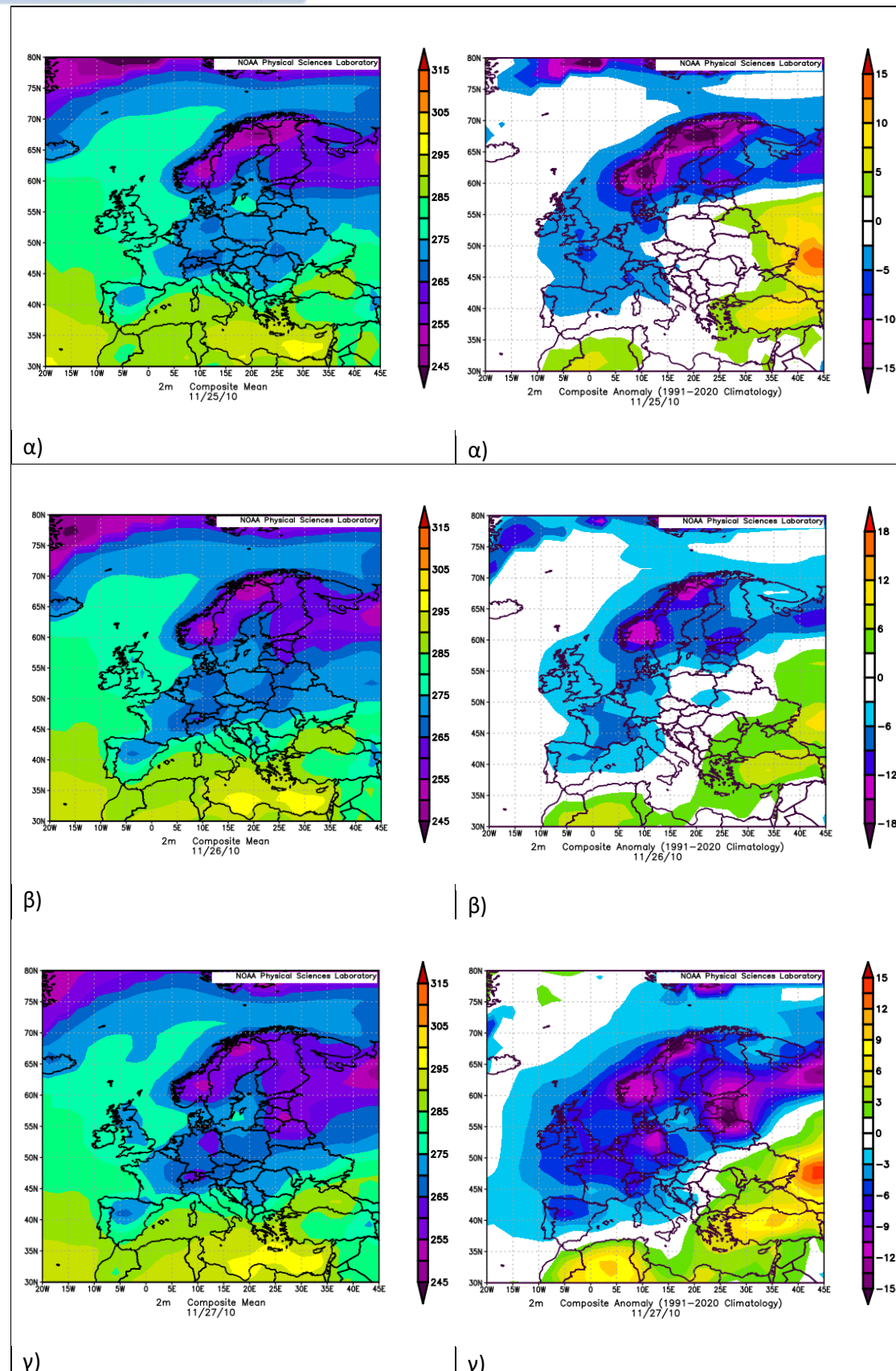
θ)

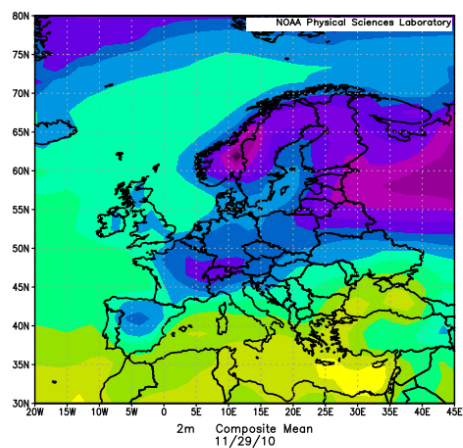


250mb Vector Wind (m/s) Composite Mean
5/6/18
NCEP/NCAR Reanalysis

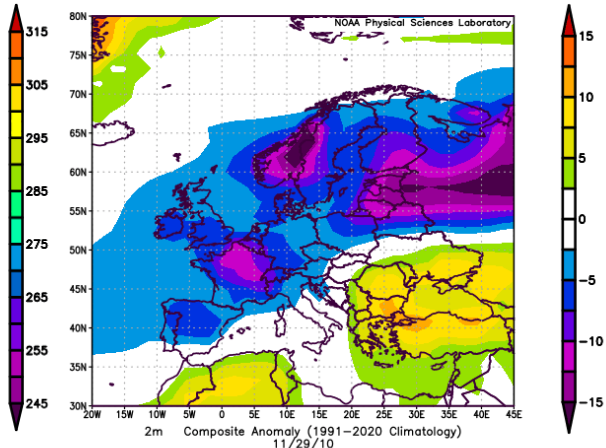
ι)

Σχήμα 4.7.2 Η θέση του αεροχειμάρρου για την α)25/11/2010, β)26/11/2010, γ)27/11/2010, δ)29/11/2010, ε)30/11/2010, στ)22/4/2013, ζ)4/12/2015, η)5/12/2015, θ)5/5/2018, ι)6/5/2015.

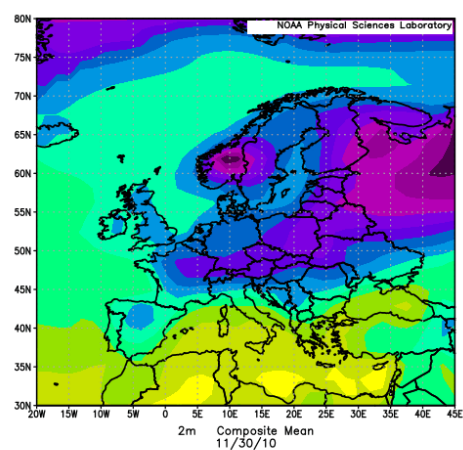




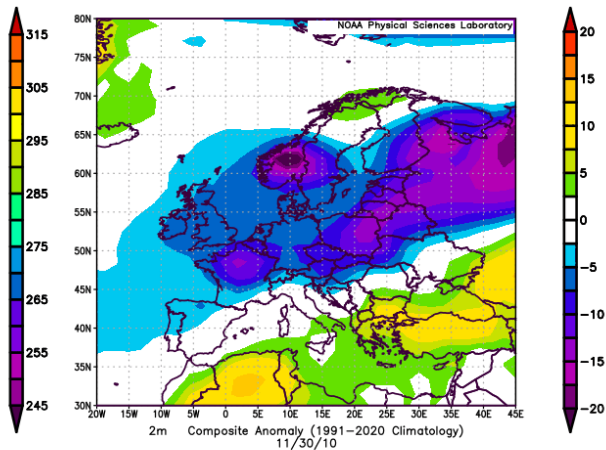
δ)



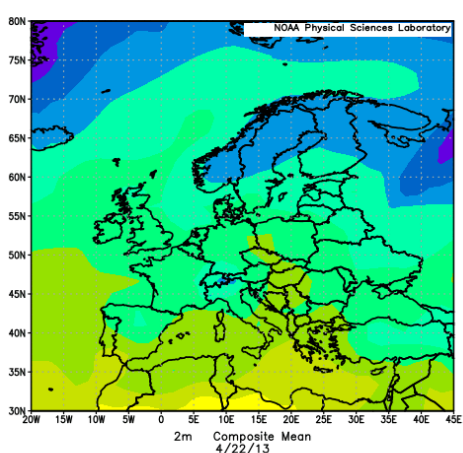
δ)



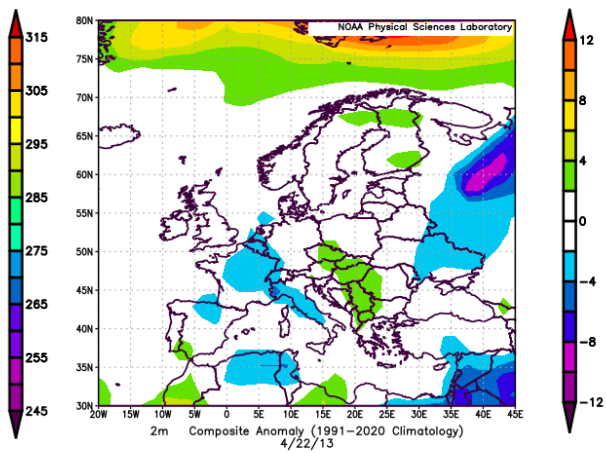
ε)



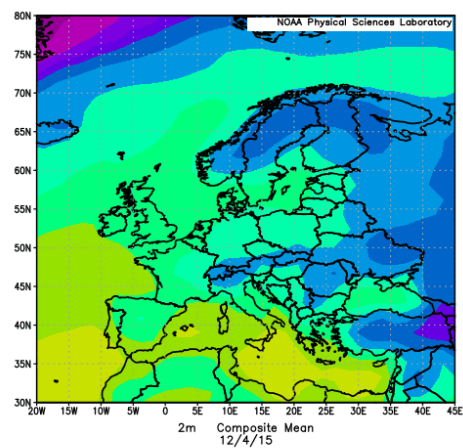
ε)



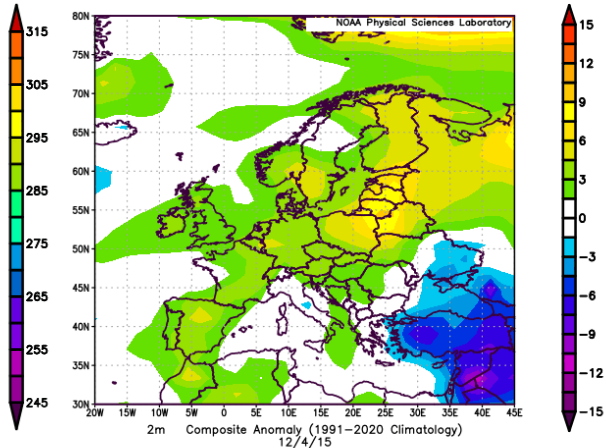
στ)



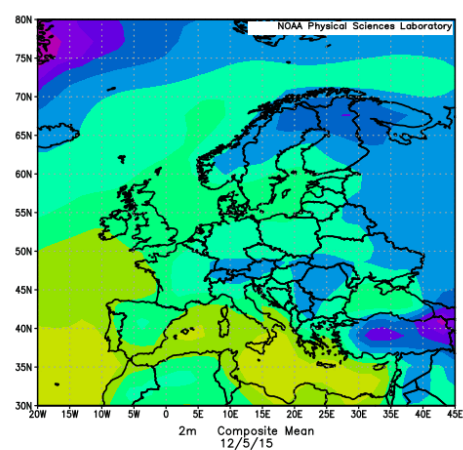
στ)



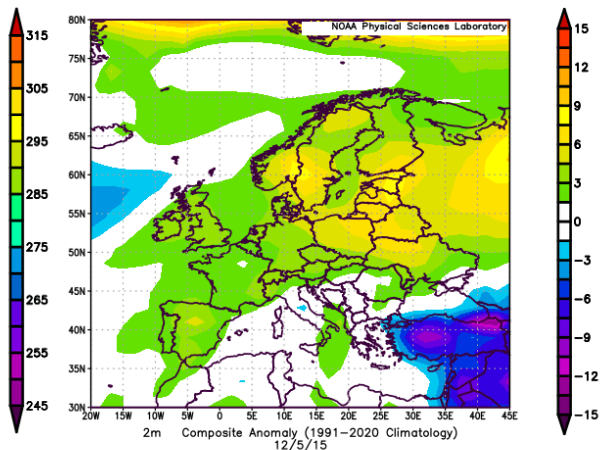
ζ)



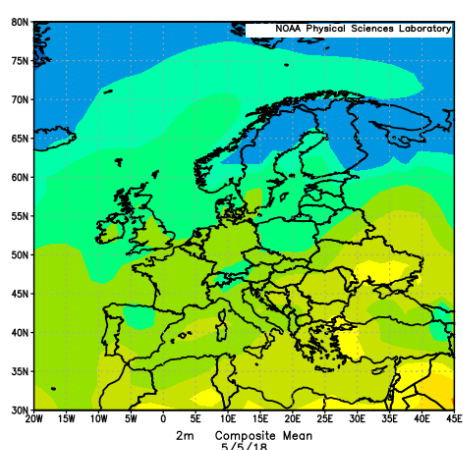
ζ)



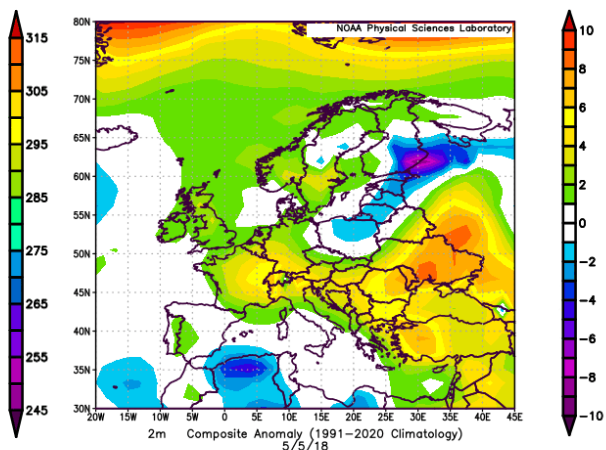
η)



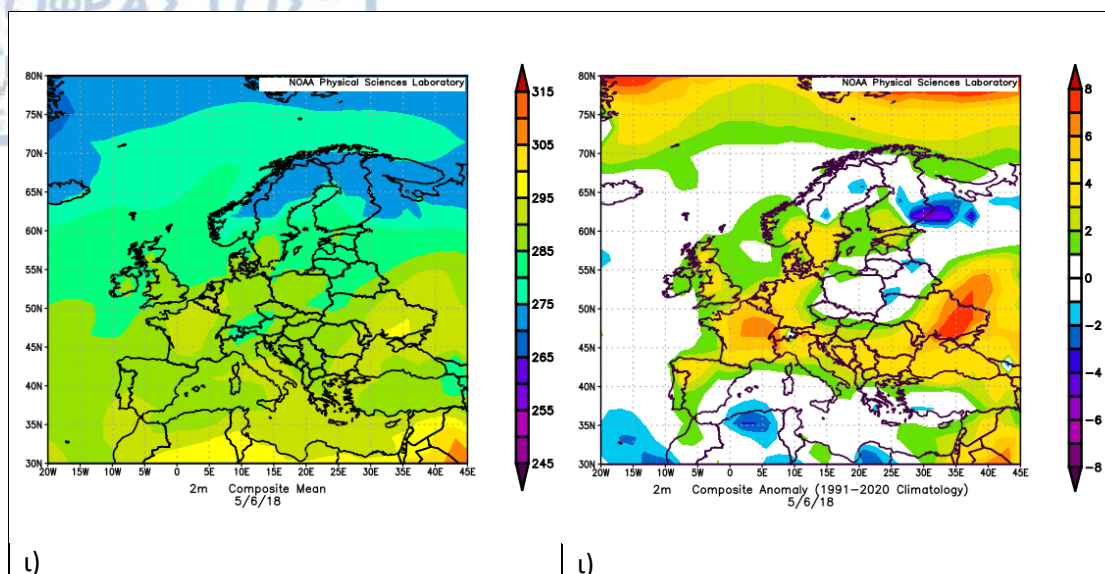
η)



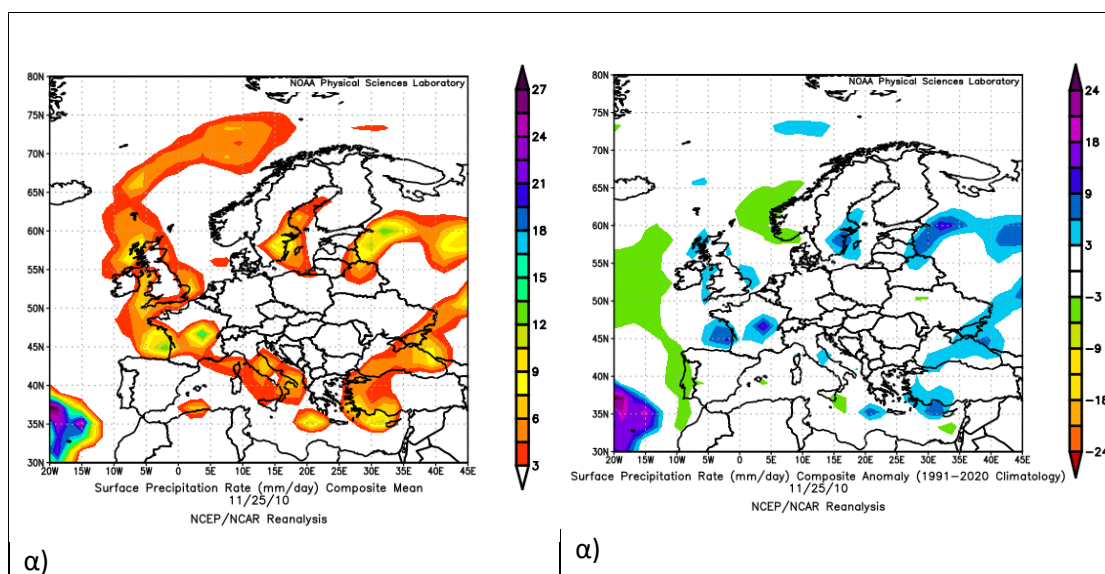
θ)

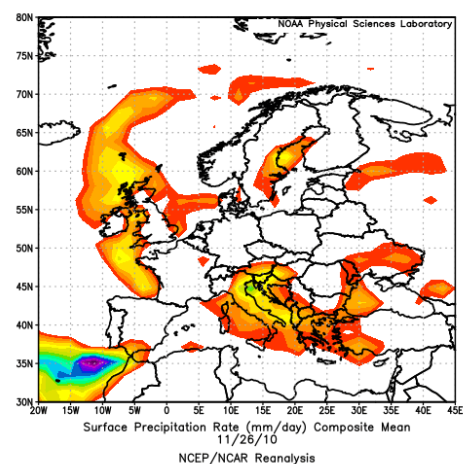


θ)

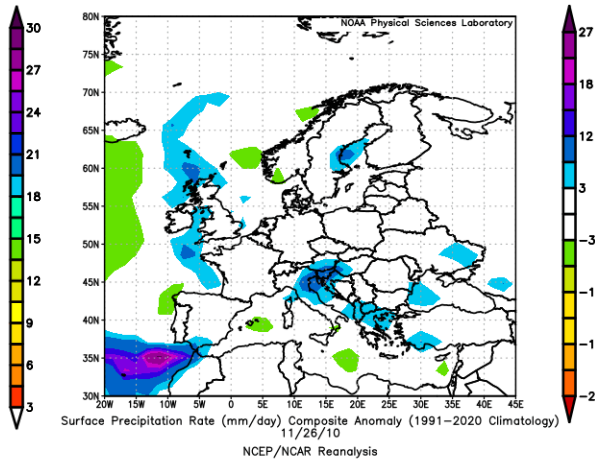


Σχήμα 4.7.3 Η μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας στη περιοχή της Ευρώπης (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α)25/11/2010, β)26/11/2010, γ)27/11/2010, δ)29/11/2010, ε)30/11/2010, στ)22/4/2013, ζ)4/12/2015, η)5/12/2015, θ)5/5/2018, ι)6/5/2015.

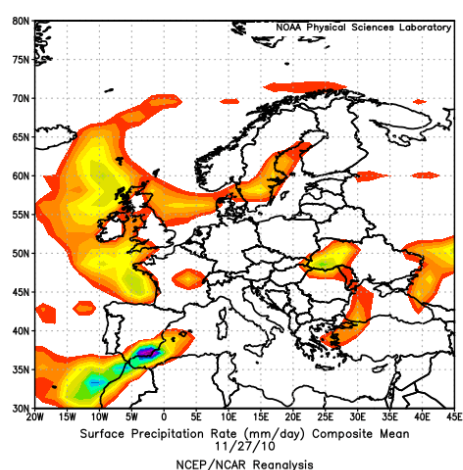




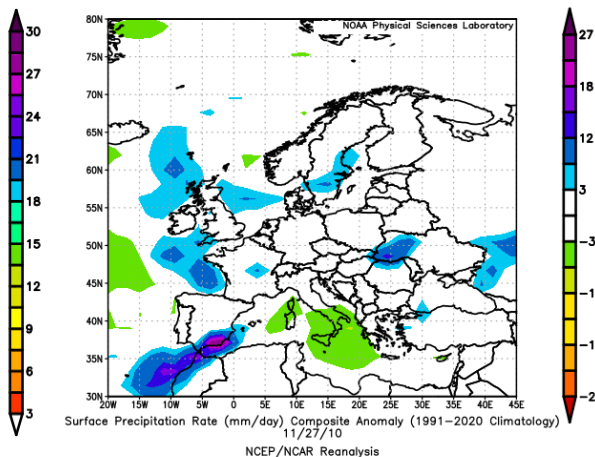
β)



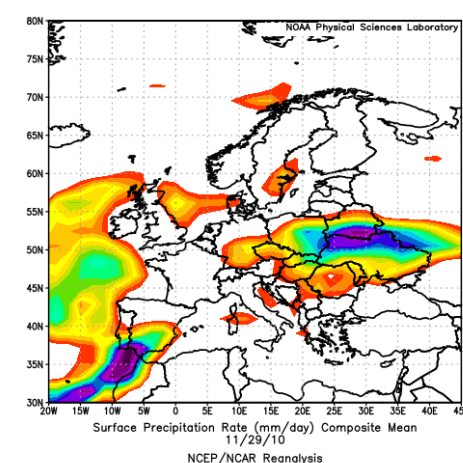
β)



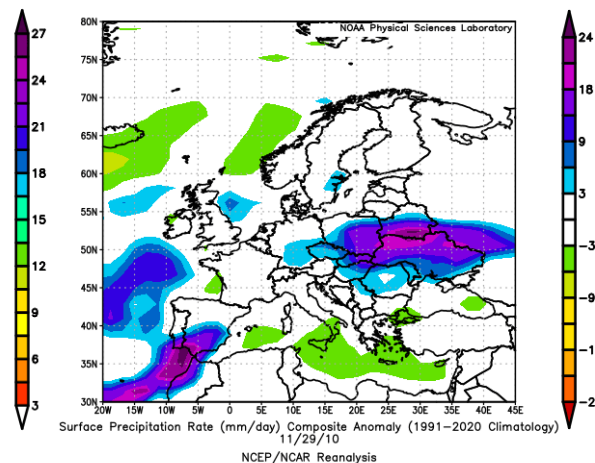
γ)



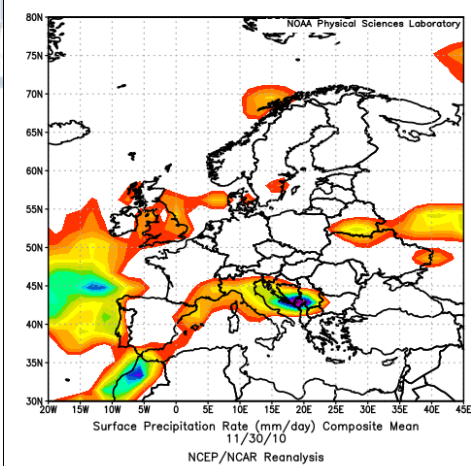
γ)



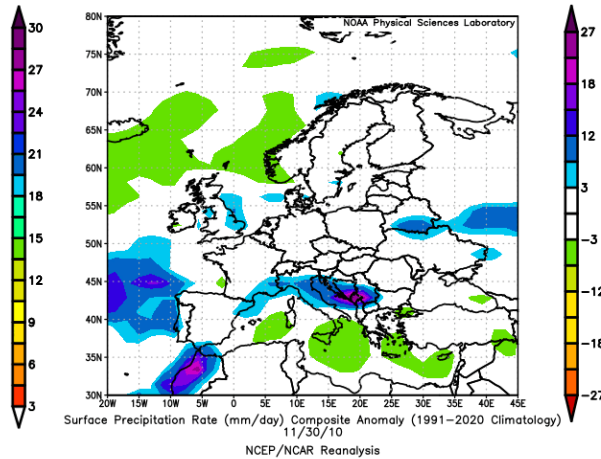
δ)



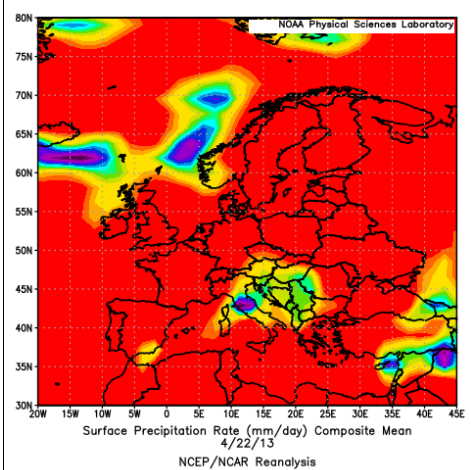
δ)



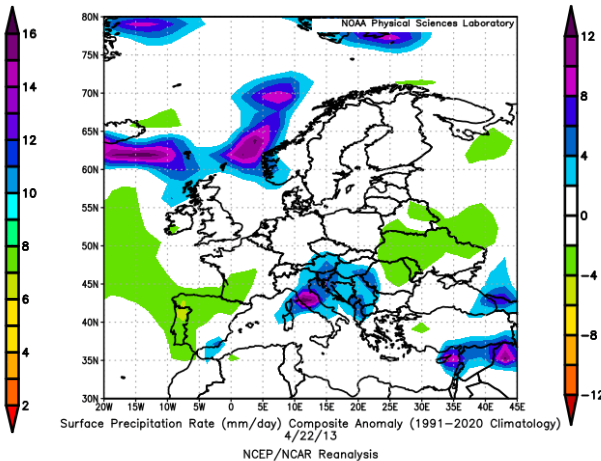
ε)



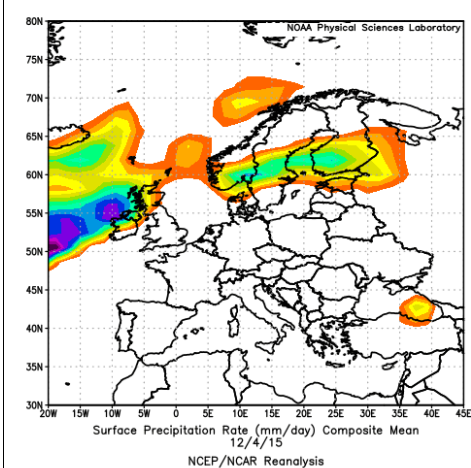
ε)



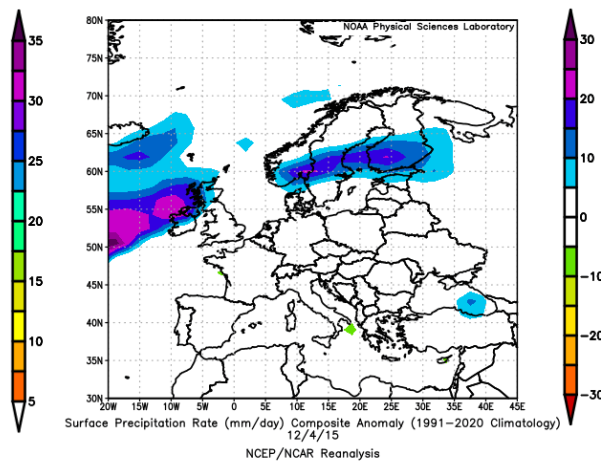
στ)



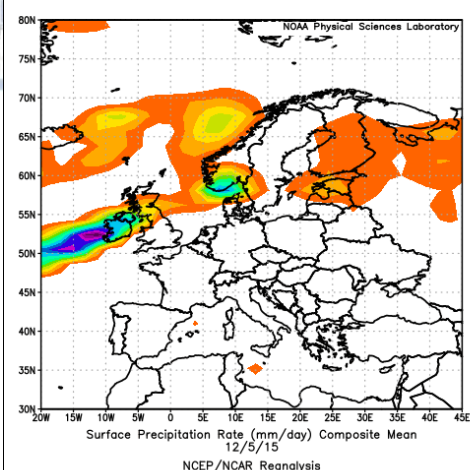
στ)



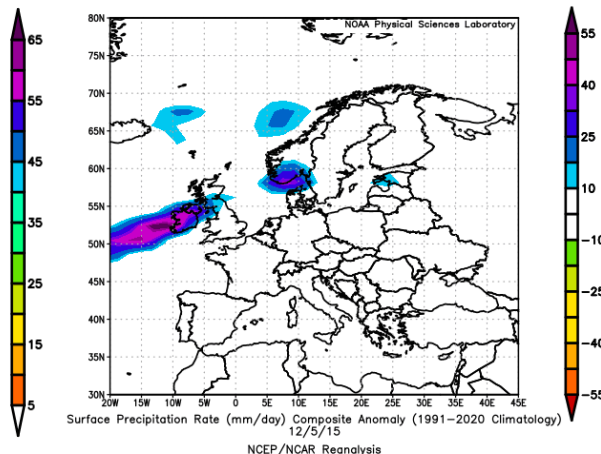
ζ)



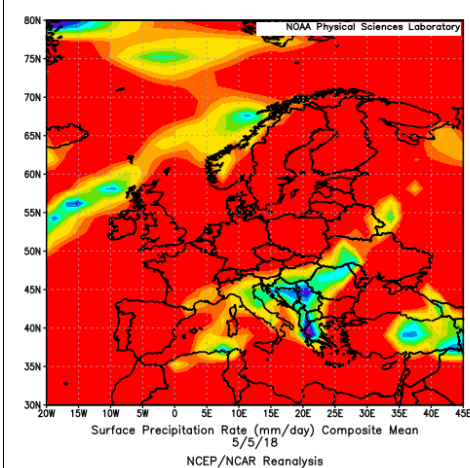
ζ)



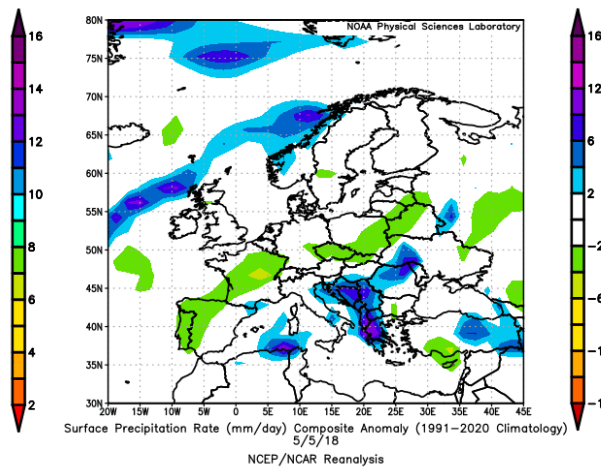
η)



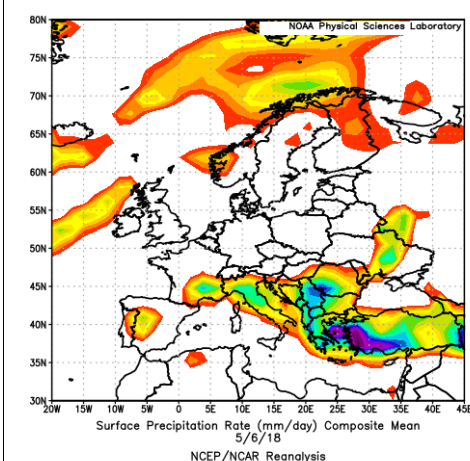
η)



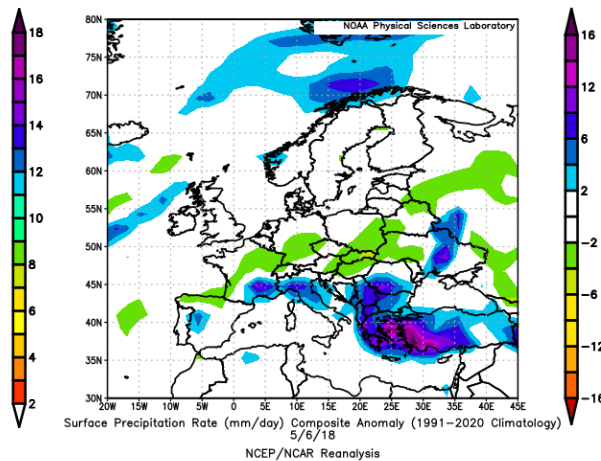
θ)



θ)



ι)

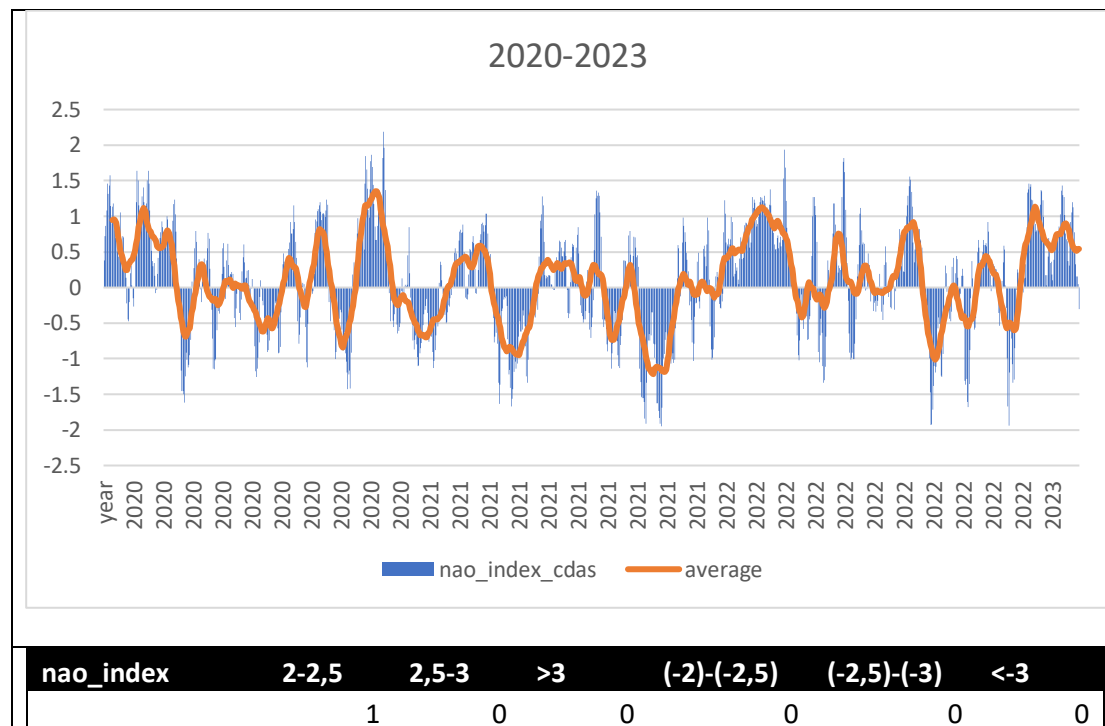


ι)

Σχήμα 4.7.4 Η ημερήσια βροχόπτωση (αριστερή στήλη) και οι ανωμαλίες της βροχόπτωσης της ατμόσφαιρας σε σχέση με το κλιματικό μέσο 1991-2020(δεξιά στήλη) για την α)25/11/2010, β)26/11/2010, γ)27/11/2010, δ)29/11/2010, ε)30/11/2010, στ)22/4/2013, ζ)4/12/2015, η)5/12/2015, θ)5/5/2018, ι)6/5/2015.

6.8. Δεδομένα του NAO του 2020-2023

Από το σχήμα 4.8.1 όπου παρουσιάζεται η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 2020 με 2023, παρατηρείται μία μόνο περίπτωση στην οποία ο δείκτης έχει τιμή μεταξύ του 2 και του 2,5 αλλά δεν είναι μεγαλύτερη του 2,3 για να αποτελέσει ακραία τιμή.



Σχήμα 4.8.1 Η διακύμανση του δείκτη NAO για την χρονική περίοδο 2020-2023. Ο πίνακας στο κάτω μέρος εμφανίζει το πλήθος των περιπτώσεων ανά κατηγορία.

Απώτερος στόχος της δοθείσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης, North Atlantic Oscillation στο κλίμα της Ευρώπης. Ειδικότερα, μελετάτε το πώς το NAO μεταβάλλει τον άνεμο, την θερμοκρασία και την βροχόπτωση. Έτσι, έγινε χρήση δεδομένων 73 ετών (1/1/1950 – 26/2/2023) από το National Oceanic and Atmospheric Administration και επιλέχθηκαν οι ακραίες τιμές του δείκτη NAO, οι οποίες μελετήθηκαν εκτενώς. Για τις ακραίες τιμές αυτές, δημιουργήθηκαν χάρτες μέσης θερμοκρασίας και ανωμαλιών της θερμοκρασίας, χάρτες ημερήσιας βροχόπτωσης και ανωμαλιών της βροχόπτωσης και χάρτες κίνησης του αεροχειμάρρου στην Ευρώπη. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, διεξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Από τους χάρτες μέσης θερμοκρασίας και ανωμαλιών της θερμοκρασίας, παρατηρείται πως οι υψηλότερες θερμοκρασίες σημειώθηκαν το διάστημα 4 με 6 Οκτωβρίου του 1981, όπου η θερμοκρασία αυξήθηκε κατά $1-8^{\circ}\text{C}$, με τον δείκτη NAO να είναι της τάξης $((-2,5)-(-3))$. Επίσης, στις 22 Οκτωβρίου του 2005, η θερμοκρασία αυξήθηκε έως και 10°C και στις 30 Ιουλίου του 2008, έως και 7°C , με τον δείκτη NAO να είναι της τάξης $((-2,5)-(-3))$. Ενώ το διάστημα 5 με 6 Μαΐου του 2018, η θερμοκρασία αυξήθηκε έως και 8°C , με τον δείκτη NAO να είναι 2,62 και 2,49, αντίστοιχα. Αποδεικνύεται ότι κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην Νότια Ευρώπη, ενώ κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, παρατηρούνται στην Βόρεια Ευρώπη.

Από τους ίδιους χάρτες διαπιστώνεται πως οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρουσιάστηκαν το διάστημα 25, 26, 27, 29, 30 Νοεμβρίου του 2010, όπου η θερμοκρασία μειώθηκε κατά $2-20^{\circ}\text{C}$ με τον δείκτη NAO να είναι της τάξης $((-2,5)-(-3))$. Επιπρόσθετα, στις 22 Δεκεμβρίου του 1978, η θερμοκρασία μειώθηκε κατά $5-20^{\circ}\text{C}$ και στις 10 Νοεμβρίου 1993, με τον δείκτη NAO να είναι -2,53 και 2,3 αντίστοιχα. Ομοίως αποδεικνύεται ότι κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, οι χαμηλότερες θερμοκρασίες εντοπίζονται στην Βόρεια Ευρώπη, ενώ κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, εντοπίζονται στην Νότια Ευρώπη.

Από τους χάρτες ημερήσιας βροχόπτωσης και ανωμαλιών της βροχόπτωσης, διαπιστώνεται πως οι περισσότερες βροχοπτώσεις εκδηλώθηκαν το διάστημα 13 με 16 Ιουλίου του 1962, όπου σε περιοχές της κεντρικής Ευρώπης ξεπέρασαν τον μέσο όρο έως και 16mm, με τον δείκτη NAO να είναι της τάξης $((-2,5)-(-3))$. Ενώ στις 16 Δεκεμβρίου του 1982, η βροχόπτωση ξεπέρασε τον μέσο όρο έως και 14mm, κυρίως στην Βόρεια Ευρώπη, με τον δείκτη NAO να είναι 2,34. Επιπλέον στις 25 Απριλίου του 1995 και στις 17 Οκτωβρίου του 2002, σημειώθηκαν βροχοπτώσεις στην κεντρική και Νότια Ευρώπη που ξεπέρασαν τον μέσο όρο έως και 21mm και 15mm, αντίστοιχα, με τον δείκτη NAO να είναι -2,69 και -2,63, αντίστοιχα. Αποδεικνύεται ότι κατά την

αρνητική φάση του δείκτη NAO, αυξάνονται τα κατακρημνίσματα στην Νότια Ευρώπη, ενώ κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, αυξάνονται στην Βόρεια Ευρώπη.

Από τους ίδιους χάρτες παρατηρείται ότι οι λιγότερες βροχοπτώσεις σημειώθηκαν το διάστημα 9 με 11 Νοεμβρίου του 1978, κυρίως στην Δυτική Ευρώπη, με τον δείκτη NAO να είναι 2,52, 2,35, 2,32, αντίστοιχα. Ακόμα, στις 2 Ιανουαρίου του 1983, στις 26 με 27 Απριλίου του 1987, στις 21 Μαρτίου του 1990 και στις 3 Μαΐου του 2009, σε Νότια και κεντρική Ευρώπη μειώθηκαν οι βροχοπτώσεις έως και 6mm από τον μέσο όρο, με τον δείκτη NAO να είναι 2,3. Ενώ στις 9 Ιουλίου του 1993, στις 30 Ιουλίου του 2008 και στις 2 Αυγούστου του 2008, μειώθηκαν οι βροχοπτώσεις στην Βόρεια και κεντρική Ευρώπη, με τον δείκτη NAO να είναι -2,5. Ομοίως αποδεικνύεται ότι κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, λιγότερα κατακρημνίσματα εντοπίζονται στην Νότια Ευρώπη, ενώ κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, εντοπίζονται στην Βόρεια Ευρώπη.

Για περαιτέρω ανάλυση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής τηλεσύνδεσης, North Atlantic Oscillation στο κλίμα της Ευρώπης, παρατηρούνται αρχικά οι μεταβολές των παραμέτρων της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στην περιοχή της Σκανδιναβίας. Από τους χάρτες μέσης θερμοκρασίας και ανωμαλιών της θερμοκρασίας, παρατηρείται πως η θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 1-12°C στις 15 και 16 Οκτωβρίου του 1951, στις 9 και 10 Νοεμβρίου του 1978, στις 2 Ιανουαρίου του 1983 και στις 20 και 21 Μαρτίου του 1993, με τον δείκτη NAO να είναι 2,3-2,5. Από τους ίδιους χάρτες παρατηρείται ότι η θερμοκρασία μειώθηκε το διάστημα 17 με 22 κατά 4-12°C, με τον δείκτη NAO να είναι της τάξης ((-2,5)-(-3)). Επιπλέον, στις 25, 26, 27, 29 και 30 Νοεμβρίου του 2010, η θερμοκρασία μειώθηκε κατά 5-20°C, με τον δείκτη NAO να είναι -2,5. Συμπεραίνεται έτσι ότι κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην Σκανδιναβία, ενώ κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, παρατηρούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες στην Σκανδιναβία.

Από τους χάρτες ημερήσιας βροχόπτωσης και ανωμαλιών της βροχόπτωσης, διαπιστώνεται πως στην περιοχή της Σκανδιναβίας, στις 21 Μαρτίου του 1990 και στις 4 Δεκεμβρίου του 2015, η βροχόπτωση ξεπέρασε τον μέσο όρο έως και 10mm και 20mm, αντίστοιχα, με τον δείκτη NAO να είναι 2,3 και 2,4, αντίστοιχα. Από τους ίδιους χάρτες, παρατηρούμε ότι στην περιοχή της Σκανδιναβίας, στις 13 και 14 Ιουλίου του 1962 και στις 30 Ιουλίου του 2008, η βροχόπτωση μειώθηκε έως και 6mm από τον μέσο όρο, με τον δείκτη NAO να είναι της τάξης ((-2,5)-(-3)). Συμπεραίνεται ότι κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, αυξάνονται τα κατακρημνίσματα στην Σκανδιναβία, ενώ κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, μειώνονται στην Σκανδιναβία.

Εστιάζοντας στην περιοχή των Βαλκανίων και της Ελλάδας, από τους χάρτες μέσης θερμοκρασίας και ανωμαλιών της θερμοκρασίας, παρατηρείται πως η θερμοκρασία αυξήθηκε έως και 8°C στις 17 και 18 Οκτωβρίου του 2002 και στις 1 Δεκεμβρίου του 2008, με τον δείκτη NAO να είναι -2,6 και -2,7, αντίστοιχα. Επιπλέον, σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας έως και 10°C σημειώθηκε στις 26, 27, 29, 30 Νοεμβρίου

του 2010, με τον δείκτη NAO να είναι της τάξης ((-2,5)-(-3)). Από τους ίδιους χάρτες παρατηρείται ότι η θερμοκρασία μειώθηκε έως και 12°C, στις 9 με 11 Νοεμβρίου του 1978, με τον δείκτη NAO να είναι 2,3-2,5. Συμπεραίνεται έτσι ότι κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην περιοχή των Βαλκανίων και της Ελλάδας, ενώ κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, παρατηρούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες στην περιοχή αυτή.

Από τους χάρτες ημερήσιας βροχόπτωσης και ανωμαλιών της βροχόπτωσης, διαπιστώνεται πως στην περιοχή των Βαλκανίων και της Ελλάδας, η βροχόπτωση ξεπέρασε τον μέσο όρο έως και 14mm, στις 13 και 16 Ιουλίου του 1962, με τον δείκτη NAO να είναι της τάξης ((-2,5)-(-3)). Από τους ίδιους χάρτες παρατηρείται ότι η βροχόπτωση μειώθηκε έως και 4 mm από τον μέσο όρο, στις 16 Δεκεμβρίου του 1982 και στις 21 Μαρτίου του 1990. Συμπεραίνεται ότι κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, αυξάνονται τα κατακρημνίσματα στην περιοχή των Βαλκανίων και της Ελλάδας, ενώ κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, μειώνονται στην περιοχή αυτή.

Εστιάζοντας έπειτα στην περιοχή της Δυτικής Ευρώπης, από τους χάρτες μέσης θερμοκρασίας και ανωμαλιών της θερμοκρασίας, διαπιστώνεται ότι η θερμοκρασία αυξήθηκε από τον μέσο όρο κατά 2-10°C, στις 15 Σεπτεμβρίου του 1982, στις 16 Δεκεμβρίου του 1982, στις 26 και 27 Απριλίου του 1987 και στις 20 και 21 Μαρτίου του 1990, με τον δείκτη NAO να είναι 2,3. Από τους ίδιους χάρτες παρατηρείται ότι η θερμοκρασία μειώθηκε από τον μέσο όρο έως και 15°C, στις 25, 26, 27, 29 και 30 Νοεμβρίου του 2010, με τον δείκτη NAO να είναι -2,5. Συμπεραίνεται έτσι ότι κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στην Δυτική Ευρώπη, ενώ κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, παρατηρούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες στην Δυτική Ευρώπη.

Από τους χάρτες ημερήσιας βροχόπτωσης και ανωμαλιών της βροχόπτωσης, διαπιστώνεται πως στην Δυτική Ευρώπη, η βροχόπτωση ξεπέρασε τον μέσο όρο έως και 12mm, στις 16 Δεκεμβρίου του 1982, με τον δείκτη NAO να είναι 2,3. Από τους ίδιους χάρτες παρατηρείται ότι η βροχόπτωση μειώθηκε από τον μέσο όρο έως και 6mm, στις 9 Ιουλίου του 1993, με τον δείκτη NAO να είναι -2,5. Συμπεραίνεται ότι κατά την θετική φάση του δείκτη NAO, αυξάνονται τα κατακρημνίσματα στην Δυτική Ευρώπη, ενώ κατά την αρνητική φάση του δείκτη NAO, μειώνονται στην Δυτική Ευρώπη.

- Benedict, J. J., Lee, S., & Feldstein, S. B. (2004). Synoptic view of the North Atlantic oscillation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 61(2), 121-144.
- Bolle, H. J. (Ed.). (2003). *Mediterranean climate: variability and trends*. Springer Science & Business Media.
- Géron, C., Lembrechts, J. J., Borgelt, J., Lenoir, J., Hamdi, R., Mahy, G & Monty, A. (2021). Urban alien plants in temperate oceanic regions of Europe originate from warmer native ranges. *Biological Invasions*, 23(6), 1765-1779.
- Gillett, N. P., Graf, H. F., & Osborn, T. J. (2003). Climate change and the North Atlantic oscillation. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 134, 193-210.
- 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(10), 2080-2092.
- Hurrell, J. W., & Deser, C. (2010). North Atlantic climate variability: the role of the North Atlantic Oscillation. *Journal of marine systems*, 79(3-4), 231-244.
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., & Visbeck, M. (2008, June). The North Atlantic Oscillation: climatic significance and environmental impact. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 134, p. 1244).
- Kushnir, Y., & Wallace, J. M. (1989). Low-frequency variability in the Northern Hemisphere winter: Geographical distribution, structure and time-scale dependence. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46(20), 3122-3143.
- Nigam, S., & Baxter, S. (2015). Teleconnections. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, G. North, Ed. Elsevier Science, 90, 109.
- Pausas, J. G., & Millán, M. M. (2019). Greening and browning in a climate change hotspot: the Mediterranean Basin. *BioScience*, 69(2), 143-151.
- Robertson, A. W., Mechoso, C. R., & Kim, Y. J. (2000). The influence of Atlantic sea surface temperature anomalies on the North Atlantic Oscillation. *Journal of Climate*, 13(1), 122-138.
- Scaife, A. A., Folland, C. K., Alexander, L. V., Moberg, A., & Knight, J. R. (2008). European climate extremes and the North Atlantic Oscillation. *Journal of Climate*, 21(1), 72-83.
- Stephenson, D. B., Wanner, H., Bronnimann, S., & Luterbacher, J. (2003). The history of scientific research on the North Atlantic Oscillation. *Geophysical monograph-American Geophysical Union*, 134, 37-50.
- Feldstein, S. B., & Franzke, C. L. (2017). Atmospheric teleconnection patterns. *Nonlinear and stochastic climate dynamics*, 54-104.

Trigo, R. M., Osborn, T. J., & Corte-Real, J. M. (2002). The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate research*, 20(1), 9-17.

Visbeck, M. H., Hurrell, J. W., Polvani, L., & Cullen, H. M. (2001). The North Atlantic Oscillation: past, present, and future. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(23), 12876-12877.

Wallace, J. M., & Gutzler, D. S. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly weather review*, 109(4), 784-812.

Κερασιλίδου, Μ. Π. (2020). Η επίδραση της Madden-Julian κύμανσης (MJO) στο κλίμα της Ευρώπης= The impact of Madden-Julian oscillation (MJO) on the European climate. Προ/Μεταπτυχιακές Διατριβές στη Βιβλιοθήκη Θεόφραστος του Τμήματος Γεωλογίας του ΑΠΘ.

Διαδικτυακές Πηγές

www.bom.gov.au/climate/sam/

www.britannica.com

www.metoffice.gov

www.ncei.noaa.gov