

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΔΑΦΝΗ Ι. ΔΕΛΗΟΓΛΑΝΗ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΤΗΛΕΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
‘ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ’

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2024





ΔΑΦΝΗ Ι. ΔΕΛΗΟΓΛΑΝΗ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ
ΠΡΟΤΥΠΑ ΤΗΛΕΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ

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

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 17/01/2024

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγήτρια Αναγνωστοπούλου Χριστίνα, Επιβλέπουσα

Αν. Καθηγήτρια Τολίκα Κωνσταντία, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Αν. Καθηγητής Πυθαρούλης Ιωάννης, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

© Δάφνη Ι. Δεληογλάνη, Γεωλόγος, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΜΕ ΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ
ΠΡΟΤΥΠΑ ΤΗΛΕΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΟΥ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Dafni I. Delioglani, Geologist, 2024

All rights reserved.

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE SEA SURFACE TEMPERATURE AND THE NORTH ATLANTIC
TELECONNECTION PATTERNS – *Master's Thesis*



Citation:

Δεληογλάνη Δ. (2024). Η σχέση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας με τα ατμοσφαιρικά πρότυπα τηλεσύνδεσης του Βορείου Ατλαντικού. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.). 91 σελ.

Delioglani D. (2024). The relationship between the Sea Surface Temperature and the North Atlantic Teleconnection Patterns. Master's Thesis. School of Geology. Aristotle University of Thessaloniki (AUTH). 91 pp.

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.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	9
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	10
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
ABSTRACT	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
1.1 ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΣ ΩΚΕΑΝΟΣ.....	13
1.1.1 Χαρακτηριστικά ωκεανού	13
1.1.2 Υδρο-κλιματολογικά στοιχεία	14
1.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΤΗΛΕΣΥΝΔΕΣΗΣ	15
1.2.1 Ορισμός προτύπων τηλεσύνδεσης και γνωστά παραδείγματα	15
1.2.2 Ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού (ΝΑΟ)	18
1.2.3 Αρκτική ταλάντωση (ΑΟ).....	20
1.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΝΑΟ ΚΑΙ ΑΟ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΙ ΑΛΛΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	21
1.4 ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	24
2.1 Δεδομένα	24
2.2 Μεθοδολογία.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	31
3.1 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ ΩΚΕΑΝΟΥ	31
3.1.1 Επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας	31
3.1.2 Θερμοκρασία του αέρα.....	37
3.1.3 Πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας	43
3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ	48
3.2.1 Θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας	49
3.2.2 Θερμοκρασία του αέρα.....	51
3.2.3 Πίεση στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας	54
3.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ	57
3.4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	84

Σχήμα 1.1: Γεωμορφολογικός χάρτης που απεικονίζει τους ωκεανούς και τις θάλασσες της Γης (πηγή: ILLSS, 2021).....	13
Σχήμα 1.2: Ρεύμα του Κόλπου (πηγή: SciJinks, 2016).	14
Σχήμα 1.3: Οι τρεις φάσεις της Νότιας Κύμανσης – (α) Φάση El Niño, (β) Φάση La Niña, (γ) Ουδέτερη Φάση (πηγή: Bureau of Meteorology, 2010).....	16
Σχήμα 1.4: Θετικές φάσεις των προτύπων τηλεσύνδεσης που επηρεάζουν το Β. Ατλαντικό - (α) NAO, (β) EA, (γ) EATL/WRUS, (δ) SCAND, (ε) Πολικό/Ευρασιατικό πρότυπο (πηγή: CPC, 2023g).....	18
Σχήμα 1.5: Ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της θετικής (αριστερά) και αρνητικής (δεξιά) φάσης του NAO (πηγή: Korosec, 2021).	19
Σχήμα 1.6: Διακυμάνσεις του δείκτη NAO την περίοδο 1982-2020 (πηγή: NCEI, 2023b).	19
Σχήμα 1.7: Ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της θετικής (αριστερά) και αρνητικής (δεξιά) φάσης του AO (πηγή: Campos and Horn, 2018).....	20
Σχήμα 1.8: Διακυμάνσεις του δείκτη AO την περίοδο 1982-2020 (πηγή: NCEI, 2023a).....	21
Σχήμα 2.1: Ιστοσελίδα της NOAA για το κλίμα (πηγή: US NOAA, 2019b)	24
Σχήμα 2.2: Εργαλείο σχεδιασμού χαρτών στην ιστοσελίδα του PSL (πηγή: PSL, 2023)	26
Σχήμα 2.3: Χάρτες μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας κατά την περίοδο 1982-2020 (α) χειμερινή εποχή (εποχικός), (β) Φεβρουάριος (μηνιαίος).	26
Σχήμα 2.4: Χάρτης αποτύπωσης κύριων συνιστωσών μίας κλιματικής μεταβλητής.	28
Σχήμα 2.5: Συσχέτιση μεταξύ μεταβλητών και υστέρηση στη μεταβολή τους.....	30
Σχήμα 3.1: Μέση επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας σε ετήσια βάση κατά την περίοδο 1982-2020.	31
Σχήμα 3.2: Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας ανά εποχή για την περίοδο 1982-2020 - (α) Χειμώνας, (β) Άνοιξη, (γ) Καλοκαίρι, (δ) Φθινόπωρο.....	33
Σχήμα 3.3: Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας τους χειμερινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Δεκέμβριος, (β) Ιανουάριος, (γ) Φεβρουάριος.....	34
Σχήμα 3.4: Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας τους ανοιξιάτικους μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Μάρτιος, (β) Απρίλιος, (γ) Μάιος.	35
Σχήμα 3.5: Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας τους καλοκαιρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Ιούνιος, (β) Ιούλιος, (γ) Αύγουστος.	36
Σχήμα 3.6: Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας τους φθινοπωρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Σεπτέμβριος, (β) Οκτώβριος, (γ) Νοέμβριος.	37
Σχήμα 3.7: Μέση επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα σε ετήσια βάση κατά την περίοδο 1982-2020.	37
Σχήμα 3.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα ανά εποχή για την περίοδο 1982-2020 - (α) Χειμώνας, (β) Άνοιξη, (γ) Καλοκαίρι, (δ) Φθινόπωρο.....	39

Σχήμα 3.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα τους χειμερινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Δεκέμβριος, (β) Ιανουάριος, (γ) Φεβρουάριος.....	40
Σχήμα 3.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα τους ανοιξιάτικους μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Μάρτιος, (β) Απρίλιος, (γ) Μάιος.	41
Σχήμα 3.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα τους καλοκαιρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Ιούνιος, (β) Ιούλιος, (γ) Αύγουστος.	42
Σχήμα 3.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα τους φθινοπωρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Σεπτέμβριος, (β) Οκτώβριος, (γ) Νοέμβριος.	43
Σχήμα 3.13: Μέση πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας σε ετήσια βάση κατά την περίοδο 1982-2020.	43
Σχήμα 3.14: Μεταβολή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας ανά εποχή για την περίοδο 1982-2020 - (α) Χειμώνας, (β) Άνοιξη, (γ) Καλοκαίρι, (δ) Φθινόπωρο.	44
Σχήμα 3.15: Μεταβολή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας τους χειμερινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Δεκέμβριος, (β) Ιανουάριος, (γ) Φεβρουάριος.....	45
Σχήμα 3.16: Μεταβολή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας τους ανοιξιάτικους μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Μάρτιος, (β) Απρίλιος, (γ) Μάιος.....	46
Σχήμα 3.17: Μεταβολή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας τους καλοκαιρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Ιούνιος, (β) Ιούλιος, (γ) Αύγουστος.....	47
Σχήμα 3.18: Μεταβολή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας τους φθινοπωρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Σεπτέμβριος, (β) Οκτώβριος, (γ) Νοέμβριος.....	48
Σχήμα 3.19: Ταξινόμηση περιοχών Β. Ατλαντικού σε ομάδες με βάση τις συνθήκες επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας.	50
Σχήμα 3.20: Θηκογράμματα μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας.....	50
Σχήμα 3.21: Μεταβλητότητα επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας στην α) SST1, β) SST2, γ) SST3 και δ) SST4.....	51
Σχήμα 3.22: Ταξινόμηση περιοχών Β. Ατλαντικού σε ομάδες με βάση τις συνθήκες θερμοκρασίας του αέρα.	52
Σχήμα 3.23: Θηκογράμματα μέσης θερμοκρασίας του αέρα.	52
Σχήμα 3.24: Μεταβλητότητα της ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα στην α) Tair1, β) Tair2, γ) Tair3, δ) Tair4, ε) Tair5, στ) Tair6, ζ) Tair7.....	54
Σχήμα 3.25: Ταξινόμηση περιοχών Β. Ατλαντικού σε ομάδες με βάση τις συνθήκες πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας.	54
Σχήμα 3.26: Θηκογράμματα μέσης πίεσης στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας.	55
Σχήμα 3.27: Μεταβλητότητα πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας στην α) SLP1, β) SLP2, γ) SLP3, δ) SLP4, ε) SLP5.	56

Πίνακας 2.1: Συνοπτικός πίνακας δεδομένων εργασίας.....	25
Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά κλιματικών δεδομένων.....	27
Πίνακας 3.1: Στατιστικές πληροφορίες για (α) το έτος, (β) την χειμερινή περίοδο, (γ) την καλοκαιρινή περίοδο.	49
Πίνακας 3.2: Συντελεστής συσχέτισης των μελετώμενων μεταβλητών το έτος (με ανοιχτό και σκούρο γκρι χρώμα σημειώνονται οι στατιστικά σημαντικές τιμές του συντελεστή στο επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και 0,05, αντίστοιχα).	58
Πίνακας 3.3: Συντελεστής συσχέτισης των μελετώμενων μεταβλητών το χειμώνα (με ανοιχτό και σκούρο γκρι χρώμα σημειώνονται οι στατιστικά σημαντικές τιμές του συντελεστή στο επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και 0,05, αντίστοιχα).	60
Πίνακας 3.4: Συντελεστής συσχέτισης των μελετώμενων μεταβλητών το καλοκαίρι (με ανοιχτό και σκούρο γκρι χρώμα σημειώνονται οι στατιστικά σημαντικές τιμές του συντελεστή στο επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και 0,05, αντίστοιχα).	62
Πίνακας 3.5: Χρονική υστέρηση μεταξύ των ομάδων επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και των ομάδων πίεσης στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας.	64
Πίνακας 3.6: Χρονική υστέρηση μεταξύ των ομάδων επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και των ομάδων θερμοκρασίας του αέρα.	65
Πίνακας 3.7: Χρονική υστέρηση μεταξύ των ομάδων επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και του δείκτη ταλάντωσης NAO.....	67
Πίνακας 3.8: Χρονική υστέρηση μεταξύ των ομάδων επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και του δείκτη ταλάντωσης AO.	68
Πίνακας 3.9: Χρονική υστέρηση μεταξύ του δείκτη τηλεσύνδεσης NAO και των ομάδων πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας.....	68
Πίνακας 3.10: Χρονική υστέρηση μεταξύ του δείκτη τηλεσύνδεσης NAO και των ομάδων θερμοκρασίας του αέρα.	69
Πίνακας 3.11: Χρονική υστέρηση μεταξύ του δείκτη τηλεσύνδεσης AO και των ομάδων πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας.....	70
Πίνακας 3.12: Χρονική υστέρηση μεταξύ του δείκτη τηλεσύνδεσης AO και των ομάδων θερμοκρασίας του αέρα.	71

Ακρωνύμιο	Σημασία
AO	Αρκτική Ταλάντωση (Arctic Oscillation)
EA	Κύμανση του Ανατολικού Ατλαντικού (East Atlantic Pattern)
EATL/WRUS	Κύμανση του Ανατολικού Ατλαντικού/Δυτικής Ρωσίας (East Atlantic/Western Russia Pattern)
ENSO	Νότια Κύμανση, γνωστή και ως φαινόμενο El Niño (El Niño-Southern Oscillation)
NAO	Ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού (North Atlantic Oscillation)
PCA	Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (Principal component analysis)
SCAND	Σκανδιναβικό Πρότυπο Τηλεσύνδεσης (Scandinavia Pattern)
SLP	Πίεση στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας
SST	Επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας
Tair	Θερμοκρασία του αέρα



Η παρούσα εργασία με τίτλο **«Η σχέση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας με τα ατμοσφαιρικά πρότυπα τηλεσύνδεσης του Βορείου Ατλαντικού»** εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον» του Τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.).

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια κα Χριστίνα Αναγνωστοπούλου του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών, η οποία επέβλεπε την εργασία και παρείχε συνεχή καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της. Την ευχαριστώ, επίσης, για την εμπιστοσύνη και την εκτίμηση που μου έδειξε, αλλά και για την άψογη συνεργασία που είχαμε από την αρχή των φοιτητικών μου χρόνων.

Ιδιαίτερως να ευχαριστήσω τα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής, την κα Κωνσταντία Τολίκα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. και τον κ. Ιωάννη Πυθαρούλη, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., οι οποίοι δέχτηκαν να αξιολογήσουν την εργασία μου. Οφείλω ακόμα να ευχαριστήσω και όλους τους καθηγητές του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τέλος, ένα τεράστιο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη συνεχή τους στήριξη.

Δάφνη Δεληογλάνη, 2024

Η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας συνιστά τη θερμοκρασία που σημειώνεται στο επιφανειακό στρώμα των ωκεανών και αποτελεί μία μεταβλητή που συνδέεται με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής (US EPA, 2016). Η αύξηση των θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα, η οποία παρατηρείται από τα τέλη του 20^{ου} αιώνα έως και σήμερα, έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας από τους ωκεανούς, γεγονός που οδηγεί στην άνοδο της επιφανειακής τους θερμοκρασίας κατά 0,13°C ανά δεκαετία (IUCN, 2017). Αλλαγές στη συγκεκριμένη μεταβλητή επιδρούν άμεσα ή και έμμεσα στον καιρό και το κλίμα του πλανήτη, και κατά συνέπεια στη ζωή του ανθρώπου.

Από την άλλη μεριά, τα ατμοσφαιρικά πρότυπα τηλεσύνδεσης (teleconnection patterns) αναφέρονται στη συσχέτιση των κλιμάτων μεταξύ απομακρυσμένων γεωγραφικών περιοχών. Τα πρότυπα τηλεσύνδεσης προκύπτουν από την ανάλυση των διακυμάνσεων είτε της ατμοσφαιρικής πίεσης στη στάθμη της θάλασσας είτε των γεωδυναμικών υψών στις διάφορες ισοβαρικές επιφάνειες.

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της σχέσης της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας με τα δύο κυρίαρχα πρότυπα τηλεσύνδεσης (NAO, AO) του Β. Ατλαντικού. Ειδικότερα, στην παρούσα εργασία μελετώνται ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας για την περιοχή του Β. Ατλαντικού Ωκεανού για την περίοδο 1982-2020 και ερευνάται η πιθανή συσχέτισή τους με τις τιμές των δεικτών των προτύπων τηλεσύνδεσης κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Για τη μελέτη χρησιμοποιούνται οι τιμές και οι ανωμαλίες της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας σε διαφορετικές περιοχές του Β. Ατλαντικού. Η μέθοδος της συσχέτισης υστέρησης (cross correlation ή lag correlation) χρησιμοποιείται για να εντοπιστεί η σχέση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας με τα πρότυπα τηλεσυνδέσεων χωρικά και χρονικά.

Για την περαιτέρω διερεύνηση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στον Β. Ατλαντικό, η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόζεται και για τον εντοπισμό πιθανής σχέσης της θερμοκρασίας της θάλασσας με δύο άλλες σημαντικές κλιματικές μεταβλητές (θερμοκρασία του αέρα και ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια).

ABSTRACT

Sea surface temperature (SST) constitutes the temperature recorded in the surface layer of the oceans and is closely related to climate change (US EPA, 2016). The increase in greenhouse gases in the atmosphere, observed since the end of the 20th century, results in the oceans absorbing large amounts of heat, which leads to an increase in their surface temperature by 0.13°C per decade (IUCN, 2017). SST changes affect directly and/or indirectly Earth's weather and climate conditions, and consequently people's lives.

Atmospheric teleconnection patterns, on the other hand, refer to the correlation between climates of different geographical areas. Teleconnection patterns derive from the analysis of variations in either atmospheric pressure at sea level or geodynamic altitudes at various isobaric surfaces.

The purpose of this study is to investigate the relationship of the sea surface temperature with the prevailing teleconnection patterns (NAO, AO) in the North Atlantic. In particular, in the present work, daily sea surface temperature data for the North Atlantic Ocean for the period 1982-2020 are studied along with their possible correlation with the values of the teleconnection patterns' indices in the same period. The study uses the values and anomalies of sea surface temperature in different regions of the North Atlantic. The cross correlation (or lag correlation) method is applied to identify the relationship between sea surface temperature and teleconnection patterns in spatial and temporal scale.

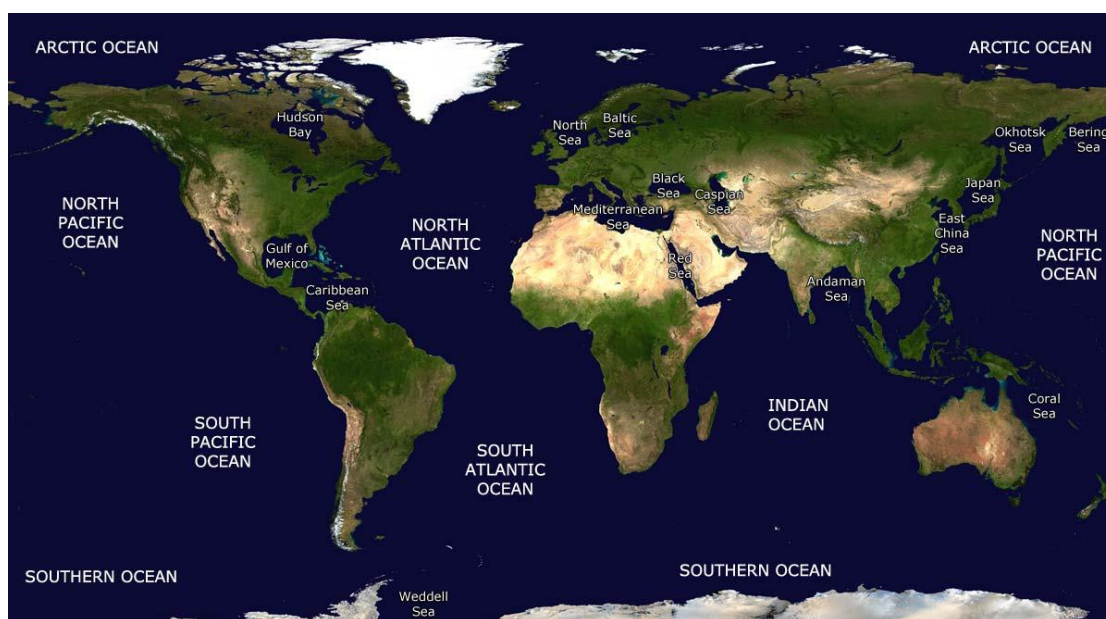
To further investigate the atmospheric conditions in the North Atlantic, the aforementioned methodology is also applied to identify any potential relationship between the sea surface temperature and two other significant climate variables (air temperature and sea level pressure).

1.1.1 Χαρακτηριστικά ωκεανού

Ο Ατλαντικός Ωκεανός αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο ωκεανό στον πλανήτη, μετά από τον Ειρηνικό Ωκεανό, καλύπτοντας μία έκταση περίπου 106.460.000 km² η οποία αντιστοιχεί στο ένα πέμπτο της επιφάνειας της Γης (US NOAA, 2019a).

Τα ακριβή όρια του ωκεανού, ιδιαίτερα στον Βορρά και τον Νότο, δεν μπορούν να καθοριστούν με ευκολία (Broadus, 2019). Σύμφωνα με την επικρατούσα θεωρία, ο ωκεανός οριοθετείται ανατολικά από τις ηπείρους της Ευρώπης και της Αφρικής, δυτικά από τη Β. και Ν. (Λατινική) Αμερική, βόρεια από τον Αρκτικό Ωκεανό και νότια από τον Νότιο Ωκεανό. Στο γεωγραφικό πλάτος των 8°Β, εκεί όπου συναντώνται οι ανατολικοί αληγείς άνεμοι της Ισημερινής ζώνης, γίνεται συχνά διαχωρισμός του ωκεανού σε Β. και Ν. Ατλαντικό Ωκεανό (U.S. Navy, 2001).

Το Σχήμα 1.1 αποτελεί ένα γεωμορφολογικό χάρτη της Γης, στον οποίο παρουσιάζονται όλοι οι ωκεανοί και οι θάλασσες της Γης, συμπεριλαμβανομένου του Ατλαντικού Ωκεανού.



Σχήμα 1.1: Γεωμορφολογικός χάρτης που απεικονίζει τους ωκεανούς και τις θάλασσες της Γης (πηγή: ILLSS, 2021).

Ο Ατλαντικός Ωκεανός έχει μέσο βάθος 3.926 m, με το μεγαλύτερο βάθος του να σημειώνεται στα 8.381 m και να εντοπίζεται στην Τάφρο του Πουέρτο Ρίκο (U.S. Navy, 2001). Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του ωκεανού είναι η μεσοωκεάνια ράχη που εκτείνεται από την Ισλανδία έως το γεωγραφικό πλάτος των 58°N και χωρίζει τον ωκεανό σε δύο μεγάλες τάφρους ανατολικά και δυτικά της. Σε ορισμένες περιοχές, το ανώτερο τμήμα της μεσοωκεάνιας ράχης ξεπερνά την επιφάνεια της θάλασσας με αποτέλεσμα να σχηματίζονται νησιά, όπως η Ισλανδία και οι Αζόρες (Broadus, 2019).

1.1.2 Υδρο-κλιματολογικά στοιχεία

Τα υδροκλιματολογικά χαρακτηριστικά του Ατλαντικού Ωκεανού επηρεάζονται από ένα σημαντικό αριθμό παραμέτρων, με κυριότερα παραδείγματα να συντελούν τα θαλάσσια ρεύματα, οι άνεμοι που πνέουν και οι αέριες μάζες που κινούνται πάνω από την επιφάνεια.

Ωστόσο, το κλίμα δεν είναι ίδιο σε όλες τις περιοχές του ωκεανού, αλλά διαφέρει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του χρόνου. Οι ποικίλες ατμοσφαιρικές συνθήκες και η παρουσία διαφορετικών ωκεάνιων ρευμάτων που επηρεάζουν τον καιρό και το κλίμα του ωκεανού σε κάθε περιοχή έχουν ως αποτέλεσμα οι περισσότεροι επιστήμονες να διαφοροποιούν τον Β. Ατλαντικό από τον Ν. Ατλαντικό (Gibbens, 2019).

Σε γενικές γραμμές, το κλίμα του **Β. Ατλαντικού** χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες, υψηλή υγρασία και συχνές βροχοπτώσεις. Επίσης, η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας επηρεάζει σημαντικά το κλίμα της περιοχής (Encyclopedia Britannica, 2023a). Ειδικότερα, δυτικοί άνεμοι και αέριες μάζες που προέρχονται από τη Β. Αμερική μεταφέρονται προς τον ωκεανό. Παράλληλα, στην περιοχή της Ισλανδίας όπου σημειώνονται χαμηλές πιέσεις, οι άνεμοι πνέουν με φορά αντίθετη από τους δείκτες του ρολογιού και συναντούν ανέμους αντίθετης φοράς προερχόμενους από την περιοχή υψηλών πιέσεων στις Αζόρες δημιουργώντας μία δυτική ροή στα μέσα γεωγραφικά πλάτη στη περιοχή του Ατλαντικού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Hurrell and Deser, 2010).

Επιπλέον, το κλίμα στο βόρειο τμήμα του ωκεανού επηρεάζεται και από τα επικρατούντα ωκεάνια ρεύματα και ειδικότερα από το Ρεύμα του Κόλπου, ένα ισχυρό ρεύμα που μεταφέρει θερμά νερά από τον Κόλπο του Μεξικού στον Β. Ατλαντικό διασχίζοντας την ανατολική ακτογραμμή της Β. Αμερικής (SciJinks, 2016). Το συγκεκριμένο ωκεάνιο ρεύμα έχει ως αποτέλεσμα τα ύδατα στις νοτιότερες ΗΠΑ και τη Δ. Ευρώπη να είναι θερμότερα το καλοκαίρι και ψυχρότερα το χειμώνα σε σχέση με εκείνα άλλων περιοχών ίδιου γεωγραφικού πλάτους (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Ρεύμα του Κόλπου (πηγή: SciJinks, 2016).

Παρόμοιοι παράγοντες επηρεάζουν το κλίμα του **Ν. Ατλαντικού**, ο οποίος χαρακτηρίζεται από ήπιες θερμοκρασίες, υψηλή υγρασία, αλλά και μικρότερη εμφάνιση βροχοπτώσεων.

Ειδικότερα, το Νότιο Ισημερινό Ρεύμα διατηρείται χάρη στους νοτιοανατολικούς αληγείς ανέμους που πνέουν στην περιοχή της Ισημερινής ζώνης (Yang et al., 2020; Franco et al., 2020). Πρόκειται για ένα ρεύμα παρόμοιο με το Ρεύμα του Κόλπου, χωρίς ωστόσο να διαθέτει τόσο μεγάλη ισχύ, και το οποίο μεταφέρει θερμά νερά προς την περιοχή της Αφρικής. Επιπλέον, ένα ωκεάνιο ρεύμα από την Ανταρκτική μεταφέρει ψυχρά νερά από το νοτιότερο τμήμα του ωκεανού προς τις ανατολικές ακτές της Λατινικής Αμερικής.

1.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΤΗΛΕΣΥΝΔΕΣΗΣ

1.2.1 Ορισμός προτύπων τηλεσύνδεσης και γνωστά παραδείγματα

Τα πρότυπα τηλεσύνδεσης αποτελούν στατιστικά σημαντικές κλιματικές συσχετίσεις μεταξύ απομακρυσμένων γεωγραφικών περιοχών (Nigam, 2003). Πρόκειται για μεγάλης κλίμακας έντονες και επαναλαμβανόμενες ανωμαλίες στην πίεση και την ατμοσφαιρική κυκλοφορία που παρατηρούνται σε σημαντικές γεωγραφικές εκτάσεις. Η διάρκεια των προτύπων τηλεσύνδεσης διαφέρει κατά περίπτωση και μπορεί να κρατήσει από ορισμένες εβδομάδες έως ορισμένα έτη. Το γεγονός αυτό τα καθιστά ως ένα σημαντικό παράγοντα για τη μεταβλητότητα του κλίματος, καθώς επηρεάζουν τις συνθήκες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, τις καταιγίδες και τους αεροχειμάρρους ως προς τη θέση και την έντασή τους (CPC, 2023a). Κατά τη διάρκεια των διαφορετικών φάσεων ενός προτύπου τηλεσύνδεσης, διαφορετικές κλιματικές συνθήκες σημειώνονται στις περιοχές τις οποίες επηρεάζει.

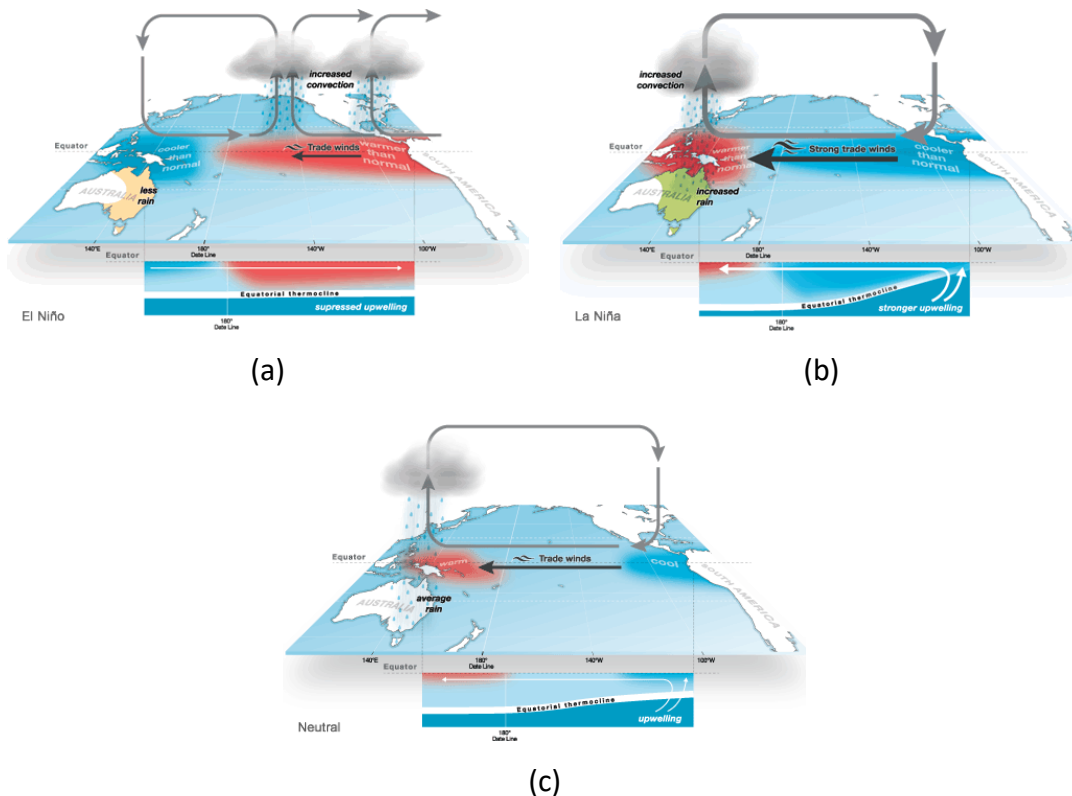
Τα πρότυπα τηλεσύνδεσης ορίζονται με τη χρήση δεικτών που συνήθως αποτελούν τη διαφορά ορισμένων παραμέτρων (π.χ. της πίεσης ή του γεωδυναμικού ύψους) μεταξύ δύο διαφορετικών περιοχών. Υπάρχουν ποικίλες προσεγγίσεις για τον υπολογισμό των δεικτών, με τις περισσότερες χρησιμοποιούμενες να συντελούν τον Συντελεστή Συσχέτισης (Barnston and Livezey, 1987), την Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (Principal Component Analysis – PCA; Moore, 1981), την Αποσύνθεση Μοναδικής Τιμής (Singular Value Decomposition – SVD; Storch and Navarra, 2013), και την Ανάλυση Κανονικών Συσχετίσεων (Canonical Correlation Analysis – CCA; Bretherton et al., 1992).

Τα πιο γνωστά παραδείγματα προτύπου τηλεσύνδεσης είναι:

1. Η **Νότια Κύμανση** που είναι γνωστή και ως φαινόμενο El Niño (El Niño-Southern Oscillation - ENSO), η οποία εντοπίζεται στον κεντρικό και ανατολικό τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό, εμφανίζει περιοδικότητα 3 έως 7 ετών, και επηρεάζει τη θερμοκρασία του νερού κατά 1°C έως 3°C (NWS, 2019). Η συγκεκριμένη μεταβολή έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της κατανομής της βροχόπτωσης στα τροπικά γεωγραφικά πλάτη, αλλά και την επίδραση του καιρού διάφορων περιοχών παγκοσμίως, π.χ. των ΗΠΑ. Η Νότια Κύμανση αποτελείται από τρεις φάσεις (NWS, 2019; Wang et al., 2023) (Σχήμα 1.3):

- **Φάση El Niño:** Στις περιοχές του κεντρικού και ανατολικού τροπικού Ειρηνικού Ωκεανού παρατηρείται αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας του ωκεανού (θερμοκρασίες που υπερβαίνουν το μέσο όρο της επιφάνειας της θάλασσας) και αύξηση των βροχοπτώσεων. Αντίθετα, στην Ινδονησία οι βροχοπτώσεις μειώνονται και οι ανατολικοί άνεμοι που συνήθως πνέουν κατά μήκος του Ισημερινού εξασθενούν ή σε ορισμένες περιπτώσεις μετατρέπονται σε δυτικούς ανέμους.

- Φάση La Niña: Στον κεντρικό και ανατολικό τροπικό ωκεανό σημειώνεται πτώση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του (θερμοκρασίες στην επιφάνεια της θάλασσας χαμηλότερες από το μέσο όρο) και μείωση των βροχοπτώσεων. Αντίθετα, στην Ινδονησία οι βροχοπτώσεις τείνουν να αυξάνονται και οι ανατολικοί άνεμοι στον Ισημερινό ενισχύονται.
- Ουδέτερη Φάση: Οι θερμοκρασίες της επιφάνειας του ωκεανού βρίσκονται κοντά στο μέσο όρο και η ατμόσφαιρα δεν επηρεάζεται.



Σχήμα 1.3: Οι τρεις φάσεις της Νότιας Κύμανσης – (α) Φάση El Niño, (β) Φάση La Niña, (γ) Ουδέτερη Φάση (πηγή: Bureau of Meteorology, 2010).

Η Νότια Κύμανση έχει ως ένα βαθμό επίδραση στον Β. Ατλαντικό Ωκεανό (Hardiman et al., 2019).

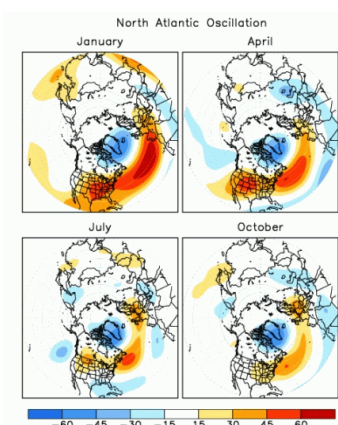
2. Η Ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού (North Atlantic Oscillation - NAO) παρατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και καθορίζεται από τη συσχέτιση μεταξύ του χαμηλού της Ισλανδίας και του αντικυκλώνα των Αζορών (CPC, 2023b; Sun and Wang, 2012). Η θετική φάση του NAO ταυτίζεται με αύξηση της θερμοκρασίας στην ανατολική πλευρά των ΗΠΑ και τη Β. Ευρώπη και μείωση της στη Γροιλανδία, τη Ν. Ευρώπη και τη Μέση Ανατολή. Όσον αφορά στη βροχόπτωση, αύξηση της σημειώνεται στη Β. Ευρώπη και τη Σκανδιναβία το χειμώνα, και μείωσή της στη Ν. και κεντρική Ευρώπη. Αντίθετες καταστάσεις των κλιματικών μεταβλητών παρατηρούνται κατά την αρνητική φάση του NAO. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη συγκεκριμένη ταλάντωση παρέχονται στο υποκεφάλαιο 1.2.2.

3. Η Κύμανση του Ανατολικού Ατλαντικού (East Atlantic Pattern - EA) αποτελεί το δεύτερο πιο ισχυρό πρότυπο τηλεσύνδεσης στον Β. Ατλαντικό και παρατηρείται όλους τους μήνες του χρόνου (CPC, 2023c). Το EA εμφανίζει παρόμοια χαρακτηριστικά με το NAO και αναφέρεται συχνά ως «πρότυπο τηλεσύνδεσης NAO μετατοπισμένο προς τα νότια» (Ambaum et al., 2001). Κατά τη θετική του φάση σημειώνονται επιφανειακές θερμοκρασίες υψηλότερες του μέσου όρου στην Ευρώπη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και χαμηλότερου του μέσου όρου στις νοτιότερες ΗΠΑ την περίοδο Ιανουαρίου-Μαΐου και στις Β. και κεντρικές ΗΠΑ την περίοδο Ιουλίου-Οκτωβρίου. Επιπλέον, η θετική του φάση συνδέεται με αύξηση της βροχόπτωσης στη Β. Ευρώπη και τη Σκανδιναβία και μείωσή της στη Ν. Ευρώπη.

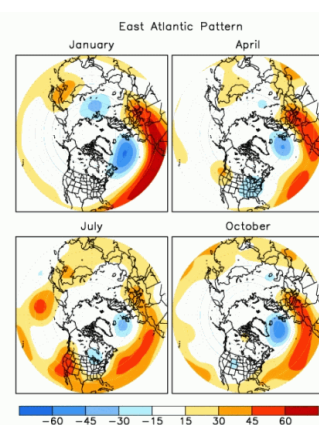
4. Η Κύμανση του Ανατολικού Ατλαντικού/Δυτικής Ρωσίας (East Atlantic/Western Russia Pattern - EATL/WRUS) επηρεάζει την περιοχή της Ευρασίας όλους τους μήνες του χρόνου (CPC, 2023d). Κατά τη θετική φάση του συγκεκριμένου προτύπου τηλεσύνδεσης σημειώνονται θετικές ανωμαλίες γεωδυναμικού ύψους στην Ευρώπη και τη Β. Κίνα, και αρνητικές ανωμαλίες στον κεντρικό Β. Ατλαντικό και βόρεια της Κασπίας Θάλασσας (Ionita, 2014).

5. Το Σκανδιναβικό Πρότυπο Τηλεσύνδεσης (Scandinavia pattern - SCAND) επηρεάζει κατά βάση τη Σκανδιναβία, τη Δ. Ευρώπη και την Α. Ρωσία/Δ. Μογγολία. Η θετική και αρνητική του φάση συνδέεται με θετικές και αρνητικές, αντίστοιχα, ανωμαλίες γεωδυναμικού ύψους στη Σκανδιναβία και τη Δ. Ρωσία (Bueh and Nakamura, 2007; CPC, 2023e). Όσον αφορά στη θερμοκρασία, η θετική φάση του SCAND σχετίζεται με αύξησή της στην κεντρική Ρωσία και Δ. Ευρώπη. Ακόμα, παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης στην κεντρική και Ν. Ευρώπη και μείωσή της στη Σκανδιναβία.

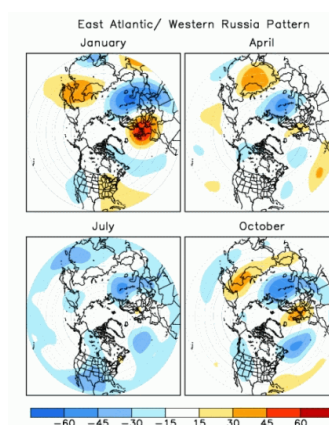
6. Το Πολικό/Ευρασιατικό Πρότυπο Τηλεσύνδεσης (Polar/Eurasia pattern) συνδέεται με μεταβολές στην ένταση της πολικής κυκλοφορίας, με τη θετική φάση να παρουσιάζει μία ενίσχυση στην κυκλοφορία και την αρνητική μία εξασθένιση (Claud et al., 2007; CPC, 2023f). Το συγκεκριμένο πρότυπο επηρεάζει κυρίως τις περιοχές της Β. Κίνας και της Μογγολίας και συνήθως αντανάκλα θερμοκρασίες άνω του μέσου όρου στην Α. Σιβηρία και κάτω του μέσου όρου στην Α. Κίνα κατά τη θετική του φάση. Επιπλέον, συνδέεται με αύξηση της βροχόπτωσης στην πολική περιοχή βόρεια της Σκανδιναβίας.



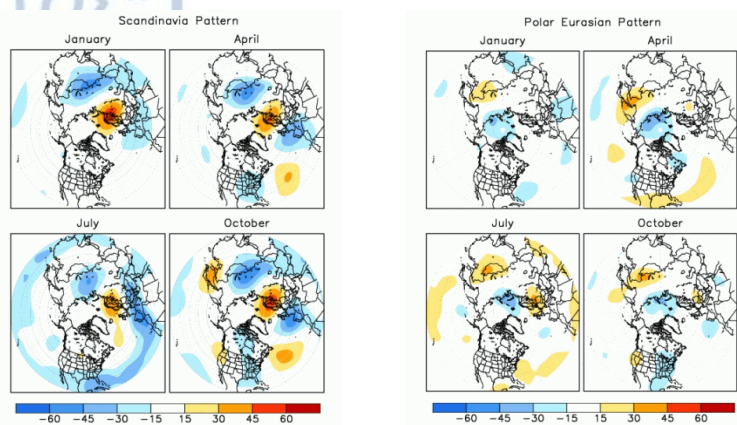
(α)



(β)



(γ)



(δ)

(ε)

Σχήμα 1.4: Θετικές φάσεις των προτύπων τηλεσύνδεσης που επηρεάζουν το Β. Ατλαντικό - (α) NAO, (β) ΕΑ, (γ) EATL/WRUS, (δ) SCAND, (ε) Πολικό/Ευρασιατικό πρότυπο (πηγή: CPC, 2023g).

(Η τιμή σε κάθε σημείο πλέγματος αντιπροσωπεύει τη χρονική συσχέτιση μεταξύ των μηνιαίων τυποποιημένων ανωμαλιών ύψους στο σημείο και της χρονοσειράς των προτύπων τηλεσύνδεσης που ισχύει για κάθε μήνα).

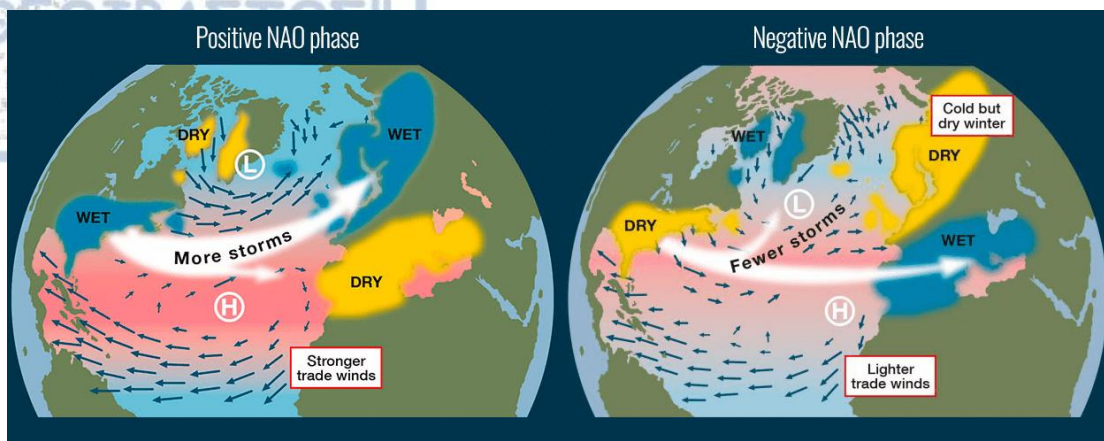
Επιπλέον, ένα ακόμα πρότυπο τηλεσύνδεσης επηρεάζει τον καιρό και το κλίμα του Β. Ατλαντικού. Πρόκειται για την **Αρκτική Ταλάντωση (ΑΟ)** η οποία συνδέεται με έντονους ανέμους που πνέουν γύρω από την περιοχή της Αρκτικής σε γεωγραφικό πλάτος περίπου 55°N (NCEI, 2023a). Η θετική φάση του συγκεκριμένου προτύπου ταυτίζεται με την πνοή ιδιαίτερα ισχυρών ανέμων στον βόρειο πόλο με αποτέλεσμα να περιορίζεται η μεταφορά ψυχρότερου αέρα από τις πολικές περιοχές (Ambaum et al., 2001). Αντίθετα, στην αρνητική του φάση, οι ψυχρές βόρειες αέριες μάζες διεισδύουν ευκολότερα στα νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη λόγω της απουσίας ισχυρών ανέμων.

1.2.2 Ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού (NAO)

Το πρότυπο τηλεσύνδεσης NAO περιγράφει τις διακυμάνσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ του συστήματος χαμηλής πίεσης κοντά στην Ισλανδία και τη Γροιλανδία (Χαμηλό της Ισλανδίας) και του συστήματος υψηλής πίεσης κοντά στις Αζόρες (Αντικυκλώνας των Αζορών). Η μεταβολή της έντασης των δύο ατμοσφαιρικών συστημάτων μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στο κλίμα του Β. Ατλαντικού και κατ' επέκταση της Ευρώπης και της Β. Αμερικής. Η διακύμανση NAO εμφανίζει δύο φάσεις, τη θετική και την αρνητική.

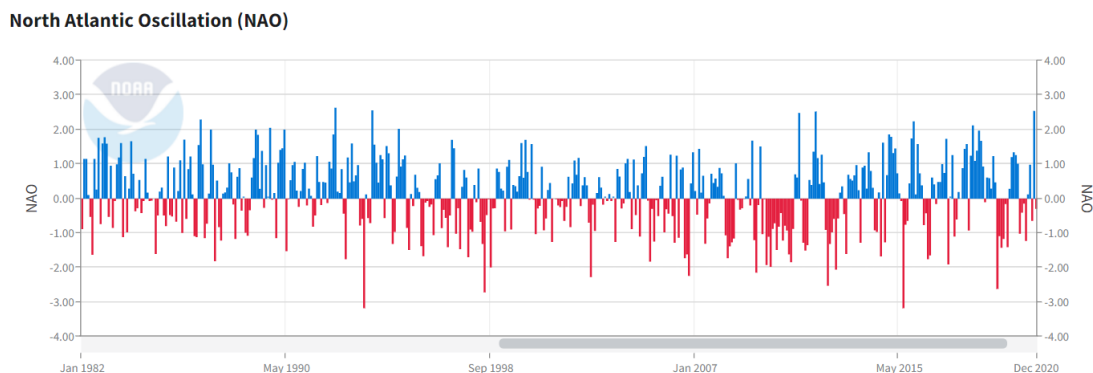
Κατά τη διάρκεια της θετικής φάσης, η βαροβαθμίδα μεταξύ του Αντικυκλώνα των Αζορών και Χαμηλού της Ισλανδίας είναι ισχυρή. Ως αποτέλεσμα, πνέουν ισχυρότεροι δυτικοί άνεμοι στην περιοχή και ο αεροχείμαρρος μετατοπίζεται βορειότερα ώστε στη Β. Ευρώπη να παρατηρούνται υψηλότερες θερμοκρασίες και υγρασία, και στη Ν. Ευρώπη και τη Β. Αμερική ψυχρότερες και ξηρότερες συνθήκες.

Αντίθετα, στην αρνητική φάση του NAO, σημειώνεται πιο ασθενής βαροβαθμίδα μεταξύ των δύο ατμοσφαιρικών συστημάτων. Συνεπώς, οι πνέοντες άνεμοι είναι ασθενέστεροι και ο αεροχείμαρρος μεταφέρεται νοτιότερα, προκαλώντας ψυχρότερο και πιο άστατο καιρό στη Β. Ευρώπη και ηπιότερες και υγρότερες συνθήκες στη Ν. Ευρώπη και τη Β. Αμερική.



Σχήμα 1.5: Ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της θετικής (αριστερά) και αρνητικής (δεξιά) φάσης του NAO (πηγή: Korosec, 2021).

Η θετική ή αρνητική φάση του NAO καθορίζεται με τη βοήθεια ενός δείκτη που ποσοτικοποιεί τη διαφορά της πίεσης στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας μεταξύ του Χαμηλού της Ισλανδίας και του Αντικυκλώνα των Αζορών (Hurrell et al., 2003). Στο Σχήμα 1.6 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις του δείκτη κατά τη διάρκεια της περιόδου 1982-2020.



Σχήμα 1.6: Διακυμάνσεις του δείκτη NAO την περίοδο 1982-2020 (πηγή: NCEI, 2023b).

Το πρότυπο NAO μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο κλίμα του Β. Ατλαντικού, αλλά και σε άλλες περιοχές του πλανήτη. Ειδικότερα, επηρεάζει τα συστήματα καιρού, τα οικοσυστήματα, ορισμένες ανθρώπινες δραστηριότητες, αλλά ενδέχεται να επηρεάζει ακόμα και την ανθρώπινη υγεία.

Όσον αφορά στον **καιρό**, η θετική φάση του NAO συμβάλλει στην ενίσχυση των επικρατούντων ανέμων με αποτέλεσμα την εμφάνιση ηπιότερων και υγρότερων συνθηκών στη Β. Ευρώπη και ψυχρότερων και ξηρότερων συνθηκών στις ΝΑ ΗΠΑ και τη Ν. Ευρώπη (Hanna and Cropper, 2017). Το αντίθετο μοτίβο παρατηρείται στην αρνητική φάση του προτύπου τηλεσύνδεσης.

Επιπρόσθετα, το πρότυπο NAO μπορεί να επηρεάσει τη ισχύ και τη θέση των ωκεάνιων συστημάτων, δηλαδή των ωκεάνιων ρευμάτων του Β. Ατλαντικού, όπως το Ρεύμα του Κόλπου. Αλυσιδωτά, η συγκεκριμένη αλλαγή προκαλεί μεταβολές στην κατανομή της θερμότητας και των θρεπτικών ουσιών στον ωκεανό, καθώς και στα **θαλάσσια οικοσυστήματα και την αλιεία** που στηρίζονται σε αυτούς τους πόρους (Maynou, 2011; Roberts et al., 2019).

Μακροπρόθεσμα, το NAO μπορεί να έχει επιπτώσεις στο **παγκόσμιο κλίμα** επηρεάζοντας τη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Οι αλλαγές στο κλίμα, που συνιστούν αλλαγές στη θερμοκρασία και τα ύψη βροχόπτωσης, έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν αρνητικά την ανάπτυξη και την κατανομή των φυτών (Myoung et al., 2013), τα οποία στη συνέχεια επιδρούν στην ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που απορροφάται ή απελευθερώνεται από τα χερσαία οικοσυστήματα.

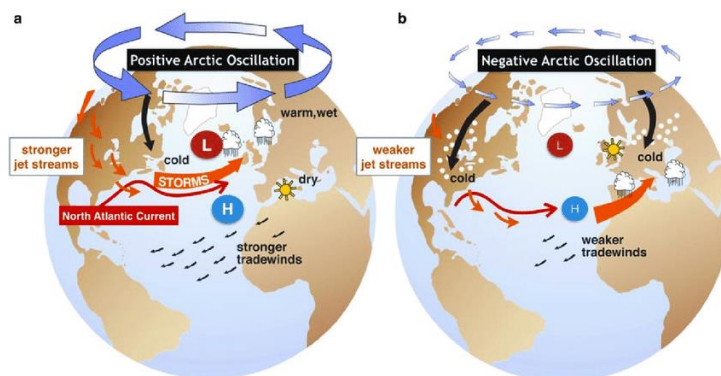
Τέλος, το NAO μπορεί να επιδράσει και στην **ανθρώπινη υγεία**. Λόγω της συνεισφοράς του στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και πρόσθετων επιβλαβών ατμοσφαιρικών αερίων, το συγκεκριμένο πρότυπο τηλεσύνδεσης συμβάλλει στην ατμοσφαιρική ρύπανση που παρατηρείται σε μεγάλες αστικές πόλεις (Grundström et al., 2011) και η οποία είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση ή επιδείνωση ασθενειών (EEA, 2023). Ακόμα, έχει εντοπιστεί ότι αυξημένη αρτηριακή πίεση σε ορισμένα άτομα ενδέχεται να σχετίζεται με τη διακύμανση του δείκτη NAO (Vencloviene et al., 2018).

1.2.3 Αρκτική ταλάντωση (AO)

Το AO συνιστά ένα πρότυπο τηλεσύνδεσης που περιγράφει τη διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ της Αρκτικής και των μέσων γεωγραφικών πλατών. Ειδικότερα, το AO χαρακτηρίζεται από μεταβολές στην ισχύ και τη θέση της πολικής δίνης, η οποία αποτελεί μία μεγάλη σε έκταση περιοχή με χαμηλές πιέσεις και ψυχρό αέρα και εντοπίζεται στην Αρκτική κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Το AO αποτελείται επίσης από δύο φάσεις, μία θετική και μία αρνητική (Thompson and Wallace, 1998).

Κατά τη διάρκεια της θετικής του φάσης, η πίεση στην περιοχή της Αρκτικής είναι χαμηλότερη από τη μέση πίεση στα μέσα γεωγραφικά πλάτη και ο αεροχειμάρρος εντοπίζεται βορειότερα από ότι συνήθως, περιορίζοντας τον ψυχρό ατμοσφαιρικό αέρα στην περιοχή της Αρκτικής. Στη συγκεκριμένη κατάσταση θεωρείται πως η πολική δίνη έχει «καλή συμπεριφορά», δηλαδή είναι ισχυρή και καλά οργανωμένη.

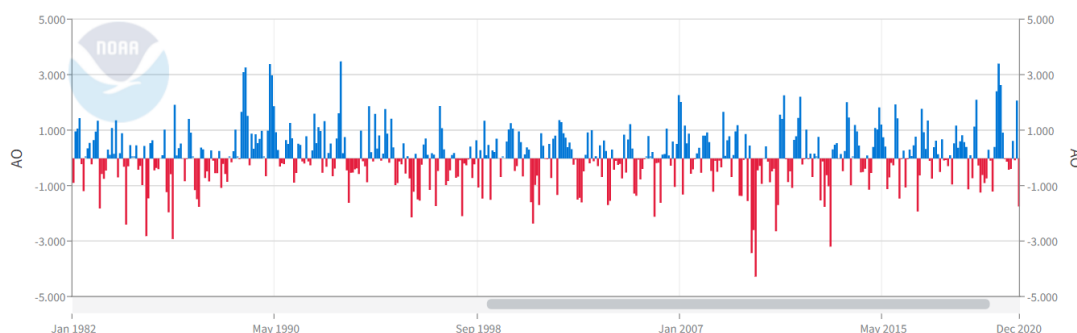
Όταν όμως το πρότυπο AO βρίσκεται σε αρνητική φάση, η πολική δίνη είναι αδύναμη και όχι καλά οργανωμένη, με αποτέλεσμα ο ψυχρός αέρας να μπορεί να μεταφερθεί νοτιότερα προς τα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Συνεπώς, σε ορισμένες περιοχές οι τιμές της θερμοκρασίας ενδέχεται να μειωθούν και να εμφανιστούν θύελλες. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην υψηλότερη από το μέσο όρο πίεση στην Αρκτική και παράλληλα στη χαμηλότερη πίεση στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, που έχουν ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση του αεροχειμάρρου νοτιότερα.



Σχήμα 1.7: Ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της θετικής (αριστερά) και αρνητικής (δεξιά) φάσης του AO (πηγή: Campos and Horn, 2018).

Όπως και το πρότυπο τηλεσύνδεσης NAO, το AO ποσοτικοποιείται με τη βοήθεια ενός δείκτη που δηλώνει την ισχύ και τη θέση της Αρκτικής Ταλάντωσης. Ο δείκτης υπολογίζεται με βάση τη διαφορά της πίεσης στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας μεταξύ της Αρκτικής και των μέσων γεωγραφικών πλατών του Β. Ατλαντικού και του Β. Ειρηνικού (Climate.gov, 2023). Το Σχήμα 1.8 απεικονίζει τις διακυμάνσεις του δείκτη AO κατά την περίοδο 1982-2020.

Arctic Oscillation (AO)



Σχήμα 1.8: Διακυμάνσεις του δείκτη AO την περίοδο 1982-2020 (πηγή: NCEI, 2023a).

Το πρότυπο AO μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στον **καιρό** και το **κλίμα** του Β. Ατλαντικού, από την Αρκτική έως τα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Ειδικότερα, η ισχύς και η θέση του, και κατ' επέκταση η συμπεριφορά της πολικής δίνης συνδέεται με μεταβολές στην έκταση του θαλάσσιου πάγου (NSIDC, 2013) και στα ωκεάνια ρεύματα (Armitage et al., 2018), καθώς και με μεταβολές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία.

Οι κυμάνσεις NAO και AO συνιστούν δύο διαφορετικά πρότυπα τηλεσύνδεσης, τα οποία όμως έχουν στενή σχέση μεταξύ τους και αλληλοεπηρεάζονται. Το πρώτο εξαρτάται από τις συνθήκες πίεσης στις περιοχές της Ισλανδίας και των Αζορών, ενώ το δεύτερο στην Αρκτική και τα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Συνεπώς, μπορεί να θεωρηθεί πως οι αλλαγές στην ισχύ και τη θέση της πολικής δίνης, ουσιώδες χαρακτηριστικό του AO, μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη συμπεριφορά των ατμοσφαιρικών συστημάτων που χαρακτηρίζουν το NAO (Freitas et al., 2022).

Σε περίπτωση που οι φάσεις των δύο προτύπων τηλεσύνδεσης συμπίπτουν υπάρχει πιθανότητα οι καιρικές/κλιματικές συνθήκες που φέρει η κάθε φάση στις περιοχές του Β. Ατλαντικού να είναι εντονότερες. Ωστόσο, δεν παρατηρείται πάντα αυτή η σύμπτωση των φαινομένων (Σχήμα 1.6, Σχήμα 1.8).

1.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ NAO ΚΑΙ AO ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΙ ΑΛΛΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ

Όπως αναφέρεται παραπάνω, τα πρότυπα τηλεσύνδεσης NAO και AO επηρεάζουν τον καιρό και το κλίμα της περιοχής του Β. Ατλαντικού, αλλά και των ηπείρων που τον οριοθετούν. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διερεύνηση της χρονικής συσχέτισης μεταξύ των συγκεκριμένων προτύπων τηλεσύνδεσης και της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας (SST), της θερμοκρασίας που σημειώνεται στο επιφανειακό στρώμα των ωκεανών και αποτελεί μία μεταβλητή που συνδέεται με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής (Merchant et al., 2019). Η χρονική υστέρηση, δηλαδή πόσες μέρες νωρίτερα ή αργότερα σημειώνονται οι διακυμάνσεις μίας μεταβλητής σε σχέση με τις διακυμάνσεις μίας άλλης και

αν φαίνεται οι διακυμάνσεις αυτές να αλληλοεπηρεάζονται, προκαλεί ενδιαφέρον και μεταξύ άλλων κλιματικών μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία του αέρα (Tair) και η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια (SLP).

Όσον αφορά στο NAO, η αλληλεπίδραση του με την SST διαφέρει χρονικά ανάλογα με την περιοχή του Β. Ατλαντικού που μελετάται. Παρατηρείται πως υπάρχει καθυστερημένη απόκριση της θερμοκρασίας σε σχέση με το NAO, η οποία είναι σημαντικότερη στο ανατολικό και κεντρικό τμήμα του Β. Ατλαντικού σε σύγκριση με το δυτικό τμήμα (Ding et al., 2023).

Η χρονική υστέρηση στις μεταβολές της SST σε σχέση με το NAO εξαρτάται επίσης και από τη φάση που βρίσκεται το πρότυπο τηλεσύνδεσης. Συγκεκριμένα, κατά τη θετική του φάση, οι άνεμοι είναι ισχυρότεροι και μεταφέρουν θερμότητα από τα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη στα μεγαλύτερα επηρεάζοντας με καθυστέρηση ορισμένων εβδομάδων ή μηνών την κατανομή της SST. Ομοίως, μεταφορά θερμότητας παρατηρείται και στην αρνητική φάση του NAO, με τις μεταβολές της SST να σημειώνονται ξανά μετά από ορισμένες εβδομάδες ή μήνες (Rodwell et al., 1999).

Η σχέση του NAO με την Tair είναι περισσότερο πολύπλοκη και δεν μπορεί εύκολα να μελετηθεί. Όπως και στην περίπτωση της SST, η μεταβολή του NAO προκαλεί μεταβολές στα ατμοσφαιρικά συστήματα, επηρεάζοντας την Tair. Συνεπώς, η μεταβολή του προηγείται της μεταβολής της Tair και μάλιστα, κατά μερικές εβδομάδες ή μήνες και εξαρτάται από την περιοχή του Β. Ατλαντικού και τη φάση στην οποία βρίσκεται το πρότυπο τηλεσύνδεσης (Hurrell, 2015).

Το NAO και η SLP συνδέονται αδιάρρηκτα, γεγονός που αντικατοπτρίζεται από τον ορισμό του συγκεκριμένου προτύπου τηλεσύνδεσης. Αν και η σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι περίπλοκη, το NAO είναι εκείνο που επηρεάζει την κατανομή της SLP στον Β. Ατλαντικό. Ανάλογα με τη φάση του NAO διαφορετική είναι και η επίδρασή του στις τιμές SLP, καθώς το NAO επηρεάζει σε διαφορετικό βαθμό τα ατμοσφαιρικά συστήματα (Lindsey and Dahlman, 2009).

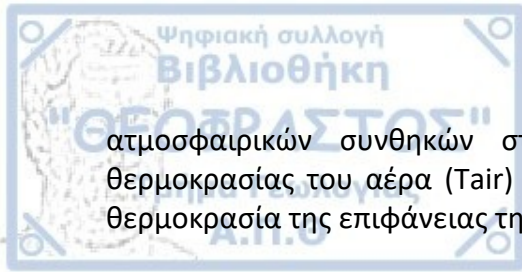
Όσον αφορά στο πρότυπο τηλεσύνδεσης AO, δεν έχει εντοπιστεί ακόμα σε μεγάλο βαθμό η επίδρασή του στην SST στον Β. Ατλαντικό (Báez et al., 2013), και φαίνεται πως επηρεάζει τη διακύμανση της συγκεκριμένης μεταβλητής μόνο εφόσον έχει ήδη προηγηθεί η επίδρασή της από του προτύπου NAO. Ωστόσο, αντίθετη εικόνα παρουσιάζεται στον Ειρηνικό Ωκεανό όπου το AO επηρεάζει την SST της τροπικής ζώνης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Chen et al., 2017).

Ακόμα, το AO επιδρά σε σημαντικό βαθμό στην Tair στην ευρύτερη περιοχή του Β. Ατλαντικού (Zheng et al., 2021). Η σχέση τους, ωστόσο, δεν είναι ίδια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με την ισχύ της να αυξάνεται τους χειμερινούς μήνες Ιανουάριο-Φεβρουάριο.

Τέλος, η σχέση του AO με την SLP είναι αδιαμφισβήτητη καθ' ορισμού και ο δείκτης του συγκεκριμένου προτύπου τηλεσύνδεσης κατά τις θετικές και αρνητικές τους φάσεις χρησιμοποιείται συχνά για την περιγραφή του κλίματος του Β. Ημισφαιρίου (Zhao et al., 2006).

1.4 ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

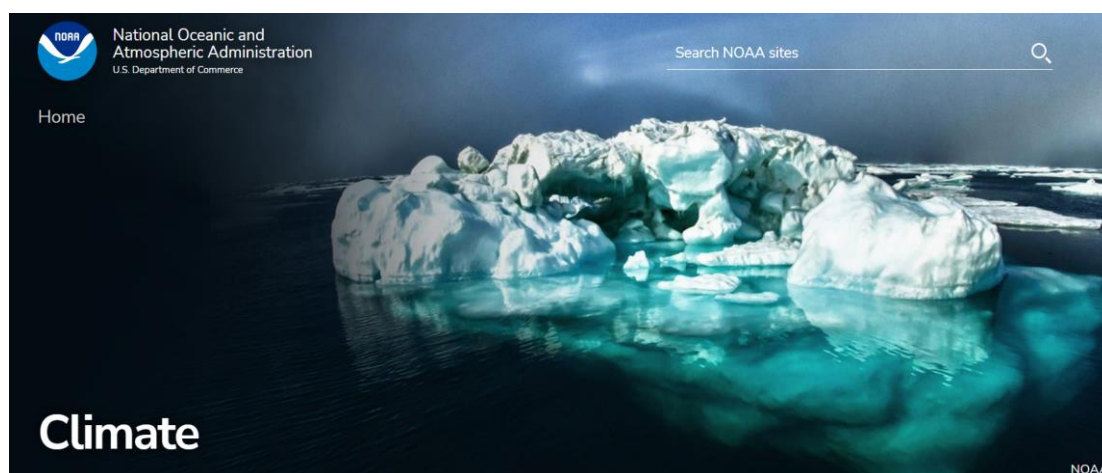
Κύριος στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη της σχέσης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST) με τα δύο κυρίαρχα πρότυπα τηλεσύνδεσης στην περιοχή του Β. Ατλαντικού (NAO και AO). Επιπλέον, για την περαιτέρω διερεύνηση των



ατμοσφαιρικών συνθηκών στη συγκεκριμένη περιοχή μελετώνται οι σχέσεις της θερμοκρασίας του αέρα (Tair) και της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια (SLP) με τη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας αλλά και με τα δύο πρότυπα τηλεσύνδεσης.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα τριών κλιματικών μεταβλητών για την περίοδο 1982-2020. Τις κλιματικές μεταβλητές που μελετήθηκαν συνιστούν οι SST, Tair και SLP στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας, ενώ το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στην περιοχή του Β. Ατλαντικού. Η συγκεκριμένη 39ετής περίοδος επιλέχθηκε λόγω της έλλειψης ολοκληρωμένων δεδομένων για όλες τις μεταβλητές σε προγενέστερα έτη. Διαφορετικός αριθμός σημείων πλέγματος λήφθηκαν υπόψη για κάθε μεταβλητή, γεγονός που οφειλόταν στη φύση της μεταβλητής (π.χ., για την SST χρησιμοποιήθηκαν μόνο σημεία που εντοπίζονταν στον ωκεανό), αλλά και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων για κάθε μεταβλητή.

Τα κλιματικά δεδομένα της εργασίας προήλθαν από ειδικά τμήμα της Εθνικής Υπηρεσίας Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των ΗΠΑ ([National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA](#)). Η NOAA αποτελεί την κρατική υπηρεσία των ΗΠΑ που δραστηριοποιείται στη συλλογή και ανάλυση περιβαλλοντικών δεδομένων με στόχο την καλύτερη ερμηνεία και κατανόηση του φυσικού περιβάλλοντος, και κατ' επέκταση τη διασφάλιση της προστασίας του.



Σχήμα 2.1: Ιστοσελίδα της NOAA για το κλίμα (πηγή: US NOAA, 2019b)

Τα δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας προήλθαν από το αμερικανικό κέντρο δεδομένων «[National Centers for Environmental Information - NCEI](#)» της NOAA, το οποίο διαχειρίζεται περιβαλλοντικά δεδομένα από όλο τον κόσμο. Το NCEI συμβάλλει στην ανάπτυξη προϊόντων και υπηρεσιών που διευκολύνουν την ανακάλυψη νέων δεδομένων.

Τα δεδομένα θερμοκρασίας του αέρα και πίεσης στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας πάρθηκαν από το Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών της NOAA «[NOAA Physical Sciences Laboratory - PSL](#)»^{1,2}. Πρόκειται για έναν φορέα που πραγματοποιεί έρευνα πάνω

¹ https://psl.noaa.gov/cgi-bin/db_search/DBListFiles.pl?did=198&tid=98099&vid=3083

² https://psl.noaa.gov/cgi-bin/db_search/DBListFiles.pl?did=198&tid=98099&vid=676

στον καιρό, το κλίμα και την υδρολογία με στόχο την πρόγνωση της διαθεσιμότητας του νερού, αλλά και την εμφάνιση ακραίων γεγονότων.

Επιπλέον, στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες τιμές του δείκτη της Ταλάντωσης του Β. Ατλαντικού (North Atlantic Oscillation – NAO) και του δείκτη της Αρκτικής Ταλάντωσης (Arctic Oscillation – AO) για την μελετώμενη περίοδο 39 ετών. Τα συγκεκριμένα δεδομένα προήλθαν από το PSL και το Κέντρο Κλιματικών Προβλέψεων της NOAA «[Climate Prediction Center – CPC](#)», αντίστοιχα^{3,4}. Το CPC παρέχει κλιματικές προβλέψεις με στόχο την αποτελεσματική διαχείριση κινδύνων που οφείλονται στο κλίμα.

Ο Πίνακας 2.1 παρουσιάζει όλες τις μεταβλητές της εργασίας, με τη συντομογραφία που δίνεται στο κείμενο για να τις αναφέρει και τη μονάδα μέτρησής τους.

Πίνακας 2.1: Συνοπτικός πίνακας δεδομένων εργασίας

A/A	Κλιματική μεταβλητή	Συντομογραφία	Μονάδα μέτρησης
1	Επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας	SST	°C
2	Θερμοκρασία του αέρα	Tair	°C
3	Πίεση στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας	SLP	hPa
4	Δείκτης Ταλάντωσης Β. Ατλαντικού	NAO	-
5	Δείκτης Αρκτικής Ταλάντωσης	AO	-

Τέλος, δημιουργήθηκαν χάρτες SST, Tair και SLP στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας από το PSL. Οι χάρτες παρουσιάζουν τη διακύμανση των μεταβλητών στην περιοχή του Β. Ατλαντικού ετησίως, ανά μήνα και ανά εποχή για την περίοδο 1982-2020.

³ <https://psl.noaa.gov/data/timeseries/daily/NAO/>

⁴ https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml

Physical Sciences Laboratory

About
People
Research
Data
Products
News | Events
Learn

Home
>
Plotting & Analysis
>
Monthly Composites

Monthly/Seasonal Climate Composites

Plot seasonal composites (averages) of the mean or anomalies (mean - total mean) of variables from the NCEP reanalysis and other datasets. NCEP data is available from **Jan 1948** to **Feb 2023**. Other datasets have different time ranges. Note the climatology used for the anomaly and long term mean plots is now **1991-2020** to match the **new** climate normal timeperiod.

Which variable?
Geopotential Height
Level?
1000mb

Beginning month of season:
Jan
Ending month:
Jan

Enter years for composites (from 1 to 20): e.g. 1972. For seasons that span a year (e.g. DJF), please enter year of the LAST month.

To subtract one set of years from another, use a minus sign (-) before the years that are to be subtracted.

OR Enter range of years:
to
(optional minus
to
)

OR List of years: Enter filename:

OR Years from values in Time Series:
None

If CUSTOM Time Series:

Value to composite on:

Type of comparison:
Value
Greater or equal to value

Lag: Plot composites for
0
months before or after dates chosen

Color?
Color
Shading:
Shaded

Plot type?
Mean
Anomaly
Long Term Mean

Help

Instructions

Datasets and Variables

Index Time Series Info

Use your own Time Series

Background Information

Referencing Plots

Related Plot/Analysis

Plot Daily Composites

Plot 6-hourly Composites

Plot Monthly Correlations

Create Monthly Time Series

Plot NCEP Operational Data

PSL's Complete NCEP Reanalysis

Contact

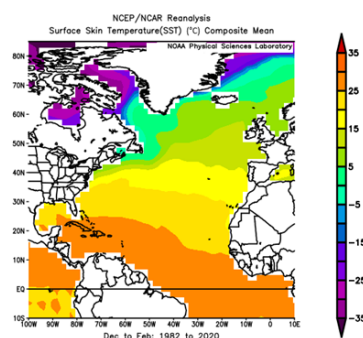
If you need assistance, or would like to provide feedback, please email: psl.data@noaa.gov

Σχήμα 2.2: Εργαλείο σχεδιασμού χαρτών στην ιστοσελίδα του PSL (πηγή: PSL, 2023)

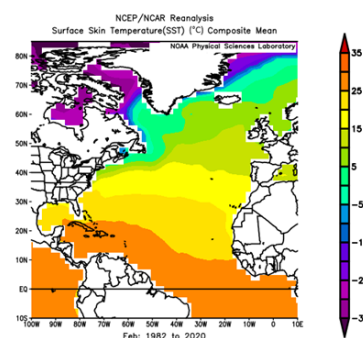
2.2 Μεθοδολογία

Για το πρώτο μέρος της εργασίας, κατασκευάστηκαν για το χρονικό διάστημα 1982-2020 χάρτες για τις τρεις μελετώμενες κλιματικές μεταβλητές. Οι συγκεκριμένοι χάρτες αφορούν στη μέση ετήσια, εποχιακή και μηνιαία κατάσταση των μεταβλητών στην περιοχή του Β. Ατλαντικού.

Οι παρακάτω χάρτες αποτελούν παραδείγματα εκείνων που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας και παρουσιάζουν τη μέση κατάσταση μίας κλιματικής μεταβλητής κατά τη διάρκεια μίας εποχής (Σχήμα 2.3α) και ενός συγκεκριμένου μήνα (Σχήμα 2.3β).



(α)



(β)

Σχήμα 2.3: Χάρτες μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας κατά την περίοδο 1982-2020 (α) χειμερινή εποχή (εποχικός), (β) Φεβρουάριος (μηνιαίος).

Στη συνέχεια, επεξεργάστηκαν τα πρωτογενή δεδομένα που προήλθαν από τις διαφορετικές υπηρεσίες της NOAA. Ειδικότερα, για να καλυφθούν οι ανάγκες της εργασίας και να είναι εφικτή η συσχέτιση της SST με τους δείκτες ταλάντωσης και τις υπόλοιπες κλιματικές μεταβλητές, ήταν απαραίτητο να περιοριστούν τα σημεία του πλέγματος που αφορούν αποκλειστικά στην περιοχή του Β. Ατλαντικού.

Συνεπώς, χρησιμοποιήθηκαν το λογισμικό ανοιχτού κώδικα [PuTTY](#) και η συλλογή εντολών [CDO](#), που δίνουν τη δυνατότητα επεξεργασίας κλιματικών δεδομένων. Εκτός από την επιλογή ενός συγκεκριμένου γεωγραφικού παραθύρου, τροποποιήθηκε η ανάλυση των δεδομένων με διγραμμική παρεμβολή ώστε όλες οι κλιματικές μεταβλητές να έχουν την ίδια. Όσον αφορά στην SST, έλαβε χώρα μία ακόμα επεξεργασία. Συγκεκριμένα, αφαιρέθηκαν όλα τα σημεία του πλέγματος που διατίθονταν στη χρονοσειρά και αφορούσαν σημεία χέρσου, τα οποία αν και δεν έφεραν μετρήσεις, προκαλούσαν ανεπιθύμητο θόρυβο στη χρονοσειρά.

Ο Πίνακας 2.2 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά των δεδομένων, δηλαδή το γεωγραφικό παράθυρο, την ανάλυση και τον αριθμό των σημείων του πλέγματος που χρησιμοποιούνται για αυτά.

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά κλιματικών δεδομένων.

Κλιματική μεταβλητή	Γεωγραφικό παράθυρο	Ανάλυση	Αριθμός σημείων πλέγματος
SST	Γεωγρ. Πλάτος: 10°N, 85°B Γεωγρ. Μήκος: -70°Δ, 0°Α	2,5° x 2,5°	791
Tair	Γεωγρ. Πλάτος: -10°N, 85°B Γεωγρ. Μήκος: -80°Δ, 0°Α	2,5° x 2,5°	1591
SLP	Γεωγρ. Πλάτος: -10°N, 80°B Γεωγρ. Μήκος: -80°Δ, 0°Α	2,5° x 2,5°	1755

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στα δεδομένα η στατιστική μέθοδος Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (PCA), η οποία αποτελεί μία μέθοδο κατηγοριοποίησης και αναδιάταξης των αρχικών δεδομένων που συνήθως έχουν μεγάλο όγκο και συνεπώς η ερμηνεία τους καθίσταται δύσκολη (Jolliffe and Cadima, 2016).

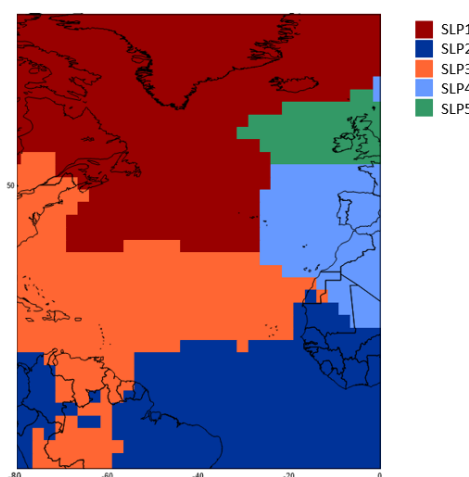
Ειδικότερα, η PCA είναι μία από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές πολυμεταβλητής ανάλυσης και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στις επιστήμες της μετεωρολογίας και της κλιματολογίας το 1956 (Lorenz, 1956). Συμβάλλει στην καλύτερη ερμηνεία των δεδομένων, καθώς δημιουργεί νέες βάσεις δεδομένων μειώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την πολυδιαστατικότητά τους χωρίς ωστόσο να χάνεται μεγάλο μέρος της πληροφορίας (Jolliffe and Cadima, 2016). Στην ουσία, οι τρεις κύριοι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η ομαδοποίηση των αρχικών δεδομένων, η ταξινόμησή τους σε ομάδες με κοινά χαρακτηριστικά και η ελάττωση της πολυδιαστατικότητάς τους. Η μέθοδος PCA μπορεί να πραγματοποιηθεί με ή χωρίς περιστροφή, με τη δεύτερη να υπολείπεται της πρώτης, καθώς δίνει λιγότερο σταθερό αποτέλεσμα στην ερμηνεία. Στα πλαίσια της

εργασίας, η PCA εφαρμόστηκε με το δεύτερο τρόπο ώστε να ερμηνευτούν όσο το δυνατό καλύτερα οι κλιματικές μεταβλητές.

Η PCA πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού ανοιχτού κώδικα R. Ως αποτέλεσμα, εντοπίστηκαν οι περιοχές (κύριες συνιστώσες, ομάδες) που εμφανίζουν κοινά χαρακτηριστικά για κάθε μία από τις κλιματικές μεταβλητές για τη χρονική περίοδο 1982-2020.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό [Surfer](#) για να κατασκευαστούν χάρτες που απεικονίζουν τις περιοχές του Β. Ατλαντικού που ανήκουν στις ίδιες ομάδες, δηλαδή εκείνες που εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά στις μελετώμενες κλιματικές μεταβλητές. Το Σχήμα 2.4 αποτελεί παράδειγμα ενός από τους χάρτες που δημιουργήθηκαν για την πίεση στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας.

Surface Level Pressure



Σχήμα 2.4: Χάρτης αποτύπωσης κύριων συνιστωσών μίας κλιματικής μεταβλητής.

Εκτός από τους παραπάνω χάρτες, τα δεδομένα των διαφορετικών κύριων συνιστωσών κάθε κλιματικής μεταβλητής μεταφέρθηκαν στο υπολογιστικό πρόγραμμα [MS-Excel](#), όπου δημιουργήθηκαν στατιστικά διαγράμματα που φανερώνουν την τάση μείωσης ή αύξησης των δεδομένων της χρονοσειράς κάθε ομάδας κατά τη μελετώμενη περίοδο των 39 ετών. Ακόμα, κατασκευάστηκαν θηκογράμματα για κάθε κλιματική μεταβλητή που συμβάλλουν στην περαιτέρω σύγκριση των κύριων συνιστωσών.

Με τη βοήθεια του στατιστικού λογισμικού [Statistica](#), δημιουργήθηκε κι ένας πίνακας που παρουσιάζει τα γενικά χαρακτηριστικά των δεδομένων κάθε ομάδας, δηλαδή τη μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή κάθε ομάδας. Για την κατασκευή του πίνακα χρησιμοποιήθηκαν τα ημερήσια δεδομένα της 39ετούς περιόδου μελέτης.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson (Zhang et al., 2013). Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης Pearson r μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

όπου n είναι το μέγεθος της χρονοσειράς των μεταβλητών x_i και y_i ($i = 1, \dots, n$), $\bar{x}$ και $\bar{y}$ είναι οι μέσοι όροι δείγματος των μεταβλητών x και y . Επιπλέον, t test διπλής όψης

κάτω από το επίπεδο σημαντικότητας 0,01 (99% επίπεδο εμπιστοσύνης) και 0,05 (95% επίπεδο εμπιστοσύνης) χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμηθεί εάν το r διαφέρει σημαντικά από το μηδέν.

Για το συγκεκριμένο σκέλος της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό λογισμικό SPSS, στο οποίο προστέθηκαν τα δεδομένα όλων των μελετώμενων μεταβλητών και το αποτέλεσμα ήταν να δημιουργηθεί ένας πίνακας που φανερώνει το συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των ομάδων των κλιματικών μεταβλητών αλλά και των δεικτών NAO και AO.

Τέλος, στην εργασία εφαρμόστηκε η μεθοδολογία συσχέτισης υστέρησης (cross correlation ή lag correlation). Κατά την μελέτη των χρονοσειρών, υπάρχει η πιθανότητα μία σειρά να εμφανίζει καθυστέρηση απόκρισης σε σχέση με μία άλλη ή να παρουσιάζει υστέρηση σε ένα κοινό έναυσμα. Η συσχέτιση υστέρησης είναι ένα μέτρο της ομοιότητας δύο χρονοσειρών ως συνάρτηση της χρονικής υστέρησης (lag) της μίας σε σχέση με την άλλη (Chatfield and Xing, 2019). Πρόκειται για μία μεθοδολογία που επιτρέπει την εύρεση της σχέσης μεταξύ των κλιματικών χρονοσειρών, σε σχέση με το χρόνο (Oktaviani et al., 2021). Η μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί είτε όταν οι χρονοσειρές των συγκρινόμενων μεταβλητών έχουν δεδομένα διακριτά, δηλαδή το χρονικό διάστημα μεταξύ τους είναι ίδιο, είτε όταν έχουν δεδομένα στοχαστικά, άρα διαφορετικό χρονικό διάστημα μεταξύ τους. Η συσχέτιση που μπορούν να έχουν δύο μεταβλητές μεταξύ τους ποσοτικοποιείται με μία τιμή μεταξύ του εύρους -1 και +1. Οι κύριες εξισώσεις της μεθοδολογίας είναι οι ακόλουθες:

$$r(L) = \frac{\sum_{k=0}^{N-L-1} (x_{(k+L)} - mx)(y_k - my)}{\sqrt{[\sum_{k=0}^{N-1} (x_k - mx)^2][\sum_{k=0}^{N-1} (y_k - my)^2]}} \quad L \geq 0$$

$$r(L) = \frac{\sum_{k=0}^{N-|L|-1} (x_{(k+L)} - mx)(y_k - my)}{\sqrt{[\sum_{k=0}^{N-1} (x_k - mx)^2][\sum_{k=0}^{N-1} (y_k - my)^2]}} \quad L < 0$$

(2)

όπου mx οι μέσες σειρές δεδομένων της μεταβλητής x , my οι μέσες σειρές δεδομένων της μεταβλητής y , r η τιμή της μεθοδολογίας και d ο χρόνος της υψηλότερης συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών.

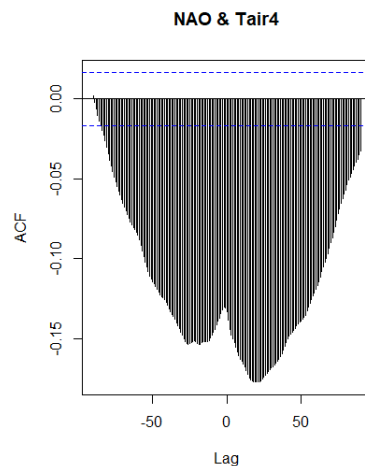
Όσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση (θετική ή αρνητική), τόσο περισσότερο οι μεταβλητές ακολουθούν το ίδιο μοτίβο και επηρεάζει η μία την άλλη (Oktaviani et al., 2021). Η χρονική μετατόπιση των μεταβλητών μπορεί να έχει τρεις μορφές: τη θετική που σημαίνει ότι ο χρόνος θα μετατοπιστεί προς τα αριστερά (αντίστροφα), τη μηδενική που σημαίνει την απουσία μετατόπισης και την αρνητική που σημαίνει ότι ο χρόνος θα μετατοπιστεί προς τα δεξιά (εμπρός). Ειδικότερα, όσον αφορά στην ερμηνεία των διαγραμμάτων που προκύπτουν από τη μεθοδολογία συσχέτισης υστέρησης, όταν οι δύο μεταβλητές που συγκρίνονται εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συσχέτισή τους αριστερά του άξονα y , η συγκρινόμενη μεταβλητή μεταβάλλεται μετά τη μεταβολή της σταθερής μεταβλητής, ενώ αντίθετα η μεταβολή της προηγείται της άλλης όταν η μεγαλύτερη συσχέτισή τους σημειώνεται δεξιά του άξονα y . Ακόμα, όταν η μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή συσχέτισης βρίσκεται στις θετικές τιμές του άξονα y οι μεταβλητές μεταβάλλονται ομόρροπα, ενώ όταν βρίσκεται στις αρνητικές τιμές του συγκεκριμένου άξονα αντίρροπα.

Στα πλαίσια την παρούσας εργασίας, τα δεδομένα των χρονοσειρών των κύριων συνιστωσών κάθε μεταβλητής χαρακτηρίζονται ως διακριτά και σε αυτά χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού R για την εφαρμογή της cross correlation.

Παρακάτω αναφέρονται οι μεταβλητές των οποίων οι χρονοσειρές συγκρίθηκαν μεταξύ τους με την εν λόγω μεθοδολογία:

- Ομάδες επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας με τις ομάδες των υπόλοιπων κλιματικών μεταβλητών
- Ομάδες επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας με το δείκτη NAO
- Ομάδες επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας με το δείκτη AO
- Δείκτης NAO με όλες τις ομάδες των υπόλοιπων κλιματικών μεταβλητών
- Δείκτης AO με όλες τις ομάδες των υπόλοιπων κλιματικών μεταβλητών
- Ομάδες των κλιματικών μεταβλητών με τον εαυτό τους

Το Σχήμα 2.5α συνιστά παράδειγμα ενός διαγράμματος που παρουσιάζει τη συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών και το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ώστε η μεταβολή της μίας να επηρεάσει την άλλη, ενώ το Σχήμα 2.5β φανερώνει τις τιμές συσχέτισής τους για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα (+/- 90 ημέρες). Η ημέρα στην οποία σημειώνεται η μεγαλύτερη τιμή, αποτελεί την ημέρα μετά ή πριν την οποία η μεταβολή της μίας μεταβλητής θα προκαλέσει μεταβολή στην άλλη μεταβλητή.



(α)

-90	-89	-88	-87	-86	-85	-84	-83	-82	-81	-80	-79	-78	-77	-76	-75	-74
0.002	-0.002	-0.006	-0.010	-0.014	-0.017	-0.019	-0.022	-0.026	-0.030	-0.034	-0.038	-0.042	-0.045	-0.049	-0.052	-0.055
-73	-72	-71	-70	-69	-68	-67	-66	-65	-64	-63	-62	-61	-60	-59	-58	-57
-0.057	-0.060	-0.063	-0.065	-0.067	-0.070	-0.073	-0.075	-0.077	-0.079	-0.080	-0.082	-0.083	-0.085	-0.088	-0.092	-0.095
-56	-55	-54	-53	-52	-51	-50	-49	-48	-47	-46	-45	-44	-43	-42	-41	-40
-0.099	-0.102	-0.105	-0.108	-0.111	-0.113	-0.114	-0.116	-0.117	-0.119	-0.121	-0.123	-0.124	-0.125	-0.126	-0.127	-0.129
-39	-38	-37	-36	-35	-34	-33	-32	-31	-30	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-23
-0.131	-0.133	-0.135	-0.136	-0.138	-0.140	-0.142	-0.144	-0.146	-0.148	-0.150	-0.152	-0.153	-0.154	-0.153	-0.153	-0.152
-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6
-0.151	-0.152	-0.153	-0.154	-0.154	-0.153	-0.152	-0.152	-0.152	-0.152	-0.151	-0.150	-0.148	-0.146	-0.144	-0.142	-0.139
-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-0.137	-0.135	-0.132	-0.130	-0.131	-0.133	-0.138	-0.144	-0.148	-0.150	-0.153	-0.156	-0.158	-0.161	-0.163	-0.165	-0.166
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
-0.168	-0.170	-0.173	-0.175	-0.176	-0.177	-0.177	-0.177	-0.177	-0.177	-0.177	-0.177	-0.175	-0.174	-0.173	-0.172	-0.171
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
-0.170	-0.169	-0.168	-0.167	-0.166	-0.164	-0.163	-0.162	-0.159	-0.157	-0.155	-0.152	-0.150	-0.149	-0.147	-0.146	-0.145
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
-0.144	-0.142	-0.141	-0.140	-0.139	-0.138	-0.137	-0.136	-0.133	-0.130	-0.128	-0.126	-0.123	-0.121	-0.119	-0.117	-0.114
63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
-0.111	-0.108	-0.105	-0.102	-0.100	-0.097	-0.094	-0.090	-0.087	-0.083	-0.080	-0.076	-0.072	-0.069	-0.065	-0.062	-0.060
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90						
-0.057	-0.054	-0.051	-0.049	-0.047	-0.044	-0.042	-0.040	-0.038	-0.035	-0.033						

(β)

Σχήμα 2.5: Συσχέτιση μεταξύ μεταβλητών και υστέρηση στη μεταβολή τους.

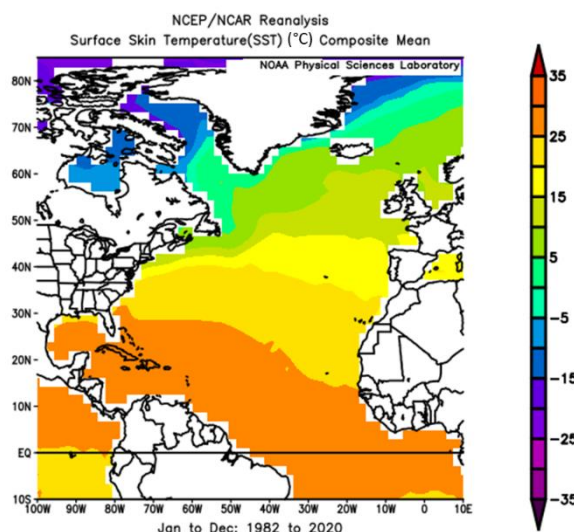
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ ΩΚΕΑΝΟΥ

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η μέση κλιματική κατάσταση στον Β. Ατλαντικό Ωκεανό ως προς την SST, την Tair και την SLP, κατά την περίοδο 1982-2020. Αρχικά, προβάλλονται για κάθε μεταβλητή οι συνθήκες σε ετήσια βάση, ανά εποχή, και στη συνέχεια ανά μήνα με σκοπό να εντοπιστούν οι μήνες στους οποίους σημειώνεται μεγαλύτερη μεταβολή στην εκάστοτε μεταβλητή.

3.1.1 Επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας

Η μέση SST στην περιοχή του Β. Ατλαντικού κατά την περίοδο 1982-2020 κυμαίνεται μεταξύ -20°C και $+30^{\circ}\text{C}$ (Σχήμα 3.1). Στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη σημειώνονται οι χαμηλότερες τιμές της, οι οποίες σταδιακά αυξάνονται όσο ελαττώνεται το γεωγραφικό πλάτος, με αποτέλεσμα στην περιοχή του Ισημερινού να παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές ($\sim 30^{\circ}\text{C}$). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως οι θερμοκρασιακές συνθήκες σε κάθε περιοχή του ωκεανού δε μεταβάλλονται ιδιαίτερα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, αλλά αντιθέτως παρατηρούνται μόνο μικρής τάξεως μεταβολές καθώς αλλάζουν οι εποχές (Σχήμα 3.2). Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη είναι έντονη η επίδραση του Ρεύματος του Κόλπου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα ακτές των ΒΑ ΗΠΑ και της Δ. Ευρώπης να εμφανίζουν παρόμοιες τιμές SST.



Σχήμα 3.1: Μέση επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας σε ετήσια βάση κατά την περίοδο 1982-2020.

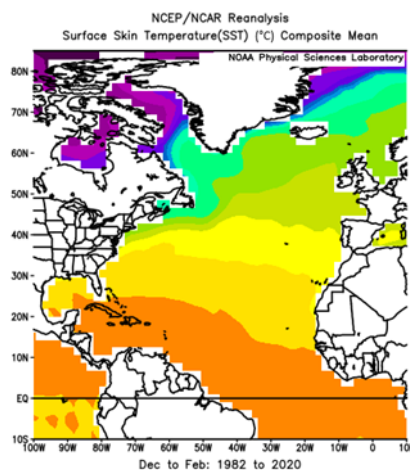
Ειδικότερα, κατά τη χειμερινή περίοδο (Σχήμα 3.2α), στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, και κυρίως γύρω από τη Γροιλανδία και βόρεια της Β. Αμερικής, οι τιμές της SST είναι μικρότερες από -15°C . Καθώς μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος, οι τιμές σταδιακά αυξάνονται. Ωστόσο, περιοχές που βρίσκονται στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος αλλά σε διαφορετικό γεωγραφικό μήκος δεν έχουν σε όλον τον ωκεανό τις ίδιες θερμοκρασιακές τιμές. Στο ανατολικό τμήμα του Β. Ατλαντικού οι τιμές είναι μεγαλύτερες, με αποτέλεσμα η περιοχή του Ηνωμένου Βασιλείου να έχει την ίδια θερμοκρασία (περίπου $+5^{\circ}\text{C}$ - $+10^{\circ}\text{C}$) με τις ακτές των ΒΑ ΗΠΑ, ενώ βρίσκεται στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος με τον Β. Καναδά. Στο γεωγραφικό πλάτος της Μεσογείου η συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα δεν παρατηρείται και οι περιοχές σε όλο τον ωκεανό έχουν τιμές από $+15^{\circ}\text{C}$ έως $+20^{\circ}\text{C}$. Λίγο νοτιότερα, η

ιδιαιτερότητα εμφανίζεται ξανά, αλλά αυτή τη φορά στα παράλια της Β. Αφρικής η επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας σημειώνει χαμηλότερες τιμές από την περιοχή του Μεξικό. Στις νοτιότερες περιοχές του Β. Ατλαντικού οι θερμοκρασιακές είναι μεγαλύτερες από $+30^{\circ}\text{C}$.

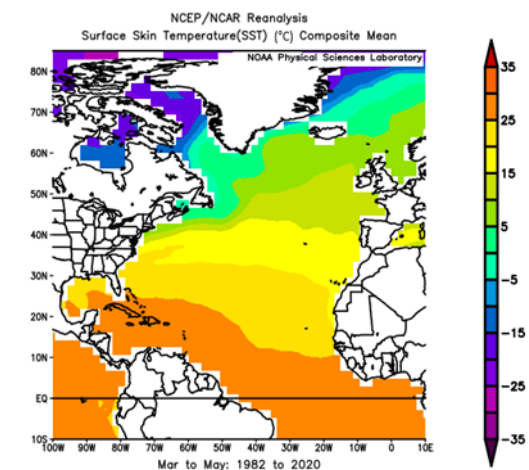
Την άνοιξη κατά την περίοδο 1982-2020, οι συνθήκες είναι παρόμοιες με εκείνες του χειμώνα (Σχήμα 3.2β). Η μόνη διαφορά σημειώνεται στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη στο δυτικό τμήμα του Β. Ατλαντικού, όπου οι τιμές SST αυξάνονται, με μία μέση τιμή τους -15°C , αντί για -20°C που σημειώνεται το χειμώνα.

Την καλοκαιρινή περίοδο, η διαφορά στις θερμοκρασιακές συνθήκες της SST είναι σημαντική (Σχήμα 3.2γ). Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται πάλι στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, αλλά κυμαίνονται μεταξύ -5°C και $+5^{\circ}\text{C}$. Παράλληλα, στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη παρατηρείται μία μετατόπιση της ζώνης των 20°C - 30°C προς τα βόρεια και ειδικότερα στα νοτιοδυτικά του Β. Ατλαντικού όπου φτάνει σχεδόν τις 35°B . Το γεγονός αυτό ενδέχεται να οφείλεται στην άνοδο των υδάτων από μεγαλύτερα βάθη (φαινόμενο «upwelling») λόγω αληγών ανέμων που πνέουν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Συνεπώς, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οι τιμές SST σε όλη την περιοχή του Β. Ατλαντικού κυμαίνονται μεταξύ -5°C και $+30^{\circ}\text{C}$.

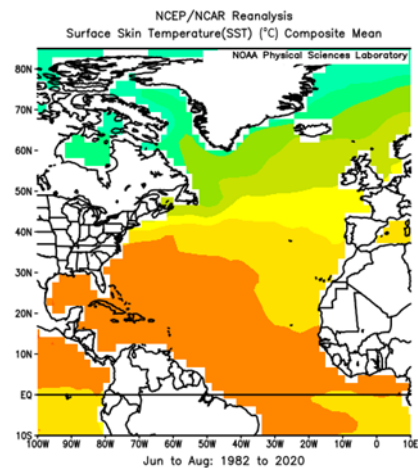
Τέλος, το φθινόπωρο, η θερμοκρασιακή κατάσταση του Β. Ατλαντικού είναι παρόμοια με αυτή του καλοκαιριού αλλά με ελαφρώς ψυχρότερες θερμοκρασιακές συνθήκες στις βορειότερες περιοχές του ωκεανού (Σχήμα 3.2δ). Σταδιακά, η θερμοκρασία γύρω από τη Γροιλανδία και βορειότερα της Β. Αμερικής γίνεται μικρότερη από -10°C .



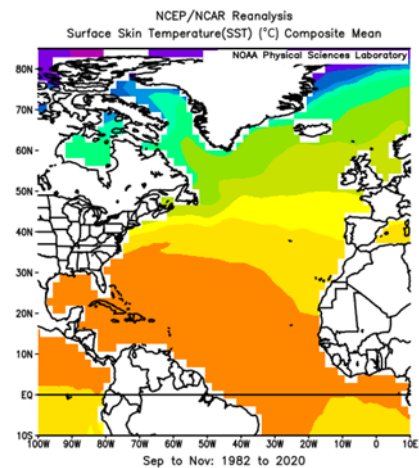
(α)



(β)



(γ)

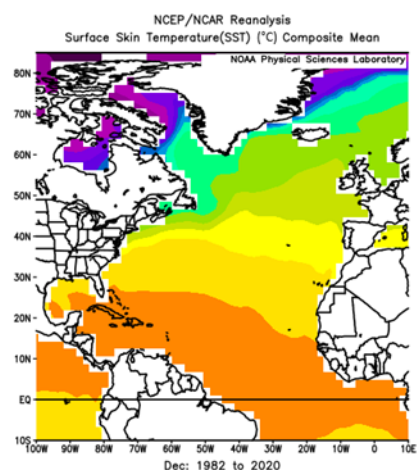


(δ)

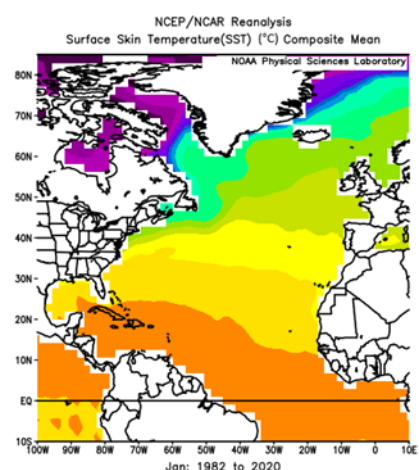
Σχήμα 3.2: Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας ανά εποχή για την περίοδο 1982-2020 - (α) Χειμώνας, (β) Άνοιξη, (γ) Καλοκαίρι, (δ) Φθινόπωρο.

Εκτός από την παραπάνω γενική εικόνα της κατάστασης της SST στις τέσσερις εποχές του έτους στον Β. Ατλαντικό κατά την περίοδο 1982-2020, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι παρακάτω χάρτες που παρουσιάζουν τη μεταβολή των συνθηκών σε κάθε περιοχή ανά μήνα.

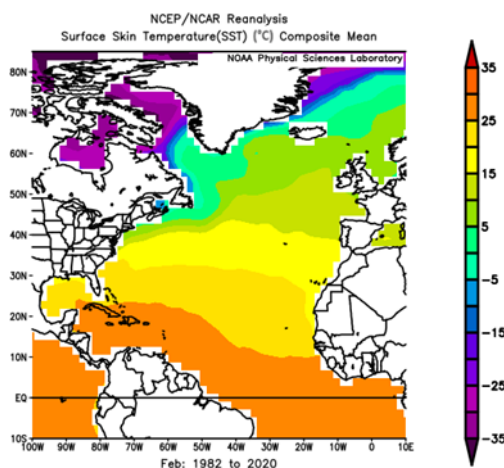
Το Σχήμα 3.3 παρουσιάζει τις θερμοκρασίες της SST για τους χειμερινούς μήνες. Σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης εμφανίζονται θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ -30°C και $+30^{\circ}\text{C}$ και τις πιο χαμηλές θερμοκρασίες να παρατηρούνται στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη.



(α)



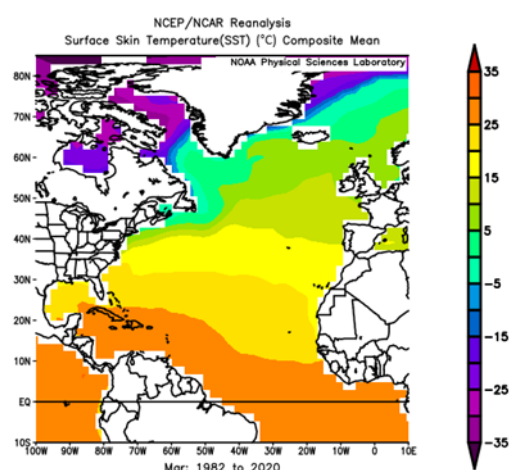
(β)



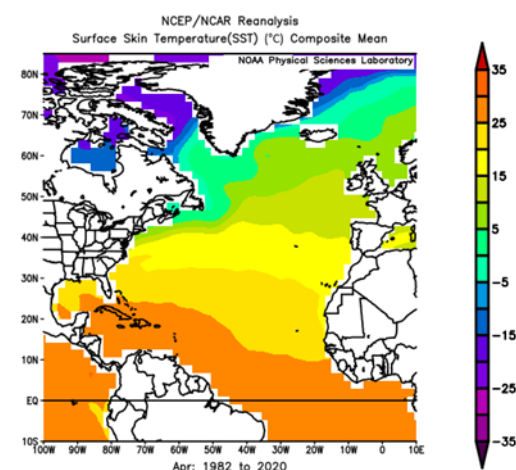
(γ)

Σχήμα 3.3: Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας τους χειμερινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Δεκέμβριος, (β) Ιανουάριος, (γ) Φεβρουάριος.

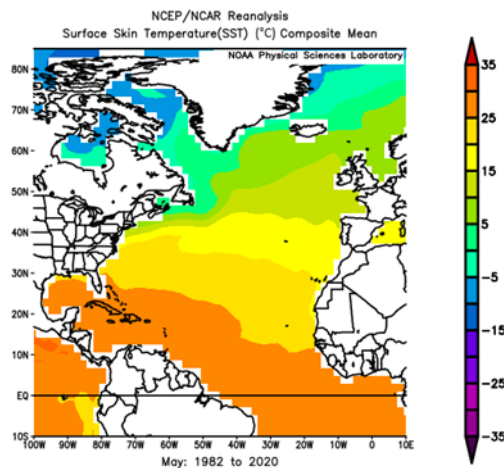
Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζονται οι συνθήκες της SST κατά την περίοδο της άνοιξης. Τον Μάρτιο παραμένουν οι ψυχρότερες συνθήκες της τάξεως των -30°C έως -10°C γύρω από τη Γροιλανδία και βορειότερα της Β. Αμερικής, οι οποίες μετατρέπονται σταδιακά σε θερμότερες τους επόμενους μήνες. Επιπλέον, τον Απρίλιο αρχίζει να αυξάνεται η θερμοκρασία στον Κόλπο του Μεξικό, με αποτέλεσμα τον Μάιο να φθάνει τους $+30^{\circ}\text{C}$. Τέλος, τον Μάιο παρατηρείται αισθητή αύξηση των τιμών θερμοκρασίας στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, με ελάχιστη θερμοκρασία τους -10°C .



(α)



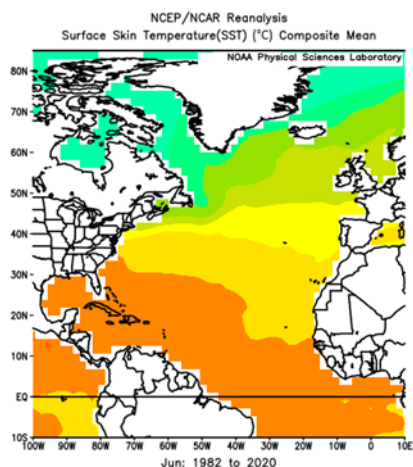
(β)



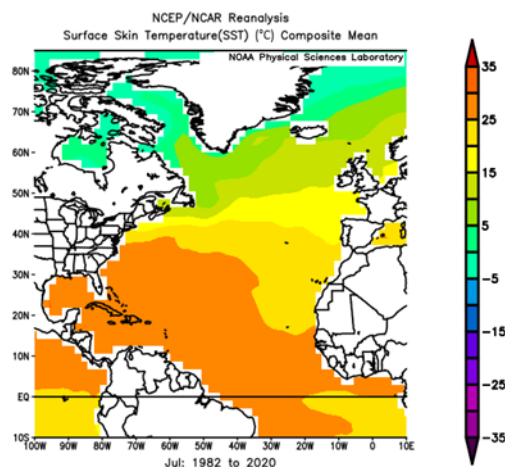
(γ)

Σχήμα 3.4: Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας τους ανοιξιάτικους μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Μάρτιος, (β) Απρίλιος, (γ) Μάιος.

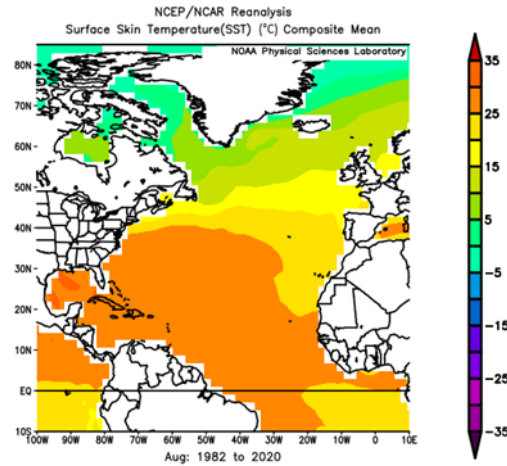
Η μέση κατάσταση της SST στον Β. Ατλαντικό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5. Καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού, η θερμοκρασία δεν ξεπερνά τους -5°C στα βόρεια του ωκεανού. Η θερμοκρασία της επιφάνειας των υδάτων στις περισσότερες περιοχές είναι μεγαλύτερη των $+20^{\circ}\text{C}$. Τον Αύγουστο, η μέγιστη τιμή θερμοκρασίας σημειώνεται στον Κόλπο του Μεξικό και είναι της τάξεως των $+30^{\circ}\text{C}$.



(α)



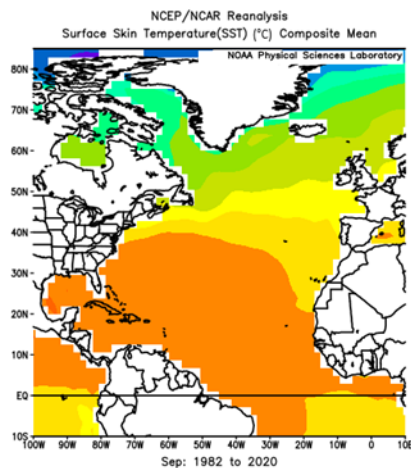
(β)



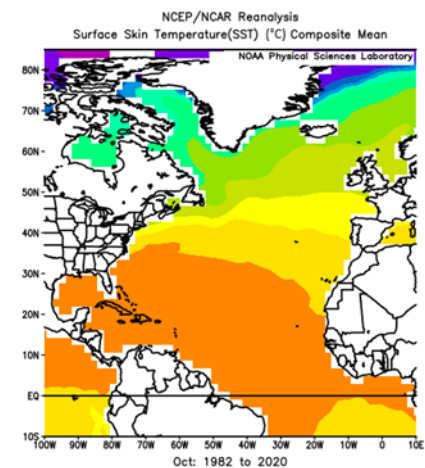
(γ)

Σχήμα 3.5: Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας τους καλοκαιρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Ιούνιος, (β) Ιούλιος, (γ) Αύγουστος.

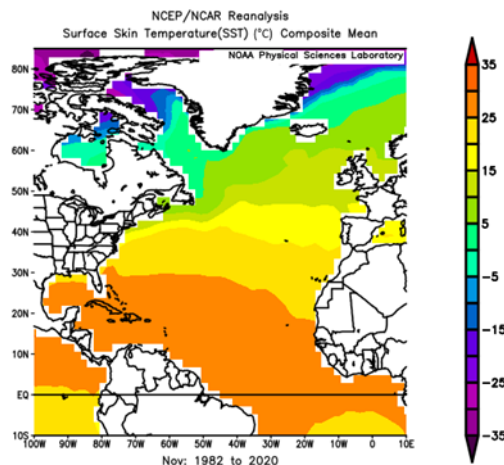
Τέλος, στο Σχήμα 3.6 απεικονίζεται η μέση SST κατά τους μήνες Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο για την περίοδο 1982-2020. Σταδιακά, παρατηρείται ελάττωση της θερμοκρασίας σε όλη την έκταση του Β. Ατλαντικού, από τις περιοχές κοντά στον πόλο έως εκείνες στον Ισημερινό.



(α)



(β)

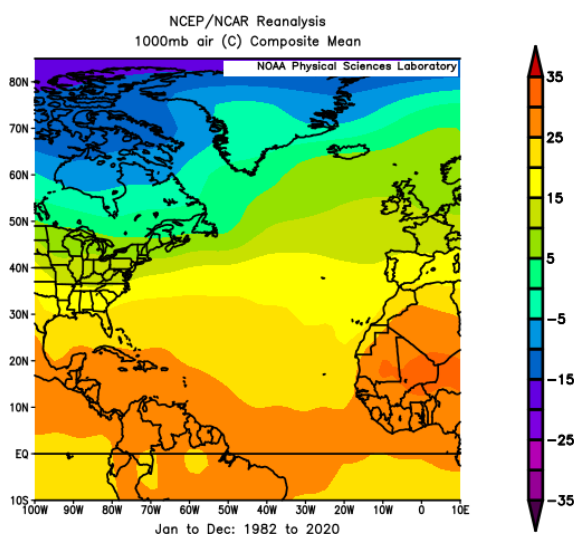


(γ)

Σχήμα 3.6: Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας τους φθινοπωρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Σεπτέμβριος, (β) Οκτώβριος, (γ) Νοέμβριος.

3.1.2 Θερμοκρασία του αέρα

Στο Σχήμα 3.7 παρουσιάζεται η μέση κατάσταση της Tair σε ετήσια βάση στον Β. Ατλαντικό και στην ευρύτερη περιοχή κατά την περίοδο 1982-2020. Η μέση θερμοκρασία του αέρα στην ευρύτερη περιοχή του Β. Ατλαντικού παρουσιάζει, τιμές μεταξύ των -15°C και $+30^{\circ}\text{C}$ (Σχήμα 3.8). Στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, και κυρίως στην περιοχή του ωκεανού που περικλείει την Β. Αμερική και τη Γροιλανδία, καταγράφονται οι ψυχρότερες συνθήκες. Σταδιακά, όσο ελαττώνεται το γεωγραφικό πλάτος, η Tair αυξάνεται έως ότου φτάσει τις μέγιστες τιμές της στην περιοχή του Ισημερινού. Το συγκεκριμένο μοτίβο παρατηρείται καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου (Σχήμα 3.8).



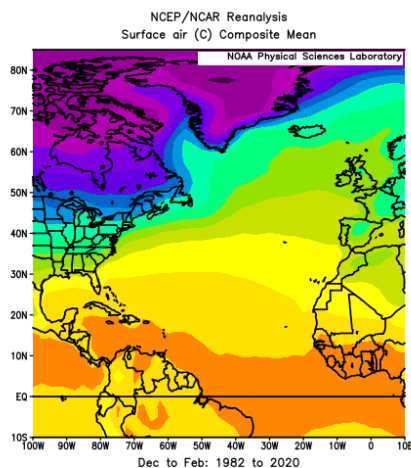
Σχήμα 3.7: Μέση επιφανειακή θερμοκρασία του αέρα σε ετήσια βάση κατά την περίοδο 1982-2020.

Η μέση θερμοκρασία του αέρα κατά τη χειμερινή περίοδο (Σχήμα 3.8α), κυμαίνεται μεταξύ -35°C έως $+5^{\circ}\text{C}$ στην ευρύτερη βόρεια περιοχή του Β. Ατλαντικού. Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός πως, όπως και στην περίπτωση της SST, οι συνθήκες είναι ψυχρότερες στις δυτικότερες περιοχές του ωκεανού. Καθώς μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος, οι τιμές σταδιακά αυξάνονται φτάνοντας τους $+30^{\circ}\text{C}$ στη ζώνη του Ισημερινού.

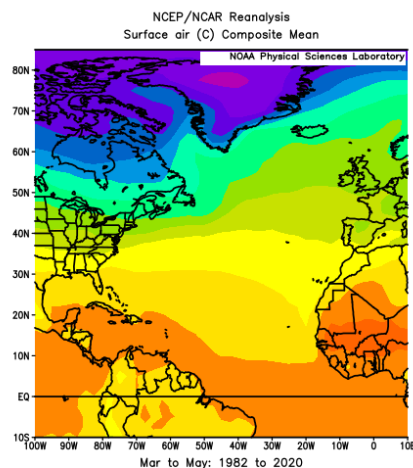
Την περίοδο της άνοιξης, οι συνθήκες δε διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από εκείνες του χειμώνα (Σχήμα 3.8β). Η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται μεταξύ -30°C και $+30^{\circ}\text{C}$. Οι ψυχρότερες συνθήκες έχουν αρχίσει να εξασθενούν και δίνουν τη θέση τους σε ελαφρώς θερμότερες. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται πάνω από την Γροιλανδία, ενώ οι υψηλότερες στην υποτροπική περιοχή της αφρικανικής ηπείρου.

Το καλοκαίρι σημειώνονται οι θερμότερες συνθήκες σε όλη την περιοχή του Β. Ατλαντικού (Σχήμα 3.8γ). Αν και μπορούν να παρατηρηθούν τιμές μικρότερες των -5°C σε ηπειρωτικές περιοχές (Γροιλανδία), οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ -5°C και $+35^{\circ}\text{C}$. Ενώ στις προηγούμενες εποχές η μεταβολή της θερμοκρασίας παρουσιάζει μία σχετική ζωνικότητα, την καλοκαιρινή περίοδο παρατηρείται ένα κέντρο υψηλών ($>35^{\circ}\text{C}$) θερμοκρασιών στα βορειοδυτικά της Αφρικής.

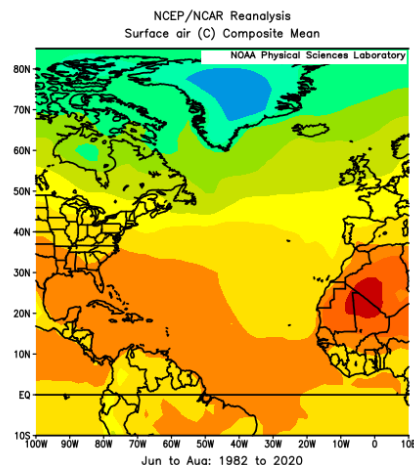
Τέλος, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, η T_{air} αρχίζει να ελαττώνεται και πλέον κυμαίνεται μεταξύ -25°C και $+30^{\circ}\text{C}$ (Σχήμα 3.8δ), είναι μία μεταβατική περίοδος προς τις ψυχρότερες συνθήκες του χειμώνα.



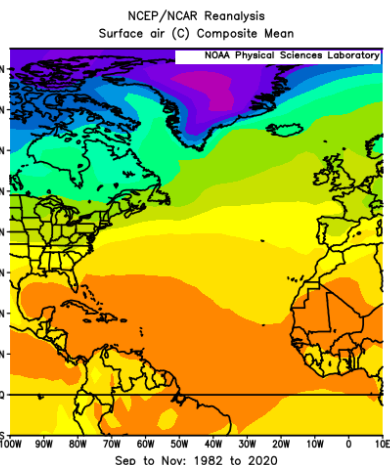
(α)



(β)



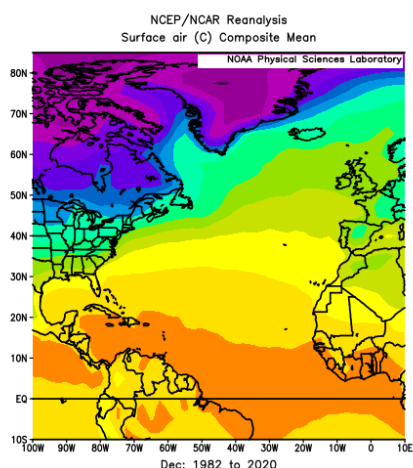
(γ)



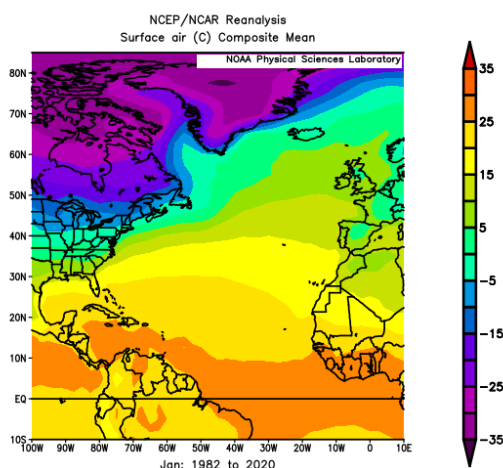
(δ)

Σχήμα 3.8: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα ανά εποχή για την περίοδο 1982-2020 - (α) Χειμώνας, (β) Άνοιξη, (γ) Καλοκαίρι, (δ) Φθινόπωρο.

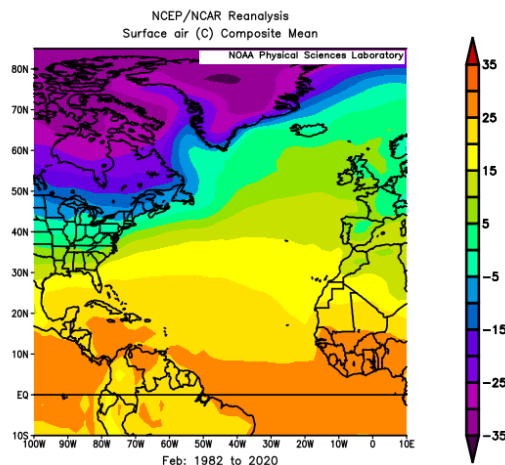
Η θερμοκρασία του αέρα παρουσιάζει σημαντικές μηνιαίες διακυμάνσεις. Στο Σχήμα 3.9 προβάλλονται οι μέσες τιμές της T_{air} στο Β. Ατλαντικό και στην ευρύτερη περιοχή κατά τους τρεις χειμερινούς μήνες για το μελετώμενο διάστημα (1982-2020). Οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες σημειώνονται στη βορειοδυτική πλευρά του ωκεανού, στις περιοχές που περιβάλλουν την Β. Αμερική και τη Γροιλανδία (-35°C έως -15°C). Αντίθετα, στις περιοχές του ίδιου γεωγραφικού πλάτους αλλά οι οποίες βρίσκονται στην ανατολική πλευρά του ωκεανού οι συνθήκες είναι θερμότερες (-15°C έως $+5^{\circ}\text{C}$). Οι υψηλότερες τιμές της T_{air} παρατηρούνται στη ζώνη του Ισημερινού και είναι της τάξεως των $+25^{\circ}\text{C}$ έως $+30^{\circ}\text{C}$.



(α)



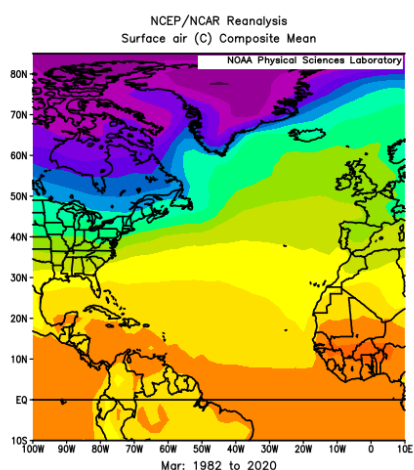
(β)



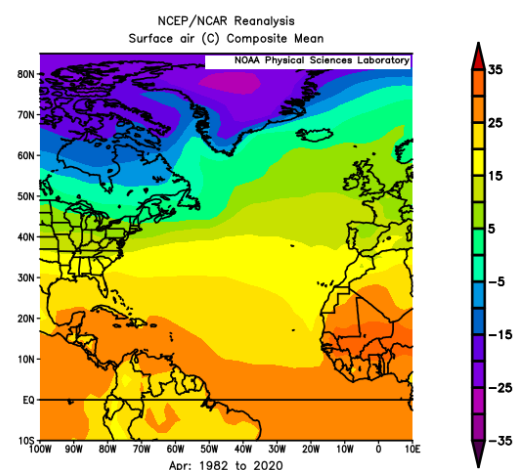
(γ)

Σχήμα 3.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα τους χειμερινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Δεκέμβριος, (β) Ιανουάριος, (γ) Φεβρουάριος.

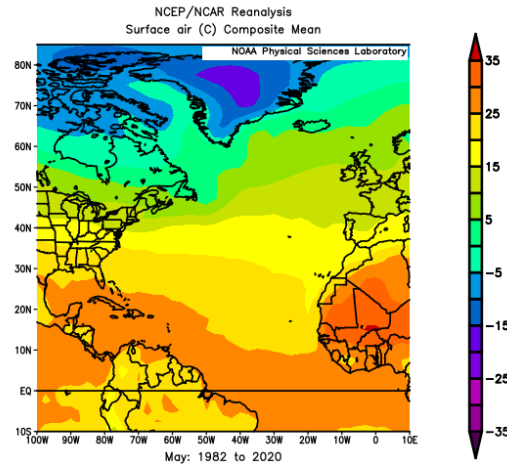
Κατά την περίοδο της άνοιξης, οι τιμές της T_{air} αρχίζουν να αυξάνονται σταδιακά (Σχήμα 3.10). Ο Μάρτιος μπορεί να χαρακτηριστεί ως ψυχρός μήνας σύμφωνα με τις χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα που παρατηρούνται στα βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης, παρά το γεγονός ότι στα νότια (πάνω από την αφρικανική ήπειρο) οι θερμοκρασίες αυξάνουν. Αντίθετα, χαμηλές θερμοκρασίες (-15°C), τον Μάιο έχουν μείνει μόνο πάνω από τη Γροιλανδία.



(α)



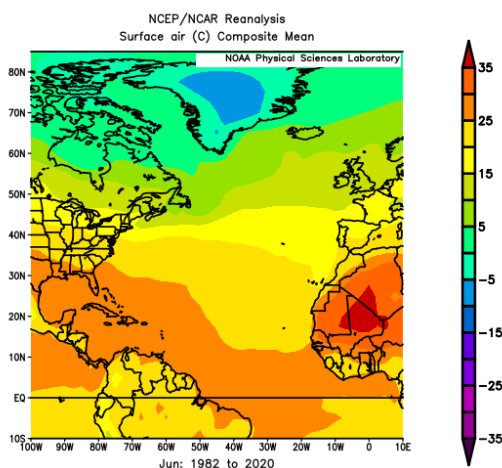
(β)



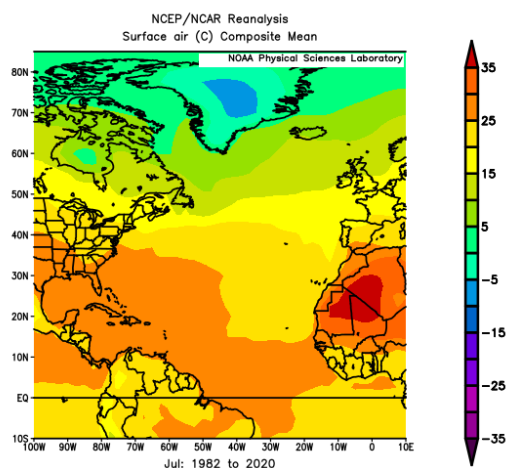
(γ)

Σχήμα 3.10: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα τους ανοιξιάτικους μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Μάρτιος, (β) Απρίλιος, (γ) Μάιος.

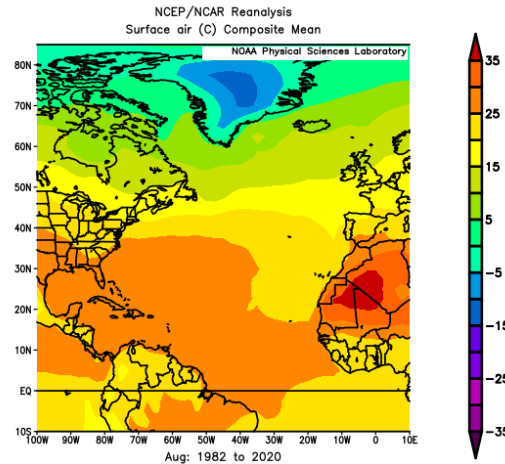
Οι καλοκαιρινοί μήνες παρουσιάζουν τις υψηλότερες θερμοκρασιακές συνθήκες στην ατμόσφαιρα, ενώ όλοι οι μήνες εμφανίζουν παρόμοια εικόνα με αυτή του καλοκαιριού. Οι τιμές της T_{air} κυμαίνονται μεταξύ των -5°C και των $+30^{\circ}\text{C}$ (Σχήμα 3.11). Είναι, ακόμα, χαρακτηριστικό το γεγονός ότι θερμοκρασίες στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος, αλλά σε διαφορετικό γεωγραφικό μήκος, είναι εντονότερες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές.



(α)



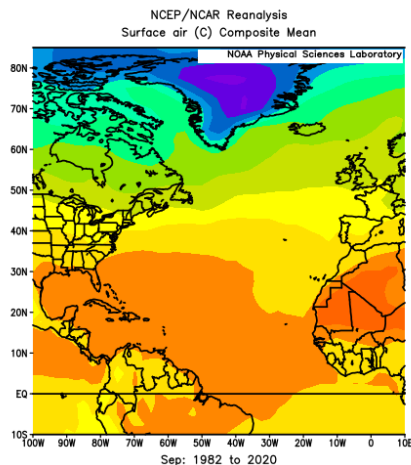
(β)



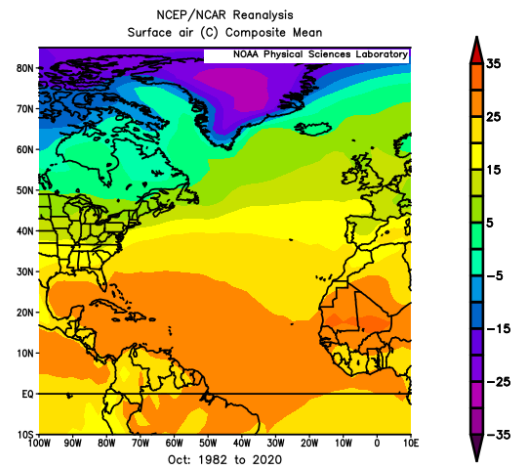
(γ)

Σχήμα 3.11: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα τους καλοκαιρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Ιούνιος, (β) Ιούλιος, (γ) Αύγουστος.

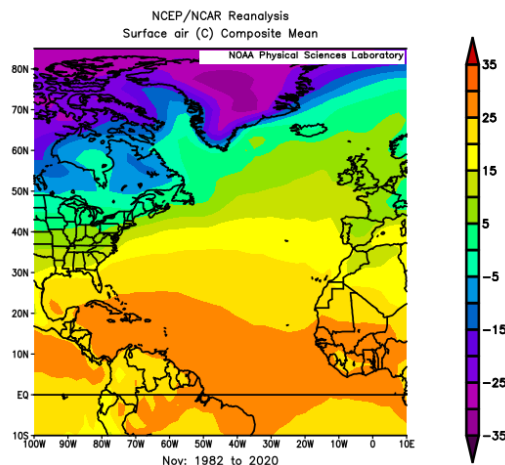
Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, οι τιμές της T_{air} ελαττώνονται βαθμιαία (Σχήμα 3.12). Στα βορειότερα γεωγραφικά πλάτη σημειώνονται ψυχρότερες συνθήκες της τάξεως από -15°C (τον Σεπτέμβριο) έως -30°C (τον Νοέμβριο). Στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται σε ολόένα και περισσότερες περιοχές με την πάροδο των μηνών.



(α)



(β)

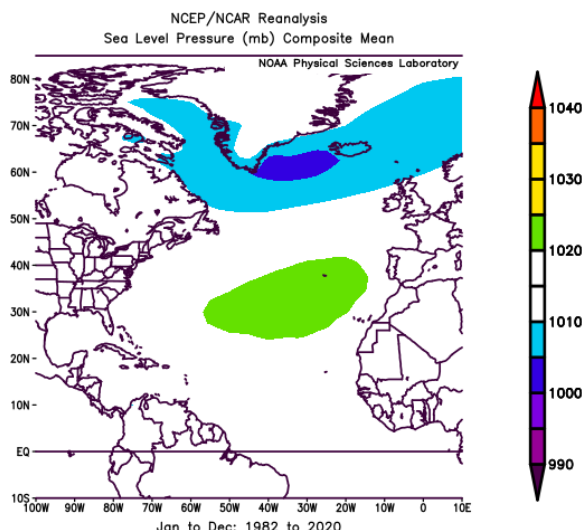


(γ)

Σχήμα 3.12: Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα τους φθινοπωρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Σεπτέμβριος, (β) Οκτώβριος, (γ) Νοέμβριος.

3.1.3 Πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας

Η μέση SLP στον Β. Ατλαντικό κατά την περίοδο 1982-2020 κυμαίνεται μεταξύ 1000mb και 1025mb (Σχήμα 3.13). Οι χαμηλότερες πιέσεις σημειώνονται στην ευρύτερη περιοχή του Χαμηλού της Ισλανδίας, ενώ οι υψηλότερες εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή του Αντικυκλώνα των Αζορών.



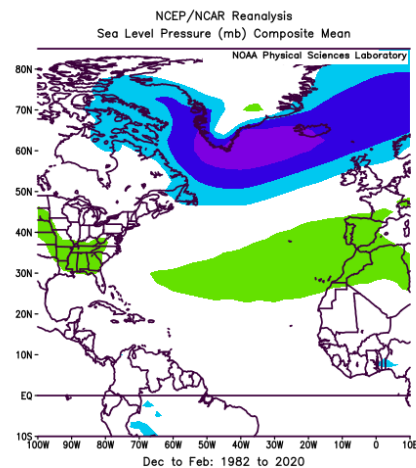
Σχήμα 3.13: Μέση πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας σε ετήσια βάση κατά την περίοδο 1982-2020.

Κατά τη χειμερινή περίοδο (Σχήμα 3.14α), οι χαμηλότερες τιμές SLP παρατηρούνται στο Χαμηλό της Ισλανδίας και κυμαίνονται μεταξύ 995mb και 1010mb. Αντίθετα, οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στα μέσα γεωγραφικά πλάτη στη περιοχή του Αντικυκλώνα των Αζορών,

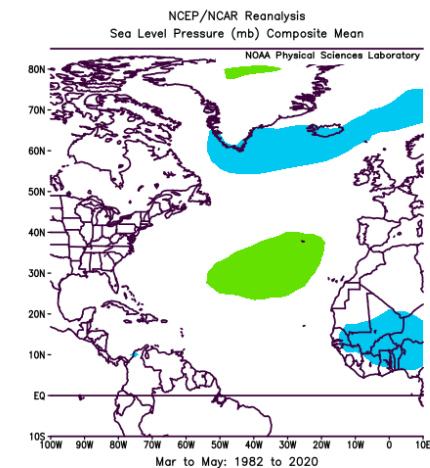
και είναι της τάξεως των 1025mb. Στις υπόλοιπες περιοχές η μέση SLP έχει τιμές από 1010mb έως 1020mb.

Τόσο την άνοιξη όσο και το καλοκαίρι, το κέντρο των χαμηλών πιέσεων στα βόρεια του Ατλαντικού εξασθενεί ελαφρώς με ελάχιστη τιμή πίεσης τα 1005mb ενώ η έκταση του μειώνεται σημαντικά. Αντίθετα, το κέντρο των υψηλών πιέσεων παραμένει κοντά στα 1025mb (Σχήμα 3.14β) και η έκταση του δεν μεταβάλλεται σημαντικά .

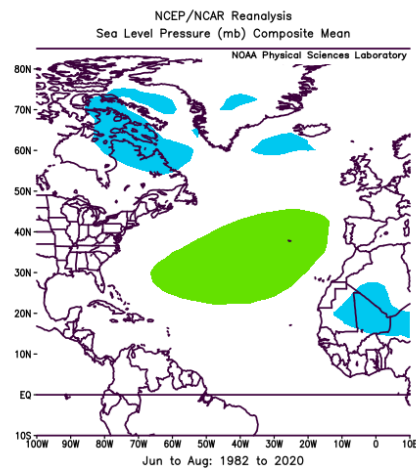
Τέλος, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, η έκταση του κέντρου των χαμηλών πιέσεων και οι πιέσεις εξασθενούν φτάνοντας τα 1000mb. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι υψηλές πιέσεις περιορίζονται σημαντικά σε έκταση κατά την περίοδο του φθινοπώρου.



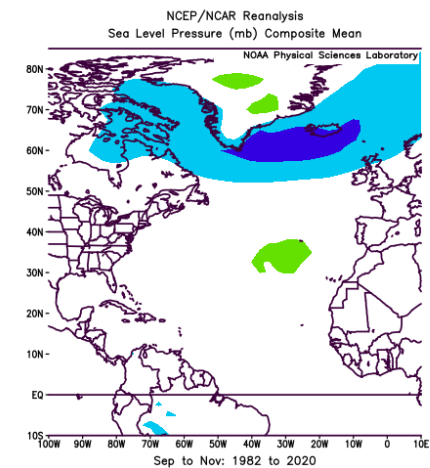
(α)



(β)



(γ)

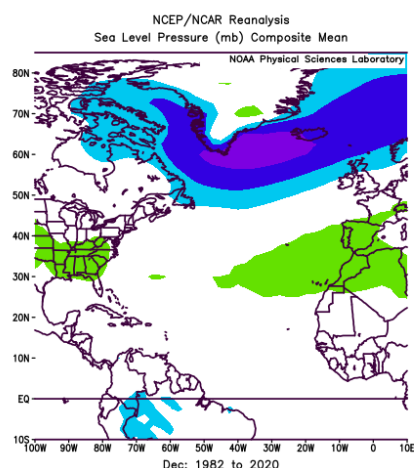


(δ)

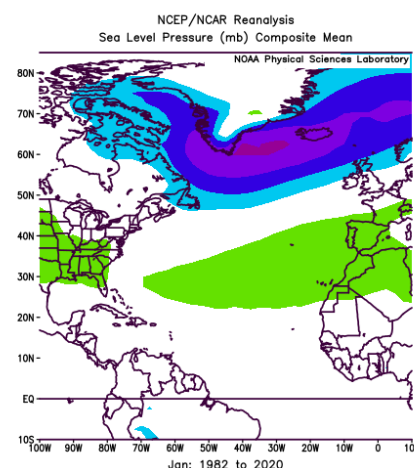
Σχήμα 3.14: Μεταβολή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας ανά εποχή για την περίοδο 1982-2020 - (α) Χειμώνας, (β) Άνοιξη, (γ) Καλοκαίρι, (δ) Φθινόπωρο.

Εκτός από τη γενική εικόνα των συνθηκών SLP στις τέσσερις εποχές του έτους στον Β. Ατλαντικό, ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι μηνιαίες διακυμάνσεις της παραμέτρου, στις οποίες γίνονται αντιληπτές και συνθήκες που εμφανίζονται στον αντίστοιχο εποχιακό χάρτη.

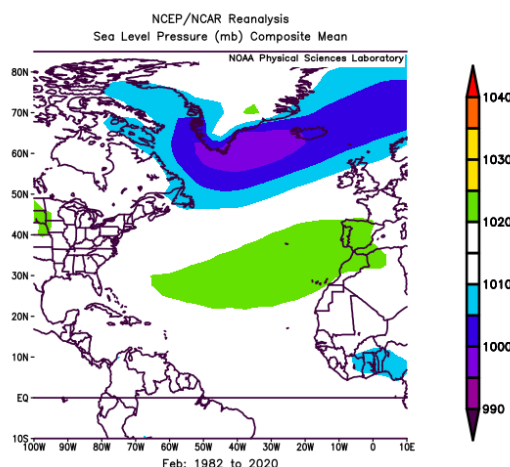
Παράδειγμα τέτοιων συνθηκών παρουσιάζεται κατά τους χειμερινούς μήνες (Σχήμα 3.15). Ο μήνας με τις χαμηλές πιέσεις και τις υψηλές πιέσεις είναι ο Ιανουάριος, γεγονός που οδηγεί σε έντονη βαροβαθμίδα και ζωνική κυκλοφορία στη περιοχή του Β. Ατλαντικού. Ειδικότερα, οι χαμηλότερες τιμές πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή του Χαμηλού της Ισλανδίας και η ελάχιστη πίεση φτάνει τα 990mb τον Ιανουάριο. Επιπλέον, οι υψηλότερες τιμές πίεσης σημειώνονται στη περιοχή του βαρομετρικού υψηλού (1025mb), με τη γεωγραφική έκταση να είναι μεγαλύτερη κατά τον Ιανουάριο.



(α)



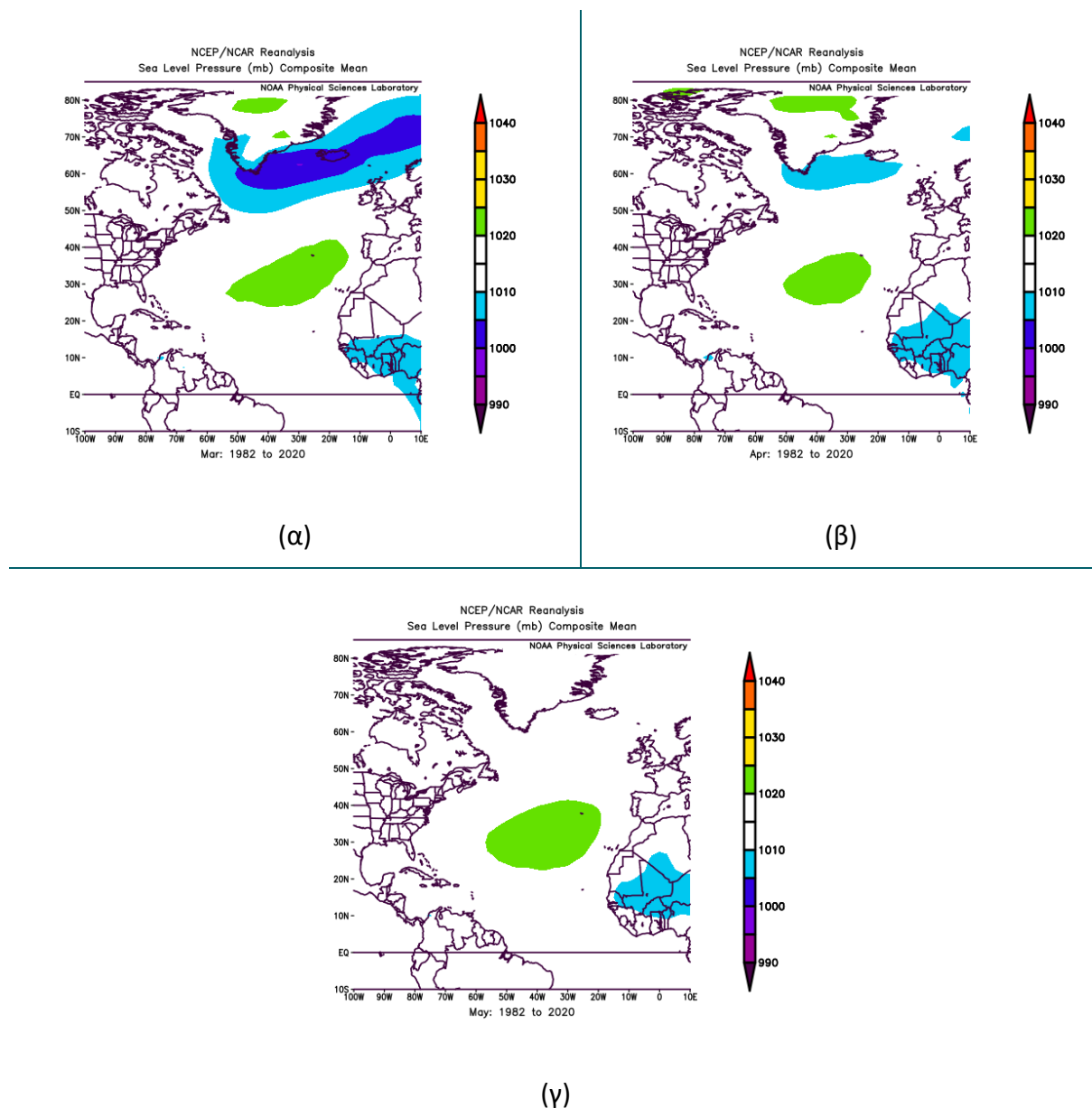
(β)



(γ)

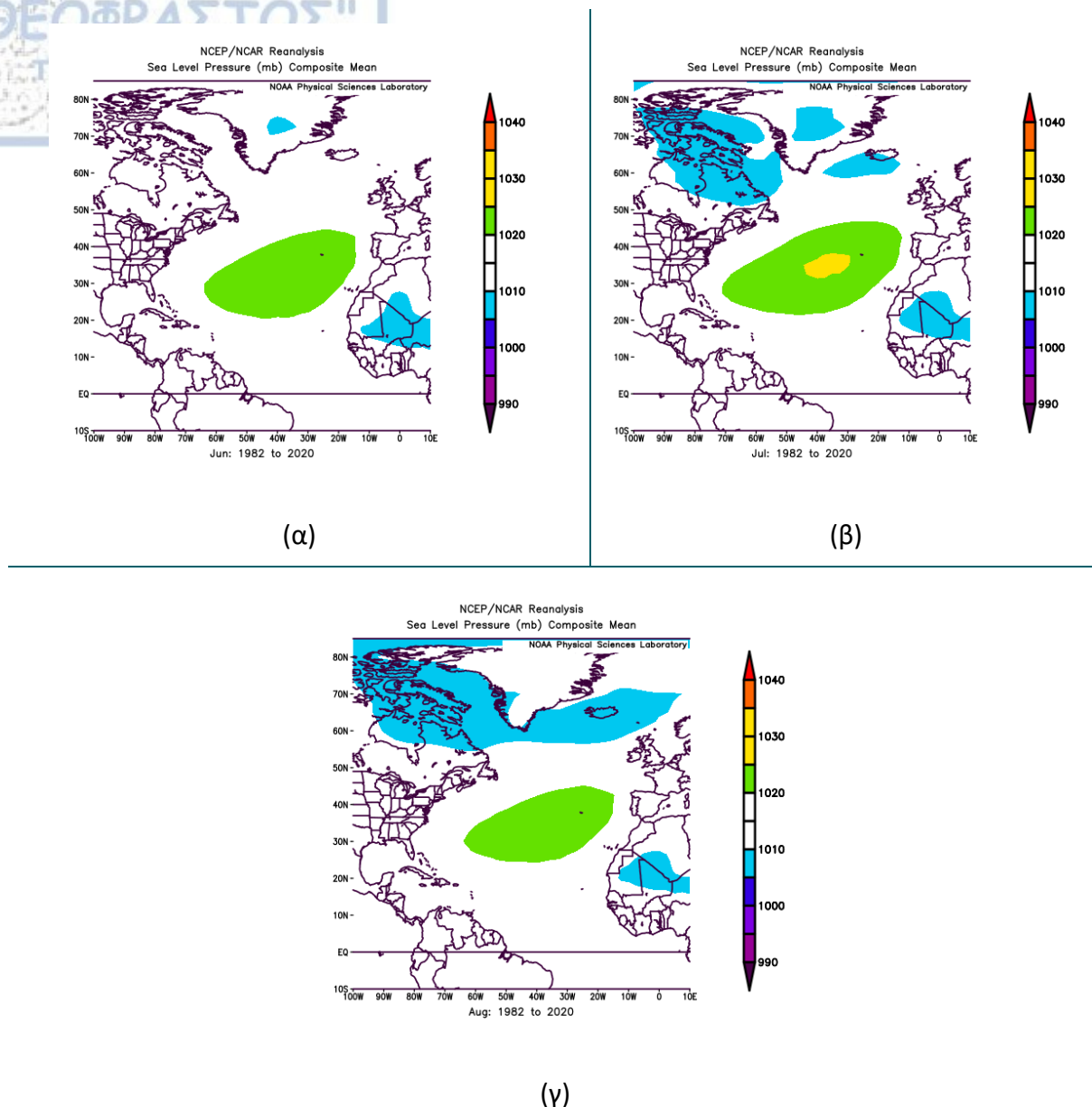
Σχήμα 3.15: Μεταβολή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας τους χειμερινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Δεκέμβριος, (β) Ιανουάριος, (γ) Φεβρουάριος.

Στη διάρκεια των εαρινών μηνών, η γεωγραφική έκταση με τις χαμηλότερες τιμές πίεσης μειώνεται σταδιακά. Το ίδιο παρατηρείται και για την έκταση των περιοχών με τις υψηλότερες πιέσεις (Σχήμα 3.16). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι από τον Απρίλιο και μετά, το κέντρο χαμηλών πιέσεων εξασθενεί σημαντικά με τις πιέσεις του Μαΐου να είναι σε σχεδόν κανονικά επίπεδα.



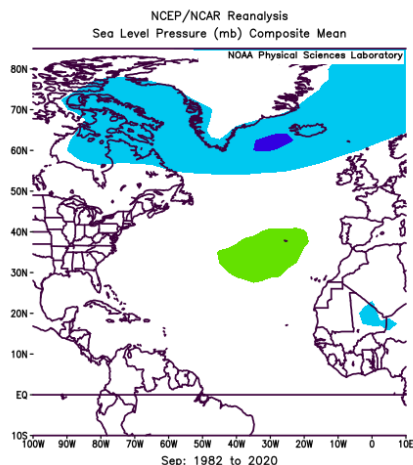
Σχήμα 3.16: Μεταβολή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας τους ανοιξιάτικους μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Μάρτιος, (β) Απρίλιος, (γ) Μάιος.

Στο Σχήμα 3.17 παρουσιάζονται οι μέσες συνθήκες SLP το καλοκαίρι για την περίοδο 1982-2020. Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, οι ελάχιστες τιμές της είναι μικρότερες των 1010mb. Η μέγιστη τιμή της πίεσης παρατηρείται τον Ιούλιο στο κέντρο του Β. Ατλαντικού.

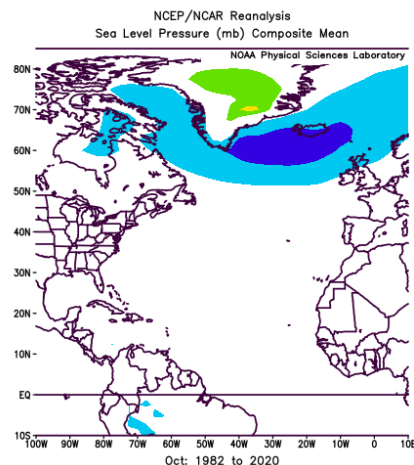


Σχήμα 3.17: Μεταβολή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας τους καλοκαιρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Ιούνιος, (β) Ιούλιος, (γ) Αύγουστος.

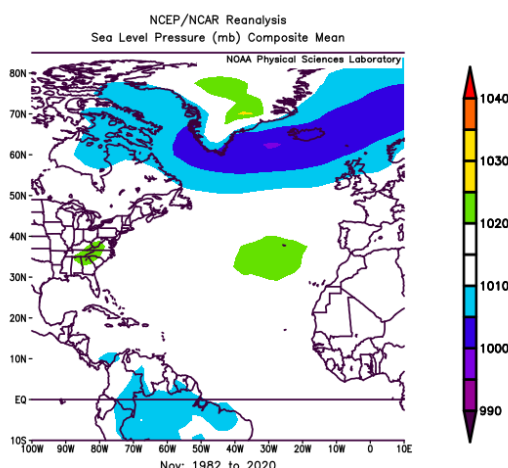
Τη φθινοπωρινή περίοδο, οι χαμηλότερες τιμές SLP εξακολουθούν να εντοπίζονται στα βόρεια του Ατλαντικού στη περιοχή του Χαμηλού της Ισλανδίας (Σχήμα 3.18). Μάλιστα, από τον Σεπτέμβριο, τιμές της τάξεως από 1005mb έως 1000mb κάνουν την εμφάνισή τους, αρχικά δυτικά της Ισλανδίας και στη συνέχεια επεκτείνονται γύρω από τη χώρα και φτάνουν έως τη Β. Ευρώπη. Τον Νοέμβριο, δυτικά της Ισλανδίας σημειώνεται πίεση έως 995mb. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι υψηλές πιέσεις εμφανίζουν ένα περιορισμένο κέντρο στη περιοχή των Αζορών, ενώ τον Οκτώβριο το κέντρο αυτό έχει εξαφανιστεί.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 3.18: Μεταβολή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας τους φθινοπωρινούς μήνες για την περίοδο 1982-2020 - (α) Σεπτέμβριος, (β) Οκτώβριος, (γ) Νοέμβριος.

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ

Για την SST, την Tair και την SLP, η εφαρμογή της ανάλυσης κύριων συνιστωσών οδήγησε σε τέσσερις, επτά και πέντε συνιστώσες, αντίστοιχα. Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η PCA με περιστροφή λόγω της καλύτερης ερμηνείας που δίνεται στα δεδομένα (Jolliffe and Cadima, 2016). Ο αριθμός των συνιστωσών αποφασίστηκε χρησιμοποιώντας το γραφικό κριτήριο της PCA screen plot (elbow rule), το οποίο αποτελεί ένα διάγραμμα των ιδιοτιμών (δηλ. του ποσοστού μεταβλητότητας που εξηγείται από την κάθε κύρια συνιστώσα) με τον αριθμό των κυρίων συνιστωσών, και δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στο ποσοστό κάλυψης της ολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών και στη φυσική υπόσταση των παραγόντων. Οι τέσσερις συνιστώσες της SST ερμηνεύουν το 71% της ολικής διακύμανσης, οι επτά συνιστώσες της Tair ερμηνεύουν το 79% και οι πέντε συνιστώσες της SLP ερμηνεύουν το 75%. Για κάθε συνιστώσα υπολογίστηκε η μέση ημερήσια τιμή όλων των σημείων του πλέγματος

που ανήκουν σε αυτή (μεσοποιημένη τιμή). Η ομαδοποίηση των περιοχών που αντιστοιχούν σε κάθε μία συνιστώσα και εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά στις συνθήκες της εκάστοτε κλιματικής μεταβλητής παρουσιάζονται στα σχήματα Σχήμα 3.19, Σχήμα 3.22 και Σχήμα 3.25.

Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει ορισμένα στατιστικά στοιχεία που αφορούν σε όλες τις συνιστώσες που δημιουργήθηκαν μέσω της PCA για όλες τις κλιματικές μεταβλητές. Ειδικότερα, αναγράφεται η μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή κάθε συνιστώσας και δείκτη σε ετήσια βάση, αλλά και κατά τη διάρκεια της χειμερινής και καλοκαιρινής περιόδου.

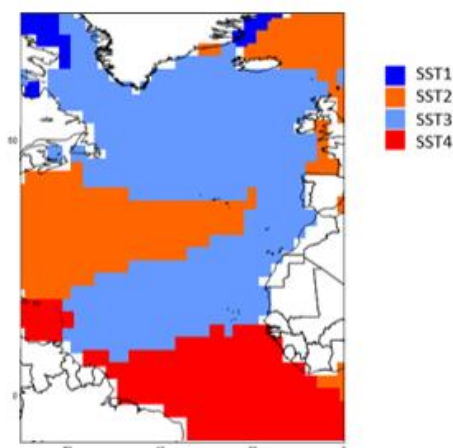
Πίνακας 3.1: Στατιστικές πληροφορίες για (α) το έτος, (β) την χειμερινή περίοδο, (γ) την καλοκαιρινή περίοδο.

	Year			Winter			Summer		
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
SLP1	1013	999	1025	1010	999	1021	1013	1007	1019
SLP2	1012	1009	1015	1012	1010	1014	1013	1011	1015
SLP3	1016	1011	1022	1017	1012	1022	1016	1013	1019
SLP4	1016	1005	1026	1018	1008	1026	1015	1011	1019
SLP5	1011	979	1035	1009	980	1033	1014	1000	1027
SST1	-0.1	-1.3	3.0	-1.1	-1.3	-0.7	1.4	-0.6	3.0
SST2	18.7	15.9	22.4	16.8	16.0	18.2	21.0	18.5	22.4
SST3	14.9	12.3	18.6	13.2	12.4	14.5	16.8	14.3	18.5
SST4	26.9	26.2	27.7	26.8	26.5	27.2	26.7	26.2	27.4
Tair1	-14.8	-35.4	2.4	-28.4	-35.4	-19.3	0.0	-4.4	2.4
Tair2	20.7	17.6	23.2	18.7	17.6	19.8	22.5	21.5	23.2
Tair3	-9.0	-27.1	2.0	-16.8	-26.6	-4.7	0.9	-1.1	2.0
Tair4	16.5	10.1	22.3	12.6	10.2	14.9	20.7	17.9	22.3
Tair5	23.7	21.4	25.2	22.4	21.4	23.3	24.7	24.1	25.1
Tair6	-4.1	-30.3	17.5	-20.6	-30.3	-9.0	12.1	4.2	17.5
Tair7	9.6	-5.9	21.5	0.4	-5.9	5.9	18.4	13.5	21.5

3.2.1 Θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας

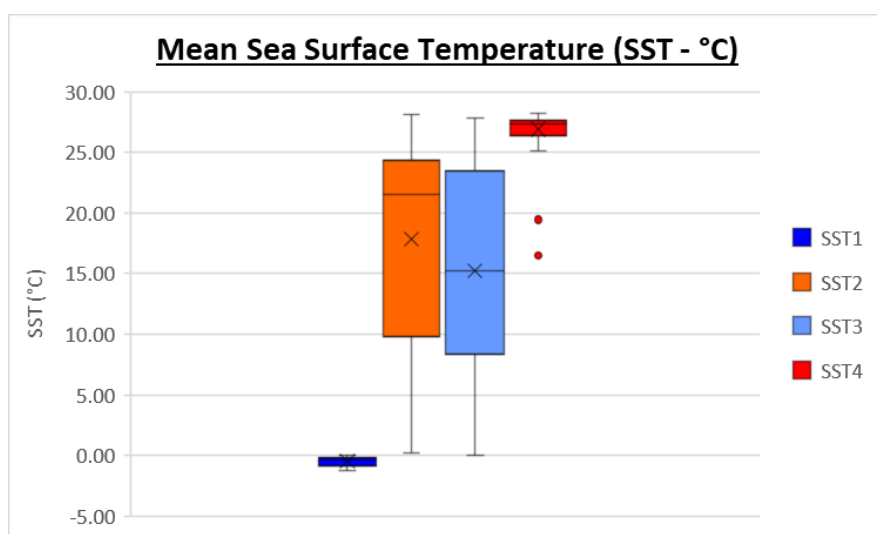
Στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζεται η ταξινόμηση των περιοχών του Β. Ατλαντικού σε τέσσερις ομάδες με βάση την SST. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της PCA, στην πρώτη κύρια συνιστώσα (SST1) ανήκουν οι περιοχές που περιβάλλουν τη Γροιλανδία, οι οποίες σημειώνουν τις χαμηλότερες μεσοποιημένες τιμές θερμοκρασίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (-1,3°C έως +3,0°C σε ετήσια βάση; – Πίνακας 3.1). Στη δεύτερη ομάδα (SST2) περιλαμβάνονται οι περιοχές που εντοπίζονται στο ΒΑ τμήμα του Β. Ατλαντικού και στον Κόλπο του Μεξικό. Η μεσοποιημένη θερμοκρασία τους κυμαίνεται μεταξύ +15,9°C και +23,3°C. Το μεγαλύτερο κεντρικό τμήμα του Β. Ατλαντικού ταξινομείται στην τρίτη ομάδα (SST3), με την SST να σημειώνει τιμές από +12,3°C έως +18,5°C σε ετήσια βάση. Η τέταρτη ομάδα (SST4) καταλαμβάνει περιοχές στη ζώνη του Ισημερινού με τις υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας (+26,1°C έως +27,7°C; Πίνακας 3.1).

Sea surface temperature



Σχήμα 3.19: Ταξινόμηση περιοχών Β. Ατλαντικού σε ομάδες με βάση τις συνθήκες επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας.

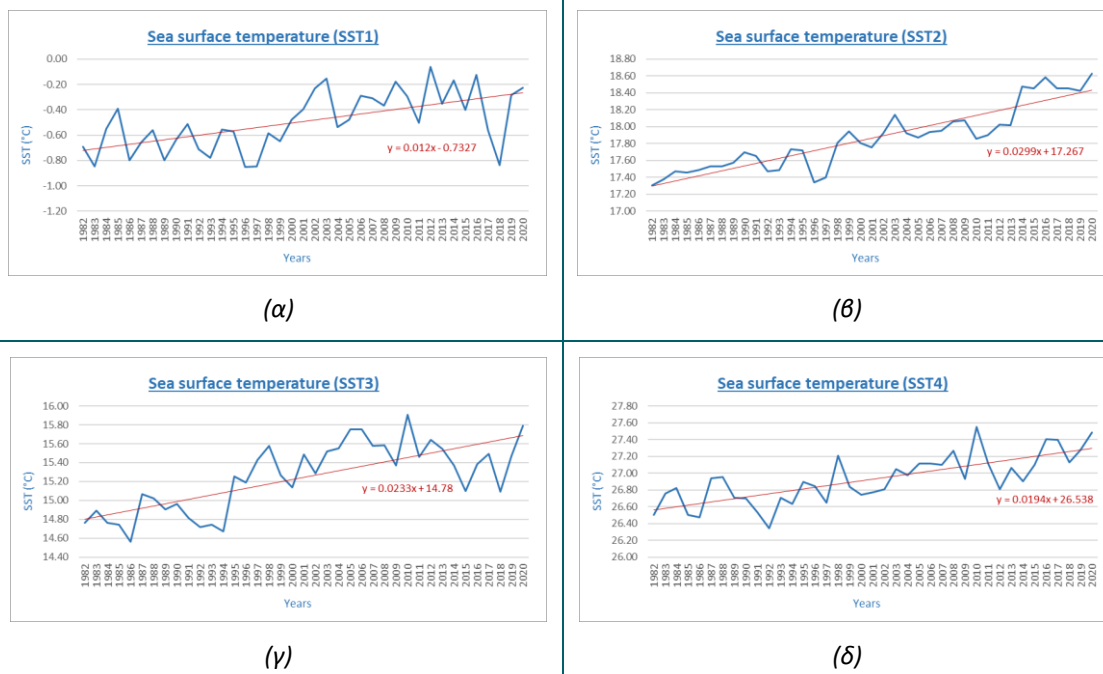
Το Σχήμα 3.20 παρουσιάζει τα θηκογράμματα των τεσσάρων ομάδων της μεσοποιημένης SST για την περίοδο μελέτης. Η SST1 αποτελεί την περιοχή με τις πιο χαμηλές θερμοκρασίες, υπό του 0°C , σε σχέση με τις υπόλοιπες. Ακόμα, οι SST2 και SST3 σημειώνουν παρόμοιες τιμές με τη μέση τιμή τους να είναι το κύριο κριτήριο διαφοροποίησης, η SST2 ομάδα παρουσιάζει μέση τιμή στους $18,7^{\circ}\text{C}$, ενώ η SST3 στους $14,8^{\circ}\text{C}$. Η SST4 είναι η ομάδα με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 25°C , γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 3.1).



Σχήμα 3.20: Θηκογράμματα μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας.

Ειδικότερα, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της παρούσας εργασίας, στις περιοχές που ανήκουν στην SST1 παρατηρείται μία αύξηση στη μεσοποιημένη τιμή της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας της τάξεως των $0,1^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία (Σχήμα 3.21α). Πρόκειται για τις περιοχές με τις χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας, οι οποίες περιβάλλουν τη Γροιλανδία. Ενδιαφέρον προκαλεί η τιμή που σημειώνεται το 2018, όταν η θερμοκρασία ελαττώνεται σημαντικά (περίπου $0,2^{\circ}\text{C}$) σε σχέση με τα προηγούμενα έτη, ενώ το 2019 ξανανεβαίνει. Επίσης, αυξητική τάση εμφανίζουν και οι περιοχές που συγκαταλέγονται στην SST2, και ειδικότερα εκείνες στο ΒΑ Ατλαντικό και στον Κόλπο του Μεξικό. Η τάση είναι

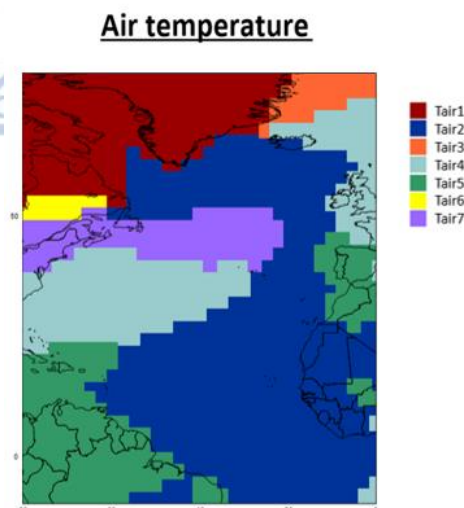
μεγαλύτερη της SST1 και είναι της τάξεως των $0,3^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία (Σχήμα 3.21β). Στο μεγαλύτερο κεντρικό τμήμα του Β. Ατλαντικού, στις περιοχές της SST3, η αυξητική τάση που παρουσιάζεται είναι της τάξεως των $0,2^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία. Η SST σημειώνει $+14,8^{\circ}\text{C}$ το 1982, τιμή που φτάνει τους $+15,8^{\circ}\text{C}$ το 2020 (Σχήμα 3.21γ). Στο Σχήμα 3.21δ προβάλλεται η αυξητική τάση των τιμών της SST4. Στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη του Β. Ατλαντικού, η SST αυξάνεται κατά περίπου $0,2^{\circ}\text{C}$ τη δεκαετία κατά την περίοδο 1982-2020.



Σχήμα 3.21: Μεταβλητότητα επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας στην α) SST1, β) SST2, γ) SST3 και δ) SST4.

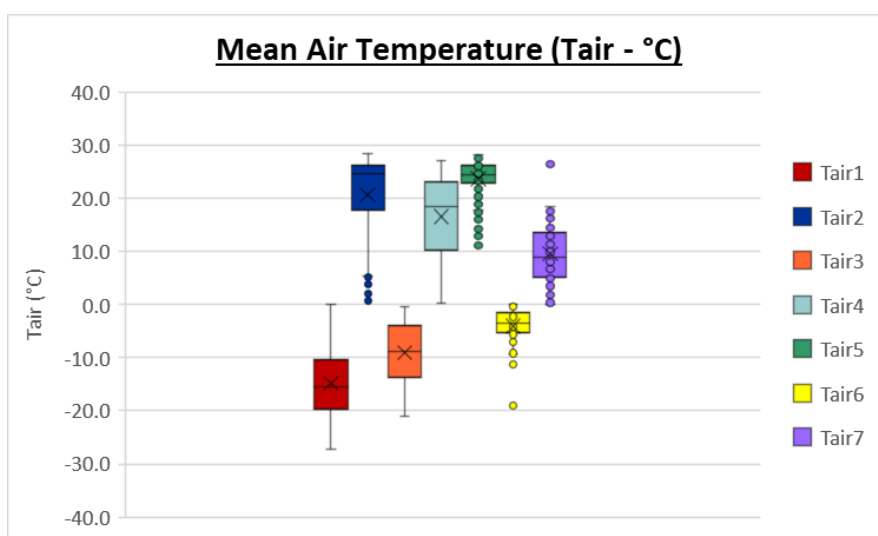
3.2.2 Θερμοκρασία του αέρα

Οι κύριες συνιστώσες για την Tair παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.19. Στην πρώτη ομάδα (Tair1) ανήκει το ΒΔ τμήμα του ωκεανού όπου σημειώνονται οι χαμηλότερες μεσοποιημένες τιμές ετησίως Tair ($-35,4^{\circ}\text{C}$ έως $+2,4^{\circ}\text{C}$; Πίνακας 3.1). Στη δεύτερη ομάδα (Tair2) συγκαταλέγεται ένα μεγάλο κεντρικό τμήμα του ωκεανού που εκτείνεται από τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη έως τα μικρότερα. Οι τιμές της θερμοκρασίας κυμαίνονται από $+17,6^{\circ}\text{C}$ έως $23,2^{\circ}\text{C}$ ετησίως. Στην τρίτη ομάδα (Tair3) ταξινομείται το βορειοανατολικό τμήμα του Β. Ατλαντικού και στην τέταρτη ομάδα (Tair4) περιοχές στη Β. Ευρώπη και ανατολικά των κεντρικών ΗΠΑ, με μέσες μεσοποιημένες τιμές στα $-9,0^{\circ}\text{C}$ και $+16,5^{\circ}\text{C}$, αντίστοιχα (Πίνακας 3.1). Ο Κόλπος του Μεξικό, αλλά και η περιοχή που περιβάλλει τη ΝΔ Ευρώπη ανήκουν στην πέμπτη ομάδα (Tair5) (ετήσιο εύρος: $21,5^{\circ}\text{C}$ έως $+25,2^{\circ}\text{C}$). Στην έκτη ομάδα (Tair6) περιλαμβάνεται μία χερσαία περιοχή στο Β. Καναδά και ένα πολύ μικρό σε έκταση τμήμα ΒΔ της Γροιλανδίας ($-30,3^{\circ}\text{C}$ έως $+17,5^{\circ}\text{C}$). Τέλος, η περιοχή βορειοανατολικά των ΗΠΑ ανήκει στην έβδομη ομάδα (PC7) και οι μέσες τιμές που προκύπτουν από τη μεσοποίηση των σημείων του πλέγματος που ανήκουν σε αυτή κυμαίνονται μεταξύ $-5,9^{\circ}\text{C}$ και $+21,5^{\circ}\text{C}$ ετησίως (Πίνακας 3.1).



Σχήμα 3.22: Ταξινόμηση περιοχών Β. Ατλαντικού σε ομάδες με βάση τις συνθήκες θερμοκρασίας του αέρα.

Στο Σχήμα 3.23 παρατηρούνται τα θηκογράμματα των επτά ομάδων της Tair για την περίοδο 1982-2020. Η Tair1 αποτελεί την ομάδα με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες και η Tair5 με τις υψηλότερες. Σε κάθε ομάδα η διάμεσος εντοπίζεται σχεδόν στη μέση των κατανομών, γεγονός που σημαίνει πως τα δεδομένα βρίσκονται κοντά στη μέση τιμή. Οι Tair1 και Tair2 εμφανίζουν ορισμένες ακραίες τιμές, δηλαδή κάποιες ημέρες με θερμοκρασίες που διαφέρουν κατά <25% από τις μέσες τιμές τους, ενώ οι Tair5, Tair6, και Tair7 εμφανίζουν τυχαίες τιμές, δηλαδή ημέρες με θερμοκρασιακές τιμές χαμηλότερες του μέσου εύρους τους.

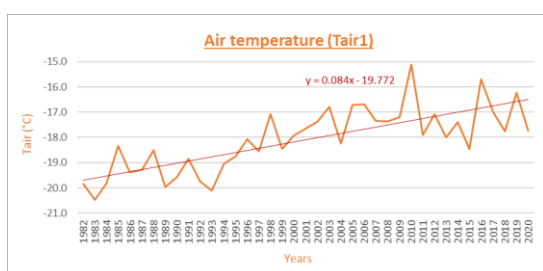


Σχήμα 3.23: Θηκογράμματα μέσης θερμοκρασίας του αέρα.

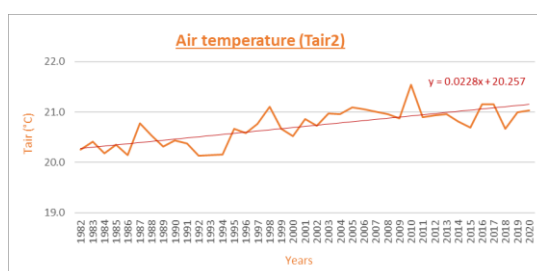
Η θερμοκρασία του αέρα παγκοσμίως εμφανίζει μία αυξητική τάση η οποία μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση των θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα (Compro and Sardeshmukh, 2008). Αυτή η αυξητική τάση όπως είναι φυσικό αφορά και στη θερμοκρασία στην περιοχή του Β. Ατλαντικού.

Η Tair στις ψυχρότερες περιοχές του Ατλαντικού (Tair1) αυξάνεται κατά 0,8°C τη δεκαετία (Σχήμα 3.24α). Στο μεγαλύτερο μέρος του Β. Ατλαντικού, και ειδικότερα στις περιοχές που απαρτίζουν την Tair2, η θερμοκρασία του αέρα παρουσιάζει μία αυξητική τάση της τάξεως των 0,2°C ανά δεκαετία (Σχήμα 3.24β). Αύξηση της Tair κατά 0,7°C ανά δεκαετία

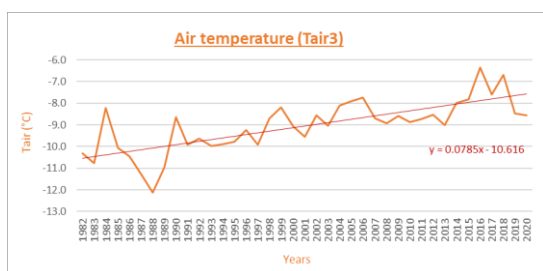
παρατηρείται στο ΒΑ Ατλαντικό (Σχήμα 3.24γ). Το 1982, η Tair3 σημειώνει θερμοκρασίες της τάξεως των $-10,5^{\circ}\text{C}$, οι οποίες φτάνουν τους $-8,5^{\circ}\text{C}$ το 2020. Κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης παρουσιάζονται μία ακραία ελάττωση της θερμοκρασίας (1988, -12°C) και μία ακραία αύξησή της (2016, $-6,4^{\circ}\text{C}$). Οι περιοχές στη Β. Ευρώπη και ανατολικά των κεντρικών ΗΠΑ που συγκαταλέγονται στην τέταρτη ομάδα (Tair4) παρουσιάζουν μικρή αύξηση $0,2^{\circ}\text{C}$ στην Tair ανά δεκαετία (Σχήμα 3.24δ). Ακόμα μικρότερη αυξητική τάση, της τάξεως των $0,1^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία, παρατηρείται στον Κόλπο του Μεξικό και τη ΝΔ Ευρώπη (Tair5) (Σχήμα 3.24ε). Ωστόσο, σημειώνονται μικρότερες διακυμάνσεις στις τιμές Tair μεταξύ των ετών σε σχέση με τις περιοχές της Tair4. Στις περιοχές της Tair6 (Σχήμα 3.24στ), που αποτελούν τον Β. Καναδά και τη ΒΔ Γροιλανδία, οι μέσες μεσοποιημένες τιμές της συγκεκριμένης κλιματικής μεταβλητής κυμαίνονται μεταξύ $-5,5^{\circ}\text{C}$ και $-1,8^{\circ}\text{C}$. Τέλος, μικρή άνοδος της Tair φανερώνεται ανατολικά των ΗΠΑ και είναι περίπου $0,1^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία (Σχήμα 3.24ζ).



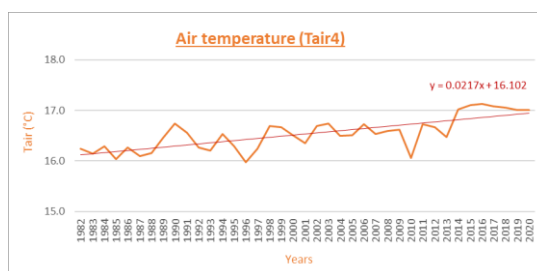
(α)



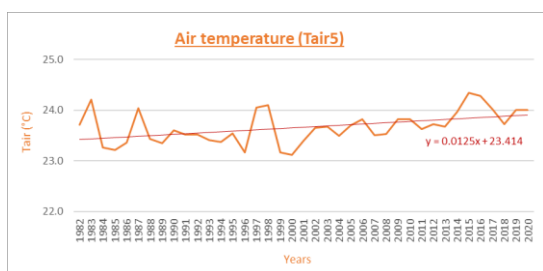
(β)



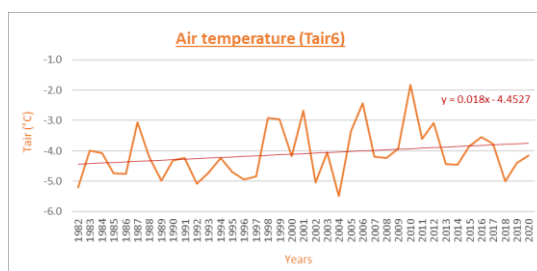
(γ)



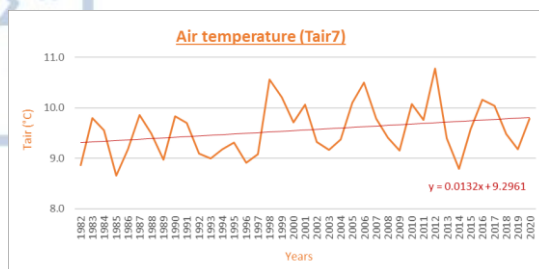
(δ)



(ε)



(στ)



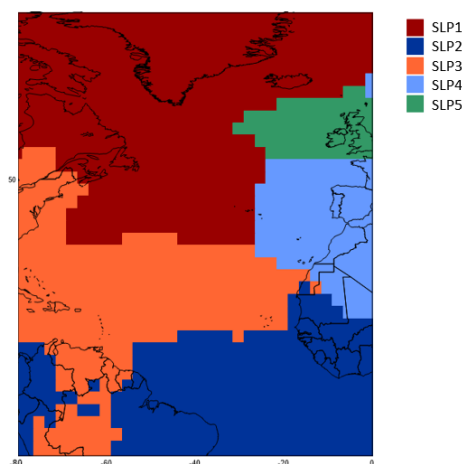
(ζ)

Σχήμα 3.24: Μεταβλητότητα της ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα στην α) Tair1, β) Tair2, γ) Tair3, δ) Tair4, ε) Tair5, στ) Tair6, ζ) Tair7.

3.2.3 Πίεση στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας

Στο Σχήμα 3.25 παρουσιάζεται η ταξινόμηση των περιοχών του Β. Ατλαντικού σε ομάδες με βάση τις χρονοσειρές των πιέσεων στη στάθμη της θάλασσας. Όπως, και στο χάρτη των ομάδων της Tair, ο συγκεκριμένος χάρτης απεικονίζει τις συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή του Β. Ατλαντικού, συμπεριλαμβανομένων χερσαίων περιοχών στο Β. Καναδά. Στην πρώτη ομάδα (SLP1) συγκαταλέγεται το βόρειο τμήμα του ωκεανού στο οποίο σημειώνονται τιμές πίεσης από 999mb έως 1025mb ετησίως (Πίνακας 3.1). Στη δεύτερη ομάδα (SLP2) ανήκουν οι περιοχές στη ζώνη του Ισημερινού (1009mb έως 1015mb) και στην τρίτη ομάδα (SLP3) εκείνες στα μέσα γεωγραφικά πλάτη στην δυτική πλευρά του Β. Ατλαντικού (1011mb έως 1022mb σε ετήσια βάση). Επιπλέον, στην τέταρτη ομάδα (SLP4) περιλαμβάνεται η ΝΔ Ευρώπη – ΒΔ Αφρική, ενώ στην πέμπτη ομάδα (SLP5) η περιοχή δυτικά του Ηνωμένου Βασιλείου, με μέσες μεσοποιημένες τιμές 1005mb έως 1026mb και 979mb έως 1035mb, αντίστοιχα.

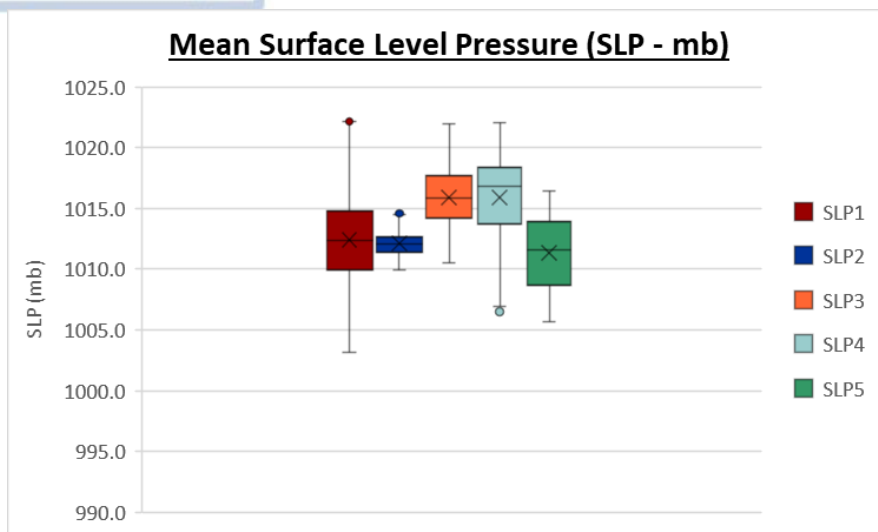
Surface Level Pressure



Σχήμα 3.25: Ταξινόμηση περιοχών Β. Ατλαντικού σε ομάδες με βάση τις συνθήκες πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας.

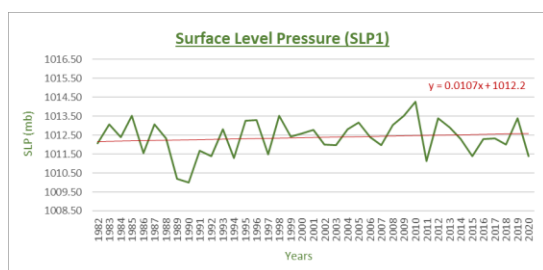
Τα θερμογράμματα των πέντε ομάδων της SLP προβάλλονται στο Σχήμα 3.26. Παρατηρείται πως η SLP5 εμφανίζει τις χαμηλότερες μέσες μεσοποιημένες τιμές πίεσης, χωρίς ωστόσο οι τιμές να διαφέρουν σημαντικά από τις υπόλοιπες ομάδες. Από την άλλη

μεριά, η SLP4 χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη πίεση (περίπου 1016mb). Επιπλέον, στην SLP1 συναντώνται οι περισσότερες ακραίες τιμές.

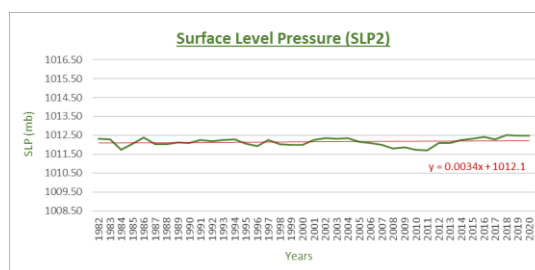


Σχήμα 3.26: Θηκογράμματα μέσης πίεσης στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας.

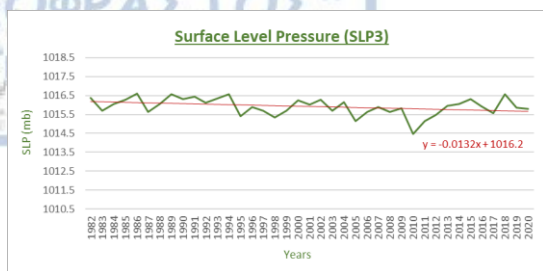
Αύξηση της τάξεως των 0,1mb ανά δεκαετία σημειώνεται στην μέση μεσοποιημένη τιμή SLP στην SLP1. Σύμφωνα με το Σχήμα 3.27α, η μέση μεσοποιημένη τιμή των περιοχών που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα του Β. Ατλαντικού εμφανίζει μεγάλη αυξομείωση. Στο Σχήμα 3.27β προβάλλεται η μικρότερης τάξεως αυξητική τάση της SLP (0,03mb ανά δεκαετία) στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη του Β. Ατλαντικού (SLP2). Ενδιαφέρον προκαλούν οι περιοχές στα μέσα γεωγραφικά πλάτη στη δυτική πλευρά του Β. Ατλαντικού οι οποίες ανήκουν στην SLP3 και παρουσιάζουν μείωση στην SLP (Σχήμα 3.27γ). Ειδικότερα, σημειώνεται πτωτική τάση της τάξεως των 0,1mb ανά δεκαετία. Πτωτική τάση στη μέση τιμή πίεσης σημειώνει και η περιοχή της ΝΔ Ευρώπης – ΒΔ Αφρικής (SLP4). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η πίεση μειώνεται κατά 0,07mb ανά δεκαετία (Σχήμα 3.27δ). Ακόμα, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως κατά τα τελευταία έτη της μελετώμενης περιόδου, η μέση τιμή της πίεσης εμφανίζει μεγαλύτερες διακυμάνσεις. Τέλος, στο Σχήμα 3.27ε φανερώνεται πως στην περιοχή δυτικά του Ηνωμένου Βασιλείου (SLP5), η μέση τιμή της SLP παρουσιάζει της μεγαλύτερη διακύμανση ανά έτος σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές του Β. Ατλαντικού. Επίσης, η πτωτική τάση που σημειώνεται είναι της τάξεως των 0,2mb.



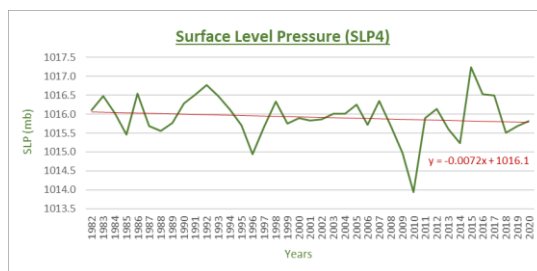
(α)



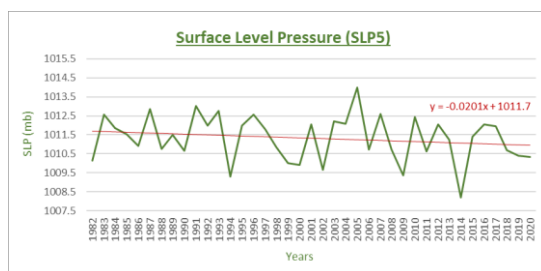
(β)



(γ)



(δ)



(ε)

Σχήμα 3.27: Μεταβλητότητα πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας στην α) SLP1, β) SLP2, γ) SLP3, δ) SLP4, ε) SLP5.

3.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Στη συγκεκριμένη ενότητα της εργασίας παρουσιάζεται η συσχέτιση όλων των μελετώμενων μεταβλητών. Ειδικότερα, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των κλιματικών μεταβλητών (SLP, SST και Tair), αλλά και με τις τιμές των δεικτών τηλεσύνδεσης NAO και AO.

Για τη συγκεκριμένη διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα για όλη τη χρονική περίοδο 1982-2020, καθώς και ημερήσια δεδομένα μόνο για τη χειμερινή περίοδο και την καλοκαιρινή περίοδο, και δημιουργήθηκαν τρεις πίνακες που παρουσιάζουν τον συντελεστή συσχέτισης των μεταβλητών κατά τη διάρκεια του έτους, το χειμώνα και το καλοκαίρι. Στις τιμές του πίνακα εφαρμόστηκε t-test διπλής όψης για το επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και 0,05 για να εκτιμηθεί εάν ο συντελεστής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικός. Σε περίπτωση που ο συντελεστής θεωρείται στατιστικά σημαντικός κατά 99% (επίπεδο σημαντικότητας 0,01) το κελί του πίνακα στο οποίο βρίσκεται χρωματίζεται ανοιχτό γκρι, ενώ αν ο συντελεστής θεωρείται στατιστικά σημαντικός κατά 95% (επίπεδο σημαντικότητας 0,05) το κελί χρωματίζεται σκούρο γκρι.

Ο Πίνακας 3.2 παρουσιάζει τους συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ημερήσιων δεδομένων των μελετώμενων μεταβλητών κατά τη διάρκεια του έτους. Αρχικά, παρατηρείται πως όλες οι ομάδες της SST συσχετίζονται σημαντικά με όλες τις ομάδες SLP. Εξαίρεση αποτελούν οι περιοχές SST στο Β. Ατλαντικό, εκτός του Ισημερινού, που δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τις SLP στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Ακόμα, η SST συσχετίζεται σημαντικά στο επίπεδο σημαντικότητας 0,01 με όλες τις ομάδες Tair. Ο μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης παρουσιάζεται μεταξύ των ομάδων επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και της ομάδας Tair4 (ανατολικά των ΗΠΑ και ΒΔ Ευρώπη). Αναφορικά με τη συσχέτιση της SST με τους δείκτες ταλάντωσης, φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντική σε όλες τις περιοχές του Β. Ατλαντικού (στις περισσότερες περιπτώσεις σε επίπεδο σημαντικότητας 0,01).

Όσον αφορά στις ομάδες της θερμοκρασίας του αέρα, όλες εμφανίζουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με όλες τις ομάδες πίεσης. Στο κεντρικό τμήμα του ωκεανού η συσχέτιση είναι αρνητική, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές είναι θετική. Οι υψηλότερες συσχετίσεις εντοπίζονται μεταξύ όλων των ομάδων Tair και της πίεσης στη ζώνη του Ισημερινού. Επιπλέον, οι ομάδες θερμοκρασίας του αέρα συσχετίζονται σημαντικά με τους δείκτες προτύπων τηλεσύνδεσης, με το συντελεστή συσχέτισης να είναι μεγαλύτερο στο βόρειο τμήμα του Β. Ατλαντικού.

Τέλος, οι ομάδες SLP εμφανίζουν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τους δείκτες NAO και AO σε όλες τις περιοχές του Β. Ατλαντικού. Φυσικά, ο μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης εντοπίζεται στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Στο σημείο αυτό τα πρέπει να τονιστεί ότι παρά το γεγονός ότι οι συντελεστές συσχέτισης εμφανίζονται στατιστικά σημαντικοί λόγω του μεγάλου πλήθους του δείγματος, τιμές του συντελεστή συσχέτισης μικρότερες από 0,5 θα πρέπει να αναφέρεται με επιφύλαξη.

Πίνακας 3.2: Συντελεστής συσχέτισης των μελετώμενων μεταβλητών το έτος (με ανοιχτό και σκούρο γκρι χρώμα σημειώνονται οι στατιστικά σημαντικές τιμές του συντελεστή στο επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και 0,05, αντίστοιχα).

	SLP1	SLP2	SLP3	SLP4	SLP5	Tair1	Tair2	Tair3	Tair4	Tair5	Tair6	Tair7				
SST1	0.001	0.598	-0.194	-0.178	0.076	0.746	0.820	0.688	0.869	0.616	0.756	0.786				
SST2	0.002	0.625	-0.235	-0.183	0.060	0.783	0.868	0.705	0.918	0.621	0.787	0.820				
SST3	0.007	0.600	-0.261	-0.188	0.075	0.742	0.855	0.652	0.875	0.571	0.752	0.791				
SST4	0.192	-0.331	-0.155	-0.084	0.031	-0.122	-0.097	-0.127	-0.279	0.064	-0.156	-0.186				
Tair1	0.210	0.549	-0.306	-0.338	0.192											
Tair2	0.178	0.530	-0.383	-0.325	0.185											
Tair3	0.092	0.505	-0.190	-0.206	0.152											
Tair4	0.097	0.593	-0.286	-0.223	0.108											
Tair5	0.222	0.368	-0.320	-0.319	0.125											
Tair6	0.192	0.537	-0.337	-0.292	0.176											
Tair7	0.189	0.538	-0.363	-0.266	0.200											
	SLP1	SLP2	SLP3	SLP4	SLP5	SST1	SST2	SST3	SST4	Tair1	Tair2	Tair3	Tair4	Tair5	Tair6	Tair7
NAO	-0.298	-0.074	0.374	0.330	-0.055	-0.165	-0.166	-0.190	-0.050	-0.306	-0.278	-0.097	-0.133	-0.183	-0.190	-0.159
AO	-0.378	0.057	0.261	0.346	-0.068	-0.040	-0.023	-0.049	-0.017	-0.130	-0.102	-0.036	0.026	-0.033	-0.010	0.002

Επ. Σημαντικότητας

0.01

0.05

Τον συντελεστή συσχέτισης των μεταβλητών κατά την χειμερινή περίοδο παρουσιάζει ο Πίνακας 3.3.

Σε αντίθεση με τον προηγούμενο πίνακα που αφορούσε τους συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των ημερήσιων τιμών των μεταβλητών σε ετήσια βάση, παρατηρείται πως κατά τη διάρκεια των ημερήσιων τιμών του χειμώνα, η SST δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντική συσχέτιση με όλες τις ομάδες των άλλων μελετώμενων κλιματικών μεταβλητών, αλλά και με τους δείκτες NAO και AO. Ειδικότερα, μόνο οι χειμερινές ημερήσιες θερμοκρασίες στα ανατολικά των ΗΠΑ και ΒΔ Ευρώπη (SST2) φαίνεται να σχετίζονται με όλες τις ομάδες πίεσης, όπου όμως ο συντελεστής συσχέτισης παρά το γεγονός ότι είναι σημαντικός, παρουσιάζει αρκετά μικρές τιμές συσχέτισης ($<0,16$). Επιπλέον, η σχέση μεταξύ της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και της θερμοκρασία του αέρα δεν είναι στατιστικά σημαντική μόνο στο κεντρικό τμήμα του ωκεανού. Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της SST και των δεικτών ταλάντωσης δεν είναι μεγάλοι και σε ορισμένες περιοχές η συσχέτιση δεν είναι στατιστικά σημαντική (SST2, SST3 – κεντρικό τμήμα του ωκεανού).

Η θερμοκρασία του αέρα, από την άλλη, εμφανίζει μεν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τις περισσότερες ομάδες SLP, καθώς και τους δείκτες NAO και AO στο μεγαλύτερο τμήμα του Β. Ατλαντικού αλλά και πάλι οι τιμές είναι αρκετά μικρές. Ειδικότερα, οι μοναδικές ομάδες που δεν παρουσιάζουν σημαντική συσχέτιση μεταξύ τους είναι οι Tair5 (Κόλπος του Μεξικό και ΝΔ Ευρώπη-ΒΔ Αφρική) και Tair6 (χερσαίο τμήμα Καναδά) με την SLP1 (ΒΔ Ατλαντικός), η Tair1 (ΒΔ Ατλαντικός) με την SLP2 (ζώνη Ισημερινού), και η Tair6 με την SLP4 (ΝΔ Ευρώπη-ΒΔ Αφρική). Ακόμα, η Tair συσχετίζεται σημαντικά με τον NAO σε όλο τον Β. Ατλαντικό εκτός της περιοχής του Κόλπου του Μεξικό, και με τον AO εκτός της Β. Ευρώπης και του χερσαίου τμήματος του Καναδά.

Τέλος, η SLP συσχετίζεται σημαντικά με τους δείκτες ταλάντωσης σε όλον τον Β. Ατλαντικό, με τις υψηλότερες τιμές του συντελεστή συσχέτισης να εντοπίζονται στην περιοχή της ΝΔ Ευρώπης και ΒΔ Αφρικής (0,39 για το NAO και 0,46 για τον AO).

Πίνακας 3.3: Συντελεστής συσχέτισης των μελετώμενων μεταβλητών το χειμώνα (με ανοιχτό και σκούρο γκρι χρώμα σημειώνονται οι στατιστικά σημαντικές τιμές του συντελεστή στο επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και 0,05, αντίστοιχα).

	SLP1	SLP2	SLP3	SLP4	SLP5	Tair1	Tair2	Tair3	Tair4	Tair5	Tair6	Tair7				
SST1	-0.031	0.057	-0.091	0.013	0.017	0.388	0.303	0.257	0.367	-0.138	0.185	0.184				
SST2	-0.036	0.163	-0.068	0.044	-0.090	0.406	0.409	0.227	0.582	-0.080	0.241	0.265				
SST3	-0.005	-0.029	-0.010	0.022	0.040	0.046	-0.004	0.029	0.026	-0.061	-0.008	0.011				
SST4	0.021	-0.031	-0.166	-0.071	-0.031	0.221	0.531	0.097	0.133	0.454	0.160	0.118				
Tair1	0.049	0.008	-0.258	-0.304	0.089											
Tair2	0.047	-0.056	-0.414	-0.230	0.149											
Tair3	-0.209	-0.049	0.045	0.072	-0.063											
Tair4	-0.209	-0.049	0.045	0.072	-0.063											
Tair5	-0.022	-0.127	-0.133	-0.148	-0.176											
Tair6	-0.021	0.044	-0.347	-0.003	0.051											
Tair7	0.086	-0.066	-0.498	0.131	0.166											
	SLP1	SLP2	SLP3	SLP4	SLP5	SST1	SST2	SST3	SST4	Tair1	Tair2	Tair3	Tair4	Tair5	Tair6	Tair7
NAO	-0.152	0.059	0.380	0.391	-0.288	-0.097	-0.025	-0.008	-0.048	-0.490	-0.439	0.195	0.302	0.025	-0.035	0.073
AO	-0.384	0.140	0.306	0.460	-0.140	-0.042	0.055	-0.023	-0.036	-0.428	-0.336	0.027	0.346	-0.067	0.015	0.088

Επ. Σημαντικότητας	0.01
	0.05

Τέλος, ο Πίνακας 3.4 παρουσιάζει το συντελεστή συσχέτισης των μελετώμενων μεταβλητών κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Όσον αφορά στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, εμφανίζει στατιστικά σημαντική συσχέτιση με όλες τις ομάδες πίεσης και θερμοκρασίας του αέρα. Εξαίρεση αποτελεί η SST2 (Κόλπος του Μεξικό και Βόρεια Θάλασσα) με την SLP3 (μέσα γεωγραφικά πλάτη στο δυτικό τμήμα του Β. Ατλαντικού). Οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή συσχέτισης σημειώνονται μεταξύ των ομάδων SST και της θερμοκρασίας του αέρα με την θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας στην περιοχή του κόλπου του Μεξικού να συνδέεται σημαντικά με την θερμοκρασία του αέρα στα ανατολικά των ΗΠΑ (0,953). Ωστόσο, μη στατιστικά σημαντική συσχέτιση εμφανίζεται μεταξύ της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και των δεικτών ταλάντωσης. Μόνο η SST4 (Ισημερινός) με το NAO εμφανίζουν στατιστικά σημαντικό συντελεστή συσχέτισης, ο οποίος όμως είναι αρκετά μικρός.

Επιπρόσθετα, η θερμοκρασία του αέρα δε συσχετίζεται σημαντικά με όλες τις ομάδες πίεσης. Οι μεγαλύτερες συσχετίσεις εντοπίζονται μεταξύ της Tair και SLP2 (Ισημερινός). Η μεγαλύτερη συσχέτιση σημειώνεται μεταξύ της Tair4 (ανατολικά των ΗΠΑ) και της SLP2 (0,34). Ακόμα, η Tair εμφανίζει στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τους δείκτες NAO και AO σε όλη την έκταση του ωκεανού. Εξαίρεση αποτελεί η συσχέτιση μεταξύ του AO και της Tair4.

Αντίστοιχα, η SLP εμφανίζει στατιστικά σημαντική συσχέτιση σε όλες τις περιοχές του ωκεανού με τους δείκτες ταλάντωσης. Όπως είναι φυσικό, οι μεγαλύτεροι συντελεστές συσχέτισης εντοπίζονται στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και είναι της τάξεως των -0,5.

Πίνακας 3.4: Συντελεστής συσχέτισης των μελετώμενων μεταβλητών το καλοκαίρι (με ανοιχτό και σκούρο γκρι χρώμα σημειώνονται οι στατιστικά σημαντικές τιμές του συντελεστή στο επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και 0,05, αντίστοιχα).

	SLP1	SLP2	SLP3	SLP4	SLP5	Tair1	Tair2	Tair3	Tair4	Tair5	Tair6	Tair7				
SST1	-0.153	0.247	-0.058	-0.140	-0.179	0.455	0.805	0.559	0.872	0.294	0.544	0.699				
SST2	-0.187	0.313	-0.009	-0.125	-0.160	0.422	0.840	0.556	0.953	0.327	0.588	0.753				
SST3	-0.175	0.270	-0.059	-0.126	-0.103	0.358	0.852	0.447	0.887	0.265	0.574	0.797				
SST4	0.177	-0.219	-0.187	0.035	0.071	-0.121	-0.197	-0.114	-0.573	0.051	-0.339	-0.440				
Tair1	-0.002	0.199	0.063	-0.060	-0.067											
Tair2	-0.109	0.194	-0.160	-0.119	-0.121											
Tair3	-0.120	0.245	0.035	-0.026	-0.080											
Tair4	-0.232	0.335	0.017	-0.076	-0.136											
Tair5	0.033	-0.086	-0.163	0.005	-0.087											
Tair6	-0.146	0.246	0.143	0.014	-0.026											
Tair7	-0.241	0.247	0.017	-0.031	-0.017											
	SLP1	SLP2	SLP3	SLP4	SLP5	SST1	SST2	SST3	SST4	Tair1	Tair2	Tair3	Tair4	Tair5	Tair6	Tair7
NAO	-0.489	0.130	0.301	0.205	0.203	-0.076	0.009	0.017	-0.145	-0.302	-0.149	-0.094	0.065	-0.197	0.092	0.105
AO	-0.469	0.150	0.284	0.191	0.045	-0.037	-0.005	0.012	-0.022	-0.167	-0.096	-0.101	-0.008	-0.114	0.122	0.109

Επ. Σημαντικότητας	0.01
	0.05

3.4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ

Τέλος, στην εργασία εφαρμόστηκε η μεθοδολογία συσχέτισης υστέρησης (lag correlation) ώστε να εντοπιστεί και να καθοριστεί η καλύτερη χρονική υστέρηση που εμφανίζουν οι μεταβλητές. Όπως αναφέρεται και στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, οι μεταβλητές των οποίων οι χρονοσειρές συγκρίνονται μεταξύ τους με την εν λόγω μεθοδολογία είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας με όλες τις υπο μελέτη κλιματικές μεταβλητές (θερμοκρασία του αέρα και πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας) και τους δείκτες ταλάντωσης, οι δείκτες ταλάντωσης μεταξύ τους, καθώς και οι ομάδες των άλλων κλιματικών μεταβλητών με τους δείκτες ΝΑΟ και ΑΟ. Ακόμα, οι ομάδες των κλιματικών μεταβλητών συγκρίνονται μεταξύ τους και τα αποτελέσματα αυτών παρουσιάζονται στο παράρτημα στο τέλος της εργασίας.

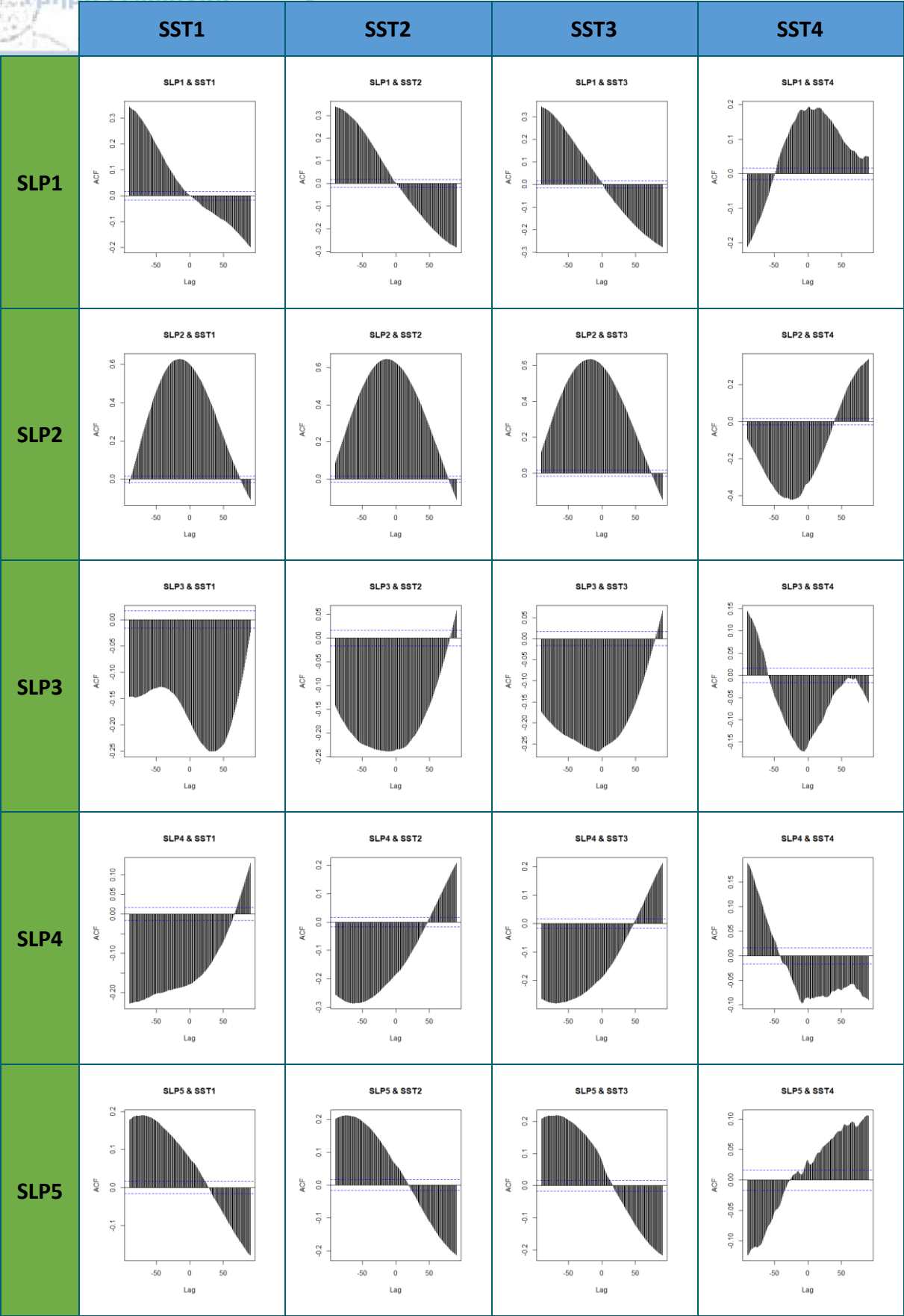
Συσχέτιση υστέρησης SST

Ο Πίνακας 3.5 παρουσιάζει τη συσχέτιση υστέρησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας με τη πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας. Από τον πίνακα προκύπτει ότι η θερμοκρασία της θάλασσας στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (SST1, y variable) και η πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας στην ίδια περιοχή (SLP1, x variable) εμφανίζουν την υψηλότερη συσχέτιση υστέρησης ($\sim 0,34$) στη 90^η αρνητική χρονική μετατόπιση. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση ή μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης θα πραγματοποιηθεί περίπου 90 ημέρες μετά από την μεταβολή της θερμοκρασίας της θάλασσας. Το γεγονός αυτό συμφωνεί με τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.2 (σελ. 58). Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα για τις περιοχές SST2 και SST3 που καλύπτουν τον υπόλοιπο Β. Ατλαντικό εκτός της ζώνης του Ισημερινού, γεγονός που φανερώνει ότι η ατμοσφαιρική πίεση της επιφάνειας της θάλασσας στο βόρειο τμήμα του Ατλαντικού συνδέεται με τις θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας σχεδόν τρεις μήνες πριν. Οι θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας κοντά στον Ισημερινό (SST4) παρουσιάζουν μικρότερη συσχέτιση υστέρησης με το SLP1 κατά μία θετική μετατόπιση δηλαδή μία μέρα πριν.

Παρόμοια εικόνα φανερώνει η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας και για τις τρεις περιοχές (SST1, SST2 και SST3) με την SLP2. Η συσχέτιση υστέρησης είναι της τάξεως των 0,63 και παρουσιάζεται στη 12^η αρνητική χρονική μετατόπιση δηλαδή η αύξηση (μείωση) της ατμοσφαιρικής πίεσης παρατηρείται περίπου 12 μέρες μετά την αύξηση (μείωση) της SST. Ωστόσο, η SLP2 φαίνεται να αυξάνει όταν η θερμοκρασία SST4 μειώνεται κατά τη 23^η αρνητική χρονική μετατόπιση, δηλαδή μετά από 23 μέρες, και το αντίστροφο.

Η συσχέτιση υστέρησης της SST με την SLP3 είναι αρνητική και της τάξεως των -0,25, ειδικότερα η αύξηση της SLP στα μέσα γεωγραφικά πλάτη στο δυτικό τμήμα του Β. Ατλαντικού παρατηρείται 29 μέρες πριν τη μείωση της SST1, και 7 μέρες μετά την μείωση των SST2, SST3 και SST4. Ακόμα, η SLP4 εμφανίζει αρνητική συσχέτιση υστέρησης με τις τρεις πρώτες ομάδες SST και θετική συσχέτιση με τη SST4, περίπου 90 ημέρες μετά σε όλες τις περιπτώσεις. Τέλος, οι SST1 έως SST2 εμφανίζουν μικρή συσχέτιση υστέρησης με τη SLP5, και οι μεταβολές τις πραγματοποιούνται περίπου 70 μέρες μετά από αυτές.

Πίνακας 3.5: Χρονική υστέρηση μεταξύ των ομάδων επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και των ομάδων πίεσης στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας.

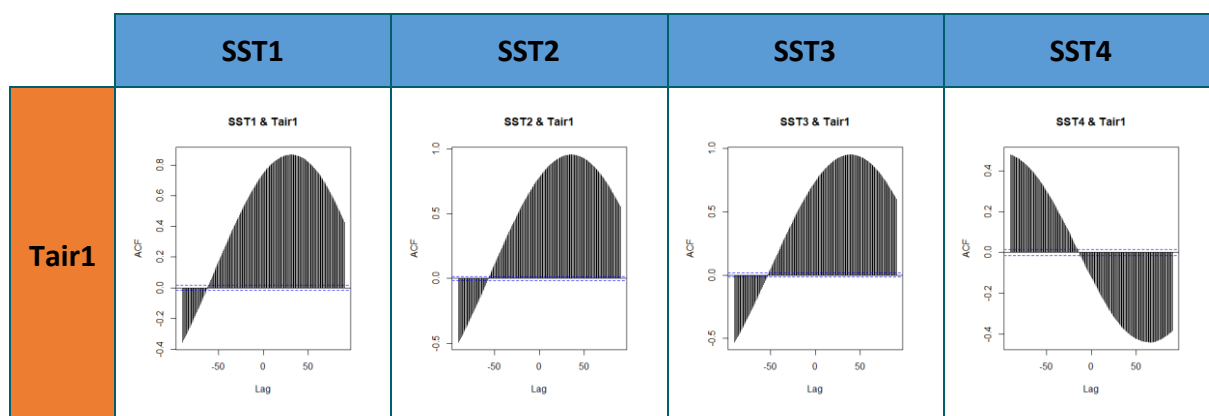


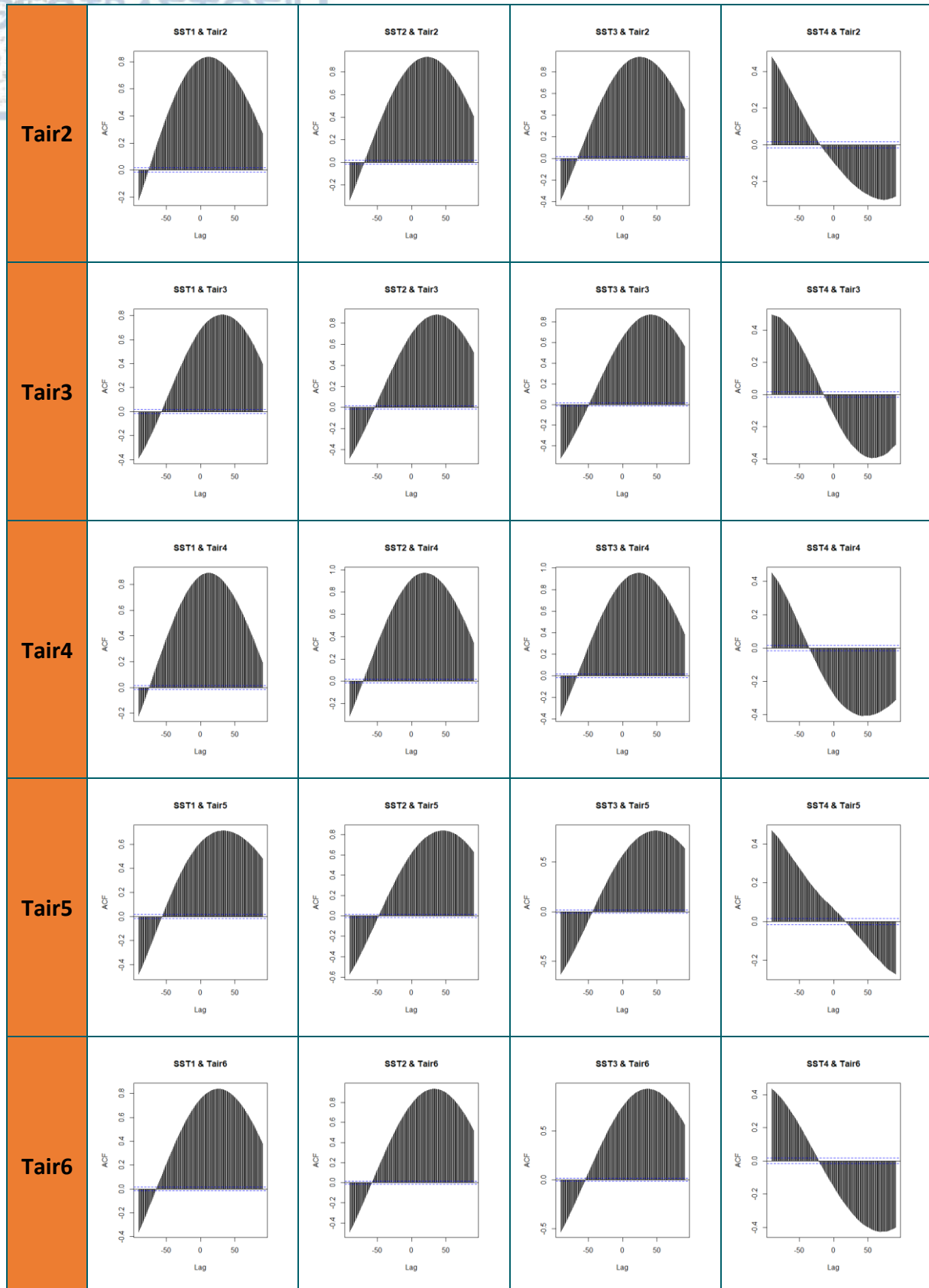
Η χρονική υστέρηση μεταξύ των ομάδων επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και των ομάδων θερμοκρασίας του αέρα παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.6). Προκύπτει πως η θερμοκρασία του αέρα στον ΒΔ Ατλαντικό (Tair1) και οι ομάδες SST1, SST2 και SST3 εμφανίζουν την υψηλότερη συσχέτιση υστέρησης (~0,87) στη 30^η θετική χρονική μετατόπιση, κι επομένως η αύξηση (μείωση) της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας λαμβάνει χώρα 30 μέρες μετά την αύξηση (μείωση) της θερμοκρασίας του αέρα. Αντιθέτως, η θερμοκρασία της θάλασσας στη ζώνη του Ισημερινού (SST4) σημειώνει χαμηλότερη συσχέτιση της τάξεως των -0,48 με την Tair1 στις 90^η αρνητική χρονική μετατόπιση, δηλαδή η θερμοκρασία του αέρα μεταβάλλεται αντίρροπα 3 μήνες μετά τη μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας. Αντίστοιχη εικόνα παρατηρείται και για τη θερμοκρασία του αέρα στο κεντρικό τμήμα του ωκεανού από τα μεγαλύτερα έως τα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη (Tair2), στον ΒΑ Ατλαντικό (Tair3) και στη Β. Ευρώπη και ανατολικά των κεντρικών ΗΠΑ (Tair4).

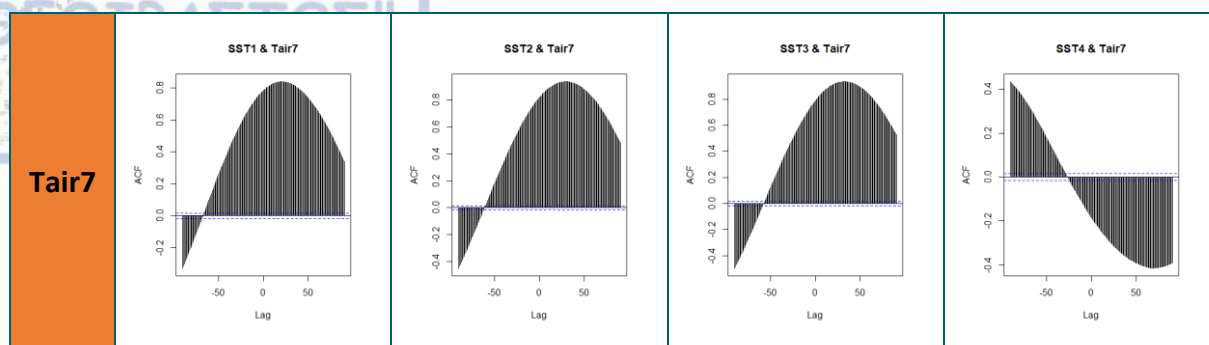
Η κατάσταση μεταβάλλεται ελαφρώς στη χρονική υστέρηση της Tair5 με όλες τις ομάδες SST. Σε αυτήν την περίπτωση, η θερμοκρασία του αέρα στη ΝΔ Ευρώπη – ΒΑ Αφρική και τον Κόλπο του Μεξικό φανερώνει την υψηλότερη συσχέτιση με τις SST1, SST2 και SST3 της τάξεως των 0,71 στη 32^η θετική χρονική μετατόπιση, γεγονός που σημαίνει την αύξηση (μείωση) της θερμοκρασίας του αέρα 32 μέρες πριν την αντίστοιχη αύξηση (μείωση) της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας. Για την SST4 παρατηρείται πάλι παρόμοια μεταβολή με τις προαναφερθείσες, με υψηλότερη χρονική υστέρηση με την Tair5 της τάξεως των 0,47 και την αύξηση της SST 90 μέρες πριν τη μείωση της Tair.

Η χρονική υστέρηση των Tair6 και Tair7 (χερσαίες και θαλάσσιες περιοχές του Καναδά) με τις SST1, SST2 και SST3 εμφανίζει την υψηλότερη συσχέτιση της (~0,83) κατά την 24^η θετική χρονική μετατόπιση, αναδεικνύοντας πως η ομόρροπη μεταβολή της Tair προηγείται της SST κατά 24 μέρες. Αντίθετα, με μικρότερη συσχέτιση της τάξεως των 0,43, προηγείται κατά περίπου 3 μήνες των Tair6 και Tair7 η αύξηση της SST στα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη του Β. Ατλαντικού.

Πίνακας 3.6: Χρονική υστέρηση μεταξύ των ομάδων επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και των ομάδων θερμοκρασίας του αέρα.

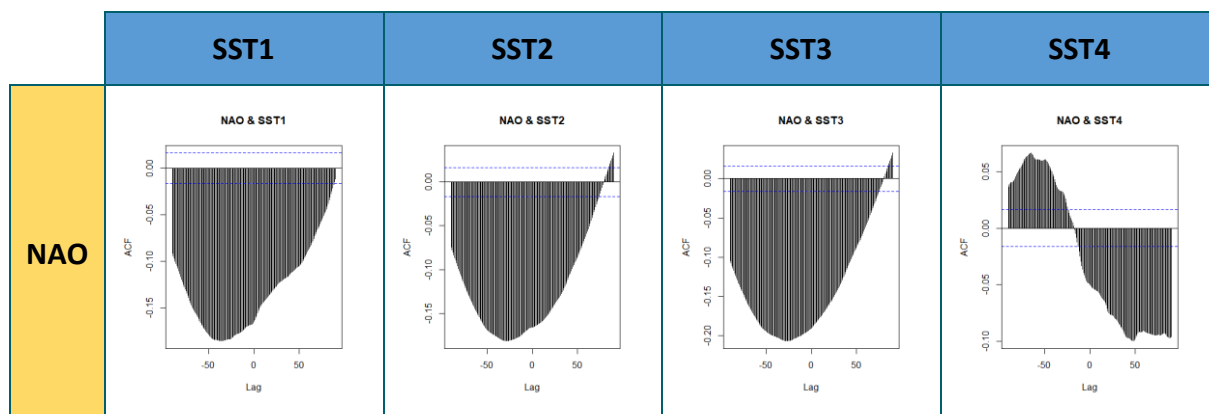






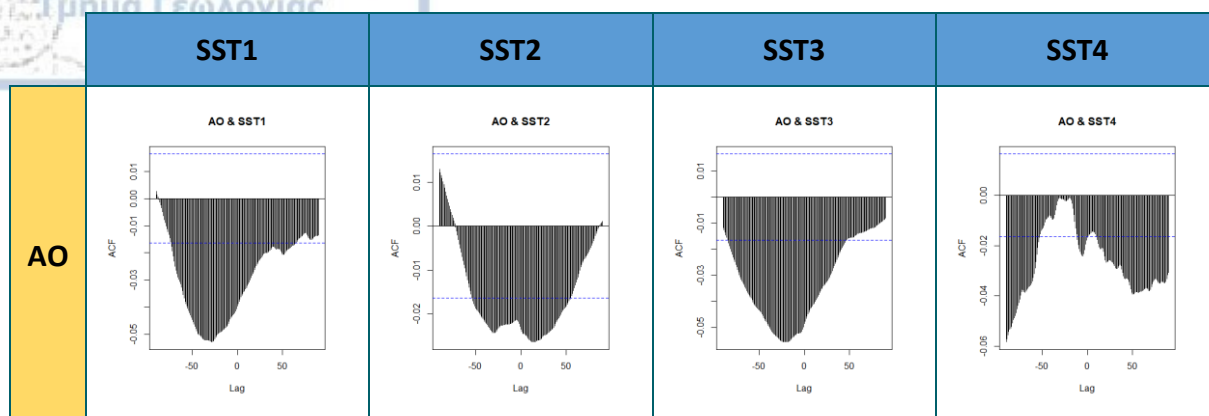
Ο Πίνακας 3.7 φανερώνει τη χρονική υστέρηση μεταξύ των ομάδων θερμοκρασίας της θάλασσας και του δείκτη ταλάντωσης NAO. Η SST δεν εμφανίζει υψηλή συσχέτιση με τον NAO σε οποιαδήποτε περιοχή του Β. Ατλαντικού (ωστόσο σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.2 (σελ. 58), η συσχέτιση των δύο μεταβλητών είναι στατιστικά σημαντική). Ωστόσο, φαίνεται πως η θερμοκρασία της θάλασσας στο μεγαλύτερο μέρος του ωκεανού μεταβάλλεται αντίρροπα του δείκτη μετά από 35 ημέρες, ενώ στη ζώνη του Ισημερινού η συσχέτιση των μεταβλητών είναι ακόμα μικρότερη και η αντίρροπη μεταβολή της θερμοκρασίας λαμβάνει χώρα 47 μέρες πριν του δείκτη.

Πίνακας 3.7: Χρονική υστέρηση μεταξύ των ομάδων επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και του δείκτη ταλάντωσης NAO.



Ακόμα χαμηλότερη συσχέτιση εμφανίζει η SST με τον δείκτη AO (Πίνακας 3.8), η οποία ωστόσο είναι στατιστικά σημαντική (Πίνακας 3.2). Ειδικότερα, η θερμοκρασία της θάλασσας στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και στο κεντρικό τμήμα του Β. Ατλαντικού εμφανίζει την υψηλότερη συσχέτιση της τάξεως των -0,05 με τον δείκτη στη 10^η αρνητική χρονική μετατόπιση, φανερώνοντας την αντίρροπη μεταβολή της SST 10 μέρες μετά το δείκτη. Για την SST2 παρατηρείται η υψηλότερη συσχέτιση κατά την 10^η θετική χρονική μετατόπιση και για την SST4 κατά την 90^η αρνητική. Ωστόσο, σε όλες τις περιπτώσεις η συσχέτιση μεταξύ της SST και του AO είναι χαμηλή.

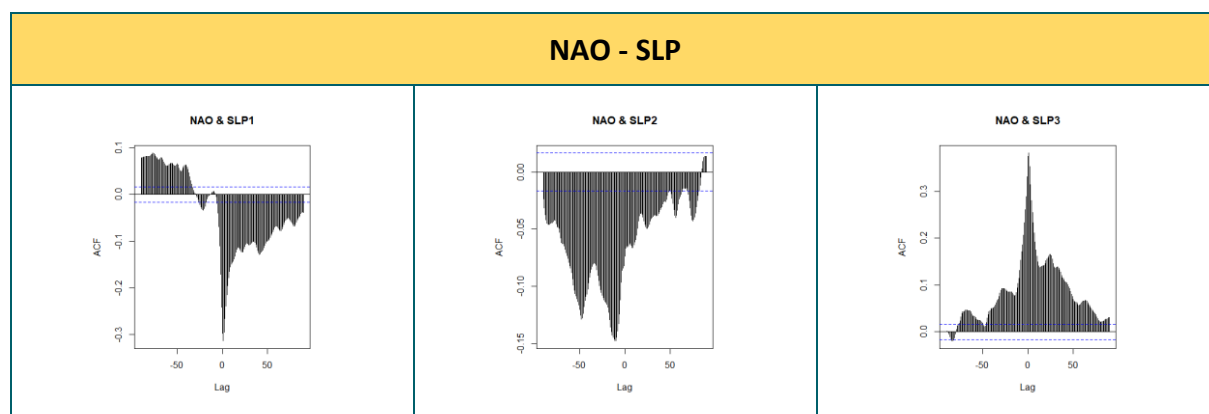
Πίνακας 3.8: Χρονική υστέρηση μεταξύ των ομάδων επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας και του δείκτη ταλάντωσης AO.

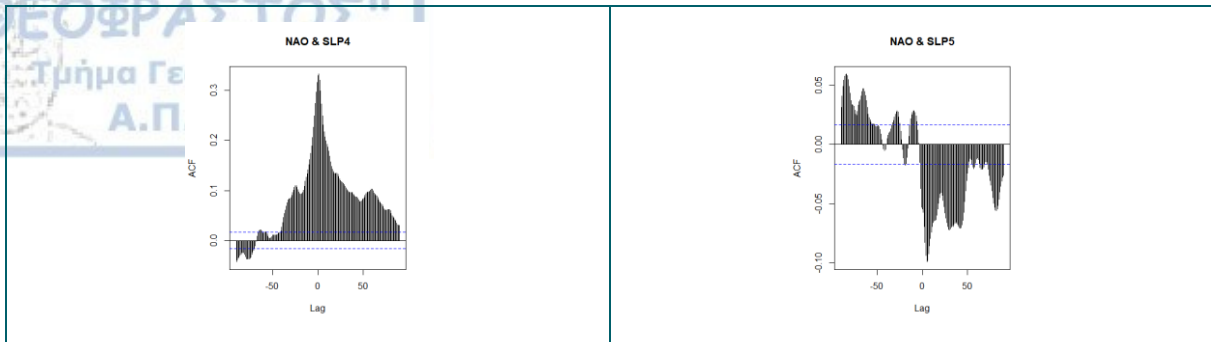


Συσχέτιση υστέρησης δεικτών τηλεσύνδεσης με άλλες κλιματικές μεταβλητές

Ο Πίνακας 3.9 παρουσιάζει τη χρονική υστέρηση μεταξύ του δείκτη τηλεσύνδεσης NAO και των ομάδων πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας. Η SLP1 εμφανίζει την υψηλότερη συσχέτιση της τάξεως των -0,31 με τον NAO κατά την 1^η θετική χρονική μετατόπιση, δηλαδή η πίεση στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη μειώνεται (αυξάνεται) μία μέρα πριν την αύξηση (μείωση) του δείκτη. Μία μέρα νωρίτερα μεταβάλλεται η πίεση σε σχέση με τον NAO και στα μέσα γεωγραφικά πλάτη στο δυτικό τμήμα του Β. Ατλαντικού (SLP3) και στη ΝΔ Ευρώπη – ΒΔ Αφρική (SLP4), με τη μεταβολή όμως σε αυτές τις περιπτώσεις να είναι ομόρροπη. Χαμηλότερη συσχέτιση της τάξεως των -0,15 και 0,1 σημειώνει ο δείκτης NAO με την πίεση στη ζώνη του Ισημερινού και τη Βόρεια Θάλασσα, αντίστοιχα. Η χρονική υστέρηση λαμβάνει χώρα κατά την 11^η αρνητική χρονική μετατόπιση στον Ισημερινό κι επομένως η πίεση μεταβάλλεται 11 ημέρες μετά τον δείκτη, και κατά την 5^η θετική χρονική μετατόπιση στη Β. Θάλασσα.

Πίνακας 3.9: Χρονική υστέρηση μεταξύ του δείκτη τηλεσύνδεσης NAO και των ομάδων πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας.

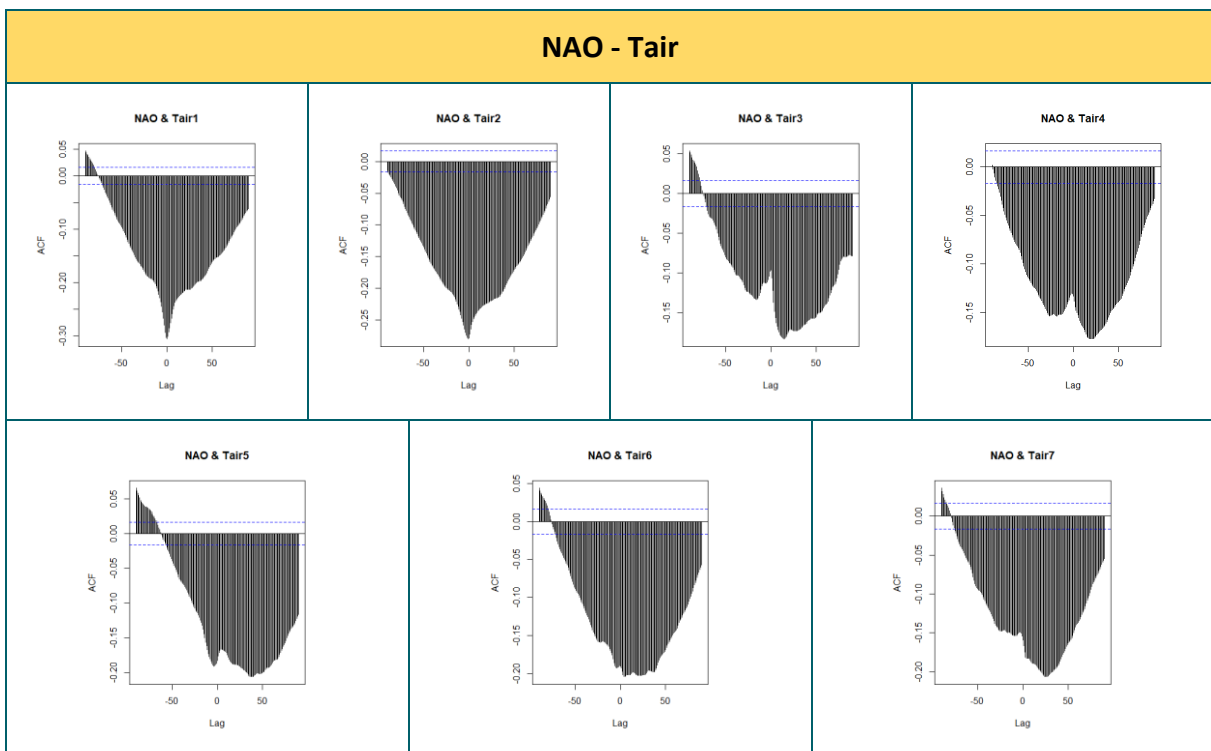




Την υστέρηση συσχέτισης μεταξύ του δείκτη NAO και των ομάδων θερμοκρασίας του αέρα παρουσιάζει ο Πίνακας 3.10. Στον ΒΔ Ατλαντικό (Tair1) και στην κεντρική περιοχή κατά μήκος του ωκεανού (Tair2), η υψηλότερη συσχέτιση με το δείκτη εμφανίζεται στα 0,31 και -0,28, αντίστοιχα. Στην πρώτη περίπτωση η μεταβολή της θερμοκρασίας και του NAO λαμβάνει χώρα αντίρροπα την ίδια μέρα, ενώ στη δεύτερη η αύξηση (μείωση) της θερμοκρασίας σημειώνεται μία μέρα μετά τη μείωση (αύξηση) του δείκτη. Ωστόσο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.2 (σελ. 58), πρόκειται για στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών.

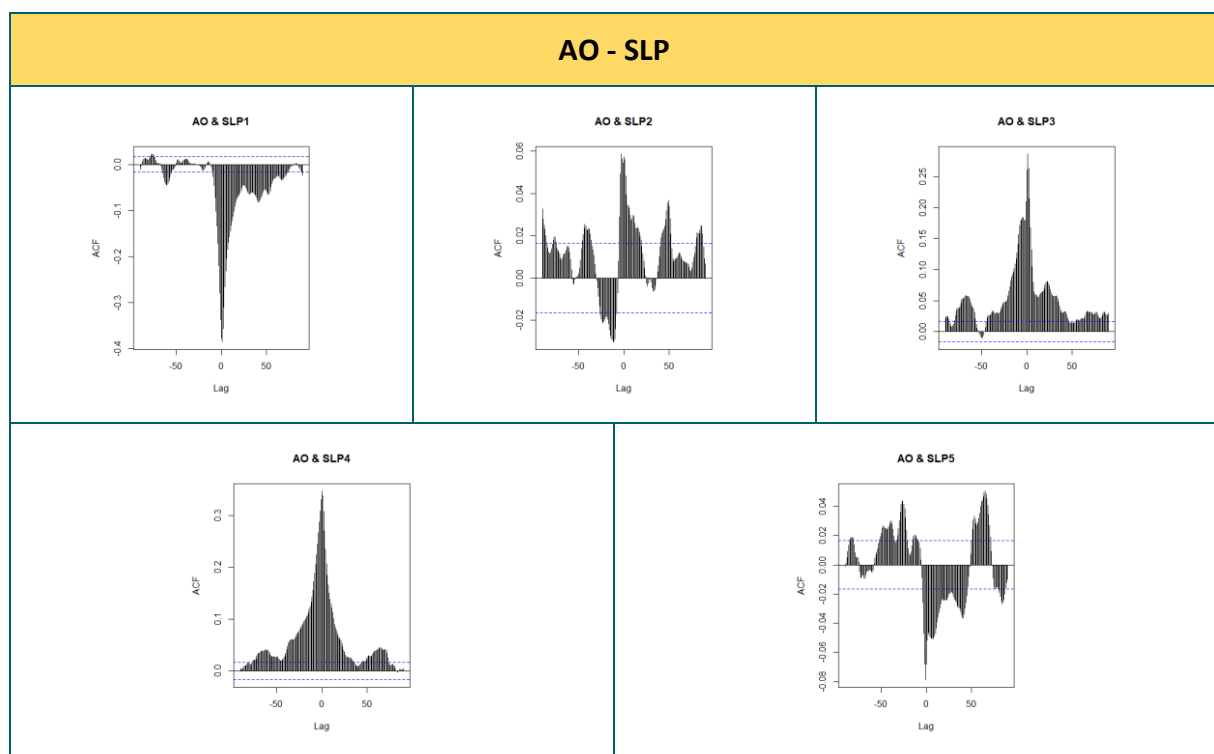
Για τις περιοχές του ΒΑ Ατλαντικού (Tair3), της Β. Θάλασσας και ανατολικά των κεντρικών ΗΠΑ (Tair4), η υψηλότερη συσχέτιση με τον NAO (περίπου -0,18) πραγματοποιείται περίπου κατά τη 15^η θετική χρονική μετατόπιση, δηλαδή η μεταβολή της θερμοκρασίας προηγείται κατά περίπου 15 ημέρες της μεταβολής του δείκτη και είναι αντίρροπή της. Τέλος, στις υπόλοιπες περιοχές του Β. Ατλαντικού, η υψηλότερη συσχέτιση με τον δείκτη είναι της τάξεως των -0,2 για τις Tair5 και Tair7 και των +0,2 για την Tair6. Η αύξηση (μείωση) της θερμοκρασίας του αέρα στις περιοχές αυτές προηγείται αρκετές μέρες της μείωσης (αύξησης) του δείκτη NAO.

Πίνακας 3.10: Χρονική υστέρηση μεταξύ του δείκτη τηλεσύνδεσης NAO και των ομάδων θερμοκρασίας του αέρα.



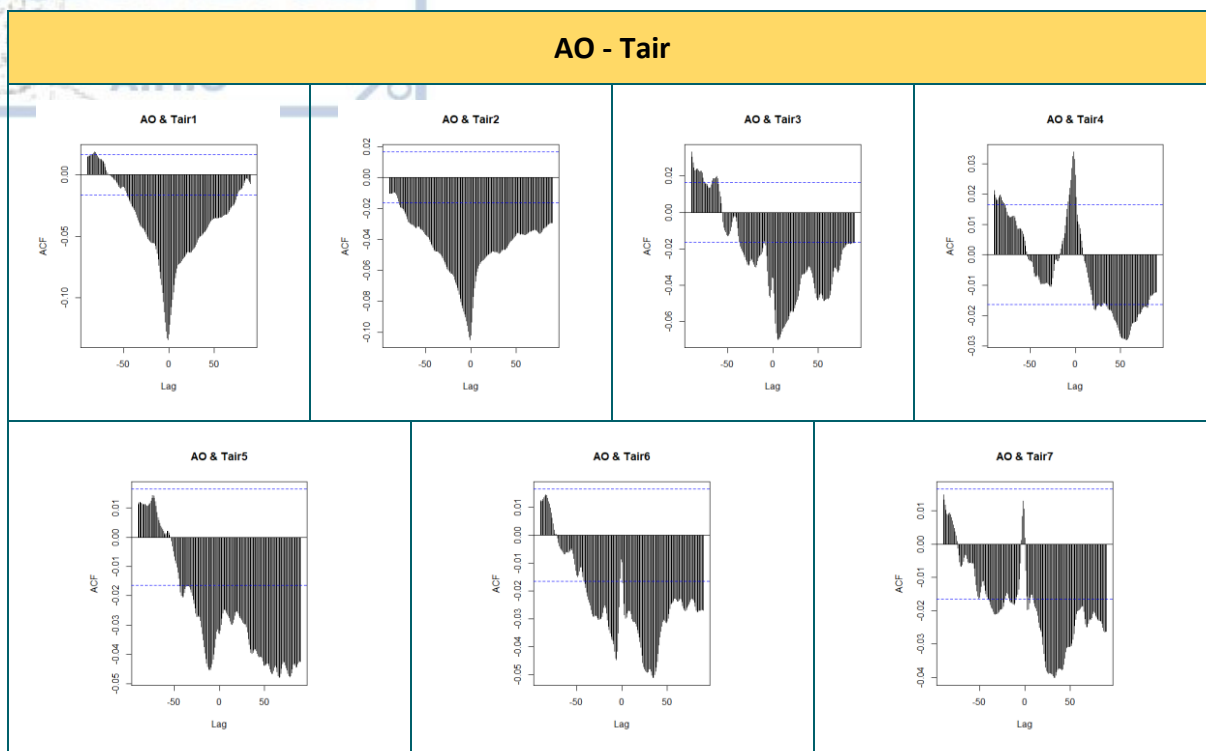
Ο Πίνακας 3.11 παρουσιάζει την χρονική υστέρηση του δείκτη ΑΟ με τις ομάδες πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας. Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός πως για οι SLP1, SLP3 και SLP5 εμφανίζουν την υψηλότερη συσχέτιση με το δείκτη (-0,39, +0,29, -0,08) κατά την 1^η θετική χρονική μετατόπιση. Στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και τη Β. Θάλασσα η μεταβολή της πίεσης είναι αντίρροπη της μεταβολής του ΑΟ και προηγείται αυτής κατά μία ημέρα. Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη του δυτικού τμήματος του Β. Ατλαντικού η συγκεκριμένη μεταβολή είναι ομόρροπη. Στη ζώνη του Ισημερινού (SLP2) η μεταβολή της πίεσης λαμβάνει χώρα τρεις μέρες μετά τη μεταβολή του δείκτη (ομόρροπη και μικρή συσχέτιση των μεταβλητών), ενώ στη ΝΔ Ευρώπη και ΒΑ Αφρική (SLP4) η μεταβολή της πίεσης λαμβάνει χώρα τρεις ημέρες μετά αυτής του δείκτη και η συσχέτιση των μεταβλητών είναι υψηλότερη (+0,27).

Πίνακας 3.11: Χρονική υστέρηση μεταξύ του δείκτη τηλεσύνδεσης ΑΟ και των ομάδων πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας

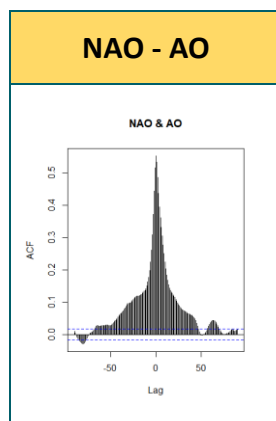


Η υψηλότερη συσχέτιση μεταξύ του δείκτη τηλεσύνδεσης ΑΟ και των ομάδων θερμοκρασίας του αέρα Tair1 (-0,13) και Tair2 (-0,11) λαμβάνει χώρα κατά την 1^η αρνητική χρονική μετατόπιση (Πίνακας 3.12). Επομένως, η αύξηση (μείωση) της θερμοκρασίας υστερεί της μείωσης (αύξησης) του ΑΟ κατά μία ημέρα. Οι υπόλοιπες ομάδες εμφανίζουν αρκετά χαμηλότερη συσχέτιση με τον δείκτη, η οποία είναι και είναι στατιστικά σημαντική (Πίνακας 3.2). Στις Tair3, Tair5, Tair6 και Tair7 η μεταβολή της θερμοκρασίας λαμβάνει χώρα πριν τη μεταβολή του δείκτη. Αντίθετα, η αύξηση (μείωση) της Tair4 σημειώνεται μετά την αύξηση (μείωση) του ΑΟ.

Πίνακας 3.12: Χρονική υστέρηση μεταξύ του δείκτη τηλεσύνδεσης ΑΟ και των ομάδων θερμοκρασίας του αέρα.



Οι δείκτες ταλάντωσης NAO και ΑΟ εμφανίζουν την υψηλότερη συσχέτιση της τάξεως των 0,55 κατά το χρονικό βήμα μηδέν, δηλαδή η αύξηση του NAO και η αύξηση του ΑΟ λαμβάνουν χώρα την ίδια ημέρα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η πιθανή σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST), και των κυρίαρχων προτύπων τηλεσύνδεσης στην περιοχή του Β. Ατλαντικού, καθώς και η σχέση τους με τις κλιματικές μεταβλητές της θερμοκρασίας του αέρα (Tair) και της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας (SLP). Για την επίτευξη του στόχου της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν η μεθοδολογία Ανάλυσης σε Κύριες Συνιστώσες (PCA), η οποία συνέβαλε στην ταξινόμηση του Β. Ατλαντικού σε περιοχές που εμφανίζουν παρόμοιες συνθήκες όσον αφορά στην SST, αλλά και στις υπόλοιπες κλιματικές μεταβλητές. Στη συνέχεια επιχειρήθηκε ο εντοπισμός της σχέσης μεταξύ των κλιματικών μεταβλητών και των δεικτών τηλεσύνδεσης NAO και AO με δύο τρόπους: την απλή γραμμική συσχέτιση και τη συσχέτιση υστέρησης.

Από τη μελέτη των κλιματικών μεταβλητών προέκυψε ότι οι μεταβολές της θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας είναι κυρίως αντιληπτές μεταξύ των διαφορετικών εποχών. Στα μέσα γεωγραφικά πλάτη είναι έντονη η επίδραση του Ρεύματος του Κόλπου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα ακτές των ΒΑ ΗΠΑ και της Δ. Ευρώπης να εμφανίζουν παρόμοιες τιμές θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας. Παράλληλα, στην περιοχή του Ισημερινού παρουσιάζεται μία μέση ελάττωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας της τάξεως των 5°C, η οποία σε ένα ανατολικό τμήμα του Β. Ατλαντικού φτάνει έως τους 10°C που πιθανά να οφείλεται στην άνοδο των υδάτων από μεγαλύτερα βάθη (φαινόμενο «upwelling») λόγω αληγών ανέμων που πνέουν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Mittelstaedt, 1983; McGregor et al., 2007). Από την εφαρμογή της PCA η SST χωρίστηκε σε τέσσερις διακριτές ομάδες. Η θερμότερη και η ψυχρότερη περιοχή βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του Ισημερινού και στη βόρεια περιοχή του Καναδά και της Γροιλανδίας, αντίστοιχα. Οι άλλες δύο περιοχές εμφανίζουν παρόμοιο θερμοκρασιακό εύρος, αλλά η περιοχή του κεντρικού Ατλαντικού εμφανίζει μέση θερμοκρασία μικρότερη κατά 3,5°C. Η SST παρουσιάζει αυξητική τάση που κυμαίνεται μεταξύ 0,1°C - 0,3°C ανά δεκαετία ανάλογα με την ομάδα της PCA. Ενώ στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη παρατηρείται μία αύξηση στην SST της τάξεως των 0,1°C ανά δεκαετία, το 2018, η θερμοκρασία ελαττώνεται σημαντικά (περίπου 0,2°C) σε σχέση με τα προηγούμενα έτη, και το 2019 ξανανεβαίνει. Το γεγονός αυτό ενδέχεται να οφείλεται στο λιώσιμο του παγοκαλύμματος στην περιοχή της Γροιλανδίας το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την εξασθένιση του Ρεύματος του Κόλπου και κατ' επέκταση του ποσού θερμότητας που μεταφέρει (Roebeling et al., 2021). Αντίστοιχες αυξήσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας έχουν εντοπιστεί και από άλλους ερευνητές, όπου οι Kessler et al. (2022) εντόπισαν αύξηση της SST της τάξεως των 0,29°C ± 0,04°C ανά δεκαετία νοτιοανατολικά των ΗΠΑ, ενώ αύξηση της τάξεως των 0,10°C – 0,25°C ανά δεκαετία στις δυτικές όχθες της Ιβηρικής χερσονήσου εντοπίστηκε από τους Biguino et al. (2023).

Από τη μελέτη των συντελεστών συσχέτισης προέκυψε ότι οι ομάδες της SST, συσχετίζονται σημαντικά με όλες τις ομάδες SLP, με την εξαίρεση να αποτελούν οι περιοχές SST στο Β. Ατλαντικό, εκτός του Ισημερινού, που δεν εμφανίζουν στατιστικά

σημαντική συσχέτιση με τις SLP στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Με την θερμοκρασία του αέρα η SST εμφανίζει στατιστικά σημαντική συσχέτιση σε όλες τις περιοχές του ωκεανού, με το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης να παρουσιάζεται μεταξύ των ομάδων SST και της ομάδας Tair4 (ανατολικά των ΗΠΑ). Επιπλέον, στατιστικά σημαντικές είναι και οι συσχετίσεις της SST με τους δείκτες ταλάντωσης NAO και AO, κυρίως στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για τον Ειρηνικό Ωκεανό έχουν δείξει ότι αλλαγές της SST σε τροπικές περιοχές, που ενδέχεται να οφείλονται στο ENSO, μπορούν να επηρεάσουν την ισχύ και τη θέση των NAO και AO (Lim et al., 2019). Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι παρά το γεγονός ότι οι συντελεστές συσχέτισης εμφανίζονται στατιστικά σημαντικοί λόγω του μεγάλου πλήθους του δείγματος, τιμές του συντελεστή συσχέτισης μικρότερες από 0,5 θα πρέπει να αναφέρονται με επιφύλαξη.

Σύμφωνα με τη συσχέτιση υστέρησης, SLP1 αυξάνει στο 0,34 90 μέρες μετά από την μεταβολή της θερμοκρασίας της θάλασσας, ενώ για την περιοχή SLP2 η συσχέτιση γίνεται 0,63 12 μέρες μετά από την μεταβολή της θερμοκρασίας της θάλασσας. Γενικά, ισχύει ότι υπάρχει αρνητική συσχέτιση του NAO περίπου 25 με 35 μέρες πριν τη μεταβολή της θερμοκρασίας στις περισσότερες περιοχές του Β. Ατλαντικού. Ωστόσο, η μεταβολή της SST στα μικρά γεωγραφικά πλάτη φαίνεται να είναι αντίθετη και να λαμβάνει χώρα 47 μέρες πριν τη μεταβολή του NAO. Άλλες επιστημονικές έρευνες συμφωνούν με τη συγκεκριμένη παρατήρηση, εξηγώντας πως η SST στην περιοχή του Κόλπου του Μεξικό παρουσιάζει σημαντικές κύριες συσχετίσεις με το NAO κατά τη διάρκεια του χειμώνα, και υποδηλώνοντας πως η SST σε εκείνη την περιοχή συνεισφέρει στην έναρξη διαταραχών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας πάνω από τον Β. Ατλαντικό το χειμώνα (Wang et al., 2004).

Όσον αφορά στη μέση θερμοκρασία του αέρα, παρατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους μία σταδιακή αύξησή της καθώς μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος, σημειώνοντας τις υψηλότερες τιμές της στη ζώνη του Ισημερινού. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες εμφανίζονται το χειμώνα, κυρίως στις δυτικότερες περιοχές του ωκεανού. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ύπαρξη θερμών ωκεάνιων ρευμάτων που επηρεάζουν τις ανατολικές περιοχές του ωκεανού, όπως το Ρεύμα του Κόλπου, και ψυχρών ωκεάνιων ρευμάτων που επηρεάζουν τις δυτικές περιοχές του, όπως το Ρεύμα του Λαμπραντόρ (Encyclopedia Britannica, 2023b). Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός πως οι σημαντικότερες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα παρατηρούνται στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, το οποίο οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες, όπως η κλίση της Γης σε σχέση με τον ήλιο (τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη λαμβάνουν διαφορετική ποσότητα ηλιακής ενέργειας και επομένως θερμότητας ανάλογα την εποχή), τα επικρατούντα καιρικά συστήματα και οι πολικές αέριες μάζες, καθώς και η ύπαρξη παγοκαλύμματος και η χιονοκάλυψη (τα οποία έχουν μεγάλη ανακλαστικότητα (albedo)) (NASA Earth Observatory, 2007; Lemmons, 2020). Συγκριτικά, η Tair παρουσιάζει μεγαλύτερες διακυμάνσεις από την SST, το οποίο οφείλεται στη διαφορετική θερμοχωρητικότητα της θάλασσας και του αέρα, στις διαφορετικές διεργασίες μεταφοράς θερμότητας που σημειώνονται σε αυτά, καθώς και στη σημαντική επίδραση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην Tair (Byrne M., 2020). Από την εφαρμογή της PCA η Tair χωρίστηκε σε επτά διακριτές ομάδες.

Μία αύξηση της T_{air} παρουσιάζεται το 2010 στις περιοχές του ΒΔ Ατλαντικού, όταν η τιμή της πλησιάζει τους -15°C . Σύμφωνα με το Copernicus, κατά το συγκεκριμένο έτος σημειώθηκε ο δεύτερος θερμότερος Ιούνιος, μετά τον Ιούνιο του 2023 που δε συγκαταλέγεται στην περίοδο μελέτης της παρούσας εργασίας (Copernicus, 2023a). Μεγάλη άνοδος της T_{air} κατά $0,7^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία παρουσιάζεται και στον ΒΑ Ατλαντικό. Κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης παρουσιάζονται μία ακραία ελάττωση της θερμοκρασίας (1988, -12°C) και μία ακραία αύξησή της (2016, $-6,4^{\circ}\text{C}$; Copernicus, 2023b). Αξιοθαύμαστο είναι το γεγονός πως για την πρώτη περίπτωση, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης θεωρούσαν το 1988 ως το πιο θερμό έτος έως τότε (Los Angeles Times, 1989; Weisskopf, 1989).

Από τη μελέτη των συντελεστών συσχέτισης προέκυψε ότι οι ομάδες της T_{air} , εμφανίζουν ουσιώδη συσχέτιση με όλες τις ομάδες επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας, καθώς και με όλες τις ομάδες πίεσης. Οι υψηλότερες συσχετίσεις εντοπίζονται μεταξύ των ομάδων T_{air} και της πίεσης στη ζώνη του Ισημερινού. Επιπλέον, στατιστικά σημαντική είναι και η συσχέτιση της T_{air} με τους δείκτες NAO και AO. Η σχέση του NAO και της T_{air} είναι ιδιαίτερα αντιληπτή κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (John and Reid, 2001), όταν και η ισχύς του προτύπου τηλεσύνδεσης είναι μεγαλύτερη.

Από τη μελέτη της υστέρησης συσχέτισης παρατηρήθηκε πως η T_{air} μεταβάλλεται στο $\sim 0,3$ την ίδια μέρα ή μία μέρα μετά τη μεταβολή του NAO στο μεγαλύτερο τμήμα του Β. Ατλαντικού. Παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και μεταξύ της συγκεκριμένης μεταβλητής και του δείκτη τηλεσύνδεσης AO. Ωστόσο, σε ορισμένες περιοχές η μεταβολή της θερμοκρασίας λαμβάνει χώρα πριν τη μεταβολή του δείκτη. Επιπλέον, συγκριτικά με την SST, στο μεγαλύτερο τμήμα του ωκεανού, η T_{air} σημειώνει ομόρροπη μεταβολή και μάλιστα, οι μεταβολές της T_{air} προηγούνται των μεταβολών SST κατά περίπου 30 μέρες. Διαφορετική εικόνα παρατηρείται για την SST στη ζώνη του Ισημερινού, της οποίας η μεταβολή υστερεί 40 μέρες αλλά είναι αντίρροπη των μεταβολών της SST.

Τέλος, από την κλιματική μελέτη της SLP εντοπίστηκε πως οι χαμηλότερες τιμές της σημειώνονται στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, με την ελάχιστη πίεση να φτάνει τα 990mb τον Ιανουάριο. Οι χαμηλότερες τιμές πίεσης εμφανίζονται στα συγκεκριμένα γεωγραφικά πλάτη λόγω της παρουσίας του Χαμηλού της Ισλανδίας (Lindsey and Dahlman, 2009). Πρόκειται για μία μεταβολή που δε γίνεται αντιληπτή στον εποχικό χάρτη αλλά είναι εμφανής στον μηνιαίο. Επιπλέον, οι υψηλότερες τιμές πίεσης σημειώνονται στα μέσα γεωγραφικά πλάτη (1025mb), με τη γεωγραφική έκταση να είναι μεγαλύτερη κατά τον Ιανουάριο. Οι υψηλότερες πιέσεις σε αυτά τα πλάτη οφείλονται σε υποτροπικά βαρομετρικά συστήματα υψηλής πίεσης (Lemmons, 2022). Την άνοιξη, η γεωγραφική έκταση με τις χαμηλότερες αλλά και υψηλότερες τιμές πίεσης μειώνεται σταδιακά. Το φθινόπωρο η γεωγραφική έκταση στην οποία φανερώνονται οι χαμηλότερες τιμές SLP αυξάνεται και εκτείνεται κατά μήκος του ωκεανού, από τη Β. Αμερική έως τη Β. Ευρώπη. Από την εφαρμογή της PCA η T_{air} χωρίστηκε σε πέντε διακριτές ομάδες. Οι χαμηλότερες μέσες τιμές SLP παρουσιάζονται στην περιοχή δυτικά του Ηνωμένου Βασιλείου, ενώ βορειότερα παρουσιάζονται πιο μεγάλες τιμές. Η αιτία για την εμφάνιση των χαμηλών τιμών

πίεσης στην περιοχή αυτή είναι η ύπαρξη του NAO, και ειδικότερα της αρνητικής του φάσης η οποία συνήθως λαμβάνει χώρα το χειμώνα. Κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης φάσης, η διαφορά της πίεσης του Χαμηλού της Ισλανδίας και του Αντικυκλώνα των Αζορών μειώνεται, με αποτέλεσμα η ισχύς τους να εξασθενεί και να δίνεται η δυνατότητα σε ατμοσφαιρικά συστήματα χαμηλών πιέσεων να αναπτυχθούν (Lindsey and Dahlman, 2009). Ενδιαφέρον προκαλεί η πτωτική τάση στη μέση τιμή πίεσης στη ΝΔ Ευρώπη – ΒΔ Αφρική. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η πίεση μειώνεται κατά 0,07mb ανά δεκαετία. Πτωτική τάση παρατηρείται στα μέσα γεωγραφικά πλάτη στη δυτική πλευρά του Β. Ατλαντικού και στην περιοχή ΝΔ του Ηνωμένου Βασιλείου η οποία είναι της τάξεως των 0,2mb, δηλαδή είναι σημαντικά μεγαλύτερη των υπόλοιπων περιοχών. Η πτώση αυτή ενδέχεται να συνδέεται με τα πρότυπα τηλεσύνδεσης που επικρατούν στον Β. Ατλαντικό (Babolscai and Hirsch, 2018) και στα οποία παρατηρούνται επίσης μεταβολές με την πάροδο των ετών (Visbeck et al., 2001).

Όσον αφορά στη συσχέτισή της με τις άλλες κλιματικές μεταβλητές, η SLP στο μεγαλύτερο τμήμα του Β. Ατλαντικού συσχετίζεται σημαντικά με όλες τις ομάδες SST και Ta_{ir}. Επιπλέον, όσον αφορά στη συσχέτισή της με τους εξεταζόμενους δείκτες ταλάντωσης, αυτή είναι ιδιαίτερα μεγάλη στα βορειότερα γεωγραφικά πλάτη, αλλά στατιστικά σημαντική σε όλες τις περιοχές του ωκεανού. Η ύπαρξη σημαντικής συσχέτισης με τα βορειότερα γεωγραφικά πλάτη δε θα μπορούσε παρά να οφείλεται στην τοποθεσία των δεικτών η οποία βρίσκεται στην περιοχή του Β. Ατλαντικού (Lindsey and Dahlman, 2009).

Η μεταβολή της SLP στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη προηγείται κατά 1 μέρα της μεταβολή της SST στη ζώνη του Ισημερινού, ενώ στα μέσα γεωγραφικά πλάτη στο δυτικό τμήμα του Β. Ατλαντικού λαμβάνει χώρα 29 μέρες πριν της SST στην περιοχή γύρω από τη Γροιλανδία, και 7 μέρες μετά των SST στις υπόλοιπες περιοχές του ωκεανού. Επιπλέον, σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, η SLP φαίνεται να σχετίζεται με την Ta_{ir} κυρίως τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο, γεγονός που ενδέχεται να οφείλεται στην μεγαλύτερη ισχύ των κυρίαρχων προτύπων τηλεσύνδεσης στην περιοχή του Β. Ατλαντικού (Paradimas et al., 2011). Συγκριτικά με τον NAO, στις βορειότερες περιοχές του ωκεανού η μεταβολή της SLP είναι αντίρροπη του NAO και εμφανίζεται μία μέρα πριν τη μεταβολή του NAO, ενώ νοτιότερα η μεταβολή είναι ομόρροπη. Στο υπόλοιπο τμήμα του ωκεανού, η μεταβολή της SLP εμφανίζεται από 5 μέρες πριν έως 11 μέρες αργότερα. Αντίστοιχα, οι μεταβολές της SLP στα μεγάλα και μέσα γεωγραφικά πλάτη πραγματοποιούνται από 1 έως 3 μέρες πριν τη μεταβολή του AO, και όπως και στην παραπάνω περίπτωση, στις βορειότερες περιοχές είναι αντίρροπες του AO και στις υπόλοιπες είναι ομόρροπές του.

Σχετικά με τους δείκτες NAO και AO, των οποίων η συσχέτιση επίσης μελετήθηκε, μεταβάλλονται ομόρροπα και λαμβάνουν χώρα την ίδια μέρα. Συγκεκριμένα, τα δύο πρότυπα τηλεσύνδεσης μπορούν ανάλογα με τη φάση στην οποία βρίσκονται μπορούν να ενισχύσουν το ένα το άλλο. Για παράδειγμα, στη θετική του φάση το NAO μπορεί να ενισχύσει τη θετική φάση του AO, ενώ το αρνητικό NAO μπορεί να αποδυναμώσει τον πολικό αεροχείμαρρο και να επιτρέψει στον αρκτικό αέρα να εισχωρήσει στα μέσα γεωγραφικά πλάτη (Study.com, 2021).

- Ambaum, M., Hoskins, B. and Stephenson, D. (2001). Arctic Oscillation or North Atlantic Oscillation?. J. Climate. 14. pp.3495-3507. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<3495:AOONAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<3495:AOONAO>2.0.CO;2).
- Armitage, T., Bacon, S. and Kwok, R. (2018). Arctic Sea Level and Surface Circulation Response to the Arctic Oscillation. Geophysical Research Letters, 45(13), pp.6576–6584. doi:<https://doi.org/10.1029/2018gl078386>.
- Babolcsai, G. and Hirsch, T. (2018). Teleconnection between mean sea level pressure in the North Atlantic for September, the AMO phase and mean temperature in Central Europe for December (1896–2015). Meteorological Applications, 26(2), pp.267–274. doi:<https://doi.org/10.1002/met.1760>.
- Báez, J.C., Gimeno, L., Gómez-Gesteira, M., Ferri-Yáñez, F. and Real, R. (2013). Combined Effects of the North Atlantic Oscillation and the Arctic Oscillation on Sea Surface Temperature in the Alborán Sea. PLoS ONE, 8(4), p.e62201. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062201>.
- Barnston, A.G. and Livezey, R.E. (1987). Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. Monthly Weather Review, 115(6), pp.1083–1126. doi:[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115%3C1083:csapol%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115%3C1083:csapol%3E2.0.co;2).
- Biguino, B., Antunes, C., Lamas, L., Jenkins, L., João Miguel Dias, Haigh, I.D. and Brito, A.C. (2023). 40 years of changes in sea surface temperature along the Western Iberian Coast. Science of The Total Environment, 888, pp.164193–164193. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164193>.
- Bretherton, C.S., Smith, C. and Wallace, J.M. (1992). An Intercomparison of Methods for Finding Coupled Patterns in Climate Data. Journal of Climate, 5(6), pp.541–560. doi:[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1992\)005%3C0541:aiomff%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1992)005%3C0541:aiomff%3E2.0.co;2).
- Broadus, J. (2019). Atlantic Ocean | Location, Facts, & Maps | Britannica. In: Encyclopædia Britannica. [online] Available at: <https://www.britannica.com/place/Atlantic-Ocean>.
- Bueh, C. and Nakamura, H. (2007). Scandinavian pattern and its climatic impact. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 133(629), pp.2117–2131. doi:<https://doi.org/10.1002/qj.173>.
- Bureau of Meteorology (2010). The three phases of ENSO. [online] Bom.gov.au. Available at: <http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/In-2010-12/three-phases-of-ENSO.shtml>.
- Byrne, M. (2020). Guest post: Why does land warm up faster than the oceans? Carbon Brief [online] Available at: <https://www.carbonbrief.org/guest-post-why-does-land-warm-up-faster-than-the-oceans/>.

Campos, C. and Horn, M. (2018). The Physical System of the Arctic Ocean and Subarctic Seas in a Changing Climate. Springer eBooks, pp.25–40. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-93284-2_3.

Chatfield, C. and Xing, H. (2019). Routledge & CRC Press. (n.d.). The Analysis of Time Series: An Introduction with R. [online] Available at: <https://www.routledge.com/The-Analysis-of-Time-Series-An-Introduction-with-R/Chatfield-Xing/p/book/9781498795630>.

Chen, S., Wu, R. and Chen, W. (2017). A strengthened impact of November Arctic oscillation on subsequent tropical Pacific sea surface temperature variation since the late-1970s. Climate Dynamics, 51(1-2), pp.511–529. doi:<https://doi.org/10.1007/s00382-017-3937-x>.

Claud, C., Duchiron, B. and Terray, P. (2007). Associations between large-scale atmospheric circulation and polar low developments over the North Atlantic during winter. Journal of Geophysical Research, 112(D12). doi:<https://doi.org/10.1029/2006jd008251>.

Climate.gov (2023) (www.climate.gov). Climate Variability: Arctic Oscillation | NOAA Climate.gov. [online] Available at: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-arctic-oscillation>.

Compo, G.P. and Sardeshmukh, P.D. (2008). Oceanic influences on recent continental warming. Climate Dynamics, 32(2-3), pp.333–342. doi:<https://doi.org/10.1007/s00382-008-0448-9>.

Copernicus (2023a) (climate.copernicus.eu). Record-breaking North Atlantic Ocean temperatures contribute to extreme marine heatwaves | Copernicus. [online] Available at: <https://climate.copernicus.eu/record-breaking-north-atlantic-ocean-temperatures-contribute-extreme-marine-heatwaves>.

Copernicus (2023b) (climate.copernicus.eu). Average surface air temperatures for December 2016 | Copernicus. [online] Available at: <https://climate.copernicus.eu/average-surface-air-temperatures-december-2016> [Accessed 18 Oct. 2023].

CPC (2015). Climate Prediction Center. [online] Noaa.gov. Available at: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>.

CPC (2023a) (www.cpc.ncep.noaa.gov). Climate Prediction Center - Teleconnection Introduction. [online] Available at: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/teleintro.shtml> [Accessed 17 Oct. 2023].

CPC (2023b) (www.cpc.ncep.noaa.gov). Climate Prediction Center - North Atlantic Oscillation (NAO). [online] Available at: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/nao.shtml> [Accessed 17 Oct. 2023].

CPC (2023c) (www.cpc.ncep.noaa.gov). Climate Prediction Center - East Atlantic (EA). [online] Available at: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/ea.shtml> [Accessed 17 Oct. 2023].

CPC (2023d) (www.cpc.ncep.noaa.gov). Climate Prediction Center - East Atlantic/Western Russia. [online] Available at: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/eawruss.shtml> [Accessed 17 Oct. 2023].

CPC (2023e) (www.cpc.ncep.noaa.gov). Climate Prediction Center - Scandinavia (SCAND). [online] Available at: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/scand.shtml> [Accessed 17 Oct. 2023].

CPC (2023f) (www.cpc.ncep.noaa.gov). Climate Prediction Center - Polar/Eurasia. [online] Available at: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/poleur.shtml> [Accessed 17 Oct. 2023].

CPC (2023g) (www.cpc.ncep.noaa.gov). Climate Prediction Center - Northern Hemisphere Teleconnection Patterns. [online] Available at: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml> [Accessed 17 Oct. 2023].

Ding, R., Nnamchi, H.C., Yu, J.-Y., Li, T., Sun, C., Li, J., Tseng, Y., Li, X., Xie, F., Feng, J., Ji, K. and Li, X. (2023). North Atlantic oscillation controls multidecadal changes in the North Tropical Atlantic–Pacific connection. *Nature Communications*, 14(1). doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-023-36564-3>.

EEA (2023) (www.eea.europa.eu). Air pollution. [online] Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution>.

Encyclopedia Britannica (2023a). Atlantic Ocean - Hydrology. [online] Available at: <https://www.britannica.com/place/Atlantic-Ocean/Hydrology> [Accessed 17 Oct. 2023].

Encyclopedia Britannica (2023b). Labrador Current | current, Labrador Sea, North America. [online] Available at: <https://www.britannica.com/place/Labrador-Current>.

Franco, B.C., Defeo, O., Piola, A.R., Barreiro, M., Yang, H., Ortega, L., Gianelli, I., Castello, J.P., Vera, C., Buratti, C., Pájaro, M., Pezzi, L.P. and Möller, O.O. (2020). Climate change impacts on the atmospheric circulation, ocean, and fisheries in the southwest South Atlantic Ocean: a review. *Climatic Change*, 162(4), pp.2359–2377. doi:<https://doi.org/10.1007/s10584-020-02783-6>.

Freitas, A., Bernardino, M. and Guedes Soares, C. (2022). The influence of the Arctic Oscillation on North Atlantic wind and wave climate by the end of the 21st century. *Ocean Engineering*, 246, p.110634. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110634>.

Gibbens, S. (2019). The Atlantic Ocean—facts and information. [online] Environment. Available at: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/atlantic-ocean>.

- Grundström, M., Linderholm, H.W., Klingberg, J. and Pleijel, H. (2011). Urban NO₂ and NO pollution in relation to the North Atlantic Oscillation NAO. *Atmospheric Environment*, 45(4), pp.883–888. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.023>.
- Hanna, E. and Cropper, T.E. (2017). North Atlantic Oscillation. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. doi:<https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.22>.
- Hardiman, S.C., Dunstone, N.J., Scaife, A.A., Smith, D.M., Ineson, S., Lim, J. and Fereday, D. (2019). The Impact of Strong El Niño and La Niña Events on the North Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 46(5), pp.2874–2883. doi:<https://doi.org/10.1029/2018gl081776>.
- Hurrell, J.W. (2015). CLIMATE AND CLIMATE CHANGE | Climate Variability. Elsevier eBooks, pp.47–60. doi:<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-382225-3.00109-2>.
- Hurrell, J.W. and Deser, C. (2010). North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. *Journal of Marine Systems*, 79(3-4), pp.231–244. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2009.11.002>.
- Hurrell, J.W., Kushnir, Y., Ottersen, G. and Visbeck, M. (2003). An overview of the North Atlantic Oscillation. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, pp.1–35. doi:<https://doi.org/10.1029/134gm01>.
- IILSS (2021). Border of seas and oceans in the earth (sea and oceans boundaries). [online] IILSS-International institute for Law of the Sea Studies. Available at: <http://iilss.net/border-of-seas-and-oceans-in-the-earth/>.
- International Union for Conservation of Nature (2017). Ocean warming. [online] IUCN. Available at: <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/ocean-warming>.
- Ionita, M. (2014). The Impact of the East Atlantic/Western Russia Pattern on the Hydroclimatology of Europe from Mid-Winter to Late Spring. *Climate*, 2(4), pp.296–309. doi:<https://doi.org/10.3390/cli2040296>.
- Jolliffe, I.T. and Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, [online] 374(2065), p.20150202. doi:<https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>.
- Kessler, A., Goris, N. and Lauvset, S.K. (2022). Observation-based Sea surface temperature trends in Atlantic large marine ecosystems. *Progress in Oceanography*, [online] 208, p.102902. doi:<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102902>.
- Korosec, M. (2021). Double trouble over the North Atlantic - dangerous extratropical storms head for Ireland, UK, and the Faroe Islands with hurricane-force winds tonight through Thursday. [online] Severe Weather Europe. Available at: <https://www.severe-weather.eu/europe-weather/north-atlantic-nao-index-storm-mk/> [Accessed 17 Oct. 2023].

Lemmons, R. (2020). Why Does Climate Vary From One Place To Another - Tropical Rainforest. [online] Climate Policy Watcher. Available at: <https://www.climate-policy-watcher.org/tropical-rainforest/why-does-climate-vary-from-one-place-to-another.html>.

Lemmons, R. (2022). Atmospheric Circulation In Midlatitudes - Ocean Circulation. [online] Climate Policy Watcher. Available at: <https://www.climate-policy-watcher.org/ocean-circulation-2/atmospheric-circulation-in-midlatitudes.html>.

Lindsey, R. and Dahlman, L. (2009). Climate Variability: North Atlantic Oscillation | NOAA Climate.gov. [online] www.climate.gov. Available at: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-north-atlantic-oscillation>.

Lorenz E. (1956). Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction. Technical report. Statistical Forecast Project Report 1, Dept. of Meteor. MIT: 49.

Los Angeles Times (1989). 1988 Was Hottest Year on Record as Global Warming Trend Continues. [online] Los Angeles Times. Available at: <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-1989-02-04-mn-1524-story.html>.

Maynou, F. (2011). Impact of NAO on Mediterranean Fisheries. Advances in global change research, pp.91–102. doi:https://doi.org/10.1007/978-94-007-1372-7_7.

McGregor, H.V., Dima, M., Fischer, H.W. and Mulitza, S. (2007). Rapid 20th-Century Increase in Coastal Upwelling off Northwest Africa. Science, 315(5812), pp.637–639. doi:<https://doi.org/10.1126/science.1134839>.

Merchant, C.J., Minnett, P.J., Beggs, H., Corlett, G.K., Gentemann, C., Harris, A.R., Hoyer, J. and Maturi, E. (2019). Global Sea Surface Temperature. Taking the Temperature of the Earth, pp.5–55. doi:<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814458-9.00002-2>.

Mittelstaedt, E. (1983). The upwelling area off Northwest Africa—A description of phenomena related to coastal upwelling. Progress in Oceanography, 12(3), pp.307–331. doi:[https://doi.org/10.1016/0079-6611\(83\)90012-5](https://doi.org/10.1016/0079-6611(83)90012-5).

Moore, B. (1981). Principal component analysis in linear systems: Controllability, observability, and model reduction. IEEE Transactions on Automatic Control, 26(1), pp.17–32. doi:<https://doi.org/10.1109/tac.1981.1102568>.

Myoung, B., Kim, S., Kim, J. and Kafatos, M. (2013). Influences of North Atlantic Oscillation (NAO) on warm season temperature and crop yields in the southwestern US. NASA ADS, [online] 2013, pp.GC11D1032. Available at: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2013AGUFMGC11D1032M/abstract> [Accessed 17 Oct. 2023].

NASA Earth Observatory (2007) (earthobservatory.nasa.gov.) Cold and Snow. [online] Available at: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/8349/cold-and-snow>.

NCEI (2023a) (www.ncei.noaa.gov). Arctic Oscillation (AO) | National Centers for Environmental Information (NCEI). [online] Available at: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/ao/> [Accessed 17 Oct. 2023].

NCEI (2023b) (www.ncei.noaa.gov). North Atlantic Oscillation (NAO) | National Centers for Environmental Information (NCEI). [online] Available at: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/nao/>.

Nigam, S. (2003). TELECONNECTIONS. Encyclopedia of Atmospheric Sciences, pp.2243–2269. doi:<https://doi.org/10.1016/b0-12-227090-8/00400-0>.

NSIDC (2013). Arctic Oscillation | Arctic Sea Ice News and Analysis. [online] Available at: <http://nsidc.org/arcticseaicenews/tag/arctic-oscillation> [Accessed 17 Oct. 2023].

Oktaviani, F., Miftahuddin and Setiawan, I. (2021). Cross-correlation Analysis Between Sea Surface Temperature Anomalies and Several Climate Elements in The Indian Ocean. doi:<https://doi.org/10.22487/27765660.2021.v1.i1.15354>.

Papadimas, C.D., Bartzokas, A., Lolis, C.J. and Hatzianastassiou, N. (2011). Sea-level pressure–air temperature teleconnections during northern hemisphere winter. Theoretical and Applied Climatology, 108(1-2), pp.173–189. doi:<https://doi.org/10.1007/s00704-011-0523-8>.

PSL (2023) (psl.noaa.gov). Monthly/Seasonal Composites: NOAA Physical Sciences Laboratory. [online] Available at: <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>.

Roberts, S., Boustany, A., Halpin, P. and Rykaczewski, R. (2019). Cyclical climate oscillation alters species statistical relationships with local habitat. Marine Ecology Progress Series, 614, pp.159–171. doi:<https://doi.org/10.3354/meps12890>.

Rodwell, M.J., Rowell, D.P. and Folland, C.K. (1999). Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. Nature, 398(6725), pp.320–323. doi:<https://doi.org/10.1038/18648>.

Roebeling, R., John, V., Prieto, J., Nietosvaara, V., Traeger-Chatterjee, C., Evers-King, H. and Loveday, B. (2021). Observing the cooling of the North Atlantic Ocean during the last decade, using weather satellites. EUMETSAT. [online] Available at: <https://www.eumetsat.int/melting-greenland-ice-sheet-cools-north-atlantic-ocean>.

SciJinks (2016). What Is the Gulf Stream? | NOAA SciJinks – All About Weather. [online] SciJinks.gov. Available at: <https://scijinks.gov/gulf-stream/>.

Storch, H. v. & Navarra, A. (2013). Analysis of Climate Variability. Springer Science & Business Media

Study.com (2021). Arctic Oscillation & North Atlantic Oscillation. Available at: <https://study.com/academy/lesson/arctic-oscillation-north-atlantic-oscillation.html>.

Sun, J. and Wang, H. (2012). Changes of the connection between the summer North Atlantic Oscillation and the East Asian summer rainfall. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 117(D8), p.n/a-n/a. doi:<https://doi.org/10.1029/2012jd017482>.

Thompson, D.W.J. and Wallace, J.M. (1998). The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters*, 25(9), pp.1297–1300. doi:<https://doi.org/10.1029/98gl00950>.

U.S. Navy (2001) (web.archive.org). Atlantic Ocean Facts. [online] Available at: <https://web.archive.org/web/20010302140751/http://oceanographer.navy.mil/atlan tic.html>.

US Department of Commerce, NOAA, National Weather Service (NWS) (2019). What is ENSO? [online] Weather.gov. Available at: <https://www.weather.gov/mhx/ensowhat>.

US EPA (2016). Climate Change Indicators: Sea Surface Temperature | US EPA. [online] US EPA. Available at: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-sea-surface-temperature>.

US NOAA (2019a). How big is the Atlantic Ocean? [online] Noaa.gov. Available at: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/atlantic.html>.

US NOAA (2019b). Climate | National Oceanic and Atmospheric Administration. [online] Available at: <https://www.noaa.gov/climate>.

Vencloviene, J., Braziene, A., Zaltauskaite, J. and Dobožinskas, P. (2018). The Influence of the North Atlantic Oscillation Index on Emergency Ambulance Calls for Elevated Arterial Blood Pressure. *Atmosphere*, 9(8), p.294. doi:<https://doi.org/10.3390/atmos9080294>.

Visbeck, M.H., Hurrell, J.W., Polvani, L. and Cullen, H.M. (2001). The North Atlantic Oscillation: Past, present, and future. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(23), pp.12876–12877. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.231391598>.

Wang, G.-G., Cheng, H., Zhang, Y. and Yu, H. (2023). ENSO analysis and prediction using deep learning: A review. *Neurocomputing*, 520, pp.216–229. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.11.078>.

Wang, W., Anderson, B.T., Kaufmann, R.K. and Myneni, R.B. (2004). The Relation between the North Atlantic Oscillation and SSTs in the North Atlantic Basin. *Journal of Climate*, 17(24), pp.4752–4759. doi:<https://doi.org/10.1175/jcli-3186.1>.

Weisskopf, M. (1989). 1988 SET WARMTH RECORD, BRITISH METEOROLOGISTS REPORT. *Washington Post*. [online] 4 Feb. Available at: <https://www.washingtonpost.com/archive/politics/1989/02/04/1988-set-warmth-record-british-meteorologists-report/b87862ae-0c48-4149-ad57-3e6b85066174/> [Accessed 18 Oct. 2023].

Yang, H., Lohmann, G., Krebs-Kanzow, U., Ionita, M., Shi, X., Sidorenko, D., Gong, X., Chen, X. and Gowan, E.J. (2020). Poleward Shift of the Major Ocean Gyres Detected in a Warming Climate. *Geophysical Research Letters*, 47(5). doi:<https://doi.org/10.1029/2019gl085868>.

Zhang, Q., Li, J., Singh, V.P., Xu, C.-Y. and Deng, J. (2013). Influence of ENSO on precipitation in the East River basin, south China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(5), pp.2207–2219. doi:<https://doi.org/10.1002/jgrd.50279>.

Zhao, J., Cao, Y. and Shi, J. (2006). Core region of Arctic Oscillation and the main atmospheric events impact on the Arctic. *Geophysical Research Letters*, 33(22). doi:<https://doi.org/10.1029/2006gl027590>.

Zheng, Z., Ban, J. and Li, Y. (2021). The Effect of the Arctic Oscillation on the Predictability of Mid-High Latitude Circulation in December. *Frontiers in Physics*, 9. doi:<https://doi.org/10.3389/fphy.2021.736085>.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

