

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Γεωλογίας
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΟ
ΒΟΡΕΙΟ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟ ΩΚΕΑΝΟ

Χριστίνα Ν. Μιχαηλίδου
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2003

	ΣΕΛ.
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
Γενικά.....	5
Δεδομένα.....	5
Μεθοδολογία.....	6
Μερικά Στοιχεία για Τη Θερμοκρασία της Επιφάνειας της Θάλασσας.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο. Ανάλυση του μέσου πεδίου των SSTA και των άκρων τιμών τους.....	14
Α) Γεωγραφική κατανομή των μέσων ετήσιων και μηνιαίων τιμών των SSTA.....	15
Β) Γεωγραφική κατανομή των εποχικών τιμών των SSTA.....	23
Γ) Γεωγραφική κατανομή των άκρων τιμών της SSTA.....	26
1) Μέγιστες Τιμές.....	26
2) Ελάχιστες Τιμές.....	33
Δ) Άκρες τιμές του βόρειου Ατλαντικού ωκεανού.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο. Συσχέτιση των τιμών SSTA σε μηνιαία, εποχική και ετήσια βάση.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. Εφαρμογή επί των τιμών SSTA της μεθόδου: Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες.....	50
Α) Ετήσιες τιμές.....	54
Β) Μηνιαίες τιμές.....	56
Γ) Εποχικές τιμές.....	58
α) Χειμώνας.....	58
β) Άνοιξη.....	61
γ) Καλοκαίρι.....	62
δ) Φθινόπωρο.....	64
Δ) Ανάλυση των χρονοσειρών των SSTA.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. Ανάλυση των χρονοσειρών των τιμών των SSTA.....	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. Αρμονική ανάλυση της ενδοετήσιας κύμανσης των SSTA.....	86
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	105
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	110

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με τη παρούσα διατριβή ειδίκευσης ολοκληρώνεται η φοίτηση μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Μετεωρολογίας- Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν τόσο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής αυτής όσο και καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμότατα τον κ. Τ. Μακρογιάννη, επιβλέποντα καθηγητή, για την αμέριστη βοήθεια, τη συμπαράσταση και τη καθοδήγηση του σε κάθε βήμα της εργασίας αυτής. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω διότι δέχθηκε με μεγάλη χαρά να με αναλάβει έπειτα από τον αιφνίδιο θάνατο του αρχικού επιβλέποντα καθηγητή αυτής της εργασίας, καθηγητή Χ. Σαχσαμάνογλου.

Ο καθηγητής Χαράλαμπος Σαχσαμάνογλου ήταν όπως προείπα, ο αρχικός επιβλέπων αυτής της διατριβής ειδίκευσης. Ήταν αυτός που ανέθεσε αυτή την εργασία σε μένα και ο αρχικός καθοδηγητής αυτής. Η συμβολή του ήταν καθοριστική στην εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Επιθυμώ επίσης να ευχαριστήσω τα δύο άλλα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τους καθηγητές κ. Πέτρο Πέννα και κ. Απόστολο Φλόκα για τις εύστοχες υποδείξεις και τις διορθώσεις που συντέλεσαν στη βελτίωση της διατριβής μου.

Πολύτιμη ήταν η συμπαράσταση και η βοήθεια όλων των μεταπτυχιακών φοιτητών του τομέα, καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ Ιωάννη Τεγούλια και τον Φυσικό κ. Ανδρέα Μπατσή για τις γνώσεις Η/Υ που πρόθυμα μου προσέφεραν καθώς και τη γενικότερη συνεργασία και βοήθεια. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και συμφοιτητές μου Κ. Δούκα, Α. Ορφανού και Κ. Τολίκα για τη συνολική συνεργασία και το ενδιαφέρον τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, η οποία με στήριξε με κάθε τρόπο καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, προπτυχιακών και μεταπτυχιακών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΓΕΝΙΚΑ

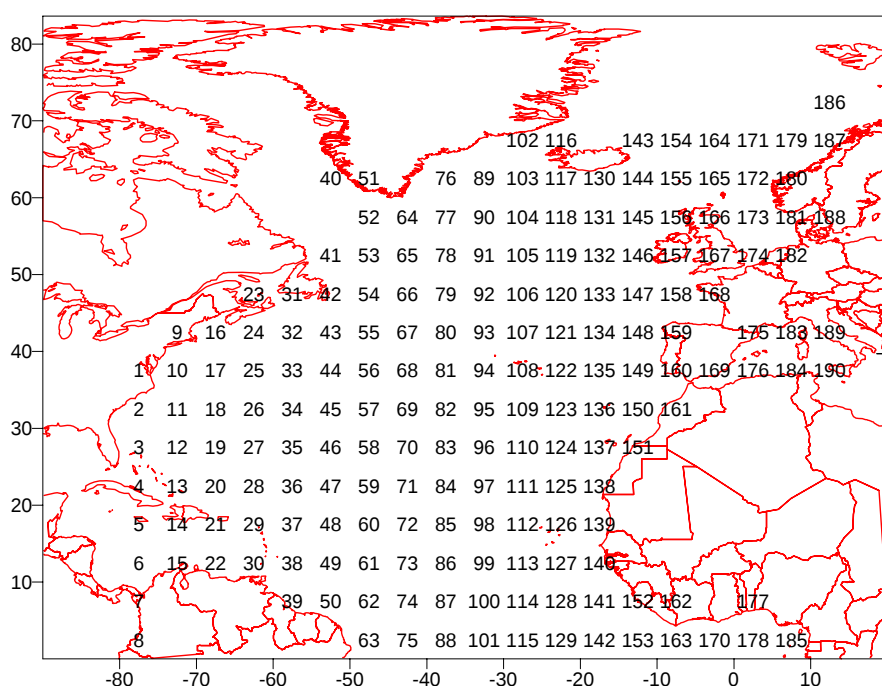
Η μελέτη και κατανόηση των μεταβολών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST) είναι σημαντική τόσο για την ανάλυση κλιματικών μεταβολών και τον εντοπισμό πιθανών κλιματικών αλλαγών όσο και για την πρόβλεψη μελλοντικών κλιματικών συνθηκών. Η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας χρησιμοποιείται συχνά για τον έλεγχο της αξιοπιστίας ατμοσφαιρικών μοντέλων και την εκτίμηση των ροών θερμότητας. Τα δεδομένα SST είναι απαραίτητα για μελέτες που οδηγούν στην κατανόηση και πρόβλεψη τοπικών κλιματικών μεταβολών, ενώ, τέλος, αποτελούν σημαντική παράμετρο εισόδου σε ατμοσφαιρικά μοντέλα ανάλυσης (atmospheric reanalysis models) των τελευταίων 40 ετών ή και περισσότερων (Parker et al., 1995).

Σύμφωνα με τον Holton (1992), οι αποχές της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SSTA) επηρεάζουν την ατμόσφαιρα, μεταβάλλοντας τη ροή αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας από τους ωκεανούς, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό ανώμαλα συστήματα θέρμανσης. Η ικανότητα αυτών των συστημάτων να προκαλέσουν αντιδράσεις σε παγκόσμιο επίπεδο εξαρτάται από το αν έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν κύματα Rossby, κάτι που συμβαίνει αν η θερμική ανωμαλία είναι ικανή να παράγει ανώμαλη κίνηση στο κατακόρυφο επίπεδο και διαταράξει έτσι το πεδίο του στροβιλισμού.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στη παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια μελέτης της συμπεριφοράς των αποχών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SSTA), στην ευρύτερη περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούν μηνιαίες τιμές αποχών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας από τη μέση τιμή της περιόδου 1961-1990. Η περίοδος μελέτης είναι από το 1951 έως και το 1999. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο μέσω της ηλεκτρονικής διεύθυνσης του πανεπιστημίου East Anglia. Η περιοχή μελέτης, όπως φαίνεται και από το σχήμα A.1, είναι η ευρύτερη περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού από τον

Ισημερινό έως τις 75° Βόρεια περίπου και για γεωγραφικό μήκος από 15° Ανατολικά έως 80° Δυτικά. Τα δεδομένα δίνονται σε σημεία εσχάρας με κομβική ανάλυση 5° x 5° (Parker et al., 1995; Rayner et al., 1996) και αντιστοιχούν σε πλήθος 190 τετραγώνων που περιγράφουν την περιοχή μελέτης. Οι τιμές των αποχών αυτών αναφέρονται στο κέντρο του κάθε κομβικού τετραγώνου και για το λόγο αυτό από εδώ και στο εξής θα ονομάζονται κομβικά σημεία. Μερικές ελλείπουσες τιμές συμπληρώθηκαν με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής, η οποία και κρίθηκε ότι ήταν η πιο κατάλληλη. Οι μηνιαίες τιμές τροποποιήθηκαν σε εποχικές και ετήσιες.



ΣΧΗΜΑ Α.1. Περιοχή μελέτης.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο πρώτο στάδιο της παρούσας εργασίας έγινε μια ανάλυση του μέσου πεδίου των SSTA στην περιοχή μελέτης. Κατασκευάστηκαν διαγράμματα που δίνουν την εικόνα της γεωγραφικής κατανομής των μέσων ετήσιων, μηνιαίων και εποχικών τιμών των SSTA, ενώ, στη συνέχεια, δόθηκε και μια εικόνα της κατανομής των άκρων τιμών αυτών.

Σε ένα επόμενο στάδιο, υπολογίσθηκαν οι συντελεστές συσχέτισης των τιμών των SSTA για κάθε ένα κομβικό σημείο με τα υπόλοιπα 189 σε μηνιαία,

εποχική και ετήσια βάση και στη συνέχεια παρουσιάζονται γραφικά οι μέγιστοι και οι ελάχιστοι αυτών.

Στο τρίτο στάδιο της μελέτης, εφαρμόσθηκε η μέθοδος της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες, προκειμένου να εντοπισθούν ομάδες κομβικών σημείων που παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά. Η μέθοδος εφαρμόσθηκε τόσο σε ετήσιες, μηνιαίες όσο και εποχικές τιμές. Εντοπίσθηκαν με τον τρόπο αυτό, δέκα ομάδες οι οποίες ερμηνεύουν από 80 – 85% της συνολικής μεταβλητότητας, με μόνη εξαίρεση την εφαρμογή της μεθόδου στις μηνιαίες τιμές των αποχών, οπότε και τα αποτελέσματα ερμηνεύουν το 69% της συνολικής μεταβλητότητας. Η μέθοδος αυτή βοήθησε σημαντικά στα επόμενα στάδια της μελέτης, δεδομένου ότι στο τέταρτο και πέμπτο στάδιο οι αναλύσεις που επιχειρούνται, εφαρμόζονται σε δέκα μόνο από τις συνολικές 190 χρονοσειρές των κομβικών σημείων της περιοχής μελέτης.

Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση των χρονοσειρών των SSTA για τα δέκα κομβικά σημεία που απομονώθηκαν στο προηγούμενο στάδιο της μελέτης, βάσει της μέγιστης φόρτισης που παρουσίασαν στην αντίστοιχη συνιστώσα. Αρχικά, γίνεται περιγραφή της συμπεριφοράς των SSTA για την χρονική περίοδο της μελέτης, κυρίως, από την εξομαλυσμένη σειρά που προέκυψε από την εφαρμογή κυλιόμενων μέσων 9 ετών. Στο επόμενο στάδιο, στόχος είναι η εύρεση πιθανών τάσεων και κλιματικών αλλαγών των χρονοσειρών των SSTA των δέκα αυτών σημείων. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό t- test Mann- Kendall, καθώς και η προοδευτική ανάλυση αυτών, προκειμένου να παρουσιασθούν εποπτικά οι πιθανές τάσεις και να εντοπισθεί το έτος έναρξης των πιθανών κλιματικών αλλαγών από την τομή της κανονικής με την ανάδρομη καμπύλη.

Στο τελευταίο στάδιο της εργασίας, εφαρμόστηκε η μέθοδος της αρμονικής ανάλυσης στις ετήσιες χρονοσειρές των SSTA για τα δέκα αυτά κομβικά σημεία με απώτερο στόχο τη μελέτη της ετήσιας κύμανσής τους. Μέσω της ανάλυσης αυτής βρέθηκαν το πλήθος των αρμονικών όρων που είναι απαραίτητο για τη βέλτιστη μελέτη της κύμανσης, το πλάτος αυτών των όρων, οι τριγωνομετρικές εξισώσεις που περιγράφουν τη κύμανση σε κάθε

ένα από τα δέκα αυτά κομβικά σημεία και, τέλος, η χρονική στιγμή της μεγιστοποίησης του κάθε αρμονικού όρου.

Η απαραίτητη μεθοδολογία, για την κάθε μια από τις μεθόδους που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται στα επιμέρους κεφάλαια έτσι ώστε να υπάρχει μια συνέχεια στην παρουσίαση αυτών και των αποτελεσμάτων τους. Στη συνέχεια, θα δοθούν κάποια στοιχεία για τη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (SST), η οποία είναι το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας.

ΜΕΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Οι ωκεανοί, όπως είναι γνωστό, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στο κλιματικό σύστημα της γης. Αποτελούν το 70.8% περίπου της συνολικής επιφάνειας της γης, απορροφούν και ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία, αποτελούν τεράστιες αποθήκες θερμότητας, μεταφέρουν θερμότητα, είναι πηγές υδρατμών και ανταλλάζουν αέρια με την ατμόσφαιρα (π.χ. CO₂). Για τους λόγους αυτούς, η μελέτη της θερμοκρασίας της επιφάνειας των ωκεανών και των θαλασσών παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού ρυθμίζει κατ'εξοχήν τη θερμοκρασία των αερίων μαζών που κινούνται πάνω από τις υδάτινες αυτές επιφάνειες.

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά σε κάποια βασικά χαρακτηριστικά των ωκεανών τα οποία είναι απαραίτητα για τη μελέτη αυτή (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου, 1993; Μαχαίρας και Μπαλαφούτης, 1984; Μπλούτσος και Σαχσαμάνογλου, 1998; Σαχσαμάνογλου και Μακρογιάννης, 1998; Φλόκας, 1992). Οι ωκεανοί αποτελούν το 94% της υδρόσφαιρας και καλύπτουν το 70.8% περίπου της γήινης επιφάνειας. Ως τμήμα της υδρόσφαιρας, οι θαλάσσιες εκτάσεις βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση, με την ατμόσφαιρα και τον στερεό φλοιό της γης, που καθορίζουν πολλά από τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του. Αποτελούν γιγάντιους συσσωρευτές ηλιακής θερμότητας και υγρασίας. Οι ωκεανοί δημιουργούν συνθήκες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη και εξέλιξη της ζωής,

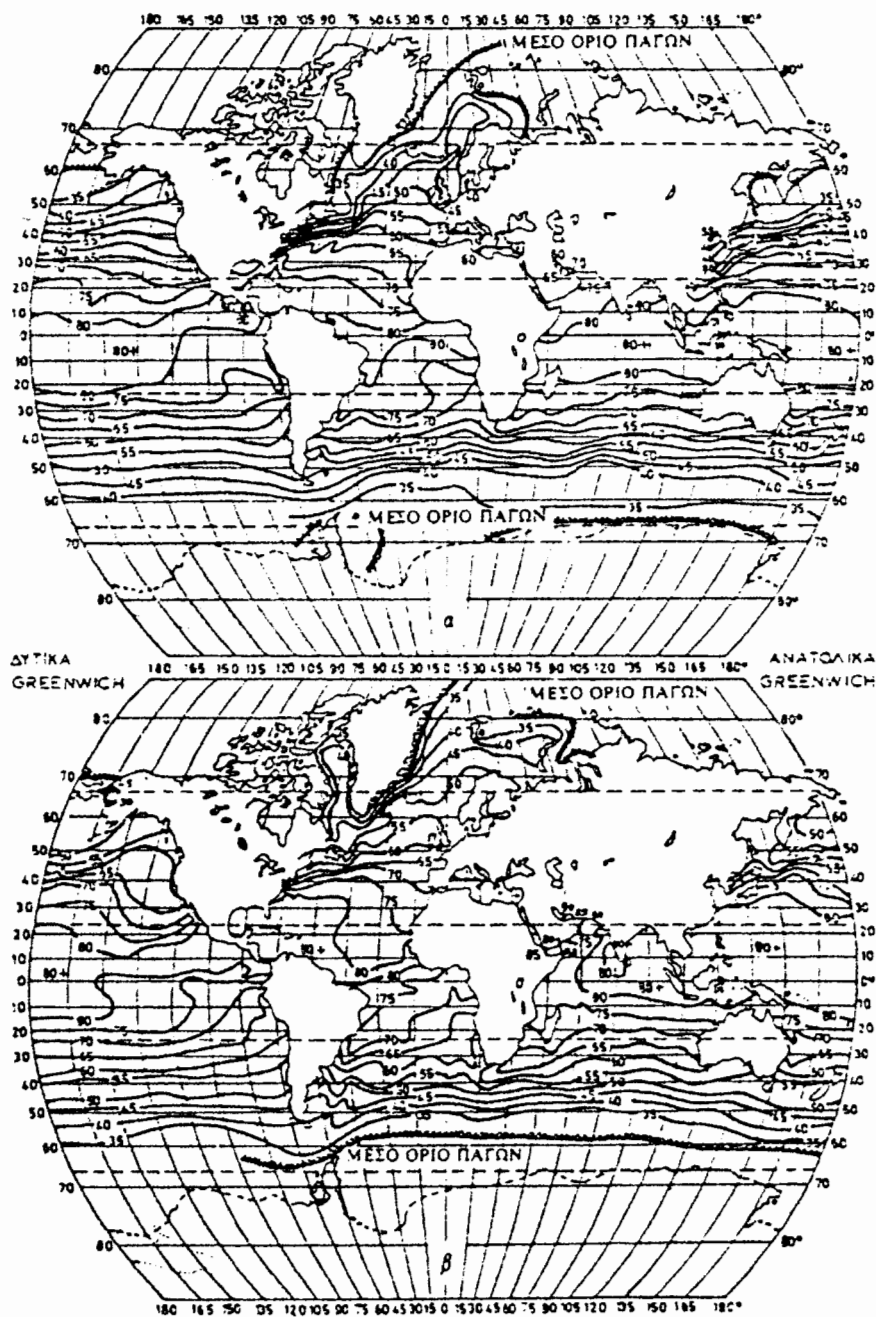
εξισώνοντας διακυμάνσεις θερμοκρασίας και μεταφέροντας υγρασία σε μακρινές εκτάσεις ξηράς.

Τα κύρια στοιχεία του ισοζυγίου της θερμότητας στους ωκεανούς είναι το ισοζύγιο ακτινοβολίας, η απώλεια θερμότητας εξαιτίας της εξάτμισης, η στροβιλώδης μεταφορά θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας των ωκεανών και της ατμόσφαιρας, καθώς και η μεταφορά θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας και των κατώτερων στρωμάτων των ωκεανών. Επιπλέον, το ισοζύγιο θερμότητας των ωκεανών περιλαμβάνει τη μεταφορά της εσωτερικής θερμότητας της γης, τη θέρμανση και ψύξη των ωκεανών, η οποία οφείλεται στις χημικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε αυτούς, τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε θερμική και τη συμπύκνωση των υδρατμών πάνω στην επιφάνεια αυτών.

Η ολική ακτινοβολία αυξάνεται από τα υψηλά γεωγραφικά πλάτη προς τα χαμηλά, φτάνοντας σε ένα μέγιστο στους 20° B. πλάτος περίπου και 20° N. πλάτος, εξαιτίας της ελάχιστης νεφοκάλυψης των περιοχών αυτών, όπου η ατμοσφαιρική πίεση λαμβάνει υψηλές τιμές. Η μέγιστη απώλεια θερμότητας λόγω εξάτμισης παρουσιάζεται, επίσης, σε περιοχές υψηλής ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι ωκεανοί απορροφούν θερμότητα στη ζώνη μεταξύ 30° B. πλάτος και 30° N. πλάτος και την αποδεσμεύουν στην ατμόσφαιρα στα υψηλότερα πλάτη. Με τον τρόπο αυτό, οι ωκεανοί συντελούν στο να γίνει το κλίμα των εύκρατων και πολικών πλατών λιγότερο δριμύ, κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους. Έτσι, οι ωκεανοί, με τις διεργασίες που συντελούνται σε αυτούς, είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν το κλίμα και τον καιρό της γης.

Το λεπτό, ανώτατο στρώμα του νερού των θαλασσών, πάχους 1 εκατοστού, απορροφά το 94% της ηλιακής ενέργειας, που φθάνει μέχρι την επιφάνεια τους. Με την ανάμειξη, η θερμότητα αυτή μεταβιβάζεται σε ολόκληρη τη μάζα του νερού. Οι υπάρχουσες διαφορές στο ισοζύγιο της θερμότητας καθορίζουν τα τοπικά και ζωτικά χαρακτηριστικά της κατανομής της θερμοκρασίας.

από ένα έως δέκα μέτρα βάθος, το οποίο είναι και το εύρος του βάθους στο οποίο είναι τοποθετημένοι οι ειδικοί αισθητήρες. Το στρώμα αυτό είναι, συνήθως, πολύ καλά αναμεμιγμένο και δεν παρουσιάζει σημαντικές κατακόρυφες βαθμίδες θερμοκρασίας.



ΣΧΗΜΑ Α.2. Μέση θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων (σε °F) κατά τους μήνες που σημειώνονται οι άκρες τιμές: α) Φεβρουάριο και β) Αύγουστο (από Φλόκα, 1992).

Η τιμή της θερμοκρασίας των επιφανειακών στρωμάτων των ωκεανών (SST) κυμαίνεται από -2°C έως 32°C περίπου και η γεωγραφική διανομή της

εξαρτάται πιο πολύ από το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή και τα θαλάσσια ρεύματα. Διαφοροποιήσεις εμφανίζουν τα δύο ημισφαίρια, με θερμότερο το βόρειο (σχεδόν 19 °C) κατά 3 °C από το νότιο, εξαιτίας διαφορετικών ηπειρωτικών επιδράσεων. Οι μεγαλύτερες τιμές της SST σημειώνονται σε μια ζώνη που βρίσκεται αμέσως βορειότερα του Ισημερινού (θερμικός Ισημερινός). Εδώ, η μέση ετήσια θερμοκρασία φτάνει τους 28 °C και αυξάνεται στους 32 °C σε τροπικές θάλασσες, οι οποίες περιβάλλονται από στεριά. Η τιμή της μεταβάλλεται γρήγορα σε συνάρτηση με την απόσταση, ιδιαίτερα σε περιοχές συνάντησης θερμών και ψυχρών ρευμάτων.

Η ημερήσια μεταβολή της SST είναι σε όλες τις περιοχές μικρή (μικρότερη από 2.5 °C) λόγω της διαπερατότητας της θάλασσας στις ακτίνες του ηλίου, της μεγάλης ειδικής θερμότητας της θάλασσας, της ανάμιξης των υδάτων λόγω στροβιλισμών και ρευμάτων και, τέλος, της συνεχούς εξάτμισης των υδάτινων επιφανειών. Η ετήσια μεταβολή τόσο στους τροπικούς όσο και στους πόλους δεν υπερβαίνει τους 2.5 °C, ενώ στα μέσα πλάτη (κυρίως στις ανατολικές ακτές των ηπείρων του Βόρειου ημισφαιρίου) παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές έως και 23 °C στις ανατολικές ακτές της Ιαπωνίας. Στο σχήμα Α.2 δίνεται μια εικόνα της γεωγραφικής κατανομής της SST στη γη. Η τιμή της παρουσιάζει μείωση από τον Ισημερινό προς τους πόλους ενώ το νερό εμφανίζει υστέρηση ως προς το χρόνο που σημειώνονται οι άκρες τιμές, λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας.

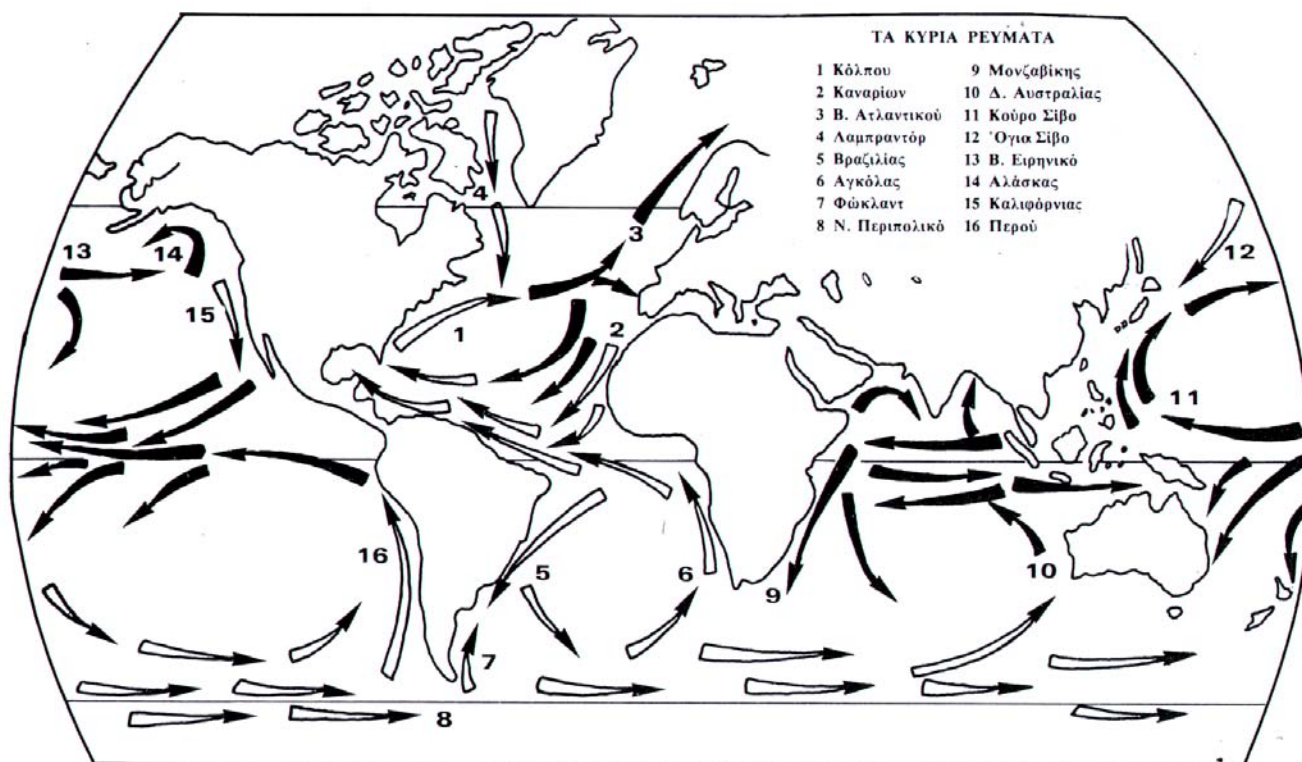
Η διαφορά της θερμοκρασίας ανάμεσα στην επιφάνεια των υδάτων και στον υπερκείμενο αέρα δημιουργεί την κατακόρυφη ροή αισθητής θερμότητας, που παίζει βασικό ρόλο στη μεταφορά θερμότητας από τον Ισημερινό προς τους πόλους.

Σε ότι αφορά τη θερμική συμπεριφορά των υδάτων των ωκεανών κατά βάθος, υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες, όπως η ανάμειξη των επιφανειακών στρωμάτων με τα κατώτερα, η διάταξη των στρωμάτων ανάλογα με την πυκνότητα και η ανωμαλία του ύδατος στους 4 °C.

Η κίνηση των υδάτων των ωκεανών είναι καθοριστικής σημασίας σε μια κλιματική μελέτη, αφού τα θαλάσσια ρεύματα συγκαταλέγονται μεταξύ των παραγόντων που ελέγχουν το κλίμα. Θερμά ύδατα από τους τροπικούς προς

τους πόλους, καθώς και ψυχρά ύδατα των πόλων προς τον Ισημερινό συντελούν στην εξισορρόπηση της θερμικής ενέργειας. Στην κυκλοφορία των νερών των ωκεανών, συμβάλλει ένας ορισμένος αριθμός παραγόντων. Υπό την επίδραση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, επιφανειακά ρεύματα σε βάθη 150-200 μέτρα, σχηματίζουν αντικυκλωνικές κυκλοφορίες στα υποτροπικά και τροπικά γεωγραφικά πλάτη και κυκλωνικές στα εύκρατα και υψηλά. Αντικυκλωνικές κυκλοφορίες σχηματίζονται στα τροπικά γεωγραφικά πλάτη από τα ισχυρά ρεύματα των αληγών ανέμων, που αναπτύσσονται από την επίδραση ΒΑ και ΝΑ ανέμων.

Στο σχήμα Α.3, παρουσιάζονται τα μεγαλύτερα επιφανειακά ρεύματα του πλανήτη. Είναι εμφανές ότι στα μικρά γεωγραφικά πλάτη (τροπικά και υποτροπικά) τα θερμά θαλάσσια ρεύματα έχουν την τάση να κινούνται παράλληλα προς τις ανατολικές ακτές των ηπείρων, τα δε ψυχρά ρεύματα να ρέουν κατά μήκος των δυτικών ακτών αυτών. Στη συνέχεια, τρέπονται προς Βορρά στο βόρειο ημισφαίριο και προς Νότο στο νότιο, και κινούνται κατά μήκος των ηπείρων, σε πλάτος περίπου 40-45°.



ΣΧΗΜΑ Α.3. Τα μεγάλα επιφανειακά ρεύματα των ωκεανών (από Μαχαίρα και Μπαλαφούτη, 1984).

Η μελέτη των θαλάσσιων ρευμάτων (σχήμα Α.3) και η σύγκριση με τους παγκόσμιους χάρτες των πιέσεων και των ανέμων αποκαλύπτει τη στενή σχέση μεταξύ της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας και της κυκλοφορίας των ωκεανών στα μέσα γεωγραφικά πλάτη και των δυο ημισφαιρίων, καθώς και στα μεγάλα πλάτη του νότιου ημισφαιρίου. Στα μεγάλα πλάτη του βόρειου ημισφαιρίου, η ροή καταστρέφεται από τις υπάρχουσες ηπειρωτικές μάζες.

Σε βάθη πάνω από τα 150-200 μέτρα η κυκλοφορία των νερών προκαλείται, κυρίως, από διαφορές στην πυκνότητα του νερού. Σε βάθη 1000-1500 μέτρα τα βυθισθέντα ύδατα εμφανίζονται να κυκλοφορούν κατά παρόμοιο τρόπο με εκείνον της κυκλοφορίας της επιφάνειας. Χάρη στα ρεύματα αυτά, δημιουργείται μια εναλλαγή των νερών μεταξύ του βόρειου και του νότιου τμήματος του ωκεανού και, έτσι, εξασφαλίζεται μια σταθερή αντικατάσταση νερού σε όλα τα βάθη και μια μεταβίβαση των υδρολογικών και χημικών χαρακτηριστικών από την επιφάνεια στο βυθό και αντίστροφα.

Κεφάλαιο 1^ο.

*ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΩΝ SSTA ΚΑΙ
ΤΩΝ ΑΚΡΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΟΥΣ*

Στο πρώτο στάδιο της παρούσας εργασίας, το ενδιαφέρον εστιάστηκε στη μελέτη της συμπεριφοράς των μέσων μηνιαίων τιμών των ανωμαλιών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SSTA), στην περιοχή μελέτης, σε ετήσια, εποχική και μηνιαία βάση. Αρχικά, έγινε η ανάλυση του μέσου πεδίου των SSTA, ενώ, στη συνέχεια, έγινε μια ανάλυση των άκρων τιμών τους.

A) Γεωγραφική κατανομή των μέσων ετήσιων και μηνιαίων τιμών των SSTA.

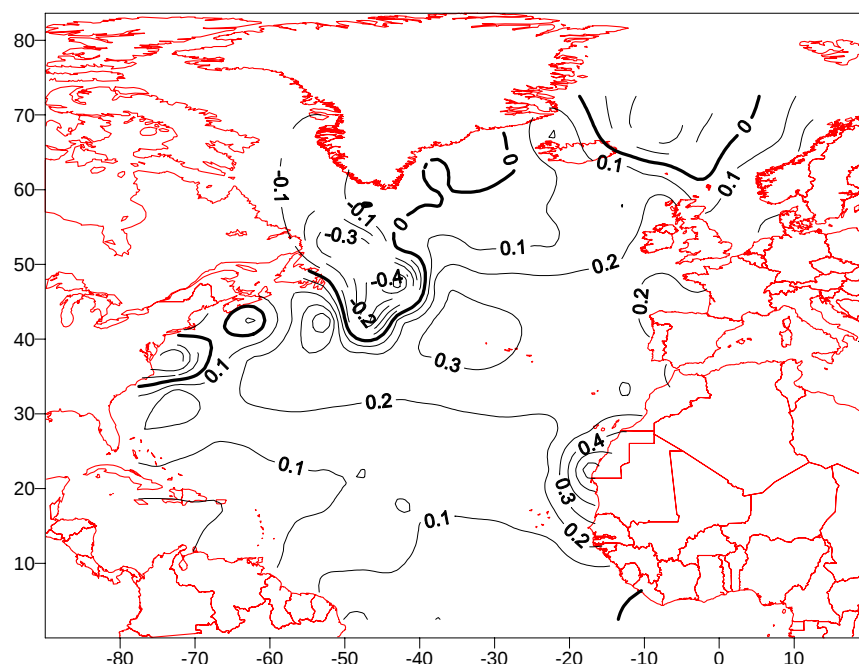
Σε ό,τι αφορά τη γεωγραφική κατανομή των μέσων ετησίων τιμών, των SSTA, στην ευρύτερη περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού, οι τιμές αυτές κυμαίνονται από -0.7°C έως 0.6°C (σχήμα 1.1). Από το σχήμα αυτό, διαπιστώνεται ότι επικρατούν τρία χαρακτηριστικά συστήματα κατανομής των ισόθερμων των ανωμαλιών αυτών. Το πρώτο καλύπτει την περιοχή νοτίως της Γροιλανδίας και αντιστοιχεί σε αρνητικές τιμές αποχών. Το δεύτερο σύστημα χαμηλών, σχετικά, τιμών ανωμαλιών εκτείνεται στο βορειοανατολικότερο τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής. Τέλος, στις δυτικές ακτές της Αφρικανικής ηπείρου παρατηρείται ένα κέντρο σχετικά υψηλών θετικών τιμών των αποχών αυτών, ενώ στο κεντρικό τμήμα του Ατλαντικού ωκεανού οι τιμές των αποχών είναι θετικές, δηλαδή πάνω από τη μέση τιμή της περιόδου αναφοράς (1961-1990).

Με μια εποπτική επισκόπηση των υπολοίπων 12 διαγραμμάτων που ακολουθούν και αναφέρονται σε κάθε μήνα ξεχωριστά, διαπιστώνεται ότι τα παραπάνω τρία συστήματα των ισόθερμων είναι εμφανή σε κάθε μήνα της ανάλυσης. Αυτό που διαφέρει είναι η έκταση που καταλαμβάνουν κάθε φορά τα εν λόγω συστήματα, καθώς και οι τιμές των ανωμαλιών που απεικονίζουν.

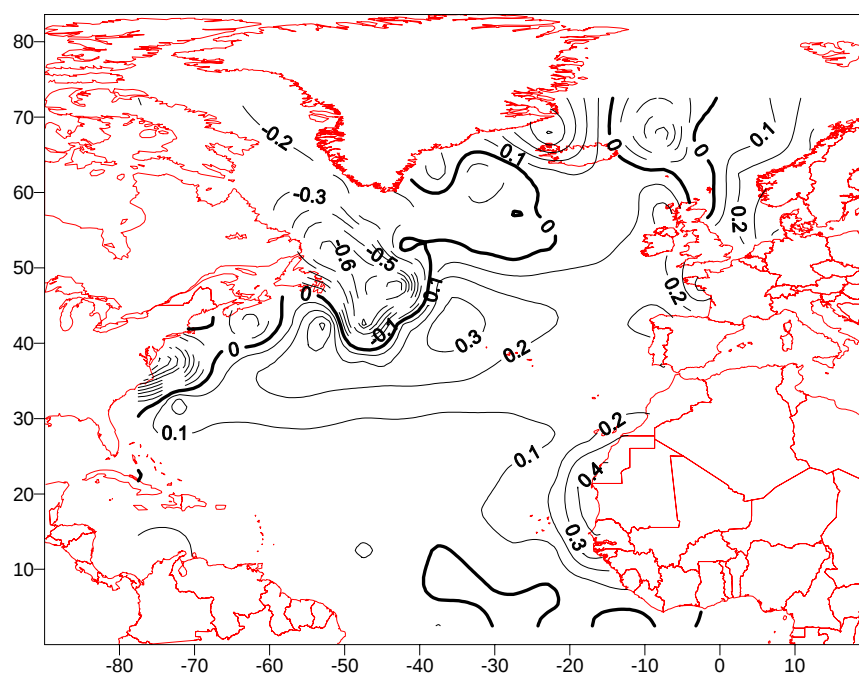
Η παραπάνω κατανομή πιθανόν να οφείλεται στην επίδραση των θαλάσσιων ρευμάτων της περιοχής, που, όπως, είναι γνωστό διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην κύμανση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας.

Στη συνέχεια, κρίθηκε σκόπιμο να επεκταθεί η μελέτη και σε μηνιαία βάση προκειμένου να αποκαλυφθούν πιθανοί παράγοντες που καθορίζουν την συμπεριφορά της SST στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού, όπως

π. χ. η κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα, τα θαλάσσια ρεύματα ή τα μόνιμα βαρομετρικά συστήματα της περιοχής.



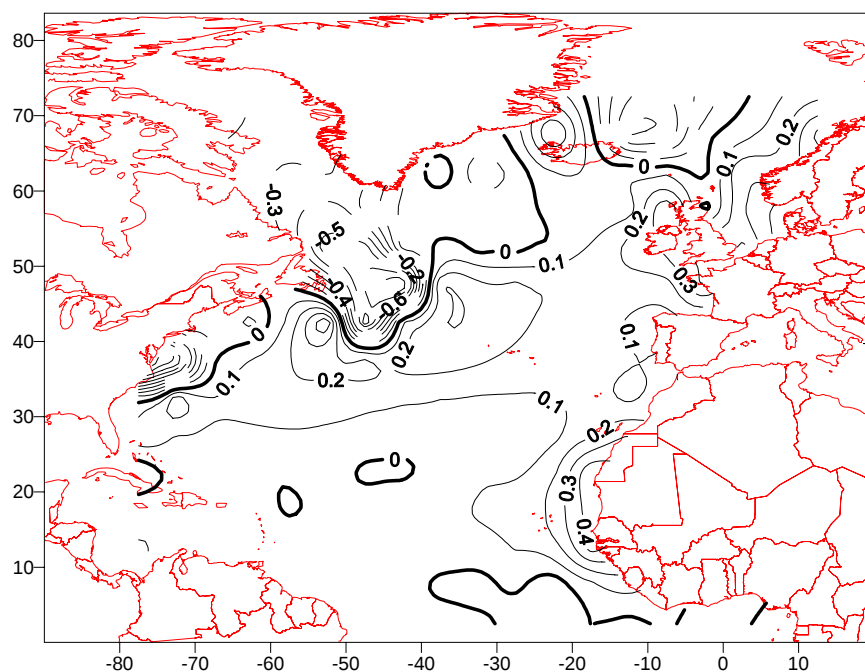
ΣΧΗΜΑ 1.1. Γεωγραφική κατανομή των μέσων ετήσιων τιμών των SSTA.



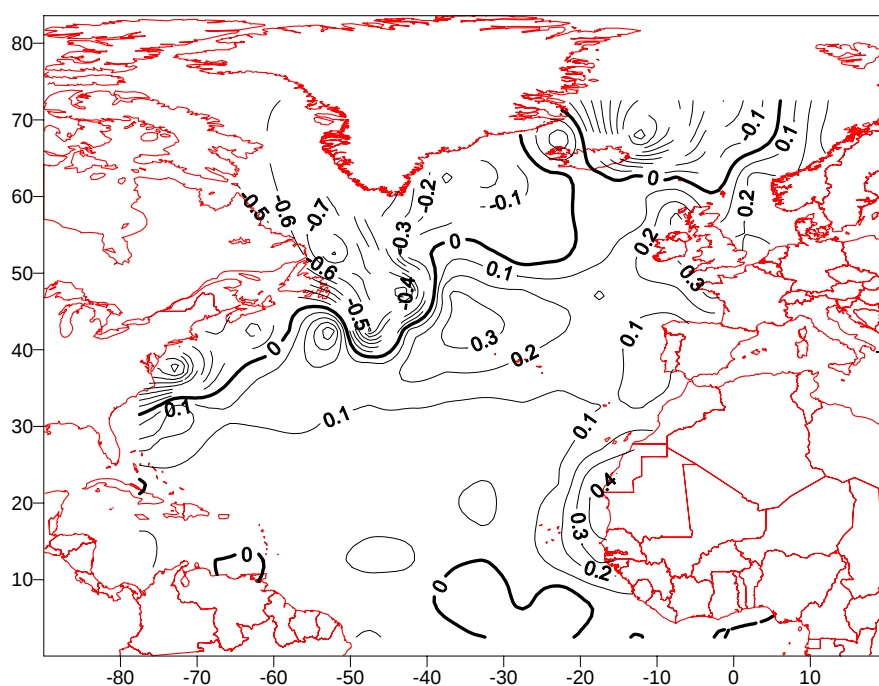
ΣΧΗΜΑ 1.2. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά τον Ιανουάριο.

Το σχήμα 1.2 αναφέρεται στον **Ιανουάριο**. Οι τιμές των αποχών αυτών κυμαίνονται από -1.3°C έως 0.5°C . Τα συστήματα, που

προσδιορίστηκαν προηγουμένως, εμφανίζονται και στο μήνα αυτό, ενώ η ισόθερμη του μηδενός, δηλαδή η ισόθερμη που αντιστοιχεί σε τιμές ίσες με αυτές της περιόδου αναφοράς (1961-1990), είναι ελαφρώς πιο εκτεταμένη νοτιοδυτικά της Ισλανδίας.



ΣΧΗΜΑ 1.3. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά το Φεβρουάριο.

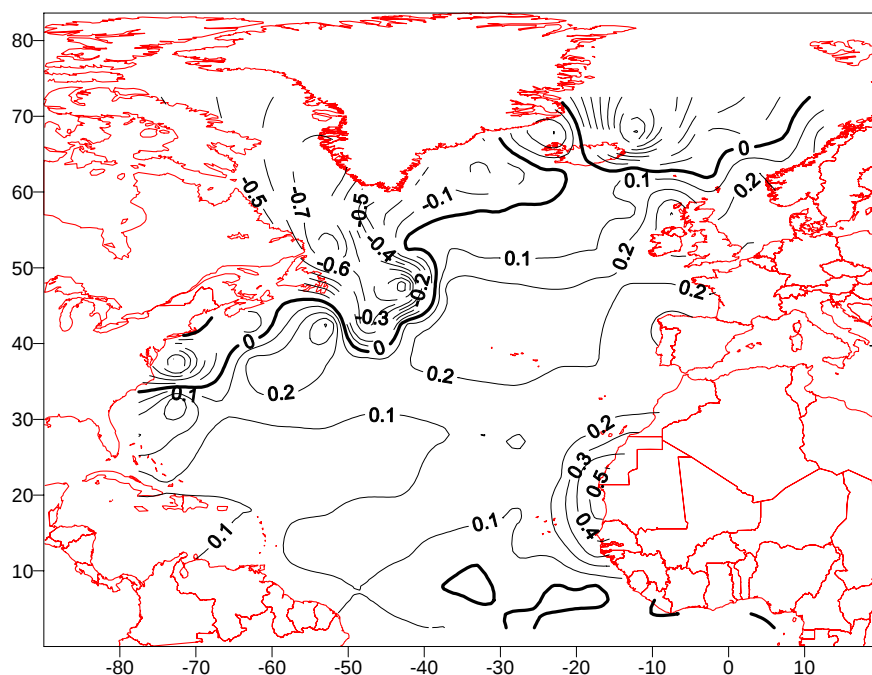


ΣΧΗΜΑ 1.4. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά το Μάρτιο.

Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των αποχών της SST κατά το **Φεβρουάριο**. Η εικόνα που παρουσιάζουν αυτοί οι δύο μήνες του χειμώνα είναι σχεδόν ίδια, με μικρές ίσως διαφοροποιήσεις στο κεντρικό κομμάτι του ωκεανού που ωστόσο δεν είναι σημαντικές. Ακόμα και οι τιμές των αποχών κυμαίνονται μέσα στα ίδια όρια.

Το σχήμα 1.4 αντιστοιχεί στην κατανομή των αποχών αυτών κατά το **Μάρτιο**. Οι τιμές τους κυμαίνονται από -1°C έως 0.5°C . Τα χαρακτηριστικά που εντοπίστηκαν αρχικά, επικρατούν και στο διάγραμμα αυτό, ενώ μικρές είναι οι διαφορές κατά το μήνα αυτό με τους δύο προγενέστερους του.

Ακολουθεί το σχήμα 1.5 του **Απριλίου**. Οι τιμές κινούνται στα ίδια επίπεδα με αυτές του Μαρτίου, ενώ τα κυρίαρχα συστήματα και στη περίπτωση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανή.

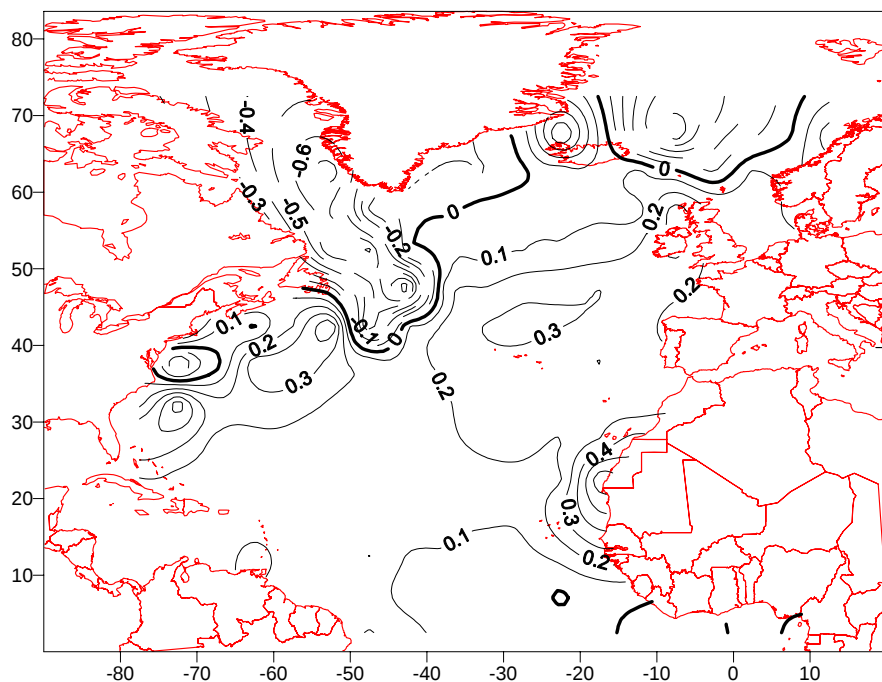


ΣΧΗΜΑ 1.5. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών της SST κατά τον Απρίλιο.

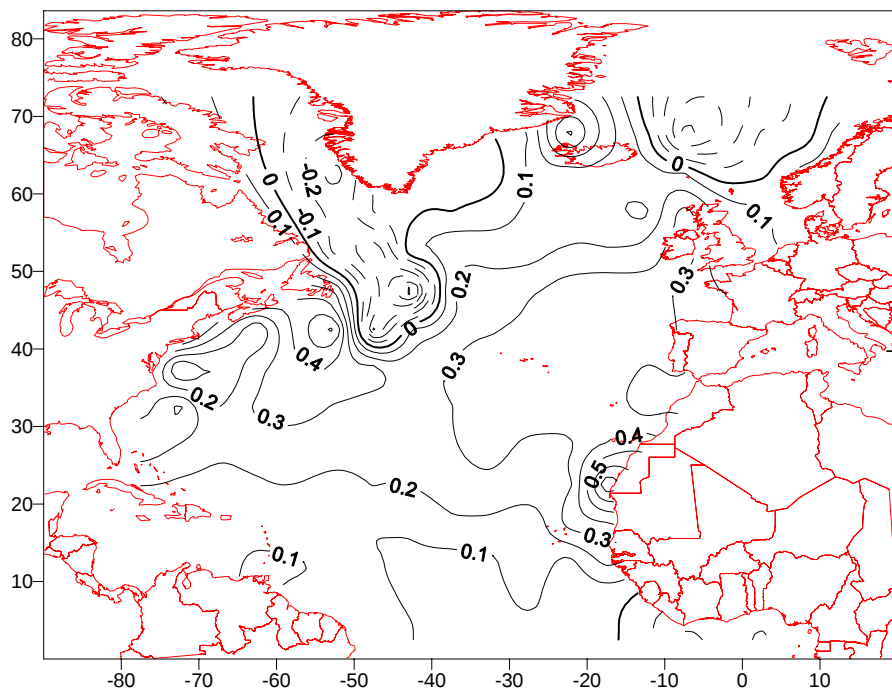
Το **Μάιο**, όπως είναι φανερό στο σχήμα 1.6, οι τιμές κυμαίνονται από -0.9°C έως 0.7°C . Οι τιμές των αποχών, στο σύνολο της περιοχής μελέτης, είναι υψηλότερες σε σχέση με τους προηγούμενους μήνες, ενώ σημαντικό είναι και το σύστημα των δύο κλειστών ισοθέρμων που παρατηρείται στην περιοχή εκκίνησης του ρεύματος του Κόλπου. Τέλος, από το μήνα αυτό

αρχίζει να εμφανίζεται ένας περιορισμός της ισόθερμης του μηδενός βορειότερα.

Κατά τον **Ιούνιο** (σχήμα 1.7), η ισόθερμη του μηδενός έχει πλέον περιορισθεί αρκετά βόρεια. Τα τρία χαρακτηριστικά συστήματα παρατηρούνται και κατ' αυτόν το μήνα.

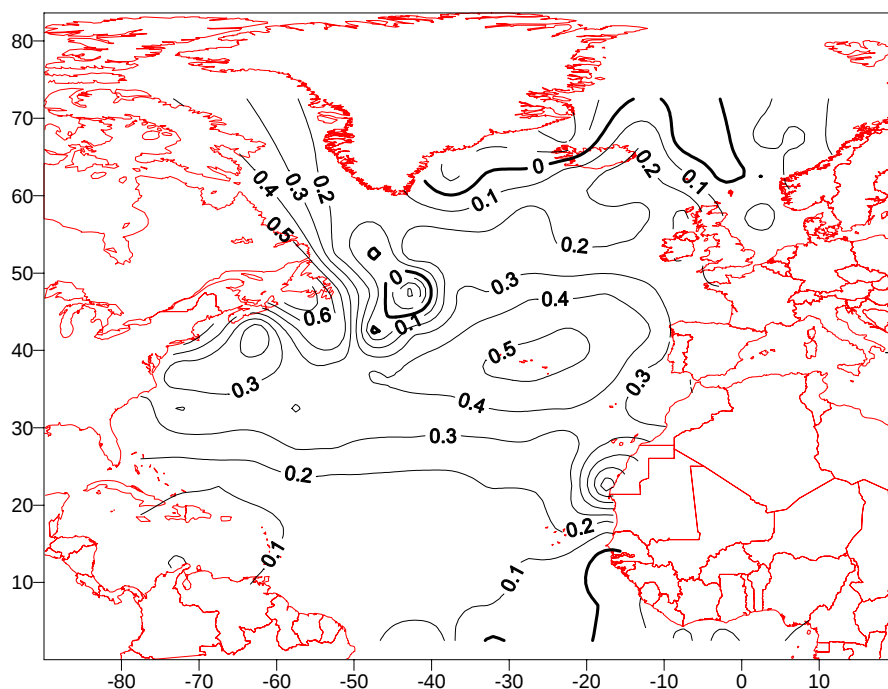


ΣΧΗΜΑ 1.6. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά το Μάιο.



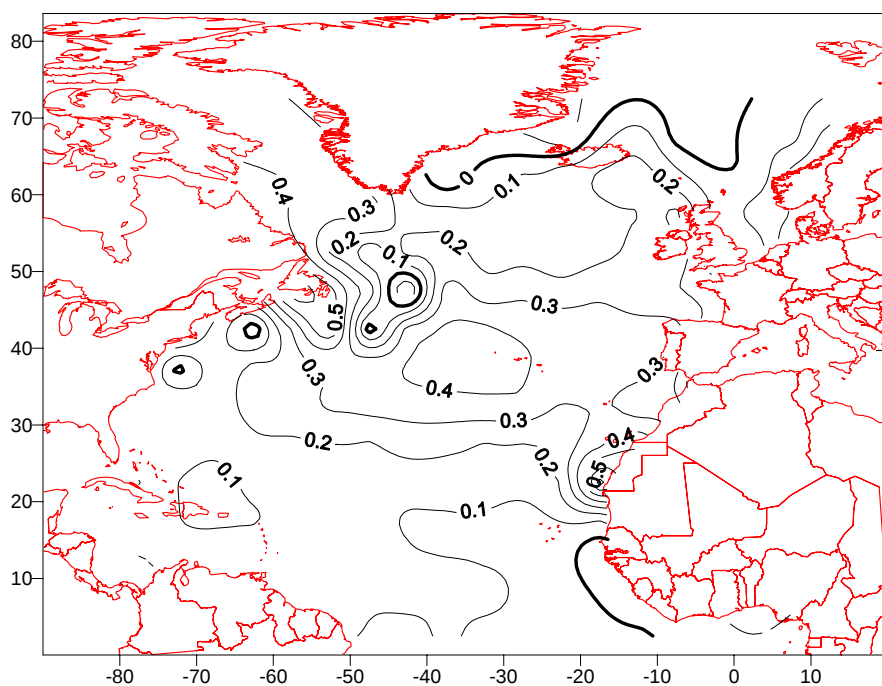
ΣΧΗΜΑ 1.7. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά τον Ιούνιο.

Τον **Ιούλιο**, όπως φαίνεται και από το σχήμα 1.8, η γενική εικόνα της γεωγραφικής κατανομής των μέσων μηνιαίων τιμών της SSTA αλλάζει. Το κέντρο χαμηλών τιμών των αποχών που κάλυπτε την περιοχή νοτίως της Γροιλανδίας έχει περιορισθεί σημαντικά και κάτι ανάλογο παρατηρείται και στην περιοχή του βορειοανατολικού Ατλαντικού. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι και στις δυο αυτές περιοχές δε σημειώνονται πλέον σημαντικές τιμές αρνητικών αποχών, κάτι που τις χαρακτήριζε σε όλους τους προηγούμενους μήνες. Οι τιμές, γενικά, παρουσιάζουν αύξηση σε σχέση με τους προηγούμενους μήνες, ενώ στο κεντρικό κομμάτι του ωκεανού εντοπίζεται ένα νέο κέντρο θετικών τιμών των αποχών που καταλαμβάνει σημαντική έκταση.



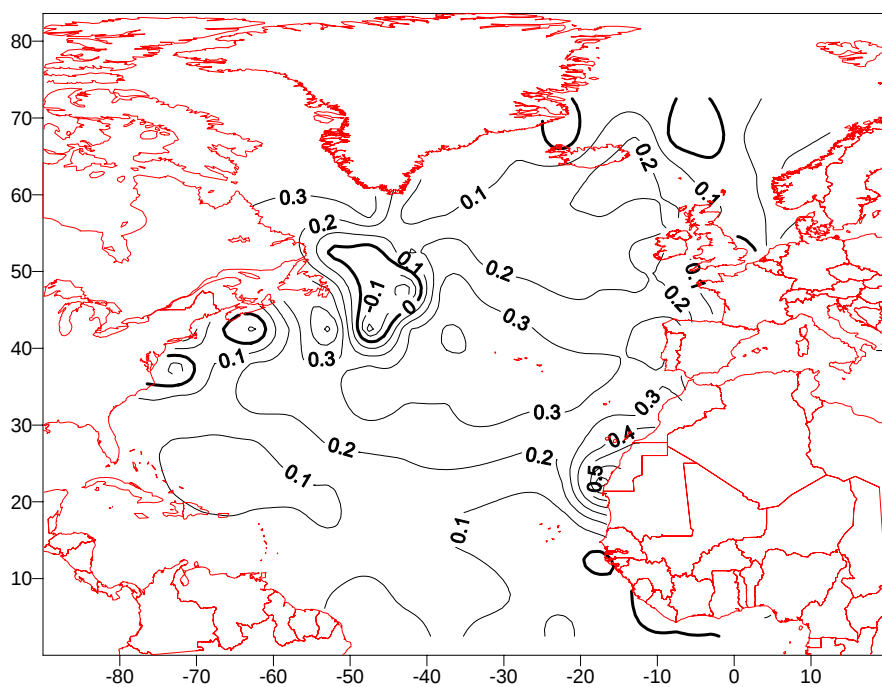
ΣΧΗΜΑ 1.8. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά τον Ιούλιο.

Κατά το μήνα **Αύγουστο**, (σχήμα 1.9) διαπιστώνεται ότι αν και οι τιμές των αποχών κατά τον μήνα αυτό λαμβάνουν ίδιες τιμές με αυτές του Ιουλίου ωστόσο όλα τα συστήματα των ισόθερμων είναι εμφανώς περιορισμένα σε έκταση. Η αρχική "γλώσσα" αρνητικών τιμών των SSTA, που κάλυπτε την περιοχή νότια της νήσου της Γροιλανδίας, τείνει πια να εκφυλισθεί σε ένα κλειστό κέντρο, με μικρή έκταση. Οι τιμές των αποχών είναι από -0.4°C έως 0.7°C .



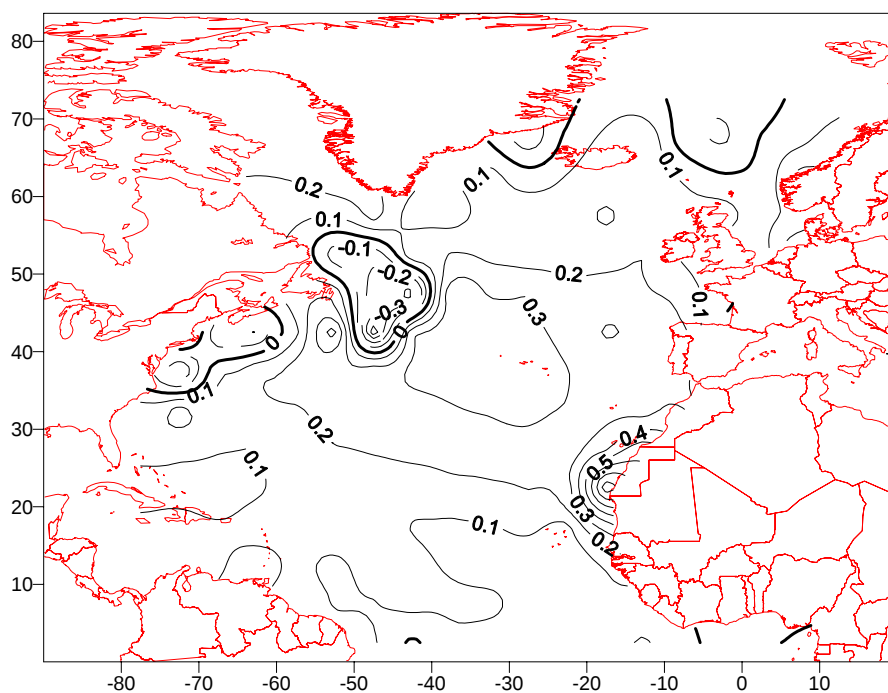
ΣΧΗΜΑ 1.9. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά τον Αύγουστο.

Το **Σεπτέμβριο**, όπως φαίνεται και από το σχήμα 1.10, το κλειστό αυτό σύστημα είναι εμφανές, ενώ το σύστημα που σχηματίζουν οι ισόθερμες στα δυτικά παράλια της Αφρικής είναι ελαφρώς πιο εκτεταμένο από πριν.

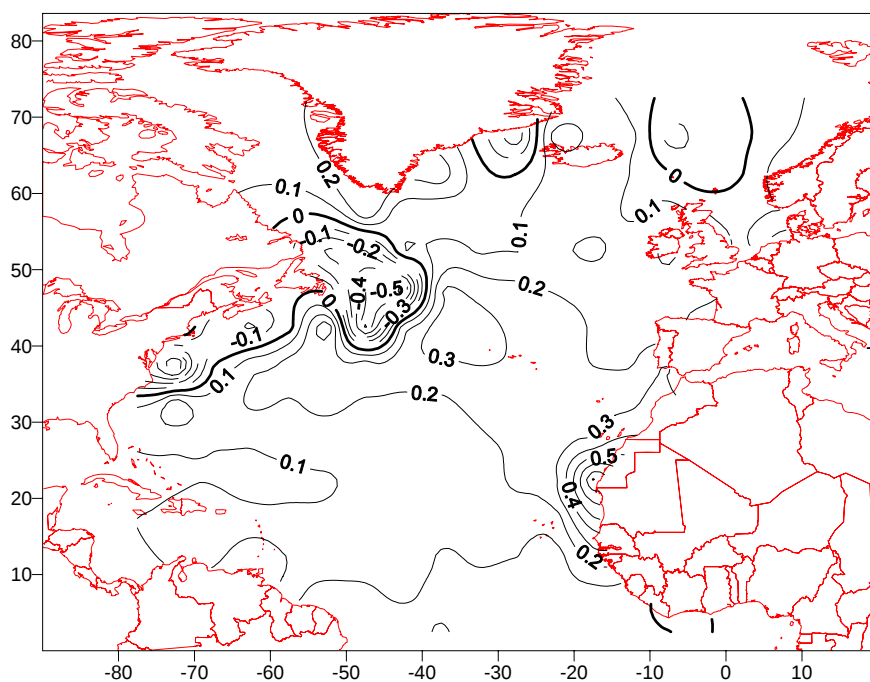


ΣΧΗΜΑ 1.10. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά το Σεπτέμβριο.

Στο σχήμα 1.11 απεικονίζεται η κατανομή των ισοθέρμων των αποχών των SSTA κατά τον **Οκτώβριο**. Από το μήνα αυτό αρχίζει να παρατηρείται μια εκ νέου ανάπτυξη και επέκταση των επικρατούντων τριών συστημάτων των ισοθέρμων καμπύλων. Οι μέσες μηνιαίες τιμές των αποχών εμφανίζουν μεγαλύτερο εύρος και η ισόθερμη του μηδενός περνάει από περισσότερες περιοχές.

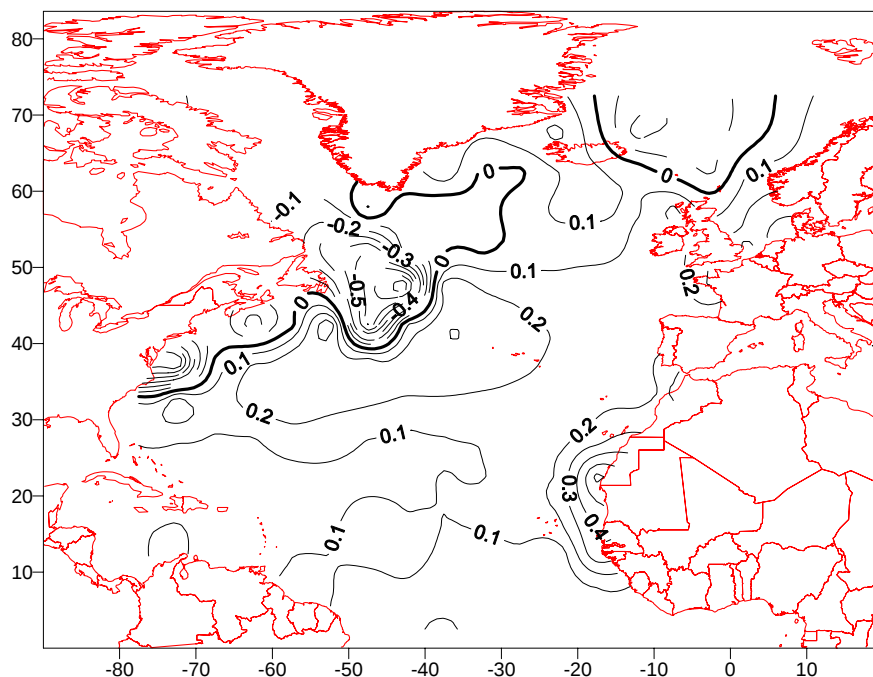


ΣΧΗΜΑ 1.11. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά τον Οκτώβριο.



ΣΧΗΜΑ 1.12. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά το Νοέμβριο.

Το **Νοέμβριο**, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.12, οι τιμές κυμαίνονται από -0.6°C έως 0.8°C και το σύστημα των αρνητικών τιμών στο βορειοδυτικό τμήμα του ωκεανού συνεχίζει να ενισχύεται. Η ισόθερμη του μηδενός εντοπίζεται στα ανατολικά παράλια της αμερικανικής ηπείρου. Δηλαδή, κατά το μήνα αυτό, η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας στις περιοχές αυτές δεν παρουσιάζει διαφορές από τη μέση τιμή της περιόδου αναφοράς.



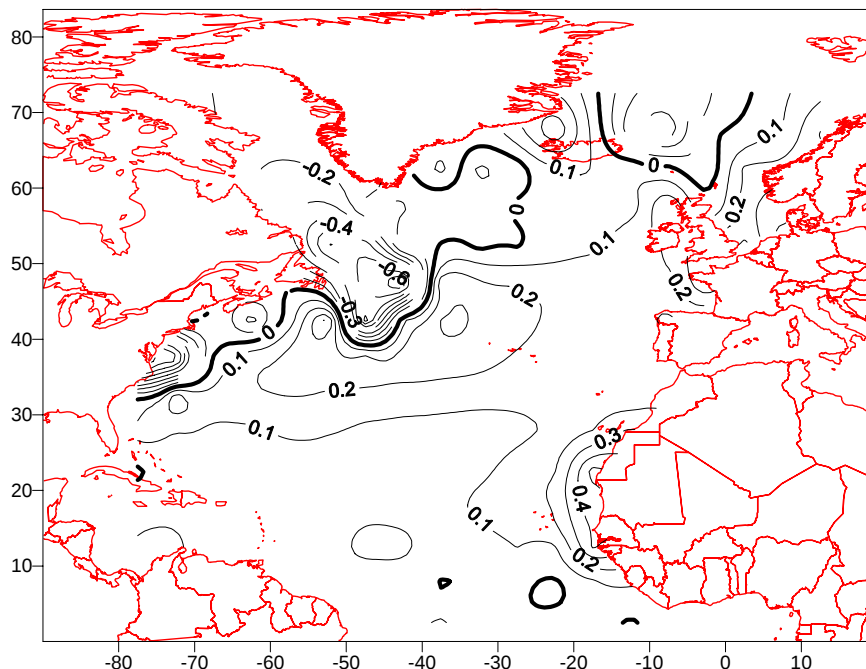
ΣΧΗΜΑ 1.13. Γεωγραφική κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA κατά το Δεκέμβριο.

Τέλος, κατά το **Δεκέμβριο** (σχήμα 1.13), οι αποχές της SST είναι από -0.9°C έως 0.6°C και τα παραπάνω συστήματα ισοθέρμων είναι ενισχυμένα. Η γενική εικόνα της γεωγραφικής κατανομής των μέσων μηνιαίων τιμών της SST εμφανίζει το μήνα αυτό αρκετές ομοιότητες με τις αντίστοιχες κατανομές των ισοθέρμων των πρώτων μηνών του έτους.

B) Γεωγραφική κατανομή των εποχικών τιμών των SSTA.

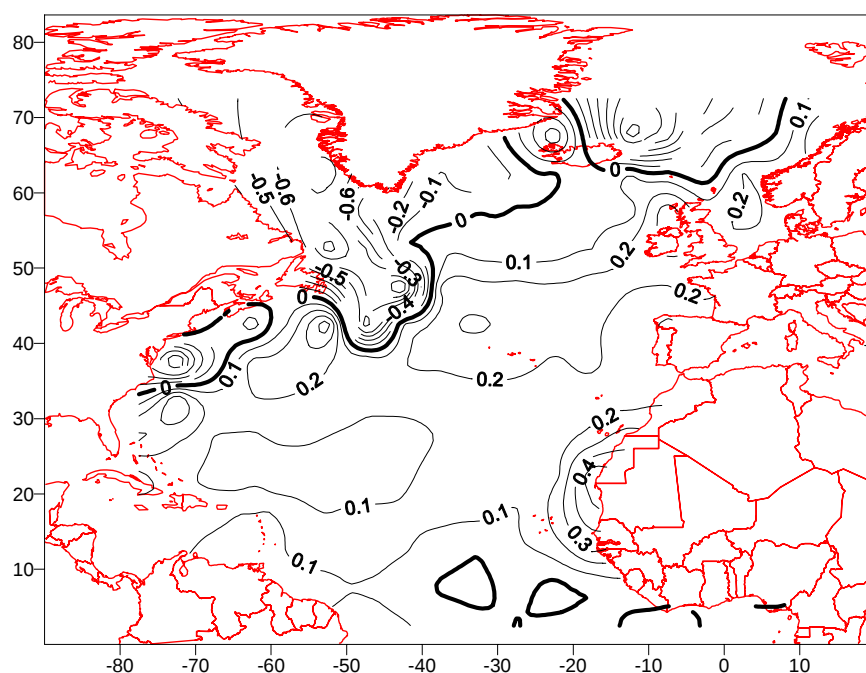
Στο σχήμα 1.14 δίδεται η κατανομή των μέσων τιμών των SSTA κατά το **χειμώνα**. Ο χάρτης αυτός προέκυψε, θεωρώντας, ως χειμώνα, το μέσο όρο τιμών του Δεκεμβρίου ενός έτους και του Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου του αμέσως επόμενου έτους. Έτσι, παραδείγματος χάριν, ο χειμώνας του 1965

αυτός προέκυψε από το μέσο όρο των τιμών του Δεκεμβρίου του 1964 και των Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου του 1965. Ωστόσο, η εικόνα που παρουσιάζουν οι ισόθερμες των SSTA το χειμώνα εμφανίζει σημαντικές ομοιότητες με τις αντίστοιχες των τεσσάρων πρώτων μηνών του έτους.



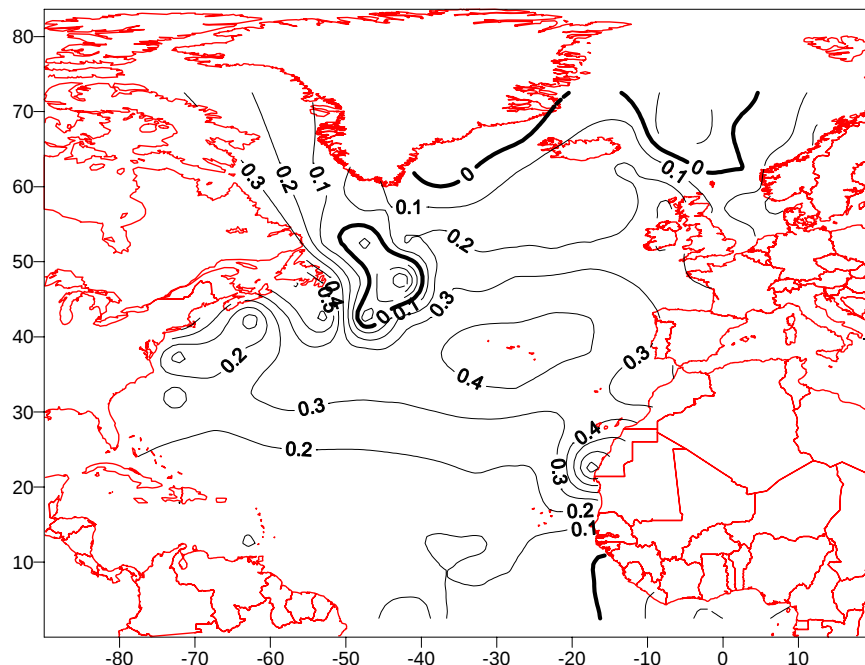
ΣΧΗΜΑ 1.14. Γεωγραφική κατανομή των εποχικών τιμών των SSTA (χειμώνας).

Στο σχήμα 1.15, που αντιστοιχεί στην κατανομή των αποχών της SST, την **άνοιξη**, τα τρία βασικά συστήματα των ισοθέρμων είναι εμφανή.



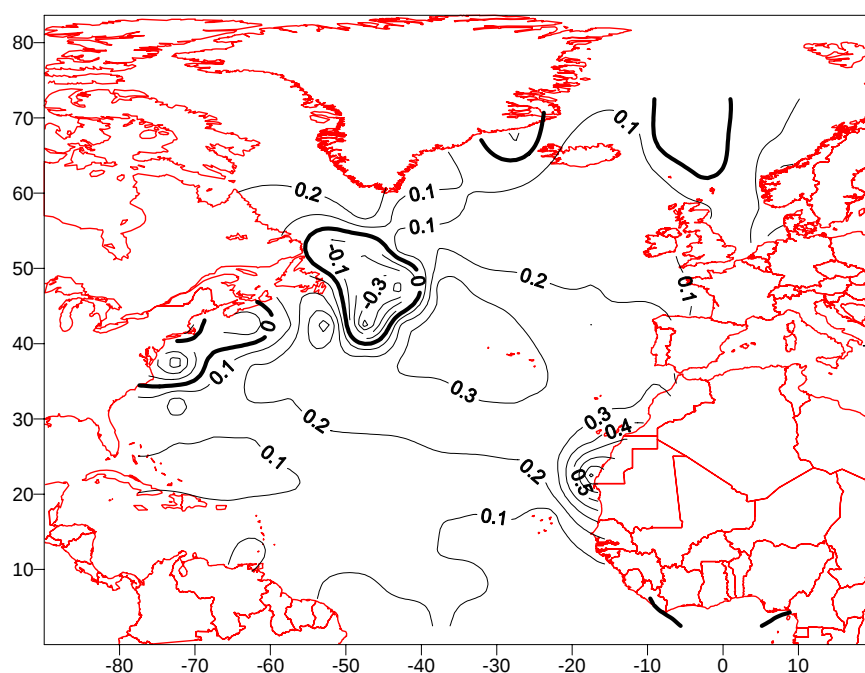
ΣΧΗΜΑ 1.15. Γεωγραφική κατανομή των εποχικών τιμών των SSTA (άνοιξη).

Το **καλοκαίρι**, όπως διαπιστώνεται και από το σχήμα 1.16, οι τιμές των αποχών είναι, στο μεγαλύτερο τμήμα του ωκεανού, θετικές, επομένως, παρατηρείται μια αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας σε σχέση με τη μέση τιμή της περιόδου αναφοράς.



ΣΧΗΜΑ 1.16. Γεωγραφική κατανομή των εποχικών τιμών των SSTA (καλοκαίρι).

Τέλος, κατά το **φθινόπωρο**, η κατανομή των αποχών της SST είναι ίδια με εκείνη του Οκτωβρίου.



ΣΧΗΜΑ 1.17. Γεωγραφική κατανομή των εποχικών τιμών των SSTA (φθινόπωρο).

Γ) Γεωγραφική κατανομή των άκρων τιμών της SSTA.

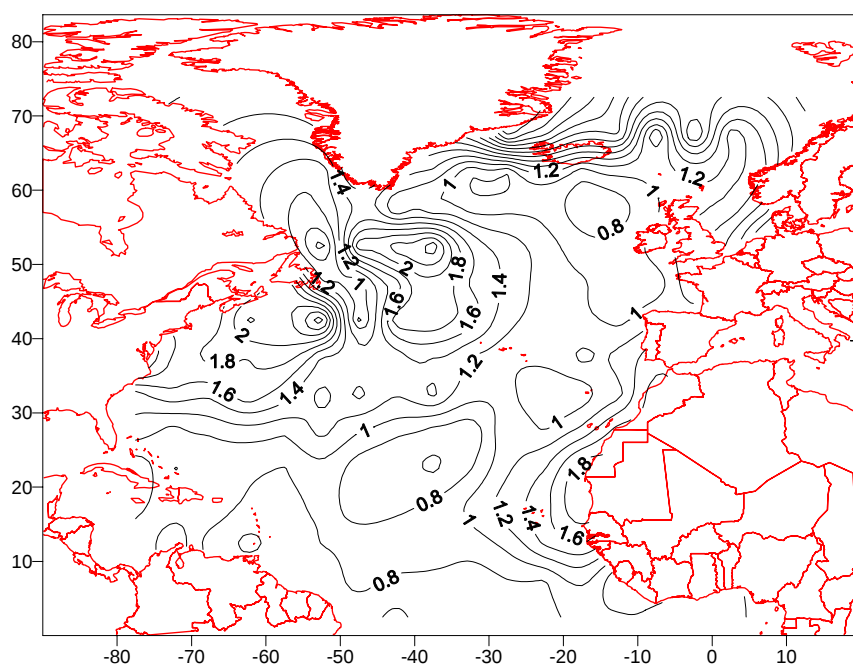
1) Μέγιστες Τιμές

Σε μια κλιματολογική μελέτη, πέρα από την ανάλυση του μέσου πεδίου της μεταβλητής που κάθε φορά μελετάται, κρίνεται απαραίτητη η εξέταση και της συμπεριφοράς που παρουσιάζουν οι άκρες τιμές αυτής. Για το λόγο αυτό, τα επόμενα δυο στάδια της μελέτης επικεντρώθηκαν στη δημιουργία, εξέταση και επεξήγηση κατάλληλων διαγραμμάτων που απεικονίζουν τη συμπεριφορά των άκρων τιμών των μέσων μηνιαίων τιμών των αποχών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SSTA) κάθε κομβικού σημείου στον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό.

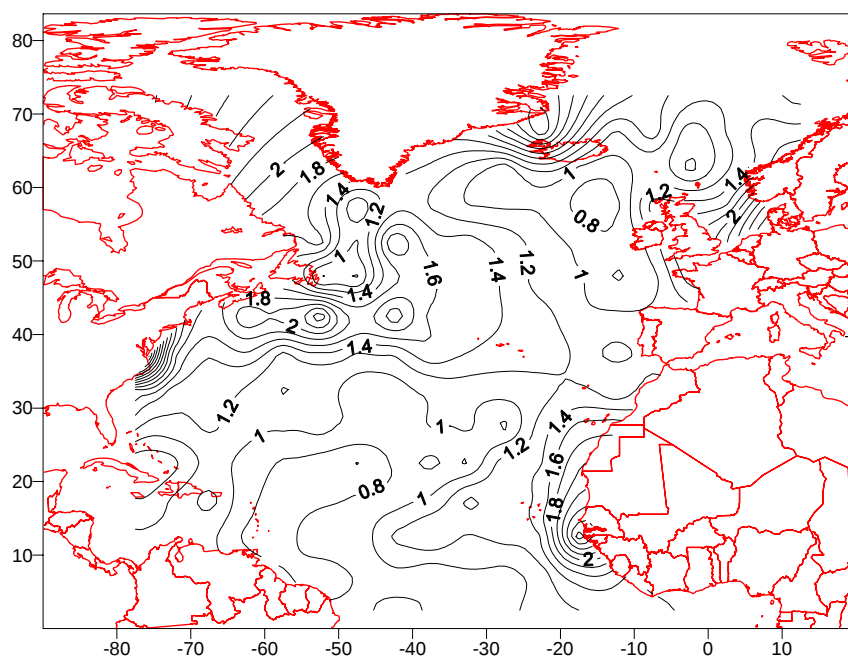
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα της γεωγραφικής κατανομής των μηνιαίων μεγίστων τιμών των αποχών της SST για κάθε μήνα ξεχωριστά. Γενικά, διαπιστώνεται ότι, από τα τρία συστήματα που εντοπίστηκαν στα προηγούμενα σχήματα της κατανομής του μέσου πεδίου της SSTA, τα δύο διατηρούνται και στην κατανομή των μεγίστων τιμών της, ενώ το κέντρο αρνητικών τιμών στο βορειοδυτικό τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής δεν εμφανίζεται στην κατανομή αυτή. Το σύστημα των ισοθέρμων στο βορειοανατολικό άκρο της περιοχής μελέτης αντιστοιχεί σε αυξημένες προς το κέντρο τιμές των αποχών σε αντίθεση με ό,τι είχε παρατηρηθεί στην ανάλυση του μέσου πεδίου.

Κατά τους τρεις πρώτους μήνες του έτους, οι SSTA παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους, για το σύνολο του βόρειου Ατλαντικού, στο δυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα του. Επομένως, παρατηρείται, στις περιοχές αυτές, μεγάλη υπερθέρμανση, ενώ μικρότερη εντοπίζεται στο κεντρικό κομμάτι του ωκεανού. Στους επόμενους μήνες, μέχρι και το Σεπτέμβριο, οι παραπάνω δυο περιοχές εξακολουθούν να παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές της περιοχής μελέτης, ταυτόχρονα, όμως, τείνει να δημιουργηθεί μια ακόμη περιοχή στο βόρειο και κεντρικό τμήμα του ωκεανού, όπου οι τιμές των SSTA είναι ιδιαίτερα αυξημένες σε σχέση με τη μέση τιμή. Τέλος, τους τελευταίους τρεις μήνες του έτους, το παραπάνω σύστημα κινείται με διεύθυνση νοτιοανατολική προς τα δυτικά παράλια της Αφρικής. Γενικά, κατά τη διάρκεια του έτους, οι μικρότερες τιμές των SSTA παρατηρούνται στο νότιο τμήμα του Ατλαντικού

ωκεανού, συνεπώς η περιοχή αυτή παρουσιάζει τη μικρότερη υπερθέρμανση σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα της περιοχής μελέτης.



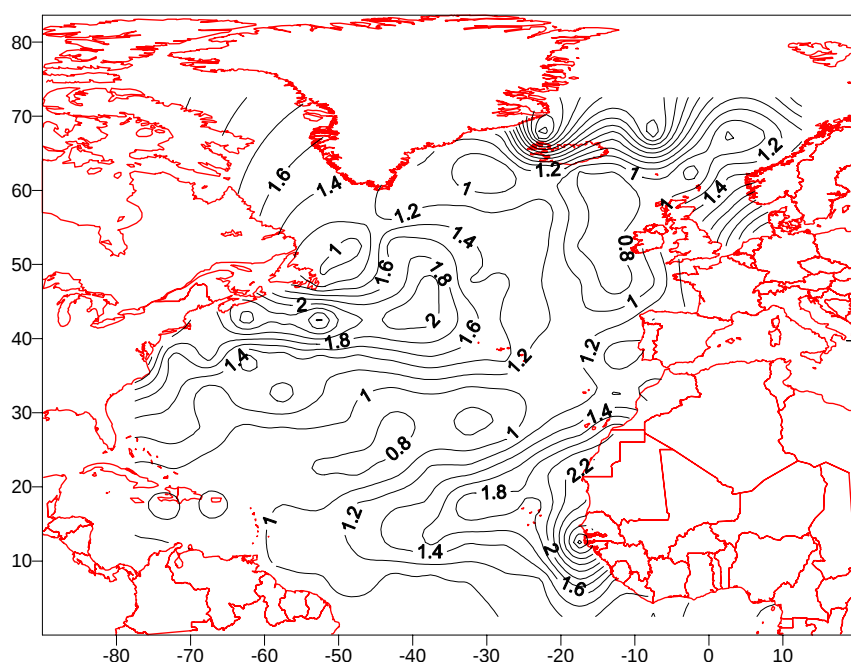
ΣΧΗΜΑ 1.18. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά τον Ιανουάριο.



ΣΧΗΜΑ 1.19. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά το Φεβρουάριο.

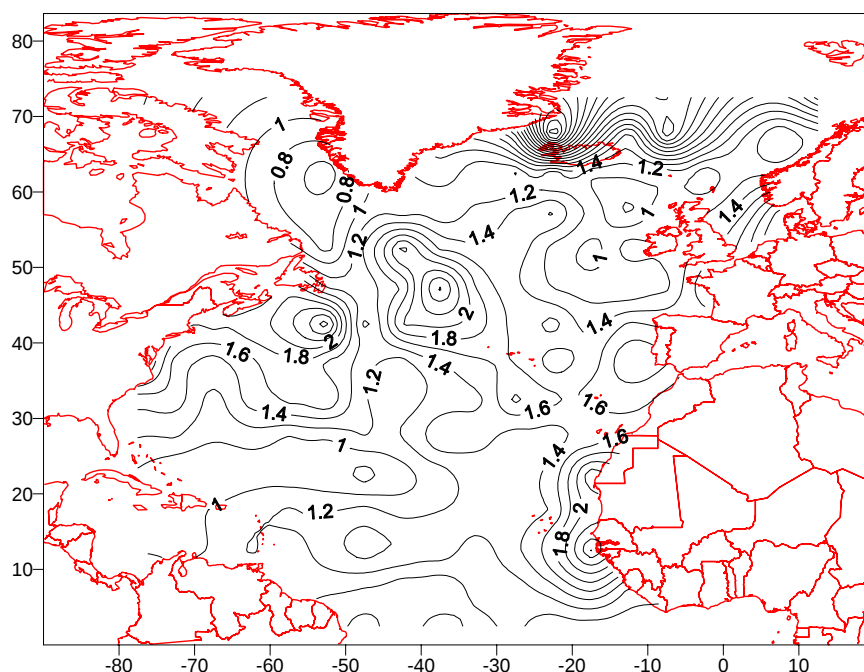
Πιο αναλυτικά, στο σχήμα 1.18, δίδεται η κατανομή των μεγίστων τιμών των ανωμαλιών, κατά τον **Ιανουάριο**. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό

που παρουσιάζει ο χάρτης αυτός, όπως και όλων των επόμενων μηνών έως και τον Απρίλιο, είναι η σημαντική πύκνωση των ισοθέρμων στη βορειοανατολική πλευρά της εξεταζόμενης περιοχής. Οι τιμές των αποχών παρουσιάζουν μείωση κατά τη διεύθυνση Βορρά-Νότου. Ο μόνος από τους μήνες αυτούς, που δεν εμφανίζει τόσο έντονα την παραπάνω συμπεριφορά, είναι ο Φεβρουάριος, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.19. Αξιοσημείωτη είναι η μορφή που εμφανίζουν οι ισόθερμες στην περιοχή αυτή.



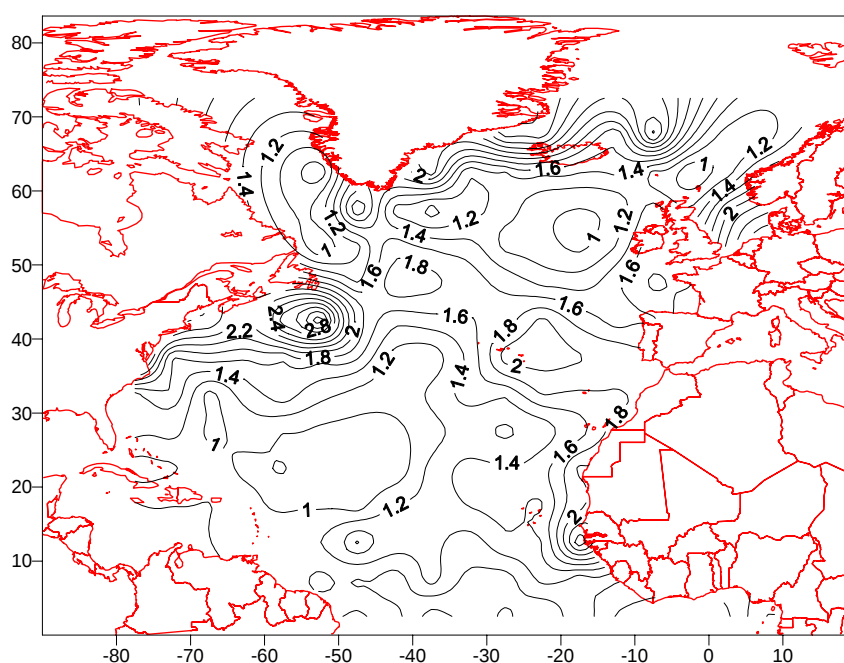
ΣΧΗΜΑ 1.20. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά το Μάρτιο.

Από τα σχήματα 1.19 και 1.20 διαπιστώνεται ότι ο **Φεβρουάριος** και ο **Μάρτιος** παρουσιάσουν παραπλήσιες κατανομές των μέγιστων μηνιαίων αποχών. Η μόνη διαφορά είναι ότι, κατά τον τελευταίο μήνα, οι ισόθερμες εμφανίζουν πιο έντονη πύκνωση και, γενικά, το εύρος των τιμών είναι πιο μεγάλο. Το σχήμα 1.21 του **Απριλίου**, παρουσιάζει μεν τα δυο βασικά κοινά συστήματα, των αυξημένων τιμών των SSTA στο βορειοανατολικό και στο νοτιοανατολικό τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής, όμως εμφανίζει και αρκετές διαφορές. Η σημαντικότερη είναι η ανομοιογένεια που χαρακτηρίζει τις ισόθερμες του κεντρικού τμήματος του Ατλαντικού.



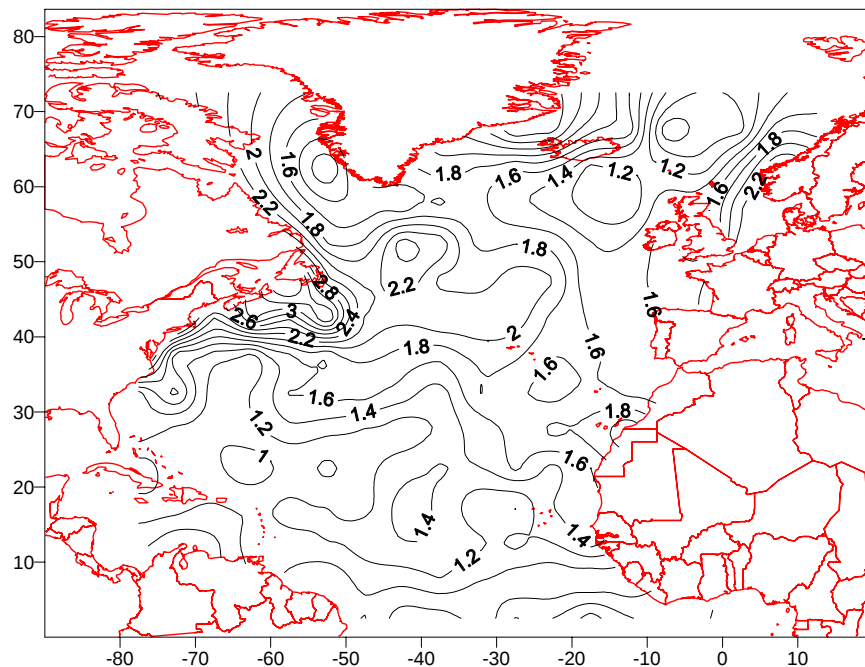
ΣΧΗΜΑ 1.21. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά τον Απρίλιο.

Το **Μάιο**, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.22, παρατηρούνται τόσο τα γνωστά δυο συστήματα όσο και ένα σημαντικό κέντρο θετικών τιμών των αποχών της SST στις ανατολικές ακτές των ΗΠΑ. Οι τιμές στο κέντρο αυτό είναι και οι μεγαλύτερες που σημειώνονται για το μήνα αυτό.

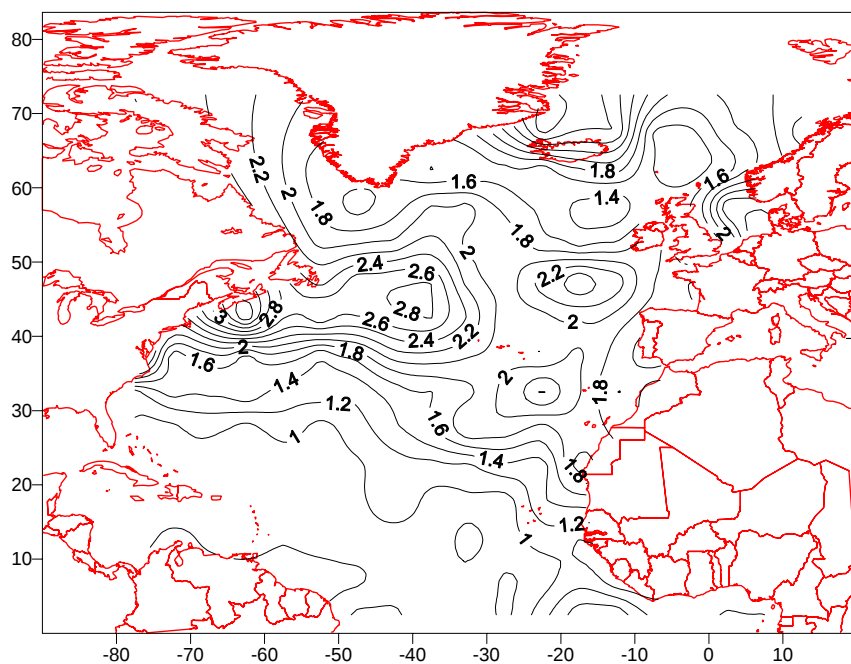


ΣΧΗΜΑ 1.22. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά το Μάιο.

Στα ακόλουθα τρία διαγράμματα, που αντιστοιχούν στην περίοδο του **καλοκαιριού**, εντοπίζεται ένα χαρακτηριστικό σύστημα στα ανατολικά παράλια της αμερικανικής ηπείρου με αυξημένες τιμές των SSTA.

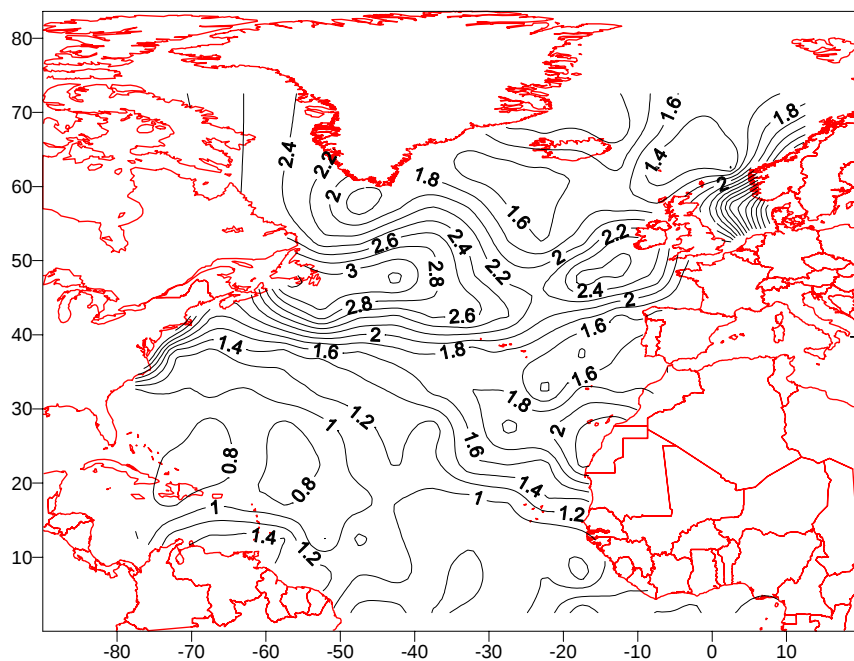


ΣΧΗΜΑ 1.23. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά τον Ιούνιο.

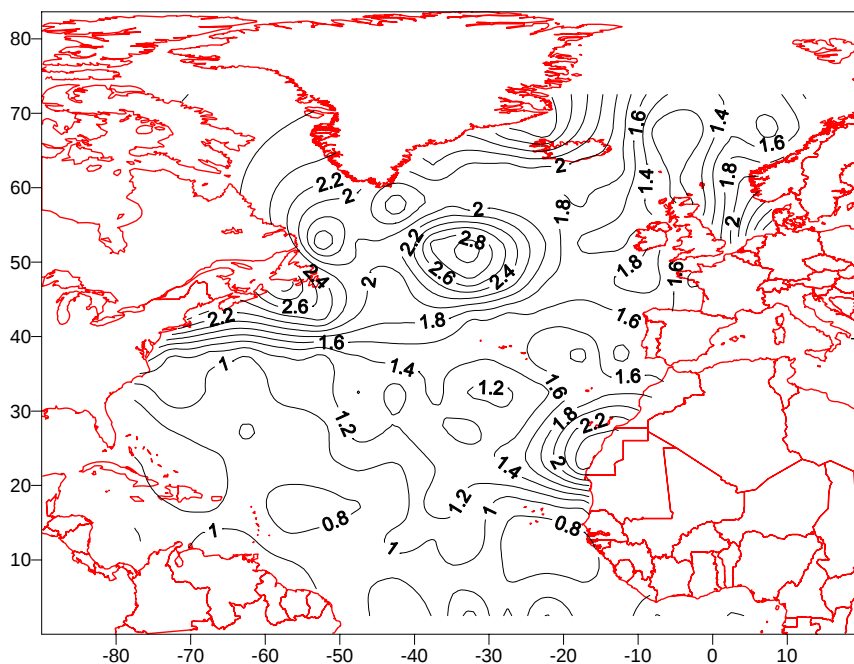


ΣΧΗΜΑ 1.24. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά τον Ιούλιο.

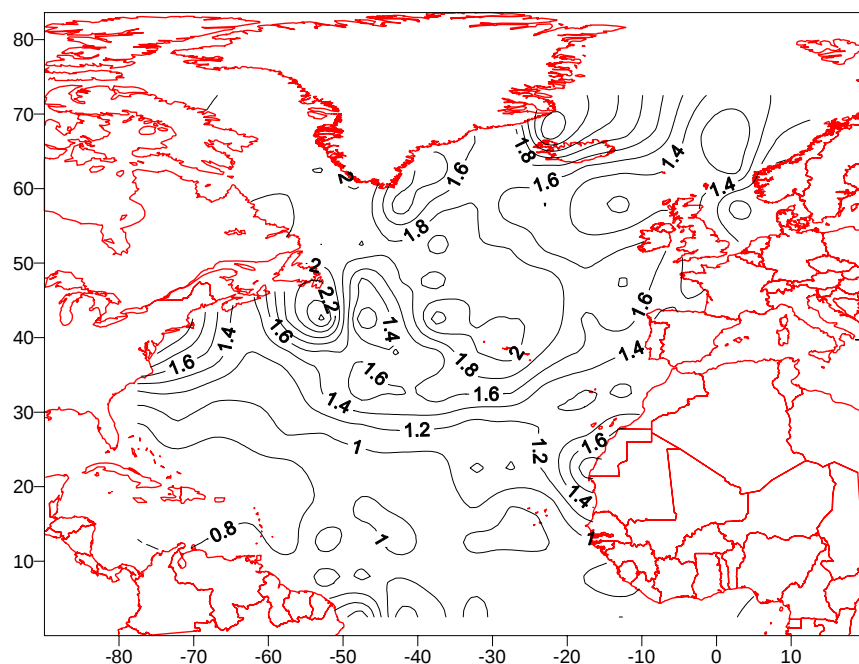
Συγκρίνοντας επιπλέον τα σχήματα 1.22 έως και 1.26, διαπιστώνεται μια σταθερή εμφάνιση του συστήματος αυτού για την περίοδο από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο. Από το σχήμα 1.26 του **Σεπτεμβρίου**, παρατηρείται ακόμα ότι νοτιοανατολικά της Γροιλανδίας σχηματίζεται ένα κλειστό σύστημα ισοθέρμων θετικών τιμών των αποχών της θερμοκρασίας.



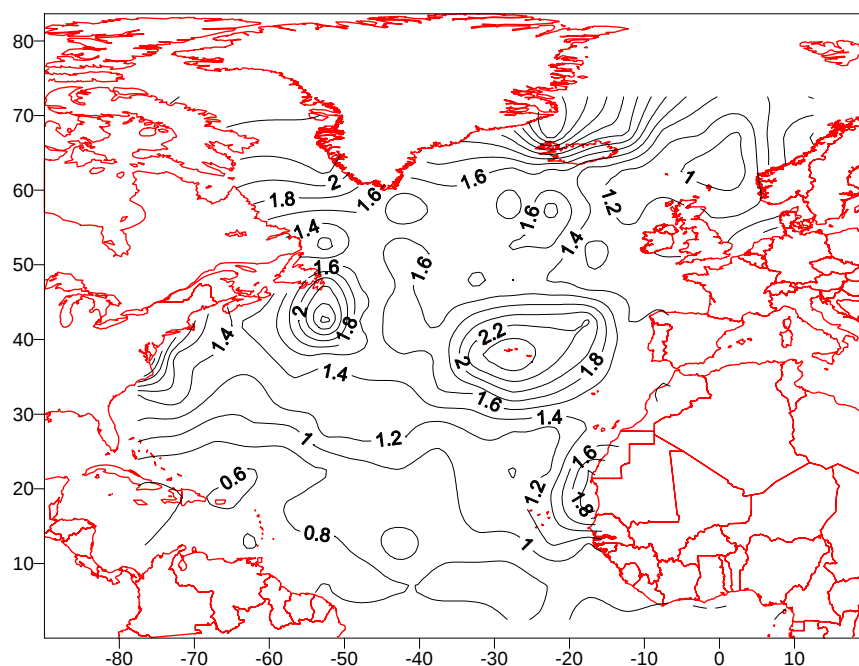
ΣΧΗΜΑ 1.25. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά τον Αύγουστο.



ΣΧΗΜΑ 1.26. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά το Σεπτέμβριο.



ΣΧΗΜΑ 1.27. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά τον Οκτώβριο.

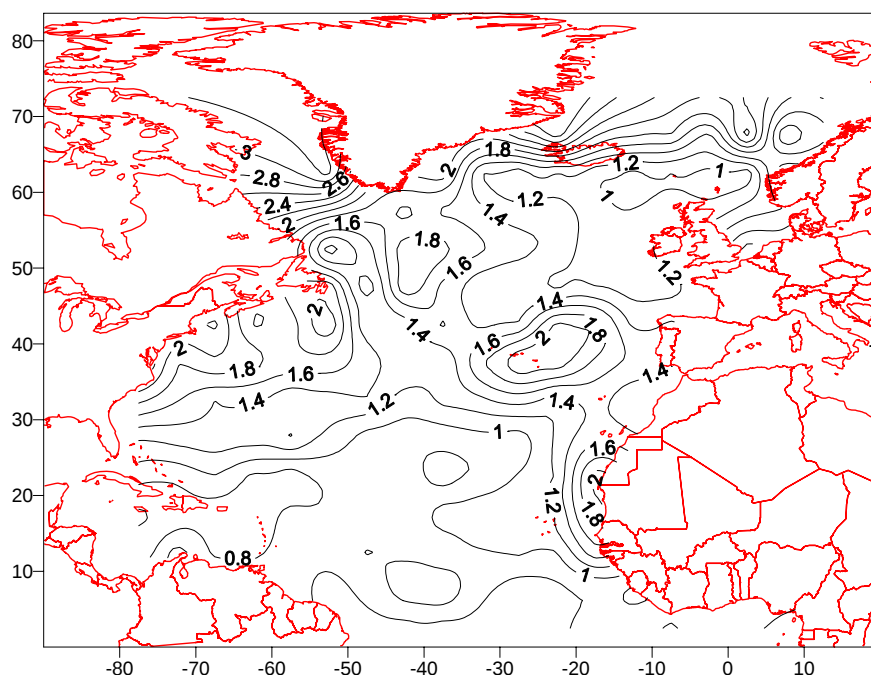


ΣΧΗΜΑ 1.28. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά το Νοέμβριο.

Κατά τον **Οκτώβριο**, όπως φαίνεται και από το σχήμα 1.27, το πλήθος των ισοθέρμων των αποχών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας έχει μειωθεί σημαντικά. Το σύστημα, στα ανατολικά παράλια της Αμερικής,

έχει περιορισθεί σημαντικά, ενώ, γενικά, η εικόνα που παρουσιάζουν οι ισόθερμες είναι ασαφής σε σχέση με τους προηγούμενους μήνες.

Στο σχήμα 1.28 του **Νοεμβρίου**, ενδιαφέρον παρουσιάζει το κλειστό κέντρο θετικών τιμών των SSTA στο κεντρικό τμήμα του Ατλαντικού ωκεανού. Τέλος, κατά τον **Δεκέμβριο** (σχήμα 1.29), το παραπάνω σύστημα εμφανίζεται ελαφρώς πιο περιορισμένο.



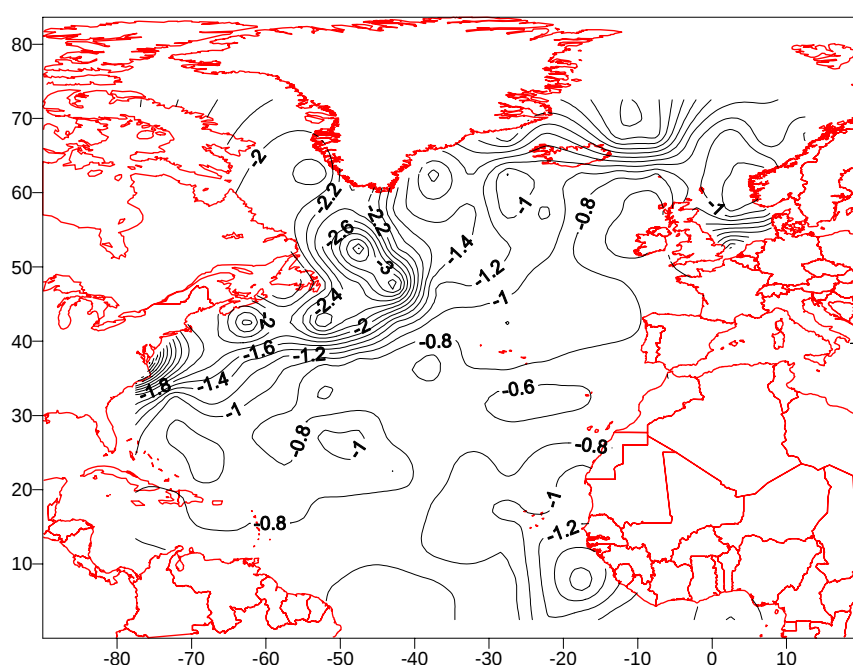
ΣΧΗΜΑ 1.29. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων μέγιστων τιμών των SSTA κατά το Δεκέμβριο.

2) Ελάχιστες Τιμές

Αφού έγινε η μελέτη της γεωγραφικής κατανομής των μέσων μηνιαίων τιμών των αποχών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, τόσο για το μέσο πεδίο όσο και για τις μέγιστες τιμές τους, κρίνεται απαραίτητο να γίνει μια μικρή επέκταση της μελέτης και στην περίπτωση των άκρων ελαχίστων τιμών. Κατ' αυτό τον τρόπο, μελετάται η χωρική μεταβλητότητα των ελαχίστων τιμών των SSTA, σε μηνιαία βάση.

Συγκρίνοντας τα παρακάτω διαγράμματα με τα αντίστοιχα που απεικονίζουν το μέσο πεδίο και την κατανομή των μεγίστων τιμών, παρατηρείται ότι η συμπεριφορά των ελαχίστων τιμών των SSTA είναι

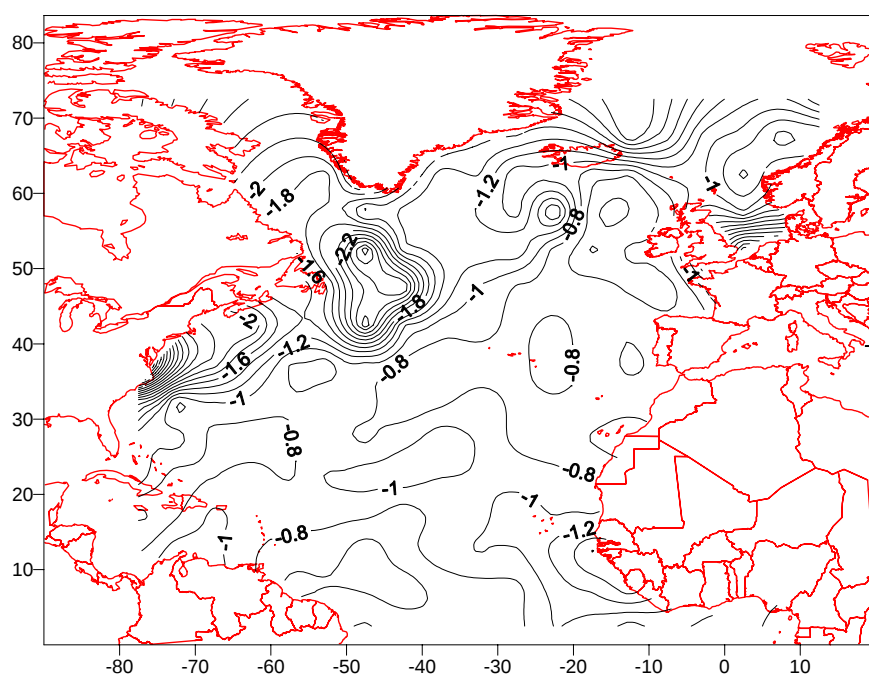
εντελώς διαφορετική. Παρατηρείται, γενικά, μια πύκνωση των ισοθέρμων, ιδιαίτερα στα ανατολικά παράλια των ΗΠΑ, καθώς και στο βορειοδυτικότερο τμήμα του Ατλαντικού. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το σύστημα χαμηλών προς το κέντρο τιμών των SSTA που παρατηρείται τον Ιανουάριο στο βορειοδυτικότερο κομμάτι του Ατλαντικού και κινείται σταδιακά προς το κέντρο του ωκεανού, κατά τη διάρκεια του έτους. Το σύστημα αυτό παρουσιάζει τις πιο χαμηλές τιμές των SSTA στο σύνολο της περιοχής μελέτης, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς και αποτελεί την περιοχή με τη μεγαλύτερη ψύξη. Αντίστοιχα, τη μικρότερη ψύξη παρουσιάζει το κεντρικό τμήμα του Ατλαντικού.



ΣΧΗΜΑ 1.30. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά τον Ιανουάριο.

Πιο αναλυτικά, στο σχήμα 1.30, δίδεται η κατανομή των ελαχίστων τιμών των αποχών της SST κατά τον **Ιανουάριο**. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν το κέντρο χαμηλών τιμών των αποχών στα παράλια της Αφρικής, καθώς και η πύκνωση των ισοθέρμων στο βορειοδυτικό τμήμα του Ατλαντικού. Στη περιοχή αυτή εντοπίζεται ένα κλειστό κέντρο χαμηλών τιμών των αποχών. Τέλος, σημαντική κρίνεται και η σύσφιξη των ισοθέρμων στην ευρύτερη περιοχή γύρω από την νήσο της Ισλανδίας.

Η παραπάνω συμπεριφορά είναι εμφανής και στα επόμενα τρία διαγράμματα, στα οποία η γεωγραφική κατανομή των ελαχίστων τιμών των αποχών παρουσιάζει, γενικά, παραπλήσια εικόνα με αυτή του Ιανουαρίου. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά των ελαχίστων τιμών των αποχών, κατά την περίοδο αυτή, πιθανόν να καθορίζεται από τους ίδιους παράγοντες, τόσο σε ό,τι αφορά την κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα όσο και στην επιρροή από θαλάσσια ρεύματα που ρέουν στην περιοχή αυτή.

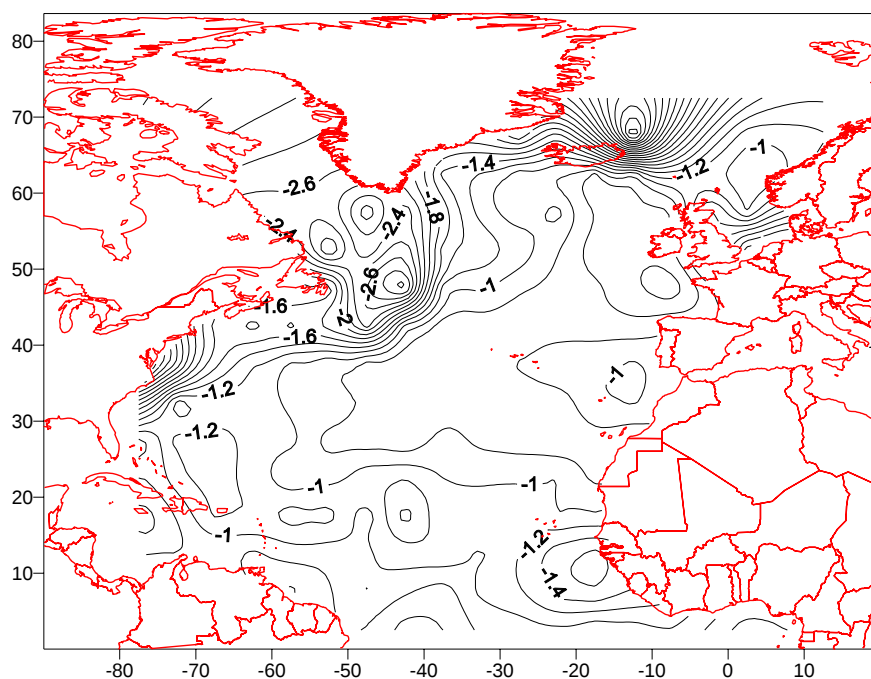


ΣΧΗΜΑ 1.31. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελαχίστων τιμών των SSTA κατά το Φεβρουάριο.

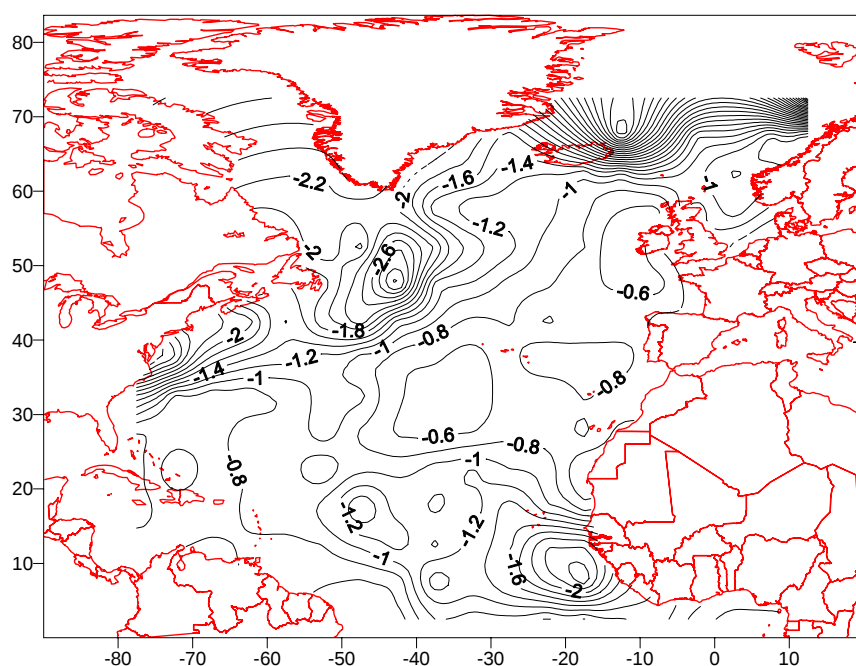
Οι μόνες διαφοροποιήσεις, που παρατηρούνται στα σχήματα 1.30 έως και 1.33, είναι στην έκταση που καταλαμβάνουν τα εν λόγω συστήματα, καθώς και μικρές διακυμάνσεις στις τιμές των ελαχίστων αποχών της τάξης των 0.2° με 0.4°C. Οι παραπάνω μεταβολές ίσως να οφείλονται στις μεταβολές που παρουσιάζουν τα μόνιμα βαρομετρικά συστήματα και τα θαλάσσια ρεύματα, που επικρατούν στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού, από μήνα σε μήνα.

Για τους μήνες αυτούς, οι τιμές των ελαχίστων αποχών της SST, στο κεντρικό τμήμα του Ατλαντικού, κυμαίνονται από -0.6°C έως -1.2°C περίπου,

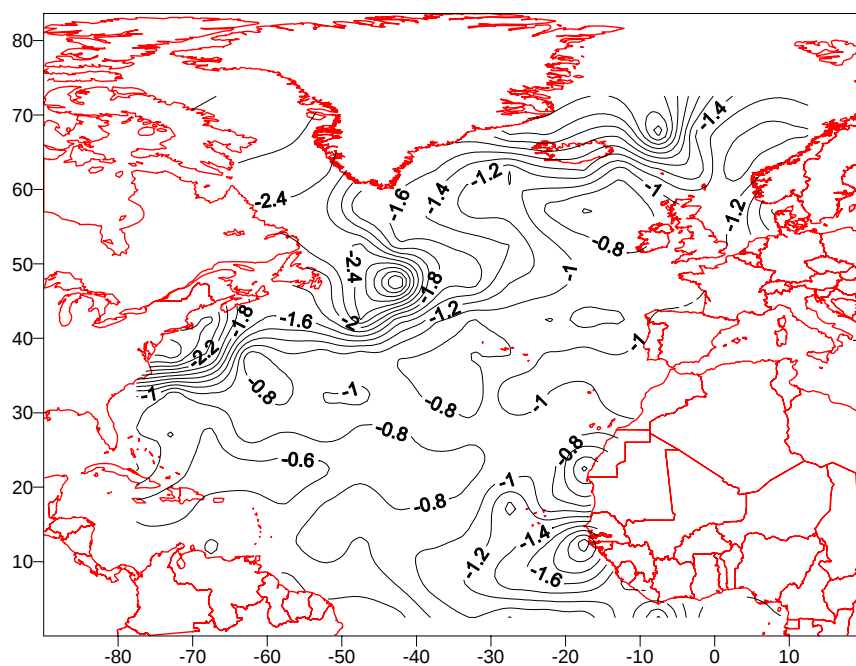
ενώ τα συστήματα που απεικονίζουν δεν παρουσιάζουν σταθερή κατανομή από μήνα σε μήνα. Σημαντική, ωστόσο, είναι η έντονη σύσφιξη που εμφανίζουν οι ισόθερμες βόρεια της Ισλανδίας στην περίπτωση του **Μαρτίου** και του **Απριλίου**.



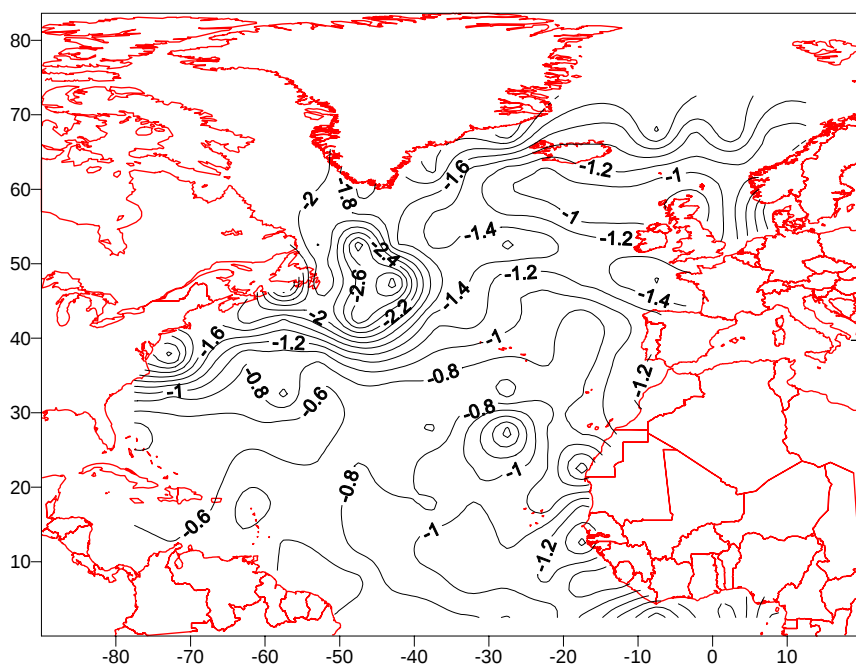
ΣΧΗΜΑ 1.32. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά το Μάρτιο.



ΣΧΗΜΑ 1.33. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά τον Απρίλιο.



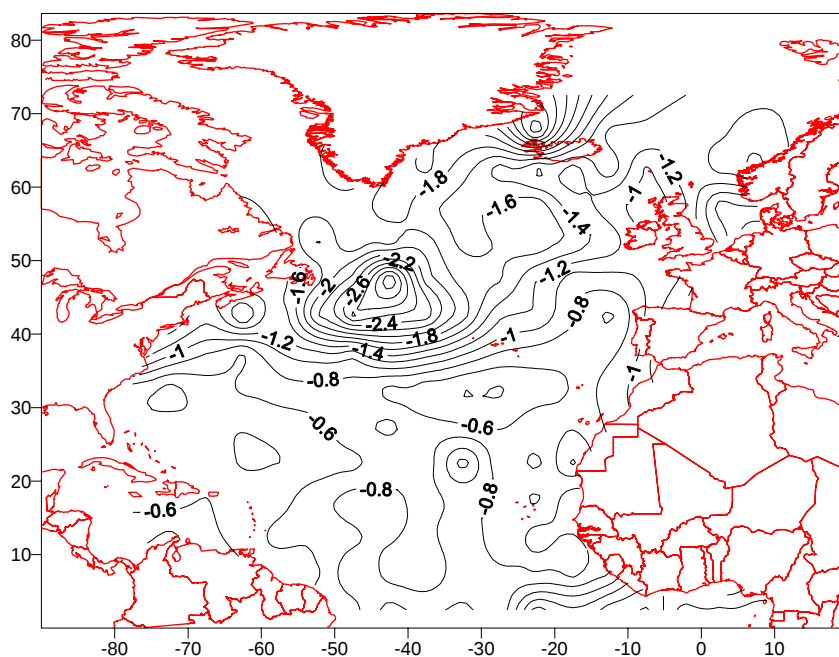
ΣΧΗΜΑ 1.34. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά το Μάιο.



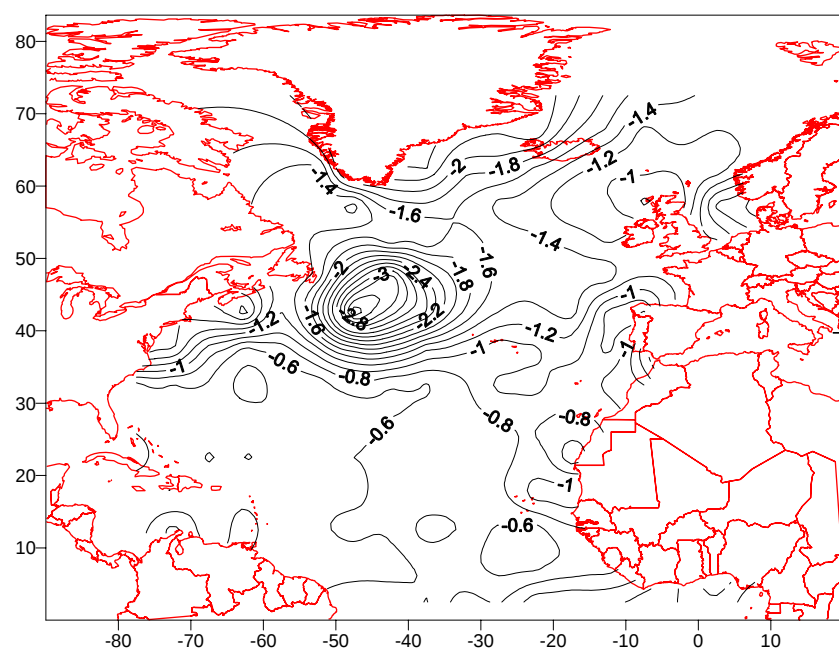
ΣΧΗΜΑ 1.35. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά τον Ιούνιο.

Στους επόμενους μήνες, όπως διαπιστώνεται και από τα σχήματα 1.34 έως και 1.37, παρατηρείται μια τάση του κλειστού συστήματος χαμηλών τιμών των ελαχίστων αποχών της SST να κινηθεί με φορά νοτιοανατολική προς το κέντρο του Ατλαντικού ωκεανού. Η μέγιστη ανάπτυξη του συστήματος αυτού σημειώνεται τον Αύγουστο, με ελάχιστη τιμή στο κέντρο του ίση με -3.4°C περίπου. Από εκεί και έπειτα, το σύστημα επιστρέφει σταδιακά στην αρχική

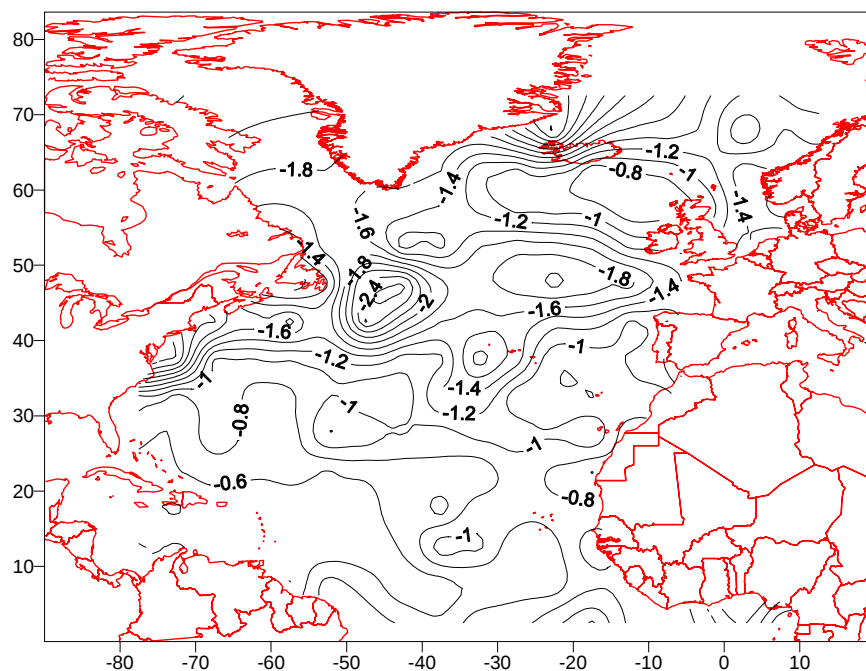
του θέσης, ενώ οι ισόθερμές του, αν και εξακολουθούν να είναι πυκνές, δεν εμφανίζουν σύσφιξη αντίστοιχη των προηγούμενων μηνών. Από την κατανομή, που δίδεται στο σχήμα 1.38, του **Σεπτεμβρίου** διαπιστώνεται ότι το σύστημα αυτό έχει διασπασθεί σε δυο επιμέρους κέντρα χαμηλών τιμών των SSTA.



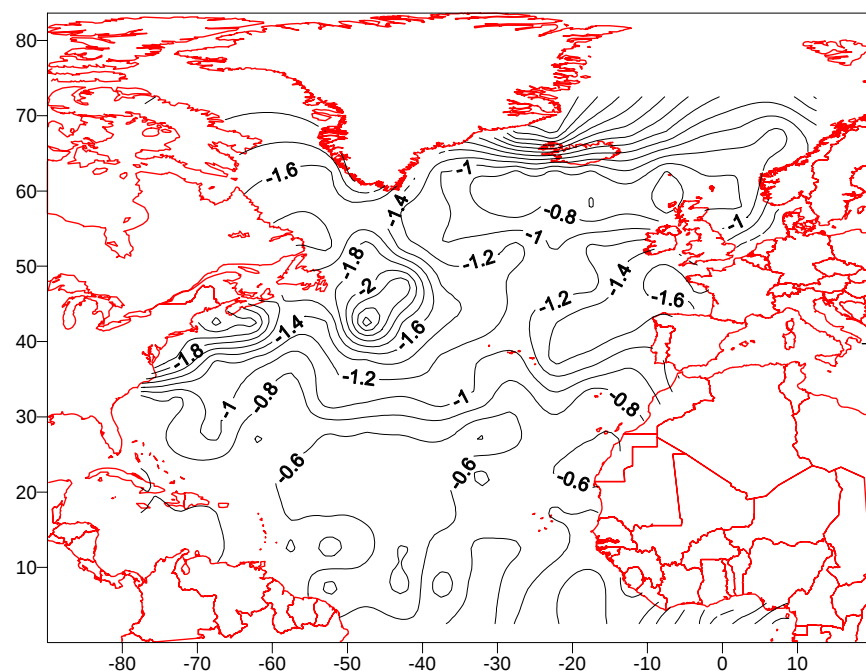
ΣΧΗΜΑ 1.36. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά τον Ιούλιο.



ΣΧΗΜΑ 1.37. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά τον Αύγουστο.



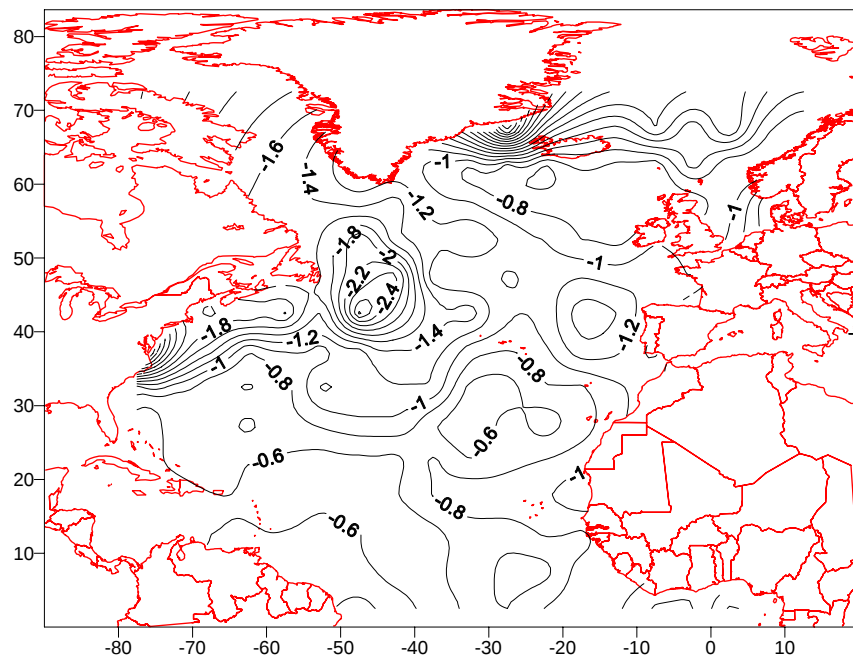
ΣΧΗΜΑ 1.38. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά το Σεπτέμβριο.



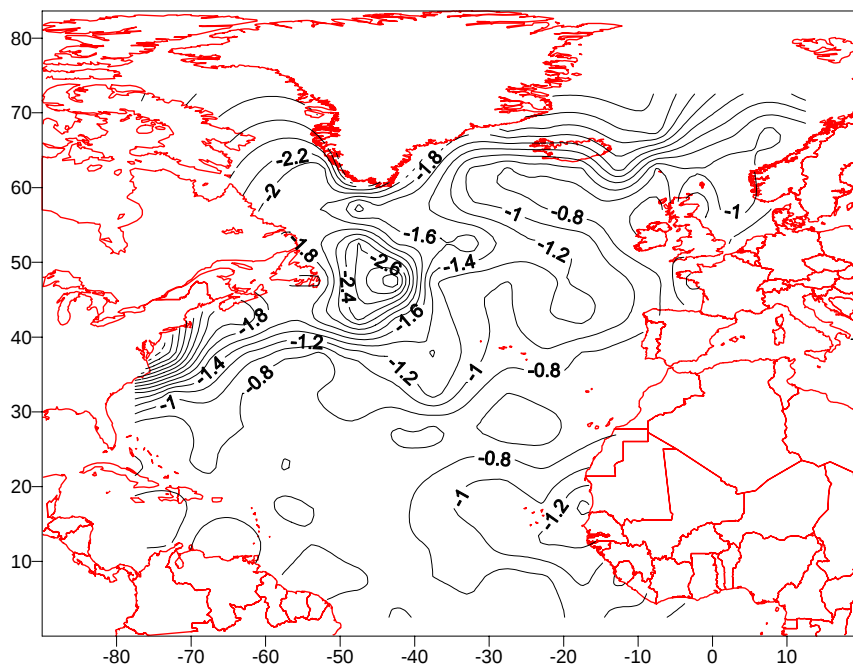
ΣΧΗΜΑ 1.39. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά τον Οκτώβριο.

Την περίοδο **Αυγούστου- Δεκεμβρίου** δεν παρατηρείται κανένα από τα συστήματα των δυτικών παραλίων της Αφρικής που είχαν επισημανθεί προηγουμένως. Αντίθετα, επισημαίνεται ότι η κατανομή των αποχών, κατά τους μήνες αυτούς στο τμήμα του Ατλαντικού ωκεανού που βρίσκεται κάτω

των 35° περίπου γεωγραφικό πλάτος, δεν παρουσιάζει κάποιο χαρακτηριστικό σύστημα.



ΣΧΗΜΑ 1.40. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά το Νοέμβριο.



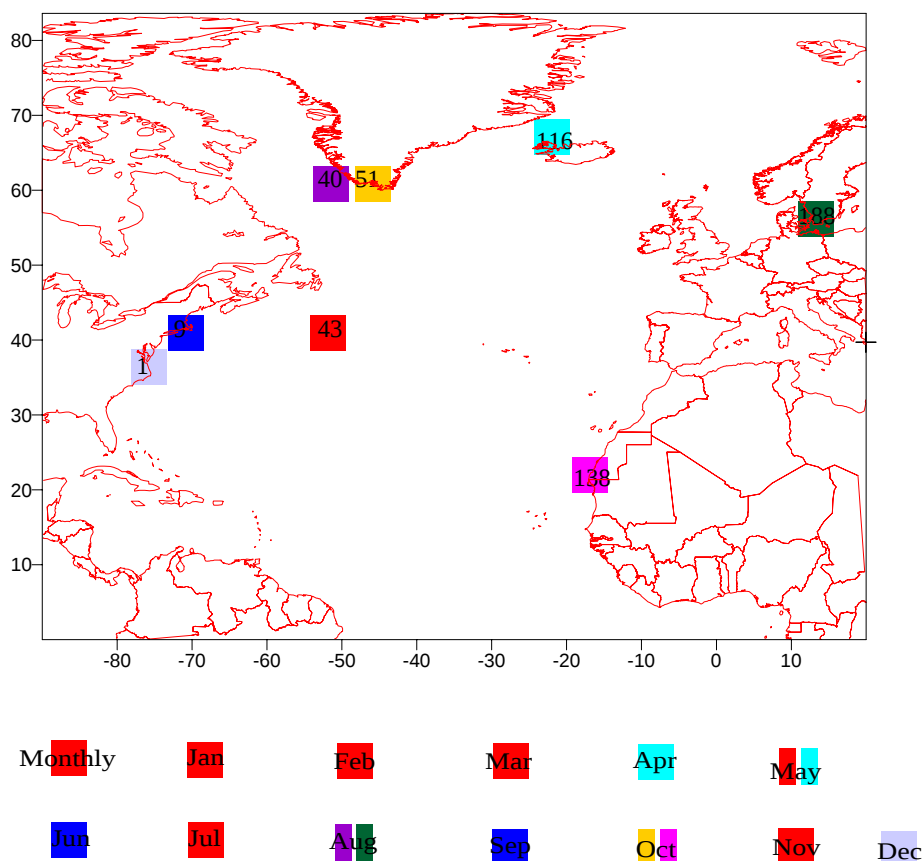
ΣΧΗΜΑ 1.41. Γεωγραφική κατανομή των μηνιαίων ελάχιστων τιμών των SSTA κατά το Δεκέμβριο.

Δ) Άκρες τιμές του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού.

Στο επόμενο βήμα της παρούσας εργασίας, το ενδιαφέρον εστιάζεται στον υπολογισμό των άκρων τιμών των SSTA για το σύνολο της περιοχής μελέτης, καθώς και του κομβικού σημείου στο οποίο αυτές παρατηρούνται σε ετήσια και μηνιαία βάση. Στόχος είναι να εξεταστεί με ποιο τρόπο "κινούνται" οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των SSTA της περιοχής μελέτης κατά τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον, σκόπιμο κρίνεται να ερευνηθεί αν παρατηρείται κάποια εμμονή στην εμφάνιση αυτών. Εξετάζεται επομένως, αν κάποιο κομβικό σημείο της περιοχής μελέτης είναι σταθερά πιο ψυχρό ή πιο θερμό από τα υπόλοιπα 189.

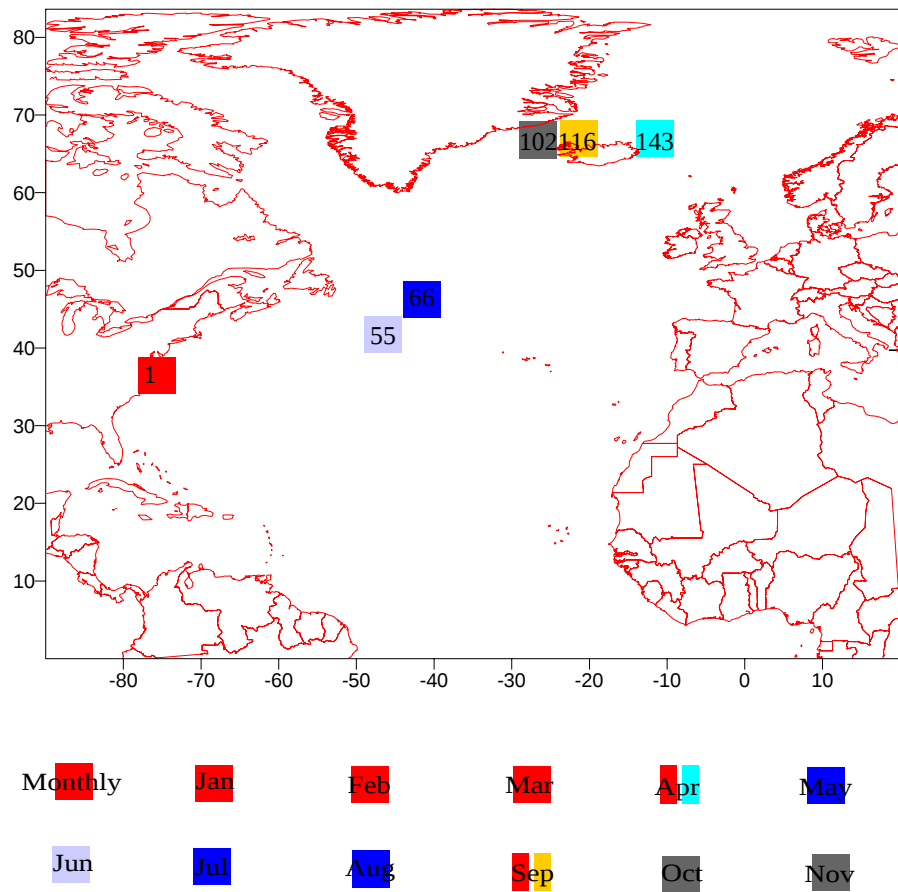
Για τον σκοπό αυτό, υπολογίσθηκαν οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των SSTA όλης της περιοχής μελέτης για κάθε μήνα, καθώς και το κομβικό σημείο, από το σύνολο των 190, στο οποίο οι τιμές αυτές σημειώνονται. Η παραπάνω διαδικασία έγινε για κάθε ένα από τα 49 έτη της περιόδου μελέτης. Στη συνέχεια, υπολογίσθηκε ο συνολικός αριθμός των άκρων τιμών των SSTA, που παρατηρήθηκαν σε κάθε ένα κομβικό σημείο για την περίοδο 1951-1999, από τα οποία, τελικά, το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε σε εκείνο το κομβικό σημείο όπου παρατηρείται ο μέγιστος αριθμός άκρων τιμών για κάθε μήνα.

Στο σχήμα 1.42, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας για τις μέγιστες τιμές της περιοχής μελέτης. Για το σύνολο των μηνών διαπιστώθηκε ότι, στη περιοχή με συντεταγμένες 42° 50' Β και 52° 50' Δ, σημειώνονται 66 φορές (11%) οι μεγαλύτερες τιμές των SSTA για την περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού. Το συγκεκριμένο σημείο είναι το θερμότερο από όλη την περιοχή μελέτης κατά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Μάιο, Ιούλιο και Νοέμβριο, με ποσοστά εμφάνισης που κυμαίνονται από 12%-20%. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η συγκεκριμένη περιοχή, για τους μισούς μήνες του έτους, εμφανίζεται πιο συχνά ως η θερμότερη του Βόρειου Ατλαντικού. Ο Ιούνιος και ο Σεπτέμβριος παρουσιάζουν μεγαλύτερο πλήθος εμφάνισης μεγίστων τιμών στη περιοχή με συντεταγμένες 42° 50' Β και 72° 50' Δ (11%). Κατά τον Απρίλιο και τον Μάιο, οι υψηλότερες τιμές των SSTA παρατηρούνται συχνότερα στο τμήμα του ωκεανού που βρέχει το δυτικό κομμάτι της Ισλανδίας.



ΣΧΗΜΑ 1.42. Κομβικά σημεία στα οποία παρατηρείται το μέγιστο πλήθος των μεγίστων τιμών των SSTA σε ετήσια και μηνιαία βάση.

Στο σχήμα 1.43, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης για την περίπτωση των ελάχιστων τιμών των SSTA της συνολικής περιοχής μελέτης. Στην περίπτωση αυτή το σημείο που εμφανίζεται συχνότερα ως το ψυχρότερο στον βόρειο Ατλαντικό, τόσο για όλο το έτος όσο και για τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο, Σεπτέμβριο και Δεκέμβριο βρίσκεται στις ανατολικές ακτές της Αμερικής και έχει συντεταγμένες 37° 50' B και 77° 50' Δ. Τα ποσοστά εμφάνισης κυμαίνονται από 11% έως και 37% κατά τους δύο πρώτους μήνες του έτους. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μήνες Μάιος, Ιούλιος και Αύγουστος, κατά τους οποίους το 12%-14% περίπου των χαμηλότερων τιμών των SSTA για τον Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό παρατηρούνται στο τμήμα του με συντεταγμένες 47° 50' B και 42° 50' Δ. Τέλος, τον Οκτώβριο και τον Νοέμβριο οι ελάχιστες τιμές των αποχών της SST παρουσιάζουν μέγιστα ποσοστά εμφάνισης (14% και 20% αντίστοιχα) στην περιοχή 67° 50' B και 27° 50' Δ.



ΣΧΗΜΑ 1.43. Κομβικά σημεία στα οποία παρατηρείται το μέγιστο πλήθος των ελαχίστων τιμών των SSTA σε ετήσια και μηνιαία βάση.

Κεφάλαιο 2^ο.

*ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ SSTA ΣΕ ΜΗΝΙΑΙΑ, ΕΠΟΧΙΚΗ ΚΑΙ
ΕΤΗΣΙΑ ΒΑΣΗ*

Από τη βιβλιογραφία είναι γνωστό ότι (Makrogiannis *et al.*, 1991; Sahsamanoğlu, 1990) στην ευρύτερη περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού φαίνεται να επικρατεί μια μορφή δίπολου. Το δίπολο αυτό αναφέρεται στην παράμετρο της πίεσης με έναν υψηλό συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των περιοχών νοτιοανατολικά του Reykjavik [64° 04' B, 21° 32' Δ] και Hondas Luna, Azores [37° 42' B, 25° 42' Δ]. Οι περιοχές αυτές αντιστοιχούν στα κομβικά σημεία με αύξοντες αριθμούς 117 και 108 (ή 122) αντίστοιχα.

Η έννοια αυτή του δίπολου επιχειρείται να μελετηθεί, στην παρούσα εργασία, και ως προς την παράμετρο της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SST). Στόχος είναι να βρεθούν περιοχές του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού που χαρακτηρίζονται από μια ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των τιμών SSTA (για κάθε ένα από τα σημεία εσχάρας με κάθε άλλο από τα 189 σημεία) σε μηνιαία, εποχική και ετήσια βάση.

Ο συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα σε δύο χρονοσειρές δεδομένων ίδιου μήκους δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}_i) \cdot (y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y}_i)^2}} \quad (2.1)$$

όπου στην προκειμένη περίπτωση x_i , y_i είναι οι τιμές των ανωμαλιών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας σε κάθε κόμβο και $\bar{x}_i$, $\bar{y}_i$ οι αντίστοιχες μέσες τιμές τους. Στην απλούστερη αυτή μορφή του συντελεστή συσχέτισης θεωρείται ότι η σχέση που συνδέει τις δύο μεταβλητές X και Y είναι γραμμική. Επιπλέον, υπολογίζεται και το επίπεδο εμπιστοσύνης του συντελεστή συσχέτισης (95%). Προκειμένου να εξετασθεί αν η τιμή του συντελεστή συσχέτισης που έχει υπολογιστεί είναι στατιστικά σημαντική ή μη σε επίπεδο σημαντικότητας P θα πρέπει να συγκριθεί με τον αντίστοιχο συντελεστή συσχέτισης που προκύπτει από δύο τυχαίες σειρές, οι οποίες περιέχουν τόσα ζεύγη N παρατηρήσεων όσα και η αρχική σειρά. Έχει

διαπιστωθεί ότι αν το πλήθος των ζευγών N είναι αρκετά μεγάλο, τότε η κατανομή των συντελεστών συσχέτισης ακολουθεί την "κανονική". Στην αντίθετη περίπτωση η κατανομή που ακολουθούν οι συντελεστές συσχέτισης είναι η t -κατανομή και η θεωρητική τιμή του συντελεστή συσχέτισης r_t θα δίδεται από τη σχέση:

$$r_t = \frac{t}{\sqrt{t^2 + N - 2}} \quad (2.2)$$

όπου: N το πλήθος των ζευγών, $v=N-2$ οι βαθμοί ελευθερίας, t η τιμή της t -κατανομής που αντιστοιχεί σε v βαθμούς ελευθερίας και στάθμη εμπιστοσύνης P . Ένας συντελεστής συσχέτισης θα είναι στατιστικώς σημαντικός σε στάθμη σημαντικότητας $\alpha = 0.05$, αν λαμβάνει τιμή απολύτως μεγαλύτερη ή ίση με τον r_t (Μπλούτσος, 1984).

Στην παρούσα εργασία η περίοδος μελέτης είναι 49 έτη (1951-1999), επομένως το πλήθος των ζευγών N είναι 49, όταν η μελέτη αναφέρεται στις ετήσιες και εποχικές τιμές, ενώ όταν αναφέρεται στις μέσες μηνιαίες τιμές των ανωμαλιών το πλήθος είναι 588. Με βάση τη σχέση (2.2) βρέθηκε ότι η θεωρητική τιμή του συντελεστή r_t είναι 0.282 για N ίσο με 49 και 0.081 όταν το πλήθος είναι 588. Επομένως οι συντελεστές συσχέτισης που έχουν τιμή απολύτως μεγαλύτερη ή ίση με 0.282 και 0.081, αντίστοιχα, θεωρούνται στατιστικά σημαντικοί σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Με βάση τη σχέση (2.1) υπολογίσθηκαν οι συντελεστές συσχέτισης για κάθε ένα από τα σημεία εσχάρας της περιοχής μελέτης με κάθε ένα από τα υπόλοιπα 189, σε μηνιαία, εποχική και ετήσια βάση. Σχηματίσθηκε με τον τρόπο αυτό ο πίνακας συσχετίσεων από τον οποίο στη συνέχεια απομονώθηκαν οι μέγιστοι και ελάχιστοι συντελεστές συσχέτισης για κάθε σημείο εσχάρας. Τελικά, από τους 380 σε πλήθος συντελεστές βρέθηκαν ο μέγιστος και ο ελάχιστος όλων. Όπως είναι αναμενόμενο, οι δύο αυτοί συντελεστές δεν αντιστοιχούν στις ίδιες περιοχές κάθε φορά αλλά διαφοροποιούνται από εποχή σε εποχή.

Από τον πίνακα 2.1 είναι εμφανές ότι, οι δύο συγκεκριμένες περιοχές, που δόθηκαν αρχικά, εμφανίζουν στατιστικώς σημαντικούς συντελεστές

συσχέτισης, με εξαίρεση δύο εποχές, τον χειμώνα και την άνοιξη. Οι συντελεστές συσχέτισης, εκτός αυτών της άνοιξης, είναι όλοι θετικοί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1. Οι συντελεστές συσχέτισης των SSTA των σημείων εσχάρας της περιοχής του Reykjáníkk [64° 04' Β, 21° 32' Δ] με τη περιοχή Hondas Luna στις Azores [37° 42' Β, 25° 42' Δ].

	v=N-2	α / α Σημείων: 108-117	α / α Σημείων: 122-117
Μηνιαίες Τιμές	586	0,142	0,206
Ετήσιες Τιμές	47	0,327	0,371
Χειμώνας	47	0,181	0,187
Άνοιξη	47	-0,116	-0,026
Καλοκαίρι	47	0,323	0,369
Φθινόπωρο	47	0,323	0,392

Εν συνεχεία, στον πίνακα 2.2, παρουσιάζονται οι άκρες τιμές των συντελεστών συσχέτισης των 190 κομβικών σημείων του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού σε ό,τι αφορά τις τιμές της SSTA, καθώς και το ζεύγος των σημείων εσχάρας στα οποία αναφέρονται.

Ο υπολογισμός των μεγίστων, κατ' απόλυτη τιμή, συντελεστών συσχέτισης κρίθηκε σκόπιμο να γίνει εκτός από την ετήσια τόσο μηνιαία όσο και εποχική βάση, προκειμένου να εξακριβωθεί κατά πόσο τα αποτελέσματα επαναλαμβάνονται ή αν παρουσιάζουν ομοιόμορφη συμπεριφορά. Οι θετικοί συντελεστές συσχέτισης σημειώνονται στο διάστημα [0.92, 0.98], ενώ οι αρνητικοί στο [-0.71, -0.31]. Όλοι είναι στατιστικά σημαντικοί.

Από τον πίνακα 2.2, διαπιστώνεται ότι υψηλοί θετικοί συντελεστές συσχέτισης τόσο σε ετήσια, μηνιαία βάση όσο και κατά τον χειμώνα και το φθινόπωρο φαίνεται να καλύπτουν μια ευρύτερη περιοχή που εκτείνεται από τις 45°-60° Βόρεια και από τις 20°-40° Δυτικά. Τα σημεία εσχάρας που εμφανίζουν μέγιστους θετικούς συντελεστές συσχέτισης είναι γειτονικά. Επομένως, είναι σημαντικό να εντοπισθούν οι αιτίες που προσδίδουν μια ομοιόμορφη συμπεριφορά στις δυο από τις τέσσερις εποχές του χρόνου, σε σχέση με την ετήσια. Η περιοχή αυτή φαίνεται να περιορίζεται Βόρεια και

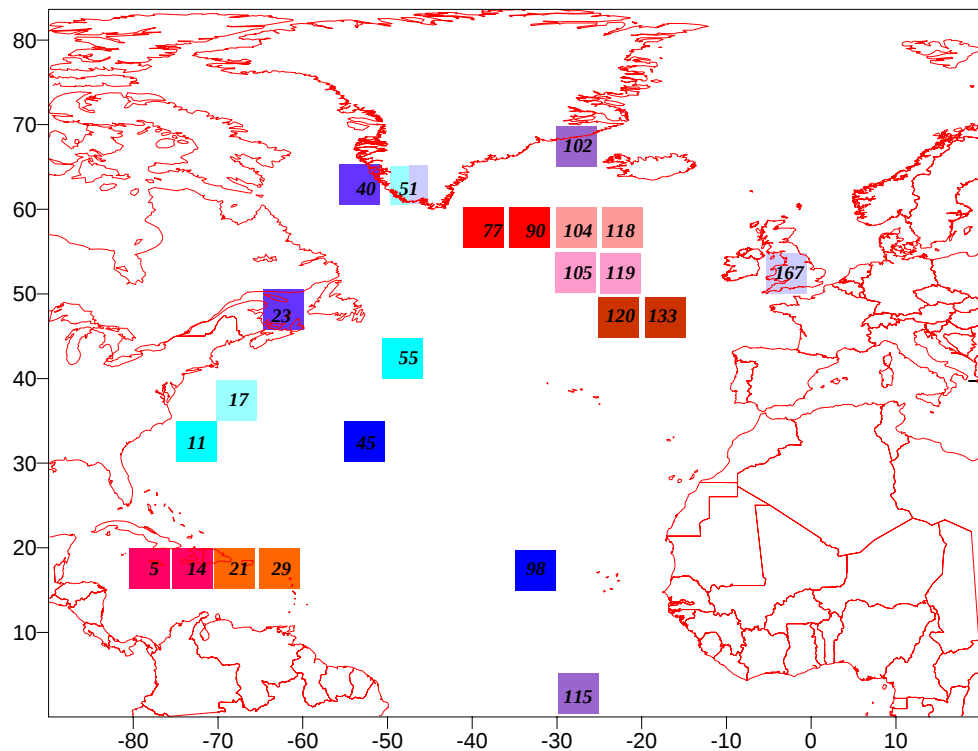
Νότια από τα δύο σημεία που δόθηκαν αρχικά και εμφανίζουν υψηλό αρνητικό συντελεστή συσχέτισης, το Reykjavik [64° 04' Β, 21° 32' Δ] και την περιοχή Hondas Luna στις Azores [37° 42' Β, 25° 42' Δ]. Σε ό,τι αφορά τώρα την άλλες δυο εποχές, αυτές παρουσιάζουν υψηλούς θετικούς συντελεστές συσχέτισης στην περιοχή 15°-20° Β με 60°-80° Δ. Τα κομβικά σημεία είναι πάλι γειτονικά, ενώ φαίνεται να καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή της Καραϊβικής.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2. Οι συντελεστές συσχέτισης των 190 κομβικών σημείων της περιοχής μελέτης για την θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας.

	Χειμώνας	<u>Κομβικά</u>	Άνοιξη	<u>Κομβικά</u>	Καλοκαίρι	<u>Κομβικά</u>	Φθινόπωρο	<u>Κομβικά</u>
	<i>Συν. Συσχετ.</i>	<u>Σημεία</u>	<i>Συν. Συσχετ.</i>	<u>Σημεία</u>	<i>Συν. Συσχετ.</i>	<u>Σημεία</u>	<i>Συν. Συσχετ.</i>	<u>Σημεία</u>
Μέγιστος όλων	0.96	105, 119	0.96	21, 29	0.97	5, 14	0.96	77, 90
Ελάχιστος όλων	-0.59	17, 51	-0.71	45, 98	-0.45	23, 40	-0.47	102, 115
	Ετήσιες Τιμές	<u>Κομβικά</u>	Μηνιαίες Τιμές	<u>Κομβικά</u>				
	<i>Συν. Συσχετ.</i>	<u>Σημεία</u>	<i>Συν. Συσχετ.</i>	<u>Σημεία</u>				
Μέγιστος όλων	0.98	104, 118	0.92	120, 133				
Ελάχιστος όλων	-0.51	11, 55	-0.31	51, 167				

Σχετικά με τους αρνητικούς συντελεστές συσχέτισης, αυτοί αφενός έχουν την ιδιομορφία ότι δεν εμφανίζουν παραπλήσια συμπεριφορά σε όποια χρονική βάση και αν γίνεται η μελέτη, ενώ, επιπλέον, συνδέουν σημεία τα οποία απέχουν αρκετή απόσταση μεταξύ τους. Ο μεγαλύτερος αρνητικός συντελεστής συσχέτισης σημειώνεται την άνοιξη και αναφέρεται στις περιοχές με συντεταγμένες [30°-35° Β, 50°-55° Δ] και [15°-20° Β, 30°-35° Δ]. Την ετήσια συμπεριφορά φαίνεται να την καθορίζουν δυο εποχές, ο χειμώνας και το καλοκαίρι. Έτσι, τα δύο σημεία που παρουσιάζουν τον υψηλότερο αρνητικό συντελεστή συσχέτισης κατά τη διάρκεια του έτους, μετατοπίζονται βορειότερα και λίγο πιο ανατολικά κατά τον χειμώνα και ακόμα βορειότερα κατά τη διάρκεια του θέρους.

Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζονται εποπτικά τα αποτελέσματα που δίδονται στον πίνακα 2.2.



MAX winter MAX spring MAX summer MAX autumn MAX yearly MAX monthly

MIN winter MIN spring MIN summer MIN autumn MIN yearly MIN monthly

ΣΧΗΜΑ 2.1. Γεωγραφική κατανομή των μεγίστων και ελαχίστων συντελεστών συσχέτισης των SSTA των 190 κομβικών σημείων σε ετήσια, εποχική και μηνιαία βάση.

Κεφάλαιο 3^ο.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ SSTA ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ:

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ

Ένας από τους κύριους στόχους μιας κλιματικής μελέτης είναι η εξέταση, περιγραφή, ερμηνεία και αξιολόγηση των μεταβολών κάποιου μεγέθους. Το μέγεθος το οποίο εξετάζεται στην παρούσα εργασία είναι οι αποχές της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SSTA). Η μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνότερα στις μελέτες αυτού του είδους είναι αυτή της Ανάλυσης σε Κύριες Συνιστώσες (Principal Components Analysis). Ωστόσο, η μέθοδος αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται με ιδιαίτερη προσοχή στην μετεωρολογική έρευνα. Στόχος της είναι η κατανόηση των δεδομένων μιας παραμέτρου και η μελέτη των σχέσεων μεταξύ κάποιων συσχετιζόμενων, αρχικά, μεταβλητών. Με την εφαρμογή της μεθόδου επιτυγχάνεται η εύρεση κάποιων παραγόντων στους οποίους οφείλεται ένα μεγάλο ποσοστό της διασποράς των αρχικών δεδομένων, η εύρεση της συμβολής του καθενός στην ολική διασπορά, ο προσδιορισμός τυχών φυσικών ομάδων μεταβλητών με υψηλές συσχετίσεις και τέλος, η ερμηνεία των συνιστωσών.

Εντοπίζοντας τους σημαντικότερους παράγοντες, ως προς την συνεισφορά τους στην ολική διασπορά, είναι δυνατή η μείωση του πλήθους των μεταβλητών πριν αυτοί χρησιμοποιηθούν σε κάποια μελέτη. Αρχικά, οι κ συσχετιζόμενες μεταβλητές μετασχηματίζονται σε ένα σύνολο μη συσχετιζόμενων μεταβλητών, οι οποίες ονομάζονται κύριες συνιστώσες, προκειμένου να καταστεί εφικτή η εξέταση των σχέσεων που τις συνδέουν. Οι τελευταίες αποτελούν γραμμικό συνδυασμό των αρχικών μεταβλητών και παράγονται σε φθίνουσα διάταξη της σπουδαιότητάς τους ως προς την συμβολή τους στην διασπορά των αρχικών δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι ο πρώτος παράγοντας είναι υπόλογος για τη μεγαλύτερη δυνατή διασπορά των αρχικών δεδομένων (Preisendorfer, 1988; Wilks, 1995).

Αντικειμενικός σκοπός της ανάλυσης είναι η εξέταση, αν οι πρώτοι παράγοντες ευθύνονται για μεγάλο ποσοστό της διασποράς των δεδομένων. Σε αυτή την περίπτωση η διάσταση του προβλήματος είναι μικρότερη από κ . Αν τα αρχικά δεδομένα έχουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους, τότε αναμένεται οι πρώτες ν συνιστώσες, όπου $\nu < \kappa$, να δίνουν ικανοποιητική ερμηνεία στα δεδομένα και να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση του προβλήματος. Η PCA εφαρμόζεται, κυρίως, σε ποσοτικά δεδομένα. Έχει νόημα εφόσον οι

αρχικές μεταβλητές συσχετίζονται μεταξύ τους και ο πίνακας των δεδομένων είναι πλήρης, δηλαδή δεν υπάρχουν ελλείπουσες τιμές. Η όλη διαδικασία απαιτεί πλήθος μαθηματικών σχέσεων (ώστε να εξαχθούν τα ζητούμενα αποτελέσματα), οι οποίοι δεν παρατίθενται στην συγκεκριμένη εργασία ώστε να μην ξεφύγει αυτή από το σκοπό της. Εφαρμόζοντας την PCA, λαμβάνονται οι κύριες συνιστώσες, οι φορτίσεις (loadings) και τα scores. Οι κύριες συνιστώσες θεωρούνται σημαντικές αν έχουν χαρακτηριστική τιμή μεγαλύτερη της μονάδας, αλλιώς θεωρείται θόρυβος και απορρίπτεται. Οι φορτίσεις αποτελούν τους συντελεστές συσχέτισης των αρχικών μεταβλητών στις κύριες συνιστώσες και επομένως, κάθε κύρια συνιστώσα έχει τόσες φορτίσεις όσες είναι στον αριθμό οι αρχικές μεταβλητές και παίρνουν τιμές στο διάστημα $[-1,1]$. Τα scores είναι οι νέες αποστάσεις των αρχικών σημείων σε σχέση με τις κύριες συνιστώσες. Μπορούν να είναι αρνητικά ή θετικά ενώ το πλήθος τους συμπίπτει με το μήκος της χρονοσειράς.

Τα αποτελέσματα είναι δυνατόν να ληφθούν με δύο τρόπους. Πρώτον, χωρίς περιστροφή, οπότε και η πρώτη κύρια συνιστώσα είναι συνιστώσα μεγέθους, δηλαδή ο σταθμός όπου η μεταβλητή έχει τη μεγαλύτερη τιμή θα εμφανίζει και κατά κανόνα τη μέγιστη φόρτιση. Στην περίπτωση αυτή, οι φορτίσεις τοποθετούνται σύμφωνα με το αρχικό τους μέγεθος. Η δεύτερη και η τρίτη συνιστώσα οφείλονται, συνήθως, σε γεωγραφικούς παράγοντες καθώς και στην κυκλοφορία και για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι απαραίτητη η καλή γνώση της υπό μελέτη περιοχής. Συνήθως, η διασπορά που εξηγεί η μία συνιστώσα σε σχέση με τις προηγούμενες, μειώνεται γεωμετρικά. Ο δεύτερος τρόπος είναι με περιστροφή των αξόνων βάσει της μεθόδου *varimax*, με την οποία επιτυγχάνεται η καλύτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Η περιστροφή γίνεται έτσι ώστε ορισμένες από τις μεταβλητές να αποκτήσουν μεγάλο βάρος, μεγάλες φορτίσεις στην κύρια συνιστώσα, ενώ οι άλλες να γίνουν μηδενικές και να αγνοηθούν (Richman, 1981; Richman, 1986; White et al., 1991). Άλλες τυπικές ορθογώνιες μέθοδοι περιστροφής είναι η *varimax*, η *biquartimax*, η *quartimax* και η *equamax*.

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν υφίσταται κάποιο μαθηματικό κριτήριο αποκοπής για να αποφασιστεί πόσες συνιστώσες θα ληφθούν υπόψη

στη μελέτη και η διαδικασία γίνεται μάλλον εμπειρικά. Είναι δυνατόν να επιλεγούν όσες συνιστώσες εξηγούν συγκεκριμένο ποσοστό διασποράς ή όσες έχουν χαρακτηριστική τιμή μεγαλύτερη της μονάδος. Στην εργασία αυτή, η επιλογή των κυρίων συνιστωσών θα γίνει με το δεύτερο κριτήριο. Σημαντικό πλεονέκτημα της PCA είναι ότι παρέχει ένα γρήγορο τρόπο μείωσης της διάστασης των δεδομένων. Επιπλέον, αποκαλύπτει ομάδες που ίσως θα ήταν αδύνατο να εντοπιστούν διαφορετικά.

Στην εργασία αυτή εφαρμόσθηκε η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες στις μέσες μηνιαίες τιμές των αποχών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SSTA) του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού. Η ανάλυση έγινε τόσο σε ετήσια, μηνιαία όσο και εποχική βάση προκειμένου να προσδιοριστούν πιθανές φυσικές ομάδες μεταβλητών με υψηλές συσχετίσεις μεταξύ τους. Η χρήση της μεθόδου αυτής, προκειμένου να ομαδοποιηθούν κάποιοι σταθμοί, σύμφωνα με τη συμπεριφορά και την πορεία τω χρονοσειρών του μεγέθους που μελετάται, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από διάφορους μελετητές (Λώλης, 2002; Maheras, 1988; Maheras, 1989; Maheras et al., 1992; Sneyers et al., 1988; Sneyers et al., 1992).

Εφαρμόζοντας την ανάλυση και σε εποχική βάση είναι δυνατόν, επίσης, να απεικονιστεί ποια από τις εποχές του έτους συνεισφέρει περισσότερο στην τελική ετήσια εικόνα. Οι κύριες συνιστώσες αναζητούνται υπό την προϋπόθεση να είναι η αντίστοιχη χαρακτηριστική τιμή μεγαλύτερη της μονάδας. Τελικά, ο μέγιστος αριθμός των κυρίων συνιστωσών που θα προκύψουν θα αντιστοιχεί στον αριθμό των θετικών ιδιοτιμών του παραπάνω πίνακα. Στη συνέχεια, υπολογίσθηκαν οι φορτίσεις με περιστροφή. Από αυτές, με βάση σε ποια κύρια συνιστώσα παρουσιάζει κάθε κομβικό σημείο τη μεγαλύτερη φόρτιση, έγινε η κατάταξη των περιοχών σε επιμέρους κατηγορίες και η χαρτογράφηση αυτών.

Για την εφαρμογή της μεθόδου της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες έγινε χρήση του στατιστικού λογισμικού Statistica. Προκειμένου να υπάρχει μια αντιστοιχία, σε όποια χρονική βάση και αν γίνεται η μελέτη, δόθηκε στο πρόγραμμα η εντολή να λαμβάνονται 10 σε πλήθος κύριες συνιστώσες. Αυτές ερμηνεύουν σε αρκετά μεγάλο ποσοστό τη συνολική διακύμανση των 190

κομβικών σημείων του Ατλαντικού που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία. Το ποσοστό της συνολικής διακύμανσης, που ερμηνεύουν, λαμβάνει τιμές άνω του 80% σε όλες τις περιπτώσεις εφαρμογής της μεθόδου, με μόνη εξαίρεση την ανάλυση των μηνιαίων τιμών, όπου οι πρώτες δέκα κύριες συνιστώσες ερμηνεύουν το 68% της συνολικής διακύμανσης.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου. Κατηγοριοποιώντας τα κομβικά σημεία ως προς την κύρια συνιστώσα στην οποία αντιστοιχεί η μέγιστη φόρτισή τους, λαμβάνονται διάφορες υποπεριοχές του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού. Μια τέτοια διαδικασία χωρίζει την μελετούμενη περιοχή σε τμήματα που επηρεάζονται από επί μέρους παράγοντες και που προσδίδουν σε κάθε ένα από αυτά κάποια ξεχωριστά χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια, κάθε μια από τις επιμέρους γεωγραφικές περιοχές που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις σημαντικότερες συνιστώσες περιγράφεται περιληπτικά για κάθε εποχή, καθώς και για την περίπτωση του έτους. Συνήθως, η χωρική κατανομή των φορτίσεων παρουσιάζεται σε τόσους χάρτες όσους και το πλήθος των συνιστωσών που διατηρούνται, ωστόσο για εξοικονόμηση χρόνου και για καλύτερη θεώρηση και σύγκριση, στην παρούσα μελέτη τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ένα χάρτη και για τις δέκα συνιστώσες.

A) Ετήσιες Τιμές

Από την εφαρμογή της μεθόδου στις μέσες ετήσιες τιμές των SSTA διαπιστώθηκε ότι οι δέκα κύριες συνιστώσες ερμηνεύουν το 85.1% της συνολικής διακύμανσης. Πιο αναλυτικά και για κάθε συνιστώσα παρατηρούνται (από το σχήμα 3.1) τα ακόλουθα.

Η **1^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 18.6% της συνολικής διακύμανσης (18.6%) και καλύπτει το νοτιότερο τμήμα του ωκεανού από την περιοχή του Ισημερινού έως και τις 20° Β (ζώνη του Ισημερινού). Αυτό σημαίνει ότι οι χρονοσειρές των SSTA κάθε κομβικού σημείου της περιοχής στην οποία αναφέρεται η πρώτη συνιστώσα αλληλοσυσχετίζονται. Σημαντικό είναι ότι υπάρχει μια μικρή περιοχή στο βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης που

αντιστοιχεί και αυτή στην πρώτη κύρια συνιστώσα. Η περιοχή αυτή βρίσκεται περίπου στις 50° Β και 40°-50° Δ και οι χρονοσειρές των SSTA των κομβικών σημείων που αντιστοιχούν σε αυτή, παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με αυτές της Ισημερινής ζώνης του Ατλαντικού.

Η **2^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 6.3% της συνολικής διακύμανσης (6.3%) και καλύπτει το βορειότερο κομμάτι του Ατλαντικού ωκεανού ανάμεσα στην Ισλανδία και τη Σκανδιναβική χερσόνησο. Αποτελεί την έβδομη σε σειρά συνιστώσα ως προς τη συμβολή της στη διασπορά των αρχικών δεδομένων.

Η **3^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 9.7% της συνολικής διακύμανσης (9.7%) και αντιστοιχεί στην περιοχή νοτίως της Γροιλανδίας και έως τις 50° Β περίπου. Περιορίζεται από τις περιοχές που καλύπτουν οι συνιστώσες 4 και 5, οι οποίες ερμηνεύουν συνολικά πάνω από το 20% της συνολικής διακύμανσης.

Η **4^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 10.5% της συνολικής διακύμανσης (10.5%), καλύπτει το κεντρικότερο τμήμα του ωκεανού και εκτείνεται από τις 20° Δ έως τις 70° Δ. Αποτελεί τη τρίτη σε σπουδαιότητα συνιστώσα για την περίπτωση του έτους.

Η **5^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 10.6% της συνολικής διακύμανσης (10.6%), είναι η δεύτερη σπουδαιότερη συνιστώσα και καλύπτει τα παράλια της γηραιάς ηπείρου από τη Γαλλία και χαμηλότερα, καθώς και το βόρεια παράλια της Αφρικής. Ένα τμήμα της εκτείνεται και στη δυτική Μεσόγειο.

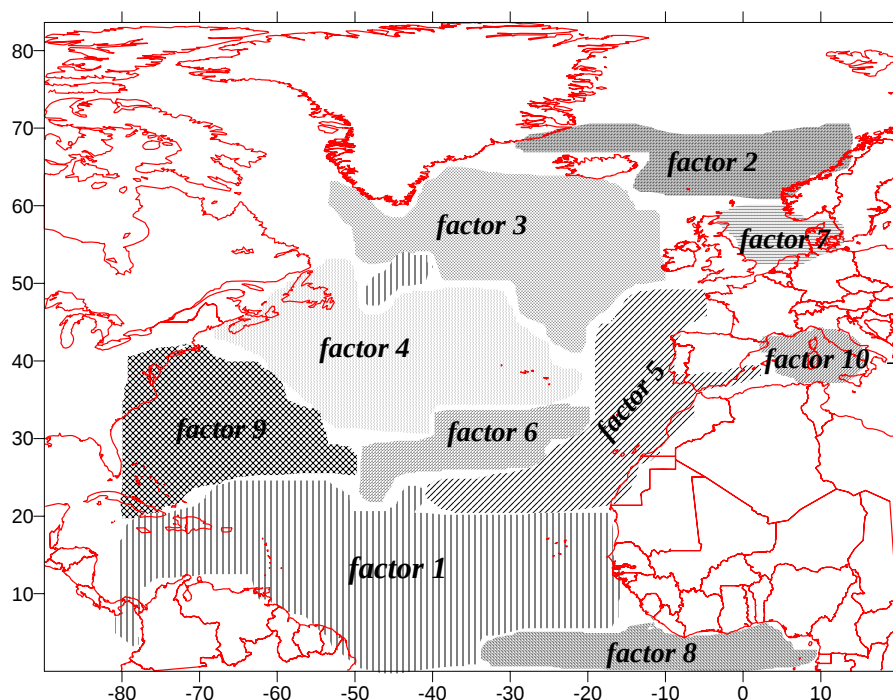
Η **6^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.5% της συνολικής διακύμανσης (5.5%) και εκτείνεται ανάμεσα στις περιοχές που αντιστοιχούν στις συνιστώσες 4 και 5.

Η **7^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.9% της συνολικής διακύμανσης (5.9%) και αντιστοιχεί στην περιοχή ανάμεσα στην Μεγάλη Βρετανία και τη χερσόνησο της Σκανδιναβίας.

Η **8^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7.5% της συνολικής διακύμανσης (7.5%) και αποτελεί μια μικρή ζώνη πλάτους πέντε μοιρών στο νοτιοανατολικό τμήμα του Ατλαντικού.

Η **9^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 6.9% της συνολικής διακύμανσης (6.9%) και καλύπτει το δυτικό κομμάτι του ωκεανού, κοντά στο Κόλπο του Μεξικού. Τα όρια της καθορίζονται από τις συνιστώσες 1, 4 και 6.

Η **10^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 3.6% της συνολικής διακύμανσης (3.6%) και είναι η λιγότερο σημαντική από τις δέκα και αντιστοιχεί στο κεντρικό τμήμα της Μεσογείου.



ΣΧΗΜΑ 3.1. Χωρική κατανομή των περιοχών του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού, εντός των οποίων η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας συμμεταβάλλεται (Ετήσιες τιμές). Περίοδος 1951-1999.

B) Μηνιαίες Τιμές

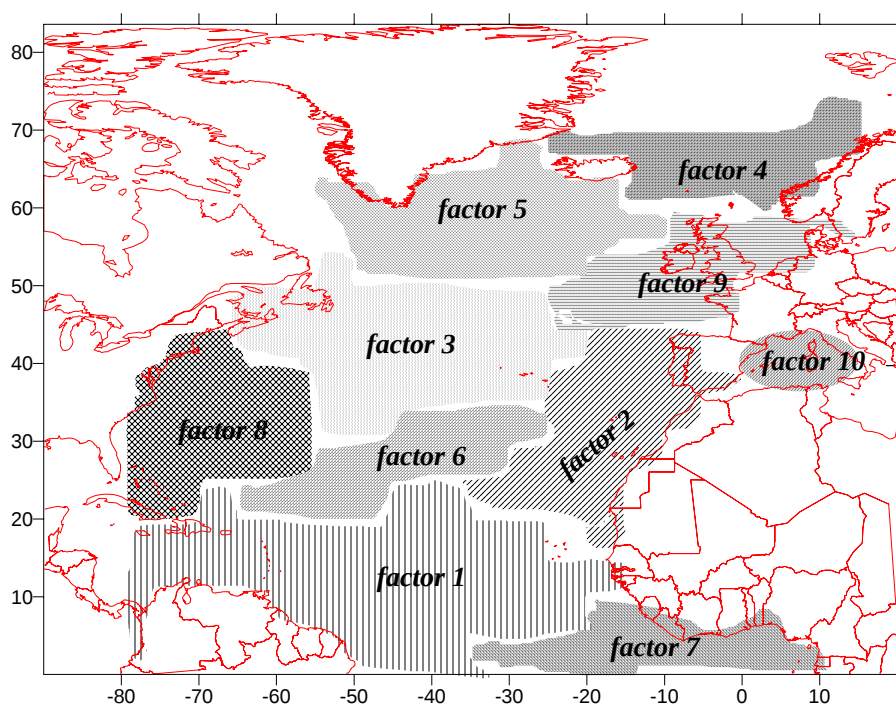
Στη συνέχεια, η μέθοδος της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες εφαρμόσθηκε και στις μέσες μηνιαίες τιμές των SSTA (σχήμα 3.2) και προέκυψαν οι ακόλουθες συνιστώσες. Συνολικά ερμηνεύουν το 68.6% της συνολικής διασποράς των δεδομένων.

Η **1^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 13.8% της συνολικής διακύμανσης (13.8%) και καλύπτει, όπως και προηγουμένως, την Ισημερινή ζώνη του

Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού. Εμφανίζεται, όμως, ελαφρώς πιο περιορισμένη σε σχέση με την αντίστοιχη περιοχή για το έτος.

Η **2^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 9% της συνολικής διακύμανσης (9%), αντικατοπτρίζει μια ζώνη πλάτους 20° περίπου που εκτείνεται με διεύθυνση νοτιοδυτική προς βορειοανατολική κατά μήκος των ακτών της Πορτογαλίας και της βορειοδυτικής αφρικανικής ηπείρου. Ένα μικρό τμήμα της περνάει από το Γιβραλτάρ στη δυτική Μεσόγειο θάλασσα.

Η **3^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 8% της συνολικής διακύμανσης (8%), καλύπτει το κεντρικότερο τμήμα του ωκεανού και εκτείνεται από τις 25° Δ έως τις 70° Δ. Αποτελεί την τρίτη σε σπουδαιότητα συνιστώσα για την περίπτωση της μηνιαίας ανάλυσης και έχει πλάτος έως 20°.



ΣΧΗΜΑ 3.2. Χωρική κατανομή των περιοχών του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού, εντός των οποίων η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας συμμεταβάλλεται (Μηνιαίες Τιμές). Περίοδος 1951-1999.

Η **4^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.5% της συνολικής διακύμανσης (5.5%) και αντιστοιχεί στο πιο βορειοανατολικό τμήμα του ωκεανού.

Η **5^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7.4% της συνολικής διακύμανσης (7.4%), περιορίζεται χωρικά από τις συνιστώσες 3, 4 και 9 και καλύπτει μια αρκετά μεγάλη περιοχή του βόρειου τμήματος της περιοχής μελέτης.

Η **6^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.6% της συνολικής διακύμανσης (5.6%) και εκτείνεται ανάμεσα στις περιοχές που αντιστοιχούν στις συνιστώσες 1, 2, 3 και 8.

Η **7^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.6% της συνολικής διακύμανσης (5.6%) και περιγράφει την περιοχή, που στην περίπτωση του έτους αντιστοιχούσε στη συνιστώσα 8, μια μικρή ζώνη 5^ο μοιρών περίπου πλάτους στο νοτιοανατολικό τμήμα του Ατλαντικού.

Η **8^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5% της συνολικής διακύμανσης (5%) και καλύπτει το δυτικό κομμάτι του ωκεανού, στο Κόλπο του Μεξικού. Τα όρια της καθορίζονται από τις συνιστώσες 1, 3 και 6.

Η **9^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.1% της συνολικής διακύμανσης (5.1%) και αντιστοιχεί στα παράλια της κεντρικής και δυτικής Ευρώπης.

Η **10^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 3.6% της συνολικής διακύμανσης (3.6%), είναι η λιγότερο σημαντική από τις δέκα και αντιστοιχεί, όπως και προηγουμένως, στο κεντρικό τμήμα της Μεσογείου.

Γ) Εποχικές τιμές

α) Χειμώνας

Στη περίπτωση του χειμώνα η μέθοδος εφαρμόσθηκε δύο φορές. Στην πρώτη περίπτωση ο χειμώνας κάθε έτους προέκυπτε ως η μέση τιμή του Ιανουαρίου, του Φεβρουαρίου και του Δεκεμβρίου του ίδιου έτους (σχήμα 3.3) ενώ στην άλλη στη μέση τιμή λαμβανόταν ο Δεκέμβριος της αμέσως προηγούμενης χρονιάς (σχήμα 3.4). Οι δύο αναλύσεις παρουσιάζουν κάποιες διαφορές ωστόσο κρίνεται σκόπιμο να περιγραφεί πιο αναλυτικά μόνο η δεύτερη. Συνολικά οι δέκα συνιστώσες περιγράφουν πάνω από το 80% της συνολικής διασποράς των δεδομένων.

Η **1^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 13.4% της συνολικής διακύμανσης (13.4%) και καλύπτει το νοτιότερο τμήμα του ωκεανού από την περιοχή του Ισημερινού έως και τις 20^ο Β (ζώνη του Ισημερινού). Είναι αξιόλογο το

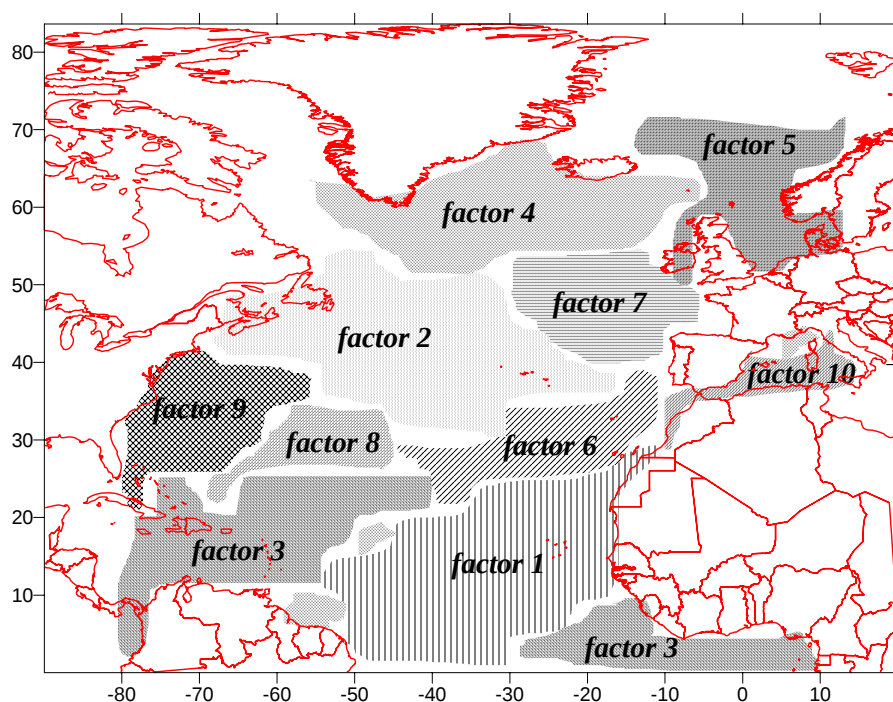
γεγονός ότι η περιοχή που αντιστοιχεί στην πρώτη συνιστώσα εμφανίζεται σημαντικά περιορισμένη σε σχέση με την ετήσια και μηνιαία ανάλυση.

Η **2^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 10.4% της συνολικής διακύμανσης (10.4%), απεικονίζεται σε δυο επιμέρους περιοχές στο νότιο πάντα τμήμα του ωκεανού. Το ένα από αυτά αποτελεί μια μικρή ζώνη πλάτους πέντε μοιρών στο νοτιοανατολικό τμήμα του Ατλαντικού, ενώ το άλλο καλύπτει την περιοχή βορείως της Νότιας Αμερικής στην ευρύτερη περιοχή της Καραϊβικής.

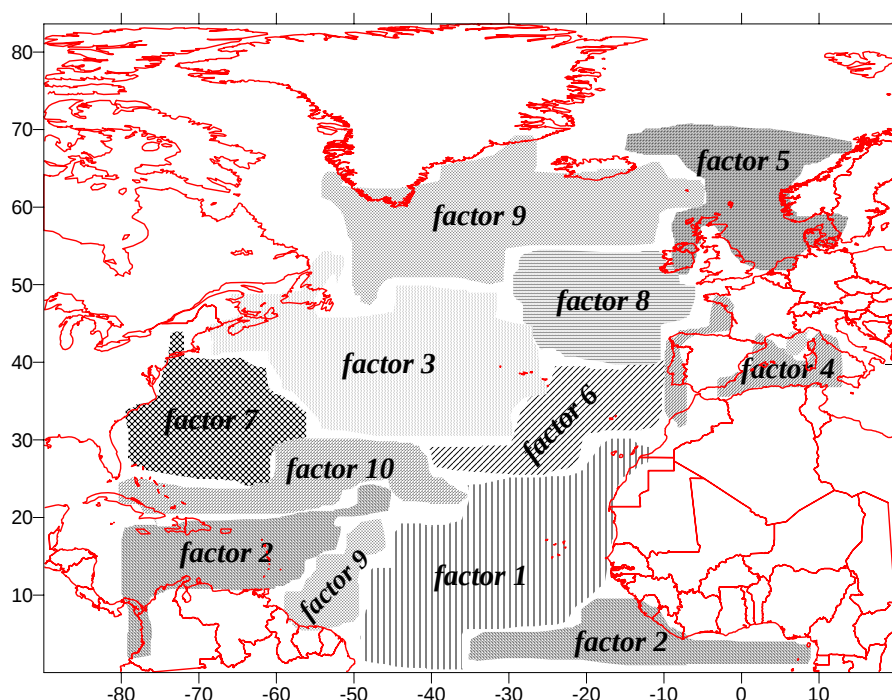
Η **3^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 10.2% της συνολικής διακύμανσης (10.2%) καλύπτει το κεντρικότερο τμήμα του ωκεανού και εκτείνεται από τις 20° Δ έως τις 70° Δ.

Η **4^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 4.8% της συνολικής διακύμανσης (4.8%) και περιγράφει την περιοχή της Μεσογείου και τα παράλια της Πορτογαλίας.

Η **5^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7% της συνολικής διακύμανσης (7%), αντιστοιχεί στο βορειοανατολικότερο τμήμα του Ατλαντικού και εκτείνεται ανάμεσα στην Αγγλία και την Σκανδιναβική χερσόνησο.



ΣΧΗΜΑ 3.3. Χωρική κατανομή των περιοχών του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού, εντός των οποίων η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας συμμεταβάλλεται (Χειμώνας) (Δεκέμβριος ίδιας χρονιάς). Περίοδος 1951-1999.



ΣΧΗΜΑ 3.4. Χωρική κατανομή των περιοχών του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού, εντός των οποίων η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας συμμεταβάλλεται (Χειμώνας) (Δεκέμβριος προηγούμενης χρονιάς). Περίοδος 1951-1999.

Η **6^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.2% της συνολικής διακύμανσης (5.2%), εκτείνεται ανάμεσα στις περιοχές που αντιστοιχούν στις συνιστώσες 1, 3, 8 και 10 και είναι περιορισμένη σε σχέση με τη συνιστώσα που περιγράφει την ίδια περιοχή στην περίπτωση του έτους.

Η **7^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.5% της συνολικής διακύμανσης (5.5%) και καλύπτει το δυτικό κομμάτι του ωκεανού, κοντά στο Κόλπο του Μεξικού. Τα όρια της καθορίζονται από τις συνιστώσες 3 και 10.

Η **8^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 6.9% της συνολικής διακύμανσης (6.9%) και περιγράφει την περιοχή στα δυτικά της Ιρλανδίας.

Η **9^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 11.7% της συνολικής διακύμανσης (11.7%) και καλύπτει το βόρειο κομμάτι του ωκεανού, κοντά στη Γροιλανδία.

Η **10^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.8% της συνολικής διακύμανσης (5.8%) καλύπτει μια λεπτή και επιμήκης περιοχή από τις 80° Δ έως τις 40° περίπου στα όρια της οποίας βρίσκονται οι συνιστώσες 2, 3, 7 και 9.

β) Άνοιξη

Κατά την άνοιξη, οι δέκα κύριες συνιστώσες εξηγούν το 82.5% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων των SSTA στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού (σχήμα 3.5). Πιο αναλυτικά:

Η **1^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 22.4% της συνολικής διακύμανσης (22.4%) και καλύπτει το νοτιότερο τμήμα του ωκεανού από την περιοχή του Ισημερινού έως και τις 25° Β (ζώνη του Ισημερινού). Παρατηρείται ότι η περιοχή που αντιστοιχεί στην πρώτη συνιστώσα εμφανίζεται πιο εκτεταμένη σε σχέση με τις προηγούμενες αναλύσεις. Υπάρχει και μια ακόμη περιοχή, αρκετά βορειότερα αυτής, της οποίας η χρονοσειρά των SSTA εμφανίζει παραπλήσια συμπεριφορά.

Η **2^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 10.2% της συνολικής διακύμανσης (10.2%), καλύπτει τα παράλια της Ιβηρικής χερσονήσου και εκτείνεται από τις 10° Δ έως τις 20° περίπου. Επίσης, ένα μικρό κομμάτι της δυτικής Μεσογείου εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά με την παραπάνω περιοχή.

Η **3^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 10% της συνολικής διακύμανσης (10%), αντιστοιχεί στην περιοχή νοτίως της Γροιλανδίας και εκτείνεται από τις 10° Δ έως τις 50° Δ.

Η **4^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.7% της συνολικής διακύμανσης (5.7%) και περιγράφει το νοτιοανατολικό κομμάτι του ωκεανού στην περιοχή του Ισημερινού.

Η **5^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 9.7% της συνολικής διακύμανσης (9.7%), αντιστοιχεί στο κεντρικό τμήμα του Ατλαντικού και περιορίζεται από τις συνιστώσες 3, 6, 8 και 10.

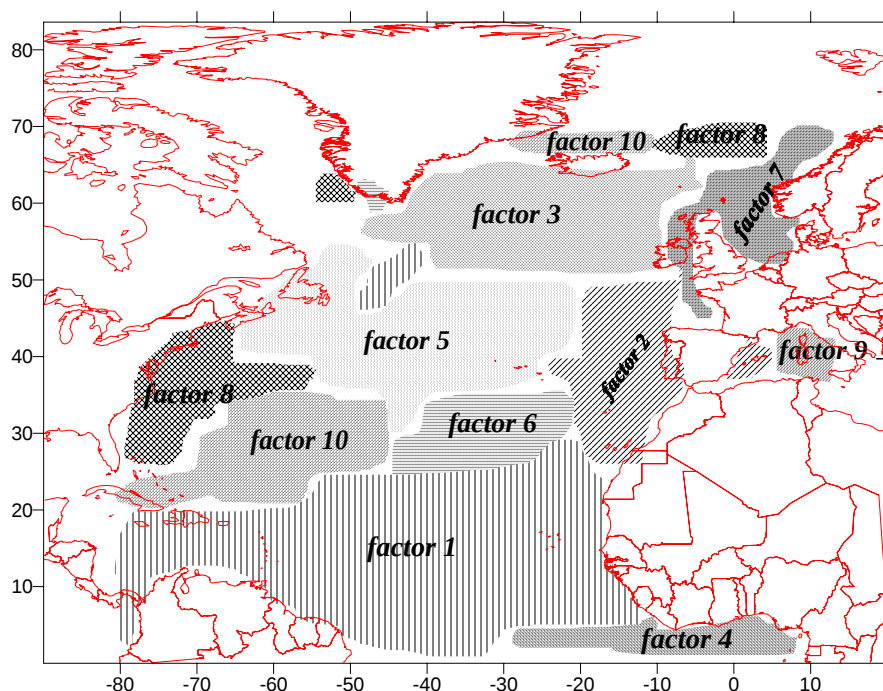
Η **6^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.3% της συνολικής διακύμανσης (5.3%) και καλύπτει την πιο κεντρική περιοχή του ωκεανού με συντεταγμένες από 25°- 35° Β και 20°- 40° Δ.

Η **7^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7.2% της συνολικής διακύμανσης (7.2%) και αντιστοιχεί στη περιοχή ανάμεσα στην Αγγλία και την Σκανδιναβία.

Η **8^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 3.8% της συνολικής διακύμανσης (3.8%) και περιγράφει την περιοχή στην οποία επιδρά το ρεύμα του Κόλπου καθώς και μια μικρή περιοχή βορειοανατολικά της Ισλανδίας.

Η **9^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 2.8% της συνολικής διακύμανσης (2.8%) και καλύπτει την περιοχή της Μεσογείου.

Η **10^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.4% της συνολικής διακύμανσης (5.4%) και καλύπτει μια περιοχή ανάμεσα στις περιοχές που περιγράφουν οι συνιστώσες 1, 5, 6, 8 και 10. Η δέκατη κύρια συνιστώσα εξηγεί και τη μεταβλητότητα μιας μικρής περιοχής βορείως της Ισλανδίας.



ΣΧΗΜΑ 3.5. Χωρική κατανομή των περιοχών του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού, εντός των οποίων η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας συμμεταβάλλεται (Άνοιξη). Περίοδος 1951-1999.

γ) Καλοκαίρι

Το καλοκαίρι η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες έδωσε ότι οι δέκα κύριες συνιστώσες είναι υπεύθυνες για το 80.3% της συνολικής διασποράς των δεδομένων (σχήμα 3.6). Συγκεκριμένα:

Η **1^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 16.8% της συνολικής διακύμανσης (16.8%) και καλύπτει το νοτιότερο τμήμα του ωκεανού από την περιοχή του

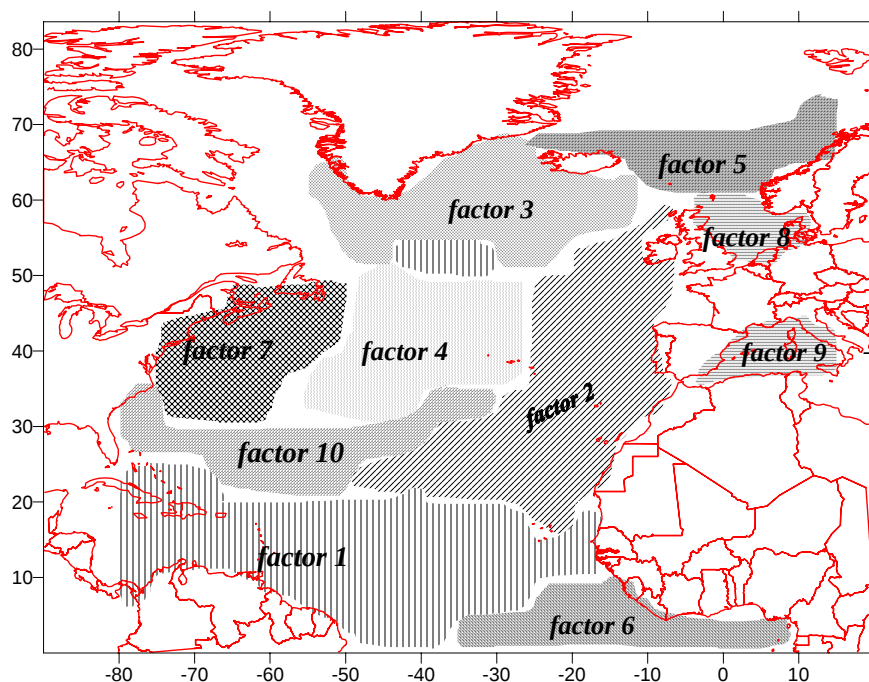
Ισημερινού έως και τις 20° Β (ζώνη του Ισημερινού). Είναι λίγο πιο περιορισμένη από ό,τι την άνοιξη.

Η **2^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 13.5% της συνολικής διακύμανσης (13.5%), καλύπτει τα παράλια της Γηραιάς ηπείρου και εκτείνεται από τις 20°-50° Β και από τις 10°-30° Δ. Στο πιο νότιο τμήμα της εν λόγω περιοχής εμφανίζεται μια γλώσσα καλύπτοντας την περιοχή μέχρι και 50° Δ. Η περιοχή που αντιστοιχεί στη δεύτερη συνιστώσα εμφανίζεται σαφέστατα πιο εκτεταμένη από κάθε άλλη εποχή.

Η **3^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7.5% της συνολικής διακύμανσης (7.5%) και αντιστοιχεί στην περιοχή νοτίως της Γροιλανδίας εκτείνεται από τις 10° Δ έως τις 60° Δ.

Η **4^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7.6% της συνολικής διακύμανσης (7.6%) και αντιστοιχεί στο κεντρικό τμήμα του Ατλαντικού.

Η **5^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7.2% της συνολικής διακύμανσης (7.2%), περιγράφει το πιο βορειοανατολικό τμήμα του ωκεανού και μοιάζει με τις περιοχές που ερμηνεύουν οι συνιστώσες 2 και 4, στην περίπτωση του έτους και του μήνα, αντίστοιχα.



ΣΧΗΜΑ 3.6. Χωρική κατανομή των περιοχών του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού, εντός των οποίων η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας συμμεταβάλλεται (Καλοκαίρι). Περίοδος 1951-1999.

Η **6^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7.4% της συνολικής διακύμανσης (7.4%), περιγράφει το νοτιοανατολικό κομμάτι του ωκεανού στην περιοχή του Ισημερινού και εμφανίζεται λίγο πιο εκτεταμένη από ό,τι η αντίστοιχη περιοχή την προηγούμενη εποχή.

Η **7^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 4.5% της συνολικής διακύμανσης (4.5%) και περιγράφει την περιοχή στην οποία επιδρά το ρεύμα του Κόλπου, η οποία τώρα έχει μεταφερθεί λίγο βορειότερα από όπου βρισκόταν την άνοιξη και καλύπτει μεγαλύτερο τμήμα.

Η **8^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 4.9% της συνολικής διακύμανσης (4.9%) και αντιστοιχεί στη περιοχή ανάμεσα στην Αγγλία και την Σκανδιναβία. Είναι σαφώς πιο περιορισμένη από ότι την άνοιξη.

Η **9^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 4.7% της συνολικής διακύμανσης (4.7%) και καλύπτει την περιοχή της Μεσογείου.

Η **10^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 6.2% της συνολικής διακύμανσης (6.2%) και καλύπτει μια περιοχή ανάμεσα στις περιοχές που περιγράφουν οι συνιστώσες 1, 2, 4 και 7.

δ) Φθινόπωρο

Η εφαρμογή της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες για την περίπτωση του φθινοπώρου έδωσε ότι οι δέκα κύριες συνιστώσες ευθύνονται για το 80.2% της συνολικής διασποράς των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, όπως παρατηρείται και στο σχήμα 3.7:

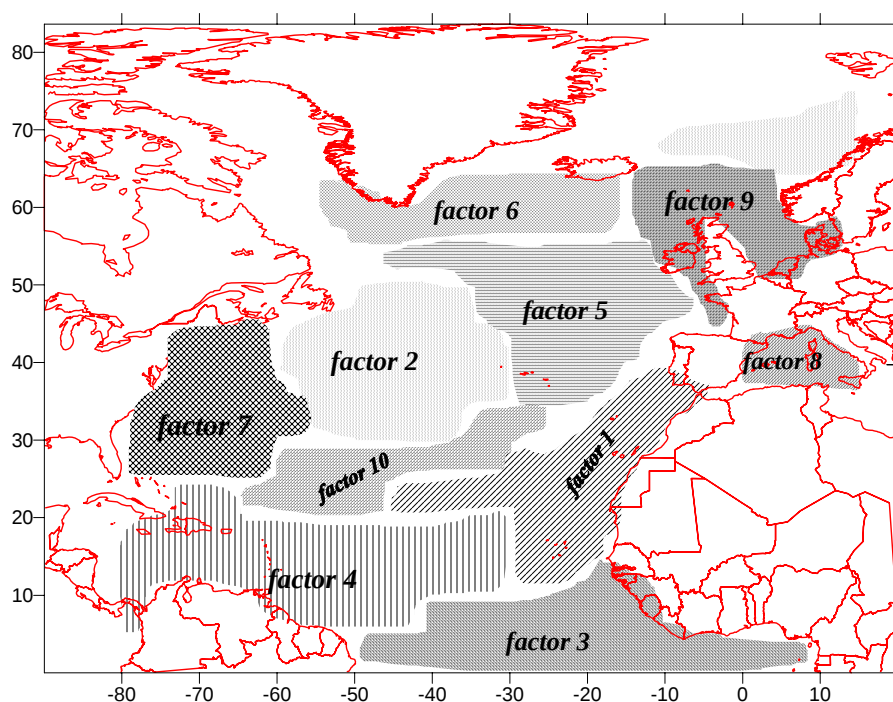
Η **1^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 9.9% της συνολικής διακύμανσης (9.9%) και καλύπτει το ανατολικό τμήμα του ωκεανού πλησίον των δυτικών παραλίων της αφρικανικής ηπείρου. Η περιοχή έχει διεύθυνση από τα νοτιοδυτικά προς τα βορειοανατολικά και είναι πιο περιορισμένη από ό,τι το καλοκαίρι.

Η **2^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 9.4% της συνολικής διακύμανσης (9.4%), αντιστοιχεί σε μια κυκλική περιοχή στο κεντρικό τμήμα του

Ατλαντικού και σε μια ακόμα στην άλλη άκρη του ωκεανού, στο βορειοανατολικότερο τμήμα του.

Η **3^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 9.5% της συνολικής διακύμανσης (9.5%), περιγράφει το νοτιοανατολικό κομμάτι του ωκεανού στην περιοχή του Ισημερινού και εμφανίζεται σαφώς πιο εκτεταμένη από οποιαδήποτε από τις αναλύσεις που περιγράφηκαν προηγουμένως.

Η **4^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 12.6% της συνολικής διακύμανσης (12.6%), αντιστοιχεί στο νοτιοδυτικό κομμάτι του Ατλαντικού, εκτείνεται από το γεωγραφικό πλάτος των 10° Β έως τις 20° Β και αποτελεί τη σημαντικότερη (είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής διασποράς) από τις δέκα συνιστώσες.



ΣΧΗΜΑ 3.7. Χωρική κατανομή των περιοχών του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού, εντός των οποίων η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας συμμεταβάλλεται (Φθινόπωρο). Περίοδος 1951-1999.

Η **5^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7.8% της συνολικής διακύμανσης (7.8%) και περιγράφει μια περιοχή με μορφή τριγωνική και συντεταγμένες 35°-55° Β και 10°-45° Δ.

Η **6^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7.9% της συνολικής διακύμανσης (7.9%) και αναφέρεται σε μια περιοχή με επίμηκες σχήμα νότια της Γροιλανδίας.

Η **7^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 5.4% της συνολικής διακύμανσης (5.4%) και περιγράφει την περιοχή στην οποία επιδρά το ρεύμα του Κόλπου, η οποία τώρα έχει μεταφερθεί λίγο νοτιότερα από ό,τι το καλοκαίρι.

Η **8^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 4.5% της συνολικής διακύμανσης (4.5%) και καλύπτει την περιοχή της Μεσογείου.

Η **9^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 7% της συνολικής διακύμανσης (7%) και αναφέρεται στην περιοχή ανάμεσα στη Μεγάλη Βρετανία και τη Σκανδιναβία, ενώ με μια μορφή Π καλύπτει και τη θαλάσσια περιοχή της Ιρλανδίας.

Η **10^η Συνιστώσα** ερμηνεύει το 6.2% της συνολικής διακύμανσης (6.2%) και καλύπτει μια περιοχή ανάμεσα στις περιοχές που περιγράφουν οι συνιστώσες με αύξοντες αριθμούς 1, 2, 4, 5 και 7 στο κεντρικό τμήμα του Ατλαντικού.

Τέλος, στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες των χρονοσειρών των ανωμαλιών της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SSTA) στο Βόρειο Ατλαντικό ωκεανό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. Αποτελέσματα της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες.

ΈΤΟΣ			ΜΗΝΑΣ		
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ %	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ %
ΠΑΡΑΓΩΝ 1	57,6	18,6	ΠΑΡΑΓΩΝ 1	38,5	13,8
ΠΑΡΑΓΩΝ 2	25,8	6,3	ΠΑΡΑΓΩΝ 2	18,9	9,0
ΠΑΡΑΓΩΝ 3	19,8	9,7	ΠΑΡΑΓΩΝ 3	15,0	8,0
ΠΑΡΑΓΩΝ 4	14,8	10,5	ΠΑΡΑΓΩΝ 4	13,5	5,5
ΠΑΡΑΓΩΝ 5	12,7	10,6	ΠΑΡΑΓΩΝ 5	12,1	7,4
ΠΑΡΑΓΩΝ 6	8,6	5,5	ΠΑΡΑΓΩΝ 6	8,4	5,6
ΠΑΡΑΓΩΝ 7	6,5	5,9	ΠΑΡΑΓΩΝ 7	7,2	5,6
ΠΑΡΑΓΩΝ 8	5,8	7,5	ΠΑΡΑΓΩΝ 8	6,2	5,0
ΠΑΡΑΓΩΝ 9	5,5	6,9	ΠΑΡΑΓΩΝ 9	5,8	5,1
ΠΑΡΑΓΩΝ 10	4,5	3,6	ΠΑΡΑΓΩΝ 10	4,8	3,6
ΆΘΡΟΙΣΜΑ		85,1	ΆΘΡΟΙΣΜΑ		68,6

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ SSTA ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ:
ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΚΥΡΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ.**

ΧΕΙΜΩΝΑΣ (Δεκέμβριος ίδιου έτους)			ΧΕΙΜΩΝΑΣ (Δεκέμβριος προηγούμενου έτους)		
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ %	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ %
ΠΑΡΑΓΩΝ 1	50,7	14,1	ΠΑΡΑΓΩΝ 1	45,8	13,4
ΠΑΡΑΓΩΝ 2	26,4	11,4	ΠΑΡΑΓΩΝ 2	25,0	10,4
ΠΑΡΑΓΩΝ 3	19,6	10,8	ΠΑΡΑΓΩΝ 3	23,1	10,2
ΠΑΡΑΓΩΝ 4	17,6	12,0	ΠΑΡΑΓΩΝ 4	16,5	4,8
ΠΑΡΑΓΩΝ 5	11,7	6,6	ΠΑΡΑΓΩΝ 5	12,4	7,0
ΠΑΡΑΓΩΝ 6	8,5	5,7	ΠΑΡΑΓΩΝ 6	10,0	5,2
ΠΑΡΑΓΩΝ 7	6,1	6,2	ΠΑΡΑΓΩΝ 7	6,5	5,5
ΠΑΡΑΓΩΝ 8	5,3	4,2	ΠΑΡΑΓΩΝ 8	5,6	6,9
ΠΑΡΑΓΩΝ 9	4,6	5,7	ΠΑΡΑΓΩΝ 9	5,1	11,7
ΠΑΡΑΓΩΝ 10	4,4	4,8	ΠΑΡΑΓΩΝ 10	3,9	5,8
Άθροισμα		81,5	Άθροισμα		80,9
Άνοιξη			Καλοκαίρι		
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ %	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ %
ΠΑΡΑΓΩΝ 1	52,8	22,4	ΠΑΡΑΓΩΝ 1	46,6	16,8
ΠΑΡΑΓΩΝ 2	26,5	10,2	ΠΑΡΑΓΩΝ 2	21,9	13,5
ΠΑΡΑΓΩΝ 3	21,7	10,0	ΠΑΡΑΓΩΝ 3	18,6	7,5
ΠΑΡΑΓΩΝ 4	16,0	5,7	ΠΑΡΑΓΩΝ 4	14,8	7,6
ΠΑΡΑΓΩΝ 5	10,3	9,7	ΠΑΡΑΓΩΝ 5	13,0	7,2
ΠΑΡΑΓΩΝ 6	8,9	5,3	ΠΑΡΑΓΩΝ 6	9,8	7,4
ΠΑΡΑΓΩΝ 7	6,6	7,2	ΠΑΡΑΓΩΝ 7	9,0	4,5
ΠΑΡΑΓΩΝ 8	5,4	3,8	ΠΑΡΑΓΩΝ 8	7,8	4,9
ΠΑΡΑΓΩΝ 9	5,1	2,8	ΠΑΡΑΓΩΝ 9	6,6	4,7
ΠΑΡΑΓΩΝ 10	4,0	5,4	ΠΑΡΑΓΩΝ 10	4,5	6,2
Άθροισμα		82,5	Άθροισμα		80,3
Φθινόπωρο					
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ %			
ΠΑΡΑΓΩΝ 1	48,5	9,9			
ΠΑΡΑΓΩΝ 2	19,5	9,4			
ΠΑΡΑΓΩΝ 3	18,8	9,5			
ΠΑΡΑΓΩΝ 4	15,2	12,6			
ΠΑΡΑΓΩΝ 5	12,5	7,8			
ΠΑΡΑΓΩΝ 6	10,9	7,9			
ΠΑΡΑΓΩΝ 7	8,3	5,4			
ΠΑΡΑΓΩΝ 8	7,3	4,5			
ΠΑΡΑΓΩΝ 9	6,2	7,0			
ΠΑΡΑΓΩΝ 10	5,2	6,2			
Άθροισμα		80,2			

Δ) Ανάλυση των χρονοσειρών των SSTA

Στην παραπάνω ανάλυση, ο Βόρειος Ατλαντικός ωκεανός διαιρέθηκε σε δέκα επιμέρους περιοχές (συνιστώσες), για κάθε εποχή και για το έτος. Στο

επόμενο βήμα, θα μελετηθούν οι χρονικές μεταβολές της θερμοκρασίας, σε κάθε μια από τις παραπάνω περιοχές, για την περίοδο 1951-1999. Είναι γνωστό ότι οι συνιστώσες μεταβάλλονται ανεξάρτητα και επομένως, υπάρχουν τόσα διαφορετικά μοντέλα μεταβλητότητας της θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης, όσες και οι υπάρχουσες συνιστώσες. Για κάθε συνιστώσα επιλέχθηκε να μελετηθεί ως προς τη μεταβλητότητα η χρονοσειρά των μέσων ετησίων τιμών των SSTA, ενός κομβικού σημείου, το οποίο και παρουσίαζε τη μέγιστη φόρτιση στη συγκεκριμένη συνιστώσα (Σχήμα 3.8). Τα αποτελέσματα άλλων σχετικών μελετών (Μεταξάς *et al.*, 2000; Jones and Briffa, 1992) έδειξαν ότι η μεταβολή των ετησίων τιμών περιέχει όλα τα κύρια χαρακτηριστικά και των αντίστοιχων εποχικών. Για το λόγο αυτό, στη παρούσα μελέτη κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστεί και να περιγραφεί, για κάθε συνιστώσα, μόνο η χρονοσειρά των SSTA σε ετήσια βάση. Η περιγραφή στηρίζεται, κυρίως, στην εξομαλυσμένη χρονοσειρά των αποχών (κυλιόμενος μέσος 9 ετών), η οποία προέκυψε με κατάλληλο πρόγραμμα.

Η **1^η Συνιστώσα** καλύπτει το νοτιότερο τμήμα του Ατλαντικού και επιλέχθηκε η μελέτη της χρονοσειράς του κομβικού σημείου με αύξοντα αριθμό 38. Το σημείο αυτό τοποθετείται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, η οποία περιγράφεται από την πρώτη συνιστώσα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.8 (σημείο 38), αρχικά, η χρονοσειρά παρουσιάζει μια μικρή ανοδική πορεία της θερμοκρασίας έως το 1966. Έπειτα, μέχρι το 1975 η θερμοκρασία μειώνεται με μια συνολική πτώση της τάξης των 0.5 °C, ενώ ακολουθεί μια περίοδος που η θερμοκρασία παρουσιάζει μικρές περιόδους αύξησης και μείωσης, καταλήγοντας, τελικά, σε μια αυξητική πορεία στο τέλος της περιόδου μελέτης.

Η **2^η Συνιστώσα**, όπως φαίνεται από το σχήμα 3.1, περιγράφει το βορειοανατολικότερο κομμάτι του ωκεανού. Το κομβικό σημείο στο οποίο αναφέρεται το σχήμα 3.8, είναι το 172 (κοντά στα δυτικά παράλια της Σκανδιναβικής χερσονήσου). Η χρονοσειρά των SSTA στην αρχή της περιόδου μελέτης δεν παρουσιάζει κάποια σημαντική τάση, ενώ από 1971 και για την επόμενη δεκαετία οι αποχές εμφανίζουν πτωτική πορεία της τάξης των 0.4 °C.

Από το 1981 και έως το τέλος της περιόδου, η θερμοκρασία παρουσιάζει ανοδική πορεία.

Η **3^η Συνιστώσα** καλύπτει το βόρειο τμήμα του κεντρικού Ατλαντικού. Παρατηρείται (σχήμα 3.8, σημείο 118) μια σταθερή πτωτική πορεία των SSTA έως το 1973 της τάξης των 0.8 °C, ενώ από το έτος αυτό και έπειτα η θερμοκρασία αυξάνεται με κορύφωση το 1997, όπου οι αποχές της θερμοκρασίας από τη μέση τιμή της περιόδου 1961-1990 ξεπερνούν τον 1 °C.

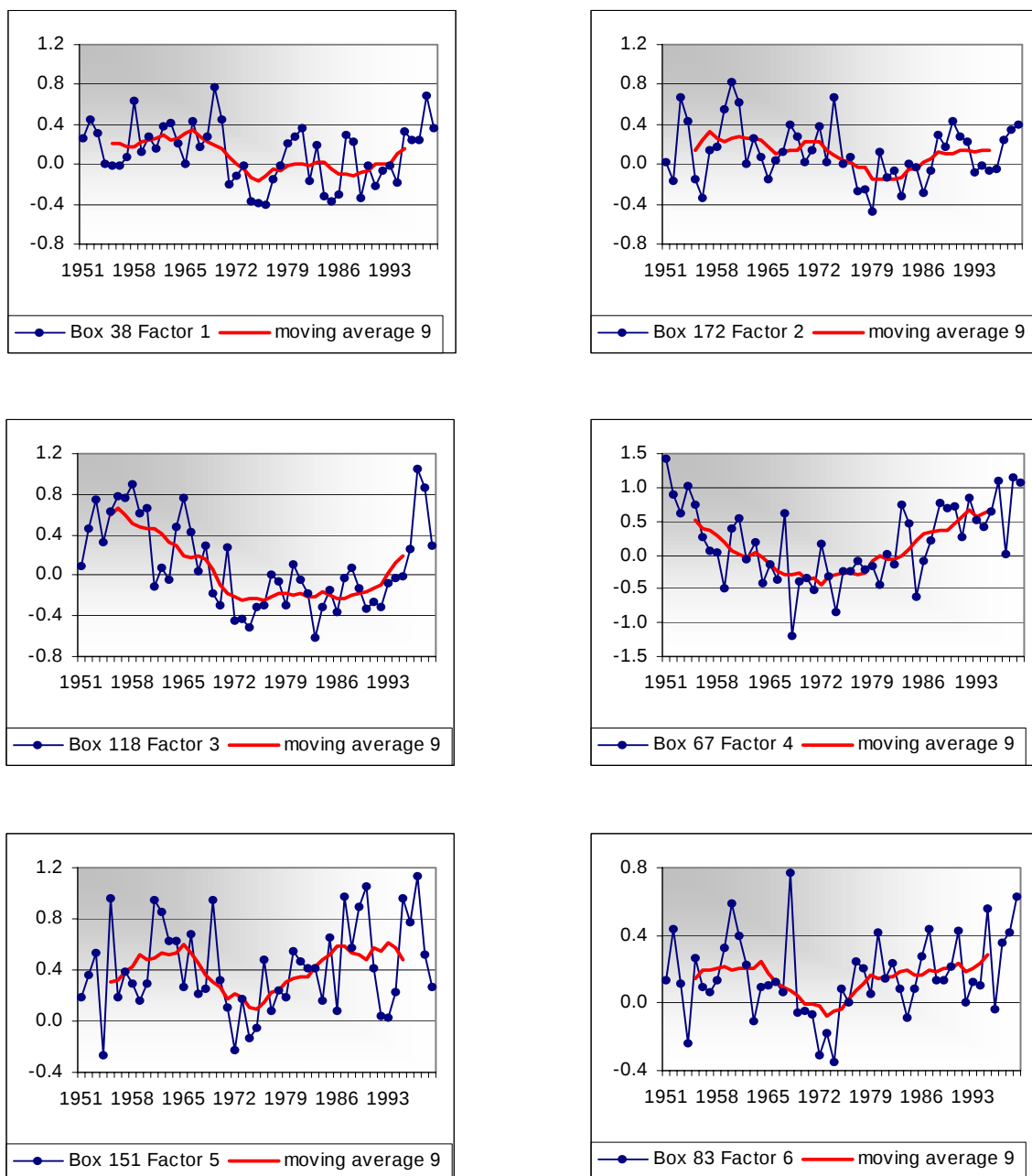
Η **4^η Συνιστώσα** αναφέρεται στο κεντρικό τμήμα του Ατλαντικού. Στη μελέτη επιλέχθηκε η χρονοσειρά των ετησίων τιμών των SSTA του σημείου 67. Όπως φαίνεται (σχήμα 3.8, σημείο 67), μέχρι το 1972 η θερμοκρασία μειώνεται σημαντικά (πάνω από 0.5 °C), ενώ, στη συνέχεια, και μέχρι το τέλος της περιόδου αυξάνεται με τον ίδιο περίπου ρυθμό. Παρατηρείται ότι η χρονοσειρά που αναφέρεται σε αυτή τη συνιστώσα παρουσιάζει παραπλήσια συμπεριφορά με την αντίστοιχη της τρίτης συνιστώσας, γεγονός που πιθανόν να ερμηνεύεται από την γειτνίαση των δύο περιοχών.

Η **5^η Συνιστώσα** καλύπτει το ανατολικό τμήμα του ωκεανού κοντά στα Κανάρια νησιά και την Ισπανία. Όπως φαίνεται (σχήμα 3.8, σημείο 151), από το 1965 και για μια δεκαετία η χρονοσειρά των SSTA, του σημείου με αύξοντα αριθμό 151, παρουσιάζει μια πτώση της τάξης των 0.5 °C, ενώ από εκεί και έπειτα παρατηρείται μια αύξηση αντίστοιχης τάξης.

Η **6^η Συνιστώσα** αντιστοιχεί στο κεντρικότερο τμήμα του Ατλαντικού και παρουσιάζει αντίστοιχη συμπεριφορά με αυτή της προηγούμενης συνιστώσας με τη μόνη διαφορά ότι η πτωτική και η αυξητική πορεία παρατηρούνται δύο χρόνια πριν και ότι είναι μικρότερου μεγέθους (περίπου 0.3 °C) (σχήμα 3.8, σημείο 83).

Η **7^η Συνιστώσα** περιγράφει τη θαλάσσια περιοχή ανάμεσα στην Αγγλία και τη Σκανδιναβία. Η συμπεριφορά της θερμοκρασίας παρουσιάζει κάποιες διαφορές σε σχέση με τις αντίστοιχες των προηγούμενων συνιστωσών. Όπως φαίνεται (σχήμα 3.8, σημείο 173), αρχικά, διαπιστώνεται μια πτωτική πορεία έως το 1966, την οποία ακολουθεί μια περίοδος αύξησης της θερμοκρασίας περίπου για μια πενταετία. Από το 1972 έως το 1983, η

Θερμοκρασία μειώνεται σε σχέση με τη μέση τιμή της περιόδου αναφοράς για να καταλήξει τελικά σε μια περίοδο αύξησης έως το τέλος της περιόδου μελέτης.

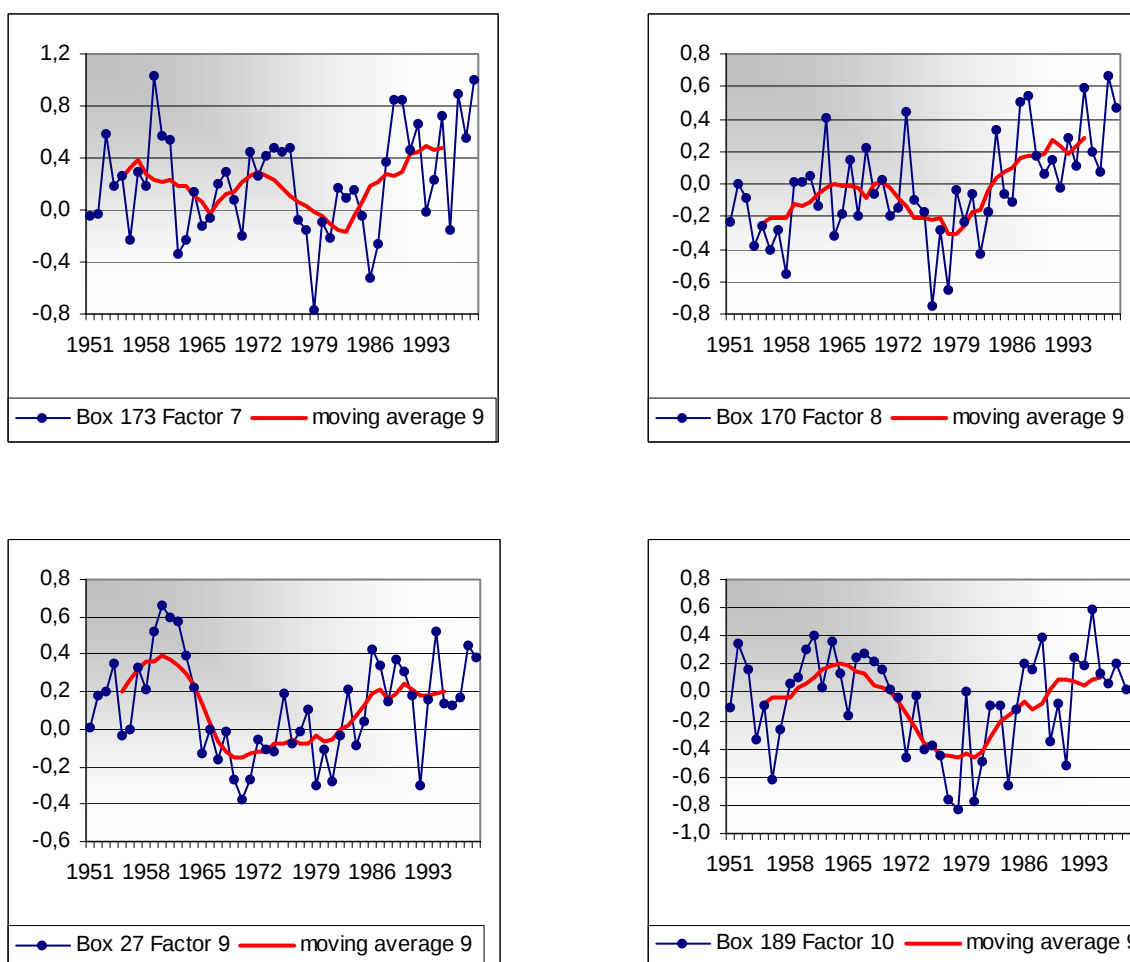


ΣΧΗΜΑ 3.8. Μέσες ετήσιες τιμές των χρονοσειρών των SSTA των περιοχών όπου η θερμοκρασία συµµεταβάλλεται(μπλε γραµµή) και κυλιόµενοι μέσοι όροι 9 ετών (κόκκινη γραµμή).

Η **8^η Συνιστώσα** καλύπτει το νοτιοδυτικό τμήμα του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού και η θερμοκρασία του σημείου που επιλέχθηκε,

παρουσιάζει μια ανοδική πορεία έως το 1970, η οποία, όμως, δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική (περίπου 0.2°C). Από το σημείο αυτό και για τα επόμενα εννιά χρόνια η θερμοκρασία μειώνεται με τον ίδιο ρυθμό, ενώ, στη συνέχεια, αυξάνει 0.5°C συνολικά (σχήμα 3.8, σημείο 170).

Η **9^η Συνιστώσα** περιγράφει το τμήμα του ωκεανού που βρίσκεται βόρεια από τον Κόλπο του Μεξικού. Όπως φαίνεται, (σχήμα 3.8, σημείο 27), από το 1960 έως το 1969, η θερμοκρασία μειώνεται περίπου κατά 0.5°C , ενώ, στη συνέχεια, αυξάνεται με πιο αργό ρυθμό έως το τέλος της περιόδου μελέτης με μόνη εξαίρεση τα τελευταία χρόνια της περιόδου μελέτης.



ΣΧΗΜΑ 3.8. Συνέχεια.

Η **10^η Συνιστώσα** αναφέρεται στην περιοχή της Μεσογείου. Διαπιστώνεται αρχικά μια αρκετά σημαντική και απότομη περίοδος πτώσης της

θερμοκρασίας (περίπου 0.7 °C) από το 1964 έως το 1979 την οποία ακολουθεί μια ανοδική πορεία έως το τέλος της περιόδου (σχήμα 3.8, σημείο 189).

Αξίζει να σημειωθεί ότι για τις συνιστώσες 1, 4, 5, 9 και 10 παραπλήσια αποτελέσματα προέκυψαν και από άλλη σχετική μελέτη (Μεταξάς *et al.*, 2000).

Κεφάλαιο 4^ο.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ SSTA

Τις τελευταίες δεκαετίες η ανησυχία ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν τη χημική σύσταση της ατμόσφαιρας έδωσε μεγάλη ώθηση στη μελέτη των πιθανών κλιματικών μεταβολών και τάσεων των διαφόρων μετεωρολογικών μεγεθών. Η κατανόηση των κλιματικών τάσεων σε παγκόσμιο επίπεδο προέλκυσε και εξακολουθεί να προσελκύει το ενδιαφέρον πολλών μελετητών. Πληθώρα μελετών έχουν γίνει τόσο αναφορικά με τις χρονοσειρές μεμονωμένων σταθμών (Arseni- Papadimitriou, 1973; Arseni- Papadimitriou and Maheras, 1989; Μακρογιάννης *et al.*, 1998; Pennas, 1992a; Repapis and Philandras, 1988) όσο και για την ευρύτερη περιοχή μιας χώρας (Buffoni *et al.*, 1999; Φείδας *et al.*, 2002; Giles and Flocas, 1984; Kadioglü, 1997; Türkes *et al.*, 1996) και ακόμα για εκτενέστερες περιοχές (Goossens and Berger, 1986; Jones *et al.* 1982; Jones and Kelly, 1983; Pennas, 1992b; Sahsamanoğlu and Makrogiannis, 1992; Schönwiese, 1983)

Κατά καιρούς έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί διάφορες στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης των πιθανών τάσεων μιας χρονοσειράς ενός μεγέθους (Goossens and Berger, 1986; Hess *et al.*, 2001; Mitchell *et al.*, 1966; Sneyers, 1975). Οι στατιστικές αυτές μέθοδοι είναι, συνήθως, παραμετρικές ή μη παραμετρικές. Στις παραμετρικές μεθόδους είναι απαραίτητο οι τιμές της χρονοσειράς να ακολουθούν την κανονική κατανομή, ενώ για τις μη παραμετρικές αυτό δεν είναι αναγκαίο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, το ενδιαφέρον εστιάζεται στη μελέτη των τάσεων, καθώς και των πιθανών κλιματικών μεταβολών που παρουσιάζουν οι χρονοσειρές των SSTA, στην περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού. Η μελέτη περιορίζεται στα δέκα κομβικά σημεία, τα οποία προέκυψαν με τη διαδικασία που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Η ύπαρξη ή όχι κλιματικής τάσεως σε μια χρονοσειρά αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε μια κλιματική μελέτη. Ως κλιματική τάση ορίζεται μια κλιματική μεταβολή, η οποία χαρακτηρίζεται από μια ομαλή και μονότονη αύξηση ή μείωση της μέσης τιμής, κατά την διάρκεια της περιόδου αναφοράς (Goossens and Berger, 1986). Ο έλεγχος της ύπαρξης τάσεως, καθώς και του είδους της τάσεως

αυτής γίνεται με τη βοήθεια στατιστικών τεστ, τα οποία έχουν, κατά καιρούς, προταθεί για τον έλεγχο της υπόθεσης ότι υπάρχει τάση στα δεδομένα προς μελέτη. Στη παρούσα μελέτη, ο έλεγχος της ύπαρξης τάσης θα γίνει με εφαρμογή του μη παραμετρικού ελέγχου t-test Mann-Kendall (Mitchell et al., 1966), καθώς και με την εφαρμογή της προοδευτικής ανάλυσης Mann-Kendall (Sneyers, 1975). Ο έλεγχος αυτός συνίσταται στον υπολογισμό της τιμής τ από τη σχέση:

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad (4.1)$$

όπου N είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων (στη συγκεκριμένη περίπτωση $N=49$) και $P = \sum_{i=1}^N n_i$, όπου n_i δηλώνει τον αριθμό των τιμών Y_j της χρονοσειράς, που προηγούνται κάθε όρου Y_i ($i > j$), τέτοιων έτσι $Y_j < Y_i$. Δηλαδή, κάθε τιμή της χρονοσειράς συγκρίνεται με όλες τις τιμές που προηγούνται αυτής. Οι τιμές του τ ακολουθούν κανονική κατανομή (για $N>10$) με αναμενόμενη μέση τιμή ίση με μηδέν και διασπορά ίση με $(4N+10)/9N(N-1)$ και έτσι η τιμή του στατιστικού τ συγκρίνεται με την τιμή :

$$(\tau)_t = 0 \pm t_g \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \quad (4.2)$$

όπου t_g είναι το επιθυμητό σημείο πιθανότητας της κανονικής κατανομής για δίπλευρο έλεγχο και είναι ίσο με 1.96 για στάθμη σημαντικότητας $\alpha = 0.05$, ενώ για $\alpha = 0.01$ ισούται με 2.58 περίπου. Για να υπάρχει τάση, θα πρέπει η τιμή του τ να είναι έξω από το διάστημα $\pm (\tau)_t$. Στη μελέτη αυτή ο υπολογισμός του τελευταίου στατιστικού έγινε με τη βοήθεια προγράμματος σε Microsoft Fortran Power Station 4.0.

Εκτός από το t-test Mann-Kendall η γραφική μέθοδος των ιδίων ερευνητών, όπως προτάθηκε από τον Sneyers (1975), φαίνεται ότι αποτελεί την πλέον κατάλληλη μέθοδο ανίχνευσης απότομων κλιματικών μεταβολών σε μια χρονοσειρά. Το τεστ αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι, κάτω από σταθερές κλιματικές συνθήκες, η ακολουθία των τιμών μιας χρονοσειράς πρέπει να είναι

ανεξάρτητη και η κατανομή της πιθανότητας πρέπει να παραμένει πάντα η ίδια.

Και στη συγκεκριμένη μέθοδο απαιτείται ο υπολογισμός του P . Για σχετικά μεγάλο N , το P κατανέμεται κανονικά με αναμενόμενη μέση τιμή:

$$E(P) = \frac{N(N-1)}{4} \quad (4.3)$$

και διασπορά:

$$\text{var}(P) = \frac{N(N-1)(2N-5)}{72} \quad (4.4)$$

Τέλος, υπολογίζονται οι τιμές της παραμέτρου $u(P)$:

$$u(P) = \frac{P - E(P)}{\sqrt{\text{var}(P)}} \quad (4.5)$$

η γραφική παράσταση των οποίων αποτελεί την κανονική καμπύλη C_1 . Με το έλεγχο Mann-Kendall δύναται να εντοπιστεί το έτος έναρξης των κλιματικών αλλαγών. Για το λόγο αυτό υπολογίζεται η αντίστροφη σειρά $u'(P_i)$, η γραφική παράσταση των τιμών της οποίας δηλώνεται ως C_2 και αποτελεί την ανάδρομη καμπύλη. Η τομή των δύο καμπυλών C_1 και C_2 καθορίζει το έτος όπου μια απότομη κλιματική αλλαγή ή τάση αρχίζει. Όταν οι τιμές των $u(P_i)$ είναι μεγαλύτερες των κρίσιμων τιμών 1.96 ή 2.58, τότε η κλιματική αλλαγή ή τάση είναι στατιστικώς σημαντική (Μπλούτσος, 1984). Οι παραπάνω καμπύλες υπολογίστηκαν με κατάλληλο πρόγραμμα σε Visual Basic.

Εποπτικά τώρα η μελέτη των διαγραμμάτων των C_1 και C_2 για κάθε κομβικό σημείο θα γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα:

α) Περίπτωση που η τομή της κανονικής και της ανάδρομης καμπύλης βρίσκεται εντός των ορίων που καθορίζουν οι παραπάνω κρίσιμες τιμές. Τότε:

- 1) αν στη συνέχεια η κανονική καμπύλη κινείται εκτός των ορίων αυτών, τότε εντοπίζεται στο σημείο τομής κλιματική αλλαγή.

2) αν κινείται εντός των ορίων, τότε πρόκειται για απλές θερμές και ψυχρές περιόδους.

β) Περίπτωση που η τομή των δυο καμπυλών βρίσκεται εκτός των ορίων. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούνται μόνο θετικές ή αρνητικές τάσεις και όχι κλιματικές αλλαγές.

Η ανάλυση των χρονοσειρών των SSTA, με βάση τον έλεγχο Mann–Kendall, έγινε μόνο για τις μέσες ετήσιες τιμές, για κάθε ένα από τα δέκα κομβικά σημεία που επιλέχθηκαν με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στο σχήμα 4.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται για κάθε σημείο η κανονική και ανάδρομη καμπύλη, όπως αυτές προκύπτουν με εφαρμογή της προοδευτικής ανάλυσης Mann – Kendall, οι οποίες και θα περιγραφούν λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παρατηρήσεις.

Για την περίπτωση της **πρώτης κύριας συνιστώσας**, επιλέχθηκε το σημείο με αύξοντα αριθμό 38. Όπως φαίνεται από το σχήμα 4.1, καθώς και από τον πίνακα 4.1, όπου δίδονται τα αποτελέσματα του t- test Mann – Kendall, οι μέσες ετήσιες τιμές των SSTA παρουσιάζουν πιθανότητα ύπαρξης κλιματικής αλλαγής, αφού η τομή γίνεται εντός των ορίων κατά το έτος 1971 και η κανονική καμπύλη κινείται εκτός αυτών μετά από μια δεκαετία. Πιο συγκεκριμένα, από το 1956 περίπου έως το 1970 επικρατεί μια θερμή περίοδος, η οποία αντικαθίστανται από μια ψυχρή διάρκειας σχεδόν 25 ετών. Ωστόσο, η τιμή που προκύπτει από το t- test είναι αρνητική και ίση με -0.12, που αν και είναι εντός των ορίων τόσο για στάθμη σημαντικότητας $\alpha=0.05$ (S) όσο και για $\alpha=0.01$ (D), παρουσιάζει μια εικόνα της σημαντικής σε διάρκεια ψυχρής περιόδου.

Το κομβικό σημείο με αύξοντα αριθμό 172 επιλέχθηκε για τη **δεύτερη συνιστώσα**, η οποία περιγράφει το βορειοανατολικότερο τμήμα της περιοχής μελέτης. Η τομή της κανονικής με την ανάδρομη καμπύλη γίνεται το 1972 και βρίσκεται εντός των καθορισμένων ορίων. Η κανονική καμπύλη εξέρχεται των διαστημάτων εμπιστοσύνης κατά το 1984, δηλαδή έπειτα από 12 χρόνια από το έτος έναρξης της πιθανής κλιματικής αλλαγής. Συγκεκριμένα, από το 1956 και για μια πενταετία επικρατεί θερμή περίοδος, ενώ ακολουθεί μια μακρά ψυχρή περίοδος που ολοκληρώνεται κατά το 1987. Ωστόσο, η τιμή που

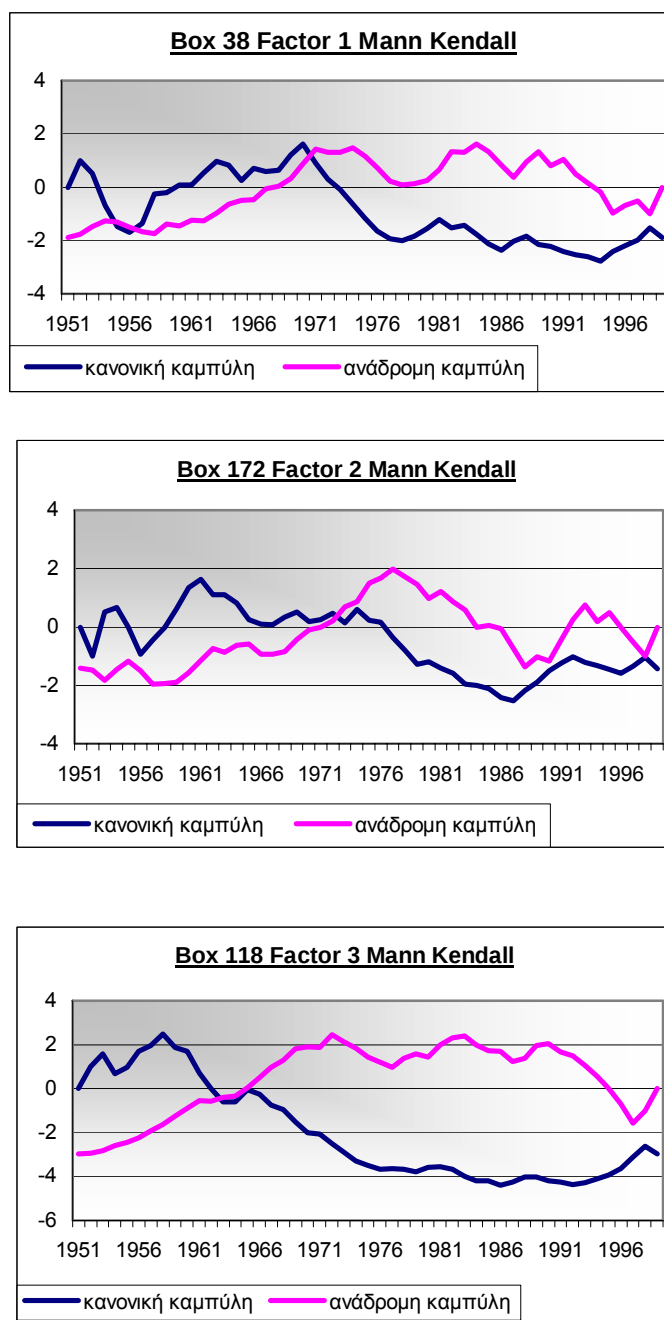
προέκυψε με εφαρμογή του t- test είναι αρνητική και εντός των ορίων και στις δύο στάθμες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1. Αποτελέσματα του t - test Mann- Kendall για κάθε κομβικό τετράγωνο.

<i>Box</i>	<i>Factor</i>	<i>P</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>D</i>
38	1	517.5	-0.12	0.19	0.25
172	2	546.5	-0.07	0.19	0.25
118	3	449	-0.24	0.19	0.25
67	4	661.5	0.13	0.19	0.25
151	5	645.5	0.10	0.19	0.25
83	6	648.5	0.10	0.19	0.25
173	7	662	0.13	0.19	0.25
170	8	796.5	0.35	0.19	0.25
27	9	597	0.01	0.19	0.25
189	10	573	-0.03	0.19	0.25

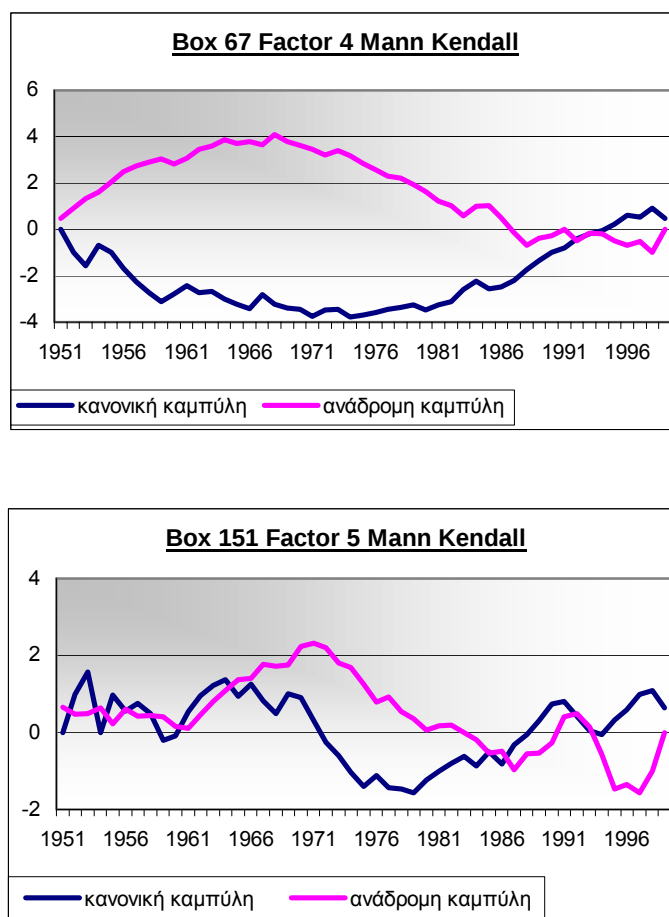
Η **τρίτη κύρια συνιστώσα** περιγράφεται από το κομβικό σημείο 118 και το έτος 1963 αποτελεί έτος έναρξης πιθανής κλιματικής αλλαγής για στάθμη σημαντικότητας $\alpha = 0,05$. Πιο συγκεκριμένα, από το 1958 έως το 1995 εμφανίζει μια ψυχρή περίοδο μεγάλης διάρκειας και έντασης. Το 1963 η κανονική και η ανάδρομη καμπύλη τέμνονται εντός των ορίων και κατά το 1970 η κανονική καμπύλη βρίσκεται για πρώτη φορά εκτός αυτών, όπου και παραμένει έως το τέλος της περιόδου μελέτης. Η τιμή, που προκύπτει εφαρμόζοντας το t- test, είναι αρνητική και ίση με -0.24 , η οποία δεν είναι στατιστικώς σημαντική για $\alpha = 0,01$. Από το σχήμα 3.8, του τρίτου κεφαλαίου, επιβεβαιώνεται η πτώση των τιμών των SSTA στο κομβικό σημείο 118, της τάξης των 0.8°C περίπου, η οποία είναι και η εντονότερη που σημειώνεται στις δέκα κύριες συνιστώσες.

Όσο αναφορά την **τέταρτη κύρια συνιστώσα** η τιμή του t είναι 0.13, στατιστικώς μη σημαντική και στις δύο στάθμες. Η τομή των δύο καμπυλών εντοπίζεται το 1992. Από την αρχή της περιόδου μελέτης έως και το 1975 επικρατεί μια περίοδος με χαμηλές σχετικά τιμές των SSTA, ενώ από εκεί και έπειτα η πορεία είναι σαφώς ανοδική.



ΣΧΗΜΑ 4.1. Κανονική και ανάδρομη καμπύλη των SSTA για κάθε ένα από τα 10 κομβικά τετράγωνα όπως δίδονται από το test Mann- Kendall.

Η **πέμπτη κύρια συνιστώσα** περιγράφεται από το κομβικό σημείο με αριθμό 151, για την χρονοσειρά του οποίου το t- test έδωσε τιμή 0.10, στατιστικώς μη σημαντική. Σημειώνονται παραπάνω από μια τομές των δύο καμπυλών κατά τα έτη 1960, 1964 και 1986. Πιο αναλυτικά, από το 1964 έως το 1979 η πορεία των SSTA είναι πτωτική, ενώ στη συνέχεια και έως το τέλος της περιόδου μελέτης επικρατεί μια θερμή περίοδος.

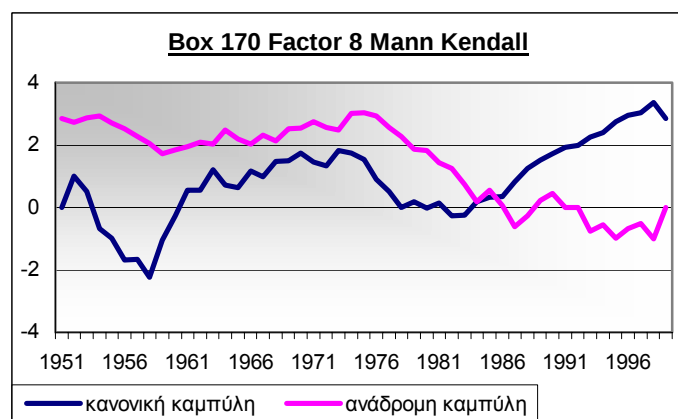
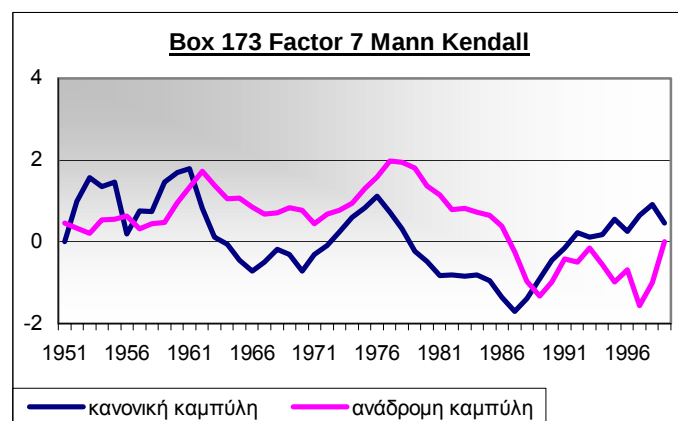
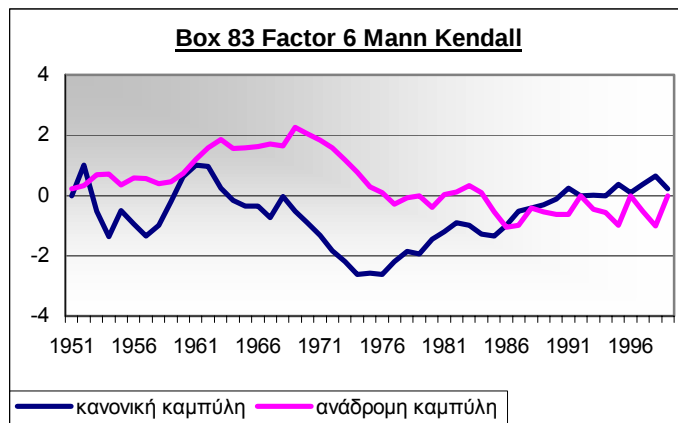


ΣΧΗΜΑ 4.1 Συνέχεια.

Το κομβικό σημείο με αριθμό 83 επιλέχθηκε για τη περιγραφή της **έκτης κύριας συνιστώσας**. Σημειώνονται δύο τομές της κανονικής με την ανάδρομη καμπύλη, κατά τα έτη 1952 και 1986, ωστόσο και οι δύο είναι στατιστικώς μη σημαντικές, αφού το t- test έδωσε τιμή 0.10 για το σημείο αυτό. Και στην περιοχή που αντιστοιχεί στην έκτη συνιστώσα εντοπίζεται μια ψυχρή περίοδος από το 1962 έως το 1976 περίπου, η οποία και στη περίπτωση αυτή διαδέχεται από μια θερμή έως το 1999.

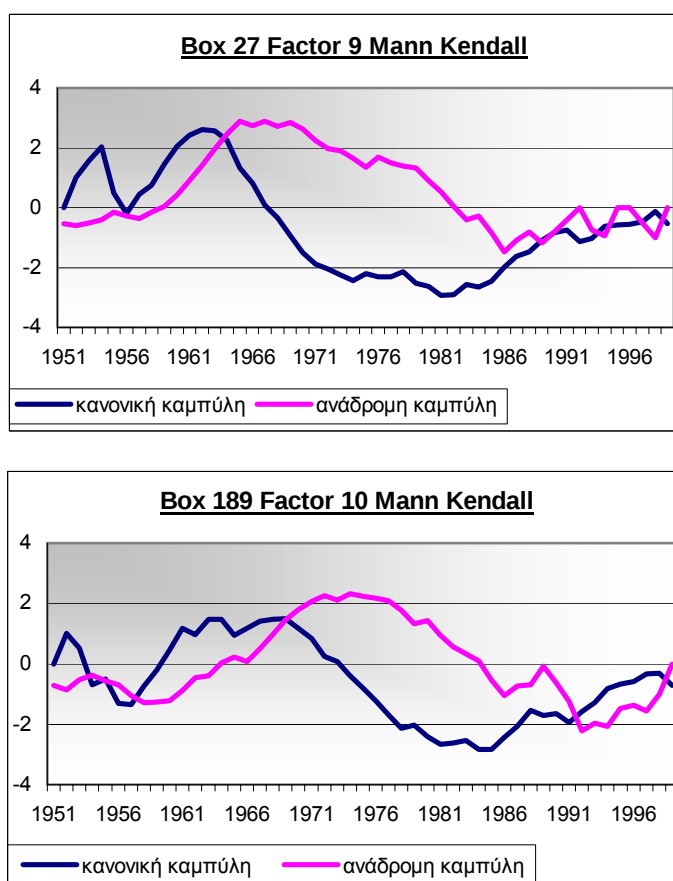
Η **έβδομη συνιστώσα** περιγράφεται από το σημείο με αύξοντα αριθμό 173. Η τιμή που προέκυψε από το t- test, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1, είναι στατιστικώς μη σημαντική και ίση με 0.13. Οι δύο καμπύλες τέμνονται κατά τα έτη 1957, 1961 και 1988 κανένα όμως από αυτά δεν αποτελεί έτος έναρξης κλιματικής αλλαγής αφού η κανονική καμπύλη βρίσκεται εντός των διαστημάτων εμπιστοσύνης καθ' όλη τη χρονική περίοδο

της μελέτης. Αναφορικά με την κύμανση των αποχών της θερμοκρασίας για την έβδομη συνιστώσα παρατηρούνται οι ακόλουθες περιόδους. Από το 1960 και με διάρκεια μια δεκαετία η περίοδος χαρακτηρίζεται ψυχρή, ενώ από το 1970 έως το 1976 η πορεία είναι ανοδική. Στη συνέχεια επικρατεί μια περίοδος 11 ετών περίπου, όπου οι SSTA σημειώνουν πτώση και από το 1987 σημειώνεται άνοδος αυτών.



ΣΧΗΜΑ 4.1 Συνέχεια.

Η **όγδοη κύρια συνιστώσα** αντιστοιχεί στο νοτιοανατολικό τμήμα του ωκεανού και περιγράφεται από το κομβικό σημείο 170. Η τομή των δύο καμπυλών εντοπίζεται κατά το έτος 1985 και αποτελεί έτος έναρξης πιθανής κλιματικής αλλαγής, διότι η κανονική καμπύλη κινείται στη συνέχεια εκτός των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% και 99%. Από τον πίνακα 4.1, διαπιστώνεται ότι το t- test Mann- Kendall λαμβάνει τιμή ίση με 0.35. Η τάση είναι θετική και στατιστικώς σημαντική και για τις δύο στάθμες. Πιο αναλυτικά, από την αρχή της περιόδου μελέτης και για έξι χρόνια περίπου σημειώνεται πτώση των τιμών των SSTA στο νοτιοανατολικό τμήμα του Ατλαντικού την οποία διαδέχεται μια μακρά περίοδος έως το 1999 κατά την οποία οι τιμές των αποχών ακολουθούν ανοδική πορεία.



ΣΧΗΜΑ 4.1 Συνέχεια.

Η **ένατη συνιστώσα** περιγράφεται από το σημείο με αύξοντα αριθμό 27. Η τιμή του t- test είναι στατιστικώς μη σημαντική ($t=0.01$). Παρατηρούνται αρκετές τομές της κανονικής με την ανάδρομη καμπύλη με

σημαντικότερη αυτή κατά το έτος 1964, η οποία όμως βρίσκεται εκτός των ορίων και επομένως δεν πρόκειται για κλιματική αλλαγή. Αξιοσημείωτη είναι η ψυχρή περίοδος που παρατηρείται από το 1964 έως το 1981 περίπου, η οποία και αντικαθίστανται από μια θερμή που συνεχίζεται έως το τέλος της περιόδου μελέτης.

Τέλος, η **δέκατη συνιστώσα** εμφανίζει, επίσης, στατιστικώς μη σημαντική τιμή του t , η οποία όμως είναι αρνητική ($t=-0.03$). Περιγράφεται από το κομβικό σημείο 189 και αντιστοιχεί στην περιοχή της Μεσογείου. Σημειώνονται περισσότερες από τρεις τομές των δύο καμπυλών της προοδευτικής ανάλυσης Mann- Kendall, οι οποίες όμως βρίσκονται εντός των ορίων που καθορίζουν τα 95% και 99% διαστήματα εμπιστοσύνης. Οι περίοδοι που διακρίνονται στο σχήμα 4.1 είναι δύο θερμές (1957-1969 και 1985- τέλος) και μια ψυχρή από το 1969 έως το 1985. Κατά την τελευταία αυτή περίοδο η κανονική καμπύλη εξέρχεται του ορίου με αποτέλεσμα, σύμφωνα με την προοδευτική ανάλυση Mann- Kendall, να αποτελεί το έτος 1969 έτος έναρξης πιθανής κλιματικής αλλαγής.

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι μόνο σε δύο (No 118 και No 170), από τα δέκα κομβικά σημεία που επιλέχθηκαν, το μη παραμετρικό t -test Mann-Kendall δίνει τιμές εκτός των ορίων που καθορίζουν οι δύο στάθμες και στις περιπτώσεις αυτές οι χρονοσειρές των μέσων ετησίων τιμών των SSTA εμφανίζουν τάση. Στα υπόλοιπα οκτώ κομβικά σημεία και στις περιοχές που αυτά περιγράφουν, η κύμανση των χρονοσειρών δε φαίνεται να καθορίζεται από κάποια ομαλή και μονότονη αύξηση ή μείωση της μέσης τιμής, κατά την διάρκεια της περιόδου αναφοράς.

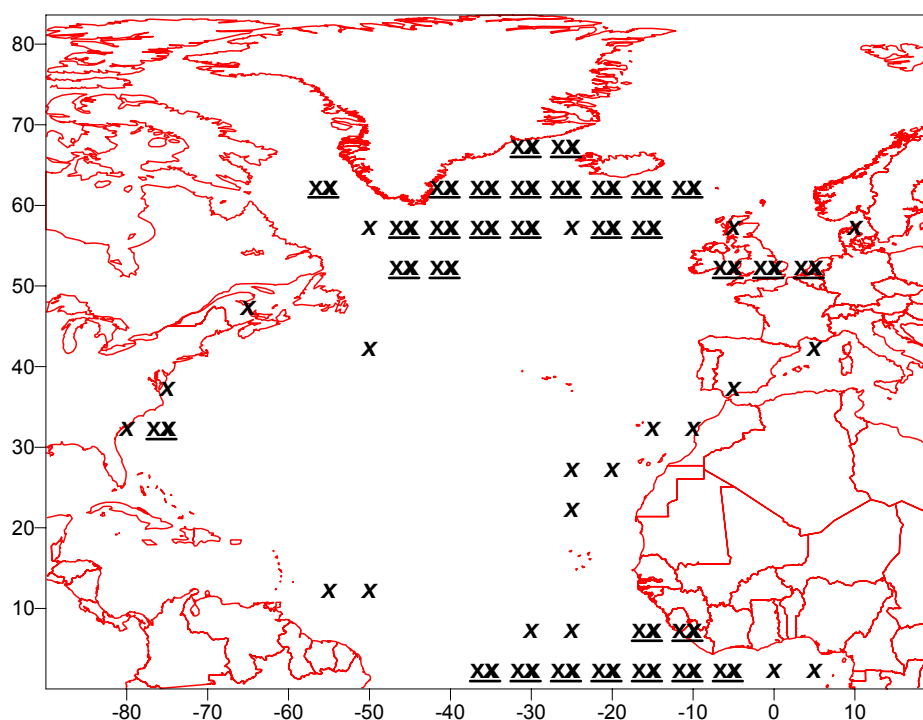
Προκειμένου να εξετασθεί αν η επιλογή των δέκα αυτών τετραγώνων είναι αντιπροσωπευτική και των 190, το t - test Mann- Kendall εφαρμόσθηκε στις μέσες ετήσιες τιμές όλων των κομβικών τετραγώνων. Τα τετράγωνα που εμφανίζουν τάση σε μια από τις δύο στάθμες ή και στις δύο παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2. Εποπτικά τα αποτελέσματα του πίνακα 4.2 παρουσιάζονται στο σχήμα 4.2. Από το σχήμα αυτό είναι εμφανές ότι τάσεις στατιστικώς σημαντικές εμφανίζουν, κυρίως, οι χρονοσειρές των τετραγώνων που

βρίσκονται στην περιοχή νοτίως της Γροιλανδίας ή κοντά στον γεωγραφικό Ισημερινό (νοτιοανατολικό τμήμα του ωκεανού).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2 Αποτελέσματα του *t*-test Mann- Kendall για τα κομβικά τετράγωνα του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού των οποίων οι χρονοσειρές, των ετήσιων τιμών των SSTA, εμφανίζουν τάση σε στάθμη σημαντικότητας $\alpha = 0.05$ (S) ή $\alpha = 0.01$ (D).

a/ a Box	Στάθμες S, D	t	a/a Box	Στάθμες S, D	t	a/a Box	Στάθμες S, D	t	a/a Box	Στάθμες S, D	t	a/a Box	Στάθμες S, D	t
<u>2</u>	S	-0.246	<u>78</u>	S	-0.269	<u>117</u>	S	-0.372	<u>150</u>	S	0.211	<u>174</u>	S	0.307
<u>10</u>	S	0.206	<u>78</u>	D	-0.269	<u>117</u>	D	-0.372	<u>152</u>	S	0.311	<u>174</u>	D	0.307
<u>11</u>	S	-0.332	<u>89</u>	S	-0.375	<u>118</u>	S	-0.236	<u>152</u>	D	0.311	<u>178</u>	S	0.197
<u>11</u>	D	-0.332	<u>89</u>	D	-0.375	<u>124</u>	S	0.204	<u>153</u>	S	0.371	<u>182</u>	S	0.262
<u>23</u>	S	0.226	<u>90</u>	S	-0.344	<u>125</u>	S	0.212	<u>153</u>	D	0.371	<u>182</u>	D	0.262
<u>40</u>	S	-0.333	<u>90</u>	D	-0.344	<u>128</u>	S	0.250	<u>155</u>	S	-0.398	<u>183</u>	S	-0.211
<u>40</u>	D	-0.333	<u>101</u>	S	0.396	<u>129</u>	S	0.316	<u>155</u>	D	-0.398	<u>185</u>	S	0.214
<u>49</u>	S	-0.196	<u>101</u>	D	0.396	<u>129</u>	D	0.316	<u>161</u>	S	0.253	<u>188</u>	S	0.217
<u>52</u>	S	-0.241	<u>102</u>	S	-0.424	<u>130</u>	S	-0.363	<u>162</u>	S	0.351			
<u>55</u>	S	0.211	<u>102</u>	D	-0.424	<u>130</u>	D	-0.363	<u>162</u>	D	0.351			
<u>61</u>	S	-0.202	<u>103</u>	S	-0.372	<u>131</u>	S	-0.368	<u>163</u>	S	0.362			
<u>64</u>	S	-0.357	<u>103</u>	D	-0.372	<u>131</u>	D	-0.368	<u>163</u>	D	0.362			
<u>64</u>	D	-0.357	<u>104</u>	S	-0.260	<u>137</u>	S	0.223	<u>166</u>	S	0.204			
<u>65</u>	S	-0.264	<u>104</u>	D	-0.260	<u>142</u>	S	0.367	<u>167</u>	S	0.269			
<u>65</u>	D	-0.264	<u>114</u>	S	0.217	<u>142</u>	D	0.367	<u>167</u>	D	0.269			
<u>76</u>	S	-0.282	<u>115</u>	S	0.450	<u>144</u>	S	-0.413	<u>169</u>	S	0.196			
<u>76</u>	D	-0.282	<u>115</u>	D	0.450	<u>144</u>	D	-0.413	<u>170</u>	S	0.355			
<u>77</u>	S	-0.395	<u>116</u>	S	-0.281	<u>145</u>	S	-0.255	<u>170</u>	D	0.355			
<u>77</u>	D	-0.395	<u>116</u>	D	-0.281	<u>145</u>	D	-0.255						

Οι περιοχές αυτές, όπως προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες, είναι φανερό από το σχήμα 3.1 ότι περιγράφονται από την τρίτη και την όγδοη συνιστώσα αντίστοιχα. Επομένως, τα αποτελέσματα της εφαρμογής του t- test Mann- Kendall, σε όλη την περιοχή μελέτης, βρίσκονται σε συμφωνία με την εφαρμογή αυτού μόνο στα δέκα κομβικά τετράγωνα, τα οποία επιλέχθηκαν με εφαρμογή της PCA στο σύνολο των τετραγώνων.



ΣΧΗΜΑ 4.2. Αποτελέσματα του t- test Mann- Kendall για τα κομβικά τετράγωνα του Βορείου Ατλαντικού ωκεανού των οποίων οι χρονοσειρές, των ετήσιων τιμών των SSTa, εμφανίζουν τάση σε στάθμη σημαντικότητας $\alpha = 0.05$ (S) ή $\alpha = 0.01$ (D). Με x συμβολίζονται τα τετράγωνα που παρουσιάζουν τάση στατιστικώς σημαντική για $\alpha = 0.05$, ενώ με υπογεγραμμένο x αυτά που παρουσιάζουν τάση και για $\alpha = 0.01$.

Από τον πίνακα 4.2 και από το σχήμα 4.2 παρατηρείται ότι οι δύο περιοχές, που επισημάνθηκαν παραπάνω νότια της Γροιλανδίας και Βόρεια του Ισημερινού, εμφανίζουν αντίθετες τιμές στο t- test Mann- Kendall. Οι χρονοσειρές των σημείων που βρίσκονται νότια της Γροιλανδίας έχουν αρνητικές τιμές του t, ενώ αντίθετα σε ό,τι αφορά τις χρονοσειρές των κομβικών σημείων κοντά στον Ισημερινό οι τιμές του t είναι θετικές. Συνεπώς, τα δύο άκρα του Βορείου Ατλαντικού παρουσιάζουν αντίθετη συμπεριφορά.

Κεφάλαιο 5^ο.

ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΔΟΕΤΗΣΙΑΣ

ΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ SSTA

Ένα από τα σημαντικότερα στάδια μιας μελέτης, που ασχολείται με χρονοσειρές μετεωρολογικών μεγεθών, (όπως οι αποχές της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας) είναι η διερεύνηση, ποιοτική και ποσοτική όλων των παραγόντων που καθορίζουν τη μορφή της ετήσιας κύμανσης του μεγέθους αυτού. Κατά καιρούς έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί πολλές μεθοδολογίες που εξυπηρετούν τους παραπάνω σκοπούς. Στην παρούσα εργασία θα γίνει χρήση της μεθόδου της αρμονικής ανάλυσης, μερικά στοιχεία της οποίας παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Είναι γνωστό ότι το αποτέλεσμα της σύνθεσης πολλών απλών αρμονικών ταλαντώσεων, που έχουν συχνότητες ακέραια πολλαπλάσια μιας συχνότητας ν_0 , είναι μια νέα ταλάντωση, μη αρμονική, με συχνότητα ν_0 . Ο Γάλλος μαθηματικός J. Fourier (1748-1830), απέδειξε το ακριβώς αντίστροφο, ότι μια περιοδική συνάρτηση συχνότητας ν_0 μπορεί να αναλυθεί σε άπειρο αριθμό απλών αρμονικών ταλαντώσεων με συχνότητες ακέραια πολλαπλάσια της συχνότητας της υπό μελέτη ταλάντωσης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η αρχική συνάρτηση να ικανοποιεί ορισμένες συνθήκες γνωστές από τη βιβλιογραφία ως συνθήκες Dirichlet (Μακρογιάννης, 1988).

Η αρμονική ανάλυση είναι μια εφαρμογή της ανάλυσης Fourier. Αν και θεωρητικά το πλήθος των επιμέρους ταλαντώσεων στις οποίες αναλύεται η αρχική δύναται να είναι άπειρο, στην πράξη σύμφωνα με την αρμονική ανάλυση, εφόσον η χρονοσειρά αποτελείται από ορισμένο αριθμό παρατηρήσεων μπορεί να προσεγγισθεί από πεπερασμένο αριθμό ημιτονικών όρων (Μπλούτσος, 1984; Μακρογιάννης, Τ. Ι., 1988; Conrad, V., Pollak, L. W., 1950; Wilks, D., 1995). Μαθηματικά, η αρμονική ανάλυση περιγράφεται ως εξής:

Έστω μια χρονοσειρά N παρατηρήσεων x_1 έως x_N που θεωρείται ότι παρουσιάζει περιοδικότητα περιόδου T . Αυτή προσεγγίζεται από τη σειρά Fourier:

$$x(t) = a_0 + \sum_{\kappa=1}^N a_{\kappa} \sin(\kappa\omega t + \phi_{\kappa}) \quad (5.1)$$

όπου: a_0 η **μέση τιμή** των τιμών του μεγέθους,

a_k τα πλάτη των αρμονικών όρων,

ϕ_k οι γωνίες φάσεως των αρμονικών όρων,

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ η κυκλική συχνότητα της κυματομορφής και T η

περίοδος.

t ο χρόνος.

Σε ό,τι αφορά τον χρόνο t πρέπει να σημειωθεί ότι χρειάζεται να θεωρηθεί μια αρχή μέτρησης. Αυτή θα είναι η t_0 . Για το χρόνο t επομένως, θα ισχύει $t = t_i - t_0$. Θα πρέπει βέβαια ο χρόνος t και η περίοδος T να έχουν τις ίδιες μονάδες. Έτσι παραδείγματος χάριν, σε ετήσια κύμανση με t_0 να αντιστοιχεί στον πρώτο μήνα του έτους και t_{11} στον τελευταίο, η περίοδος T θα είναι ίση με 12 και το t θα παίρνει ακέραιες τιμές στο διάστημα $[0, 11]$. Επιπλέον, επειδή η κυκλική συχνότητα ω ορίζεται συναρτήσει της περιόδου, αυτό συνεπάγεται ότι αν η μελέτη αναφέρεται σε μηνιαίες τιμές το ω θα είναι ίσο με $\omega = \frac{360^\circ}{12} = 30^\circ$.

Αναπτύσσοντας τα αθροίσματα των ημιτόνων στη σχέση (5.1) βάσει του τριγωνομετρικού τύπου του αθροίσματος γωνιών (5.2), η πρώτη σχέση μετασχηματίζεται στη σχέση (5.3):

$$\sin(\kappa\omega t + \phi_\kappa) = \sin \kappa\omega t \cos \phi_\kappa + \sin \phi_\kappa \cos \kappa\omega t \quad (5.2)$$

$$x(t) = a_0 + \sum_{\kappa=1}^N a_\kappa \sin(\kappa\omega t) \cos(\phi_\kappa) + \sum_{\kappa=1}^N a_\kappa \sin(\phi_\kappa) \cos(\kappa\omega t) \quad (5.3)$$

Στη συνέχεια, θέτοντας $p_i = a_i \sin(\phi_i)$ και $q_i = a_i \cos(\phi_i)$, η (5.3) παίρνει τη μορφή:

$$x(t) = a_0 + \sum_{\kappa=1}^N p_\kappa \cos(\kappa\omega t) + \sum_{\kappa=1}^N q_\kappa \sin(\kappa\omega t) \quad (5.4)$$

Οι συντελεστές p_k και q_k ονομάζονται **συντελεστές Fourier** και συνδέονται με τις γωνίες φάσης ϕ_k και τα πλάτη των αρμονικών όρων a_k με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\frac{p_k}{q_k} = \tan(\phi_k) \Leftrightarrow \phi_k = \tan^{-1}\left(\frac{p_k}{q_k}\right) \quad (5.5)$$

και

$$p_k^2 + q_k^2 = a_k^2 \Leftrightarrow a_k = \sqrt{p_k^2 + q_k^2} \quad (5.6)$$

Είναι πια εύκολο να υπολογιστούν όλοι οι παράμετροι που είναι απαραίτητοι για την αναπαράσταση της κυματομορφής, δηλαδή η μέση τιμή των τιμών της χρονοσειράς a_0 , τα πλάτη των αρμονικών a_k , καθώς και οι γωνίες φάσης ϕ_k . Αρχικά, υπολογίζονται τα p_i και q_i από τις παρακάτω σχέσεις:

$$p_i = \left(\frac{2}{T}\right) \sum_{t=0}^{T-1} x_i \cos\left(it \frac{2\pi}{T}\right) \quad (5.7)$$

$$q_i = \left(\frac{2}{T}\right) \sum_{t=0}^{T-1} x_i \sin\left(it \frac{2\pi}{T}\right) \quad (5.8)$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει μια αναφορά σε ένα σημείο το οποίο πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή. Η γωνία φάσης ϕ_k δεν είναι πάντα αυτή που υπολογίζεται από τη σχέση (5.5). Πιθανόν να είναι απαραίτητο να γίνουν κάποιες τροποποιήσεις. Ανάλογα με τα πρόσημα των p_k και q_k και με τη βοήθεια του τριγωνομετρικού κύκλου (σχήμα 5.1), η σωστή τιμή του ϕ_k είναι η εξής:

(1) Αν τα p_k και q_k είναι στο 1^ο τεταρτημόριο άρα θετικά και τα δύο $\Rightarrow$

$$\phi_k = \phi_k$$

(2) Αν τα p_k και q_k είναι στο 2^ο τεταρτημόριο άρα $p_k > 0$ και $q_k < 0 \Rightarrow$

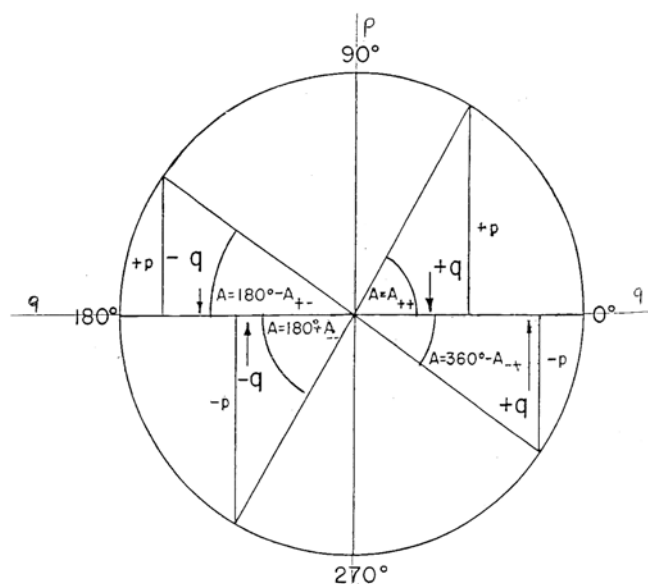
$$\phi_k = \pi - |\phi_k|$$

(3) Αν τα p_k και q_k είναι στο 3^ο τεταρτημόριο άρα αρνητικά και τα δύο $\Rightarrow$

$$\phi_k = \pi + \phi_k$$

(4) Αν τα p_k και q_k είναι στο 4^ο τεταρτημόριο άρα $p_k < 0$ και $q_k > 0 \Rightarrow$

$$\phi_k = 2\pi - |\phi_k|$$



ΣΧΗΜΑ 5.1. Τριγωνομετρικός κύκλος για την εύρεση των γωνιών φάσεως.

Ένα άλλο σημαντικό θέμα στην Αρμονική Ανάλυση είναι ο υπολογισμός του χρόνου κατά τον οποίο εμφανίζονται οι άκρες τιμές των αρμονικών όρων. Η γωνία φάσης είναι πλέον γνωστή και έτσι η στιγμή της μεγιστοποίησης κάθε αρμονικού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sin(\kappa\omega t + \phi_{\kappa}) = \sin \frac{\pi}{2} \Rightarrow \kappa\omega t + \phi_{\kappa} = 2\nu\pi + \frac{\pi}{2} \Rightarrow t = \frac{2\nu\pi + \frac{\pi}{2} - \phi_{\kappa}}{\kappa\omega} \quad \nu \in \mathbb{Z}$$

αφού πρέπει η γωνία φάσης σε ακτίνια να είναι μικρότερη από 2π , θέτοντας όπου $\nu=1$ στην προηγούμενη σχέση προκύπτει η εξής:

$$t = \frac{2\pi + \frac{\pi}{2} - \phi_{\kappa}}{\kappa\omega} \quad \nu \in \mathbb{Z} \quad (5.9)$$

Αντίστοιχη σχέση θα προκύψει αν ζητείται ο χρόνος ελαχιστοποίησης του κάθε αρμονικού αν στη θέση του $\sin(\pi/2)$ τοποθετηθεί το $\sin(-\pi/2)$, οπότε και η τριγωνομετρική συνάρτηση του ημίτονου λαμβάνει ελάχιστη τιμή.

Προκειμένου να αντιστοιχηθούν οι τιμές του t που προέκυψαν με τον φυσικό χρόνο που αντιπροσωπεύουν και να υπολογισθεί η στιγμή του μεγίστου, πρέπει να μετατραπούν πρώτα οι μοίρες σε μέρες, εφόσον πρόκειται

για ημερήσιες τιμές δεδομένων, πολλαπλασιάζοντας το αποτέλεσμα με τον αριθμό 360°/365,25 ημέρες, δηλαδή με το 1,01458. Στην περίπτωση, για παράδειγμα, της ετήσιας κύμανσης (με μηνιαία δεδομένα) η τιμή $t = 5$ αντιστοιχεί στον Ιούνιο. Αν, ωστόσο, χρησιμοποιηθούν μέσες μηνιαίες τιμές ως δεδομένα είναι αναγκαίο αυτές να αποδοθούν στο μέσο του μήνα, παραδείγματος χάριν στις 15 Ιουνίου. Για το λόγο αυτό, στο κατάλληλο πρόγραμμα σε Fortran που χρησιμοποιήθηκε, στις τιμές του t προστίθεται το 0,5 (Μακρογιάννης, 1988).

Ο μέγιστος αριθμός αρμονικών όρων που προκύπτει από την ανάλυση είναι $\frac{N-1}{2}$, όπου N το πλήθος των παρατηρήσεων (Bartzokas, 1989).

Επομένως, για την ετήσια κύμανση όπου $N=12$, ο μέγιστος αριθμός αρμονικών όρων είναι πέντε. Συνήθως, δε λαμβάνονται υπόψη στη μελέτη και οι πέντε αρμονικοί, διότι από ένα σημείο και έπειτα έχουν ασήμαντη συνεισφορά στην ολική μεταβλητότητα του μεγέθους. Για να καθορισθεί ο αριθμός των αρμονικών όρων που θα ληφθεί υπόψη στη μελέτη συχνά γίνεται χρήση της μεθόδου D. Brunt (Μηλούτσος, 1984; Conrad and Pollak, 1950).

Προκειμένου να γίνει εκτίμηση της συνεισφοράς του κάθε αρμονικού στη διαμόρφωση της συνολικής κύμανσης πρέπει στην ουσία να υπολογισθεί πόσο αυτός συνεισφέρει στην ολική διακύμανση. Η ολική διακύμανση S , του μεγέθους υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x(t) - \bar{x})^2}{N-1} \quad (5.10)$$

Στο επόμενο βήμα υπολογίζονται οι μερικές μεταβλητότητες κάθε αρμονικού $\frac{a_i^2}{2}$. Η σχετική συνεισφορά του κάθε αρμονικού C_k , στην ολική μεταβλητότητα S και άρα στη διαμόρφωση της παρατηρούμενης κύμανσης θα είναι:

$$C_k = \frac{a_i^2 / 2}{S^2} \cdot 100 \quad (5.11)$$

Το πλήθος των αρμονικών όρων που θα χρησιμοποιηθεί στην τελική μαθηματική έκφραση της μορφής (5.1) είναι τέτοιο ώστε το άθροισμα των σχετικών συνεισφορών τους να είναι περίπου 90% της ολικής διακύμανσης.

Στην παρούσα εργασία εφαρμόσθηκε η μέθοδος της αρμονικής ανάλυσης σε μέσες μηνιαίες τιμές SSTA δέκα κομβικών σημείων του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού. Τα σημεία αυτά είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν και για την εύρεση των πιθανών τάσεων. Τα αποτελέσματα προέκυψαν με χρήση κατάλληλου προγράμματος, σε Fortran. Υπολογίζονται οι συντελεστές Fourier, τα πλάτη των πέντε αρμονικών όρων, οι γωνίες φάσης, η συνεισφορά του κάθε αρμονικού στην ολική μεταβλητότητα, οι διαφορές μεταξύ των πραγματικών τιμών και των υπολογισμένων και τέλος, η χρονική στιγμή σε μήνες της μεγιστοποίησης του κάθε αρμονικού όρου.

Στον πίνακα 5.1, που δίδεται στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι συνεισφορές επί τοις εκατό των πέντε αρμονικών όρων στην ολική μεταβλητότητα. Στα επτά από τα δέκα σημεία οι τρεις πρώτοι όροι έχουν αθροιστική συνεισφορά πάνω από 85%. Ωστόσο πρέπει να ληφθούν υπόψη στη μελέτη και οι πέντε αρμονικοί όροι, διότι ακόμη και αν κρατηθούν όλοι, σε δύο από τα κομβικά σημεία, οι αθροιστικές συνεισφορές των 5 όρων δεν αγγίζουν το 90% (86.3% το τετράγωνο 173 και 88.2% το 27°).

Στον πίνακα 5.2, διατυπώνονται οι μαθηματικές εκφράσεις για πλήθος αρμονικών όρων πέντε της μελετούμενης ετήσιας κύμανσης, όπως αυτές προέκυψαν με την εφαρμογή του ειδικού προγράμματος. Θέτοντας $t = 0, 1, 2, \dots, 11$ στην κάθε σχέση αυτού του πίνακα βρίσκονται για το αντίστοιχο κομβικό σημείο οι **θεωρητικές** τιμές των SSTA για κάθε μένα του έτους.

Επόμενο βήμα είναι να εξετασθεί η ακρίβεια των μαθηματικών αυτών σχέσεων, υπολογίζοντας τις διαφορές μεταξύ των πραγματικών και των θεωρητικών τιμών των SSTA. Οι διαφορές αυτές υπολογίσθηκαν για κάθε μήνα σε κάθε τετράγωνο και παρουσιάζονται στον πίνακα 5.3. Είναι προφανές ότι όσο μικρότερες είναι οι διαφορές αυτές τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια των σχέσεων που προτείνονται.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1. Συνεισφορά επί τοις εκατό των αρμονικών όρων στην ολική μεταβλητότητα.

<i>a/a</i> <i>Box</i>	<i>Factor</i>	<i>Συντεταγμένες</i>	<i>1ος</i>	<i>1ος- 2ος</i>	<i>1ος- 3ος</i>	<i>1ος- 4^{ος}</i>	<i>1ος- 5ος</i>
38	1	12° 50' Β και 57° 50' Δ	59.5	85.3	89.0	91.0	91.2
172	2	2° 50' Β και 2° 50' Δ	59.4	65.9	87.8	88.9	91.6
118	3	57° 50' Β και 22° 50' Δ	66.8	86.0	87.4	90.2	91.7
67	4	42° 50' Β και 42° 50' Δ	84.6	88.1	90.4	91.5	91.6
151	5	27° 50' Β και 12° 50' Δ	74.3	83.0	85.4	87.7	91.5
83	6	27° 50' Β και 37° 50' Δ	77.3	81.9	89.9	90.4	91.3
173	7	625° 50' Β και 2° 50' Α	24.2	33.7	77.0	78.5	86.3
170	8	27° 50' Β και 62° 50' Δ	69.1	85.3	88.6	88.8	91.6
27	9	27° 50' Β και 62° 50' Δ	72.9	82.3	86.2	86.6	88.2
189	10	42° 50' Β και 12° 50' Α	69.1	75.6	80.7	85.3	91.6

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2. Οι μαθηματικές εκφράσεις της ετήσιας κύμανσης των μέσων μηνιαίων τιμών των SSTA.

<i>a/a</i> <i>Box</i>	<i>Factor</i>								
38	1	$T(t)=0.1+0.033*\sin(30*t+251.7)+0.011*\sin(2*30*t+262.4)+0.02*\sin(3*30*t+175.2)+0.004*\sin(4*30*t+10.9)+0.007*\sin(5*30*t+229.2)$							
172	2	$T(t)=0.11+0.133*\sin(30*t+47.8)+0.064*\sin(2*30*t+344.3)+0.029*\sin(3*30*t+113.6)+0.008*\sin(4*30*t+100.9)+0.027*\sin(5*30*t+289.0)$							
118	3	$T(t)=0.11+0.094*\sin(30*t+217.9)+0.032*\sin(2*30*t+174.0)+0.017*\sin(3*30*t+348.7)+0.016*\sin(4*30*t+225.3)+0.021*\sin(5*30*t+317.7)$							
67	4	$T(t)=0.19+0.105*\sin(30*t+224.4)+0.057*\sin(2*30*t+354.1)+0.015*\sin(3*30*t+229.4)+0.022*\sin(4*30*t+53.4)+0.0151*\sin(5*30*t+197.1)$							
151	5	$T(t)=0.41+0.115*\sin(30*t+233.3)+0.028*\sin(2*30*t+252.0)+0.037*\sin(3*30*t+35.8)+0.009*\sin(4*30*t+21.1)+0.0131*\sin(5*30*t+152.7)$							
83	6	$T(t)=0.16+0.131*\sin(30*t+245.7)+0.026*\sin(2*30*t+190.9)+0.022*\sin(3*30*t+22.6)+0.015*\sin(4*30*t+173.4)+0.006*\sin(5*30*t+314.5)$							
173	7	$T(t)=0.17+0.097*\sin(30*t+30.5)+0.035*\sin(2*30*t+51.8)+0.022*\sin(3*30*t+167.0)+0.008*\sin(4*30*t+79.1)+0.014*\sin(5*30*t+269.2)$							
170	8	$T(t)=0.2+0.038*\sin(30*t+104.4)+0.024*\sin(2*30*t+312.2)+0.05*\sin(3*30*t+174.3)+0.009*\sin(4*30*t+38.9)+0.021*\sin(5*30*t+268.2)$							
27	9	$T(t)=0.12+0.079*\sin(30*t+267.0)+0.052*\sin(2*30*t+133.9)+0.019*\sin(3*30*t+329.0)+0.015*\sin(4*30*t+313.0)+0.004*\sin(5*30*t+193.9)$							
189	10	$T(t)=0.06+0.147*\sin(30*t+270.8)+0.045*\sin(2*30*t+75.1)+0.04*\sin(3*30*t+4.8)+0.038*\sin(4*30*t+232.4)+0.044*\sin(5*30*t+79.7)$							

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3. Διαφορές μεταξύ πραγματικών και υπολογισμένων μέσων μηνιαίων τιμών SSTA.

α/α Box	Factor	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
38	1	-0,004	0,005	-0,002	-0,005	0,011	-0,012	0,007	0,000	-0,005	0,005	-0,003	0,002
172	2	-0,020	0,024	-0,025	0,019	-0,002	-0,018	0,030	-0,029	0,015	0,001	-0,013	0,018
118	3	-0,029	0,019	-0,008	0,007	-0,014	0,015	-0,001	-0,021	0,033	-0,024	-0,001	0,024
67	4	0,014	-0,002	-0,009	0,002	0,018	-0,032	0,023	0,005	-0,030	0,031	-0,012	-0,010
151	5	0,003	0,001	-0,003	-0,002	0,007	-0,004	-0,008	0,022	-0,028	0,020	-0,007	-0,003
83	6	-0,005	-0,006	0,004	0,008	-0,017	0,013	0,003	-0,016	0,015	0,000	-0,015	0,016
173	7	-0,022	0,025	-0,027	0,022	-0,010	-0,002	0,007	0,000	-0,013	0,023	-0,025	0,022
170	8	-0,003	0,009	-0,007	-0,007	0,027	-0,041	0,040	-0,027	0,013	-0,006	0,005	-0,003
27	9	-0,017	0,018	-0,005	-0,010	0,013	-0,001	-0,015	0,020	-0,011	-0,002	0,005	0,005
189	10	0,010	-0,036	0,047	-0,019	-0,037	0,080	-0,077	0,032	0,017	-0,035	0,020	-0,003

Οι διαφορές που παρατηρούνται, αναφέρονται στο δεύτερο και τρίτο δεκαδικό ψηφίο. Η μεγαλύτερη, κατά απόλυτη τιμή, διαφορά σημειώνεται στο σημείο με αύξοντα αριθμό 189 και είναι ίση με 0.08, ενώ η ελάχιστη διαφορά σημειώνεται στο τέταρτο δεκαδικό ψηφίο. Η πρακτική εφαρμογή των αποτελεσμάτων αναφέρεται στο γεγονός ότι είναι δυνατόν οι μαθηματικές εκφράσεις του πίνακα 5.2 να μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με καλή προσέγγιση, αντί μετρήσεων, σε οποιοδήποτε πρόβλημα ζητούνται μέσες μηνιαίες τιμές των SSTA στα αντίστοιχα σημεία. Πρέπει να σημειωθεί ότι αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν και για τα 190 κομβικά σημεία που αποτελούν την περιοχή μελέτης, ωστόσο δεν κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν στην παρούσα εργασία.

Στον πίνακα 5.4, που δίδεται παρακάτω, παρατίθενται τα πλάτη a_k των αρμονικών όρων για κάθε ένα από τα δέκα σημεία, ενώ στον πίνακα 5.5

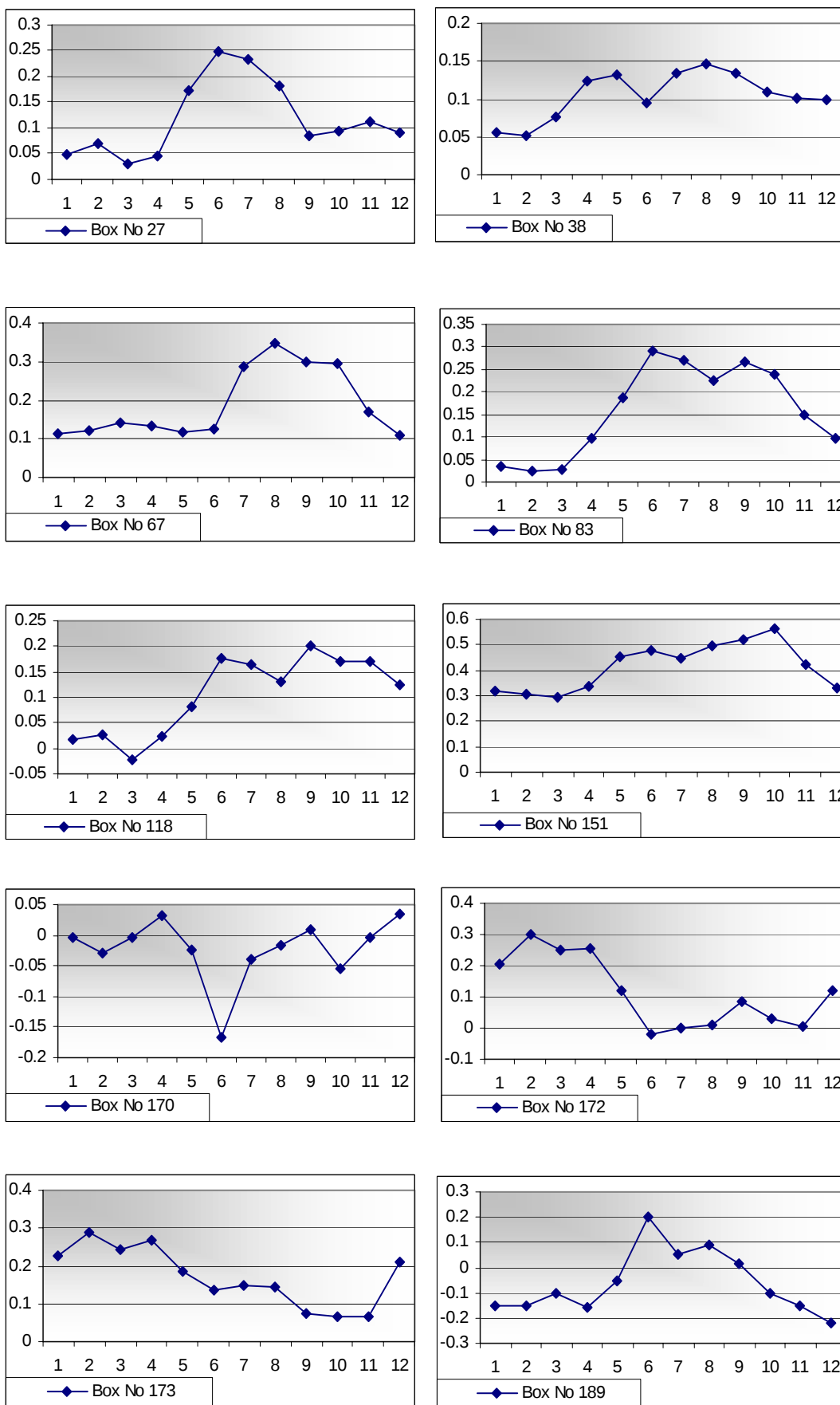
παρουσιάζονται οι χρόνοι κατά τους οποίους μεγιστοποιούνται ο κάθε ένας από τους πέντε αρμονικούς όρους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4. Τα πλάτη των αρμονικών όρων για κάθε κομβικό τετράγωνο.

A/a Box	Factor	1^{ος}	2^{ος}	3^{ος}	4^{ος}	5^{ος}
38	1	0,033	0,011	0,020	0,004	0,007
172	2	0,133	0,064	0,029	0,008	0,027
118	3	0,094	0,032	0,017	0,016	0,021
67	4	0,105	0,057	0,015	0,022	0,015
151	5	0,115	0,028	0,037	0,009	0,013
83	6	0,131	0,026	0,022	0,015	0,006
173	7	0,097	0,035	0,022	0,008	0,014
170	8	0,038	0,024	0,050	0,009	0,021
27	9	0,079	0,052	0,019	0,015	0,004
189	10	0,147	0,045	0,040	0,038	0,044

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5. Ο χρόνος κατά τον οποίο μεγιστοποιούνται οι πέντε αρμονικοί όροι.

a/a Box	Factor	1^{ος}	2^{ος}	3^{ος}	4^{ος}	5^{ος}
38	1	7,11	3,63	3,55	1,16	1,97
172	2	1,91	2,26	4,24	3,41	1,57
118	3	8,24	5,1	1,63	2,37	1,38
67	4	8,02	2,1	2,95	0,8	2,19
151	5	7,72	3,8	1,1	1,07	2,48
83	6	7,31	4,82	1,25	2,8	1,4
173	7	2,48	1,14	3,64	0,59	1,71
170	8	12,02	2,8	3,56	0,93	1,71
27	9	6,6	5,77	1,84	1,64	2,21
189	10	6,47	0,75	1,45	2,31	0,57



ΣΧΗΜΑ 5.2. Η μέση πραγματική ετήσια κύμανση των SSTA στα δέκα κομβικά σημεία.

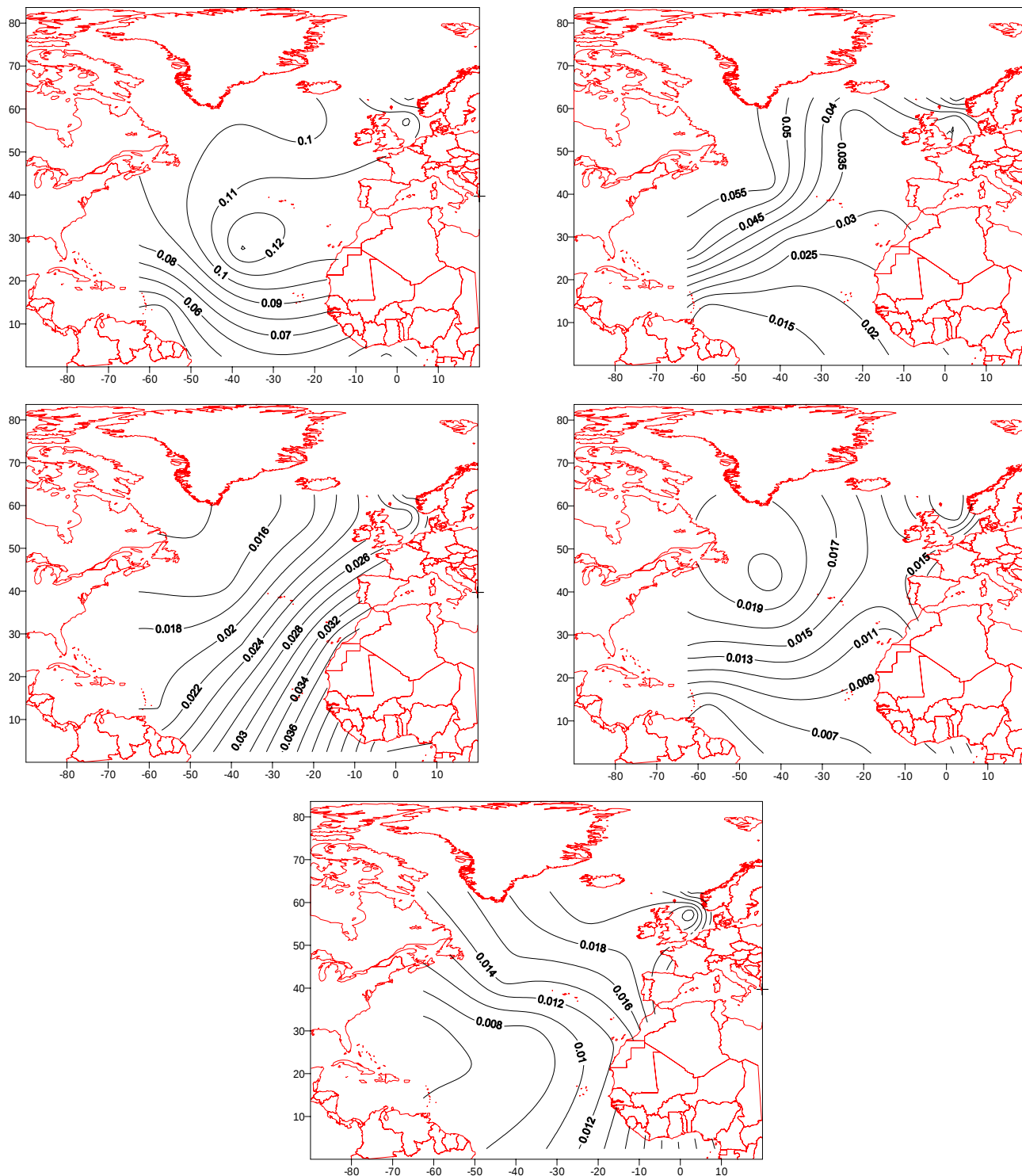
Από τον πίνακα 5.5 είναι φανερό ότι τα δέκα κομβικά σημεία δεν εμφανίζουν μέγιστο κατά τον ίδιο μήνα γεγονός που εξηγείται από το μεγάλο εύρος της περιοχής μελέτης και την επικράτηση διαφορετικών συνθηκών από περιοχή σε περιοχή. Μόνο τα δύο γειτονικά σημεία 172 και 173 παρουσιάζουν μέγιστο τον ίδιο μήνα (Φεβρουάριο). Ωστόσο, συγκρίνοντας τα διαγράμματα της ετήσιας κύμανσης που δίδονται στο σχήμα 5.2, διαπιστώνεται ότι το πρωτεύον μέγιστο των SSTA σε κάθε σημείο ερμηνεύεται ως επί το πλείστον από τους τρεις πρώτους αρμονικούς όρους. Εξαιρέση αποτελεί το κομβικό σημείο 151 στο οποίο δεν είναι ιδιαίτερα εμφανής η ετήσια κύμανση και το μέγιστο του Οκτωβρίου δεν περιγράφεται ικανοποιητικά από κανένα από τους πέντε αρμονικούς όρους.

Από τα παραπάνω συμπεράσματα προκύπτει ότι τα αποτελέσματα της εφαρμογής της Αρμονικής Ανάλυσης στα δέκα αυτά σημεία έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα και οι προτεινόμενες μαθηματικές εκφράσεις παρουσιάζουν σημαντική ακρίβεια για όλη τη διάρκεια του έτους. Κλείνοντας το πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται πέντε διαγράμματα τα οποία δίνουν τη γεωγραφική κατανομή των πλατών των πέντε αρμονικών όρων (σχήμα 5.3).

Ο πρώτος αρμονικός όρος, όπως φαίνεται από τον πίνακα 5.5, στα οχτώ από τα δέκα σημεία μεγιστοποιείται κατά την περίοδο του θέρους. Στα άλλα δύο κομβικά σημεία, τα οποία ανήκουν στο βορειοανατολικότερο τμήμα του ωκεανού, το μέγιστο του πρώτου αρμονικού σημειώνεται τους δύο πρώτους μήνες του έτους. Η μέγιστη τιμή του όρου αυτού παρατηρείται στο κεντρικό τμήμα του ωκεανού και στη συνέχεια διαπιστώνεται μια ελάττωση των τιμών του προς νότο και δυτικά.

Ο δεύτερος και ο τρίτος αρμονικός όρος εμφανίζουν παραπλήσια εικόνα γεωγραφικής κατανομής, με αντίθετες όμως συμπεριφορές των πλατών τους. Οι καμπύλες των τιμών του πλάτους, για τους δύο αυτούς όρους παρουσιάζουν διεύθυνση από νοτιοδυτικά προς βορειοανατολικά. Στο δεύτερο όρο οι τιμές παρουσιάζουν μείωση από βορρά προς νότο, ενώ στον τρίτο αύξηση.

Στον τέταρτο αρμονικό όρο τα πλάτη μειώνονται κατά διεύθυνση βορειοδυτικά προς βορειοανατολικά, ενώ στον πέμπτο αυξάνεται κατά την αντίθετη ακριβώς διεύθυνση.



ΣΧΗΜΑ 5.3. Η γεωγραφική κατανομή του πλάτους του 1^{ου}, 2^{ου}, 3^{ου}, 4^{ου} και 5^{ου} αρμονικού αντίστοιχα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Arseni- Papadimitriou, A.**, 1973: On the annual variations of air temperature in Athens, 1858-1972. *Sci. Annals. Fac. Phys. et Math. Univ. Thessaloniki*, 13, 325-346.
2. **Arseni- Papadimitriou, A., Maheras, P.**, 1991: Some statistical characteristics of air temperature variations at four Mediterranean stations. *Theoretical and Applied Climatology*, 43, 105-112.
3. **Bartzokas, A. N.**, 1989: Annual Variation of Pressure over the Mediterranean Area. *Theoretical and Applied Climatology*, 40, 135-146.
4. **Buffoni, L., Maugeri, M., Nanni, T.**, 1999: Precipitation in Italy from 1833 to 1996. *Theoretical and Applied Climatology*, 63, 33-40.
5. **Conrad, V., Pollak, L. W.**, 1950: Methods in Climatology. *Harvard University Press* 459 pp
6. **Φεΐδας, Χ., Μακρογιάννης, Τ., Μπόρα- Σέντα, Ε.**, 2002: Ανάλυση των τάσεων των χρονοσειρών της θερμοκρασίας του αέρα στην Ελλάδα. *Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας- Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Ιωάννινα*.
7. **Φλόκας, Α. Α.**, 1992: Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. *Εκδόσεις Ζήτη*. Θεσσαλονίκη. 465 pp
8. **Giles, B., Flocas, A.**, 1984: Air temperature variations in Greece, Part 1: Persistence, trends and fluctuations. *Journal of Climatology*, 4, 531-540.
9. **Goossens, Ch., Berger, A.**, 1986: Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, 4B, 385-400.
10. **Hess, A., Iyer, H., Malm, W.**, 2001: Linear trend analysis: a comparison of methods. *Atmospheric Environment*, 35, 5211-5222.
11. **Holton, J. R.**, 1992: An introduction to dynamic Meteorology. *Academic Press*. Chapter 10, 351-353 pp.
12. **Jones, P. D., Wigley, T. M. L., Kelly, P. M.**, 1982: Variations in surface air temperature, Part 1: Northern Hemisphere 1881- 1980. *Monthly Weather Review*, 110, 59-70.
13. **Jones, P. D., Kelly, P. M.**, 1983: The spatial and temporal characteristics of Northern Hemisphere surface air temperature. *Journal of Climatology*, 3, 243-252.

14. Jones, P. D., Briffa, K. P., 1992: Global Surface Air Temperature Variations during the twentieth century: Part 1, Spatial, Temporal and Seasonal details. *The Holocene*. 2.2 165-179.
15. Kadioglu, M., 1997: Trends in surface air temperature data over Turkey. *International Journal of Climatology*, 17, 511-520.
16. Λώλης, X. I., 2002: Συμβολή στη μελέτη της αλληλεπίδρασης κατώτερης τροπόσφαιρας – επιφάνειας θάλασσας στις περιοχές της Μεσογείου και του Βόρειου Ατλαντικού. Διδακτορική Διατριβή. *Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων*. 155 pp
17. Μαχαίρας, Π., Μπαλαφούτης, Χ., 1984: Γενική Κλιματολογία με στοιχεία Μετεωρολογίας. *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*.
18. Maheras, P., 1988: Changes in precipitation conditions in the Western Mediterranean over the last century. *Journal of Climatology*, 8, 179-189.
19. Maheras, P., 1989: Principal Component Analysis of the Western Mediterranean Air Temperature Variations 1866- 1985. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 137-145.
20. Maheras, P., Balafoutis, Ch., Vafiadis, M., 1992: Precipitation in the Central Mediterranean during the last century. *Theoretical and Applied Climatology*, 45, 209-216.
21. Μακρογιάννης, Τ. Ι., 1988: Συμβολή στη μελέτη της ετήσιας κύμανσης της ατμοσφαιρικής πίεσης στον ελλαδικό χώρο με εφαρμογές της Αρμονικής Ανάλυσης. Επιστημονική Επετηρίδα του τμήματος Γεωλογίας Α. Π. Θ., Παράρτημα Αρ.4 1^{ου} τόμου, 95 pp
22. Makrogiannis, T. J., Sahsamanoglou, H. S., Flocas, A. A., Bloutsos, A. A., 1991: Analysis of the monthly zonal index values and long- term changes of circulation over the Atlantic and Europe. *International Journal of Climatology*, 11, 493-503.
23. Μακρογιάννης, Τ. Ι., Σαχσαμάνογλου, Χ. Σ., 1993: Στοιχεία Γενικής Μετεωρολογίας. *Εκδόσεις Art of Text*. 320 pp
24. Μακρογιάννης, Τ. Ι., Μπόρα- Σέντα, Ε., Φύλανδρος, Θ., 1998: Ανάλυση των χρονοσειρών της θερμοκρασίας του αέρα στη Θεσσαλονίκη. Εφαρμογή των ARIMA (p, d, q) μοντέλων. *Πρακτικά 4^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Μετεωρολογίας- Κλιματολογίας- Φυσικής της Ατμόσφαιρας*, Αθήνα, Τόμος 2^{ος}, 219-224.

25. **Metaxas, D. A., Philandras, C. M., Repapis, C. C.**, 2000: Air Temperature Covariances over the Northern Hemisphere, some Teleconnections and Climate Change. *Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Επιστημονικού Συνεδρίου Μετεωρολογίας- Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Ιωάννινα*.
26. **Mitchell, J. M., et al.**, 1966: Climatic change. *W. M. O. Technical Note 79*. W. M. O No. 195. TP-100, Geneva, Switzerland, 79 pp
27. **Μπλούτσος, Α. Α.**, 1984: Μέθοδοι κλιματικής ανάλυσης. *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, 248 pp
28. **Μπλούτσος, Α. Α., Σαχσαμάνογλου, Χ. Σ.**, 1992: Φυσική Κλιματολογία. *Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη*. 302 pp
29. **Parker, D. E., Folland, C. K., Jackson, M.**, 1995: Marine surface temperature: observed variations and data requirements. *Climatic Change*, 31, 559-600.
30. **Pennas, P. J.**, 1992a: A comparative study of temperature changes in Thessaloniki. *Conf. On "Climate and Bioclimate of Town"*. Lodz, Poland, 47-59.
31. **Pennas, P. J.**, 1992b: Air temperature study within the Mediterranean area. *Journal of Meteorology*, 17, 173, 300-306.
32. **Preisendorfer, W. R.**, 1988: Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography. *Elsevier*, 425 pp
33. **Rayner, N. A., Horton, E. B., Parker, D. E., Folland, C. K., Hackett, R. B.**, 1996: Version 2.2 of the global sea- ice and sea surface temperature dataset, 1903-94. *Climate Research Technical Note 74*, Hadley Center, U. K. Meteorological Office.
34. **Repapis, Ch., Philandras, C.**, 1988: A note on the air temperature. Trends of the last 100 years as evidenced in the Eastern Mediterranean time series. *Journal of Climatology*, 3, 405-411.
35. **Richman, M. B.**, 1981: Obliquely rotated principal components: An improved meteorological map typing technique? *Journal of Applied Meteorology*, 20, 1145- 1159.
36. **Richman, M. B.**, 1986: Rotation of Principal Components. *Journal of Climatology*, 6, 293-335.
37. **Sahsamanoglou, H. S.**, 1990: A contribution to the study of action centers in the North Atlantic. *International Journal of Climatology*, 10, 247-261.

38. **Sahsamanoglou, H. S., Makrogiannis, T. J.**, 1992: Temperature trends over the Mediterranean Region, 1950-1988. *Theoretical and Applied Climatology*, 45, 183-192.
39. **Σαχσαμάνογλου, Χ. Σ., Μακρογιάννης, Τ. Ι.**, 1998: Γενική Μετεωρολογία. *Εκδόσεις Ζήτη*. Θεσσαλονίκη. 367 pp
40. **Schönwiese, C. D.**, 1983: Northern hemisphere temperature statistics and forcing. *Arch. Met. Geoph. Biocl. , Ser. B*, 32, 337-360.
41. **Sneyers, R.**, 1975: Sur l'analyse statistique des séries d'observations. *O. M. M. Publ. No. 415*. Note technique 143, 192 pp
42. **Sneyers, R., Goossens Chr.**, 1988: The principal component analysis. Application to Climatology and to Meteorology. *World Meteorological Organization*, 55 pp
43. **Sneyers, R., Vandiepenbeeck, M., Vanlierde, R.**, 1992: Principal Component Analysis of Air Temperature in Belgium. *Theoretical and Applied Climatology*, 45, 61-69.
44. **Türkes, M., Sümer, U. M., Gönül, K.** 1996: Observed changes in maximum and minimum temperatures in Turkey. *International Journal of Climatology*, 16, 463-477.
45. **White, D., Richman, M., Yarnal, B.**, 1991: Climate regionalization and rotation of principal components. *International Journal of Climatology*, 11, 1-25.
46. **Wilks, D.**, 1995: Statistical methods in the Atmospheric Sciences. *Academic Press*, 467 pp