



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
HAROKOPIO UNIVERSITY

Τμήμα Γεωγραφίας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<< Η μεταβολή στο θερμικό περιεχόμενο του Βορείου Ατλαντικού Ωκεανού από το 1986 έως και σήμερα με χρήση του προγράμματος Matlab.>>



της

Κουβάτη Νεκταρίας
Αρ.Μητρώου: 21114

Αθήνα, Ιούλιος 2016



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
HAROKOPIO UNIVERSITY

Τμήμα Γεωγραφίας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**<< Η μεταβολή στο θερμικό περιεχόμενο του Βορείου Ατλαντικού Ωκεανού
από το 1986 έως και σήμερα με χρήση του προγράμματος Matlab.>>**

της

**Κουβάτη Νεκταρίας
Αρ.Μητρώου: 21114**

Επιβλέπων

**Κοσμάς Παυλόπουλος
Καθηγητής Χαροκοπείου Πανεπιστημίου**

Αθήνα, Ιούλιος 2016

Στην οικογένειά μου...

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της Πρακτικής μου Άσκησης στο εξωτερικό σε διάστημα 7 μηνών (Νοέμβριος του 2015 έως Μάιος του 2016) μέσω του προαγράμματος «ΕΡΑΣΜΟΥΣ». Πιο συγκεκριμένα, έλαβε χώρα στο Εθνικό Ωκεανογραφικό Κέντρο του Σάουθάμπτον στο Ηνωμένο Βασίλειο υπό την επίβλεψη του διδάκτορα κυρίου Νίελ Γουέλς. Η Πρακτική Άσκηση έγινε πάνω στον τομέα της Ωκεανογραφίας και εμπεριείχε δύο σκέλη: την μελέτη του Βορείου Ατλαντικού Ωκεανού ως προς το θερμικό περιεχόμενο και την αλατότητα βάση μετρήσεων που είχαν ήδη γίνει ή βρίσκονταν σε εξέλιξη, καθώς και την εκμάθηση του προγράμματος «Matlab» με σκοπό την ανάλυση σχετικών δεδομένων για την εξαγωγή προσωπικών συμπερασμάτων. Λόγω περιορισμένου χρόνου και μεγάλου όγκου δεδομένων η εργασία εστιάζει στις μεταβολές στο θερμικό περιεχόμενο αποκλείοντας την ανάλυση της αλατότητας. Η συμβολή της Πρακτικής Άσκησης στην ολοκλήρωση των σπουδών μου ήταν κάτι παραπάνω από πολύτιμη, αφενός συνέβαλλε στην εκπόνηση της Πτυχιακής μου εργασίας, αφετέρου ήταν για μένα ένα σχολείο το οποίο έδωσε μία νέα διάσταση στην μέχρι τώρα εμπειρία μου με την επιστήμη της Γεωγραφίας, συνέδεσε την θεωρία με την πράξη και ουσιαστικά ολοκλήρωσε τις γνώσεις μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ.....	6
3. ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ (ABSTRACT).....	8
KEY WORDS.....	8

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
4.1 ΤΟ ΡΕΥΜΑ ΤΟΥ ΚΟΛΠΟΥ.....	10
4.2 Η ΘΕΡΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΗ ΤΗΣ ΓΗΣ.....	11
4.3 ΡΟΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	13
4.4 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΖΩΝΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	15
4.5 RAPID ARRAY 26° N.....	16
4.6 ΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΩΚΕΑΝΟΥ.....	17
4.7 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ «ARGO».....	18
4.8 Ο ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΩΚΕΑΝΙΟΣ ΑΤΛΑΣ.....	19
4.9 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	20
5. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	24
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	34
7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	40

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ “MATLAB”.....	43
8.1 ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	43
8.2 Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟ MATLAB.....	44

8.3 ΕΥΡΗΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	45
--------------------------------	----

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

9. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
---------------------------------	----

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ.....	51
--------------------------------	----

11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι «ΕΙΚΟΝΕΣ».....	55
--------------------------------	----

12. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ «ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ»	60
------------------------------------	----

12.1 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΠΟ Matlab: ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑ 10ετία.....	61
---	----

13. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ «ΠΙΝΑΚΕΣ».....	87
----------------------------------	----

14. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV «SCRIPT FILES».....	88
--------------------------------------	----

2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Ατλαντικός Ωκεανός και ειδικότερα ο Βόρειος Ατλαντικός Ωκεανός , είναι μία περιοχή με μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον λόγω της σύνδεσής του με το κλίμα και τον καιρό της Βορειότερης Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής (Inchenko et. al¹, 2006). Η εργασία αυτή στοχεύει στην περιγραφή της μεταβολής της θερμοκρασίας στον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό από το 1986 έως και σήμερα. Πιο συγκεκριμένα, παρακολουθεί τις μεταβολές που υπέστη η θερμοκρασία σε σχέση με το βάθος (για τα πρώτα 100μ.) στην περιοχή μελέτης, αλλά και τις μεταβολές στις υποπεριοχές της. Είναι χωρισμένη σε τέσσερα τμήματα όπου το πρώτο αρχικά εισαγάγει τις κύριες έννοιες της μελέτης και στην συνέχεια κάνει βιβλιογραφική αναφορά η οποία είναι εστιασμένη σε 4 κύρια άρθρα τα οποία στην συνέχεια τα συνδέει και με άλλες πηγές. Εδώ, δίνονται πληροφορίες για την μεταφορά θερμότητας εντός του Β.Α Ωκεανού και των μεθόδων ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο σύστημα “Argo” (Argo Profiles), και καταγράφονται τα δεδομένα και οι μέθοδοι για κάθε άρθρο ξεχωριστά. Έπειτα από την εξαγωγή των πρώτων συμπερασμάτων, παρατείνεται τελικά μία μικρή συζήτηση γύρω από τις τέσσερις μελέτες που τις συνδέει με το φαινόμενο της «Παγκόσμιας Ζώνης Μεταφοράς» ή «Μεσημρινή Ανατροπή της Κυκλοφορίας» γνωστό ως “Atlantic Meridional Overturning Circulation” (AMOC).

Στο δεύτερο τμήμα λαμβάνει χώρα η επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων θερμοκρασίας για τον υπολογισμό του θερμικού περιεχομένου στον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό με χρήση του προγράμματος Matlab. Εδώ, περιγράφονται όλες οι λεπτομέρειες της διαδικασίας ανάλυσης των δεδομένων αλλά και της λειτουργίας του προγράμματος, με στόχο την προσωπική παρατήρηση τα

¹ et al : Συντομογραφία της φράσης «and others» (και άλλοι)

ευρήματα της οποίας στο τρίτο τμήμα θα συγκριθούν με εκείνα που παρουσιάστηκαν στο πρώτο και που θα οδηγήσουν στα τελικά συμπεράσματα. Στο τελευταίο μέρος, και βάση του συστήματος “Harvard”, απαριθμείται όλη η βιβλιογραφία (και ιστοσελίδες) που συνέβαλλαν στο χτίσιμο της παρούσας μελέτης καθώς και τα παραρτήματα στα οποία απαριθμούνται οι πίνακες, τα διαγράμματα και τέλος τα αρχεία (script files) του προγράμματος Matlab.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Β. Ατλαντικός Ωκεανός, Θερμικό Περιεχόμενο, Σύστημα «Argo» AMOC, Αρχεία NetCDF

3. ABSTRACT

The Atlantic Ocean and especially the North Atlantic Ocean is an area of great scientific interest because of its influence on climate and weather in Northern Europe and in North America (Ivchenko et. al, 2006). The report aims to describe the temperature change in the N.Atlantic ocean from 1986-2015. In particular, it explains the variation with depth over the whole domain as well as the variations in sub-regions of the ocean. It is divided into four sections, where the first one firstly introduces the main concepts of the study and afterwards provides a literature review focusing initially on 4 important papers on this topic, while more references are also linked with them. Emphasis is placed on the heat and freshwater transports using Argo profiles and the analysis of the data and methods have been used for each article separately, paying more attention to Heat Storage method, and it presents their main results. Later on, a short discussion takes place which links all the four studies with the “Atlantic Meridional Overturning Circulation” (MOC) and brings out the first conclusions. The second section deals with my own processing of large data sets of temperatures, in order to calculate the heat content in the North Atlantic Ocean using Matlab software. This part provides all the details of the data analysis process and the operation of the program, aiming to personal observation whose findings will be compared in the third section with those presented in the first one and will lead to final conclusions. In the last section, the literature (and websites) which contributed to be build this study, are listed based on the "Harvard" system , along with the annexes which contain the tables, the charts and the files (script files) used in Matlab program.

KEY WORDS: N.Atlantic Ocean, Heat Content, “Argo” System, AMOC, NetCDF Files

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

4.1 Το Ρεύμα του Κόλπου

Η μελέτη του Βορείου Ατλαντικού Ωκεανού είναι σημαντική, αφού όπως προαναφέρθηκε είναι υπεύθυνη για το θερμό κλίμα της Βορειότερης Ευρώπης και του Ηνωμένου Βασιλείου το οποίο είναι κατά 9 βαθμούς Κελσίου θερμότερο από ότι θα αναμένονταν στο συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος. Το ρεύμα του Κόλπου γνωστό ως «Gulf Stream», αποτελεί μία από τις συνιστώσες της μεταφοράς θερμότητας στον ωκεανό και δημιουργείται στον Κόλπο του Μεξικού με πλάτος 80 - 150 χιλ. και βάθος 800 – 1200 μέτρα. Η θερμοκρασία στα επιφανειακά νερά του φθάνει τους 30 - 35°C , έχει ταχύτητα από 104-233 χλμ ανά ημέρα και μεταφέρει μάζες νερού σε συχνότητα 85 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων το δευτερόλεπτο ταξιδεύοντας προς δύο κατευθύνσεις, η μία προς τον Βόρειο Ατλαντικό μέσω της Ανατολικής Αμερικής και η δεύτερη προς την Δυτική Αφρική θερμαίνοντας παράλληλα τις ακτές και των δύο. Το βόρειο ρεύμα ονομάζεται «Βόρειο Ατλαντικό Ρεύμα» («North Atlantic Drift») και μεταφέρει τροπικές και υποτροπικές μάζες νερού στις υπό πολικές και πολικές περιοχές του Βορείου Ατλαντικού (Βλ². Εικόνα 1, σελ. 54). Αυτές οι μάζες, αναμιγνύονται με γλυκά νερά τα οποία έρχονται από την Αρκτική μέσω του ρεύματος της Ανατολικής Γροιλανδίας και ρέουν προς τον Νοτιότερο Ωκεανό όπου εκεί αναμιγνύονται και πάλι με άλλα βαθιά νερά όπως αυτά της Ανταρκτικής τα οποία στην συνέχεια (ένα μέρος αυτών) εισχωρούν Βόρεια στον Ειρηνικό και Ινδικό ωκεανό (Schmittner et. al, 2007). Από το σημείο αυτό, αντλούνται βαθμιαία προς την επιφάνεια από όπου και συνεχίζουν το ταξίδι τους προς τον Ατλαντικό Ωκεανό διασχίζοντάς τον ωκεανό από νότο προς Βορρά από όπου και καταλήγουν στην Νορβηγική

² Συντομογραφία της λέξης «Βλέπε», και χρησιμοποιείται για παραπομπή.

Θάλασσα και ξαναβυθίζονται. Το σύστημα των επιφανειακών και βαθέων ρευμάτων το οποίο περικλύει όλες τις ωκεάνιες λεκάνες, ονομάζεται «Θερμοαλατική Κυκλοφορία» δηλαδή “Thermohaline Circulation” (Βλ. Εικόνα 2, σελ 55) ενώ η κυκλοφορία που περιορίζεται στον Ατλαντικό Ωκεανό ονομάζεται «Παγκόσμια Ζώνη Μεταφοράς» (AMOC) και αποτελεί την κύρια μέτρηση της κυκλοφορίας. Το αποτέλεσμα του δικτύου που μόλις περιγράφηκε είναι η επικράτηση θερμών συνθηκών πάνω από το Βορειότερο τμήμα του Β. Ατλαντικού Ωκεανού. Σύμφωνα τώρα με τον Bryden και Imawaki (2001), οι ωκεανοί και η ατμόσφαιρα συμβάλλουν εξίσου στην διατήρηση της παγκόσμιας θερμικής ισορροπίας.

4.2 Η Θερμική Μηχανή της Γης

Ο πλανήτης βρίσκεται σε ισορροπία ακτινοβολίας και οι παγκόσμιες θερμοκρασίες παραμένουν σταθερές όταν, η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια (ακτινοβολία μικρού κύματος) είναι ίση με την ροή θερμότητας προς το διάστημα (ακτινοβολία μεγάλου κύματος ή πλανητική ακτινοβολία). Ο εσωτερικός κανονισμός που διέπει τις τρεις δυναμικές σφαίρες (υδρόσφαιρα, βιόσφαιρα, ατμόσφαιρα) ελέγχεται από διαρκείς αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στον παγκόσμιο αέρα και τις μάζες νερού. Η διπλή αυτή κυκλοφορία ατμόσφαιρας- ωκεανού είναι γνωστή ως η «Θερμική Μηχανή της Γης».

Ο ήλιος δεν θερμαίνει τον πλανήτη μας ισομερώς αφού η γη είναι σφαίρα και ο ήλιος κυρίως θερμαίνει περιοχές γύρω από τον ισημερινό παρά πολικές περιοχές (<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page1.php>). Εξαιτίας της

μεγάλης θερμοχωρητικότητας³ και της ταχείας κάθετης ανάμειξης, το νερό της θάλασσας απορροφά και διατηρεί περισσότερη θερμότητα σε σχέση με την ξηρά στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος ενώ η ατμόσφαιρα μπορεί και προσαρμόζεται στον ωκεανό πολύ γρηγορότερα. Μάλιστα η ηλιακή ενέργεια εισχωρεί σε μεγαλύτερα βάθη από ότι στην ξηρά καθώς τα ωκεάνια νερά έχουν πολύ καλό βαθμό ανάμειξης. Η Θερμική Μηχανή της Γης δεν πρέπει απλώς να ανακατανέμει την ηλιακή θερμότητα από τον ισημερινό στους πόλους, αλλά και από την επιφάνεια της Γης και τα χαμηλότερα στρώματά της πίσω στο διάστημα. Εάν δεν συνέβαινε αυτό ο πλανήτης τελικά θα θερμαινόταν αδιάκοπα.

Η μέση ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνεται από την Γη στην κορυφή της ατμόσφαιράς της είναι $340 \text{ W} / \text{m}^2$. Από αυτή, κατά μέσο όρο $\sim 77 \text{ W} / \text{m}^2$ αντανακλάται πίσω στο διάστημα από τα σύννεφα και την ατμόσφαιρα και $\sim 23 \text{ W} / \text{m}^2$ ανακλάται από την επιφάνεια (albedo⁴), αφήνοντας $\sim 240 \text{ W} / \text{m}^2$ της ηλιακής ενέργειας να εισαχθούν στον ενεργειακό “προϋπολογισμό” της Γης. Στην ατμόσφαιρα κυριαρχεί η μεταφορά προς τους πόλους στις 30° γεωγραφικού πλάτους με μέγιστη μεταφορά τα 5 PW^5 στις περίπου 40° γεωγραφικού πλάτους, η οποία προκαλείται από καταιγίδες που συμβαίνουν στο μέσο γεωγραφικό πλάτος. Ο ωκεανός συνεισφέρει ένα μέγιστο περίπου 1-2 PW το οποίο κορυφώνεται στο κέντρο υποτροπικής δίνης, περίπου στις 25° B . Ελαφρώς ασθενέστερη βόρεια μεταφορά θερμότητας βρίσκεται στο νότο στις νότιες υποτροπικές περιοχές (βλ.Εικόνα 3, σελ 56)

³ Θερμοχωρητικότητα είναι η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου μάζας κατά 1 βαθμού Kelvin.

⁴ Το Albedo ή Λευκαύγεια είναι το μέτρο ανακλαστικότητας μιας επιφάνειας ή ενός σώματος(αντανακλαστική ισχύς). Περιγράφει την αναλογία της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε αυτή.

⁵ $1 \text{ PW (Petawatt)} = 10^{15} \text{ W (Watt)}$, στο SI.

4.3 Ροή Θερμότητας

Στην ατμόσφαιρα, μεγάλες ποσότητες θερμότητας μεταφέρονται στους πόλους από κυκλώνες και αντικυκλώνες οι οποίες συσχετίζονται με πλανητικά κύματα (Wells, 2012). Η Γη είναι ένας ταχέως περιστρεφόμενος πλανήτης. Οι ταχύτητες της ατμόσφαιρας και των ωκεανών σε σχέση με την περιστρεφόμενη Γη είναι μικρές, και ως εκ τούτου μία δέσμη αέρα ή νερού θα ταξιδέψει μόνο μία μικρή απόσταση στην υδρόγειο σε σύγκριση με την κίνηση της Γης. Λόγω αυτού, αναμένεται ότι η περιστροφή της γης θα έχει μια βαθιά επίδραση στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας και των ωκεανών.

Τόσο στον ωκεανό όσο και στην ατμόσφαιρα, η ροή μεγάλης κλίμακας είναι κατά κύριο λόγο οριζόντια επειδή οι κάθετες ταχύτητες είναι, σε γενικές γραμμές, πολύ μικρότερες από τις οριζόντιες ταχύτητες. Ως εκ τούτου, η κατακόρυφη συνιστώσα του στροβιλισμού⁶ που προκύπτει από την οριζόντια κίνηση είναι πιο χρήσιμη για τη μελέτη κίνησης μεγάλης κλίμακας. Στο πλαίσιο αναφοράς της περιστροφής η κατακόρυφη συνιστώσα του απόλυτου στροβιλισμού είναι το άθροισμα του σχετικού στροβιλισμού και του πλανητικού στροβιλισμού λόγω της περιστροφής της Γης. Η ανταλλαγή σχετικού και πλανητικού στροβιλισμού (που απαιτείται για τη διατήρηση του απόλυτου στροβιλισμού) θα παράγει μια οριζόντια ταλάντωση για το αρχικό γεωγραφικό πλάτος. Αυτές οι ταλαντώσεις είναι γνωστές ως κύματα “Rossby”, ή πλανητικά κύματα και μπορούν να εντοπιστούν εύκολα στις τροχιές των μπαλονιών σταθερής στάθμης στην ατμόσφαιρα. Τα κύματα Rossby έχουν παρατηρηθεί στον ωκεανό, σε τροπικές περιοχές και σε μέσα γεωγραφικά πλάτη, από δορυφόρους που μετρούν τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας. Σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη τα κύματα Rossby σχηματίζονται όταν ο πολικός

⁶ Ο στροβιλισμός είναι ένα ψευδοδιανυσματικό πεδίο το οποίο περιγράφει την τοπική περιστροφική κίνηση ενός συνεχούς μέσου (τάση περιστροφής), όπως θα το αντιλαμβανόταν ένας παρατηρητής που θα βρισκόταν σε εκείνο το σημείο και θα ταξίδευε παρέα με την ροή.

αέρας κινείται προς τον ισημερινό, ενώ ο τροπικός κινείται προς τους πόλους. Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του ισημερινού και των πόλων που οφείλεται στα ποσά της ηλιακής ακτινοβολίας και της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που χάνεται στο διάστημα, η θερμότητα τείνει να ρέει από τα χαμηλά στα υψηλά γεωγραφικά πλάτη, και αυτό επιτυγχάνεται, εν μέρει, από αυτές τις μετακινήσεις του αέρα. Ο τροπικός αέρας μεταφέρει θερμότητα προς τους πόλους, και ο πολικός αέρας απορροφά θερμότητα καθώς κινείται προς τον Ισημερινό. Η ύπαρξη αυτών των κυμάτων εξηγεί τα πεδία χαμηλής πίεσης (κυκλώνες) και τα πεδία υψηλής πίεσης (αντικυκλώνες) τα οποία είναι σημαντικά στην παραγωγή του καιρού στα μεσαία και υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη (Joseph Gentilli, Encyclopaedia Britannica site).

Οι αντικυκλώνες και οι κυκλώνες αποτελούν σημαντικό μέρος του μηχανισμού με τον οποίο η περίσσεια θερμότητας που λαμβάνει η Γη από τον Ήλιο σε ισημερινή ζώνη, μεταφέρεται προς υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Αυτά τα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη εκπέμπουν περισσότερη θερμότητα στο διάστημα από ό,τι λαμβάνουν από τον ήλιο και η θερμότητα αυτή, πρέπει να φτάσει μέσω των ανέμων από τα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη αν η θερμοκρασία τους είναι μεσαία (δροσερή) αντί για κρύα. Αν δεν υπήρχαν οι κυκλώνες και οι αντικυκλώνες, οι κινήσεις του αέρα από βορρά προς νότο θα ήταν πολύ πιο περιορισμένες, και δεν θα υπήρχε δυνατότητα για την παραγωγή θερμότητας στους πόλους από τους ανέμους υποτροπικής προέλευσης. (Joseph Gentilli, Encyclopaedia Britannica site). Σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη ο μέσος χρόνος της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας είναι το κύτταρο μεταφοράς θερμότητας προς τους πόλους «Hadley⁷».

⁷ Η θεωρία του Hadley λέει πως ο θερμός αέρας αυξάνεται κοντά στον ισημερινό, η ροή έχει κατεύθυνση προς τους πόλους σε μεγάλα υψόμετρα, ενώ χάνει θερμότητα παρουσία κρύου αέρα κοντά στους πόλους. Αυτός ο δροσερός και πυκνός αέρας στη συνέχεια κατεβαίνει και ρέει προς τον ισημερινό σε χαμηλά επίπεδα μέχρι να πλησιάσει σε αυτόν, όπου θερμαίνεται και ανεβαίνει ξανά.

4.4 Παγκόσμια Ζώνη Μεταφοράς (AMOC)

Το κατευθυνόμενο προς τον βορρά AMOC, βρίσκεται μεταξύ της επιφάνειας και βάθους 1500 μέτρων, ενώ μεταξύ βάθους 1500-5000μ υπάρχει το νότια κατευθυνόμενο AMOC και η τρίτη πολύ ασθενέστερη ροή προς τον βορρά καταλαμβάνει το βάθος κάτω από τα 5000μ. Η συνολική μεταφορά προς τον βορρά αποτελείται από τις ακόλουθες τρεις συνιστώσες (Wells, 2016):

- i. Η μεταφορά προς τον βορρά του Ρεύματος του Κόλπου στα Στενά της Φλόριντα.
- ii. Η μεταφορά προς τον βορρά των Ρευμάτων «Ekman⁸» στα πρώτα 100μ.
- iii. και μία εσωτερική νότια μεταφορά κάτω από το στρώμα Ekman και πάνω από τα 1100μ.

Μέρος της θερμότητας που μεταφέρεται από το MOC απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα και κατευθύνεται προς την ανατολή από τους δυτικούς ανέμους κάνοντας το κλίμα της Βορειοδυτικής Ευρώπης ήπιο. Η μεταφορά θερμότητας στον Ατλαντικό Ωκεανό πρέπει να εξισορροπηθεί εφόσον ο Ατλαντικός θεωρείται μία αποτελεσματικά κλειστή λεκάνη (Wells, 2016). Η κλειστή λεκάνη αναφέρεται στον Νόμο Διατήρησης της Μάζας για τα απομονωμένα συστήματα που αποφεύγουν τυχόν αλλαγές στην ποσότητα μάζας τους. Τέτοιου είδους συστήματα παραμένουν σταθερά ανεξάρτητα από τυχόν εσωτερικές αλλαγές, αλλά οι εξωτερικές διαδικασίες δεν μπορούν να επηρεάσουν τις τιμές των στοιχείων του μέσου. Αυτό, εξηγείται από την ακόλουθη εξίσωση:

⁸ Το σπирάλ «Ekman» είναι μία δομή ρευμάτων ή ανέμων κοντά σε ένα οριζόντιο όριο στο οποίο η κατεύθυνση της ροής περιστρέφεται καθώς απομακρυνόμαστε από το όριο. Αυτό είναι συνέπεια της επίδρασης του φαινομένου Coriolis το οποίο υποβάλλει τα κινούμενα αντικείμενα σε μια δύναμη προς τα δεξιά της κατεύθυνσης της κίνησής τους στο βόρειο ημισφαίριο (και προς τα αριστερά στο νότιο ημισφαίριο).

$$[V2] = -[v1] \Leftrightarrow [V2] + [v1] = 0$$

Όπου V είναι η ταχύτητα σε δύο διαφορετικά βάθη φιλοξενώντας διαφορετικές θερμοκρασίες. Γενικευμένη σε τριών διαστάσεων συνάρτηση, η εξίσωση διατήρησης της μάζας διαμορφώνεται ως:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Και το μέσο χαρακτηρίζεται ως ασυμπίεστο. Ως εκ τούτου, η μέτρηση της ωκεάνιας μεταφοράς θερμότητας είναι αποτελεσματική όταν αυτό συμβαίνει σε μια πλήρη ενότητα από μία ακτή στην άλλη, συνήθως στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος, όπως συμβαίνει με το Rapid Array 26°N.

4.5 Rapid Array 26° N

Το Rapid Array στις 26°N (βόρεια) ιδρύθηκε το 2004 από επιστήμονες από το Εθνικό Ωκεανογραφικό Κέντρο του Σάουθάμπτον (NOC) και το Μαϊάμι στις Η.Π.Α, και συνδέεται με το AMOC (Βλ.Εικόνα 4, σελ 57). Ο στόχος τους είναι να μετρηθεί η θερμική μεταφορά στους 26° B, μετρώντας τη συνολική μεσημβρινή ροή σε όλο τον Βόρειο Ατλαντικό, από τη Φλόριντα στις ΗΠΑ προς τη Βόρεια Δυτική Αφρική σε βάθος 5000μ για 10 ημέρες. Το εύρος των μετρήσεων αυτών διαφέρουν από τις τιμές της θερμοκρασίας, τη μεταφορά θερμότητας και αλατότητας και τη μεταφορά γλυκού νερού (Wells, 2016). Αυτό το γεωγραφικό πλάτος επιλέχθηκε για δύο βασικούς λόγους:

- 1) Εκεί, πάνω από το 90% της θερμότητας μεταφοράς συνδέεται με το MOC.
- 2) Αυτό είναι το γεωγραφικό πλάτος της μέγιστης μεταφοράς θερμότητας στο Ν.Ατλαντικό Ωκεανό.

Οι μετρήσεις του “Rapid Array” έχουν δείξει ότι υπάρχει ένας εποχιακός κύκλος του MOC στις 26°B, παρά την υψηλή μεταβλητότητα της συχνότητας σε εβδομαδιαία χρονοδιαγράμματα. Η μέγιστη τάση του AMOC και της μεταφοράς θερμότητας τείνει να συμβεί στα τέλη του καλοκαιριού και το ελάχιστο των μεταφορών στα τέλη του χειμώνα (Wells, 2012). Η μέση τιμή και τυπική απόκλιση του AMOC έχει καταγραφεί στα $17,4 \pm 4,5 \text{ Sv}^9$.

4.6 Θερμικό Περιεχόμενο του Ωκεανού

Η αποθηκευμένη θερμότητα ή το Θερμικό Ωκεάνιο Περιεχόμενο (ΘΩΠ) είναι ένα απαραίτητο εργαλείο που δείχνει τη θερμότητα που αποθηκεύεται στον ωκεανό και το οποίο θα αναλυθεί εκτενώς αργότερα. Μια ακριβής εκτίμηση του ΘΩΠ είναι απαραίτητη για την κατανόηση του ρόλου των ωκεανών στο παρελθόν, την αλλαγή του κλίματος, καθώς και για την αξιολόγηση των μελλοντικών αλλαγών του κλίματος, ενώ οι αλλαγές στο θερμικό περιεχόμενο του ωκεανού μπορεί να οδηγήσουν σε θέρμανση του ωκεανού και σε αλλαγή της στάθμης της θάλασσας σε περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο. Μια αυξανόμενη τάση στο θερμικό περιεχόμενο σε βάθος 700μ. του Παγκόσμιου Ωκεανού είναι εμφανής κατά τη διάρκεια των τελευταίων έξι δεκαετιών και οι πρόσφατες παρατηρήσεις δείχνουν σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας και του βαθύτερου ωκεανού (μεταξύ 700μ. και 2000μ. βάθους και κάτω από τα 3000 μ.), σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (2014). Το ΘΩΠ είναι μια ανωμαλία που υπολογίζεται σε σχέση με μια περίοδο αναφοράς και μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις μετρήσεις της θερμοκρασίας, όπως με χρήση πλωτήρα Argo ή με εκ νέου ανάλυση

⁹ 1 Sverdrup (Sv) = $106 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό μοντέλων και παρατηρήσεων. Αυτό δίνεται από την ακόλουθη βασική σχέση:

$$H = \rho C_p \int_{-h}^0 \theta dz$$

Όπου ρ είναι η πυκνότητα του θαλασσινού νερού, c_p η ειδική θερμότητα του θαλασσινού νερού, $z = -h$ είναι το χαμηλότερο βάθος και $z = 0$ είναι η επιφάνεια, θ είναι η πιθανή θερμοκρασία, z είναι η κατακόρυφη απόσταση και το H (αποθηκευμένη θερμότητα) έχει μονάδες $J \cdot m^{-2}$. Το θερμικό περιεχόμενο των ωκεανών ορίζεται ως το ολοκλήρωμα της αλλαγής της θερμοκρασίας επί την πυκνότητα του θαλασσινού νερού, επί την ειδική θερμοχωρητικότητα από την επιφάνεια προς τα κάτω στον βαθύ ωκεανό. Εδώ, υπολογίζεται με βάση τις παρατηρήσεις από τα πρώτα 100 μέτρα του Βορείου Ατλαντικού.

4.7 Το σύστημα «Argo»

Το σύστημα “Argo” χρησιμοποιείται και στις τέσσερις μελέτες και παίζει σημαντικό, έως καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή των συμπερασμάτων τους. Το “Argo”, ξεκίνησε τη λειτουργία του το 2000, ως μέρος του Παγκόσμιου Συστήματος Παρακολούθησης για το Κλίμα /και τον Ωκεανό (GCOS / GOOS) και πρόσφατα προχώρησε σε 3918 ενεργούς πλωτήρες (10/01/16) οι οποίοι βρίσκονται εξαπλωμένοι στον ωκεανό (Βλ.Εικόνα 5, σελ. 57). Το “Argo” παρέχει μετρήσεις της θερμοκρασίας των ωκεανών, της αλατότητας και της ταχύτητας σε βάθος μέχρι και 2000μ κάθε 10 ημέρες, με αρχικό στόχο τους 3600 ενεργούς πλωτήρες (Βλ.Εικόνα 6, σελ.58). Η κάλυψη των πλωτήρων στο τέλος του 2005,

ήταν περίπου 760 προφίλ¹⁰ ανά μήνα στο Βόρειο Ατλαντικό (Hadfield et al., 2007). Σε κάθε περίπτωση, τα προφίλ του Argo έχουν υποστεί αυστηρές διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου καθώς και ποιοτικό έλεγχο σε πραγματικό χρόνο, όπως θα συζητηθεί αργότερα. Τα αποτελέσματα συνδυάζονται και με άλλες μεθόδους, όπως είναι ο Παγκόσμιος Ωκεάνιος Άτλας (World Ocean Atlas-WOA) και τη Βέλτιστη Παρεμβολή (Optimal Interpolation-OI).

4.8 Ο Παγκόσμιος Ωκεάνιος Άτλας

Ο Παγκόσμιος Ωκεάνιος Άτλας (WOA) είναι ένα σύνολο από κλιματολογικά πεδία με αναλύσεις που γίνονται στον πραγματικό τόπο, όπως: η θερμοκρασία, η αλατότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και η φαινομενική αξιοποίηση του οξυγόνου (AOU). Οι υπολογισμοί του είχαν αρχίσει από τον Levitus (1982) ενώ παράχθηκαν από το Εθνικό Ωκεανογραφικό Κέντρο Δεδομένων (NODC) και το Εργαστήριο Ωκεάνιου Κλίματος. Ο WOA είναι σημαντικός γιατί λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για συγκρίσεις, προκειμένου να μας διευκολύνει να καταλάβουμε πώς ο ωκεανός αλλάζει. Πολλές από τις μελέτες για την αλλαγή της θερμότητας των ωκεανών και της περιεκτικότητας σε αλάτι, όπως και οι περισσότερες από τις υπό εξέταση μελέτες, έχουν εκτελεστεί χρησιμοποιώντας τα ευρέως κλιματολογικά μέσα του Παγκόσμιου Ωκεάνιου Άτλα. Η Ανάλυση WOA, χρησιμοποιεί κάθετες αναλύσεις πλέγματος σε διαφορετικά επίπεδα που αποτελείται από μακροχρόνια σύνολα κλιματολογιών και δίνει ετήσια, εποχιακή και μηνιαία πληροφορία. Η υψηλή ανάλυση μπορεί να διευκολύνει την ανάλυση των κάθετων μοντέλων ωκεάνιας κυκλοφορίας, τον πιο ακριβή έλεγχο της ποιότητας των

¹⁰ Τα προφίλ ουσιαστικά αναφέρονται σε μία σειρά πληροφοριών που αφορούν στα δεδομένα της έρευνας που διεξάγεται με χρήση συγκεκριμένης μεθόδου όπως είναι το σύστημα Argo. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται, ο χρόνος αναφοράς, το βάθος, η σήμανση (σημαία-QC), και άλλοι σχετικές παράμετροι.

παρατηρούμενων δεδομένων και τις μελέτες των διαδικασιών όπως είναι μεταβολές στο βάθος του μικτού στρώματος¹¹, με μειωμένο σφάλμα. Κάθε μεταβλητή στην ωκεανογραφία είναι διαθέσιμη σε πλέγμα 1° γεωγραφικού πλάτους και μήκους. (<http://www.nodc.noaa.gov/media/pdf/outreach/WOA13-flyer.pdf>). Το WOA περιέχει επίσης τομείς των στατιστικών πληροφοριών σχετικά με τα συστατικά δεδομένα που παρήγαγαν τους μέσους όρους. Εκεί περιλαμβάνονται τομείς όπως είναι ο αριθμός των σημείων δεδομένων, ο μέσος όρος αυτών, η τυπική απόκλιση και το τυπικό σφάλμα. Μια έκδοση χαμηλότερης οριζόντιας ανάλυσης (5°) του WOA είναι επίσης διαθέσιμη. Το σύνολο δεδομένων WOA είναι κυρίως διαθέσιμο ως συμπιεσμένο ASCII, αλλά από το WOA του 2005 έχει επίσης παραχθεί μια έκδοση NetCDF (έννοια που θα συζητηθεί στη συνέχεια) (https://en.wikipedia.org/wiki/World_Ocean_Atlas).

4.9 Ποιοτικός Έλεγχος

Στην ωκεανογραφία, η κανναβοποίηση των παρατηρήσεων είναι μία από τις πιο περίπλοκες απόπειρες λόγω των ποικίλων περιορισμών και των λαθών που μπορεί να προκύψουν (π.χ. σφάλματα παρατήρησης). Όσο λιγότερες παρατηρήσεις είναι διαθέσιμες, τόσο πιο δύσκολο είναι το πρόβλημα της κανναβοποίησης. Η δημιουργία πλέγματος είναι ο καθορισμός ενός πεδίου, σε θέσεις τακτικού πλέγματος με βάση αυθαίρετα κατανεμημένων παρατηρήσεων. Συχνά οι θέσεις είναι σε οριζόντιο επίπεδο όπου το γεωγραφικό μήκος και πλάτος χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν μια θέση. Ένα από τα κύρια προβλήματα που προκύπτουν κυρίως λόγω της ποσότητας των παρατηρήσεων, είναι η ανομοιογενής

¹¹Το μικτό στρώμα είναι η ωκεάνια ζώνη μεταξύ της επιφάνειας του ωκεανού σε βάθος που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 25 και 200 μέτρα. Εκεί η πυκνότητα είναι περίπου η ίδια με αυτή της επιφανείας και οι ιδιότητες του νερού, η θερμοκρασία και η αλατότητα είναι πιο ομοιόμορφα. Αυτή η ζώνη ανταποκρίνεται πρώτη στις ατμοσφαιρικές ροές από όπου και μακροπρόθεσμα, μεταδίδονται σε ολόκληρο τον ωκεανό.

κατανομή τους στο χώρο και το χρόνο. Επιπλέον, οι διαθέσιμες παρατηρήσεις θα μπορούσαν να είναι κατάλληλες για την ανίχνευση των μεταβολών μεγάλης κλίμακας, αλλά όχι για μεταβολές μικρής κλίμακας. Οι κύριες πηγές σφαλμάτων είναι οι εξής : (Alexander et al., 2008)

- i. Λάθη των οργάνων μέτρησης (περιορισμένη ακρίβεια ή πιθανή μεροληψία του αισθητήρα).
- ii. Αντιπροσωπευτικά σφάλματα: οι παρατηρήσεις δεν αντιστοιχούν απαραίτητα στον τομέα που θέλουμε να αποκτήσουμε.
- iii. Σφάλματα Σύνοψης: όλες οι παρατηρήσεις δεν ελήφθησαν κατά την ίδια χρονική στιγμή.
- iv. Άλλες πηγές σφαλμάτων: τα ανθρώπινα λάθη.

Ο ποιοτικός έλεγχος είναι ένα σημαντικό βήμα για τον αποκλεισμό ύποπτων δεδομένων από τις μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί για να λυθεί το πρόβλημα κατασκευής πλέγματος. Μία από αυτές τις μεθόδους ονομάζεται "Βέλτιστη Παρεμβολή» ή «ΒΠ». Η Βέλτιστη Παρεμβολή, επίσης γνωστή ως «Αντικειμενική Χαρτογράφηση» ή Εξομάλυνση «Gauss-Markov» είναι ένας εκτιμητής της ελάχιστης διακύμανσης, που ωστόσο στην πράξη, ποτέ δεν θα είναι η βέλτιστη, και γι 'αυτό συχνά αναφέρεται ως «Στατιστική Παρεμβολή». Η μέθοδος εκτιμά το πεδίο που παρατηρείται σε μία δεδομένη θέση και το χρόνο μέσα από ένα γραμμικό συνδυασμό των διαθέσιμων στοιχείων. Οι συντελεστές στάθμισης που χρησιμοποιούνται επιλέγονται έτσι ώστε το αναμενόμενο σφάλμα από την εκτίμηση, να είναι το ελάχιστο κατά την εφαρμογή των ελαχίστων τετραγώνων¹², και η ίδια η εκτίμηση να είναι αμερόληπτη. Αυτό που είναι σημαντικό στη διαδικασία εκτίμησης είναι η γνώση των συνάρτησης συνδιακύμανσης μεταξύ των

¹² Μέθοδος που περιγράφει ένα φαινόμενο, όταν γνωρίζουμε μόνον μια σειρά από πειραματικές τιμές των μεγεθών που το περιγράφουν και όχι την ακριβή σχέση τους (τύπο).

δεδομένων και της διαδικασίας που παρατηρείται (το μοντέλο της συνδιακύμανσης των δεδομένων), καθώς και μεταξύ των ίδιων των δεδομένων (το μοντέλο συνδυακύμανσης δεδομένων). Αυτή η συνδιακύμανση των δεδομένων περιλαμβάνει μία πρώτη εκτίμηση της αβεβαιότητας (λάθους) στις παρατηρήσεις. Το μήκος της υποκείμενης συνδιακύμανσης, οι χρονικές κλίμακες των δεδομένων και το αληθινό πεδίο οδηγεί στον υπολογισμό των γραμμικών βαρών. Επιπλέον, η τεχνική της ΒΠ μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να παρεμβάλλει ταυτόχρονα διαφορετικά αλλά συναφή είδη δεδομένων στην γραμμική σχέση μεταξύ αυτών και του μοντέλου. Κλείνοντας, η ΒΠ χρησιμοποιεί επίσης κανονική κατανομή ή "κατανομή Gaussian" η οποία αναφέρεται ως κατανομή πιθανοτήτων που αναπαριστά όλες τις τιμές της με συμμετρικό τρόπο και τα περισσότερα από τα αποτελέσματα βρίσκονται γύρω από την πιθανή μέση τιμή (είτε πάνω είτε κάτω από αυτή). Η ομαδοποίηση λαμβάνει χώρα σε τιμές που είναι κοντά στη μέση (τιμή), ενώ απομακρύνεται από αυτή σταδιακά και πάντα με συμμετρικό τρόπο.

Πριν συνεχίσω στο κεφάλαιο "Δεδομένα και Μέθοδοι" θα ήταν πολύ χρήσιμο να παρέχω σύντομες πληροφορίες σχετικά με Κλιματολογίες (Climatologies) στις οποίες αναφέρθηκα προηγουμένως. Ο όρος "Κλιματολογίες" χρησιμοποιείται στον πληθυντικό καθώς, εκτός από τη μελέτη του κλίματος μας, ο όρος περιλαμβάνει επίσης πολλούς άλλους σημαντικούς ορισμούς. Η Κλιματολογία ορίζεται ως ο μακροπρόθεσμος μέσος όρος ενός δεδομένου μεταβλητής, σε χρονική περίοδο 20-30 χρόνια. Τέτοιες μεταβλητές είναι, για παράδειγμα, μία μηνιαία κλιματολογία η οποία θα παράξει μια μέση τιμή για κάθε μήνα εντός ενός καθορισμένου χρόνου, μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί επίσης ως μέρος της ανάλυσης στην παρούσα μελέτη, ενώ η ημερήσια κλιματολογία θα παράγει μια μέση τιμή για κάθε μέρα και πάλι πάνω από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Ανωμαλίες ("Anomalies") ή «Αποκλίσεις» της μέσης τιμής, όπως χαρακτηριστικά ονομάζονται, είναι οι διαφορές μεταξύ των κλιματολογικών τιμών και των τιμών της παρατήρησης. Ο

υπολογισμός γίνεται με αφαίρεση των κλιματολογικών τιμών που προκύπτουν εκ παρεμβολής στο σημείο της παρατήρησης, από τις παρατηρούμενες τιμές, ενώ, η εκτίμηση των αποκλίσεων στο θερμικού περιεχομένου (Anomaly Heat Content-AHC) γίνεται με αφαίρεση των κλιματολογικού θερμικού περιεχομένου από το ίδιο το θερμικό περιεχόμενο. Όταν οι εποχιακές διακυμάνσεις υπάρχουν μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων, συχνά αυτό βοηθά στο να εκφραστούν τα δεδομένα ως τυποποιημένες ανωμαλίες. Οι «τυποποιημένες ανωμαλίες» ή «κανονικοποιημένες ανωμαλίες» από την άλλη, υπολογίζονται με διαίρεση των ανωμαλιών προς την τυπική απόκλιση των κλιματολογιών. Κατά γενικό κανόνα παρέχουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος των ανωμαλιών επειδή οι επιδράσεις της διασποράς-διασκόρπησης έχουν αφαιρεθεί, ενώ δεν είναι απαραίτητο ότι ένα σύνολο δεδομένων έχει συγκεκριμένη κατανομή για να εκφράσει τυποποιημένες ανωμαλίες. Στην Κλιματολογία συμμετέχουν πολλές χώρες, δεδομένου ότι είναι μια παγκόσμια προσπάθεια που στοχεύει στην παροχή ομοιόμορφων διαδικασιών για τη μέτρηση των κλιματικών δεδομένων (π.χ. θερμοκρασία), ενώ και το σύστημα Argo εντάσσεται σε αυτή τη προσπάθεια ως μέρος, των “Νέων Κλιματολογιών” (“New Climatologies”). Τα καλύτερα σύνολα δεδομένων που υπήρξαν ποτέ, ήταν μεταξύ του 1990-1997.

Εδώ, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι στα άρθρα των Ivchenko et al. υπολογίζεται η μεταβολή της αποθηκευμένης θερμότητας και όχι η ίδια η αποθηκευμένη θερμότητα η οποία θα χρησιμοποιηθεί στην σύγκριση με τις αποκλίσεις (anomalies) που θα προκύψουν από υπολογισμούς στην παρούσα μελέτη.

5. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στο άρθρο των Ivchenko et al. (2006), στόχος ήταν η παροχή πληροφοριών σχετικά με το μείζων ζήτημα αν ο Βόρειος Ατλαντικός Ωκεανός θερμαίνεται ή ψύχεται κάνοντας χρήση του συστήματος Argo. Γίνεται εκτίμηση των αποκλίσεων του θερμικού περιεχομένου της περιοχής από την επιφάνεια έως και τα 2000μ. για το διάστημα από το 1999 έως το 2005, με την ενεργό (πλωτήρας) να επιπλέει σε κάθε τετράγωνο 3° του ωκεανού. Η ανάλυση χρησιμοποιεί δεδομένα μεταξύ 10° B και 70° B που λαμβάνονται από 39.559 κάθετα προφίλ θερμοκρασίας τα οποία ωστόσο μειώθηκαν σε 39.087, μετά το πέρασμά τους από ποιοτικό έλεγχο.

Οι διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένα τεστ, οπτικό έλεγχο και αντικειμενικές αναλύσεις, εφαρμοσμένες τόσο ημερήσια όσο και εβδομαδιαία. Τα αυτοματοποιημένα τεστ πραγματικού χρόνου ελέγχουν τις ακόλουθες παραμέτρους: την ημερομηνία, την θέση, την ταχύτητα, τις παγκόσμιες σειρές, την απότομη αύξηση ενός μεγέθους, τις ανατροπές της πυκνότητας και τις μετατοπίσεις των αισθητήρων. Ο οπτικός έλεγχος με την σειρά του που πραγματοποιείται από τους φορείς εκμετάλλευσης στο Κέντρο «Coriolis» και περιλαμβάνει μια σύγκριση του τρέχοντος προφίλ εναντίον γειτονικών προφίλ, την πλατφόρμα ταχύτητας, το προφίλ της πυκνότητας, τα διαγράμματα Θερμοκρασίας/Αλατότητας (Temperature/Salinity- T/S), την κλιματολογία και την σχετική τυπική απόκλιση. Για τον εντοπισμό σοβαρών σφαλμάτων και τον καθορισμό των ποιοτικών σημαίων¹³ (δηλαδή τη σήμανση αυτών) για κάθε προφίλ, λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα της αντικειμενικής ανάλυσης.

¹³ Παράδειγμα χρήσης της σημαίας στον ποιοτικό έλεγχο:

- Μόνο μετρήσεις με σημαία QC = 1 μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια χωρίς περαιτέρω αναλύσεις.
- Εάν η σημαία QC = 2 τα δεδομένα μπορεί να είναι καλά για ορισμένες εφαρμογές, αλλά ο χρήστης θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να τα επαληθεύει.
- Εάν QC = 4 οι μετρήσεις θα πρέπει να απορριφθούν.

Τελικά, γίνεται λήψη και αποθήκευση στα δεδομένα μόνο εκείνων των προφίλ με το κατάλληλο σύστημα ποιοτικού ελέγχου, και μόνο.

Ο αριθμός των αποδεκτών στοιχείων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το βάθος. Υπάρχουν περισσότερα από 400 προφίλ θερμοκρασίας ανά μήνα στην επιφάνεια τα οποία κατά την περίοδο 1999-2002, μειώθηκαν στα περίπου 300 ανά μήνα. Μετά τον έλεγχο της ποιότητας, χρησιμοποιώντας το κριτήριο της Τυπικής Απόκλισης (Standard Deviation-SD), έγιναν τελικώς δεκτά 35.310 προφίλ. Πιο συγκεκριμένα, το κριτήριο για την εξάλειψη των προφίλ από το σύνολο των δεδομένων ήταν 4 τυπικές αποκλίσεις (SD) από τις μηνιαίες κλιματολογικές τιμές, αν και ένα μεγαλύτερο κριτήριο μεταξύ 3 και 6 SD δίνει πολύ ισχυρά αποτελέσματα. Η ανωμαλία του περιεχομένου θερμότητας υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το θεώρημα Gauss-Markov και η συνδιακύμανση των δεδομένων θεωρείται ότι είναι Gaussian. Έχει βρεθεί ότι τα σήματα είναι ομαλότερα μεταξύ του εύρους 2 και 3 SD και οι διακυμάνσεις έχουν χαμηλότερο πλάτος από ότι στο φάσμα των 5 και 6 SD. Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας και της απόκλισης του θερμικού περιεχομένου χρησιμοποιήθηκαν, η κλιματολογία «WOA2001» και μια νέα Παγκόσμια Υδρογραφική κλιματολογία «WOCE¹⁴». Η πρώτη κλιματολογία χρησιμοποιείται για τα κύρια αποτελέσματα, ενώ η τελευταία, με βάση τα ιστορικά υδρογραφικά δεδομένα (από το τέλος του 1890 έως το 2001) χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων στην κλιματολογία. Σε γενικές γραμμές, η ανωμαλία του θερμικού περιεχομένου εξαρτάται από τον αριθμό των τιμών των δεδομένων, την κατανομή τους και την κλιματολογία.

¹⁴ Η WOCE (World Ocean Circulation Experiment) είναι ένα Παγκόσμια Πείραμα Ωκεάνιας Κυκλοφορίας, πρόγραμμα της Υδρογραφικής Κλιματολογίας, το οποίο έχει ως στόχο να βελτιώσει την ποιότητα, την χωρική και χρονική ανάλυση και τη γεωγραφική κάλυψη σε σχέση με την πρώτη έκδοση της παγκόσμιας κλιματολογίας.

Οι Hadfield et al. (2007) ερεύνησαν την ακρίβεια με την οποία το σύνολο δεδομένων από τα προφίλ των πλωτήρων (Argo) μπορεί να εκτιμήσει την ανώτερη θερμοκρασία των ωκεανών και την αποθηκευμένη θερμότητα στο Βόρειο Ατλαντικό σε υδρογραφικό τμήμα, κατά μήκος των 36° Β. Η μελέτη εκτιμά την οριζόντια συσχέτιση θερμοκρασίας κλιμάκων μήκους με χρήση δεδομένων Argo με περισσότερα από 43.000 προφίλ, τα οποία λαμβάνονται μεταξύ του Ιανουαρίου του 1999 και Δεκεμβρίου του 2005. Περίπου το 24% των προφίλ έχουν υποστεί καθυστέρηση της λειτουργίας του ποιοτικού ελέγχου, με όλα τα προφίλ να έχουν δεχτεί παρεμβολή σε επιφάνειες των 10 dbar¹⁵. Ο ποιοτικός έλεγχος σήμανε τα προφίλ εκείνα (χρήση σημαίας) που δεν δίνουν ενδείξεις στα πρώτα 10μ. και τα προφίλ που περιέχουν ενδείξεις θερμοκρασίας που είναι έξω από μία προκαθορισμένη κλίμακα. Αυτό το εύρος ποικίλλει ανάλογα με την τοποθεσία και υπολογίζεται με τη χρήση του Παγκόσμιου Ωκεάνιου Άτλα. Κατά τη διάρκεια του ποιοτικού ελέγχου, τα προφίλ με τις ενδείξεις που λείπουν στα πρώτα 100μ. αφαιρέθηκαν από το σύνολο δεδομένων εφόσον η παρέκταση (δηλαδή ο υπολογισμός κατά προσέγγιση) δεν είναι δυνατός. Ένα ζευγάρι προφίλ απόκλισης θερμοκρασιών μετρήθηκε μέσα σε ένα χρονικό διάστημα 10 ημερών σε δύο χωρικές κλίμακες :

α. Μέση Κλίμακα¹⁶

β. Κλίμακα Κλιματολογίας¹⁷.

¹⁵ Ένα bar αντιστοιχεί στην πίεση μιας ατμόσφαιρας. Ένα dbar αντιστοιχεί σε υδροστατική πίεση στήλης νερού ύψους ενός μέτρου και με το οποίο μετράται η πίεση στη θάλασσα.

¹⁶ Η μεταβλητότητα Μέσης Κλίμακας αναφέρεται σε σήματα του ωκεανού με χωρικές κλίμακες των 50-500χλμ και χρονοδιαγράμματα των 10-100 ημερών. Η κυκλοφορία κυριαρχείται από μέσης κλίμακας μεταβλητότητες (ωκεάνιες δίνες, απομονωμένες δίνες κλπ)

¹⁷ Στην Μετεωρολογία και Κλιματολογία, οι σύνηθες κλίμακες κατάταξης που κυμαίνονται από μικρές έως μεγάλες είναι οι πολύ μικρές, οι τοπικές, οι μέσες, και οι μακρο-κλίμακες. Οι διαστάσεις αυτών των κλιμάκων είναι:

Μικρό-κλίμακα 10^{-2} έως 10^3 μ.
Τοπική κλίμακα 10^2 έως 5×10^4 μ.
Μέση-κλίμακα 10^4 έως 2×10^5 μ.

Η μέση κλίμακα, η οποία προσδιορίζεται ως η κλίμακα μήκους στην οποία οι κανονικοποιημένες τιμές συσχέτισης εξισορροπούνται, ποικίλλει σε όλη τη στήλη του νερού με μεγαλύτερες κλίμακες, της τάξης των 200 χλμ, στην επιφάνεια και των 150 χλμ στα 100μ. Η κλιματολογικές κλίμακες, που προσδιορίζονται από τις μέγιστες σημαντικές τιμές συσχέτισης, υπερβαίνουν τα 500 χιλιόμετρα στα 20μ. Οι κλίμακες μήκους υπολογίστηκαν για την δυτική λεκάνη (0-40°B, δυτικά των 40° Δ), την ανατολική λεκάνη (0 -40° B, ανατολικά των 40°Δ), και την υποπολική περιοχή (40°-70°B). Το «Προηγμένο Μοντέλο Ωκεάνιας Κυκλοφορίας και Κλίματος» (Ocean Circulation and Climate Advanced Model -OCCAM) χρησιμοποιείται επίσης για να καθοριστεί το σφάλμα δειγματοληψίας του Argo της αποθηκευμένης θερμότητας στο μικτό στρώμα.

Υπάρχει επίσης μεταβλητότητα στις πυκνότητες χωρικής δειγματοληψίας ανάμεσα στα έτη. Το δείγμα πυκνότητας κατά τη διάρκεια του 2002 και μετέπειτα, είναι υψηλότερο από το μέσο όρο για τα έτη 1999-2005, λόγω του μικρού αριθμού των πλωτήρων που αναπτύχθηκαν κατά τα πρώτα χρόνια του προγράμματος Argo. Βρέθηκε πως υπήρχε εξάρτηση από το βάθος, με τις τιμές να κυμαίνονται από 800 χιλιόμετρα στην επιφάνεια έως 550 χλμ στα 400 μ. Η εξάρτηση από το βάθος ποικίλει μεταξύ των περιοχών, αλλά το μέσο χρονοδιάγραμμα βάθους ποικίλει, και είναι κοντά στις 30 ημέρες τόσο στις ανατολικές όσο και στις δυτικές υποπεριοχές και κοντά στις 35 ημέρες στον υποπολικό Βόρειο Ατλαντικό.

Κατά την ανάλυση, τα δεδομένα του Argo υπέστησαν βέλτιστη παρεμβολή στην θέση σταθμών και χρόνων και στα τακτικά μηνιαία πλέγματα (2grids), αντίστοιχα. Η μέθοδος της Βέλτιστης Παρεμβολής βασίζεται στο θεώρημα Gauss-Markov και δίνει μια αμερόληπτη γραμμική εκτίμηση, είναι επίσης βέλτιστη στα ελάχιστα τετράγωνα και παρέχει μια εκτίμηση της διακύμανσης σφάλματος. Για να είναι η

Βέλτιστη Παρεμβολή ακριβής, η κλίμακα μήκους πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή περίπου ίση με την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των σημείων, (αλλιώς το πεδίο εξόδου θα είναι η μέση τιμή πεδίου που χρησιμοποιείται στην ΒΠ). Εδώ, οι κλίμακες μήκους έχουν οριστεί στα 500 χιλιόμετρα και τα χρονοδιαγράμματα (κλίμακες χρόνου) σε 30 ημέρες με σκοπό να αναλύσουν τον εποχιακό κύκλο της αποθηκευμένης θερμότητας σε μηνιαίες κλίμακες.

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιεί αυτό το άρθρο είναι ο υπολογισμός αποθηκευμένης θερμότητας (Heat Storage Calculation-HSC) χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$pCp \left[h \frac{\partial Ta}{\partial t} + hVa * \nabla Ta + \nabla \left(\int_{-h}^0 vT \partial z \right) + We(Ta - T - h) \right] = Q - Q - h$$

Ο υπολογισμός χρησιμοποιεί την τοπική αποθηκευμένη θερμότητα, την οριζόντια μεταφορά της θερμότητας, τον όρο της διατμητικής ταχύτητας συνδιακύμανσης, και την κάθετη παράσυρση αν και σε αυτή την ανάλυση, λαμβάνονται υπόψη μόνο η τοπική αποθηκευμένη θερμότητα και η κάθετη παράσυρση. Για την αξιολόγηση της σημασίας των όρων αυτών, το πεδίο οριζόντιας ταχύτητας και η διατήρηση της μάζας χρησιμοποιήθηκαν από το μοντέλο του OCCAM, ώστε να εκτιμηθεί το μέγεθος. Στην φόρμουλα ωστόσο η θερμότητα δεν λαμβάνεται υπόψη καθώς δεν είναι όλες οι διαδικασίες υπεύθυνες για την παροχή θερμότητας στην περιοχή, ως εκ τούτου η οριζόντια μεταγωγή θερμότητας ιδίως, παραμελήθηκε. Τελικά διαπιστώθηκε ότι εισαγόμενη η θερμότητα αποθηκεύεται κυρίως τοπικά στον Βόρειο Ατλαντικό και η οριζόντια μεταφορά θερμότητας από τη μέση ροή δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η εκτίμηση του μεγέθους του όρου της μεταγωγής της θερμότητας χρησιμοποιεί το OCCAM για τετράγωνο περίπου $10^\circ \times 10^\circ$, με επίκεντρο τα 35° B , 55° Δ , που οριοθετείται βόρεια από το Ρεύμα του Κόλπου. Η

αποθηκευμένη θερμότητα υπολογίζεται μόνο πάνω από το μικτό στρώμα, επειδή οι ιδιότητες αυτού του στρώματος καθορίζονται άμεσα από την ατμόσφαιρα. Τόσο οι εκτιμήσεις του επί μέρους δείγματος της αποθηκευμένης θερμότητας όσο και του πλήρους δείγματος έχουν υπολογιστεί κατά μέσο όρο σε κουτιά των $10^\circ \times 10^\circ$, καθώς το Argo δεν μπορεί να προσδιορίσει την ποσότητα της αποθηκευμένης θερμότητας του μικτού στρώματος για κλίμακες κάτω των 10° . Για τον προσδιορισμό σφάλματος, η σύγκριση γίνεται επίσης μεταξύ των προφίλ παρεμβαλλόμενης θερμοκρασίας (δεδομένα Argo που καλύπτουν μια έκταση άνω των $2,5 \cdot 10^6$ χλμ^2 και μια περίοδο άνω των 5 μηνών) και το τμήμα του πραγματικού τμήματος CTD¹⁸ (έρευνα Μαΐου-Ιουνίου του 2005).

Οι Wells et al. (2009), χρησιμοποιούν δεδομένα από τα προφίλ των πλωτήρων Argo για το 1999-2005 και το NCEP / NCAR (Εθνικά Κέντρα Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης / Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικών Ερευνών) και τα σύνολα δεδομένων επιφανειακών ροών του NOC (Εθνικό Ωκεανογραφικό Κέντρο). Η μεθοδολογία ανέλυσε την θερμότητα του προϋπολογισμού για το τμήμα 0-300 μέτρα για τον Βόρειο Ατλαντικό από 20° - 60° B που αναπτύχθηκε από τους Hadfield et al. (2007a, b), και περιλαμβάνει τη βέλτιστη παρεμβολή των ατομικών προφίλ προκειμένου να παράξουν πεδία πλέγματος με τις εκτιμήσεις σφάλματος για κάρναβο $10^\circ \times 10^\circ$. Το κλείσιμο του προϋπολογισμού θερμότητας επιτυγχάνεται εντός των εκτιμήσεων σφάλματος για ορισμένες περιοχές, αλλά όχι για εκείνα τα κουτιά που περιλαμβάνουν το Ρεύμα του Κόλπου. Για τις μετρήσεις του θερμικού προϋπολογισμού στο εξεταζόμενο τμήμα της περιοχής, η μελέτη αυτή χρησιμοποιεί τα σύνολα δεδομένων ροής της έκδοσης NOC1.1 (μία από τις δύο

¹⁸ Το CTD είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται από ωκεανογράφους για τη μέτρηση προφίλ σε στήλη του νερού στον ωκεανό. Ονομάζεται CTD γιατί ως ελάχιστα μέτρα καταμέτρησης έχει την Αγωγιμότητα (Conductive), την Θερμοκρασία (Temperature) και το Βάθος (Depth).

εκδόσεις του τομέα NOC) ως τον καλύτερο πάροχο για καλές εκτιμήσεις της ανταλλαγής θερμότητας στην επιφάνεια του ανατολικού Βορείου Ατλαντικού. Η αξιολόγηση του συνολικού προϋπολογισμού θερμότητας για τον Βόρειο Ατλαντικό χρησιμοποιώντας δεδομένα του Argo, παρέχει συνεχή κάλυψη από το 1999 έως το 2005 (σύμφωνα με τα μέχρι τότε δεδομένα).

Το χειμώνα, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από τον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό κυριαρχείται από την ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού, η οποία κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ήταν κυρίως σε θετική φάση (αυξημένοι δυτικοί άνεμοι), ιδίως το 2000, 2002, 2004 και 2005. Στο γράφημα 1 στην σελ. 59, φαίνεται πως υπάρχει επίσης μια ανοδική τάση από το 1960 έως τις αρχές του 1990 η οποία δεν έχει διατηρηθεί και έχει σημαντική από έτος σε έτος μεταβλητότητα επάνω σε αυτό, ενώ λεπτομέρειες καταγράφονται στον πίνακα 1 στην σελ. 64 (<https://crudata.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm>). Από την άλλη πλευρά, δύο σημαντικά γεγονότα αρνητικής ανταλλαγής θερμότητας με την ατμόσφαιρα (μειωμένοι δυτικοί άνεμοι) έλαβαν χώρα. Συγκεκριμένα, το ένα συνέβει προς το τέλος του 2003 και το άλλο στο τέλος του 2005, ενώ το χειμώνα του 2009/10 η αρνητική ταλάντωση του Β.Ατλαντικού είχε δείκτη ρεκόρ, τον χαμηλότερο που καταγράφηκε τα σχεδόν 190 έτη παρατηρήσεων. Την ίδια περίοδο παρατηρήθηκαν εξαιρετικά κρύοι χειμώνες στο βόρειο τμήμα της Ευρώπης. Οι σχετικές διαχρονικές μεταβολές στην επιφανειακή ροή θερμότητας είναι συνήθως $\sim 20 \text{ Wm}^{-2}$, σε σύγκριση με τον μέσο εποχιακό κύκλο με μεταβολή περίπου $\pm 200 \text{ Wm}^{-2}$, ως εκ τούτου, την περίοδο 1999-2006 είναι ένα εύλογο χρονικό διάστημα για τη μελέτη του εποχιακού κύκλου στο Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό. Για την επικύρωση της προσέγγισης χρησιμοποιήθηκε επί μέρους δειγματοληψία OCCAM στις θέσεις του Argo και διαπιστώθηκε ότι η μηνιαία αποθηκευμένη θερμότητα στο μικτό στρώμα, στον υποτροπικό Βόρειο Ατλαντικό (μη συμπεριλαμβανομένου του Ρεύματος του Κόλπου) έχει ένα δειγματοληπτικό

σφάλμα της τάξεως των $10\text{-}20\text{Wm}^{-2}$, όταν εκτιμάται ο μέσος όρος σε περιοχή πάνω από $10^{\circ}\times 10^{\circ}$, η οποία είναι μόνο ελαφρώς μικρότερη από την εποχιακή.

Τα προφίλ Argo που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη συλλέχθηκαν την 1η Ιανουαρίου 1999 έως 31 Δεκεμβρίου 2005 στο Βόρειο Ατλαντικό από $0\text{-}70^{\circ}$ Β και $0\text{-}90^{\circ}$ Δ, και φθάνοντας σε βάθος τουλάχιστον 1000 μέτρων. Υπήρχαν 49.599 πλωτήρες εκ των οποίων 43.127 πλωτήρες (86%) χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση και έκαναν δειγματοληψία του ωκεανού ανάλυσης $3^{\circ}\times 3^{\circ}$ σε συχνότητα 10 ημερών. Ωστόσο, ο πίνακας ARGO ήταν αισθητά χαμηλότερος από αυτό την ανάλυση μεγάλων τμημάτων του Βόρειου Ατλαντικού. Με τη χρήση ενός ωκεάνιου μοντέλου δίνης (OCCAM) διαπιστώθηκε ότι μια μηνιαία χρονική κλίμακα και μια οριζόντια ανάλυση των $10^{\circ} \times 10^{\circ}$, είναι επαρκείς για την απόκτηση καλών υπολογισμών.

Επιπλέον, μια αντικειμενική μέθοδο ανάλυσης εκδόθηκε επίσης για να επιτύχει την καλύτερη γραμμική εκτίμηση της θερμοκρασίας σε μια δεδομένη οριζόντια θέση και με δεδομένο κατακόρυφο επίπεδο. Τα δεδομένα θερμοκρασίας Argo είχαν υποστεί οπτική παρεμβολή σε μηνιαία κουτιά των $2^{\circ}\times 2^{\circ}$, σε μια έκταση από 9.5° Β έως 69.5° Β και από 0.5° Δ έως 84.5° Δ. Οι τιμές της δυνητικής θερμοκρασίας επίσης υπέστησαν βέλτιστη παρεμβολή στο κεντρικό σημείο του κάθε ημερολογιακού μήνα από τον Φεβρουάριο του 1999 έως τον Δεκέμβριο του 2005 σε 104 οριζόντιες επιφάνειες (από 10μ.-15μ. έως 200μ., 210μ. έως 500μ., 520μ. έως 1000μ, και 1050μ. έως 150μ.). Για τον υπολογισμό της αποθηκευμένης θερμότητας, έχει χρησιμοποιηθεί ένα σταθερό βάθος, τα 300μ. Η περιοχή βόρεια των 60° Β και νότια των 20° Β δεν έχει συμπεριληφθεί σε αυτή τη μελέτη λόγω του μεγάλου όγκου της γης και του πάγου στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη, και της ακανόνιστης εποχικής αποθηκευμένης θερμότητας στα χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη.

Ο επτά (7) ετών μέσος εποχικός κύκλος του μικτού στρώματος, δείχνει ότι νότια των 50°B το μέγιστο βάθος είναι μικρότερο από 200 μέτρα σε ανάλυση 10°×10°. Σε υψηλότερη ανάλυση 2°×2° στα βορειότερα κουτιά (50-60° B) τα βαθύτερα μικτά στρώματα προσεγγίζουν τα 300μ. και τα μικτά στρώματα μπορούν να προσεγγίσουν το βάθος των 500μ. στη Θάλασσα Λαμπραντόρ, στη Θάλασσα «Irminger» και τη Γροιλανδία, ωστόσο, σε αυτή την ανάλυση δεν υπάρχουν αρκετοί πλωτήρες για να παρέχουν μια καλή εκτίμηση της αποθηκευμένης θερμότητας. Το επιλεγμένο βάθος των 300 μέτρων είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της δειγματοληψίας Argo και της ανάγκης επαρκούς δειγματοληψίας του ανώτερου τμήματος του ωκεανού σε ανάλυση 10°×10°. Ο μέσος εποχιακός κύκλος σε βάθους (μέσου όρου της θερμοκρασίας) από 0 έως 300μ. και η θερμοκρασία στα 300μ. δείχνει ένα εποχιακό κύκλο περίπου 1°C.

Οι Ivchenko et al. (2010) ανέλυσαν τον Βόρειο Ατλαντικό, για την περίοδο 1999-2008 χρησιμοποιώντας τα Argo προφίλ της αλατότητας και της θερμοκρασίας σε βάθος 2000μ. Για τα να γίνουν αποδεκτά τα προφίλ, περνάνε υποχρεωτικά από ποιοτικό έλεγχο που παρέχει πληροφορίες του χώρου και του χρόνου και εφαρμόζεται από την αφαίρεση των κλιματολογικών τιμών εκ παρεμβολής από τις παρατηρούμενες τιμές. Οι αναλύσεις των Polyakov et al. (2005) και Lozier et al. (2008) συμπεριλαμβάνονται. Η πρώτη αξιολόγησε δύο στρώματα: 0-300μ. και 1000-3000μ σε χρονικές κλίμακες των 50-80 ετών και διαπιστώθηκε ψύξη και αύξηση του γλυκού νερού στο ένα και η αντίθετη κατάσταση στο άλλο, ενώ στην τελευταία διαπιστώθηκε αύξηση της θερμοκρασίας στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές, αλλά ψύξη στις υποπολικές ωκεάνιες περιοχές από την αξιολόγηση 50 χρόνων υδρογραφικών δεδομένων. Και οι δύο αναλύσεις χρησιμοποίησαν μεγαλύτερο κριτήριο Τυπικής Απόκλισης για να επιτρέψουν περισσότερες

παρατηρήσεις που θα περιλαμβάνονται στην εκτίμηση, και ως εκ τούτου να παράξουν πιο ακριβή αποτελέσματα. Επισημαίνεται ότι, ένα προφίλ Argo εξαιρείται από την ανάλυση εάν ανήκει σε μία από τις τρεις κατηγορίες:

- Δεν έχει περάσει τον έλεγχο της ποιότητας που παρέχεται από το κέντρο δεδομένων Argo.
- Ανήκει στους επίσημα δημοσιευμένους καταλόγους των πλωτήρων με τα ανεπανόρθωτα προβλήματα πίεσης, ιδιαίτερα δεδομένα που λαμβάνονται από τον πλωτήρα SOLO με FSI CTD (Argo Πρόγραμμα WHOI) ή APEX πλωτήρες με APF8 πλακέτα ελέγχου.
- Δεν έχει περάσει τον ποιοτικό τους έλεγχο.

Τα προφίλ της θερμοκρασίας Argo και της αλατότητας χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα για τους υπολογισμούς της απόκλισης του περιεχομένου θερμότητας (Heat Content Deviation-HCD) και της απόκλισης του περιεχομένου αλατότητας (Salinity Content Deviation-SCD) για τα οποία τα προφίλ θερμοκρασίας ανά μήνα στην επιφάνεια αυξήθηκαν από 200 στα 300 το 1999 έναντι 400 το 2001 και 800 το 2008. Η απόκλιση αναφέρεται στο ποσό κατά το οποίο οι μετρήσεις της θερμότητας και της αλατότητας διαφέρουν από τις κατά μέσο όρο τιμές λεκάνης. Η HCD και SCD εκτιμάται για το σύνολο δεδομένων, το μισό και τέταρτο αυτών (δεδομένα) και τα προφίλ είναι κοντά το ένα στο άλλο, ιδίως στα πρώτα 600μ. αλλά χαμηλότερα μεταξύ 1600-2000μ. Τόσο το HCD όσο και τα σύνολα δεδομένων SCD αναλύθηκαν με και χωρίς τον εποχικό κύκλο για να παράγουν τάσεις και ως αποτέλεσμα το ισχυρότερο σήμα συσχετίζεται με τον εποχιακό κύκλο. Με τη μείωση των παρατηρήσεων που χρησιμοποιούνται, λαμβάνεται μια εκτίμηση του πόσο αξιόπιστη είναι η εκτίμηση της θερμοκρασίας. Αν υπάρχει μεγάλη διαφορά στα αποτελέσματα τότε η πρώτη εκτίμηση με όλες τις παρατηρήσεις δεν είναι αξιόπιστη. Τελικά, ως αποτέλεσμα οι παρατηρήσεις είναι

στατιστικά σημαντικές κατά 95%. Τα HCD και SCD υπολογίστηκαν για κουτιά $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ γεωγραφικού πλάτους και μήκους και για όλα τα στρώματα μεταξύ της επιφάνειας και 2000μ. με την κατακόρυφη βαθμίδα των 25μ. Σε γενικές γραμμές, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει ένας ισχυρότερος εποχιακός κύκλος θερμοκρασίας (θερμικό περιεχόμενο) σε ανώτερα στρώματα του ωκεανού, σε σύγκριση με τα βαθύτερα στρώματα. Το ποσοστό της διακύμανσης του HCD στα πρώτα 100μ. είναι πολύ υψηλό: 84,2% .Η αρνητική HCD (ψύξη) για τα 2000μ. εμφανίζεται στα νότια και στα μέσα του Βορείου Ατλαντικού (μεταξύ 10°B και 50°B) και η θετική HCD (θέρμανση) συμβαίνει στον Βόρειο Ατλαντικό (μεταξύ 50°B και 70°B).

Η κλιματολογία που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη βασίζεται σε ιστορικά υδρογραφικά δεδομένα από το τέλος του 1890 μέχρι το 2001 και η τυπική απόκλιση έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας ένα σύνολο 120 δειγμάτων, δηλαδή 12 μήνες πολλαπλασιαζόμενοι με 10 χρόνια.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τους Ivchenko et al. (2006), τα πρώτα 1.500μ. του Βόρειου Ατλαντικού δείχνουν ένα αρνητικό περιεχόμενο στην ανωμαλία της θερμότητας που εξηγείται ως η αύξηση της θερμοκρασίας καθ 'όλη τη διάρκεια της περιόδου 1999-2005 και δύο ελάχιστα ανάμεσα στα 50-75μ. και 350-900μ, αντίστοιχα. Η Τυπική Απόκλιση στα άνω 1500μ. είναι υψηλή, πράγμα που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η κύρια συμβολή στη συνολική αρνητική τιμή της AHC είναι μεταξύ 350-900μ. Η AHC στο ανώτερο στρώμα των 1000μ. είναι μεγαλύτερη από το στρώμα των 1000-1500μ. Η μέγιστη μεταβολή της αποθηκευμένης θερμότητας στο Βόρειο Ατλαντικό συμβαίνει σε βάθη μεγαλύτερα από 300μ. και στα πρώτα

100μ. υπάρχει ένας εποχιακός κύκλος της AHC που είναι πιο ζεστός το χειμώνα και πιο κρύος το καλοκαίρι εντοπισμένος κυρίως στο Νότιο τμήμα. Ελάχιστα βρίσκονται μεταξύ 50-75μ. και 350-900μ.

Οι περιοχές μεταξύ 20°B-30°B και 40°B-50°B αποδεικνύουν την ψύξη κατά τα τελευταία 7 χρόνια, αλλά η ζώνη μεταξύ 30°B-40°B και ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα του Βόρειου Ατλαντικού παρουσιάζει ισχυρή αύξηση της θερμοκρασίας. Η νότια μεταφορά στο κύριο θερμοκλινές μεταξύ 100 και 600 μέτρων είναι πολύ ισχυρότερη το 2004, σε σύγκριση με τα προηγούμενα υδρογραφικά τμήματα, η οποία ξεκίνησε το 1957 και επαναλήφθηκε το 1981, το 1992 και το 1998. Στα πρώτα 100μ. εντοπίζεται ουσιαστική αύξηση της θερμοκρασίας στο νότιο τμήμα, αλλά και σημαντική ψύξη κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι τα 1000μ. Το κύριο αποτέλεσμα είναι ότι η αύξηση της θερμοκρασίας λαμβάνει χώρα σε όλα τα μελετημένα στρώματα στο βόρειο τμήμα της περιοχής. Το ισχυρότερο σήμα συσχετίζεται γενικότερα με τα άνω 100μ. του ωκεανού. Μια αύξηση της θερμοκρασίας του Παγκόσμιου Ωκεανού στο τελευταίο μισό του 20ου αιώνα έχει επίσης αποδειχθεί. Τέλος, το 2008 διαπιστώθηκε αύξηση της θερμοκρασίας στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές, και το 2010 υπάρχει αύξηση στο ποσοστό της διακύμανσης του HCD στα πρώτα 100μ. (θέρμανση) μεταξύ 50°B και 70°B και μείωση αυτού για τα 2000μ. μεταξύ 10°B και 50°B.

Οι Hadfield et al., 2007, έδειξαν ότι οι εκτιμήσεις βασισμένες στο Argo συμφωνούν με τις μετρήσεις κρουαζιέρας κατά 0.5°C. Οι τιμές WOA δείχνουν μεγαλύτερες διαφορές από το τμήμα κρουαζιέρας και μικρότερες διαφορές στα τμήματα Argo. Οι RMS διαφορές σε ολόκληρο τον τομέα του Argo στους υδρογραφικούς σταθμούς στο Ρεύμα του Κόλπου είναι χαμηλότερες από αυτές που βρέθηκαν όταν τα υδρογραφικά δεδομένα συγκρίθηκαν με τις τιμές WOA.

Έτσι, οι εκτιμήσεις της θερμοκρασίας του Argo είναι σε καλύτερη συμφωνία με τις υδρογραφικές μετρήσεις από την κλιματολογία WOA ειδικά για τα πρώτα 100μ. και ως κάποιο βαθμό τα δεδομένα Argo μπορούν να αντικαταστήσουν τις υδρογραφικές μετρήσεις όταν αυτές δεν υπάρχουν. Παρ' όλα αυτά, το έργο Argo παρέχει δεδομένα θερμοκρασίας σε μια χωρική και χρονική ανάλυση που οδηγεί σε μια αβεβαιότητα του δείγματος της αποθηκευμένης θερμότητας, στα μικτά στρώματα, της τάξης των $10\text{-}20 \text{ Wm}^2$. Το σφάλμα μικραίνει καθώς η περίοδος που λαμβάνεται υπόψη, αυξάνεται και σε εποχιακό χρονοδιάγραμμα μειώνεται στα $7 \pm 1,5 \text{ Wm}^2$. Εντός του Ρεύματος του Κόλπου και των υποπολικών περιοχών, τα σφάλματα δειγματοληψίας είναι πολύ μεγαλύτερα και ως εκ τούτου το σύνολο δεδομένων Argo θα είναι λιγότερο χρήσιμα σε αυτές τις περιοχές για τη διερεύνηση της μεταβλητότητας στο μικτό στρώμα. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η ακρίβεια με την οποία το σύνολο δεδομένων Argo θα μπορούσε να ποσοτικοποιήσει την αποθηκευμένη θερμότητα στο μικτό στρώμα, εξαρτάται από την κατανομή των προφίλ των πλωτήρων που διατηρούν την αναγκαιότητα συνδυασμού διαφόρων μεθόδων για την παροχή πιο αξιόπιστων εκτιμήσεων.

Το πεδίο της επιμέρους δειγματοληψίας της θερμοκρασίας και το πλήρες πεδίο θερμοκρασίας OCCAM χρησιμοποιούνται για την απόκτηση δύο συνόλων των εκτιμήσεων της αποθηκευμένης θερμότητας. Η ανάλυση δείχνει ότι ο εποχικός κύκλος είναι προφανής για την πλειοψηφία των κουτιών $10^\circ \times 10^\circ$ κατά τη διάρκεια του 2002. Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν μικρές αυξήσεις της αποθηκευμένης θερμότητας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και μεγαλύτερη μείωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Οι υδρογραφικές τιμές και οι τιμές κατά Argo ήταν σημαντικά μικρότερες από τη διαφορά μεταξύ των υδρογραφικών τιμών και των τιμών από την κλιματολογία WOA.

Τα δείγματα Argo δεν εμφανίζουν σοβαρά σφάλματα στην ανακτόμενη αποθηκευμένη θερμότητα, ιδιαίτερα μεταξύ 20°-30° B, 75° -25° Δ και 30°-40° B, 65°-15°Δ. Μεγαλύτερη διαφορά εμφανίζεται στο υπόλοιπο των περιοχών. Τα αποτελέσματα για την κύρια λεκάνη στον Βόρειο Ατλαντικό δείχνουν μια μείωση της διαφοράς RMS από 29 +/- 3 W / m² για τη μηνιαία αποθηκευμένη θερμότητα, στα 12 +/- 2 W / m² για εποχιακές (π.χ. 3 μηνιαία) και στα 4 +/- 1 W / m² για διετή κλίμακες.

Η μελέτη των Wells et al. (2009) προσπάθησε να κάνει έναν προϋπολογισμό της θερμικής ενέργειας βασίζόμενοι σε επιφανειακές ροές και στην αποθηκευμένη θερμότητα αλλά και της σύγκλισης από τα ρεύματα των ωκεανών και τη δυνατότητα να ελέγχουν διαφορετικά επιφανειακά σύνολα δεδομένων. Τα πεδία NCEP έχουν μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας (ή ασθενέστερη αύξηση της θερμότητας το καλοκαίρι) από ό,τι τα πεδία NOC. Οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ NCEP και NOC στην μέση ετήσια προς το δυτικό όριο στις 30°-40° B είναι κυρίως το αποτέλεσμα της ισχυρότερης απώλειας θερμότητας NCEP κατά τους χειμερινούς μήνες. Τα σφάλματα αποθηκευμένης θερμότητας είναι μικρότερα στις ανατολικές και κεντρικές υποτροπικές περιοχές (30°-40°B και 15°-45°Δ), και η μεγαλύτερα στην εκτεταμένη περιοχή στο Ρεύμα του Κόλπου (40°-50°B, 45°-65°Δ) .Η μέγιστη τιμή του ρυθμού μεταβολής συνδέεται γενικά με το χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο του Δεκεμβρίου και Ιουνίου αντίστοιχα, εκτός από την περιφέρεια (30°-40°B και 45°-65°Δ), όπου η μέγιστη καθυστερεί κατά ένα μήνα. Η μηδενική μεταβολή της αποθηκευμένης θερμότητας λαμβάνει χώρα τον Μάρτιο, όταν υπάρχει η ελάχιστη αποθηκευμένη θερμότητα, και τον Σεπτέμβριο, όταν εμφανίζεται η μέγιστη αποθηκευμένη θερμότητα.

Τελικά, οι RMS διαφορές μεταξύ του μοντέλου πλήρους αποθηκευμένης θερμότητας και της επιμέρους δειγματοληψίας της αποθηκευμένης θερμότητας παρέχουν μια εκτίμηση του σφάλματος δειγματοληψίας όπου ορισμένα αφαιρέθηκαν από μια σειρά διαδικασιών ελέγχου ποιότητας (Hadfield et al., 2007a). Τα λάθη είναι μεγαλύτερα στο Ρεύμα του Κόλπου λόγω των δινών μέσης κλίμακας, που κάνουν μία σημαντική συνεισφορά στον προϋπολογισμό της θερμότητας.

Τα στοιχεία αποθηκευμένης θερμότητας σε σύγκριση με το NOC και την ανάλυση NCEP, ποικίλλουν ανάλογα με την εποχή (καλύτερα με NCEP στις αρχές του πρώτου εξαμήνου του έτους, και λιγότερο καλά με NCEP στα τέλη του καλοκαιριού και το φθινόπωρο). Η υπολειμματική του προϋπολογισμού της θερμότητας δείχνει ότι κατά τη διάρκεια του έτους η χρήση των ροών NOC φέρνουν τον προϋπολογισμό πιο κοντά στο μηδέν από ό, τι όταν χρησιμοποιείται το NCEP. Οι χαμηλότερες εκτιμήσεις σφάλματος για τον καθαρό προϋπολογισμό θερμότητας ($\pm 9 \text{ Wm}^2$) βρίσκονται στις ανατολικές και κεντρικές υποτροπικές δίνες για δύο κουτιά των $35^\circ\text{-}25^\circ\text{N}$ και $25^\circ\text{-}15^\circ\text{N}$ και μεταξύ $30^\circ\text{-}40^\circ\text{W}$. Το κλείσιμο του προϋπολογισμού της θερμότητας με χρήση δεδομένων Argo σε συνδυασμό με τα επιφανειακά πεδία ροών έχει ληφθεί για το 65% από τα κουτιά $10^\circ\times 10^\circ$ στο Βόρειο Ατλαντικό, όταν χρησιμοποιούνται οι NOC επιφανειακές ροές θερμότητας και το 45% όταν χρησιμοποιούνται οι NCEP ροές. Υπάρχει μικρό εποχιακό σήμα στη γεωστροφική απόκλιση θερμότητας, παρά την εποχιακή διακύμανση μεταφορών του ανέμου Ekman.

Οι Ivchenko et al. (2010) επισημαίνουν την περίοδο μεταξύ 1959 και 1981, η οποία χαρακτηρίζεται από ψύξη των ανώτερων στρωμάτων νερού και τη θέρμανση του ενδιάμεσου στο 36°N , και αντιστράφηκε μεταξύ του 1981 και του 1985 (Leadbetter et al., 2007). Οι αλλαγές στα πρώτα 800μ. ήταν κυρίως λόγω της

κάθετης μετατόπισης της επιφανειακής ουδέτερης πυκνότητας. Στα ενδιάμεσα νερά (κάτω από 800μ.) οι αλλαγές στην μάζα του νερού γίνονται πιο σημαντικές. Σύμφωνα με τους Potter και Lozier (2004), η θερμοκρασία και η αλατότητα επηρεάζονται από τη Μεσόγειο Θάλασσα, κυρίως στο μέσο γεωγραφικό πλάτος του Βόρειου Ατλαντικού. Οι Ivchenko et al. (2009), εξήγησαν ότι ο εποχιακός κύκλος σχετίζεται με τα σήματα, ενώ η μεταβλητότητα τόσο της HCD όσο και της SCD εξασθενούν με το βάθος.

Η HCD παρουσιάζει θετικές τάσεις τα τελευταία 10 χρόνια στα 2000μ. του Βόρειου Ατλαντικού και στις έξι ζώνες μεταξύ 10°B και 70°B με την ισχυρότερη μεταβλητότητα να συμβαίνει στον κεντρικό Βόρειο Ατλαντικό. Όλες οι τάσεις είναι σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% εκτός από τις 30°B και 40°B και μεταξύ 40°B και 50°B, όπου εμφανίστηκε ισχυρή υπερετήσια μεταβλητότητα. Ευρήματα, δείχνουν μείωση της περιεκτικότητας της θερμότητας στα άνω 700μ. του Βόρειου Ατλαντικού από τον Ιανουάριο του 2006 έως τον Δεκέμβριο του 2008. Η τάση της SCD είναι θετική για όλον τον Βόρειο Ατλαντικό, αλλά στα νότια τμήματα μεταξύ 10° B και 30° B η γραμμική τάση της SCD δείχνει αύξηση του γλυκού νερού. Όλες αυτές οι τάσεις είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο 95%, με εξαίρεση μεταξύ των 20°B και 30° B. Κατά την περίοδο 2003-2006 η αλατότητα έφτασε στη μέγιστη τιμή της από τη δεκαετία του 1960 και η θερμοκρασία ξεπέρασε τις καταγραφές. Το αρνητικό πρόσημο του HCD συμβαίνει μόνο στις νότιες και κεντρικές περιοχές, ενώ είναι θετικό στις βόρειες περιοχές. Στα περισσότερα μέρη στα 2000μ. ο μέσος όρος του χρόνου για τη HCD είναι στατιστικά σημαντικός, καθώς και ο χρόνος που είναι εξαρτόμενος από τον κατά μέσο όρο του βάθους της HCD. Υπάρχουν σαφείς ενδείξεις της αρνητικής HCD για τα πρώτα 1000μ στις περισσότερες περιοχές του Νότιου και του μέσου Βορείου Ατλαντικού. Ο εποχικός κύκλος της HCD είναι θερμότερος το χειμώνα και πιο κρύος το καλοκαίρι, ενώ η μεταβλητότητα είναι πιο έντονη για την HCD

από ό, τι για την SCD για τον Βόρειο Ατλαντικό. Τέλος, τα ανώτερα τμήματα του ωκεανού έχουν ισχυρότερο εποχιακό κύκλο σε σύγκριση με τα βαθιά στρώματα που σημαίνει ότι αποδυναμώνεται η μεταβλητότητα με το βάθος.

7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το AMOC γενικά βρίσκεται μεταξύ της επιφάνειας και βάθους 5000μ και αποτελείται από το άθροισμα των ρευμάτων Ekman, το Ρεύμα του Κόλπου και τις δίνες που μεταφέρονται προς τον νότο στα πρώτα 1000μ. Συγκεκριμένα, κατευθύνεται από τον βορρά προς τον νότο, και παράγεται από το Ρεύμα του Κόλπου και τα αιολικά ρεύματα Ekman. Το Rapid Array 26 ° N μελετά το AMOC μέχρι και το βάθος των 5000μ. όπου λαμβάνει χώρα η κυκλοφορία, ενώ το Argo δίνει πληροφορίες για το βάθος των 2000μ., ενώ και τα δύο παράγουν εκτιμήσεις κάθε 10 ημέρες. Και τα τέσσερα βασικά άρθρα έχουν χρησιμοποιήσει το σύστημα Argo, προκειμένου να οδηγηθούν σε εκτιμήσεις για την αποθηκευμένη θερμότητα, τα δύο πρώτα για την περίοδο 1999-2005, το τρίτο από το 1999 έως το 2006 και το τελευταίο από 1999 έως και το 2008. Η μέθοδος των Ivchenko et al. (2006) ανέλυσε τα δεδομένα μεταξύ 10° B και 70° B και κατάληξε σε 35.310 προφίλ μετά την εφαρμογή του ποιοτικού ελέγχου και της τυπικής απόκλισης. Διαπιστώθηκε ότι τα ομαλότερα σήματα βρίσκονται μεταξύ 2 και 3 SD και πως υπάρχει μια ισχυρή σχέση μεταξύ των αποκλίσεων και των τιμών των δεδομένων και της κατανομής τους. Οι υπόλοιποι ερευνητές, κάνουν εκτιμήσεις εντός πλέγματος 10°x10° γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους για καλύτερη ακρίβεια των στοιχείων του συστήματος Argo. Μέσα σε αυτόν τον πίνακα ο θόρυβος μειώνεται με τον υπολογισμό του μέσου όρου πολλών προφίλ σε μια περιοχή για την εκτίμηση μεγάλης κλίμακας μεταβλητότητας. Από την

άλλη πλευρά, απόσταση της παράταξης σε $3^{\circ}\times 3^{\circ}\times 10$ -ημέρες μεταξύ 60°N και 60°B μειώνει την απόσταση μεταξύ των μέσων που αυξάνουν το γεωγραφικό τους πλάτος, αλλά όχι τόσο απότομα όπως συμβαίνει με τις στατιστικές της μεταβλητότητας, που δείχνουν να είναι πιο κατάλληλες (Roemmich et.al 2009). Ως εκ τούτου και με περισσότερα από 43.000 προφίλ, μεγαλύτερες τιμές βρέθηκαν στις Δυτικές και Ανατολικές λεκάνες συμπεριλαμβανομένης της βέλτιστης παρεμβολής. Σύμφωνα με την ίδια πηγή, η AHC στο ανώτερο στρώμα των 1000μ. είναι μεγαλύτερο από το στρώμα μεταξύ 1000-1500μ., και υπάρχει γενικά αύξηση της θερμοκρασίας του νότιου τμήματος του Βόρειου Ατλαντικού Ωκεανού. Η ανάλυση των Hadfield et al. (2007) φαίνεται να διαφωνεί με την πρώτη στις τιμές του εποχικού κύκλου, και θεωρούν πως η AHC είναι θερμότερη το χειμώνα και πιο κρύα το καλοκαίρι, ενώ οι Ivchenko et al. (2006) ισχυρίζονται ακριβώς την αντίθετη κατάσταση. Σε μελέτη του 2007 διαπιστώθηκε επίσης η σύνδεση μεταξύ των RMS διαφορών στα λάθη και του εκτιμώμενου τομέα της θερμοκρασίας η οποία είναι γενικά η υψηλότερη πηγή σφάλματος, ιδιαίτερα στην περιοχή στο Ρεύμα του Κόλπου, και αυτό συμφωνεί με την έρευνα των Wells et al. (2009) η οποία έδειξε ότι τα λάθη αποθηκευμένης θερμότητας είναι μικρότερα στις ανατολικές και κεντρικές υποτροπικές δίνες και η μεγαλύτερες στο Ρεύμα του Κόλπου. Οι Wells et al. (2009) χρησιμοποίησαν επίσης την έκδοση NOC1.1 και τα δεδομένα OCCAM για να καθορίσουν το σφάλμα δειγματοληψίας Argo. Τελικά, οι Ivchenko et al (2010) βρήκαν ότι ο εποχιακός κύκλος του HCD είναι θερμότερος το χειμώνα και πιο κρύος το καλοκαίρι και ότι η μεταβλητότητα είναι πιο έντονη για το HCD από ό, τι για το SCD για τον Βόρειο Ατλαντικό (95% στατιστικά σημαντική). Οι Ivchenko et al. (2010) βρίσκονται σε συμφωνία με την πρώτη τους μελέτη στο πλαίσιο του εποχιακού κύκλου της αποθηκευμένης θερμότητας.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

8. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ “MATLAB”

8.1 ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Ως δεδομένα χρησιμοποιούνται θερμοκρασίες οι οποίες προέρχονται από αναλύσεις που αποτελούν προϊόν της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας της Αγγλίας (MetOffice) και τα οποία είναι διαθέσιμα στην επίσημη ιστοσελίδα της σε μορφή αρχείων NetCDF. Στην ίδια περιοχή βρίσκονται τόσο οι αναλύσεις όσο και τα προφίλ αυτών από το 1900 έως και σήμερα, συμπιεσμένα στην ίδια μορφή αρχείου. Τα σύνολα δεδομένων είναι της έκδοσης “4” της σειράς δεδομένων “EN” (Κέντρο Παρατήρησης “Hadley”) τα οποία περιλαμβάνουν τα προφίλ θερμοκρασιών, αλατότητας και τις μηνιαίες αντικειμενικές αναλύσεις τα οποία έχουν υποστεί αυστηρούς ποιοτικούς ελέγχους. Συγκεκριμένα, τα αρχεία είναι χωρισμένα ανά έτη κάθε ένα από τα οποία εμπεριέχουν μηνιαίες πληροφορίες. Εδώ, λαμβάνονται και επεξεργάζονται τα αρχεία από το 1986 έως και το 2015.

Το “NetCDF” έχει πάρει τα αρχικά του από το “Network Common Data Form” δηλαδή “Κοινή Μορφή Δεδομένων” και αποτελεί μία Βιβλιοθήκη Λογισμικού (Library Software) δηλαδή μία μηχανή ανεξάρτητης μορφής δεδομένων η οποία υποστηρίζει την δημιουργία, την είσοδο και δίνει την δυνατότητα να μοιράζονται μία σειρά ανοιχτών επιστημονικών δεδομένων. Η μορφή αυτή (format), χρησιμοποιείται από διάφορα επιστημονικά κέντρα τα οποία σχετίζονται κυρίως με την Ωκεανογραφία και την Ατμόσφαιρα και υποστηρίζεται από το πρόγραμμα “Matlab”.

Το Matlab είναι ένα λογισμικό το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για μαθηματικούς σκοπούς. Χρησιμοποιείται για αριθμητικούς υπολογισμούς, στην κατασκευή γραφημάτων ενώ παρέχει και τη δυνατότητα προγραμματισμού, έχοντας ενσωματωμένη υποστήριξη για να διαβάζει και να γράφει αρχεία NetCDF. Το πρόγραμμα, δίνει πρόσβαση σε πάρα πολλές συναρτήσεις (πάνω από 30). Στην περίπτωση του προγραμματισμού, ο οποίος λαμβάνει χώρα στην παρούσα εργασία, γίνεται μέσω της χρήσης εντολών οι οποίες καταγράφονται σε αρχεία “script” (script files). Αυτά περιέχουν τις εντολές που επεξεργάζονται από το πρόγραμμα όταν καλούμε το αρχείο με το όνομά του και εκτελούνται αντίστοιχα όταν το ζητήσουμε. Τέτοια αρχεία, παρατείθενται στο τελευταίο παράρτημα και αποτελούν μέρος της ανάλυσης.

8.2 Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟ MATLAB

Η ανάλυση ξεκινάει με την εξαγωγή της Δυνητικής Θερμοκρασίας και του Βάθους για την περιοχή μελέτης στον ωκεανό, με σκοπό να υπολογιστεί το περιεχόμενό του σε θερμότητα. Ως περιοχή μελέτης ορίζεται το τμήμα από 10° Β έως 70° Β και από 90° Α έως 30° Δ. για τα πρώτα 100μ., και η οποία πρέπει να καθοριστεί αφού τα δεδομένα που λαμβάνονται από το MetOffice είναι για ολόκληρο τον ωκεανό. Καθώς το βάθος δίνεται σε τιμές ορίων, για τον υπολογισμό της Αποθηκευμένης Θερμότητας, που βασίζεται στην σχέση:

$$H = \rho C_p \int_{-h}^0 \theta dz$$

καθορίζονται οι ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στα δωσμένα βάθη. Η πυκνότητα και η ειδική θερμότητα θεωρούνται σταθερές τιμές. Τέλος, προκειμένου να εξαχθεί η απόκλιση της Αποθηκευμένης Θερμότητας (AHC), υπολογίζεται η μέση τιμή για κάθε μήνα και για τα 30 χρόνια (1986-2015).

Η ανάλυση, αποτελεί μία περίπλοκη διαδικασία και απαιτεί συγκεκριμένες προϋποθέσεις προκειμένου να εξηγηθεί σωστά και ολοκληρωμένα η τάση του ωκεανού. Στην προκειμένη, λόγω περιορισμένου διαθέσιμου χρόνου αλλά και έλλειψη εμπειρίας η μελέτη επικεντρώνεται μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές του Β.Ατλαντικού στα πρώτα 100μ., και αποτυπώνει τα πιο αξιόλογα γεγονότα σε υποπεριοχές μεγάλης κλίμακας. Οι παρατηρήσεις μεγάλης κλίμακας είναι σαφέστερες και λιγότερο χαοτικές σε σύγκριση με αυτές σε μικρές κλίμακες παρόλο που προτιμούνται περισσότερο. Τέλος, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι για τους παραπάνω λόγους ουσιαστικά γίνεται παρατήρηση των αποτελεσμάτων και όχι ανάλυση, ενώ λείπουν οι χρονοσειρές και η χρήση στατιστικών πινάκων. Ωστόσο παραμένει η πεποίθηση πως η εργασία θα επεκταθεί σε μελλοντικό χρόνο.

8.3 ΕΥΡΗΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Για την ευκολία των παρατηρήσεων γίνεται διαχωρισμός της χρονικής περιόδου ανά δεκαετία ως εξής : έτη 1986 έως 1995, 1996 έως 2005 και 2006 έως 2015 και οι χάρτες παρατίθενται αναλυτικά στο παράρτημα II (Βλ. Σελ 61), ενώ γίνεται παράλληλα συνδέση με τα ευρήματα των παραπάνω ερευνών.

Πρώτη δεκαετία

1. Χαρακτηριστικό είναι η έντονη αύξηση του θερμικού περιεχομένου το 1987 κυρίως στην τροπική ζώνη.

2. Ο Αύγουστος από το 1990, καθώς και τα έτη 1991 και 1993 παρουσιάζουν σημαντικά κεντρικά ελάχιστα το οποίο σταματάει το έτος 1994.
3. Το 1994 φέρει πρότυπο 9 μηνών.
4. Ο Δεκέμβρης χαρακτηρίζεται από παρουσία ελαχίστων τιμών με εξαίρεση το 1987.
5. Ολόκληρος ο Β.Α αυξάνει σημαντικά το θερμικό του περιεχόμενο από το 1995 με έντονη παρουσία μεγίστων τιμών.

Δεύτερη δεκαετία

- 1.Ο Δεκέμβριος από το 1998 και έπειτα χαρακτηρίζεται από έντονη παρουσία ελαχίστων τιμών και θερμαίνεται εμφανίζοντας 3 μέγιστα το 2001.
- 2.Από το 1998 και έπειτα οι μήνες εμφανίζουν αυξημένες θερμοκρασίας σχεδόν στο μεγαλύτερο τμήμα του Β.Ατλαντικού.
- 3.Το 2002 το χαρακτηρίζουν δύο πολύ σημαντικά κεντρικά μέγιστα και σηματοδοτεί μία περίοδο από πολύ υψηλές θερμοκρασίες στο μεγαλύτερο τμήμα του Β.Α έως και το 2005.
- 4.Από το 2003 έως και το 2005 μετακινείται η θερμική ενέργεια βόρεια και νότια. Αυτό συμφωνεί με τις παρατηρήσεις των Ivchenko et al. (2006) για νότια μεταφορά το 2004 και το 1998 επίσης.

Τρίτη δεκαετία

- 1.Ο Δεκέμβρης μόνο το 2006 παρουσιάζει τρία ελάχιστα, αλλάζοντας στην συνέχεια το τοπίο με πολύ υψηλές θερμοκρασίες όλα τα επόμενα έτη.
- 2.Υψηλές θερμοκρασίες παρατηρούνται κυρίως στο βορειότερο τμήμα του Β.Α ωκεανού με κυριότερο το 2007 και με εξαίρεση τα έτη 2006 και 2012.

3.Το 2007, 2010 και 2013 θερμαίνεται σημαντικά ο κόλπος Χάντσον. Το 2010 υπάρχει μία γενικότερη αύξηση της θερμοκρασίας η οποία συμφωνεί με τα ευρήματα των Ivchenko et al. (2006).

4.Το 2008 παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας των τροπικών περιοχών (Νότια μεταφορά), κάτι που συμφωνεί με τα πορίσματα των Ivchenko et al. (2006), με με εξαίρεση ωστόσο εδώ,τον μήνα Οκτώβριο.

5.Το 2014 και 2015 υπάρχει μετακίνηση της θερμικής ενέργειας στις Ακτές της Ανατολικής Αμερικής και του Καναδά καθώς και έντονη παρουσία μεγίστων τιμών εκεί.

6.Έντονη η παρουσία προτύπων από το 2010 και έπειτα.

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

9. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκρίνοντας τα τέσσερα πρώτα άρθρα, μπορεί κανείς να διαπιστώσει πως σε όλα γίνεται ποιοτικός έλεγχος με χρήση του συστήματος Argo. Έπειτα από διάφορες συγκρίσεις που έγιναν και με άλλες μεθόδους, όπως οι μέθοδοι WOCE και WOA εκτιμήσεις που προέρχονται το Argo φαίνεται να δίνουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Εκτός από την προσπάθεια των πρώτων ερευνητών το 2006 να παρέχουν ακριβή αποτελέσματα δουλεύοντας σε τετράγωνο 3° στον ωκεανό, οι υπόλοιποι έκαναν αναλύσεις σε κουτί πλέγματος $10^\circ \times 10^\circ$. Και οι τέσσερις έρευνες συμφωνούν στην κύρια τάση του εποχιακού κύκλου για τα πρώτα 100μ., να θερμαίνεται τον χειμώνα και να ψύχεται το καλοκαίρι η οποία ενοπίζεται κυρίως στο Νότιο τμήμα. Επίσης, συμφωνούν με την ανάλογη συμπεριφορά που εμφανίζει η αποθηκευμένη θερμότητα για το σύνολο του Β.Ατλαντικού επισημαίνοντας μια γενική αύξηση της θερμοκρασίας. Η μέγιστη μεταβολή της αποθηκευμένης θερμότητας στο Βόρειο Ατλαντικό συμβαίνει σε βάθη μεγαλύτερα από 300μ. Ο εποχιακός κύκλος με την σειρά του, δείχνει να σχετίζεται με το βάθος καθώς όσο χαμηλότερα πάμε τόσο πιο αδύναμος είναι ο εποχιακός κύκλος. Επίσης, η μελέτη της διαφοράς RMS δείχνει μια αύξηση στην περιοχή όπου βρίσκεται το Ρεύμα του Κόλπου η οποία όμως μικραίνει όταν λαμβάνουν χώρα τα προφίλ του συστήματος Argo. Τα πρώτα 1.500μ. του Βόρειου Ατλαντικού αυξάνουν την θερμοκρασία τους καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου 1999-2005, ενώ μεταξύ 350-900μ. υπάρχει μία αρνητική τιμή της AHC. Ελάχιστα βρίσκονται μεταξύ 50-75μ. και 350-900μ. Οι περιοχές μεταξύ 20° B- 30° B και 40° B- 50° B αποδεικνύουν την ψύξη κατά τα τελευταία 7 χρόνια, αλλά η ζώνη μεταξύ 30° B- 40° B και ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα του Βόρειου Ατλαντικού παρουσιάζει

ισχυρή αύξηση της θερμοκρασίας. Η νότια μεταφορά στο κύριο θερμοκλινές μεταξύ 100 και 600 μέτρων είναι πολύ ισχυρότερη το 2004, σε σύγκριση με τα προηγούμενα υδρογραφικά τμήματα, και ξεκίνησε το 1957 και επαναλήφθηκε το 1981, το 1992 και το 1998. Στα πρώτα 100μ. εντοπίζεται ουσιαστική αύξηση της θερμοκρασίας στο νότιο τμήμα, αλλά και σημαντική ψύξη κάτω από αυτό το στρώμα μέχρι τα 1000 μ. Το κύριο αποτέλεσμα είναι ότι η αύξηση της θερμοκρασίας λαμβάνει χώρα σε όλα τα μελετημένα στρώματα στο βόρειο τμήμα της περιοχής. Το ισχυρότερο σήμα συσχετίζεται γενικότερα με τα πρώτα 100μ. του ωκεανού. Μια αύξηση της θερμοκρασίας του Παγκόσμιου Ωκεανού στο τελευταίο μισό του 20ου αιώνα έχει επίσης αποδειχθεί.

Το 2008 διαπιστώθηκε αύξηση της θερμοκρασίας στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές, και το 2010 υπάρχει αύξηση στο ποσοστό της διακύμανσης του HCD στα πρώτα 100μ. (θερμανση) μεταξύ 50°B και 70°B και μείωση αυτού για τα 2000μ. στα μεταξύ 10°B και 50°B.

Τέλος, όλες οι παραπάνω παρατηρήσεις που αφορούν τα πρώτα 100μ, σε σχέση με τα ευρήματα της παρούσης μελέτης διαμορφώνονται ως εξής:

Η ζώνη 20°B-30°B εμφανίζει ψύξη κυρίως από το 2004 και έπειτα, το οποίο συμφωνεί με την άποψη των Ivchenko et al. (2006). Η παρούσα εργασία διαφωνεί με τους Ivchenko et al. (2006) για νότια μεταφορά της υψηλής θερμοκρασίας το 1992, καθώς εμφανίζεται η ακριβώς αντίθετη κατάσταση. Η μέγιστη τιμή του ρυθμού μεταβολής συνδέεται γενικά με το χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο, το Δεκέμβριο και τον Ιούνιο επιβεβαιώνοντας τους Wells et al. το 2009. Τελικά τελευταία χρόνια παρτηρείται μία σημαντική αύξηση του θερμικού περιεχομένου στο μεγαλύτερο τμήμα του Β.Α ωκεανού.

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

- ALDERSON, S. G. and KILLWORTH, P. D. (2005) A preoperational scheme for calculating sea surface height by Bernoulli inverse of Argo float data in the North Atlantic, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 22(9) 1416– 1422.
- ALEXANDER, B., AIDA, A. A., PASCAL, J., JEAN-MARIE B., CHARLES, T., (2008) *Introduction to Optimal Interpolation and Variational Analysis*.
- BÖHME, L. and SEND, U.: Objective analyses of hydrographic data for referencing profiling float salinities in highly variable environments, *Deep Sea Res. II*, 52(3–4), 651–664, 2005.
- BRETHERTON, F. P., DAVIS, R. E., and FANDRY, C. B. (1976) A technique for objective analysis and design of oceanographic experiments applies to MODE-73, *Deep-Sea Res.*, 23, 559–582.
- BRYDEN, H. L., LONGWORTH, H. R. and CUNNINGHAM, S. A. (2005) Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25N, *Nature*, 438, 655–657, doi:10.1038/nature04385.
- CUNNINGHAM, S. A. (2000) Circulation and volume flux of the North Atlantic using synoptic hydrographic data in a Bernoulli inverse, *J. Mar. Res.*, 58(1), 1–35.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2014) *Ocean Heat Content*.
- GANDIN, L. S. (1963) *Objective Analysis of Meteorological Fields*, Leningrad, Gidrometeorol Izdat, 242 pp.
- GOURETSKI, V. V., KOLTERMANN, K. P. (2004) *WOCE Global Hydrographic Climatology*, A Technical Report, 5-6 pp.
- HADFIELD, R. E., WELLS, N. C., JOSEY, S. A. and HIRSCHI, J. J-M. (2007) On the accuracy of North Atlantic temperature and heat storage fields from Argo. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 112, C01009, doi: 10.1029/2006JC003825.
- HADFIELD, R. E., WELLS, N. C., JOSEY, S. A., HIRSCHI, J. J.M.(2007a) On the accuracy of North Atlantic temperature and heat storage fields from Argo, *J. Geophys. Res.*, 112, C01009, doi: 10.1029/2006JC003825.

IVCHENKO, V. O., WELLS, N. C., and ALEYNIK, D. L. (2006) Anomaly of heat content in the northern Atlantic in the last 7 years: Is the ocean warming or cooling? *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 33, L22606, doi: 10.1029/2006GL027691.

IVCHENKO, V. O., WELLS, N. C., ALEYNIK, D. L. and SHAW, A. G. P. (2010) Variability of heat and salinity content in the North Atlantic in the last decade. *Ocean Sci.*, 6, 719–735, 2010 www.ocean-sci.net/6/719/2010, doi: 10.5194/os-6-719-2010.

LAVENDER, K. L., W. B. OWENS, and R. E. DAVIS (2005) The mid-depth circulation of the subpolar North Atlantic Ocean as measured by subsurface floats, *Deep Sea Res., Part I*, 52, 767–785.

LEADBETTER, S. J., WILLIAMS, R. G., MCDONAGH, E. L., and KING, B. A. (2007) A twenty year reversal in water mass trends in the subtropical North Atlantic, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L112608, doi: 10.1029/2007GL029957.

LOZIER, M. S., LEADBETTER, S., WILLIAMS, R. G., ROUSSENOV, V., REED, M. S. C., and MOORE, N. J. (2010) The spatial pattern and mechanisms of heat-content change in the North Atlantic, *Science*, 319, 800–803.

POLYAKOV, I. V., BHATT, U. S., SIMMONS, H. L., WALSH, D., WALSH, J. E., and ZHANG, X. (2005) Multidecadal variability of North Atlantic temperature and salinity during the twentieth century, *J. Climate*, 18, 4562–4581.

RESNYANSKY, Y. D., TSYRULNIKOV, M. D., STRUKOV, B. S., and ZELENKO, A. A. (2010) Statistical structure of spatial variability of the ocean thermohaline fields from Argo profiling data over 2005–2007, *Oceanology*, 50, 1–19.

ROEMMICH, D. and THE ARGO STEERING TEAM (2009) Argo. The Challenge Of Continuing 10 Years Of Progress, *GODAE Special Issue Feature*.

SCHMITTNER A., CHIANG JOHN, C.H. and HEMMING SIDNEY R., (2007) The Ocean's Meridional Overturning Circulation: Mechanisms and Impacts *Geophysical Monograph Series 173* Copyright 2007 by the American Geophysical Union 10.1029/173GM02.

TOLMAZIN, D. (1985) *Elements of Dynamic Oceanography*, Chapman & Hall, 1-3.

WELLS, N. C., JOSEY, S. A. and HDFIELD, R. E. (2009) Towards closure of regional heat budgets in the North Atlantic using Argo floats and surface flux datasets. *Ocean Sci.*, 5, 59–72, 2009 www.ocean-sci.net/5/59/2009.

WELLS, N (2012) *The Atmosphere and Ocean: A Physical Introduction*, 3rd Edition. John Wiley & Sons, Ltd, 181,187,197-199

WELLS N. C. (2016) The North Atlantic Ocean and climate change in the UK and Northern Europe, Royal Meteorological Society, doi: 10.1002/wea.2558

WHITE, W. B. (1995), Design of a global observing system for gyre-scale upper ocean temperature variability, Prog. Oceanogr., 36, 169–217.

Ιστοσελίδες

<http://www.argo.ucsd.edu>

<http://www.britannica.com/contributor/Joseph-Gentili/4055>

<http://www.nodc.noaa.gov/media/pdf/outreach/WOA13-flyer.pdf>

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page1.php>

http://modb.oce.ulg.ac.be/wiki/upload/diva_intro.pdf

<http://marine.rutgers.edu/dmcs/ms615/JW-lecture-OI.pdf>

<http://iridl.ldeo.columbia.edu/dochelp/StatTutorial/Climatologies/#Intro>

<http://ctoh.legos.obs-mip.fr/applications/mesoscale/what-are-mesoscale-processes>

https://www.google.co.uk/search?q=mixed+layer&espv=2&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiXr9TW-6LKAhUFvRQKHcMyAn8Q_AUIBigB#imgsrc=dzKmJtSBvr26KM%3A

<https://crudata.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm>

<http://www.naftemporiki.gr/story/325047/neo-okeanio-reuma-tha-amblunei-tis-sunepeies-tis-klimatikis-allagis>

<https://www.britannica.com/science/Hadley-cell>

<http://ctoh.legos.obs-mip.fr/applications/mesoscale/what-are-mesoscale-processes>

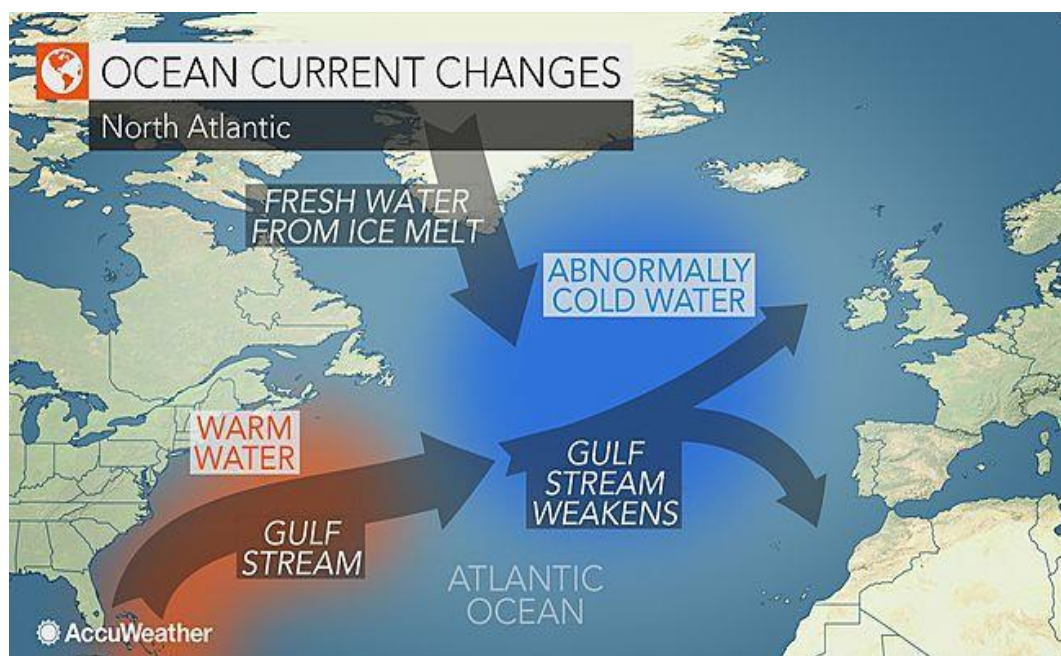
<http://besurbanlexicon.blogspot.gr/2012/07/meteorological-and-climatological.html>

11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι «ΕΙΚΟΝΕΣ»

Εικόνα Εξωφύλου

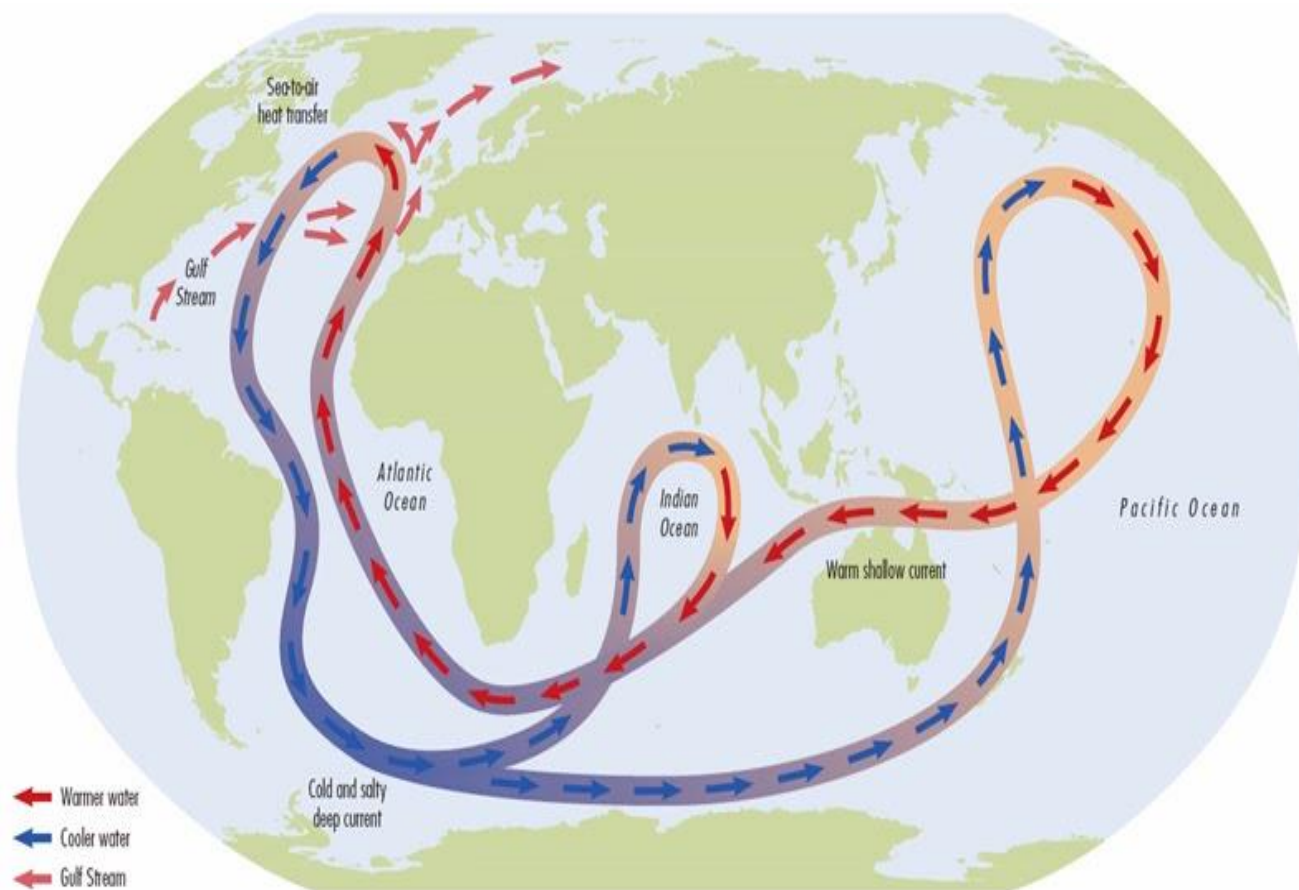
Πηγή: <http://directnews.gr/environment/30137-me-surriknosh-kai-eksafanish-apeileitai-o-atlantikos-okeanos.html>

Εικόνα 1. Ωκεάνια Ρεύματα στον Β. Ατλαντικό Ωκεανό



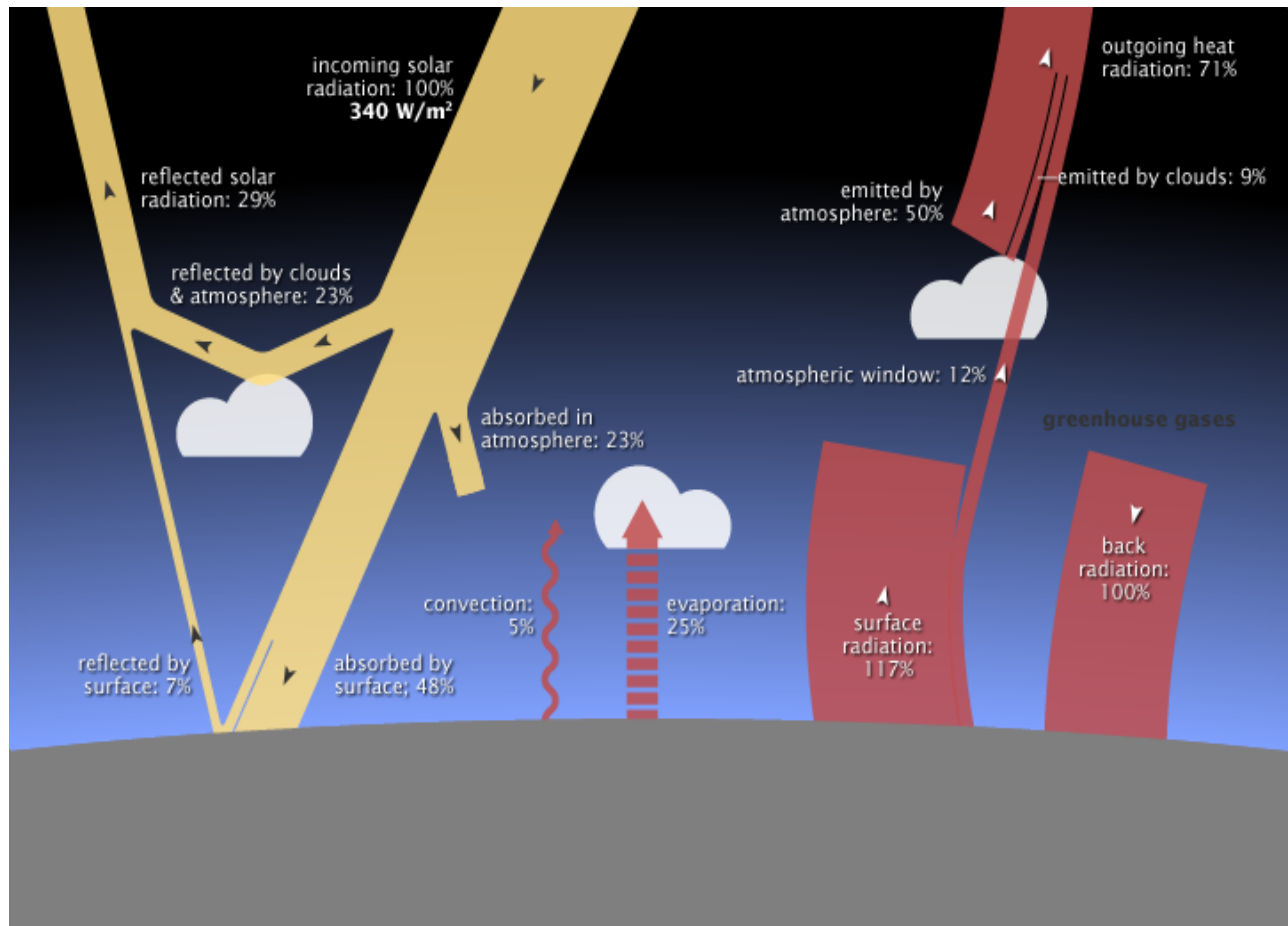
Πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page1.php>

Εικόνα 2. Θερμοαλατική Ωκεάνια Κυκλοφορία



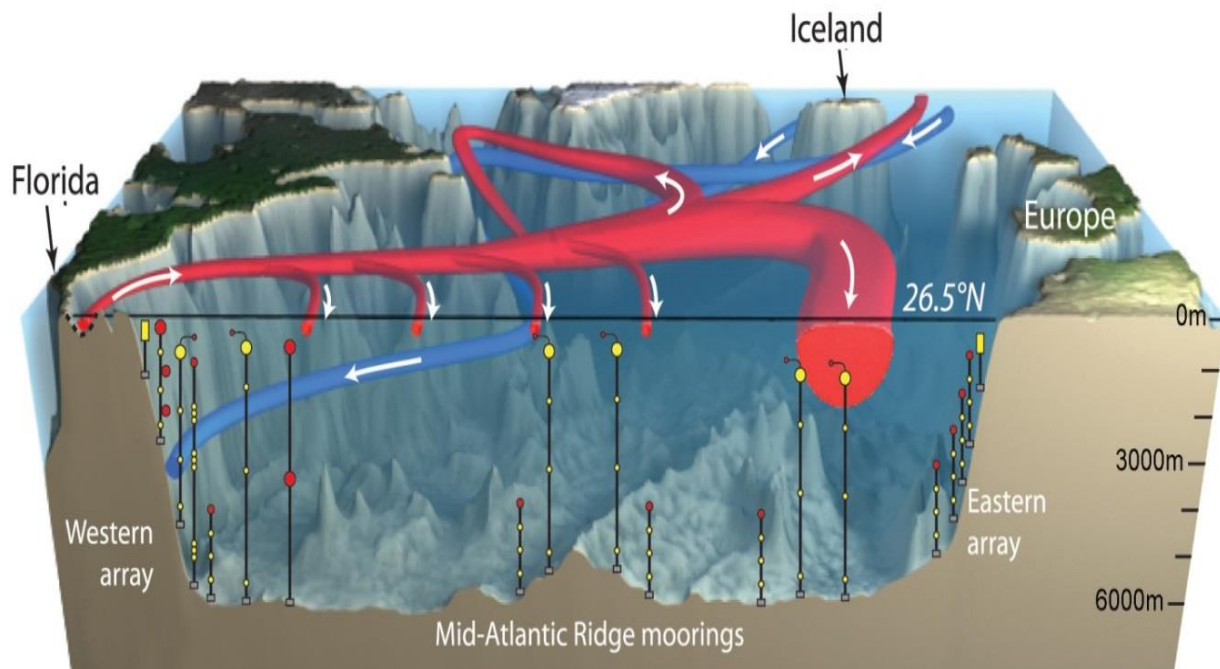
Πηγή: <http://www.meteo-news.gr/2013/01/to-perifimo-reyma-tou-kolpou.html>

Εικόνα 3. Παγκόσμιες Ενεργειακές Συνιστώσες



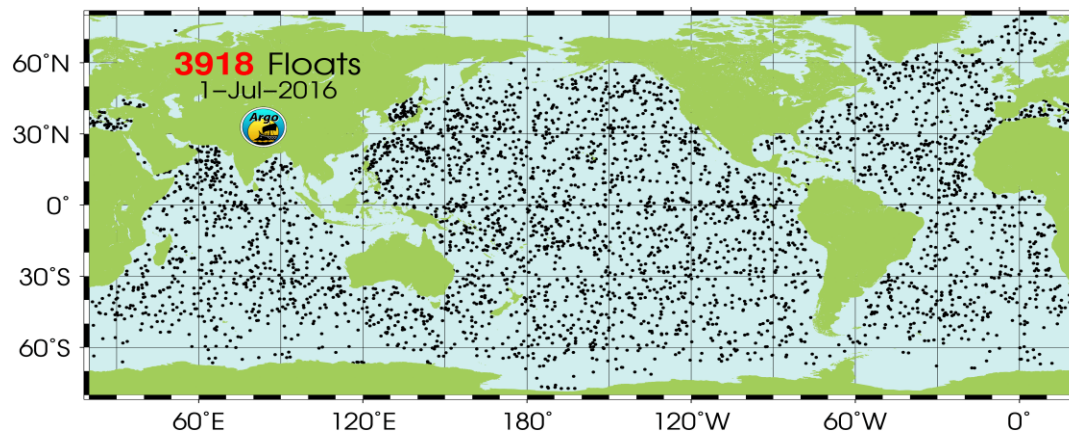
Πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page1.php>

Εικόνα 4. Η μεσημβρινή ανατροπή κυκλοφορίας (MOC) στο Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν το ζεστό άνω άκρο της MOC (0-1100m) και τα μπλε βέλη δείχνουν το κρύο νότο κάτω άκρο της MOC (1100-6000m). Μέτρηση στα 26 ° Βόρεια.



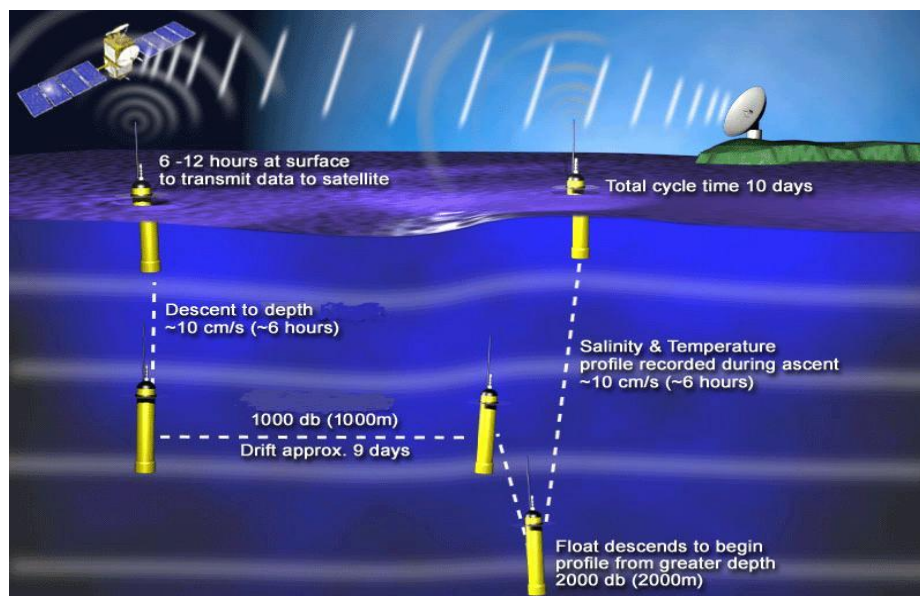
Πηγή: <http://www.rapid.ac.uk/rw/news/>

Εικόνα 5. Χάρτης που εμφανίζει τα στατιστικά στοιχεία σχετικά με το σύστημα Argo, συμπεριλαμβανομένων των επεκτάσεων του σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη και περιθωριακές θάλασσες.



Πηγή: <http://www.argo.ucsd.edu/>

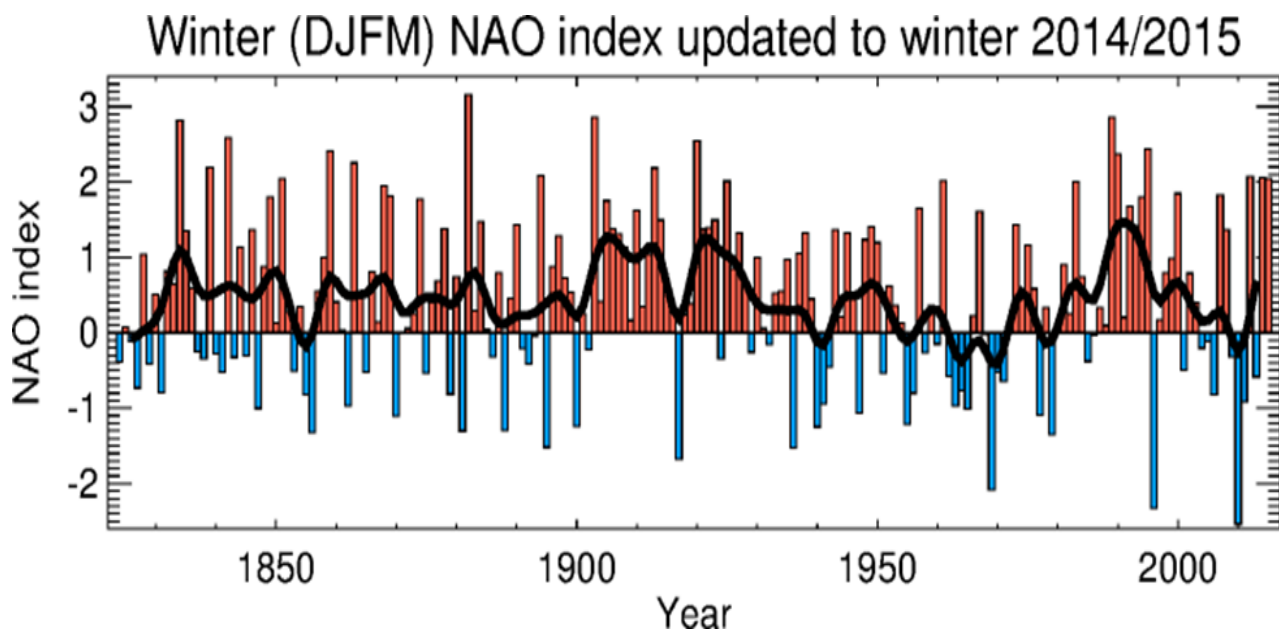
Εικόνα 6. Η λειτουργία της αποστολής Argo, όπου ο πλωτήρας κατεβαίνει αρχικά σε βάθος 1000μ να και στη συνέχεια κατεβαίνει και πάλι στα 2000μ για να ξεκινήσει το προφίλ της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Το 2015, το 80% των πλωτήρων βρέθηκαν σε βάθη μεγαλύτερα από 1500μ. Ένα άλλο προφίλ έδειξε πως το 12% ήταν μεταξύ 1000 και 1500μ.



Πηγή: http://www.argo.ucsd.edu/How_Argo_floats.html

12. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II «ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ»

Γράφημα 1. Χρονοσειρές για τον χειμώνα Δεκέμβριος-Μάρτιος του 2014/15 του δείκτη της Ταλάντωσης του Βορείου Ατλαντικού (North Atlantic Oscillation-NAO).

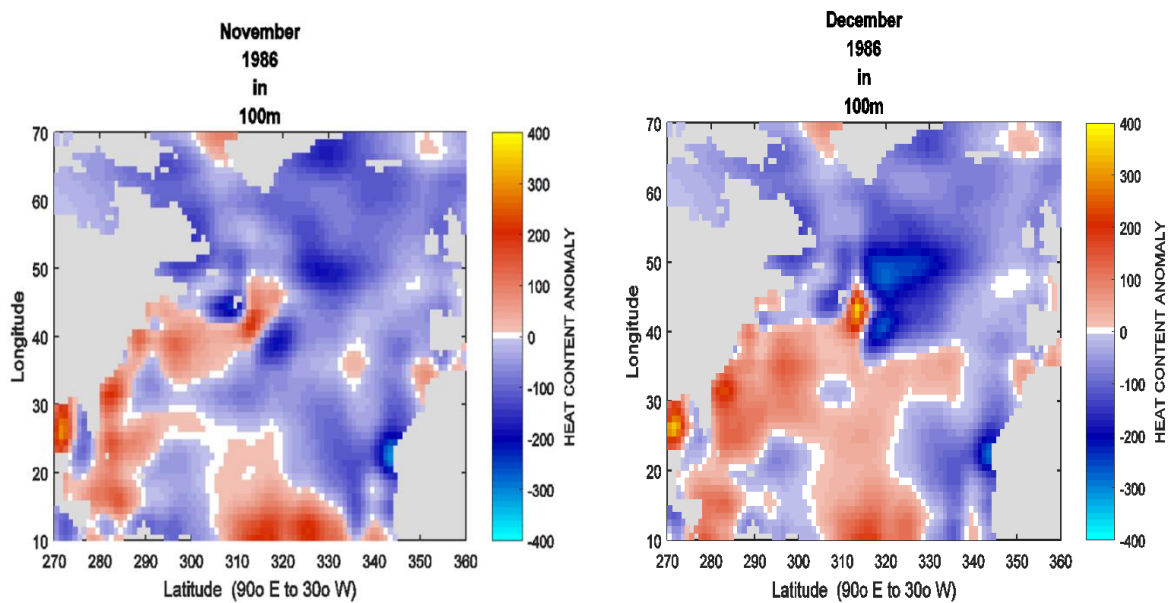


Πηγή: <https://crudata.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm>

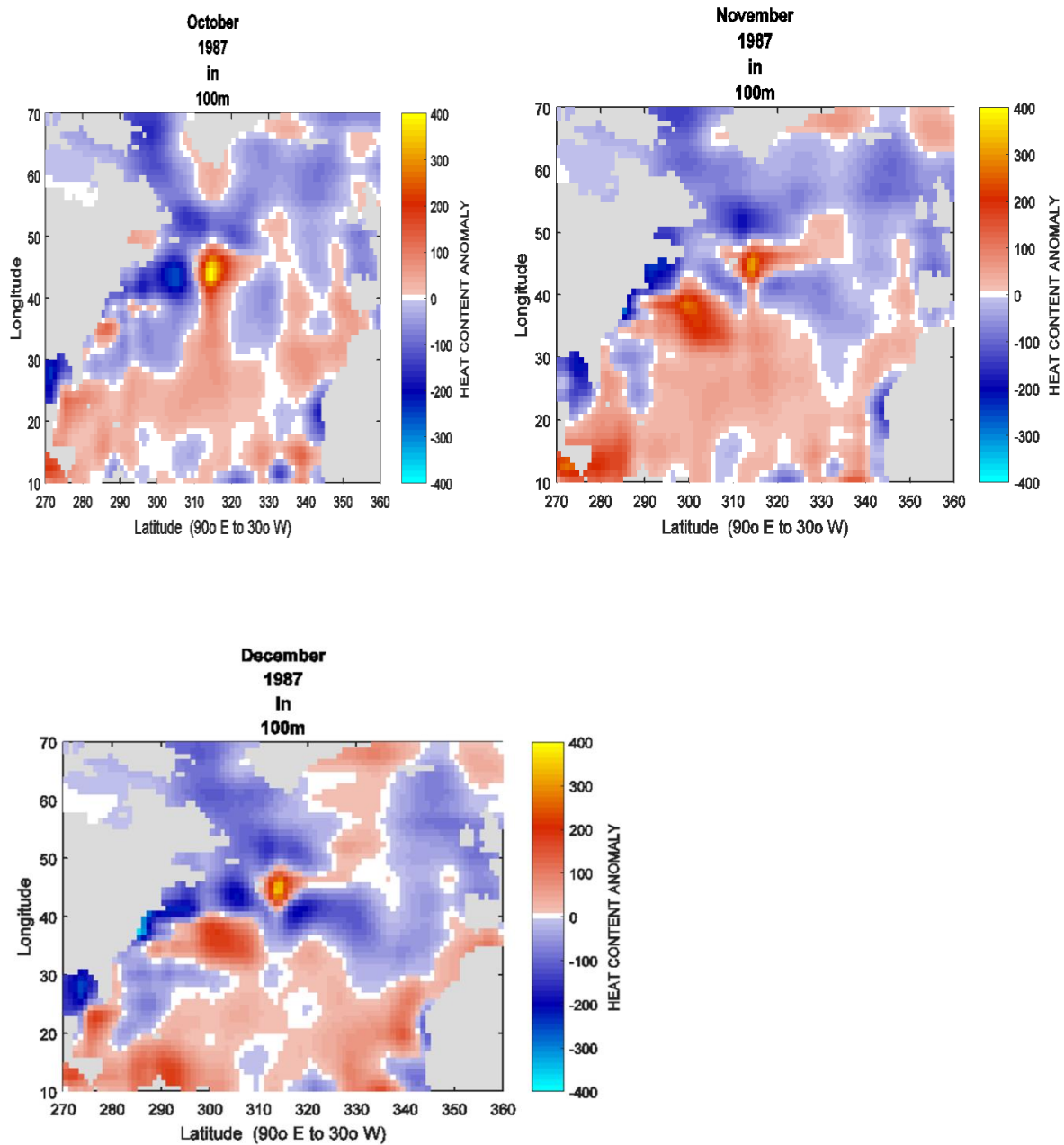
12.1 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΠΟ Matlab: ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑ 10ετία

Έτη 1986 έως 1995

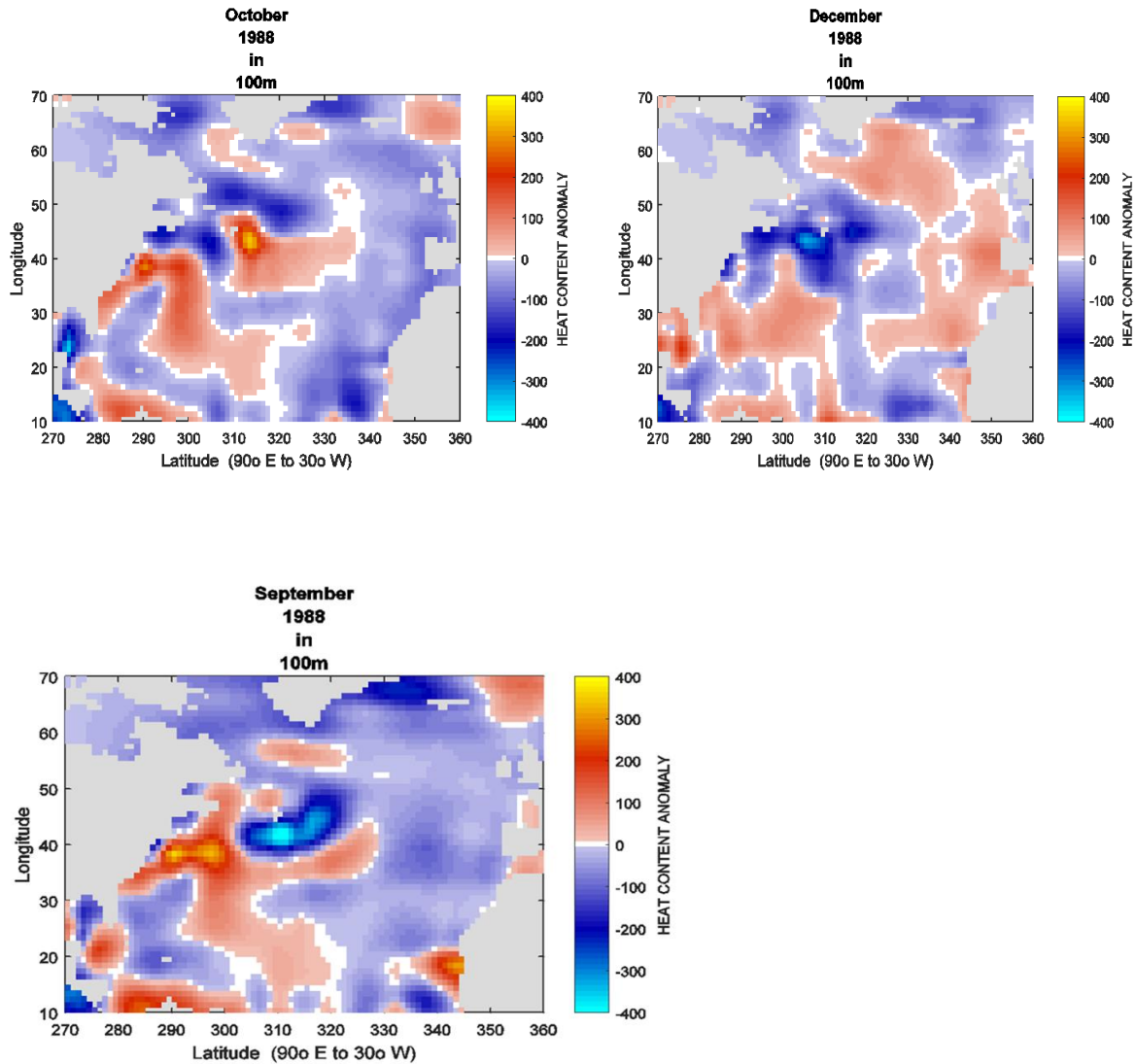
Γράφημα 2. Αύξηση θερμικού περιεχομένου τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο κεντρικά και νότια του Β.Α για το έτος 1986. Ο τελευταίος, παρουσιάζει κεντρικά μέγιστα και ελάχιστα.



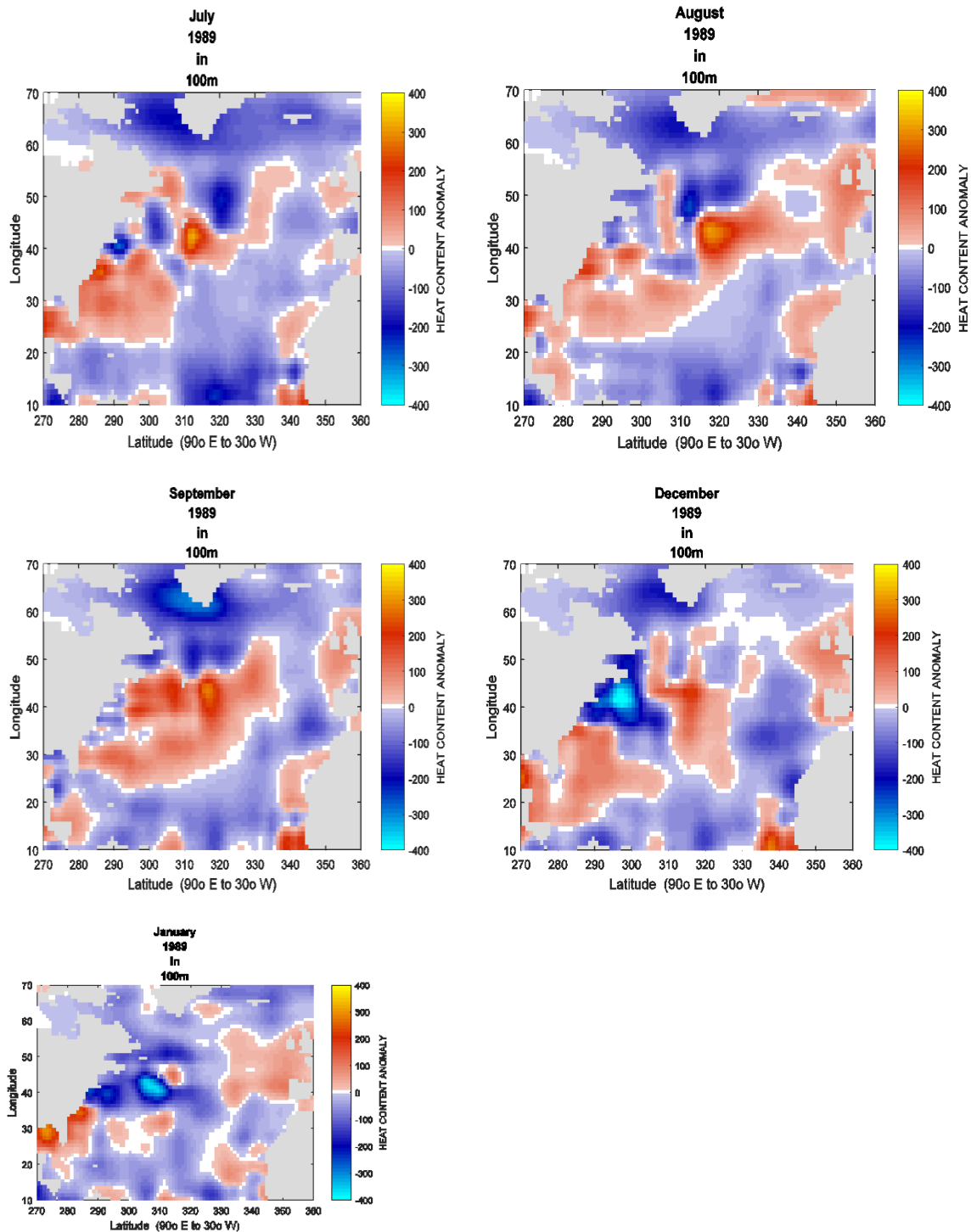
Γράφημα 3. Το 1987 οι μήνες Οκτώβριος, Νοέμβριος, Δεκέμβριος εμφανίζουν έντονη αύξηση του θερμικού περιεχομένου τους κυρίως στην τροπική ζώνη και μέγιστες τιμές στο κέντρο της περιοχής. Ο Δεκέμβρης παρουσιάζει κεντρικό μέγιστο το 1987.



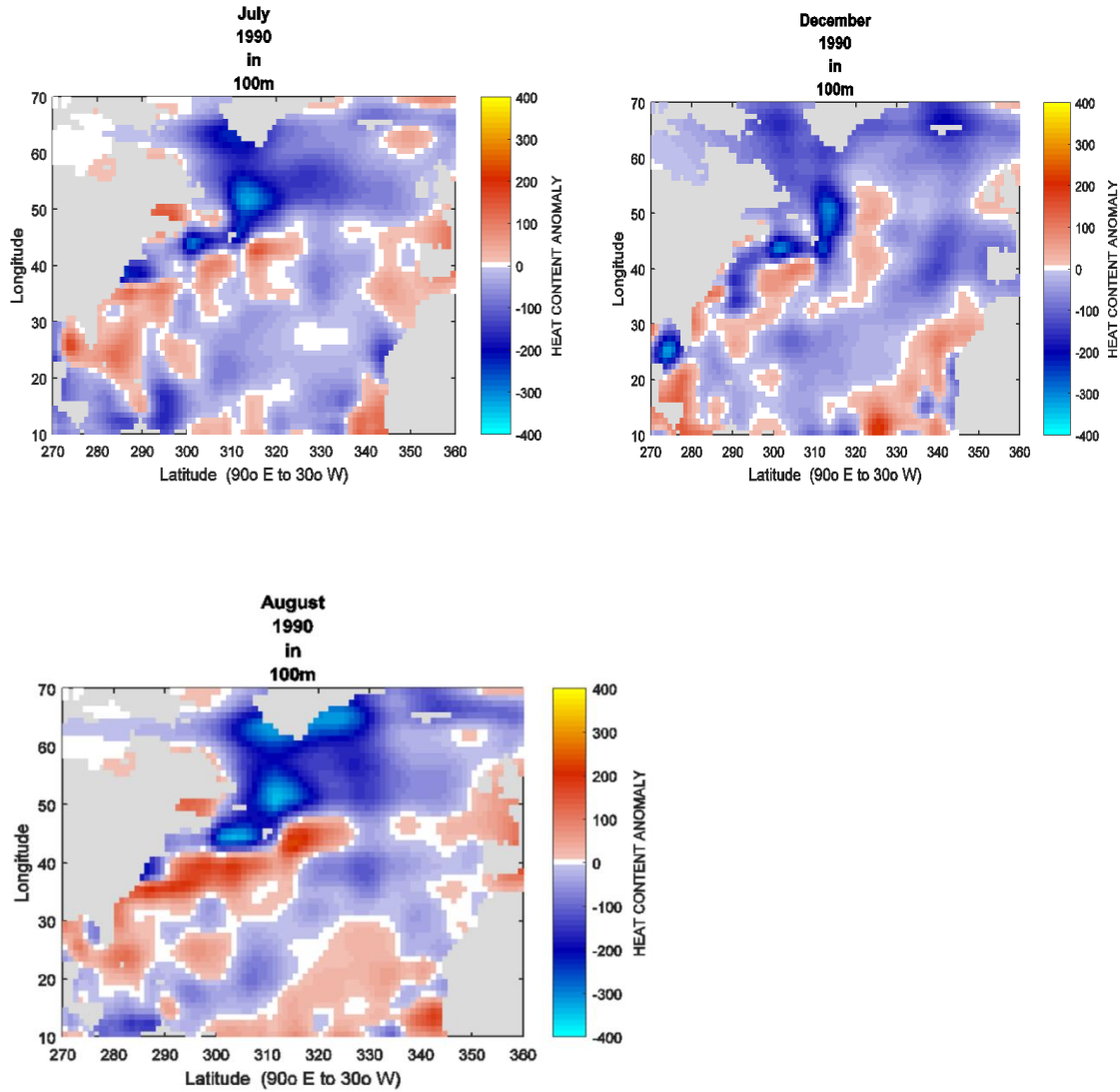
Γράφημα 4. Το 1988, ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο παρατηρούνται κεντρικά τον Οκτώβριο και Δεκέμβριο αντίστοιχα. Μέγιστα και ελάχιστα εμφανίζονται ταυτόχρονα τον μήνα Σεπτέμβρη, και ίσως τα πιο σημαντικά του έτους.



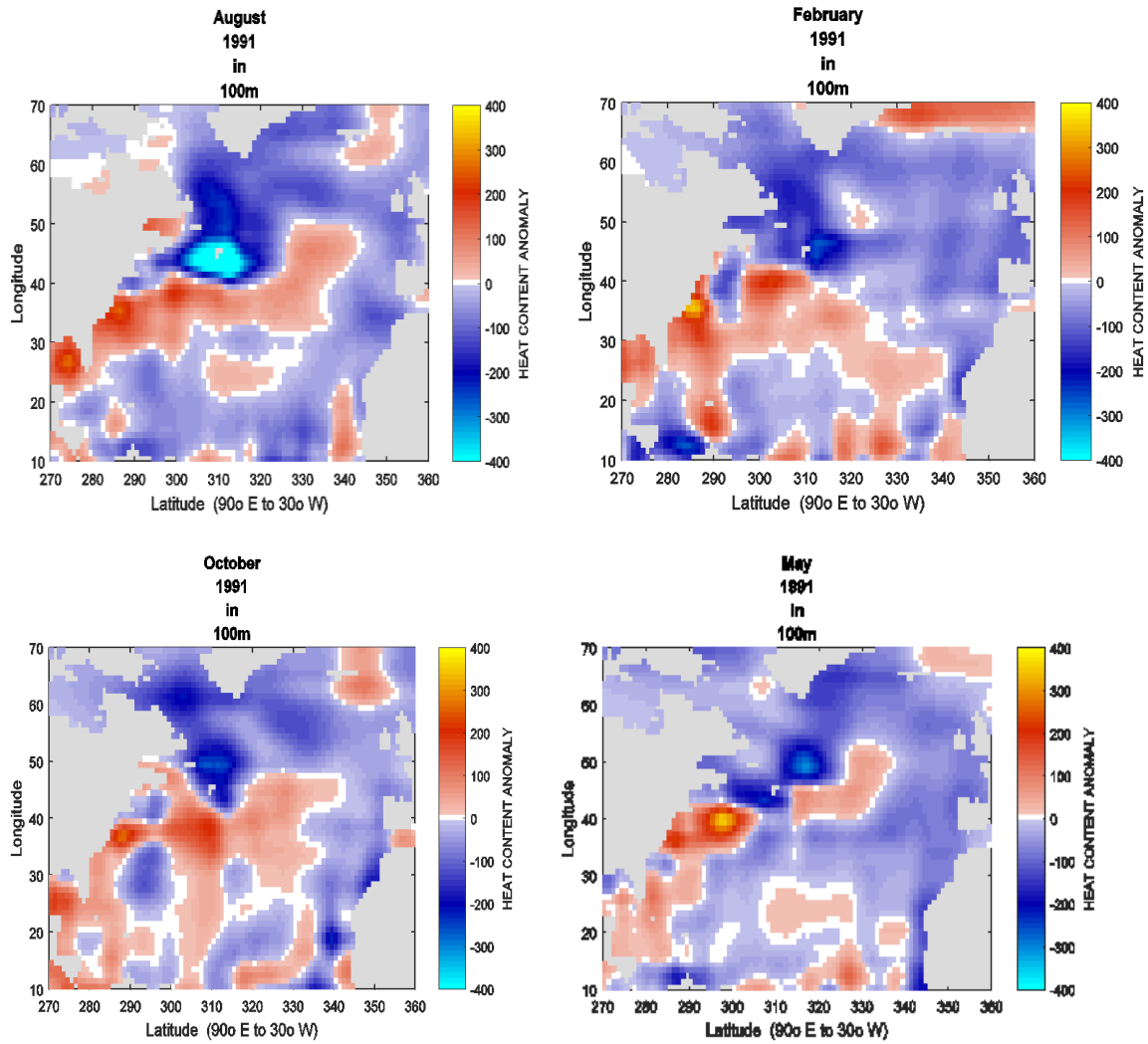
Γράφημα 5. Υπάρχει μία αυξητική τάση της αποθηκευμένης θερμότητας στο κέντρο του Β.Α, τους μήνες Ιούλιο έως Δεκέμβριο με κυρίαρχο τον μήνα Σεπτέμβριο του 1989. Ο Ιανουάριος του 1989 παρουσιάζει κεντρικό ελάχιστο, και ο Δεκέμβριος στις ακτές της βορειοανατολικής Αμερικής.



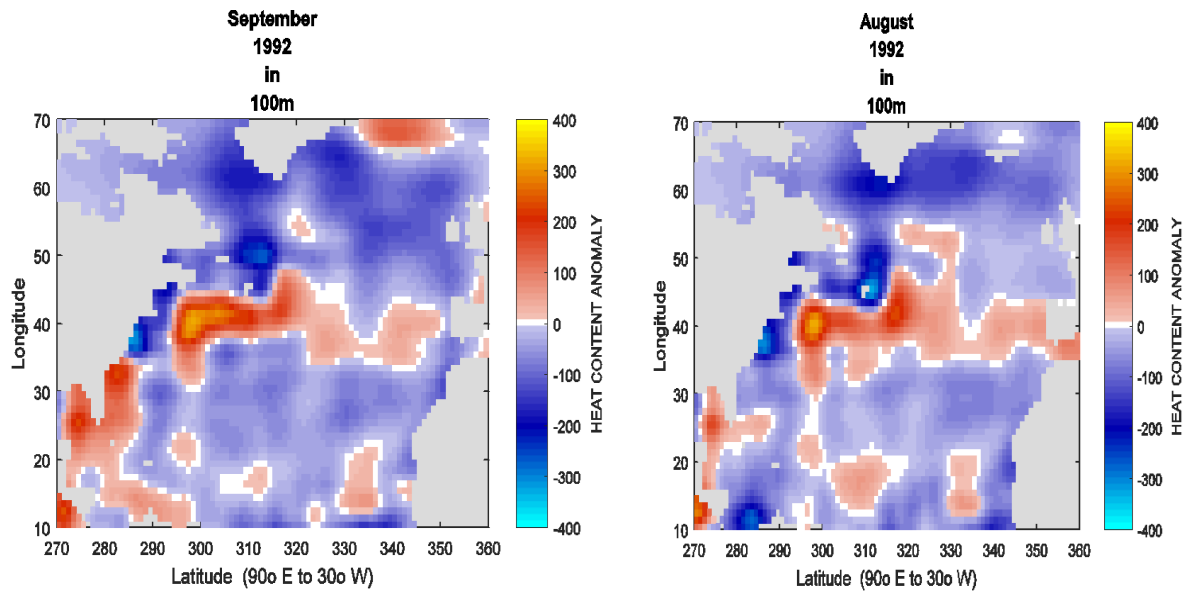
Γράφημα 6. Σημαντικά ελάχιστα παρουσιάζονται από τον Ιούλιο έως και τον Δεκέμβριο του 1990 κεντρικά του Β.Α. Τον Αύγουστο ελάχιστα παρουσιάζονται στα κεντρικά και βόρεια της περιοχής.



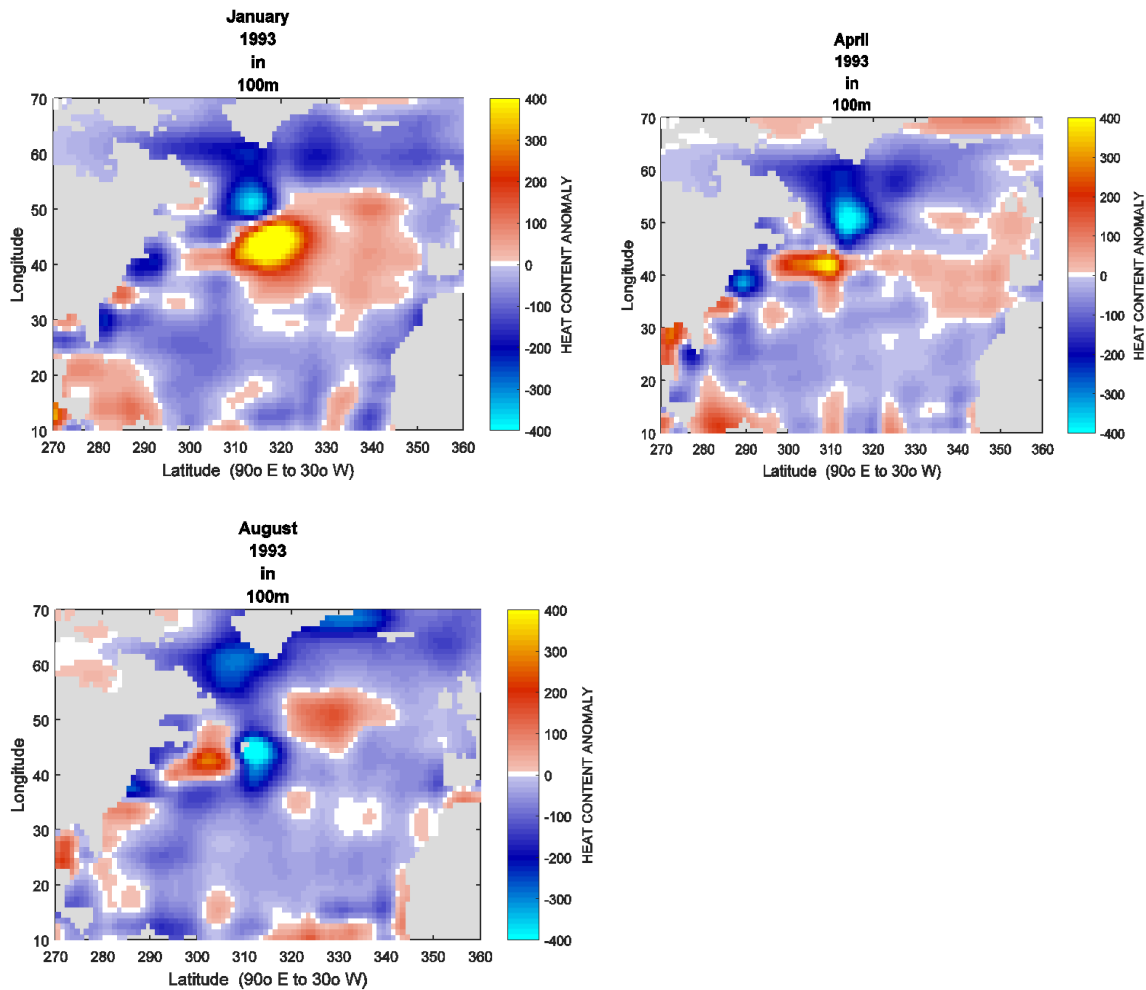
Γράφημα 7. Πολύ σημαντικό ελάχιστο συναντάμε και πάλι κεντρικά του Β.Α ωκεανού τον μήνα Αύγουστο του έτους 1991. Η περιοχή με την μεγαλύτερη θερμική κινητικότητα βρίσκεται στις Βορειοανατολικές ακτές της Αμερικής.



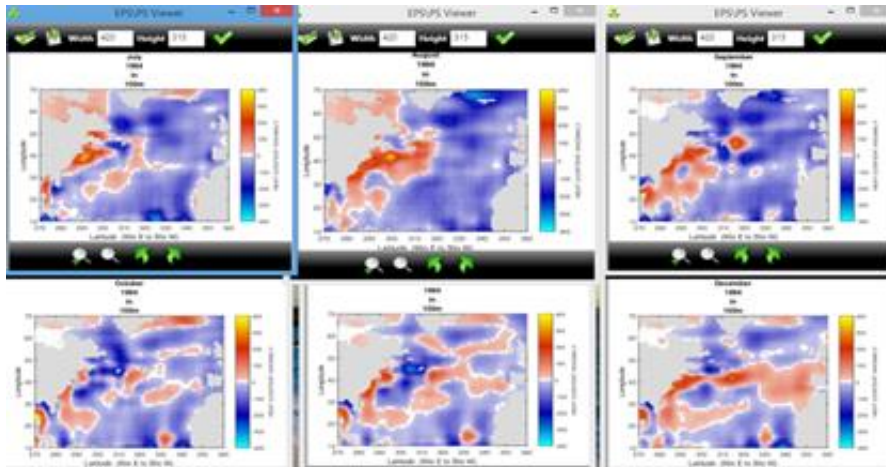
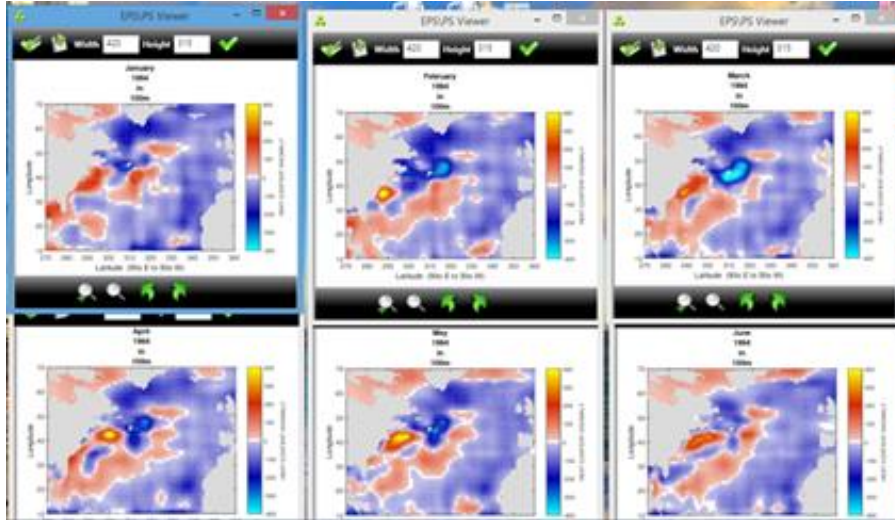
Γράφημα 8. Το 1992, μέγιστα παρατηρούνται κεντρικά τους μήνες Ιούλιο έως Σεπτέμβριο, με τον τελευταίο να δίνει τις μεγαλύτερες τιμές. Επίσης, ελάχιστα ξεκινούν τον Αύγουστο και ολοκληρώνονται τον Σεπτέμβρη και πάλι κεντρικά της περιοχής.



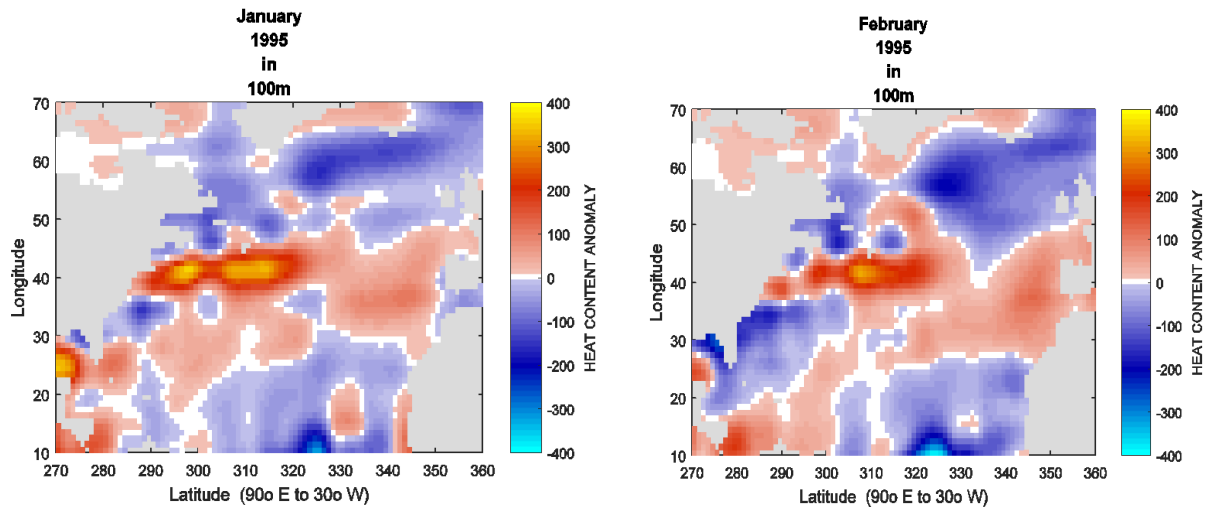
Γράφημα 9. Μέγιστο παρουσιάζεται τον πρώτο μήνα του έτους και τον τέταρτο κεντρικά της περιοχής, τα οποία σε μικρή απόσταση συνυπάρχουν με ελάχιστα. Παρόμοιο τοπίο παρατηρείται τον Αύγουστο του 1993 με έντονη την παρουσία ελάχιστης τιμής κεντρικά του Β.Α.



Γράφημα 10. Το 1994, δημιουργείται πρότυπο το οποίο διαρκεί από τον Ιανουάριο έως και τον Σεπτέμβρη: το Ανατολικό τμήμα του Β.Α ωκεανού παρουσιάζει σταθερά χαμηλό θερμικό περιεχόμενο. Η χρονιά αυτή (1994) χαρακτηρίζεται από αυξημένη αποθηκευμένη θερμότητα στον κόλπο Χάντσον κυρίως τους μήνες Ιανουάριο έως Αύγουστο.

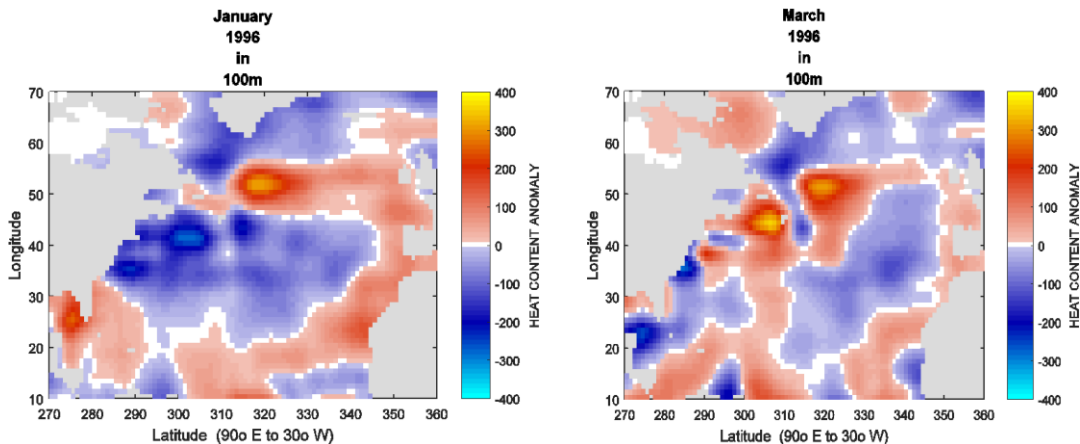


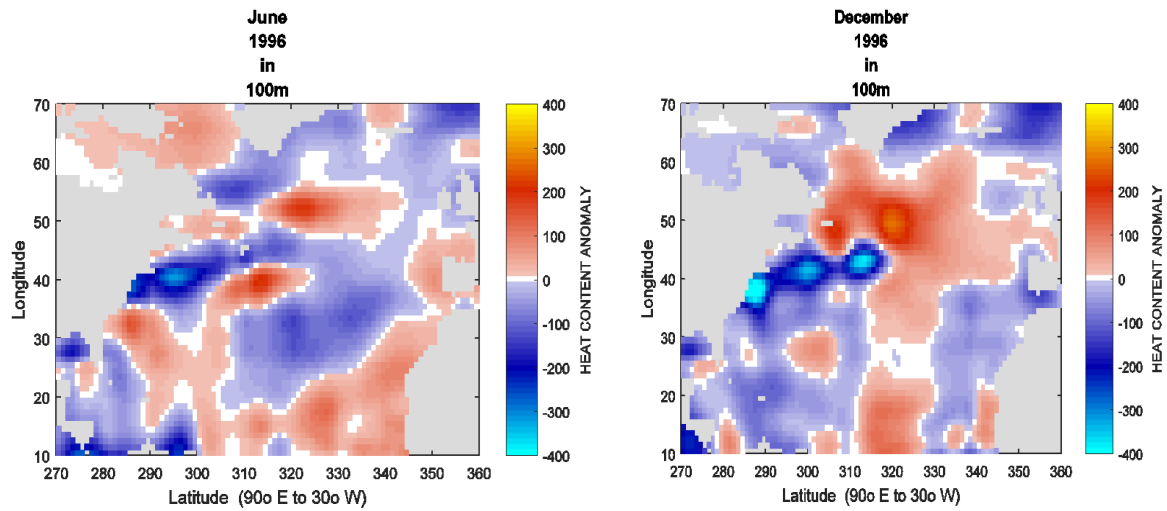
Γράφημα 11. Το έτος 1995 παρατηρείται στο μεγαλύτερο τμήμα του Β.Α ωκεανού αυξημένες θερμοκρασίες συγκριτικά με τα προηγούμενα έτη. Εκτός από τους 2 πρώτους μήνες δεν εμφανίζονται μέγιστα και ελάχιστα στην περιοχή.



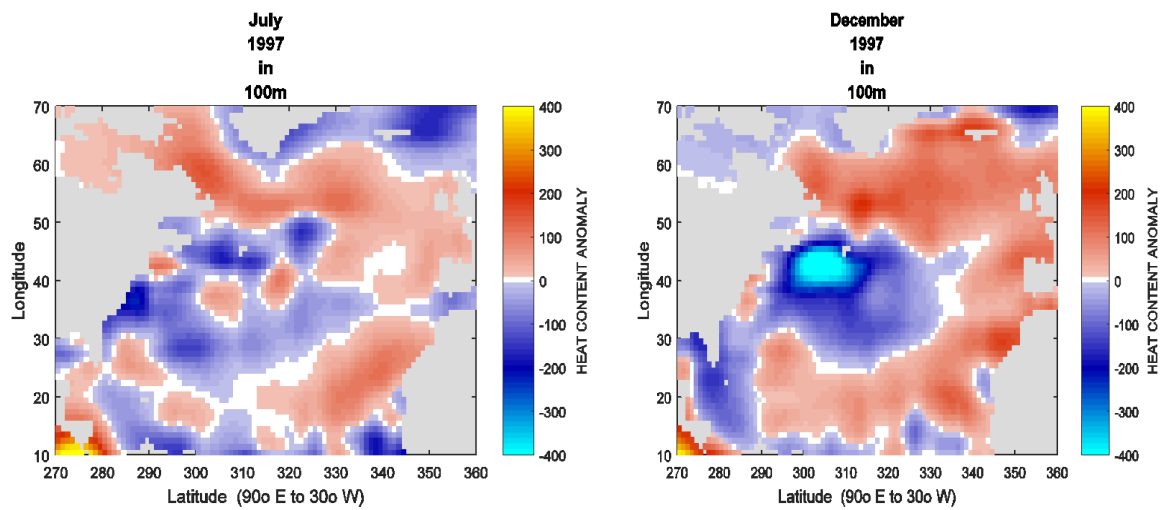
Έτη 1996 έως 2005

Γράφημα 12. Τον Ιανουάριο και Μάρτιο του 1996 παρατηρούνται κεντρικά-βόρεια μέγιστα. Τον Ιούνιο έως τον Δεκέμβριο πολλά ελάχιστα κεντρικά-δυτικά της περιοχή μας. Όλο το έτος με εξαίρεση τον Δεκέμβριο τον χαρακτηρίζουν πολύ υψηλό θερμικό περιεχόμενο στις Βορειοανατολικές Ακτές της Β.Αφρικής.

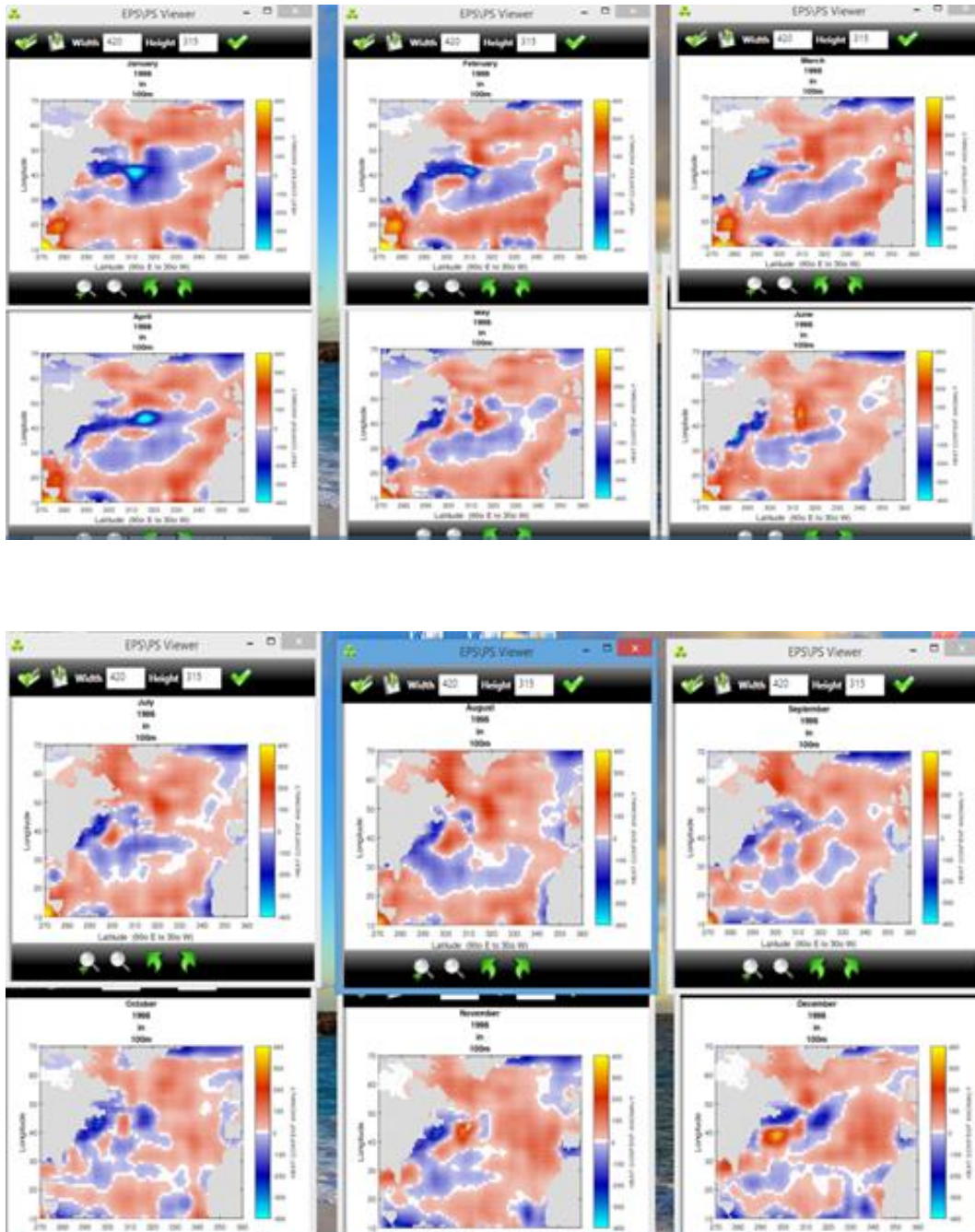




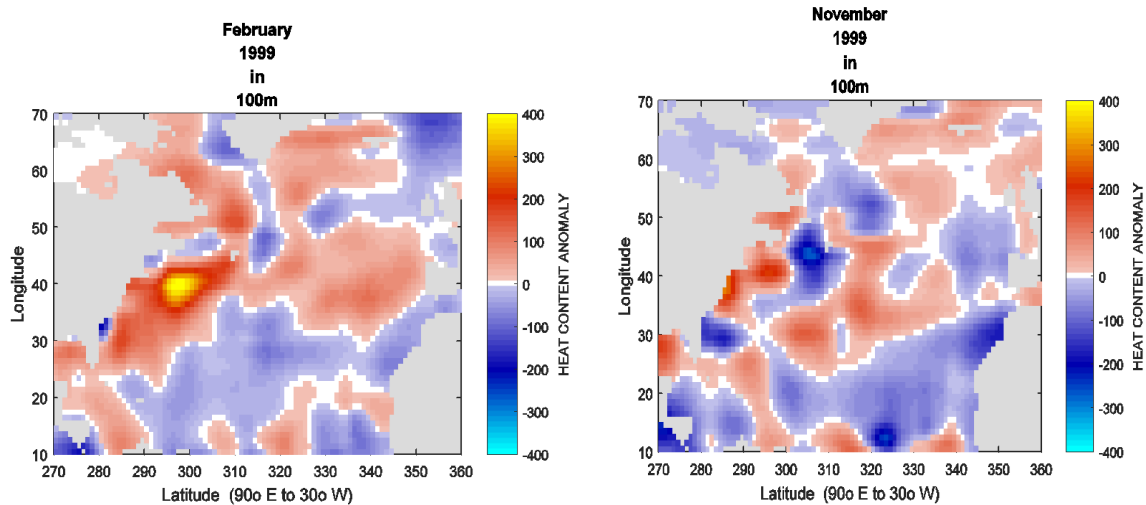
Γράφημα 13. Το 1997, ο Ιούλιος έως και τον Δεκέμβριο παρουσιάζουν πολύ υψηλή θερμότητα και σε όλο το βόρειο τμήμα της περιοχής.



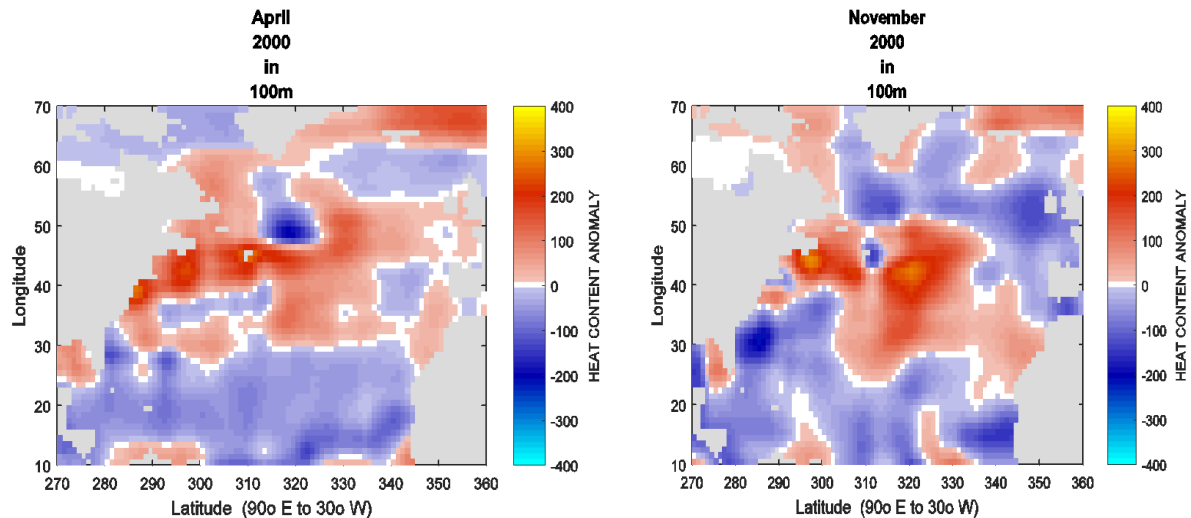
Γράφημα 14. Το 1998 είναι μία σημαντική χρονιά αφού σχεδόν όλος ο Β.Α ωκεανός με εξαίρεση το κεντρικό τμήμα, αυξάνει το θερμικό του περιεχόμενο. Ελάχιστα παρατηρούνται τον Ιανουάριο και Απρίλιο στο κέντρο του.



Γράφημα 15. Η θερμική δραστηριότητα που υπάρχει κεντρικά εξασθενεί τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμριο. Έντονη η παρουσία μεγίστων (κεντρικά) από τον Ιανουάριο έως και τον Ιούνιο (μέγιστο τον Φεβρουάριο).



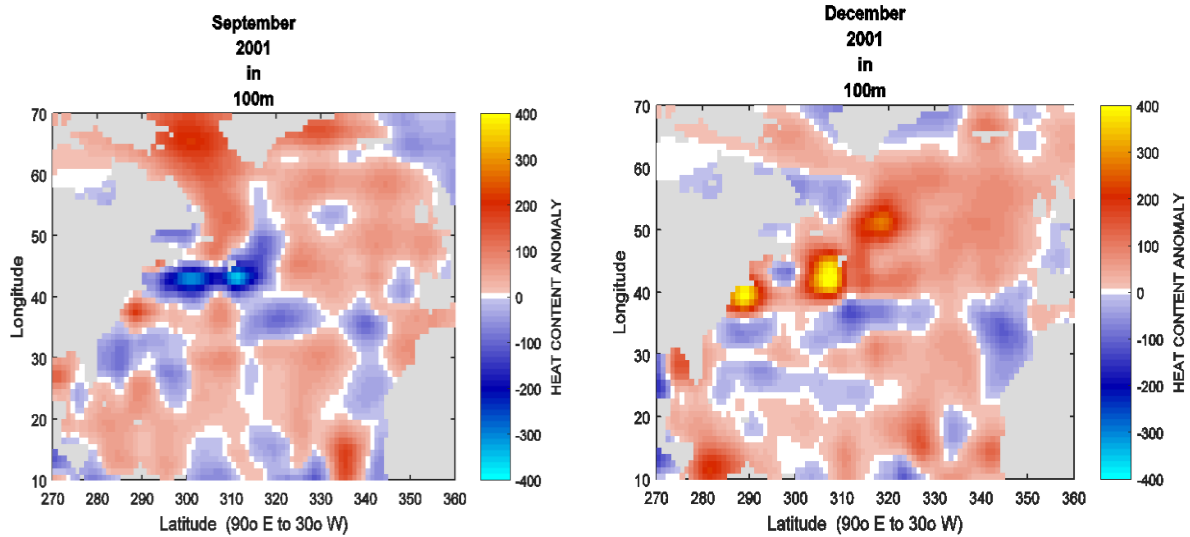
Γράφημα 16. Η χρονιά 2000, χαρακτηρίζεται από απουσία μεγίστων και ελαχίστων, και η θερμική δραστηριότητα μεταφέρεται κυρίως προς τα Βόρεια.



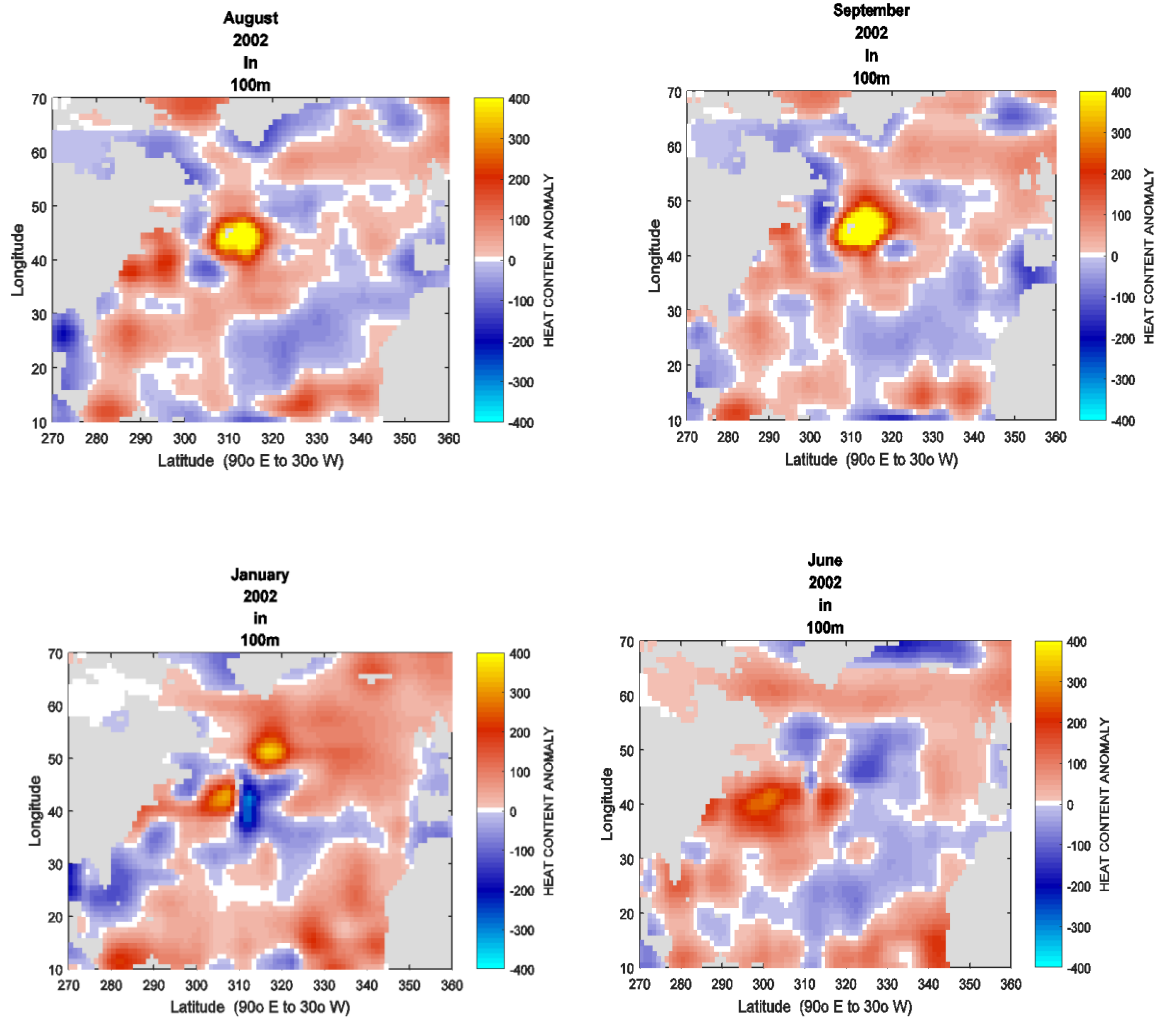
Γράφημα 17. Αυτή η χρονιά επαναφέρει τα μέγιστα και ελάχιστα σχεδόν σε όλους τους μήνες.

Ελάχιστα: από τον Ιανουάριο έως τον Σεπτέμβρη κεντροδυτικά του Β.Α, με εξαίρεση τους μήνες Απρίλιο και Ιούλιο. Μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται τους Αύγουστο και Σεπτέμβρη.

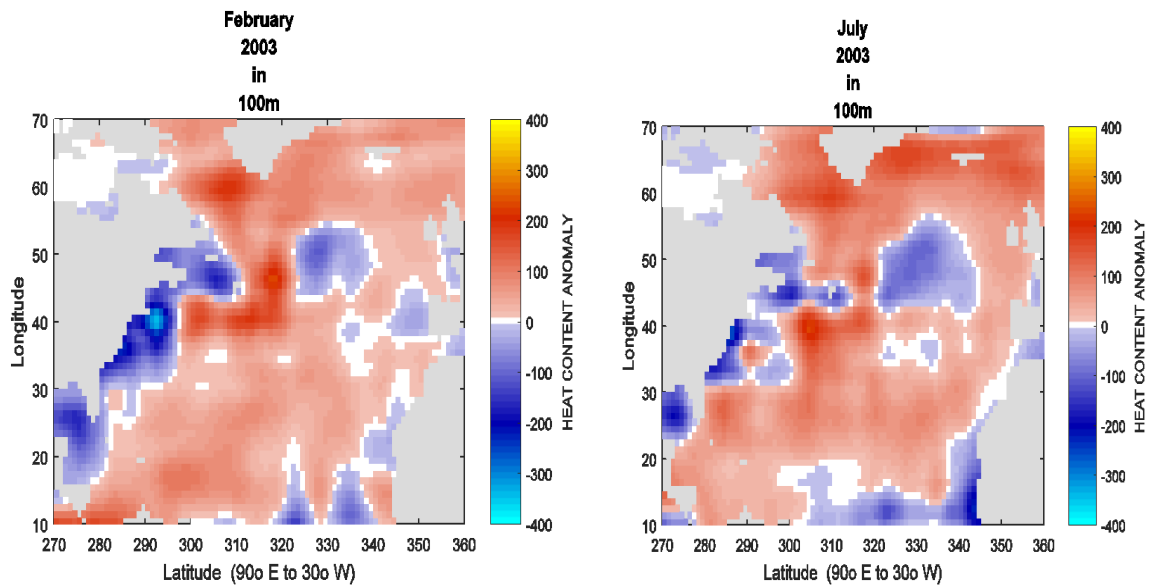
Οι Νοέμβριος και Δεκέμβριος χαρακτηρίζονται από μεγιστα στο ίδιο τμήμα.



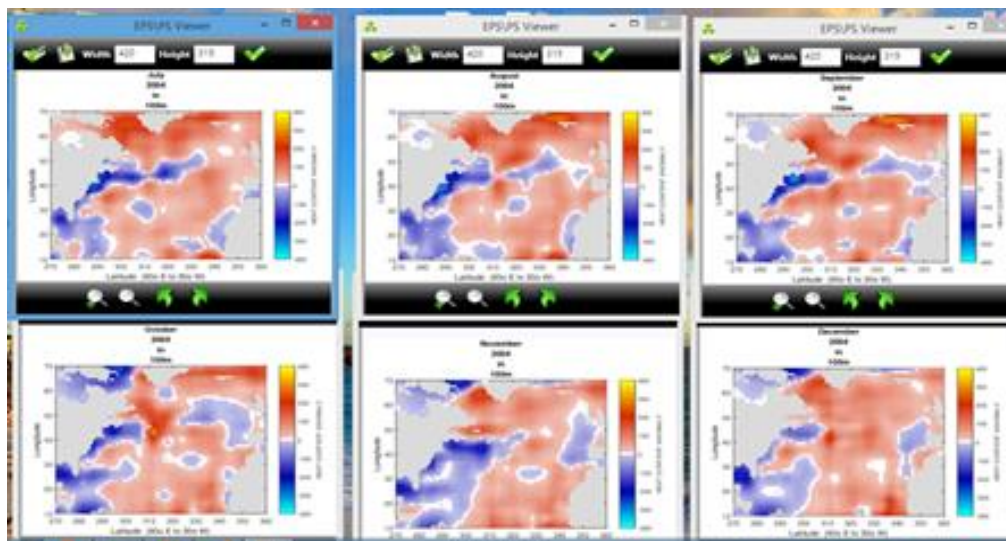
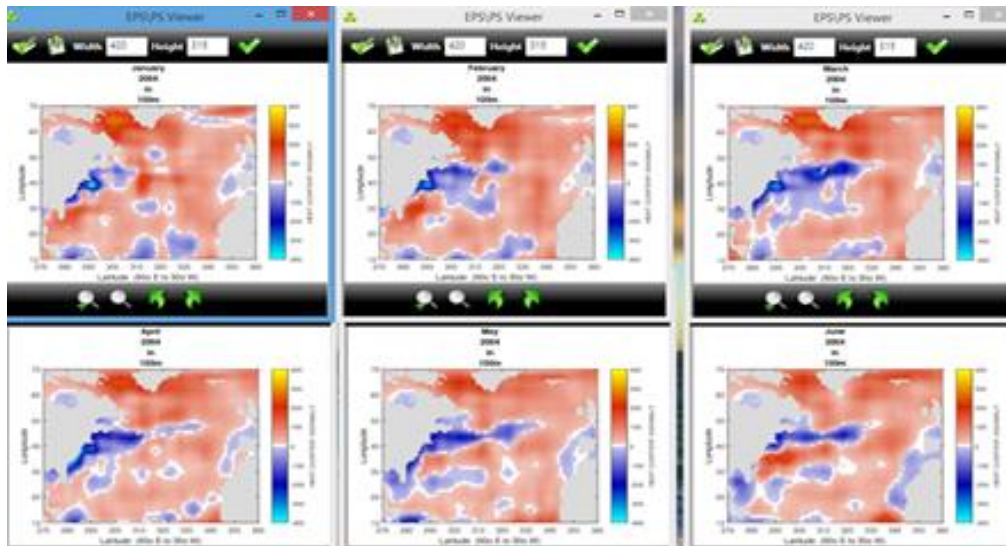
Γράφημα 18. Το 2002 είναι έντονη η παρουσία μεγίστων και η απουσία ελαχίστων. Σημαντικές οι περιπτώσεις του Μαΐου, Αυγούστου και Σεπτεμβρίου. Τον Ιανουάριο έως και τον Ιούνιο θερμαίνεται έντονα η Βόρεια Αφρική.



Γράφημα 19. Πολύ υψηλές τιμές σε ολόκληρο το Β.Α με κυρίαρχη την βορειότερη περιοχή για το έτος 2003.



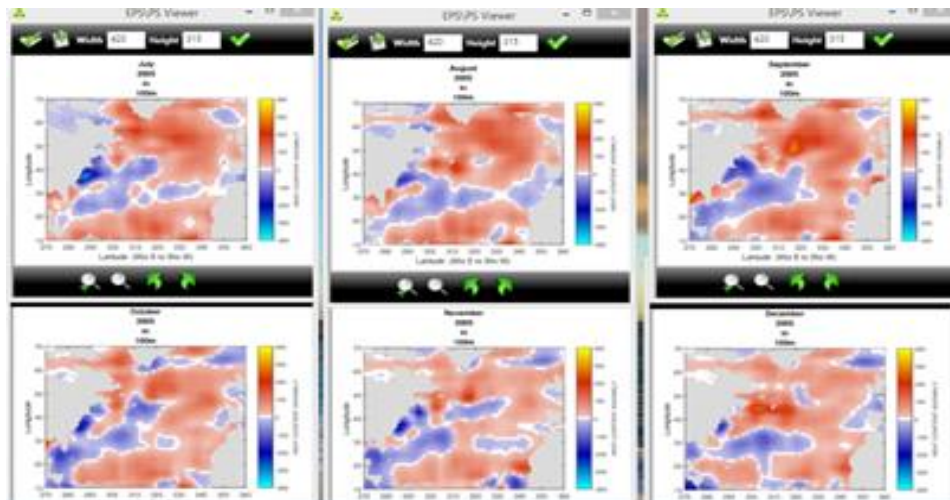
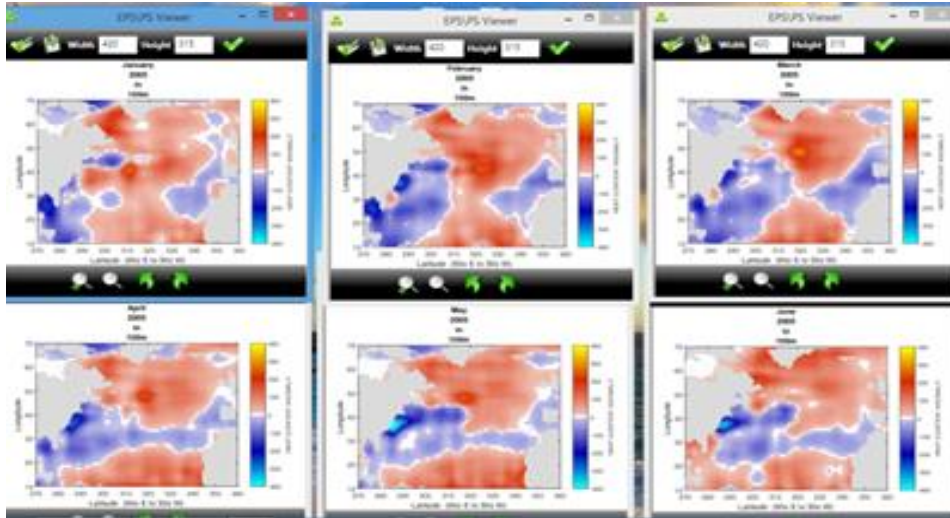
Γράφημα 20. Το 2004 εμφανίζεται παρόμοιο το τοπίο με το προηγούμενο έτος. Χαρακτηριστικές είναι οι χαμηλές τιμές στον Ρεύμα του Κόλπου και η Νότια μεταφορά του θερμικού περιεχομένου (υψηλές τιμές).



Γράφημα 21. Το 2005 δημιουργούνται τα παρακάτω πρότυπα:

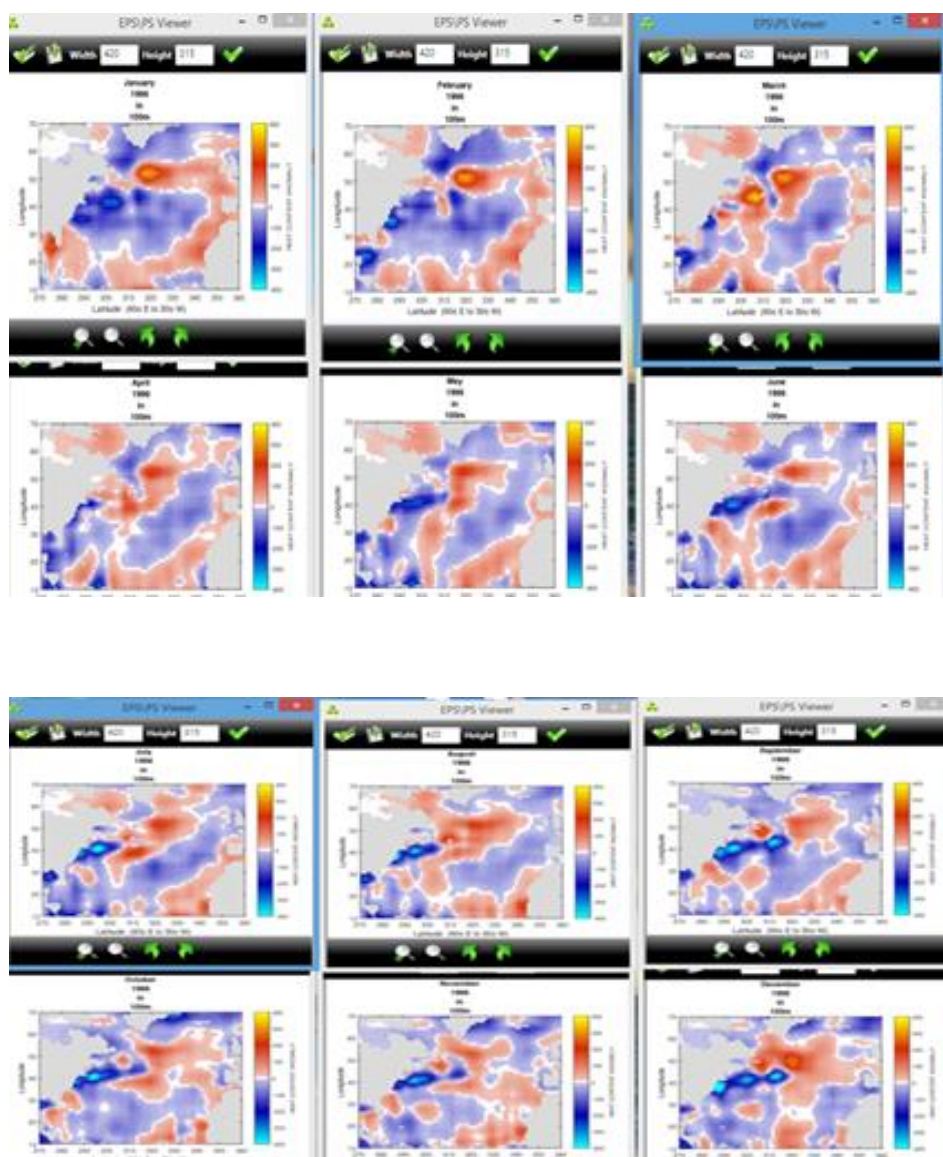
Πρότυπο 1: Τον Ιανουάριο έως Φεβρουάριο θερμαίνεται κυρίως το μεσαίο τμήμα αφήνοντας "κενό" το ανατολικό και δυτικό κομμάτι (ζώνη 29° B, 30° B).

Πρότυπο 2: Απρίλιος- Αύγουστος το πεδίο αλλάζει δημιουργώντας "κενό" στην μέση και έχοντας υψηλές τιμές βόρεια και νότια αυτού.



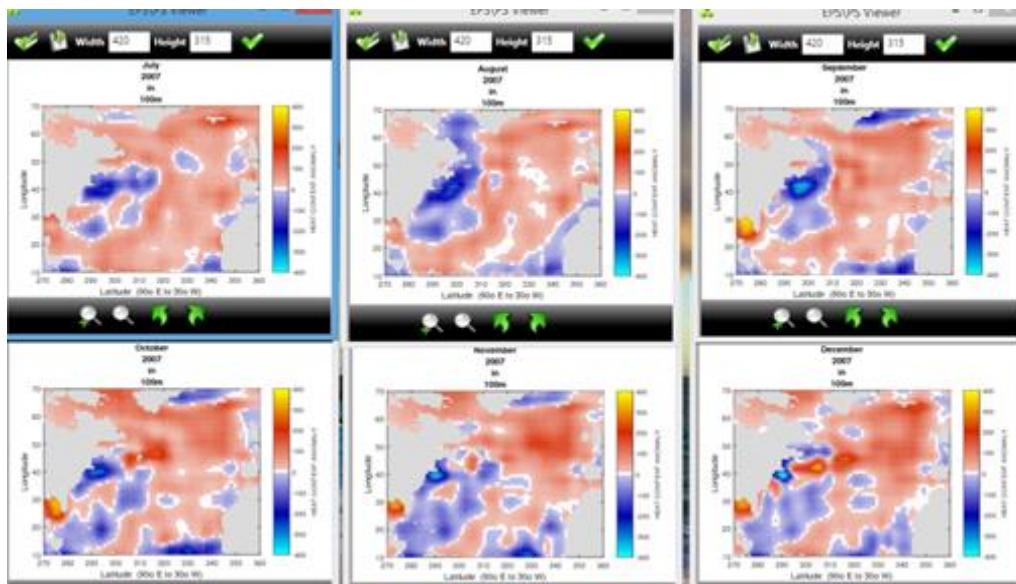
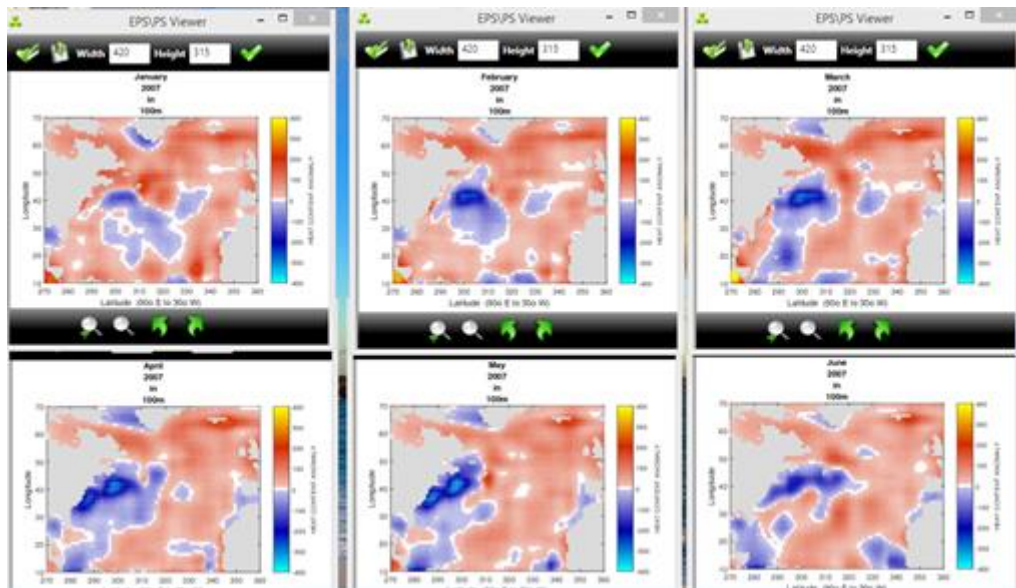
Έτη 2006 έως 2015

Γράφημα 22. Το 2006 εξασθενεί το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής και εμφανίζονται ελάχιστα και τα μέγιστα. Η θερμική μεταφορά είναι έντονη στην Βόρεια Αφρική. Ελάχιστα παρατηρούνται από τον Ιούλη έως και τον Δεκέμβρη κυρίως κεντρικά-δυτικά της περιοχής.

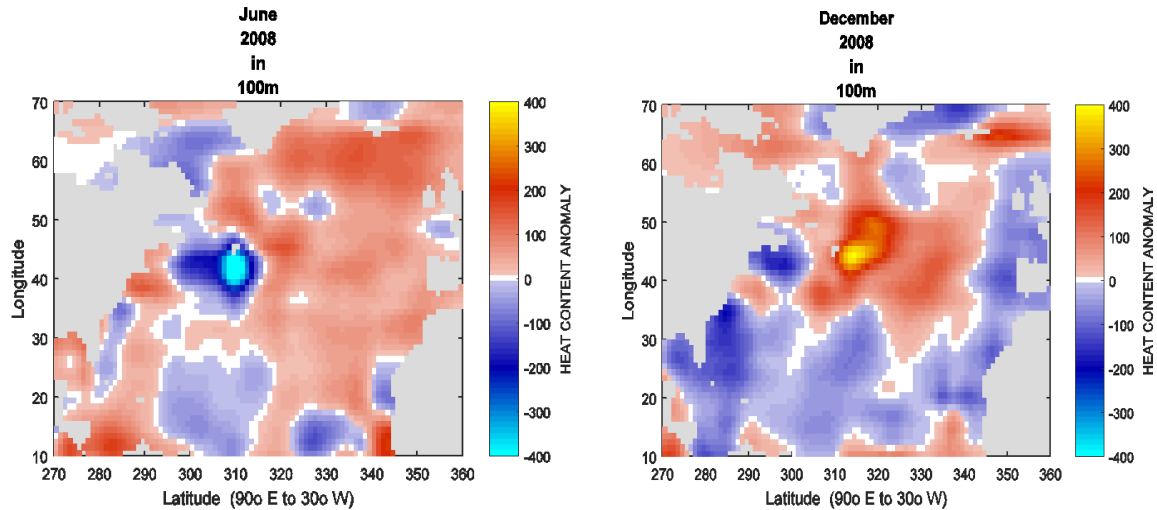


Γράφημα 23. Σε αντίθεση με το προηγούμενο έτος, το 2007 παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές στο μεγαλύτερο τμήμα του Β.Α με εξαίρεση κυρίως τις ακτές της Ανατολικής Αμερικής και του Καναδά. Στην περιοχή αυτή παρατηρούνται ελάχιστα, με εξαίρεση τους μήνες Ιανουάριο και Ιούνιο.

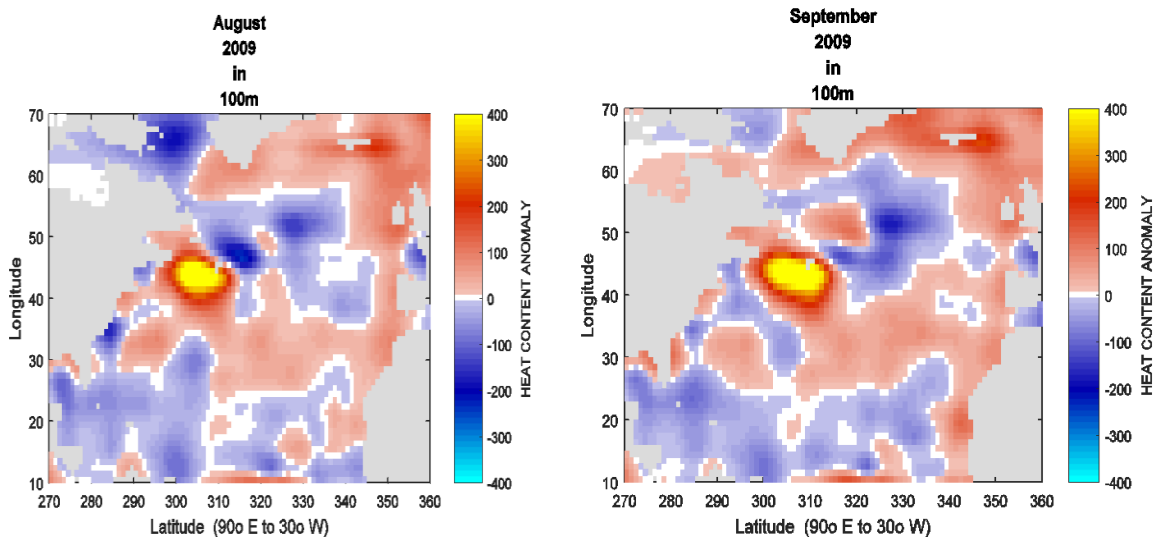
Μέγιστα, εμφανίζονται τον μήνα Δεκέμβρη.



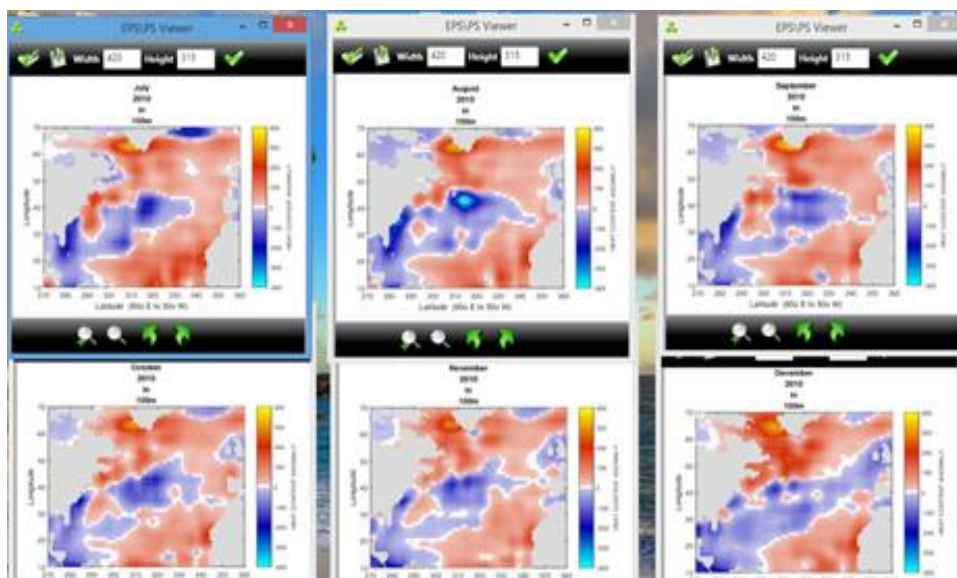
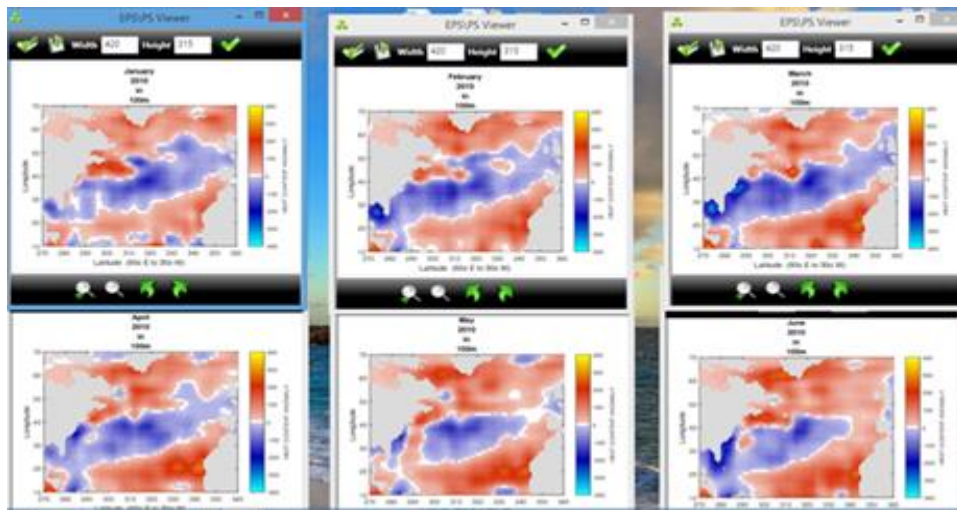
Γράφημα 24. Το 2008 παρατηρείται αύξηση των τροπικών περιοχών με εξαίρεση τους μήνες Νοέμβρη και Δεκέμβρη. Χαρακτηριστικό ελάχιστο παρατηρείται τον Ιούνιο . Δύο σημαντικά μέγιστα βρίσκονται τον Σεπτέμβριο και Δεκέμβριο.



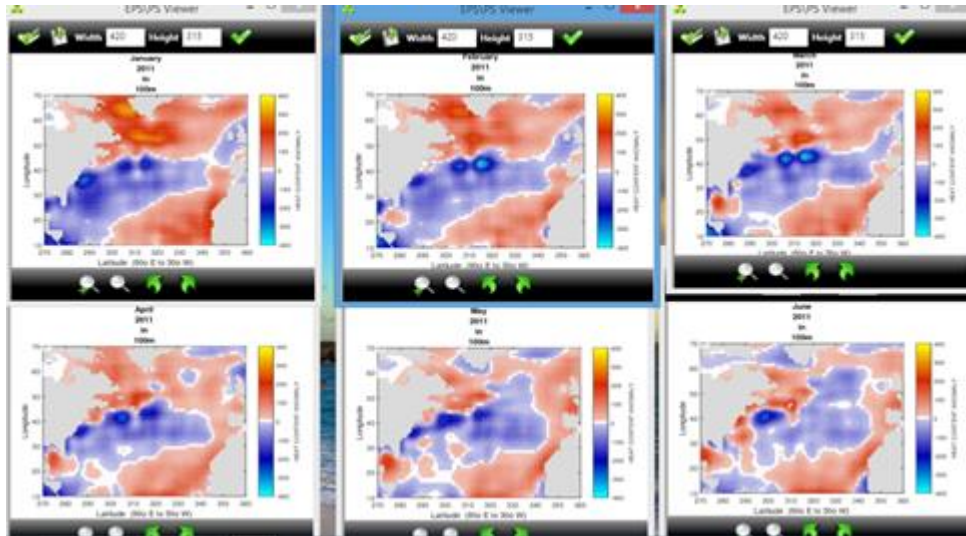
Γράφημα 25. Δύο σημαντικά μέγιστα λαμβάνουν χώρα τον Αύγουστο και Σεπτέμβρη του 2009, κεντρικά του Β.Α ωκεανού την στιγμή που οι υψηλές τιμές περιορίζονται βορειοανατολικά και κεντρικά της περιοχής.



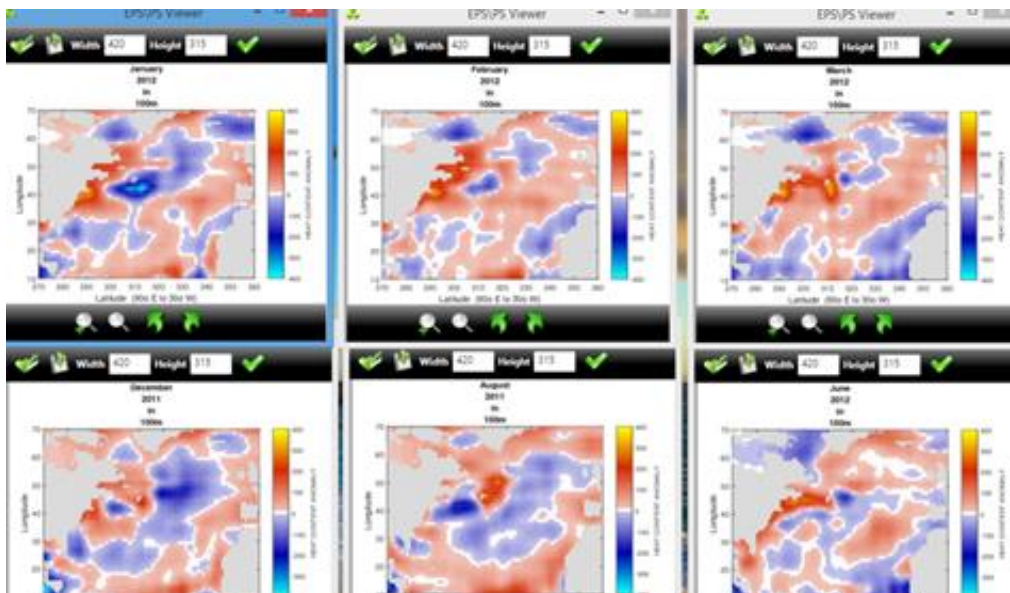
Γράφημα 26. Το 2010 παρατηρείται ένα πρότυπο κατά το οποίο ο Β.Α ωκεανός χωρίζεται στο Βόρειο και Νότιο τμήμα του, αφήνοντας χαμηλές θερμοκρασίες στο κεντρικό τμήμα κυρίως στην ζώνη 20° Β με 30° Β. Εμφανής η απουσία μεγίστων και ελαχίστων, με εξαίρεση τον μήνα Αύγουστο.

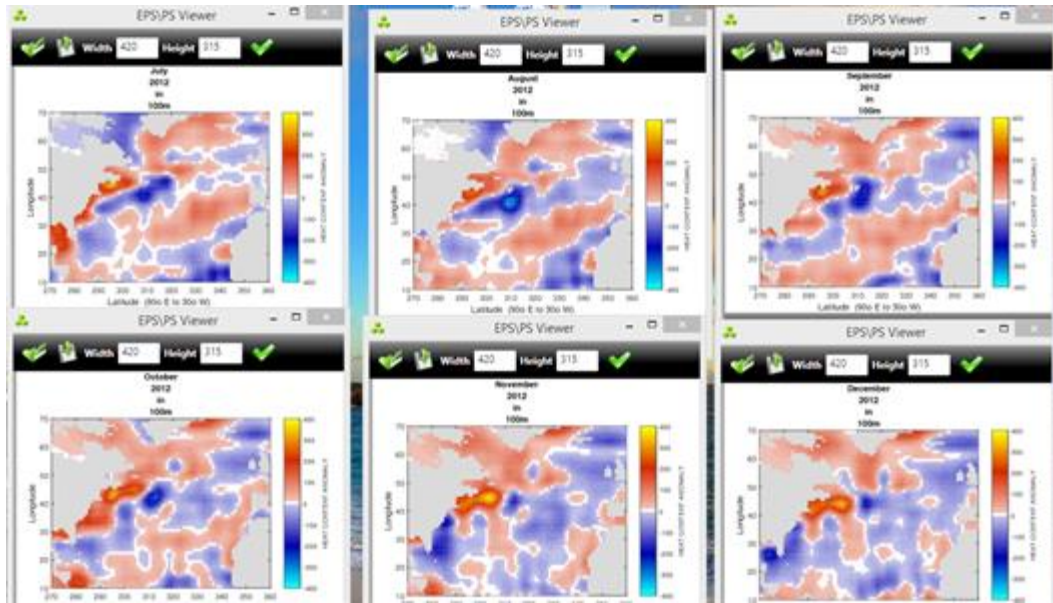


Γράφημα 27. Το πρότυπο συνεχίζει για τους πρώτους μήνες του 2011 και αρχίζει να εξασθενεί τον μήνα Απρίλιο όπου και αλλάζει μορφή.

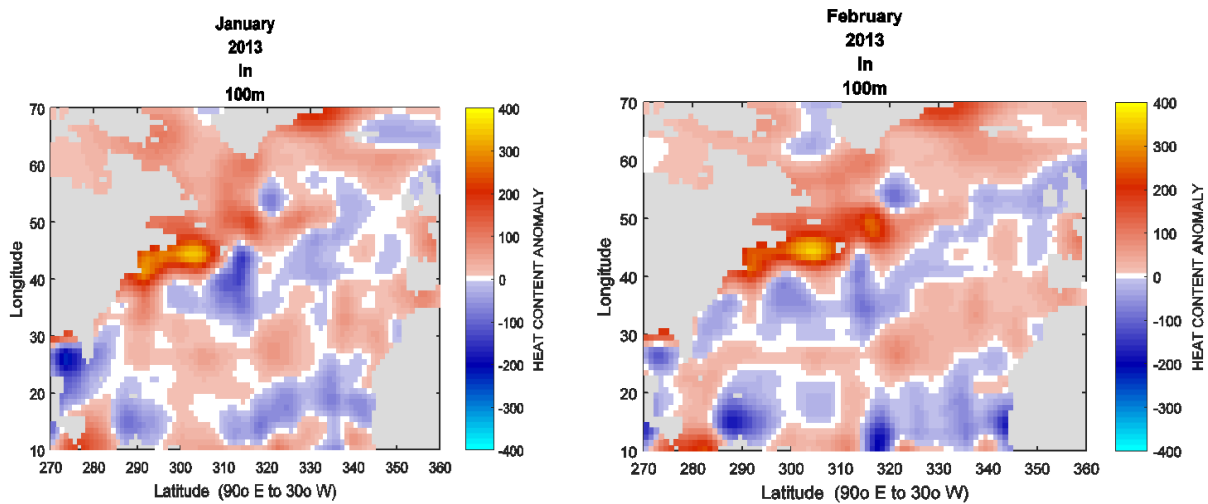


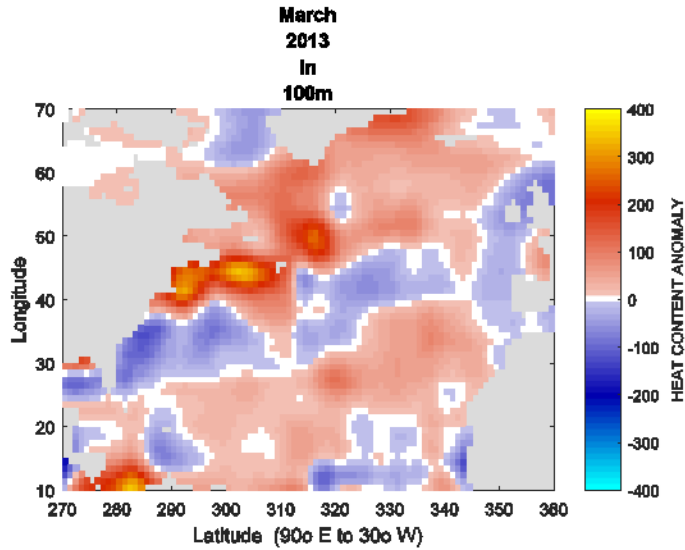
Γράφημα 28. Το 2012 η θερμική ενέργεια μεταφέρεται κυρίως στις Ανατολικές Ακτές της Αμερικής και του Καναδά όπου εμφανίζονται μέγιστα κυρίως τους χειμερινούς μήνες. Δύο σημαντικά ελάχιστα φαίνονται τον Ιανουάριο και Αύγουστο, κεντρικά του Β.Α ωκεανού.



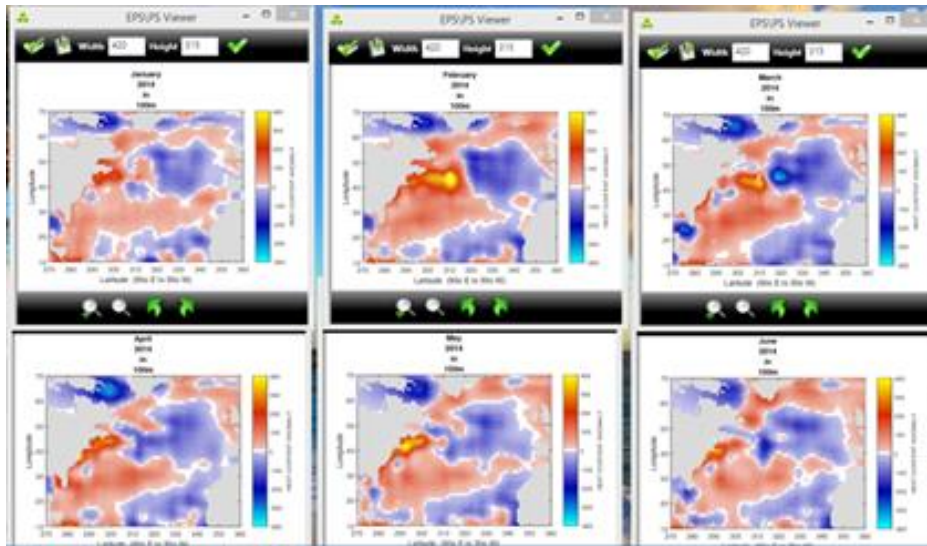


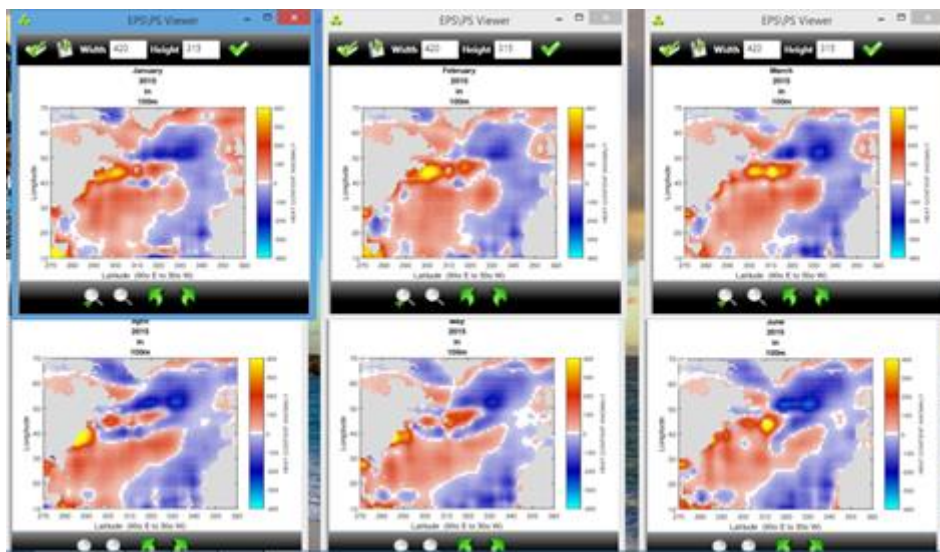
Γράφημα 29. Η αποθηκευμένη θερμότητα το 2013 είναι υψηλή τους τρεις πρώτους μήνες κυρίως στο βόρειο τμήμα του Β.Α όπου και εμφανίζονται μέγιστα κυρίως κεντρικά της περιοχής.



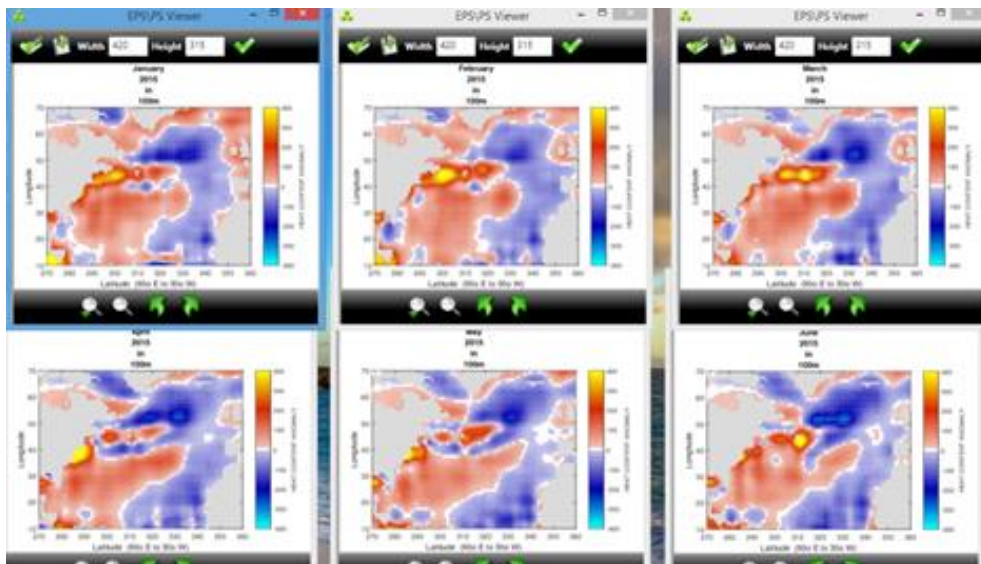


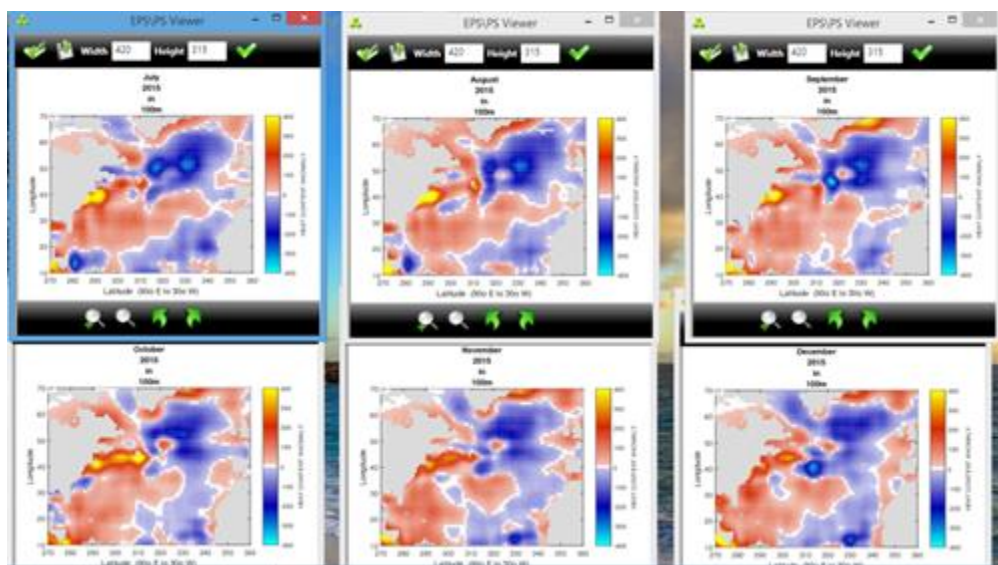
Γράφημα 30. Το 2014, έντονη είναι η εμφάνιση μεγίστων στις ακτές της Ανατολικής Αμερικής για όλο το έτος. Αυξάνεται το θερμικό περιεχόμενο στην τροπική ζώνη και υπάρχει δημιουργία προτύπου στο κεντρικό της περιοχής. Ο κόλπος Χάνστον έχει υψηλές τιμές τον μήνα Αύγουστο και Σεπτέμβριο και το Βορειοανατολικό του τμήμα παρουσιάζει υψηλές τιμές, με εξαίρεση τον μήνα Ιανουάριο.





Γράφημα 29. Το 2015 φαίνεται να συνεχίζει το πρότυπο που ξεκίνησε το 2014, το οποίο διαμορφώνεται σε πολύ χαμηλές τιμές οι οποίες κυριαρχούν στο ανατολικό τμήμα το 2015. Μέγιστα δημιουργούνται αντίστοιχα με αυτά του προηγούμενου έτους.





13. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ «ΠΙΝΑΚΕΣ»

Πίνακας 1. Μηνιαίος δείκτης NAO Monthly από το 1999 έως το 2015.

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1999	+0.90	+1.80	-0.72	+0.43	+1.03	+1.39	-1.85	-3.67	-0.51	-0.69	+0.30	+2.13
2000	+0.35	+4.37	+0.54	-3.34	+0.31	+0.89	-2.99	+0.78	-1.10	+2.26	-0.24	-1.41
2001	+0.02	+0.07	-0.68	+1.24	-0.09	-1.33	-1.12	+1.64	-3.83	+0.88	+0.01	-2.25
2002	+2.31	+3.01	+0.09	+0.91	-0.05	+0.90	-0.71	-0.61	-3.58	-1.50	-0.27	-0.98
2003	+0.15	+1.34	+1.08	-1.74	+1.17	-0.86	+0.09	-0.99	+0.35	-3.68	+0.31	-0.85
2004	+0.20	-1.23	+1.07	+1.08	-0.67	-0.38	-0.30	-0.76	+2.51	-2.18	-0.55	+1.27
2005	+1.82	-2.25	-1.29	+0.71	-0.13	-1.00	-0.08	+0.94	+0.50	-0.45	-1.01	-0.81

2006	-0.10	-1.24	-1.12	+0.57	-0.22	-0.41	+0.83	-2.47	-1.02	-1.97	+1.70	+3.08
2007	+1.77	+0.42	+2.03	-0.10	+0.62	-3.34	-1.05	-3.41	-1.18	-0.02	-1.67	+1.42
2008	+1.87	+1.81	+0.37	-2.02	-3.26	-2.05	-1.38	-0.21	-2.07	+0.01	-1.30	-0.58
2009	+0.61	-1.43	+0.15	+1.74	+1.52	-3.05	-0.92	+1.07	-0.63	-2.00	+1.68	-3.72
2010	-2.38	-3.25	-0.80	-1.03	-1.66	-2.40	+0.06	-2.01	-2.38	-2.41	-3.34	-4.62
2011	-1.38	+2.79	-0.44	+2.39	+1.08	-1.58	-3.39	-0.18	+2.97	+1.45	+0.74	+3.20
2012	+2.05	+1.28	+1.78	-2.36	-0.83	-2.58	-1.31	-0.44	-1.44	-3.21	-1.11	+0.60
2013	+1.08	-0.26	-3.75	+0.03	+1.23	+1.40	+2.52	+2.16	-0.57	-0.36	+0.04	+3.54
2014	+0.71	+2.32	+1.64	+0.84	-0.08	-1.98	+0.91	-1.14	-2.10	+0.31	-2.17	+1.89
2015	+2.81	+1.47	+1.99	+1.03	+2.09	+0.28	-2.16	+1.47	-1.65	-1.13	+3.54	+4.22

Πηγή: <https://crudata.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm>

14. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV «SCRIPT FILES»

Τα Script Files λόγω του μεγάλου όγκου τους, και της μη χρηστικότητάς η αποτύπωσή τους σε χαρτί, θα δοθούν σε CD.