

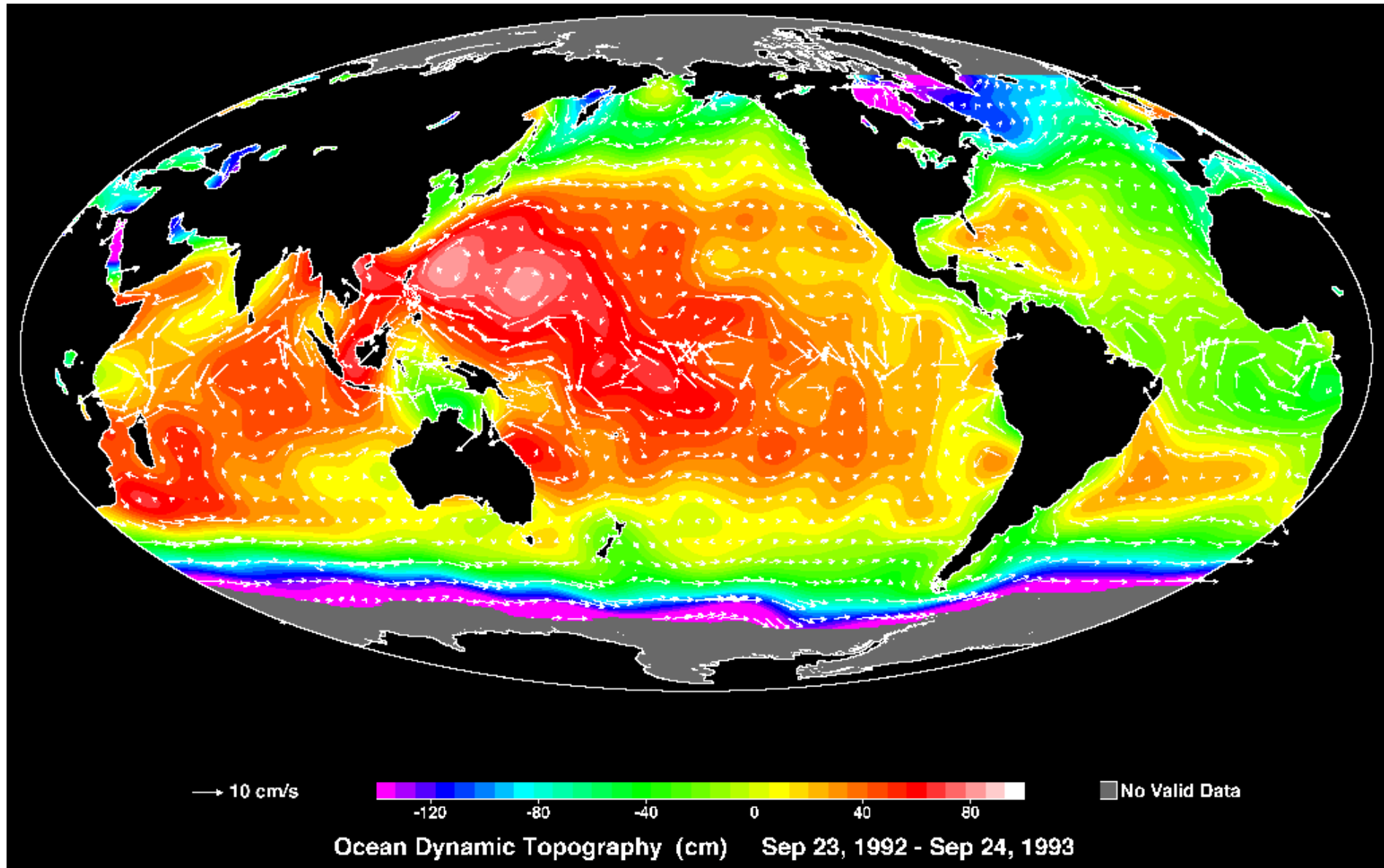
# ΦΥΣΙΚΗ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ

## ΜΑΘΗΜΑ 8

ΘΕΡΜΟΑΛΗ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΣ ΩΚΕΑΝΙΑ  
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ. Συλαίος

# ΩΚΕΑΝΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ – ΧΑΟΣ Ή ΤΑΞΗ?



## Ωκεάνια Ρεύματα

Τα ωκεάνια ρεύματα αποτελούν συνεχείς προσανατολισμένες κινήσεις του νερού του ωκεανού.

Τα ρεύματα αυτά παράγονται από δυνάμεις όπως:

- ✓ η περιστροφή της Γης,
- ✓ ο άνεμος
- ✓ οι διαφορές θερμοκρασίας ή/και αλατότητας (δηλ. πυκνότητας)
- ✓ η βαρυντική έλξη των Πλανητών.

Ο συνδυασμός των δυνάμεων αυτών δημιουργεί τα κύρια ρεύματα των ωκεανών. Τα ρεύματα αυτά κινούνται για εκατοντάδες χλμ. και επηρεάζουν το κλίμα των παράκτιων περιοχών.

## Τι προκαλεί την ωκεάνια κυκλοφορία?

- Το ωκεάνιο νερό κινείται οριζόντια και κατακόρυφα μέσα στον ωκεανό → οριζόντια και κατακόρυφα ωκεάνια ρεύματα
- Η οριζόντια κυκλοφορία έχει τυπικές ταχύτητες  $U, V$  από  $0.01 - 1.0 \text{ m/s}$
- Η κατακόρυφη κυκλοφορία έχει πολύ πιο χαμηλές ταχύτητες  $\sim 10^{-4} - 10^{-5} \text{ m/s}$
- Η κυκλοφορία στην θάλασσα διακρίνεται στην α) παλιρροιακή και β) μη-παλιρροιακή.
- Η μη-παλιρροιακή κυκλοφορία χωρίζεται σε α) την θερμόαλη, και β) την ανεμογενή.
- Η Θερμόαλη προκαλείται από α) το πλεόνασμα/έλλειμμα θερμότητας και β) την προσφορά άνωσης λόγω ποτάμιων εκροών.
- Η ανεμογενής παράγεται από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας.
- Η ανεμογενής μεταφέρει μεγάλα ποσά ενέργειας από την ατμόσφαιρα στο ανώτερο τμήμα του ωκεανού
- Η θερμόαλη είναι πιο αργή, αλλά αφορά όλη την ωκεάνια στήλη καθώς το νερό βυθίζεται σε μεγάλα βάθη (κοντά στον πυθμένα)

# ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΜΑΖΕΣ ΣΤΟΥΣ ΩΚΕΑΝΟΥΣ

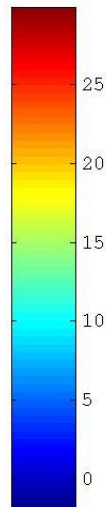
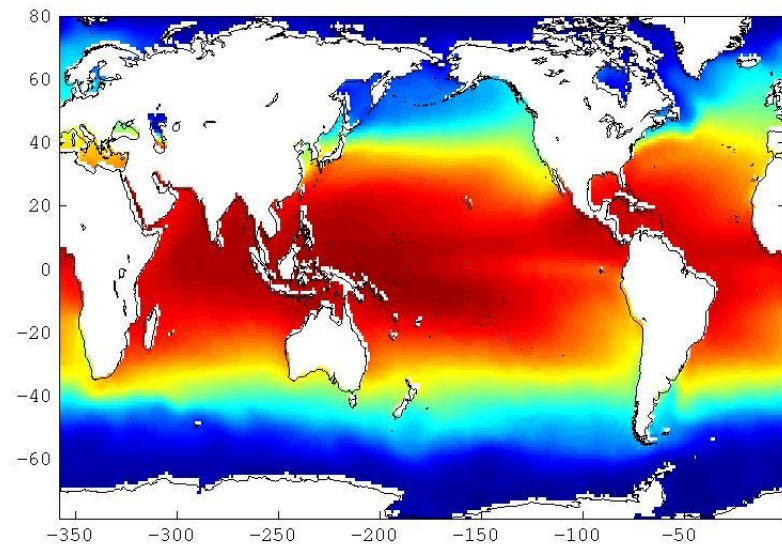
Η ωκεάνια κυκλοφορία διαιρείται σε δύο τμήματα:

A) τη θερμόαλη κυκλοφορία, και

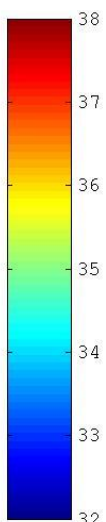
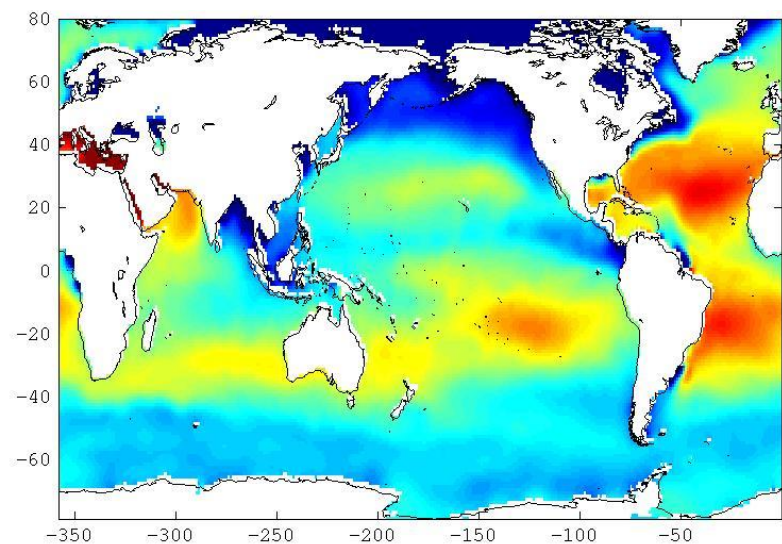
B) την ανεμογενή κυκλοφορία.

Άρα, η ωκεάνια κυκλοφορία οφείλεται κατά ένα μέρος στις μεταβολές της πυκνότητας του νερού, οι οποίες προκαλούνται από τις καιρικές και κλιματικές μεταβολές και κατά ένα μέρος στην επίδραση της ανεμογενούς τάσης.

# ΓΙΑΤΙ ΛΕΓΕΤΑΙ ΘΕΡΜΟΑΛΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ??



Επιφανειακή Θερμοκρασία



Αλατότητα

Η πυκνότητα του επιφανειακού νερού καθορίζεται από την θερμοκρασία και την αλατότητα

## Η Θερμόαλη κυκλοφορία

Αναφέρεται στη κίνηση του νερού λόγω μεταβολής της πυκνότητάς του η οποία προκαλείται από μεταβολή της θερμοκρασία ή της αλατότητάς του σε κάποιο σημείο.

Για ποιο λόγο υπάρχουν διαφορές πυκνότητας?

Διότι υπάρχουν διαφορές:

A) στην επιφανειακή ροή θερμότητας (surface heat flux), και

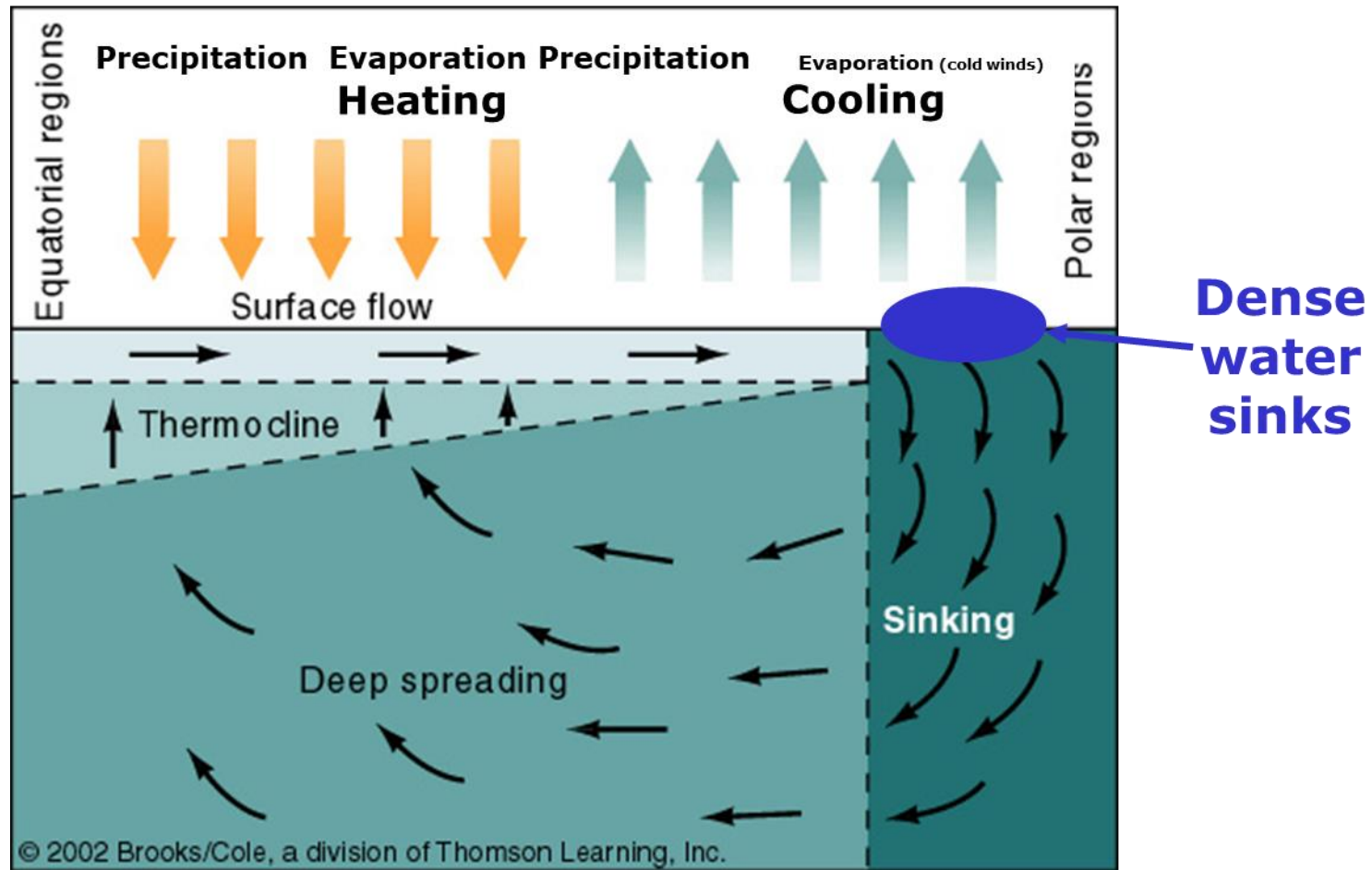
B) στην εισροή γλυκού νερού ποταμών.

Το πλεόνασμα θερμότητας που συσσωρεύεται στην επιφάνεια της θάλασσας στις Τροπικές και Υποτροπικές περιοχές θεωρείται ως υπεύθυνη για τη κίνηση του νερού από τον Ισημερινό προς τους Πόλους.

Αντίθετα, το έλλειμα θερμότητας στις Πολικές και Υποπολικές περιοχές προκαλεί ψύξη και αύξηση της πυκνότητας του νερού, η οποία οδηγεί στη βύθιση, την ανανέωση και την οξυγόνωση του νερού σε μεγάλα βάθη.

Θερμόαλη Κυκλοφορία – Κυκλοφορία λόγω άνωσης

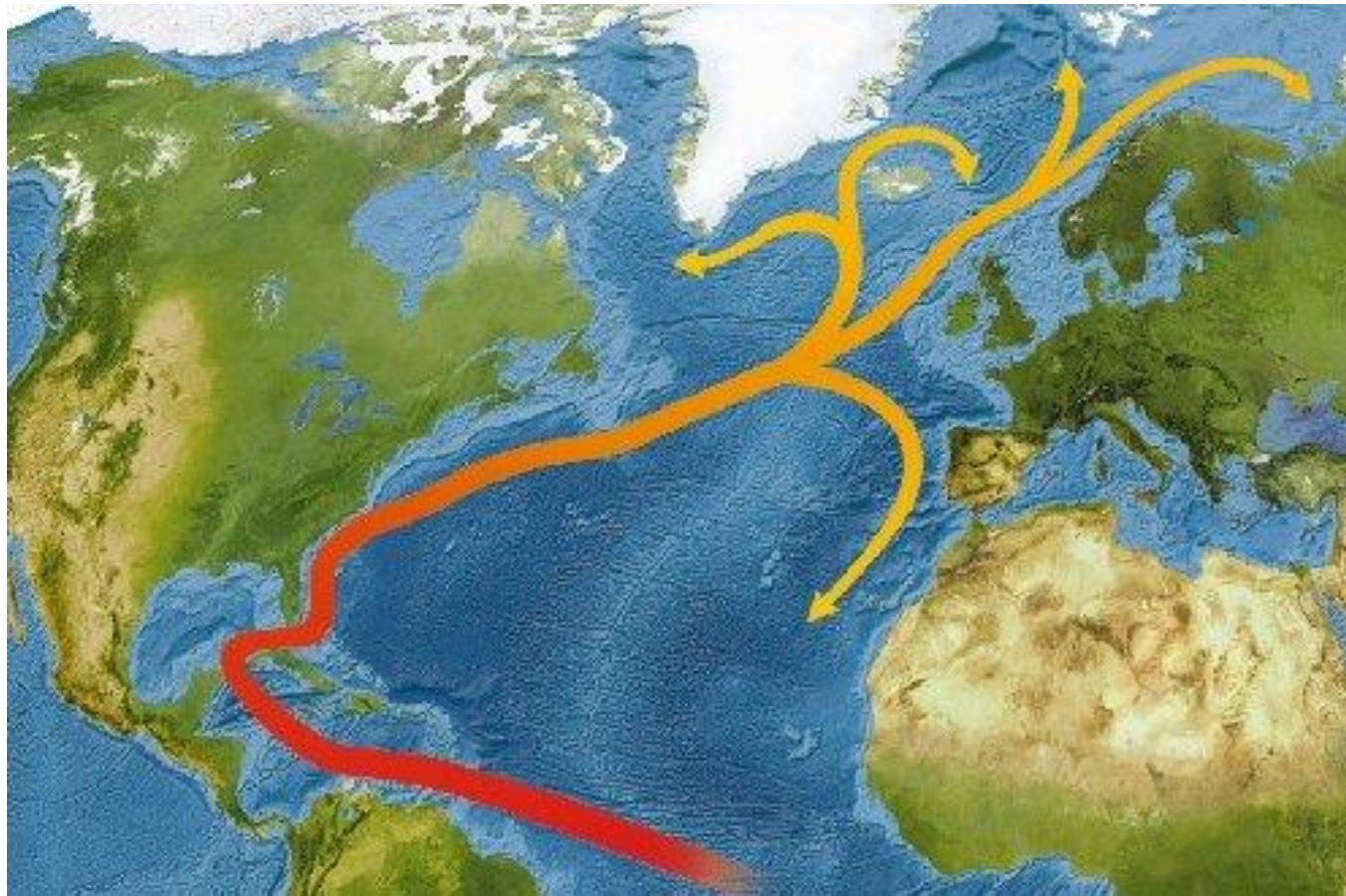
## Buoyancy driven circulation



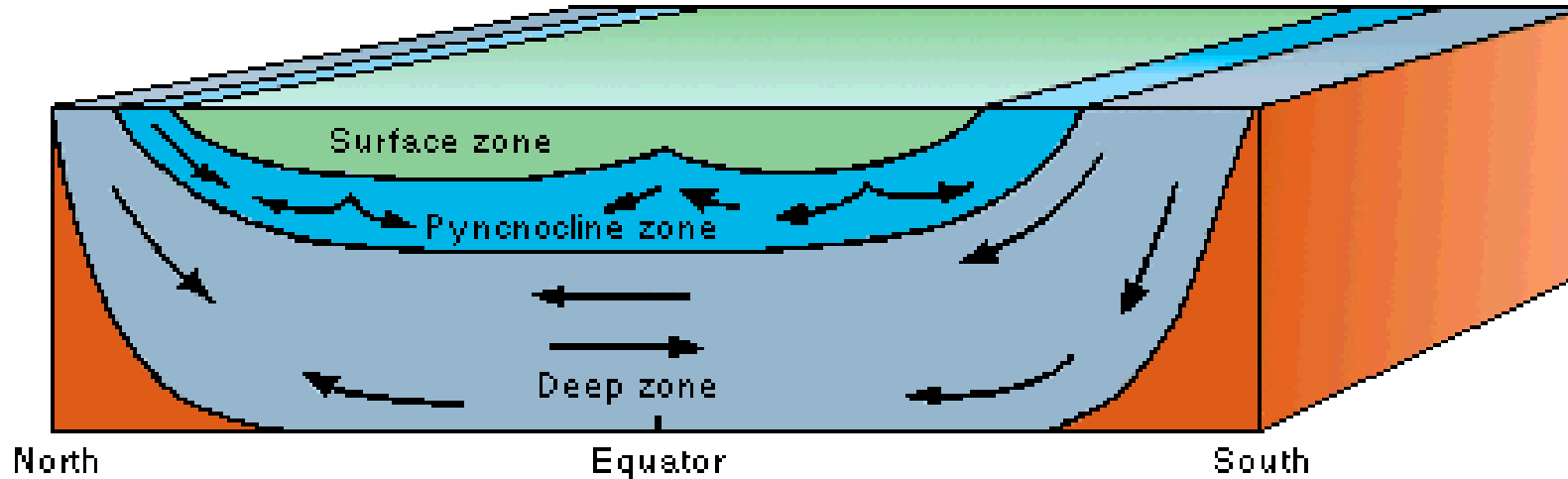


Τροπικές και Υποτροπικές Περιοχές: Επιφανειακή θέρμανση νερού → στρωματοποίηση υδάτινης στήλης → περιορισμένη κατακόρυφη θερμική κυκλοφορία → εκτεταμένη οριζόντια κυκλοφορία.

Θέρμανση νερού σε ένα σημείο → τοπική διαστολή → άνοδος στάθμης θάλασσας → ροή βαρύτητας και πυκνότητας προς τη ψυχρή περιοχή



## THERMOHALINE CIRCULATION



Στις πολικές περιοχές, η απουσία πυκνοκλινούς επιτρέπει τη κατακόρυφη κίνηση υδάτινων μαζών οι οποίες μπορεί να βυθιστούν στο πυθμένα ή να ανυψωθούν στην επιφάνεια.

Αντίθετα, η πολύ έντονη στρωματοποίηση της υδάτινης στήλης στα μικρά γεωγραφικά πλάτη αποτελεί ένα εμπόδιο στη κατακόρυφη κίνηση των μαζών.

Άρα, η θερμόαλη κυκλοφορία (thermohaline circulation), ξεκινά

- με την θέρμανση του ανώτερου ωκεανού στην Τροπική Ζώνη,
- την στρωματοποίηση της υδάτινης στήλης,
- την ελαφρά άνοδο της στάθμης της θάλασσας στην ευρύτερη περιοχή,
- την παραγωγή πιεσοβαθμίδας και βαθμίδας πυκνότητας με τις Πολικές περιοχές, και
- την κίνηση του νερού από τον Ισημερινό προς τους Πόλους (Gulf Stream, Kuroshio Currents).

Καθώς το νερό κινείται στα θερμόαλα επιφανειακά ρεύματα

- το πλεόνασμα θερμότητας σταδιακά χάνεται,
- Οι υδάτινες μάζες ψύχονται

Στις Πολικές Περιοχές το νερό αυξάνει την πυκνότητά του και βυθίζεται για δύο λόγους

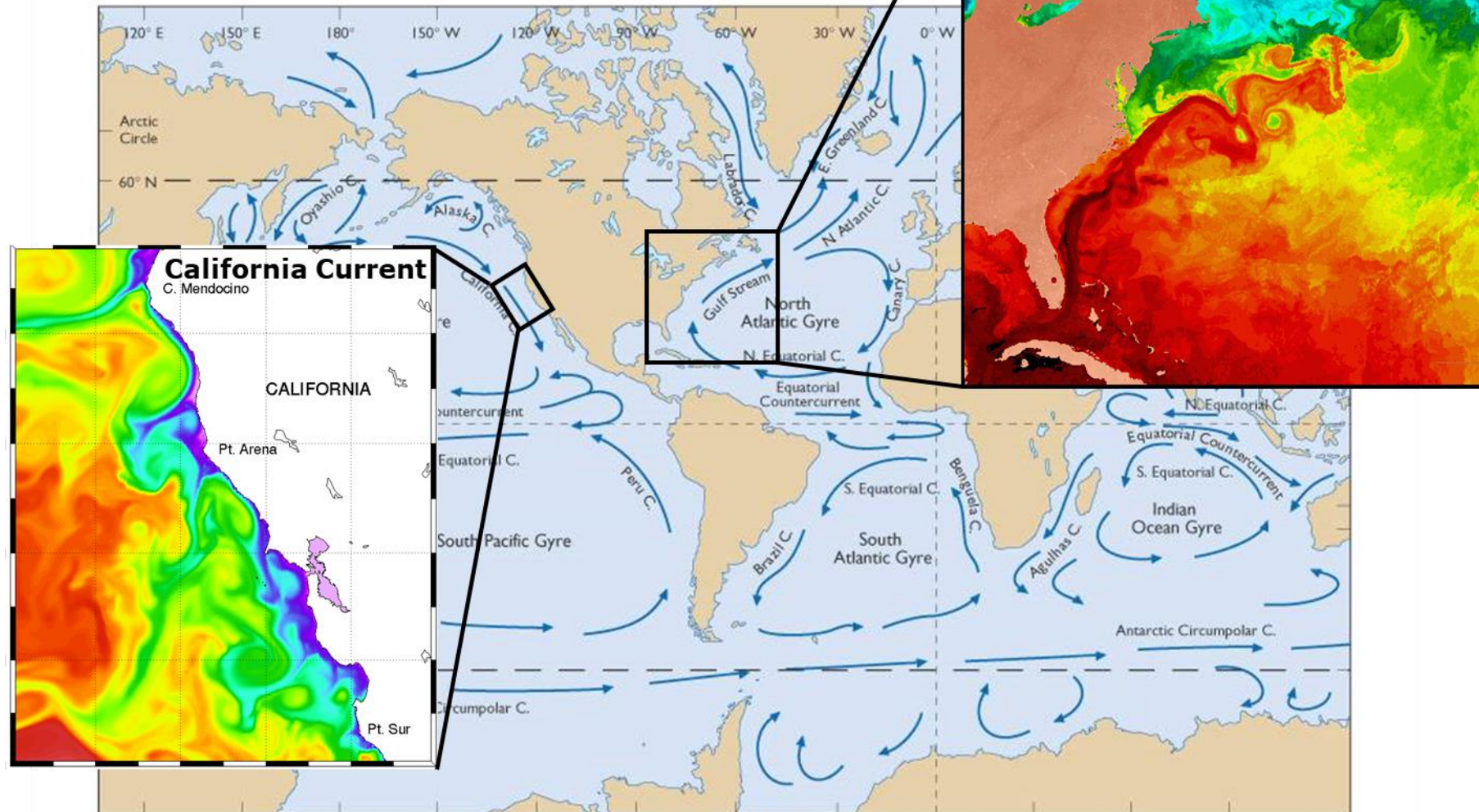
- Αύξηση Πυκνότητας λόγω Ψύξης νερού
- Αύξηση πυκνότητας λόγω Στερεοποίησης νερού κατά τον σχηματισμό πάγου και την αποβολή άλατος

ΠΡΟΣΟΧΗ: Η εξάτμιση δεν συμβάλει σημαντικά στη βύθιση μίας υδάτινης μάζας (λόγω αύξησης της αλατότητάς της) γιατί στον Ισημερινό η υδάτινη στήλη είναι στρωματοποιημένη.



# Mean Circulation in the Ocean

## Gulf Stream



(b) GLOBAL SURFACE-WATER CURRENT PATTERN

Έτσι, στο Βόρειο Ατλαντικό, η ψύξη του νερού το χειμώνα θεωρείται υπεύθυνη για τη βύθιση του επιφανειακού νερού σε σημαντικά βάθη.

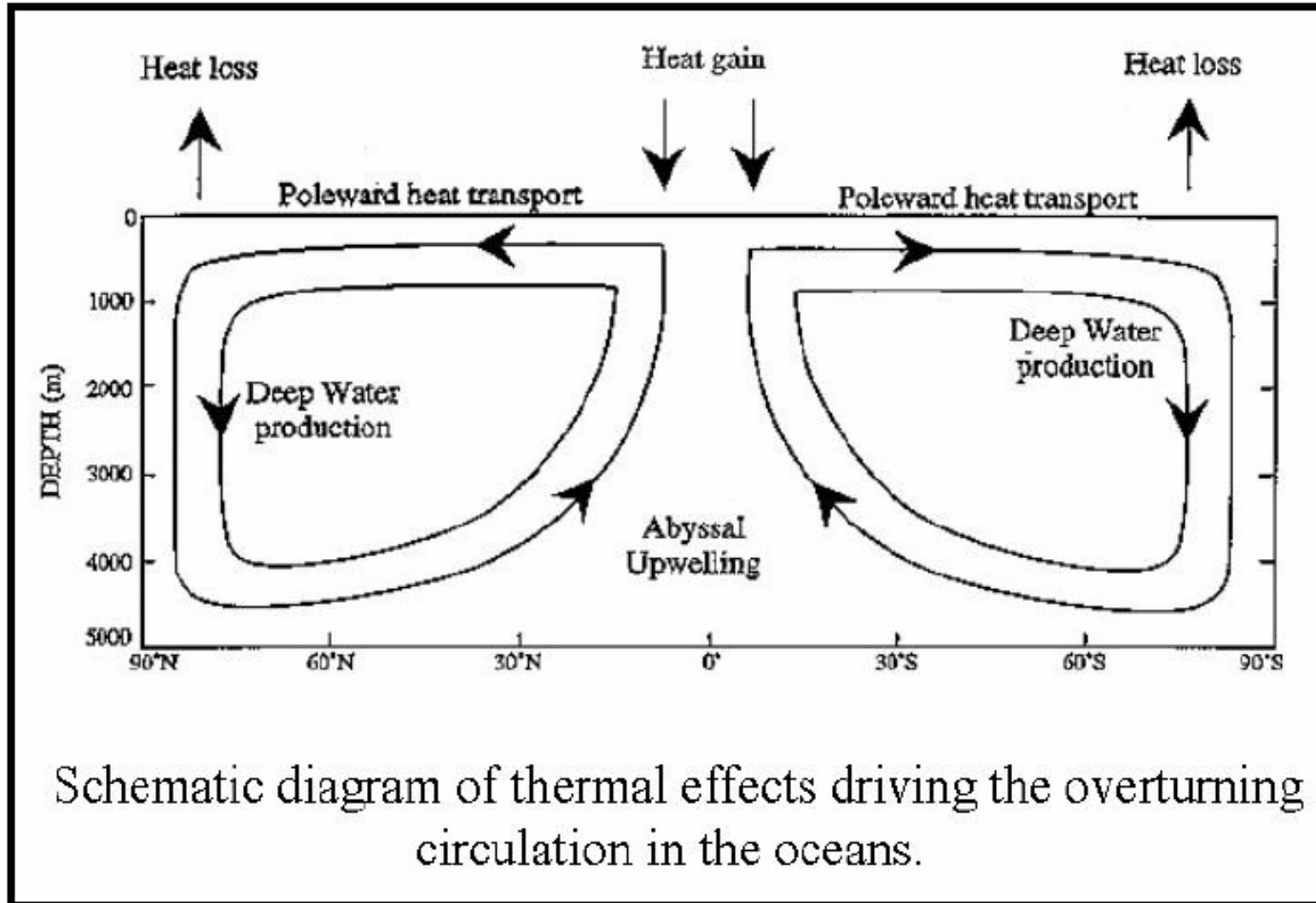
Αντίστοιχα, στην Ανταρκτική, η δημιουργία πάγου αυξάνει τη πυκνότητα του νερού με την αποβολή άλατος.

Προκύπτει έτσι ότι το κύριο χαρακτηριστικό της θερμόαλης κυκλοφορίας που είναι η κατακόρυφη κίνηση και η βύθιση του επιφανειακού νερού σε κάποια μεσαία βάθη ή ακόμη και στο πυθμένα, με αποτέλεσμα η συνέχεια του όγκου να προκαλεί οριζόντια ροή.

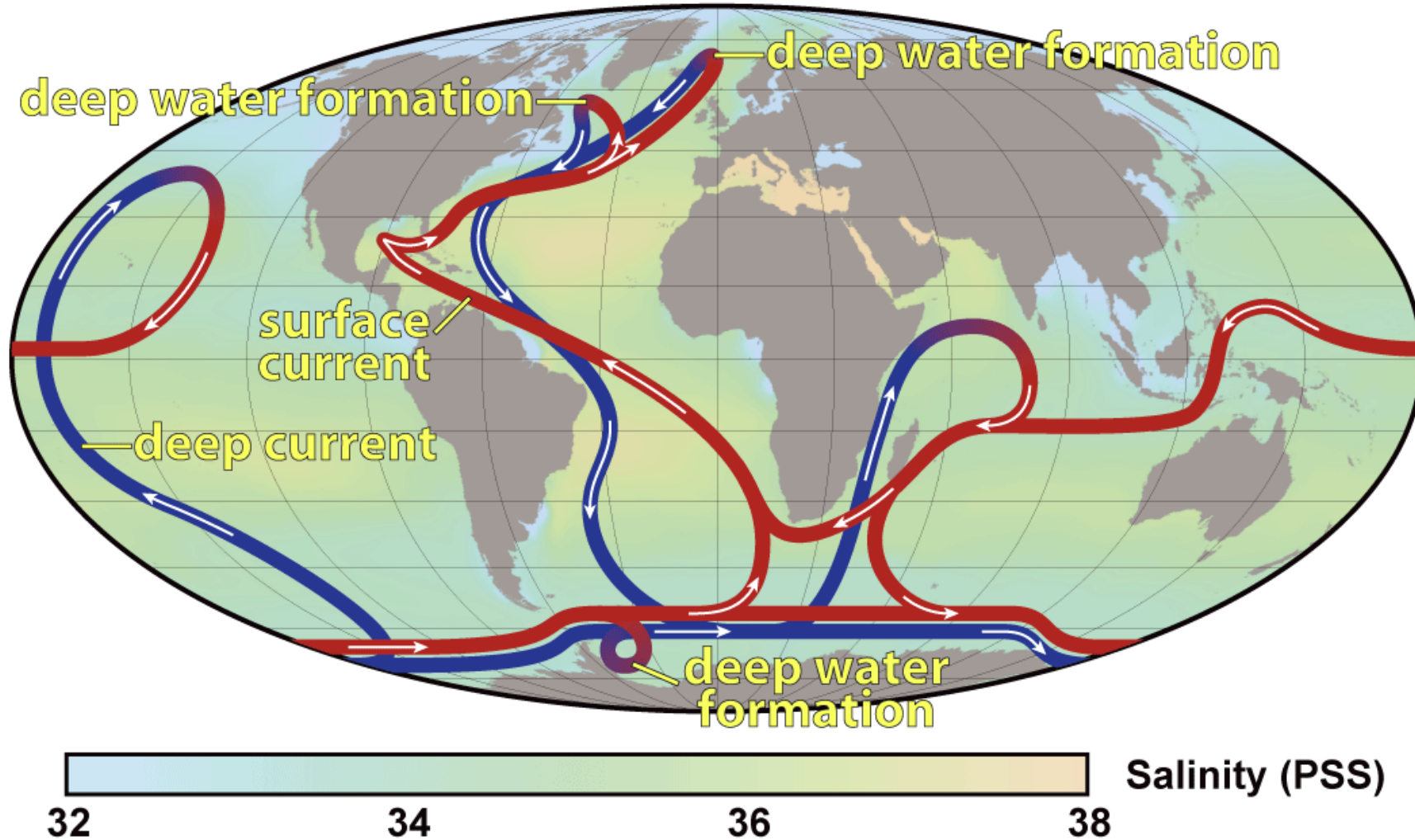
Στην Ωκεανογραφία, με βάση το βάθος που η μάζα βυθίζεται και εξισορροπεί την πυκνότητά της οι υδάτινες μάζες χαρακτηρίζονται ως:

- Επιφανειακές – Surface or Central (0-1 χλμ)
- Ενδιάμεσου βάθους – Intermediate (1-2 χλμ)
- Μεγάλου βάθους ή Πυθμιαίες – Deep or Bottom waters (> 2 χλμ)

# Σχηματικό Μοντέλο Θερμόαλης Ωκεάνιας Κυκλοφορίας



# Thermohaline Circulation



Οι ωκεάνιες λεκάνες είναι επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάσσουν υδάτινες μάζες.

Η επικοινωνία και η μεγάλου βάθους κυκλοφορία οφείλεται κυρίως στην βύθιση των υδάτινων μαζών στον Βόρειο Ατλαντικό.

Η θέρμανση των τροπικών περιοχών και η απώλεια θερμότητας των πολικών περιοχών, προκαλεί ένα οριζόντιο επιφανειακό ρεύμα που κινείται από το Κόλπο του Μεξικού προς τις πολικές περιοχές της Αρκτικής (Gulf Stream).

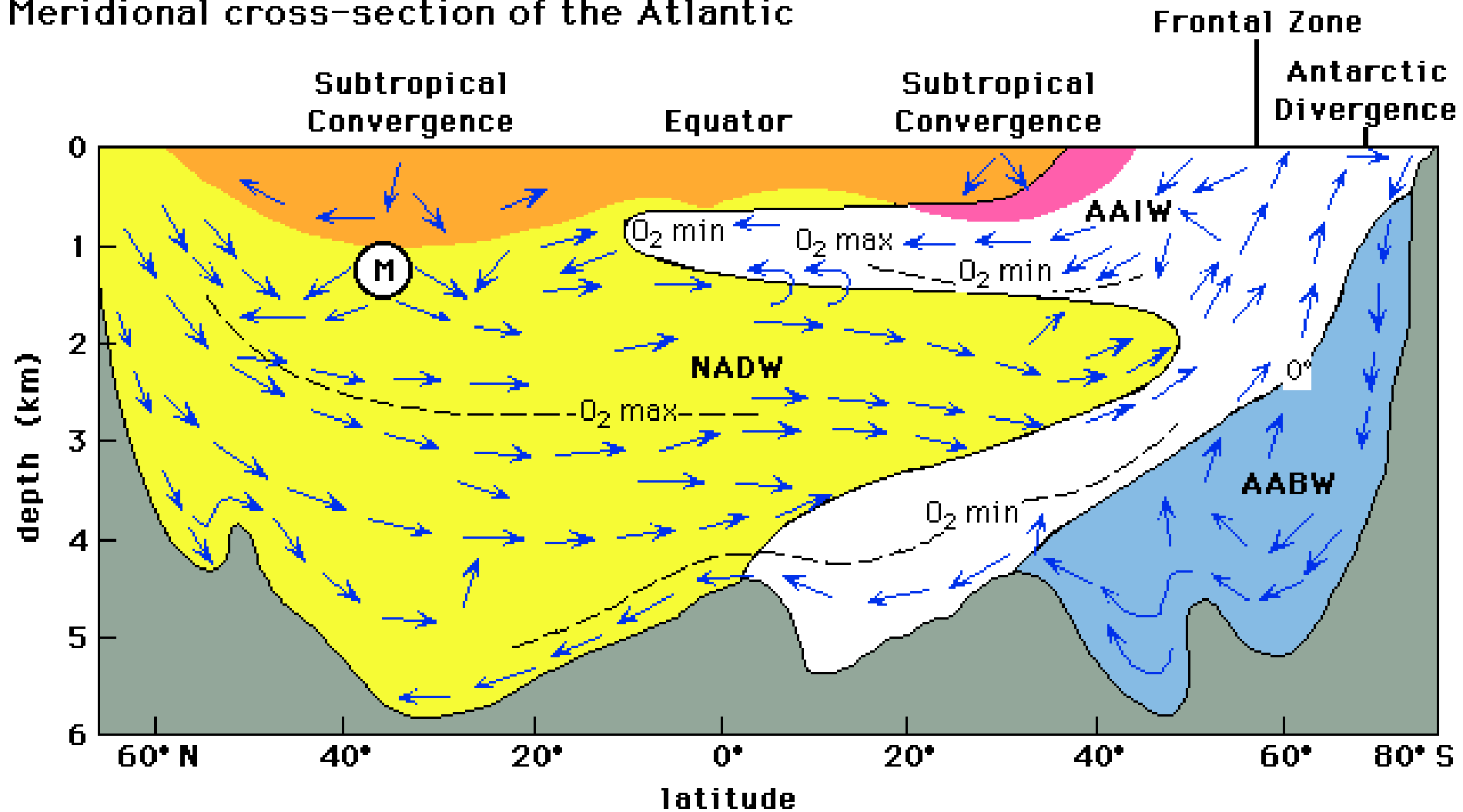
Μόλις φτάσει σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, το νερό ψύχεται και βυθίζεται, σχηματίζοντας το **NADW (North Atlantic Deep Water)**.

Το μεγάλης πυκνότητας αυτό νερό κινείται προς την Ανταρκτική, μέρος του κινείται ανοδικά (Antarctic Upwelling), ενώ το υπόλοιπο περιστρέφεται γύρω της και κινείται ανοδικά στο Βόρειο Ειρηνικό Ωκεανό, μετά από 1600 χρόνια.

## Global Ocean System

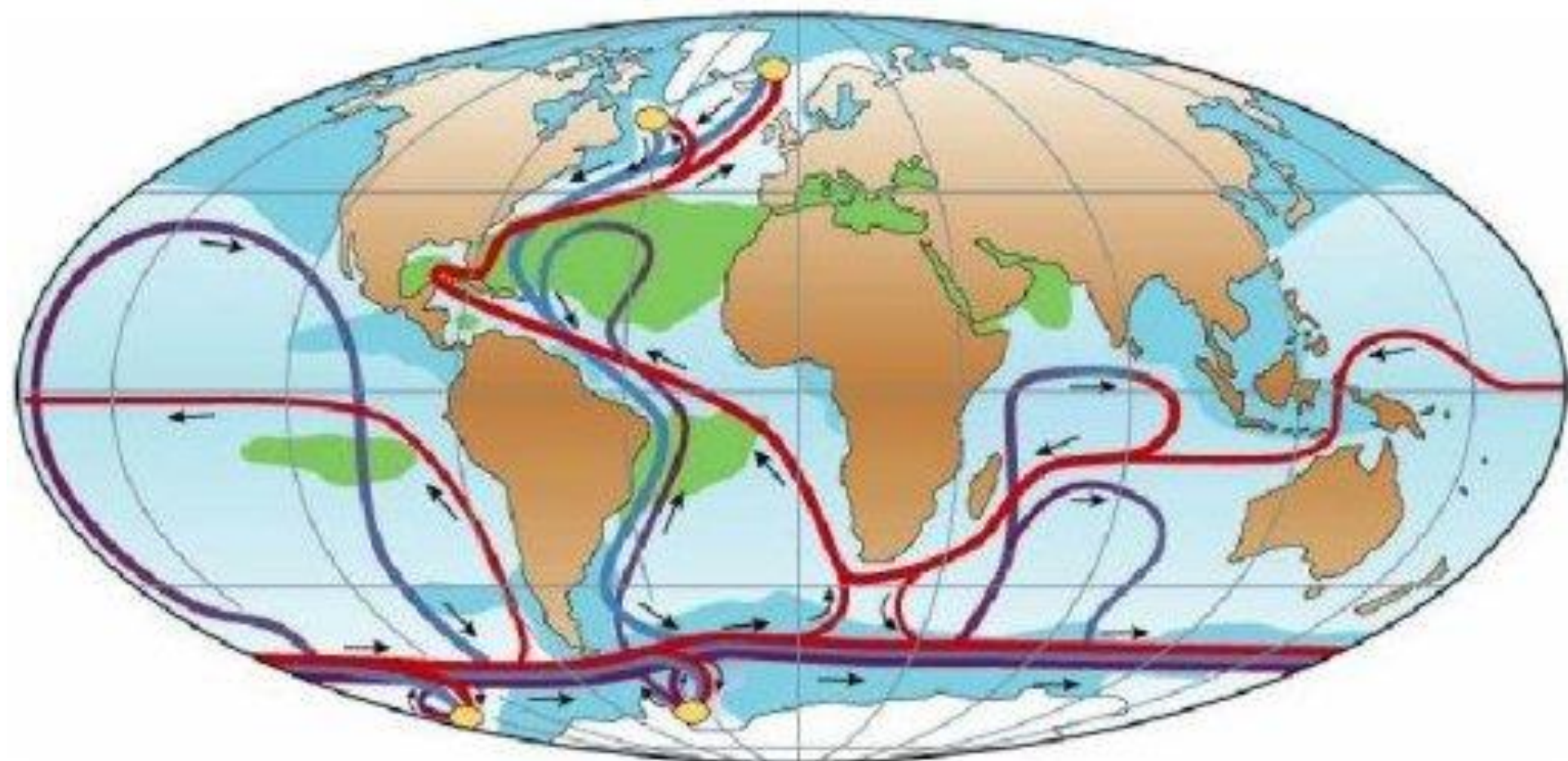


# Meridional cross-section of the Atlantic



**NADW** = North Atlantic Deep Water  
**AAIW** = Antarctic Intermediate Water  
**AABW** = Antarctic Bottom Water  
**M** = Inflow of water from the Mediterranean

salinity > 34.8  
 water warmer than 10°C  
 water cooler than 0°C  
 direction of water flow

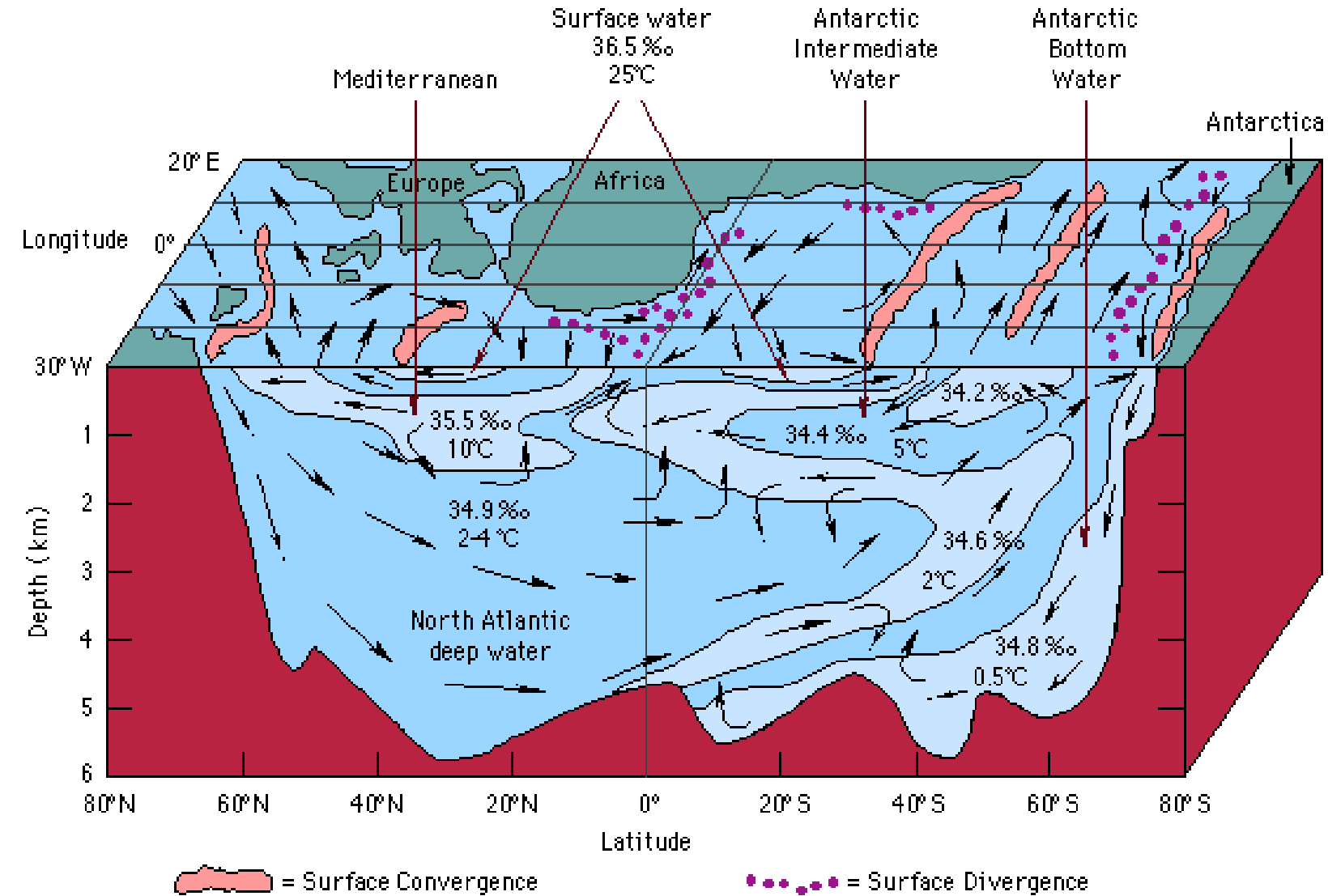


(Rahmstorf, Nature 2002)

— Surface  
— Deep  
— Bottom

■ Salinity > 36 ‰  
■ Salinity < 34 ‰  
● Deep Water Formation

# Anatomy of the Atlantic Ocean



Adapted from Duxbury, Alyn C. and Alison B. Duxbury. *An Introduction to the World's Oceans*. 1994 Wm. C. Brown Publishers.

## ΟΡΟΛΟΓΙΑ

### **Σχηματισμός Νερού Μεγάλου Βάθους (Deep water formation)**

Η βύθιση μίας υδάτινης μάζας λόγω αύξησης της πυκνότητάς της λόγω ψύξης ή αύξησης της αλατότητάς της.

Τέτοια διεργασία γίνεται σε πολύ λίγες περιοχές: the Greenland-Norwegian Sea, the Labrador Sea, the Mediteranean Sea, the Wedell Sea, the Ross Sea.

### **Ανάπτυξη Νερού Μεγάλου Βάθους (Spreading of deep waters),**

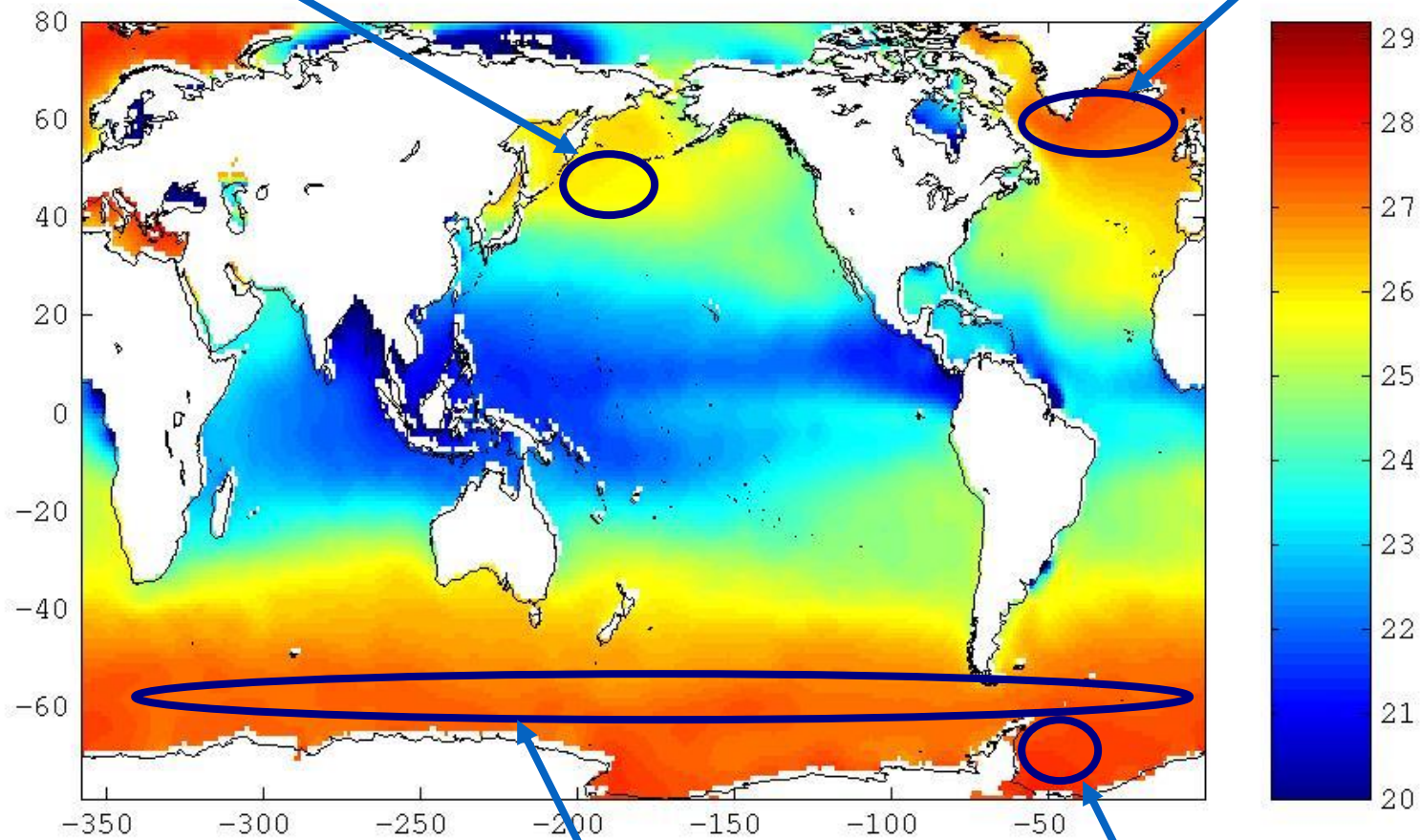
Είναι η οριζόντια κίνηση του νερού μεγάλου βάθους, όπως το **North Atlantic Deep Water**, NADW, and **Antarctic Bottom Water**, AABW.

**Upwelling** νερού μεγάλου βάθους: ανοδική κίνηση νερού μεγάλου βάθους.

# Σχηματισμός Νερού Μεγάλου Βάθους

Pacific Deep Waters

North Atlantic Deep Waters

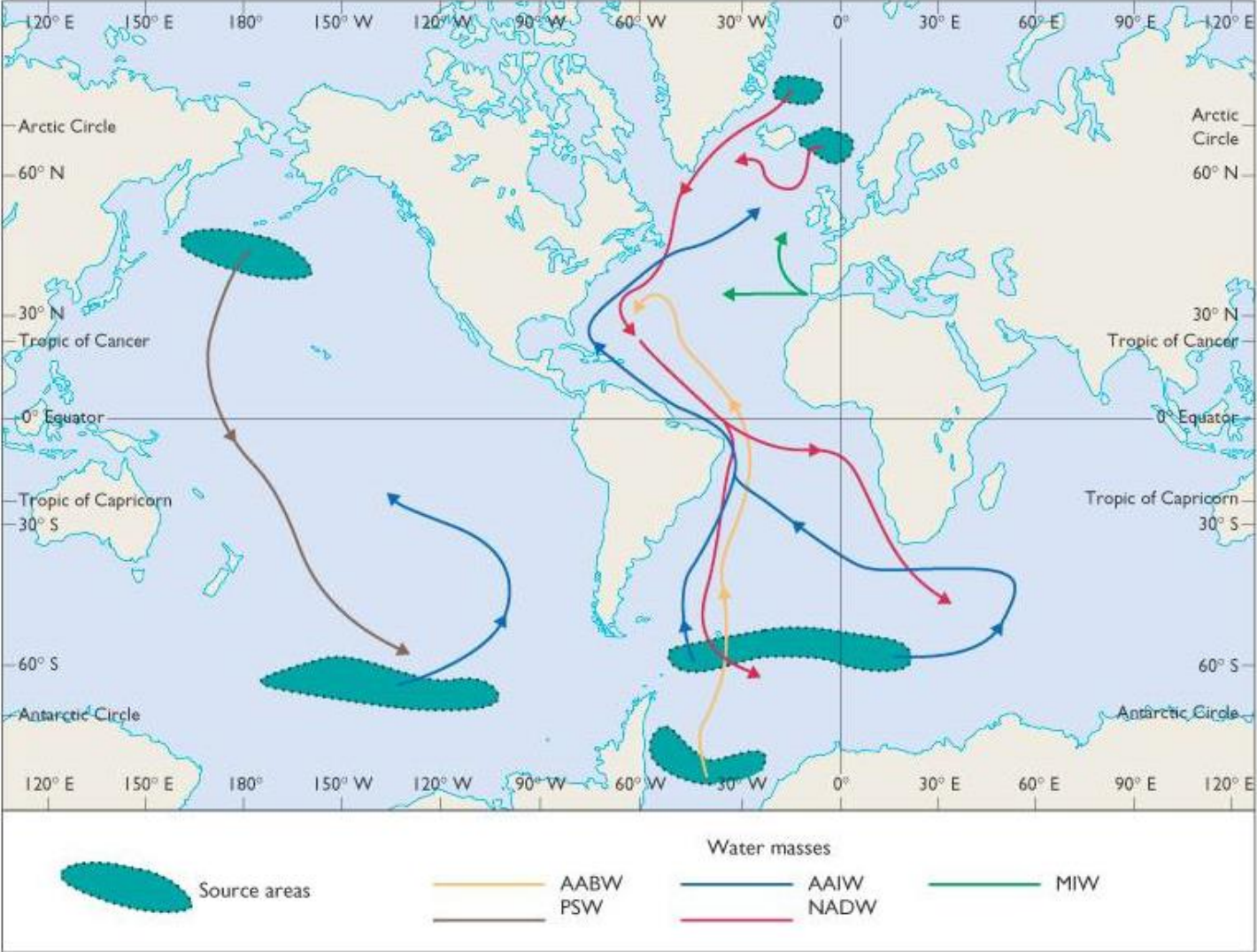


Antarctic Intermediate Waters

Antarctic Bottom Waters



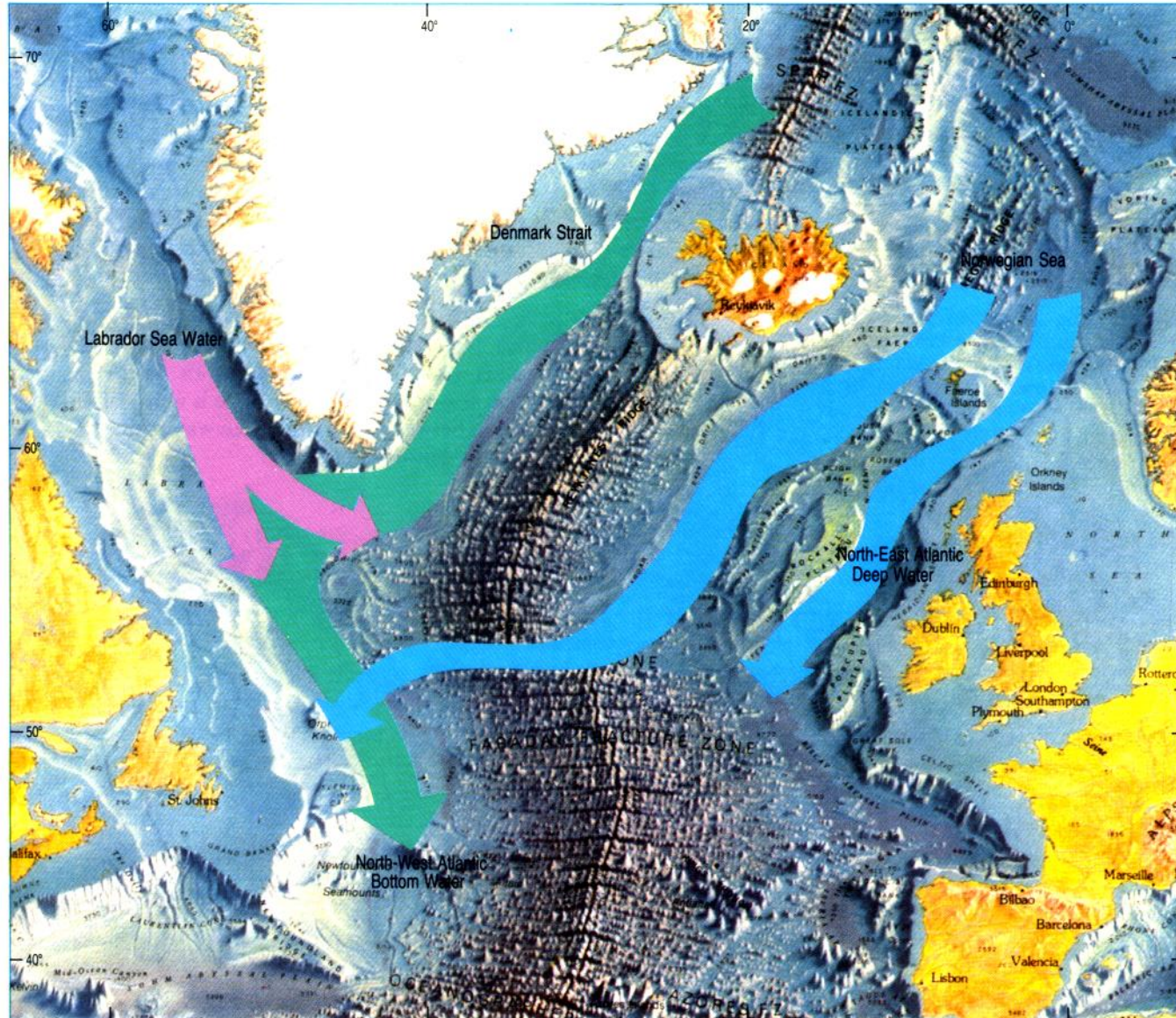
# Σχηματισμός Νερού Μεγάλου Βάθους και Οριζόντια Κυκλοφορία



(a) THERMOHALINE CIRCULATION

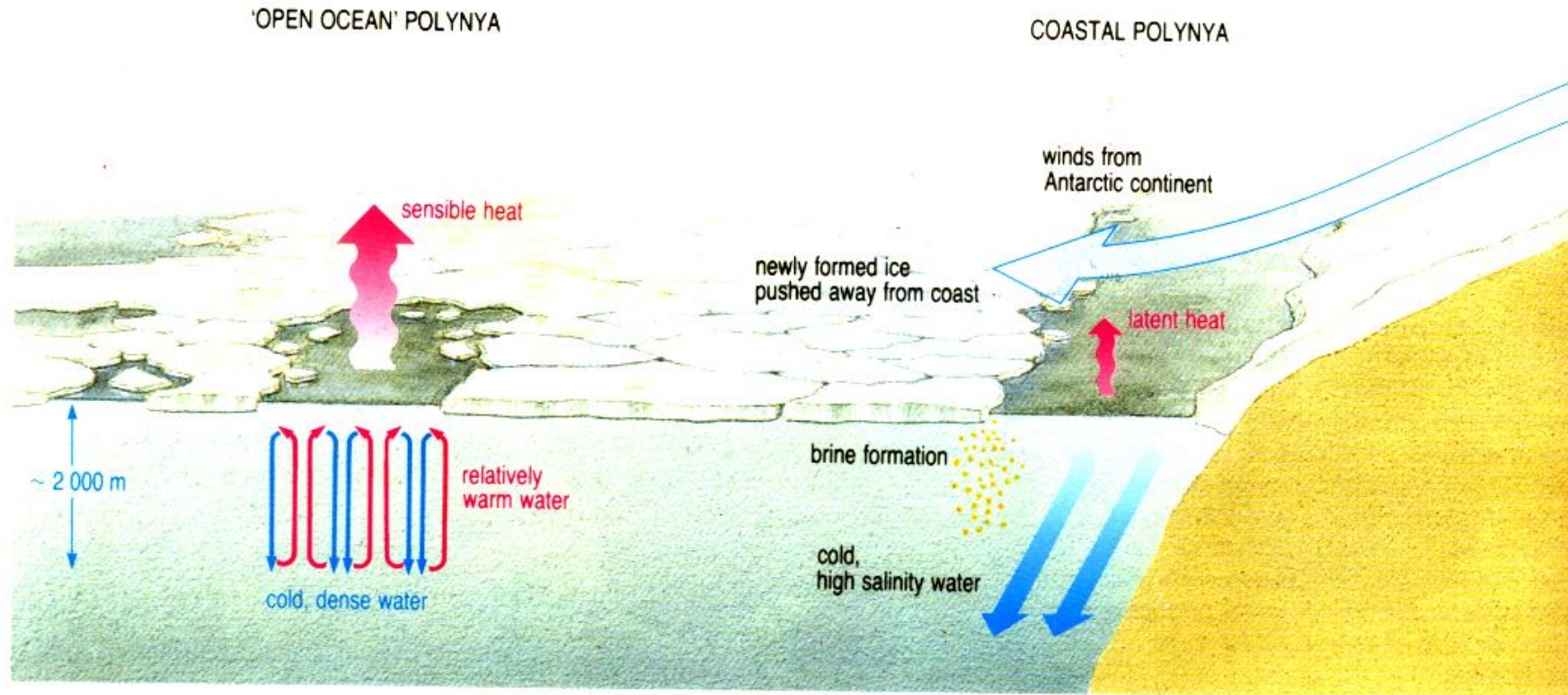


# NADW – Σχηματισμός και ροή πάνω από την Μεσο-ωκεάνια Ράχη



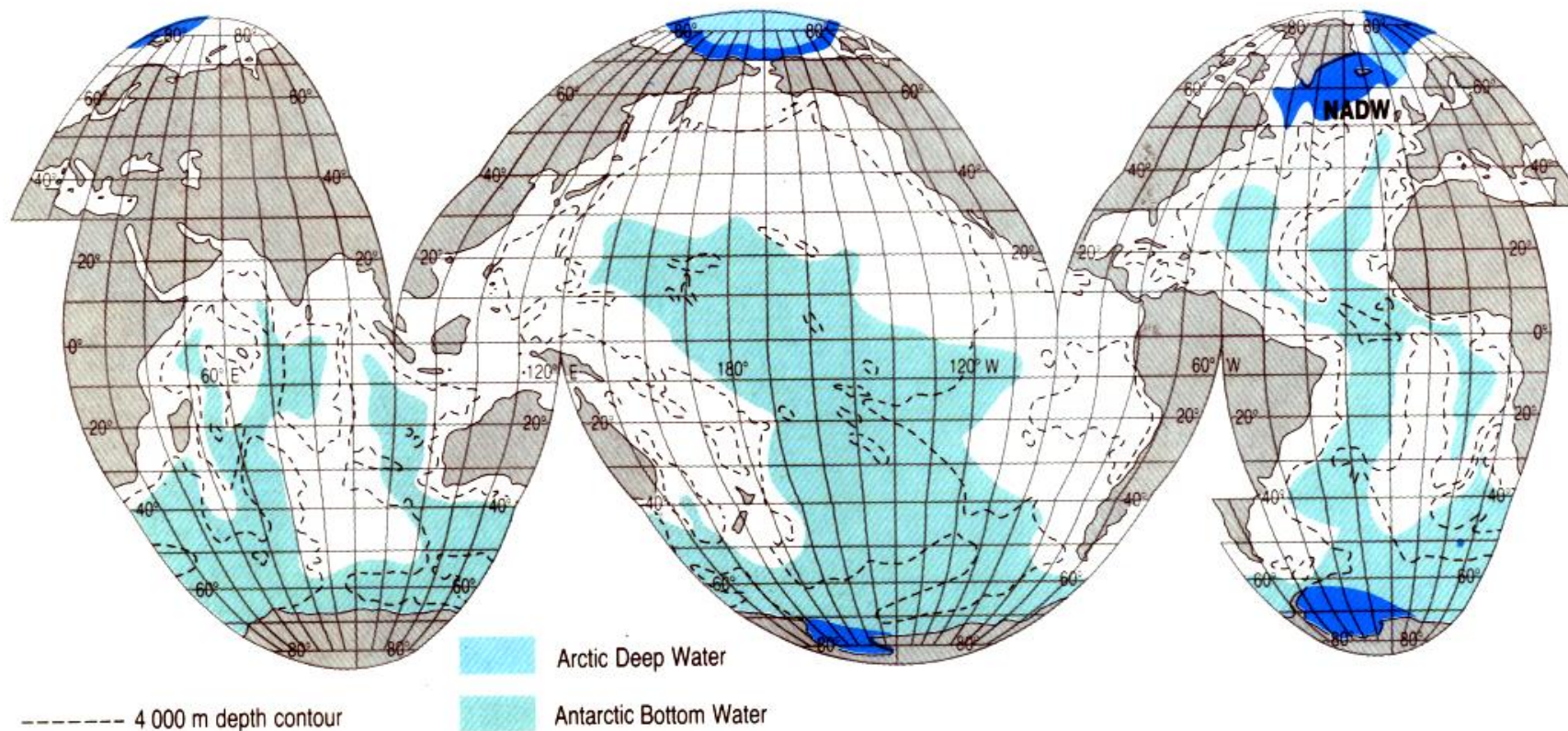


# Σχηματισμός Νερού Μεγάλου Βάθους Ανταρκτικής (AABW)





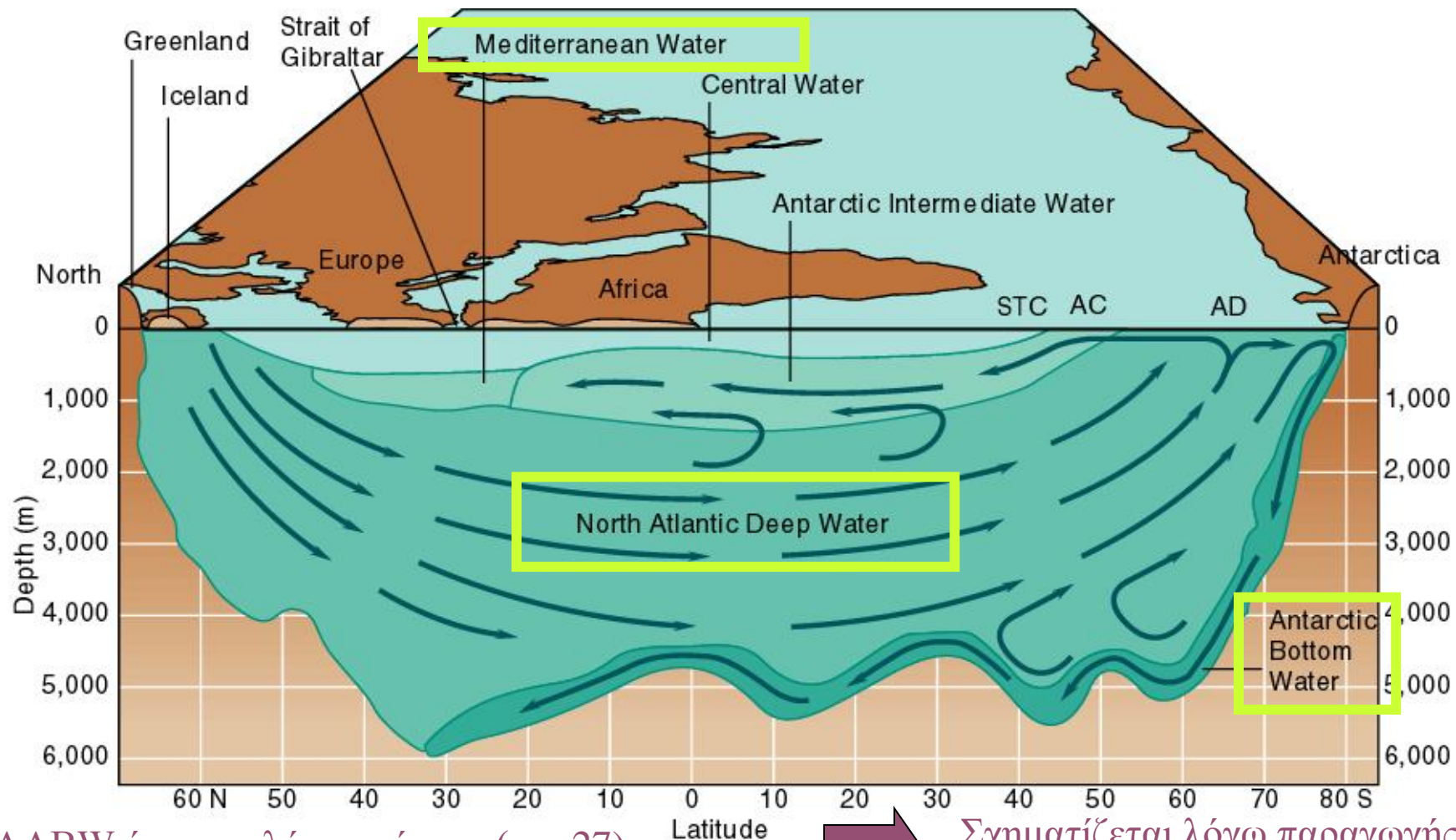
# Οριζόντια Κίνηση και Εξάπλωση Νερού Μεγάλου Βάθους Ανταρκτικής - AABW







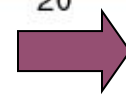
## ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΜΑΖΩΝ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ ΩΚΕΑΝΟΥ



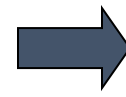
• AABW έχει υψηλή πυκνότητα ( $\sigma \sim 27$ ) και κινείται σε πολύ μεγάλα βάθη

• NADW πιο πάνω, καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα του μεγάλου βάθους Ατλαντικού

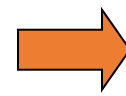
• MOW υψηλής αλατότητας αλλά όχι τόσο πυκνό νερό – εξαπλώνεται σε ενδιάμεσα βάθη



Σχηματίζεται λόγω παραγωγής πάγου ==> αύξηση αλατότητας



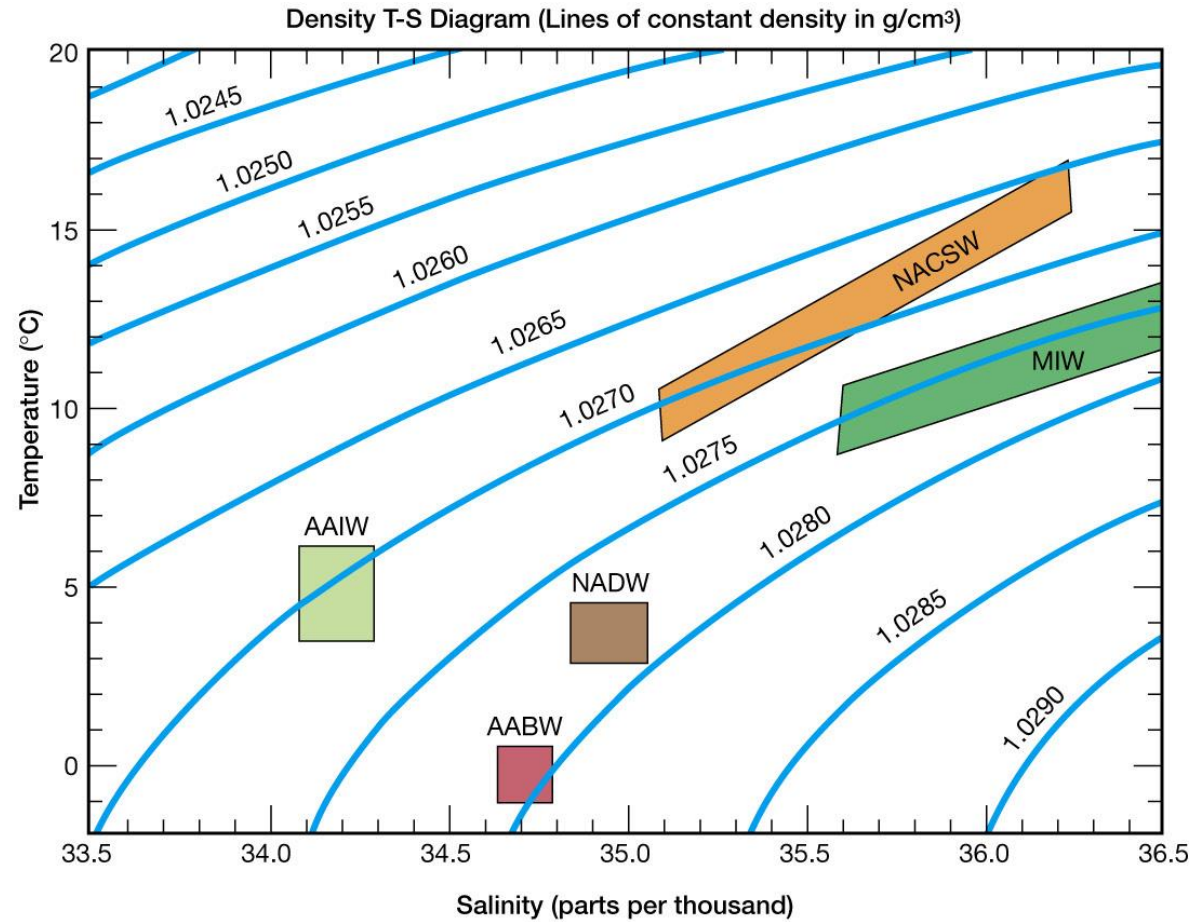
Νερό υψηλής αλατότητας κινείται νότια



Σχηματίζεται λόγω εξάτμισης ==> ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ

# Ωκεάνιες Υδάτινες Μάζες στο Διάγραμμα T-S

TS Diagrams



North Atlantic Water Masses:

-  (AAIW) Antarctic Intermediate Water
-  (AABW) Antarctic Bottom Water
-  (NADW) North Atlantic Deep Water
-  (NACSW) North Atlantic Central Surface Water
-  (MIW) Mediterranean Intermediate Water

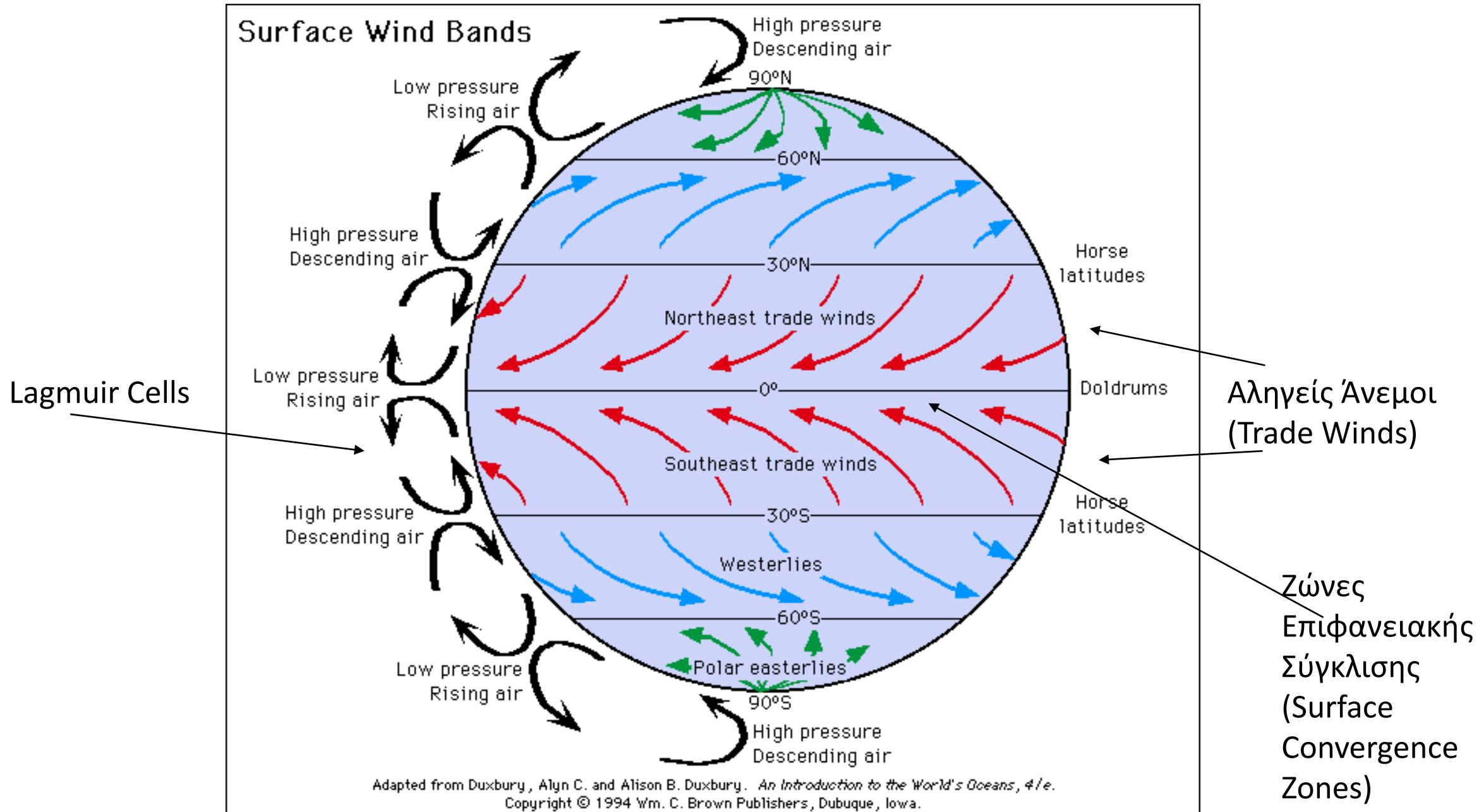
# Θερμόαλη Κυκλοφορία – Γιατί είναι σημαντική?

- Κλίμα / Κλιματική Αλλαγή:
  - Μεταφορά θερμότητας από τους Τροπικούς προς τους Πόλους – διατήρηση κλίματος
  - Η μεταφορά είναι ανάλογη της βαθμίδας πλεονάσματος / ελλείματος μεταξύ Τροπικών – Πολικών περιοχών
- Ωκεάνια Ανάμειξη
  - Μεταφέρει υδάτινες μάζες και αναμιγνύει τον ωκεανό από την επιφάνεια ως τον πυθμένα (~1500 χρόνια)
  - Αναμιγνύει και αναδιανέμει το CO<sub>2</sub>, την θερμότητα, το διαλυμένο οξυγόνο και άλλες ουσίες

## Ανεμογενής Κυκλοφορία (Wind-driven Circulation)

Αφορά κυρίως τα ανώτερα στρώματα του ωκεανού, και συνεπώς είναι μία οριζόντια κυκλοφορία, σε αντίθεση με την θερμόαλη.

Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στη κίνηση του επιφανειακού νερού λόγω υπερκείμενης κίνησης του ανέμου, σαν αποτέλεσμα της τριβής μεταξύ των δύο ρευστών.

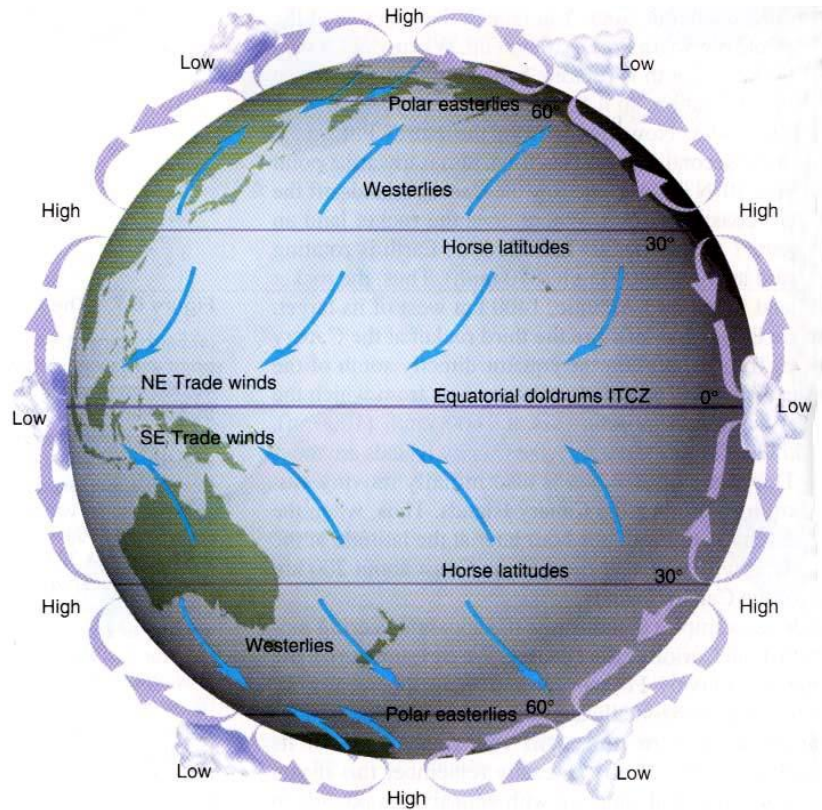


- Ο Άνεμος που ενεργεί στην επιφάνεια της θάλασσας, προκαλεί τη μερική μεταφορά της κινητικής του ενέργειας στο νερό.
- Η ενέργεια αυτή κινεί το νερό σχεδόν προς την διεύθυνση του ανέμου.
- Όταν ο άνεμος ενεργεί στον ωκεανό για μεγάλη χρονική διάρκεια, τα προκαλούμενα ρεύματα έχουν ένταση 1-3% της έντασης του ανέμου.
  - Έτσι για άνεμο 20 kn, τα ωκεάνια ρεύματα είναι 0.2 kn έως 0.6 kn.
  - Σημειώνουμε ότι  $1\text{knot} \approx 0.5\text{m/s}$
- Τα ανεμογενή ρεύματα μειώνουν την έντασή τους με το βάθος. Γενικά περιορίζονται στη κίνηση του επιφανειακού στρώματος έως το πυκνοκλινές – 100 to 200 m.

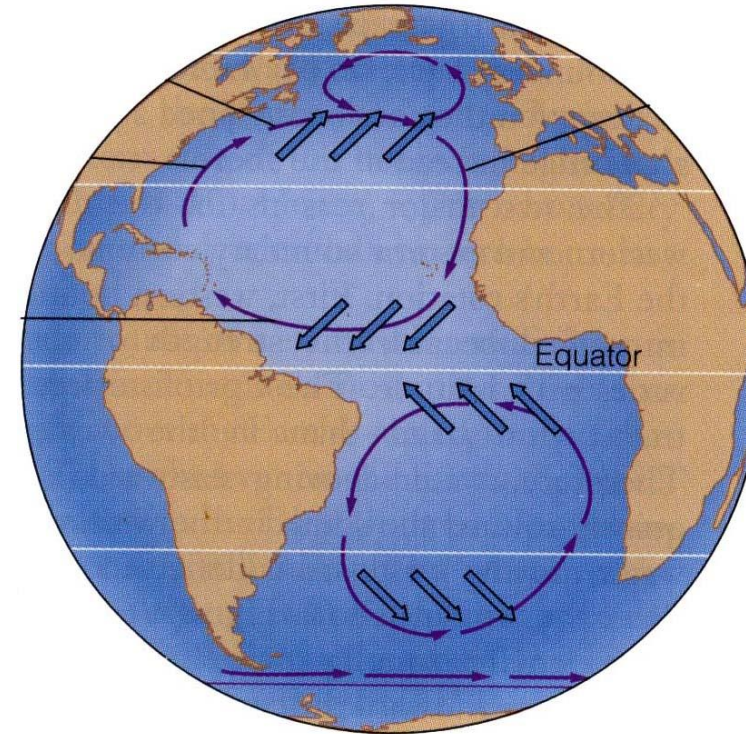


Στο Βόρειο Ημισφαίριο οι άνεμοι «σπρώχνουν» το νερό προς τα δεξιά της κίνησής τους  
Στο Νότιο Ημισφαίριο οι άνεμοι «σπρώχνουν» το νερό προς τα αριστερά της κίνησής τους

## Άνεμοι



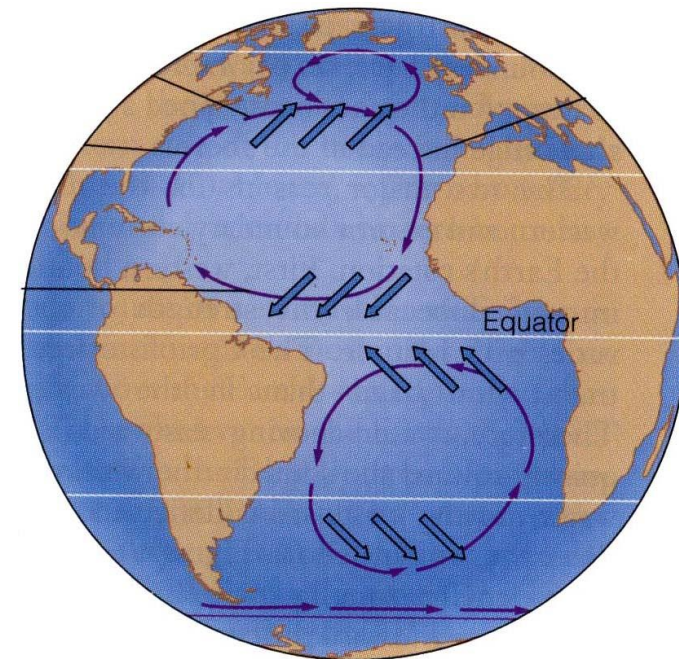
## Επιφανειακά Ανεμογενή Ρεύματα



Έτσι, παράγονται τα επιφανειακά ανεμογενή ρεύματα. Ο περιορισμός κίνησης των ρευμάτων λόγω των Ηπείρων προκαλεί περιστροφικές κινήσεις στους Ωκεανούς – **περιδινήσεις (gyres)**

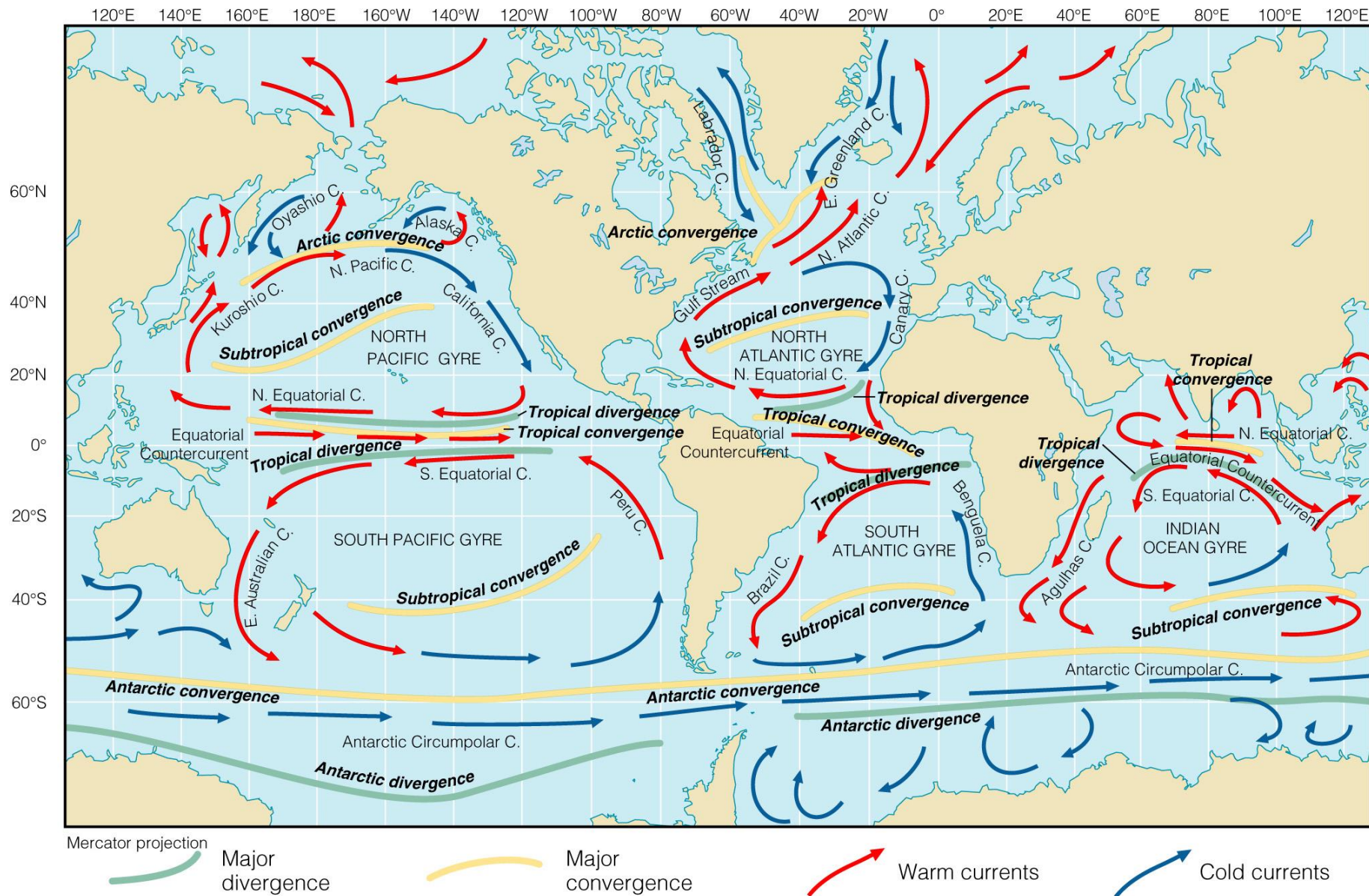
# Σχηματισμός Κυκλώνων – Αντι-κυκλώνων

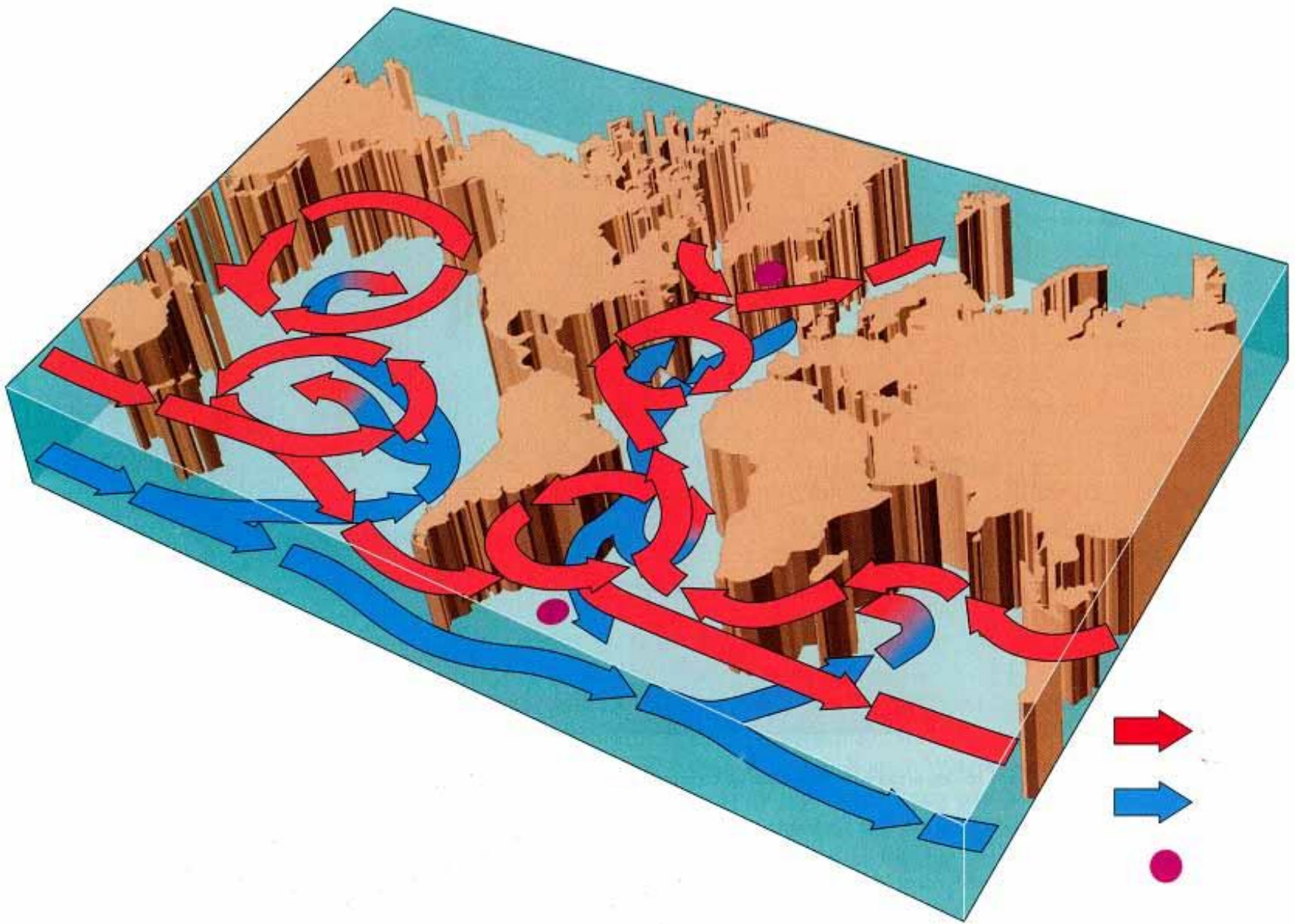
- Στους τροπικούς, τα επιφανειακά ρεύματα κινούνται προς τα δυτικά από τους ΒΑ και ΝΑ αληγείς ανέμους.
- Εμποδίζονται στη κίνησή τους από τα περιθώρια των ηπείρων και κινούνται προς υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη.
- Στο Νότιο Ημισφαίριο, τα δυτικά κινούμενα ρεύματα εκτρέπονται νότια ενώ στο Βόρειο Ημισφαίριο εκτρέπονται βόρεια.
- Στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη, οι δυτικοί άνεμοι κινούν τα ρεύματα ανατολικά.
- Σχηματίζονται δύο μεγάλες περιδινήσεις (gyres), μία στο Β. Ημισφαίριο κι μία στο Ν. Ημισφαίριο, τόσο στον Ατλαντικό όσο και στον Ειρηνικό.
- Στο Β. Ημισφαίριο → αντικυκλωνικό σύστημα (anticyclonic circulation) → ωρολογιακή περιστροφή (Βόρειος Ατλαντικός – Βόρειος Ειρηνικός Ωκεανός).
- Στο Νότιο Ημισφαίριο → αντικυκλωνικό σύστημα (anticyclonic circulation) → αντι-ωρολογιακή περιστροφή (Νότιος Ατλαντικός, Νότιος Ειρηνικός, Ινδικός Ωκεανός).





# Κύρια Ρεύματα του Παγκόσμιου Ωκεανού

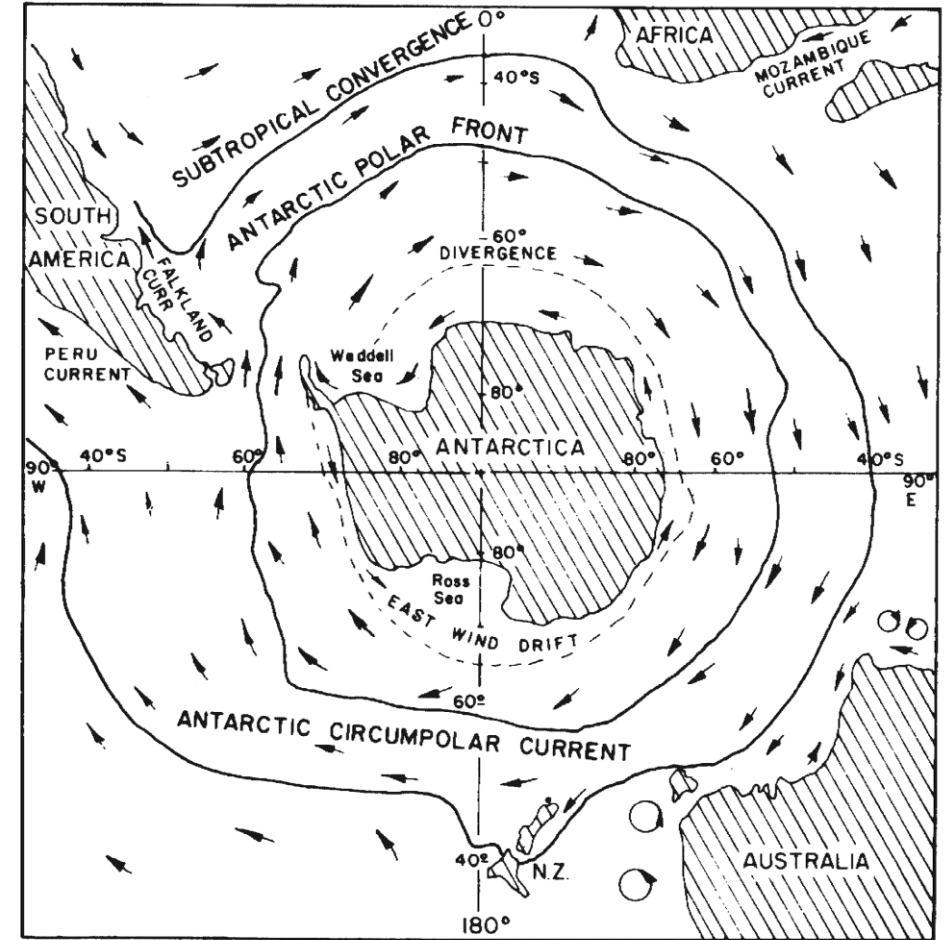






## A. Νότιος Ωκεανός (Southern Ocean)

- Δεν διαθέτει βόρειο όριο διότι συνδέεται με τους άλλους ωκεανούς.
- Επικοινωνεί με τους άλλους ωκεανούς (Ατλαντικός, Ειρηνικός, Ινδικός).
- Κίνηση ρευμάτων ως προς το γήινο άξονα περιστροφής.
- Ισχυρό ρεύμα ανατολικής διεύθυνσης (Antarctic Circumpolar Current – ACC) → ταχύτητα 4-15 m/s και μεταφορά μάζας 110 Sv (1 Sverdrup =  $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- Μόνιμη παρουσία δύο ωκεάνιων μετώπων: α) Antarctic Polar Front (APF) όπου το νερό του Νότιου Ωκεανού βυθίζεται κάτω από το νερό του Ατλαντικού, Ινδικού και Ειρηνικού, β) Subtropical Convergence, όπου η συνεχώς αυξανόμενη θερμοκρασία επαναφέρει το νερό του Νότιου Ωκεανού στην επιφάνεια.
- Δύο μόνιμες ζώνες κυκλοφορίας: α) Antarctic Zone (από Ανταρκτική έως APF) και β) SubAntarctic Zone (από το APF έως το Subtropical Convergence).



## A. Νότιος Ωκεανός (Southern Ocean)

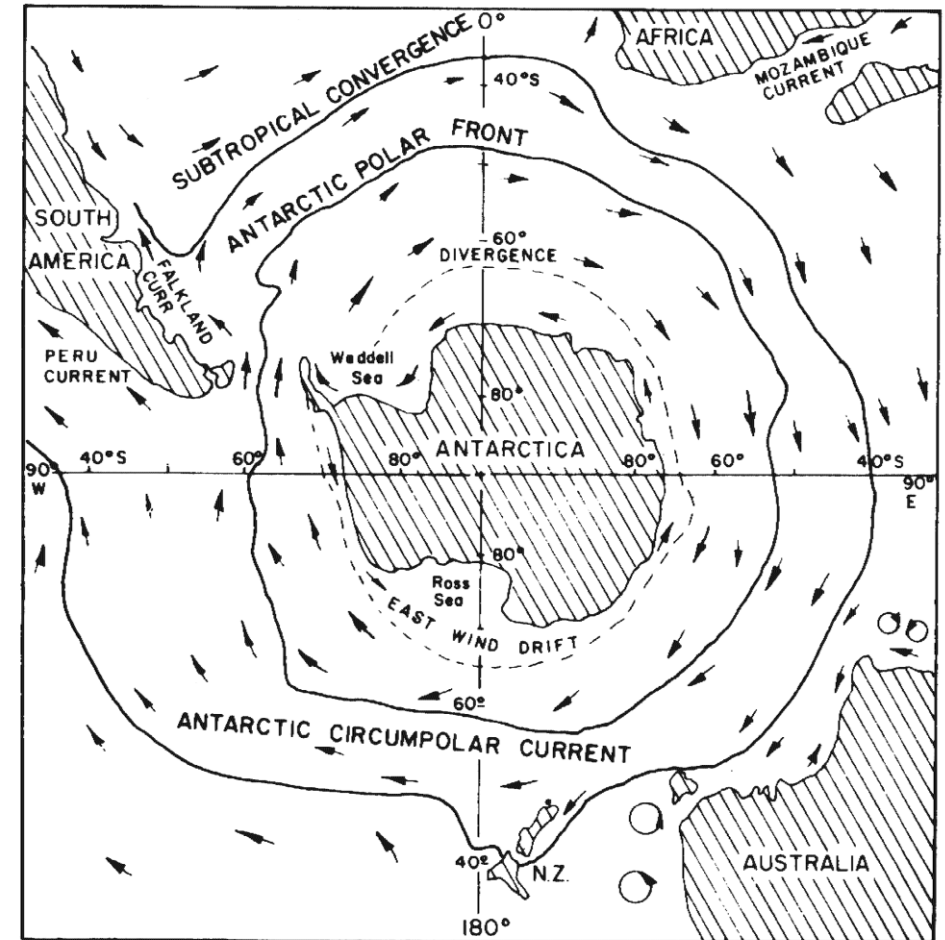
➤ Διακλαδώσεις και βόρειες ροές: α) στον Ειρηνικό (ρεύμα Περού), β) στον Ατλαντικό (Falkland Current) και γ) στον Ινδικό (μεταξύ Αυστραλίας και Ν. Ζηλανδίας).

➤ Υδάτινες μάζες:

A) Antarctic Surface Water από 0 – 300 μ (T = -1.9°C, S = 34.5)

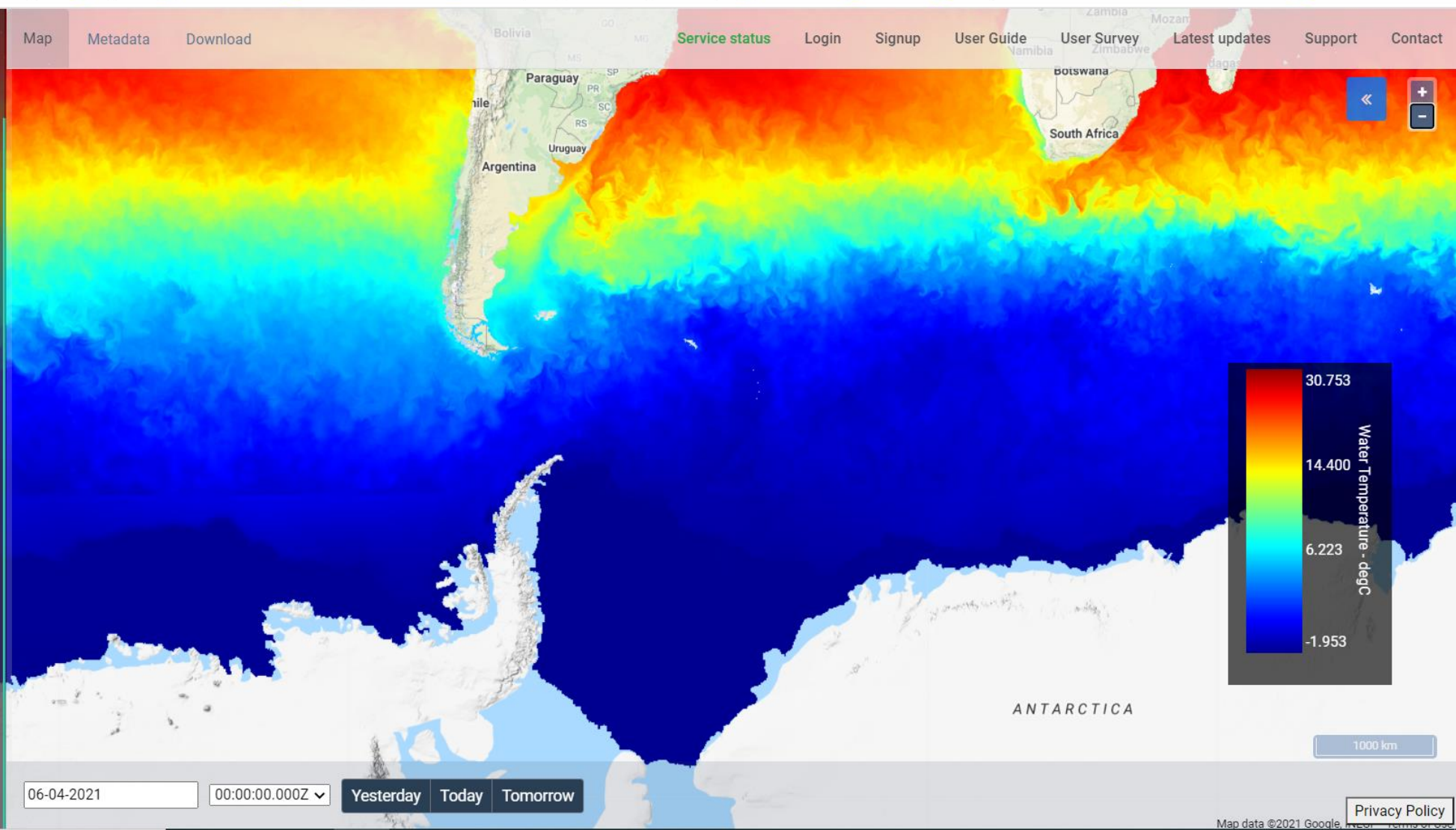
B) Antarctic Circumpolar Current από 300 – 4000 μ (T = 0.5°C, S = 34.7)

Γ) Antarctic Bottom Water από 4000 – πυθμένα (T = -2.0°C, S = 34.8) →  $\sigma = 27.96$  (η υψηλότερη σε όλους τους ωκεανούς)



**Marinomica**

- Home
- Catalogue
  - Enter text to filter
  - Time series data
    - Tide gauges
  - Map data layers Unselect all
  - Parameters
    - Chlorophyll
    - Currents
    - Nutrients
    - Oxygen
    - Phytoplankton
    - Salinity
      - Salinity - Historical, Today and Forecast - HYCOM - Model - Glo
      - Salinity - Historical, Today and Forecast - CMEMS - Model - Med

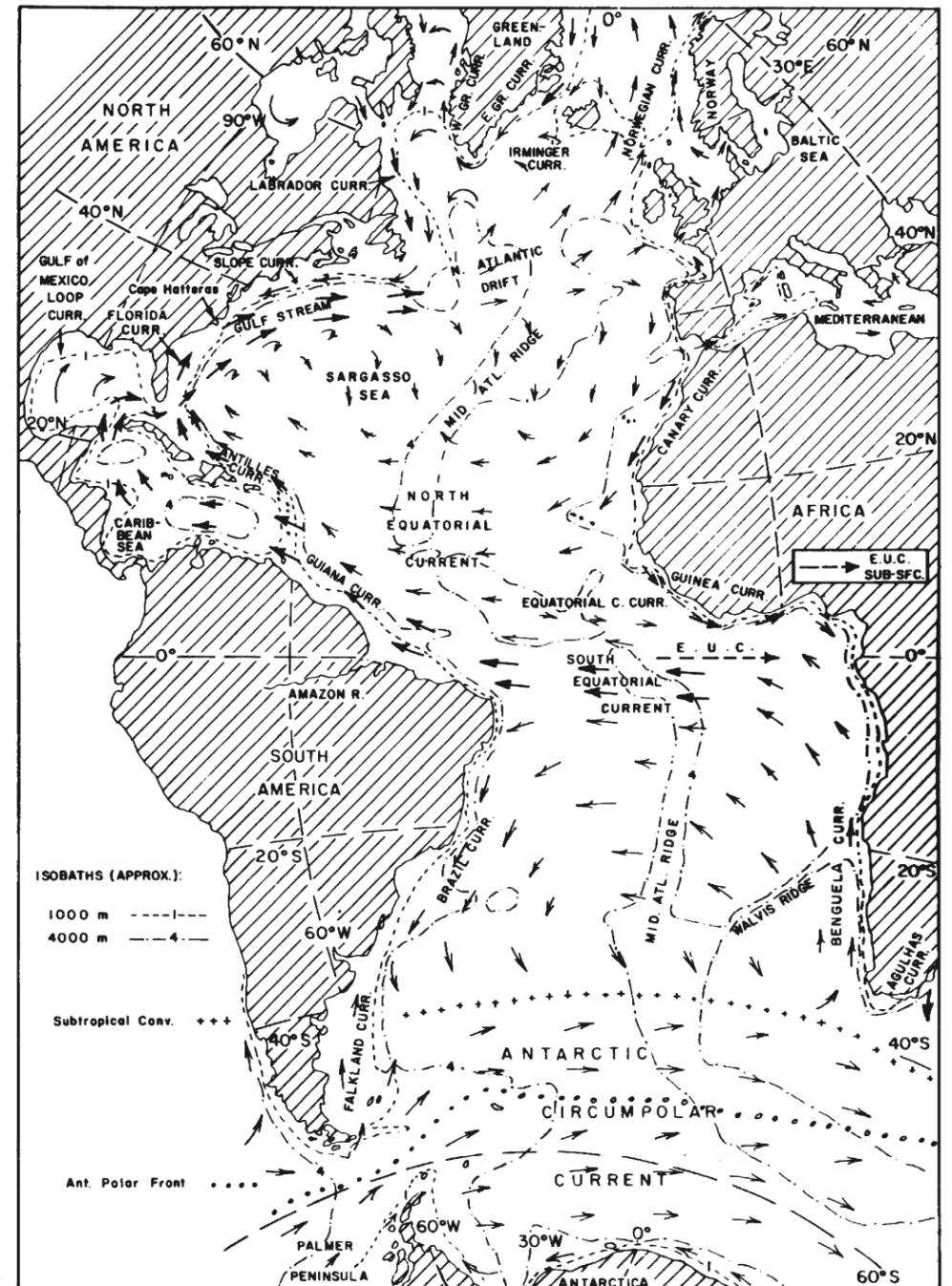


## Β. Ατλαντικός Ωκεανός

Η επιφανειακή κυκλοφορία του Ατλαντικού Ωκεανού αποτελείται από δύο αντί-κυκλωνικά συστήματα (gyres), ένα με ωρολογιακή φορά στο Βόρειο Ατλαντικό και ένα με αντί-ωρολογιακή φορά στο Νότιο Ατλαντικό.

Η κυκλοφορία στο Βόρειο Ατλαντικό ξεκινά από το Βόρειο Ισημερινό Ρεύμα (North Equatorial Current) το οποίο προκαλείται από τους Βόρειο-ανατολικούς ανέμους

Μέρος αυτής της ροής κινείται βόρειο-δυτικά ως Antilles Current, ενώ ένα άλλο τμήμα κινείται ανάμεσα στα νησιά της Καραϊβικής και εισέρχεται στο Κόλπο του Μεξικού. Από το Κόλπο του Μεξικού το νερό κινείται βόρεια μεταξύ Φλώριδας και Κούβας ως το Florida Current.

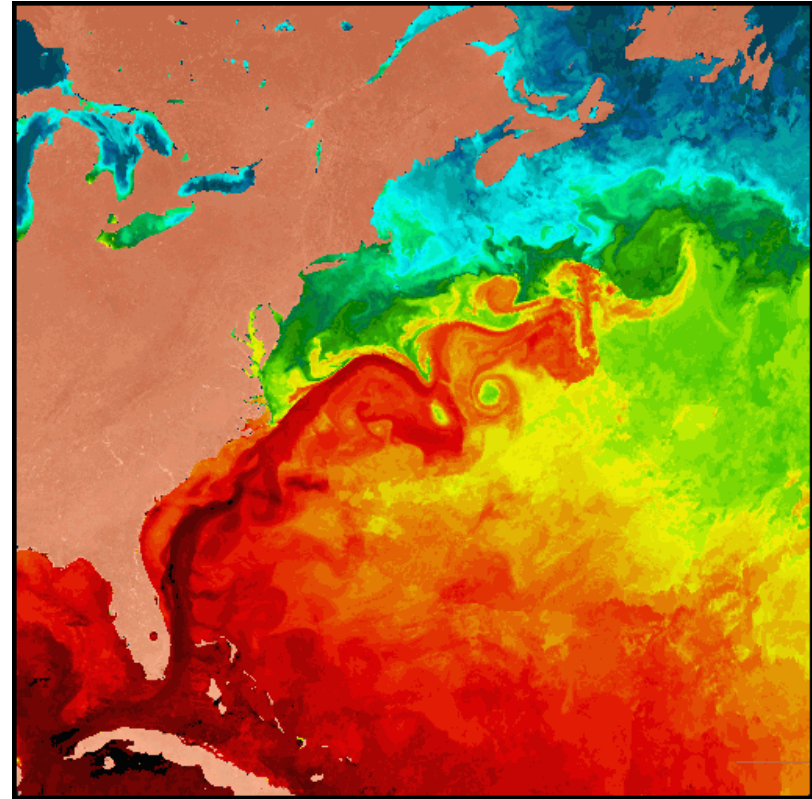




## Β. Ατλαντικός Ωκεανός

Στις ακτές της Φλώριδα, το ρεύμα αυτό ενώνεται με το ρεύμα των Αντιλλών και σχηματίζει το Gulf Stream. Το Ρεύμα του Κόλπου κινείται βόρειο-ανατολικά προς τη Γροιλανδία στους 40°Β.

Από εκεί η ροή που κινείται βόρειο-ανατολικά ονομάζεται Ρεύμα Βόρειου Ατλαντικού (North Atlantic Current) που κινείται νότια προς τις ακτές της Ισπανίας και της Βόρειας Αφρικής για να ολοκληρωθεί έτσι το North Atlantic Gyre.



LecturesNEW - OneDrive | Μόθμα 8.pptx - Microsoft Powe | Μόθμα 6.pptx - Microsoft Powe | Marinomica

marinomica.com/#

Εφαρμογές | Emails | Πανεπιστήμιο | Papers | Online HDDs | FTP | YouTube | Rlanguage | ECOST | Σύνδεση | Databases | Quandl | Abaqus | Άλλοι σελιδοδείκτες

Map | Metadata | Download | Service status | Login | Signup | User Guide | User Survey | Latest updates | Support | Contact

Home | Catalogue

Enter text to filter

Time series data

Tide gauges

Map data layers | Unselect all

Parameters

- Chlorophyll
- Currents
- Nutrients
- Oxygen
- Phytoplankton
- Salinity
  - Salinity - Historical, Today and Forecast - HYCOM - Model - Glo
  - Salinity - Historical, Today and Forecast - CMEMS - Model - Med

06-04-2021 | 00:00:00.000Z | Yesterday | Today | Tomorrow

Water Temperature - degC

30.753

14.400

6.223

-1.953

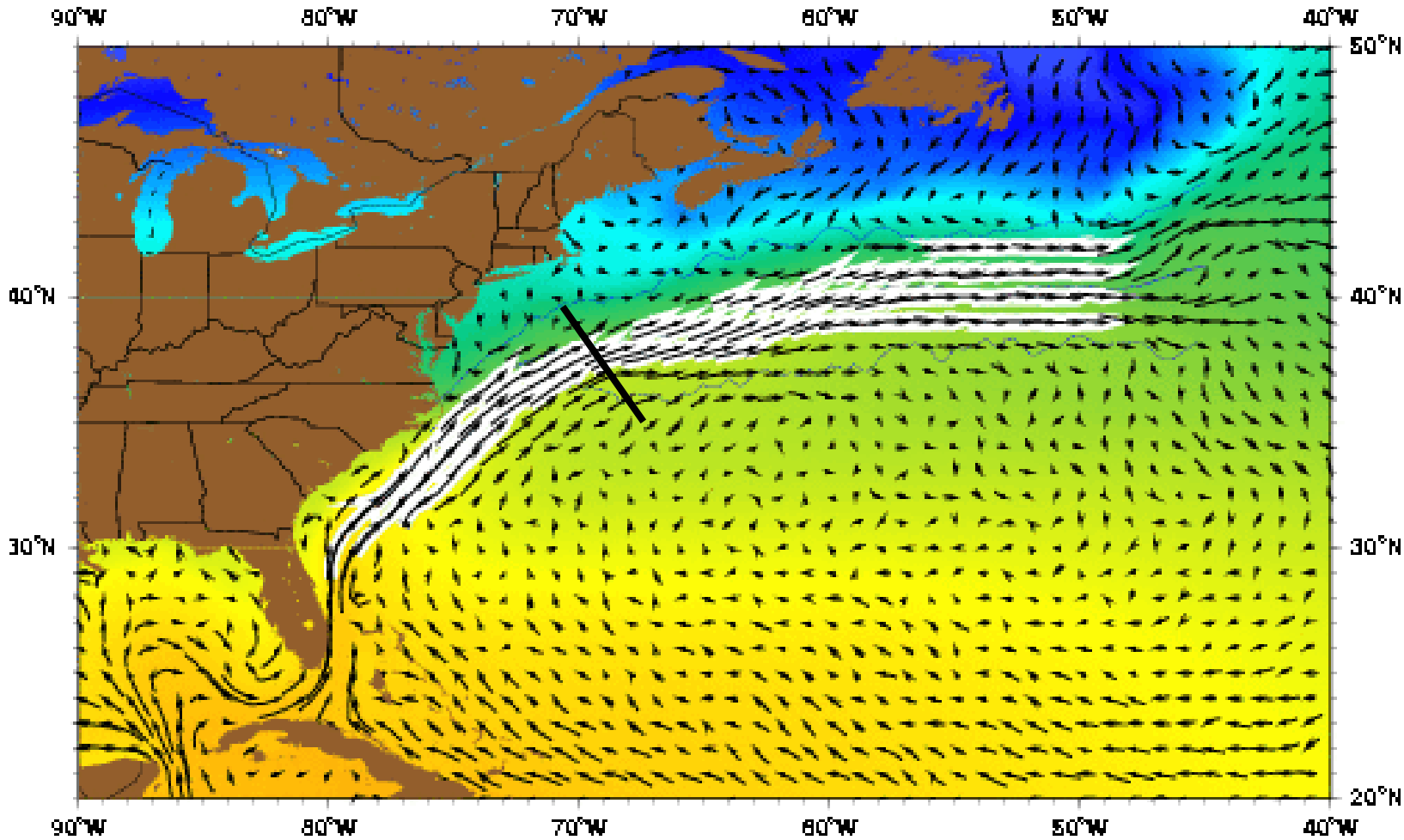
2000 km

Map data ©2021 Google | Privacy Policy

Πληκτρολογήστε εδώ για αναζήτηση

2:24 μμ | 6/4/2021

# Gulf Stream



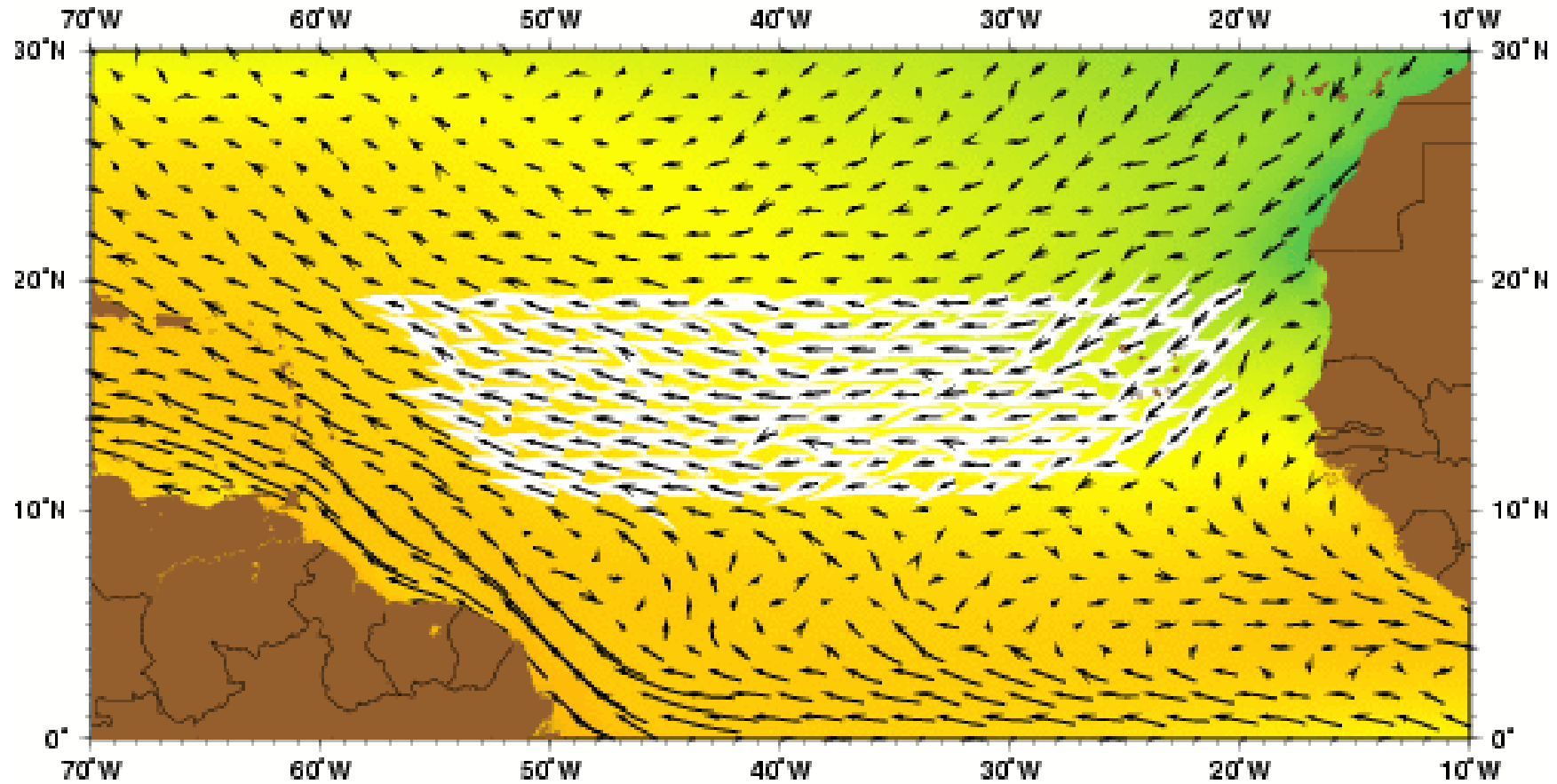
Ροή Όγκου: Γινόμενο της ταχύτητας ροής επί το εμβαδόν της επιφάνειας κάθετης στην ροή  
 $Q_V = U A \text{ (m}^3/\text{s)}$

Ροή Μάζας: Γινόμενο της ταχύτητας ροής επί την πυκνότητα υδάτινης μάζας επί το εμβαδόν της επιφάνειας κάθετης στην ροή  
 $Q_M = \rho U A \text{ (kg/s)}$

Ροή Άλατος: Γινόμενο της ταχύτητας ροής επί την αλατότητα υδάτινης μάζας επί το εμβαδόν της επιφάνειας κάθετης στην ροή  
 $Q_M = S U A \text{ (ppt m}^3/\text{s)}$

Ροή μάζας ρύπου: Γινόμενο της ταχύτητας ροής επί την συγκέντρωση ρύπου επί το εμβαδόν της επιφάνειας κάθετης στην ροή,  $Q_C = C U A \text{ (kg/s)}$

# North Equatorial Current





## B. Ατλαντικός Ωκεανός

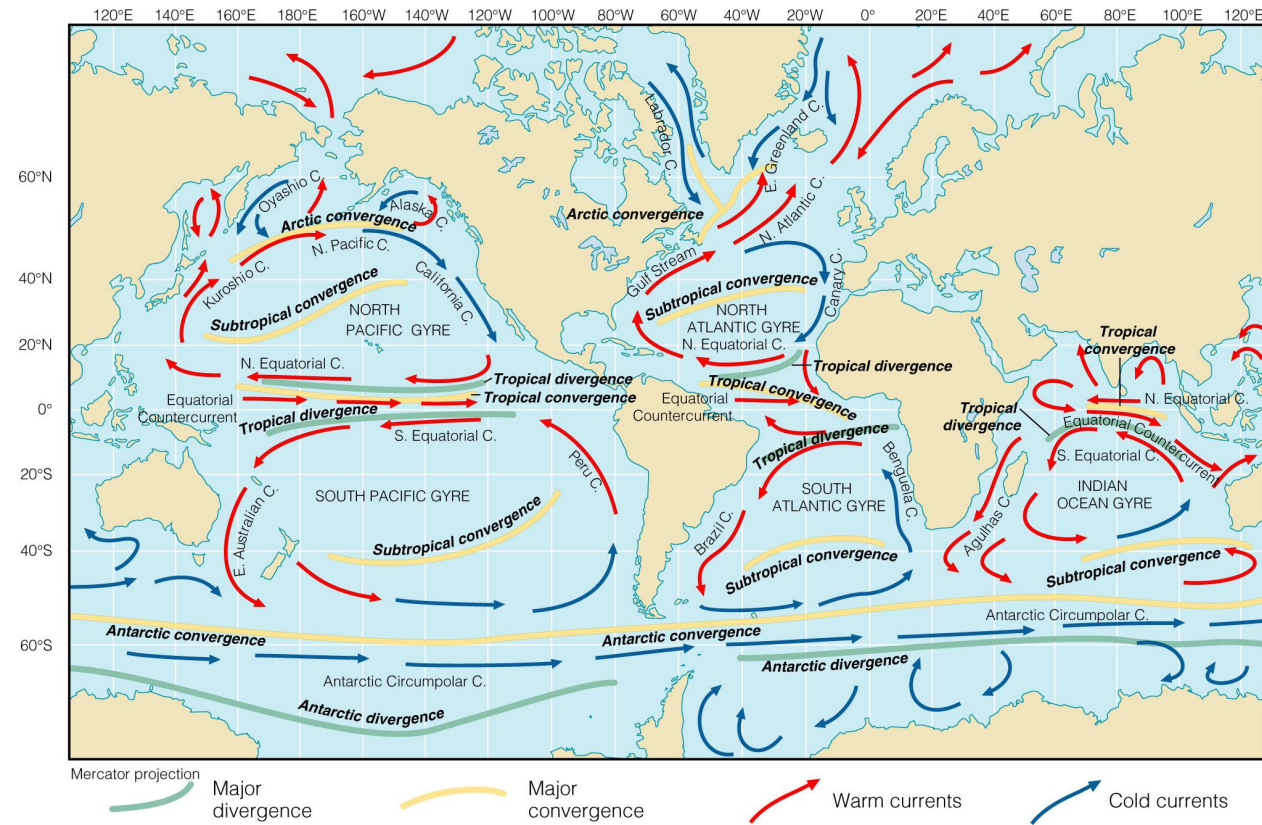
Στον Ισημερινό, στην επιφάνεια του Ατλαντικού Ωκεανού διακρίνουμε τρία κύρια ρεύματα :

α) το Βόρειο Ισημερινό Ρεύμα (North Equatorial Current) που κινείται δυτικά,

β) το Βόρειο Ισημερινό Ανάστροφο Ρεύμα (North Equatorial CounterCurrent) μεταξύ 9-5°B, και

γ) το Νότιο Ισημερινό Ρεύμα (South Equatorial Current) από τον ανατολικό

Νότιο Ατλαντικό Ωκεανό, τμήμα του οποίου διασχίζει τον Ισημερινό για να κινηθεί βόρεια και δυτικά κατά μήκος των ακτών της Βραζιλίας.



Κάτω από την επιφάνεια και κινούμενο προς τα ανατολικά κατά μήκος του Ισημερινού υπάρχει το Ισημερινό Υπο-επιφανειακό Ρεύμα (Equatorial UnderCurrent) το οποίο τροφοδοτείται από νερό υψηλής αλατότητας κυρίως από το Νότιο Ισημερινό Ρεύμα. Το βάθος του κυμαίνεται από τα 60-100 μ. και οι ταχύτητά του πάνω από 100 cm/sec και ο όγκος νερού που μεταφέρει είναι μεταξύ 15-35 Sv.

# Γ. Παρακείμενες Λεκάνες Ατλαντικού Ωκεανού

## 1. Μεσόγειος Θάλασσα

Μεσόγειος Θάλασσα → ημίκλειστη λεκάνη με έντονη εξάτμιση >> βροχόπτωσης

Στην Ανατολική Μεσόγειο οι περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες και αλατότητες εξισορροπούνται από το νερό της Μαύρης Θάλασσας.





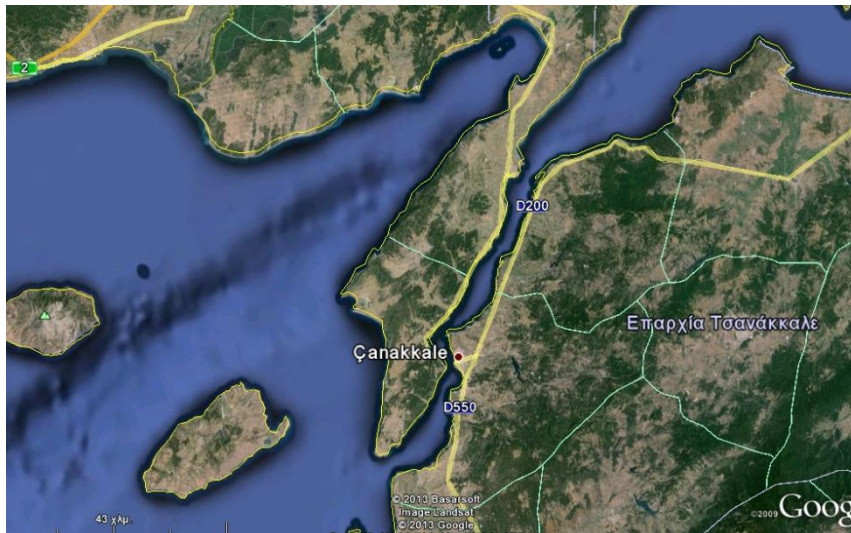
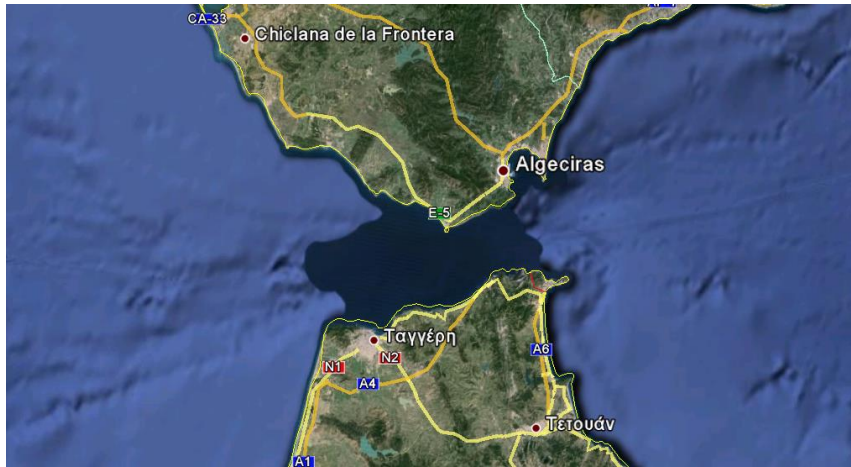
## The Mediterranean Basin



505327 (A00849) 11-82

Η Μεσόγειος Θάλασσα είναι η μεγαλύτερη ημι-κλειστή λεκάνη της Γης (γεωγραφικό πλάτος: 30° - 46°N, γεωγραφικό μήκος: 6°W – 36°E). Βρίσκεται μεταξύ της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής και χωρίς τη Μαύρη Θάλασσα καλύπτει περίπου 2.5 εκατομ. km<sup>2</sup> ή το 0.82% της επιφάνειας της Γης.



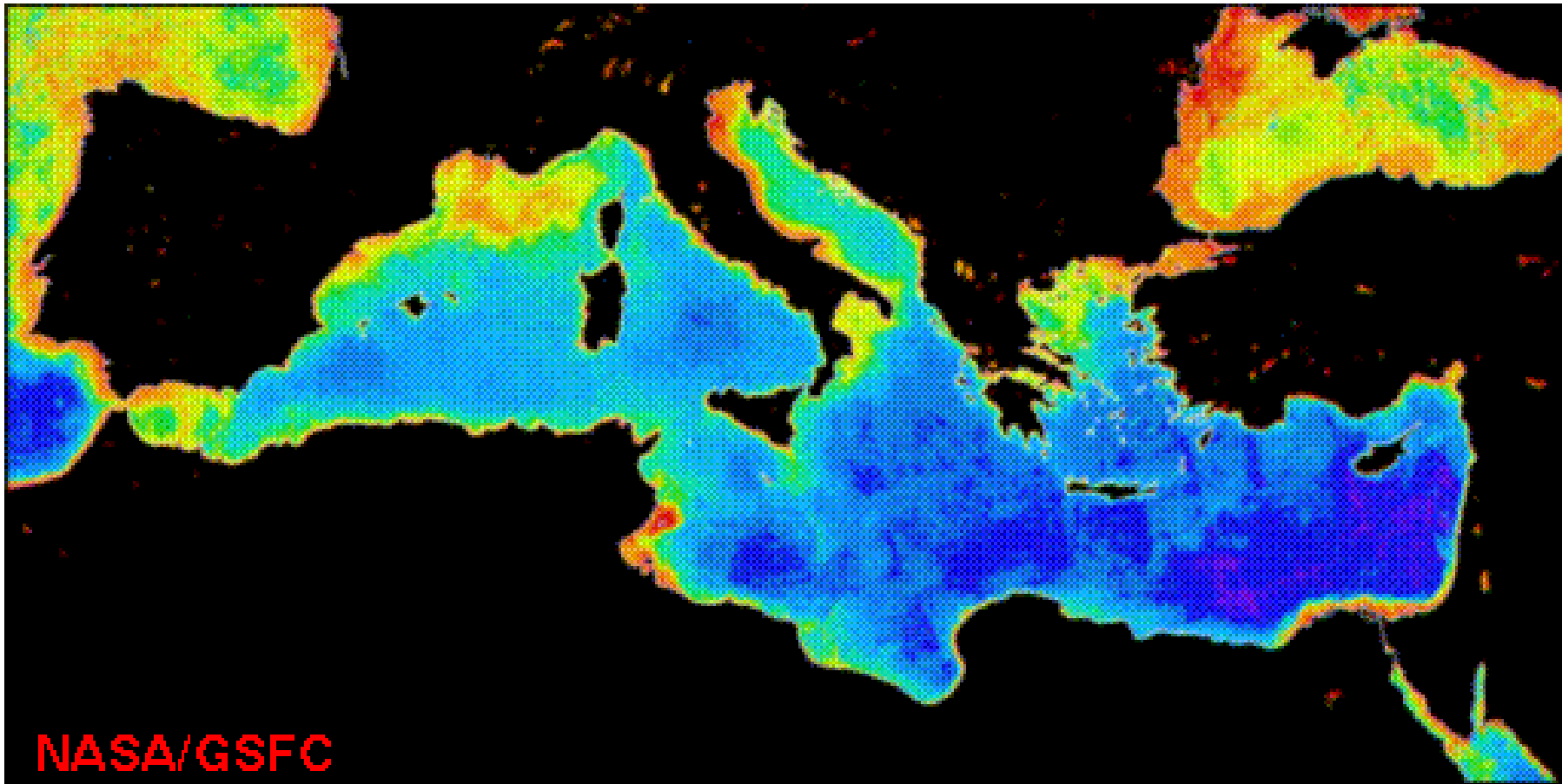


Η μοναδικότητα της Μεσογείου οφείλεται στη περιορισμένη επικοινωνία της με τον Ατλαντικό Ωκεανό, μέσω του Στενού του Γιβραλτάρ, το τεχνητό κανάλι επικοινωνίας με την Ερυθρά Θάλασσα (Suez Canal), και την επικοινωνία με τη μικρότερη Μαύρη Θάλασσα, μέσω του Βοσπόρου.

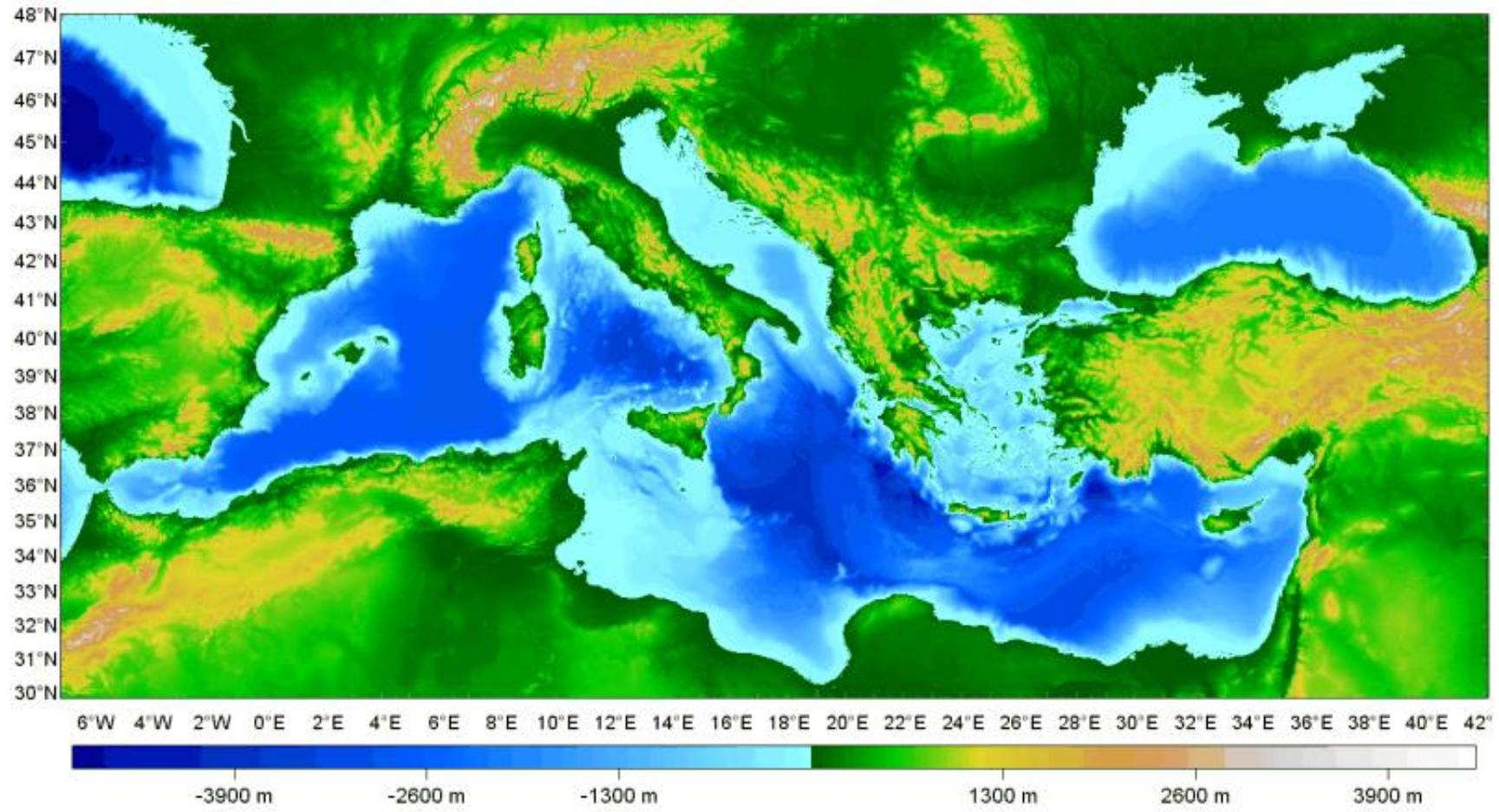




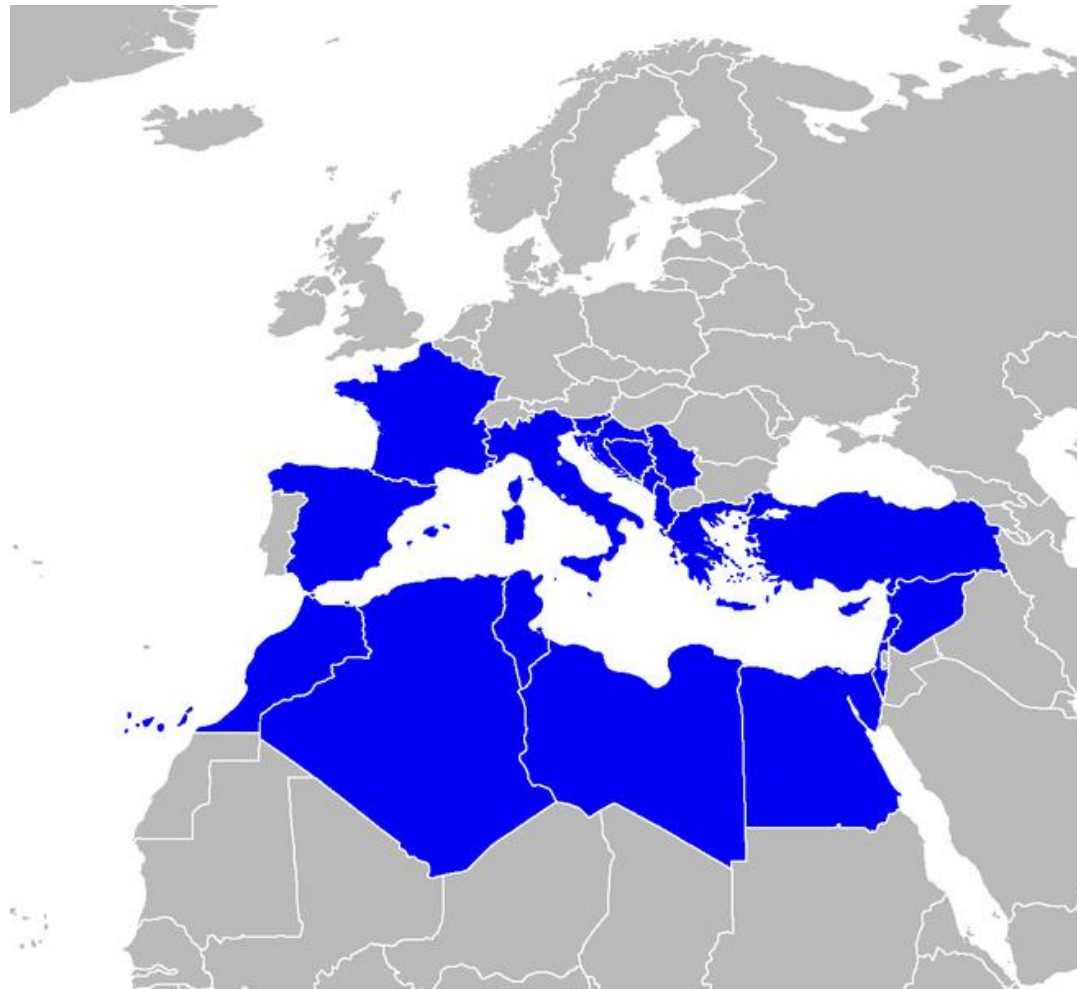
Το έλλειμμα νερού λόγω της υψηλότερης εξάτμισης σε σχέση με τη βροχόπτωση και την επιφανειακή απορροή αντισταθμίζεται από την εισροή νερού από τον Ατλαντικό Ωκεανό ( $1,800 \text{ km}^3$ ) και την εκροή Νερού Μαύρης Θάλασσας μέσω των Στενών των Δαρδανελλίων ( $300 \text{ km}^3$ ).



Η Μεσόγειος είναι από τις πλέον oligοτροφικές θάλασσες της Γης, λόγω της γενικής υδάτινης κυκλοφορίας της και της χαμηλής παραγωγικότητας λόγω των περιορισμένων επιφανειακών απορροών

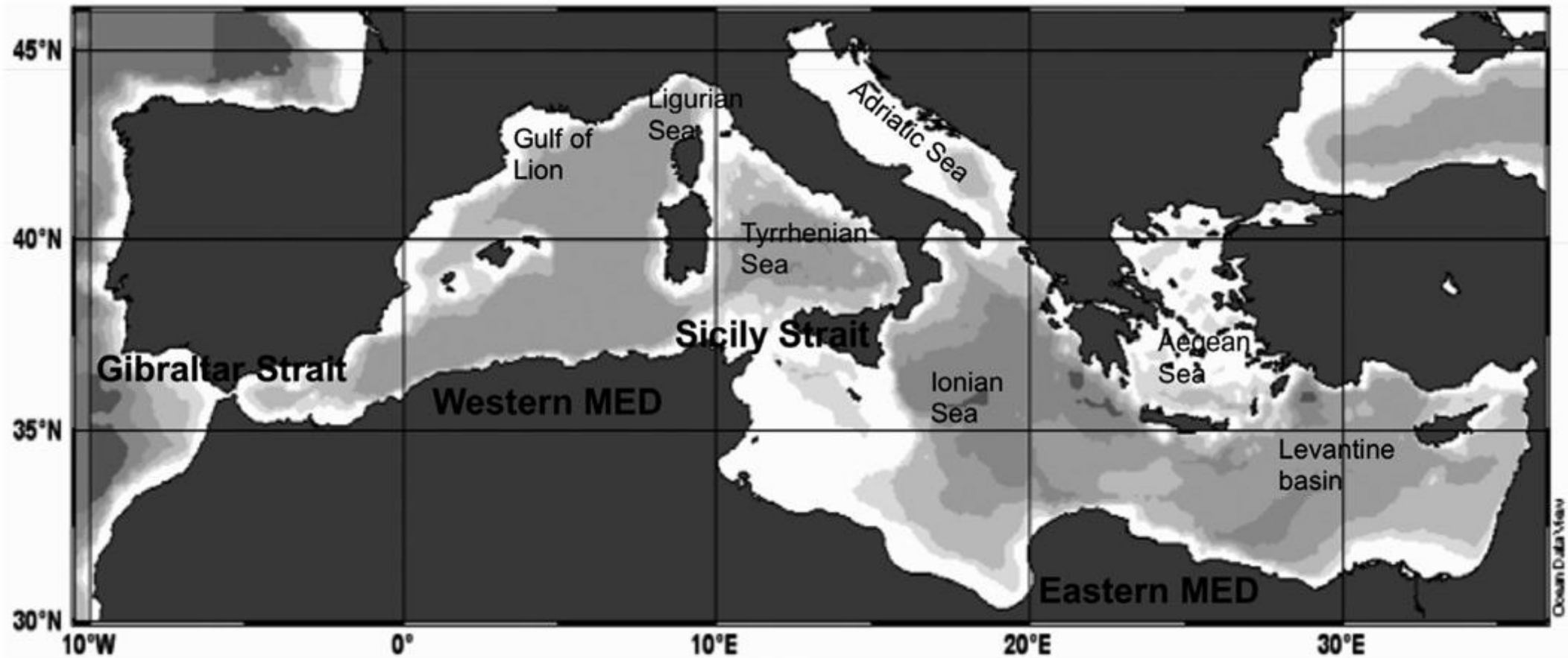


Η Μεσόγειος Θάλασσα διαθέτει ακτογραμμή μήκους 46,000 km (27,000 km ηπειρωτικών ακτογραμμών και 19,000 km νησιωτικών), χαρακτηριζόμενη από στενή ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα. Η παράκτια ζώνη της Μεσογείου (η περιοχή με βάθος μικρότερο από 200 m) καλύπτει περίπου 578,000 km<sup>2</sup> ή 20% της συνολικής της επιφάνειας.



Για τη προστασία της Μεσογείου 22 παράκτιες χώρες της έχουν υπογράψει τη Συνθήκη της Βαρκελώνης (**Barcelona Convention**) ή αλλιώς **το Πρωτόκολλο για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης (ICZM Protocol)**.

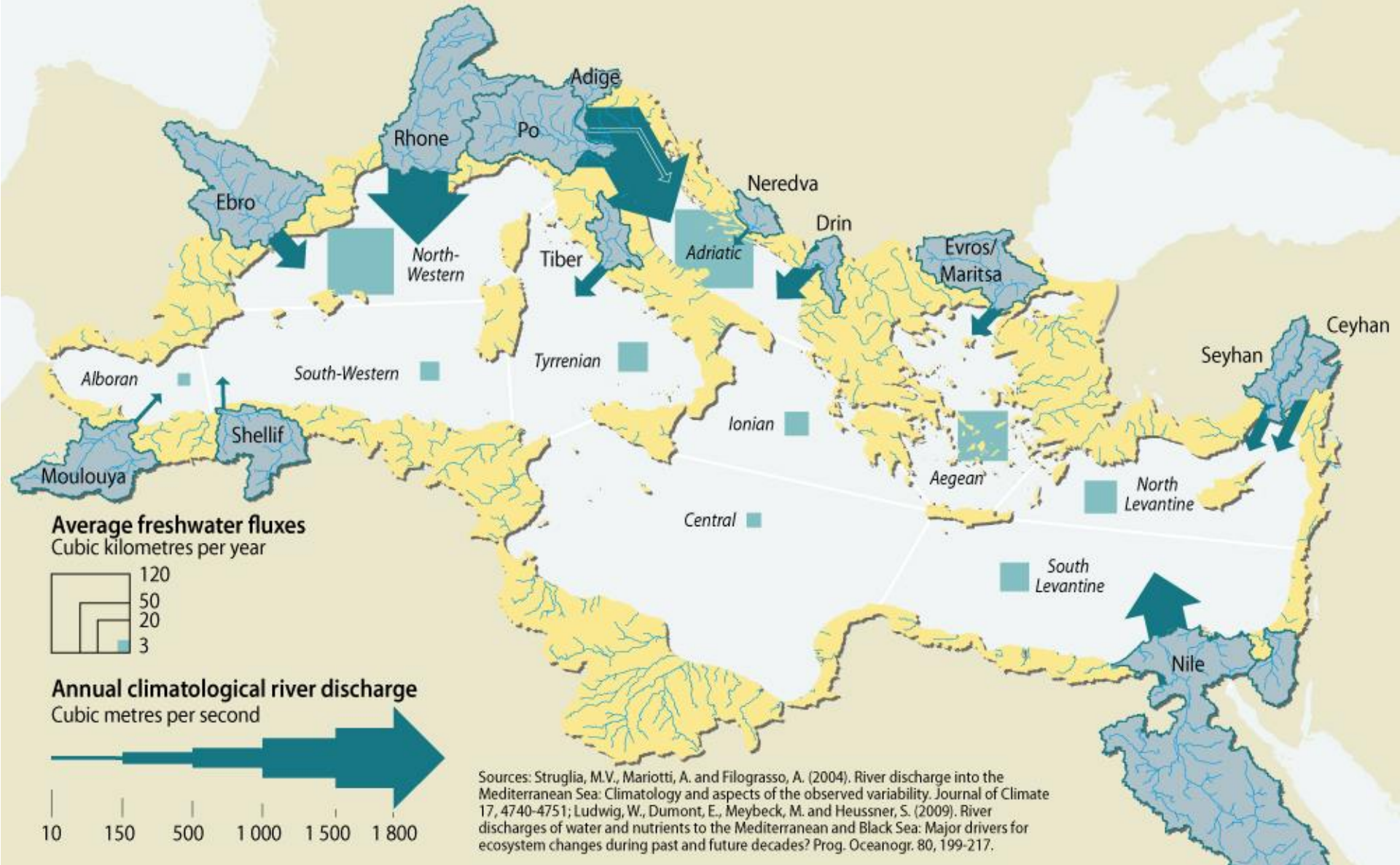




# Υδάτινες Μάζες Μεσογείου

- Η Μεσόγειος Θάλασσα είναι πολύ θερμή και αλμυρή:
- Μέση Θερμοκρασία : 13° C
- Μέση Αλατότητα : 37 ppt
- Η Θάλασσα με τη μεγαλύτερη εξάτμιση

# River discharge of freshwater into the Mediterranean



# Υδάτινες Μάζες Μεσογείου

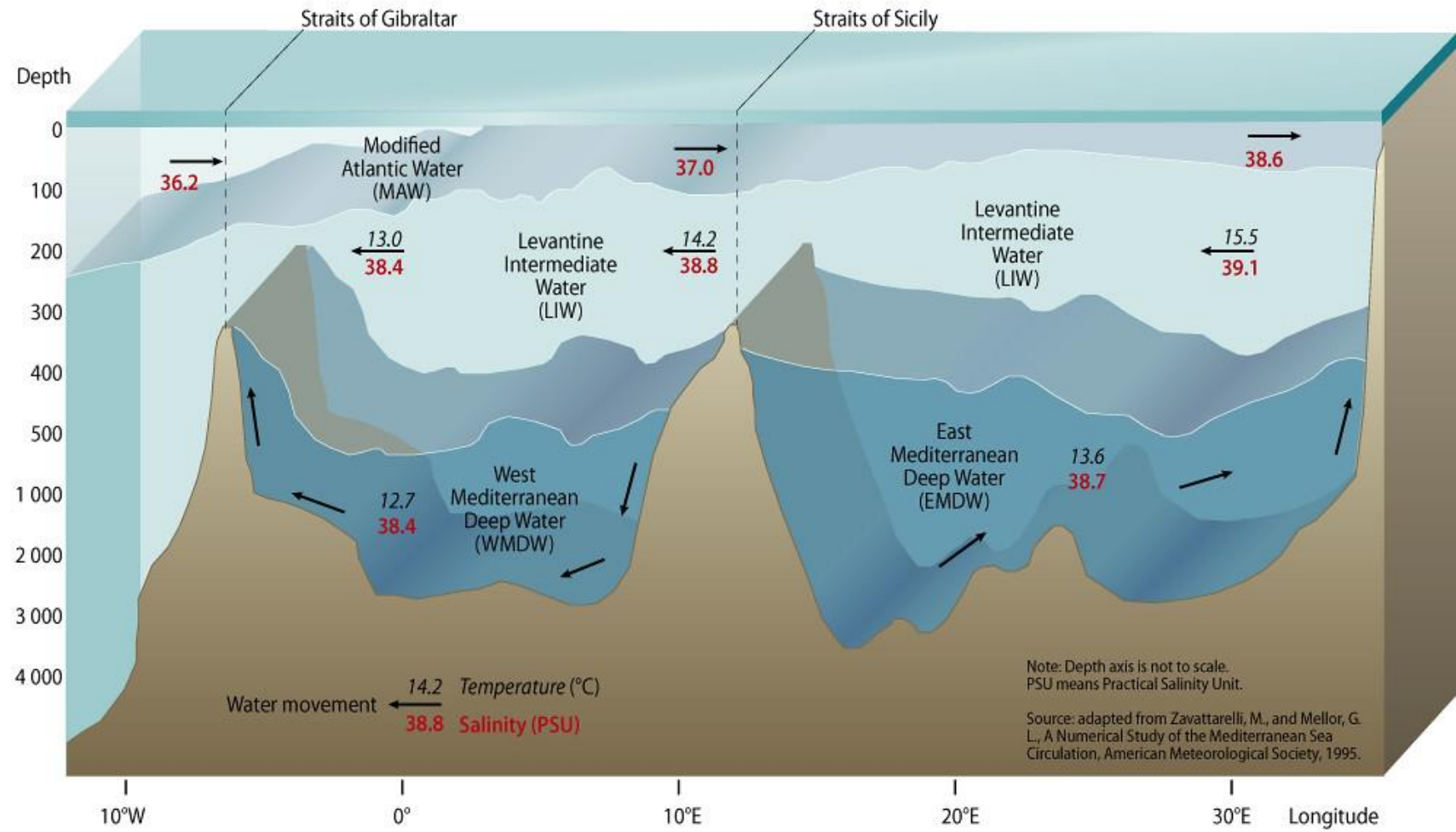
- Τα τελευταία χρόνια οι ωκεανογράφοι επικέντρωσαν το ενδιαφέρον τους στη Μεσόγειο Θάλασσα.
- Ο πρώτος λόγος είναι ότι η Μεσόγειος επηρεάζει τον Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό πολύ περισσότερο από όσο ήταν αρχικά γνωστό.
- Ο δεύτερος λόγος είναι ότι η Μεσόγειος παίζει το ρόλο φυσικού εργαστηρίου για τη μελέτη των ωκεάνιων διεργασιών που επηρεάζουν το Παγκόσμιο Κλίμα.



# Υδάτινες Μάζες Μεσογείου

- Η Μεσόγειος Θάλασσα ουσιαστικά διαιρείται σε δύο υπολεκάνες, την ανατολική και τη δυτική.
- Οι λεκάνες διαχωρίζονται από τα ρηχά Στενά της Σικελίας (Sicily Straits), τα οποία δεν επιτρέπουν την ανάμειξη των μεγάλου βάθους νερών της ανατολικής και δυτικής λεκάνης.

# Mediterranean Sea water masses: vertical distribution



# Υδάτινες Μάζες Μεσογείου

- Υπάρχουν τρεις περιοχές σχηματισμού νερού μεγάλου βάθους:
- Ο Κόλπος της Λυών (Gulf of Lion) που παράγει το West Mediterranean Deep Water (WMDW)
- Η Αδριατική Θάλασσα που παράγει το East Mediterranean Deep Water (EMDW)
- Η Λεκάνη της Λεβαντίνης (Levantine Basin) που παράγει το Levantine Intermediate Water (LIW)



# Υδάτινες Μάζες Μεσογείου



- Η υδροδυναμική της Μεσογείου διακρίνεται σε τρία στρώματα υδάτινων μαζών: το επιφανειακό στρώμα, το ενδιάμεσο στρώμα και το στρώμα πυθμένα.



# Υδάτινες Μάζες Μεσογείου

- Επιφανειακό στρώμα : μεταβλητού πάχους από 100 – 300 μ  
Πρόκειται για το νερό που εισέρχεται από τον Ατλαντικό.
- Ενδιάμεσο στρώμα : θερμό και αλμυρό νερό προερχόμενο από την Ανατολική Μεσόγειο (Λεκάνη Λεβαντίνης) → τμήμα του κινείται βόρεια στην Αδριατική και άλλο τμήμα παράλληλα με τις ακτές της Β. Αφρικής και προς τον Ατλαντικό Ωκεανό ( $T=13^{\circ}\text{C}$ ;  $S=37.3$ ).  
Χαρακτηρίζεται από μέγιστο θερμοκρασίας και αλατότητας στα 400 μ βάθος. Βρίσκεται σε βάθη από 300 έως 700 μ
- Στρώμα Πυθμένα : Καταλαμβάνει την υπόλοιπη στήλη ως το πυθμένα και είναι ιδιαίτερα ομοιογενές. Σχηματίζεται το χειμώνα στην Αδριατική και το Κόλπο της Λυών ( $T=12.6^{\circ}\text{C}$ ;  $S=38.4$ ).

# Κυκλοφορία

- Η ροή από τα ποτάμια στη Μεσόγειο Θάλασσα είναι ίση με το ένα τρίτο του νερού που χάνεται λόγω εξάτμισης
- Ως αποτέλεσμα: υπάρχει συνεχής εισροή επιφανειακού νερού από τον Ατλαντικό Ωκεανό, το οποίο μόλις περάσει τα Στενά του Γιβραλτάρ κινείται ανατολικά παράλληλα με τις ακτές της Β. Αφρικής.



# Κυκλοφορία

- Αυτή είναι η πιο σταθερή συνιστώσα της κυκλοφορίας στη Μεσόγειο.
- Είναι ενισχυμένη το καλοκαίρι, όταν η εξάτμιση βρίσκεται στο μέγιστό της.
- Η εισροή από τον Ατλαντικό Ωκεανό χάνει την έντασή της όσο κινείται ανατολικά.



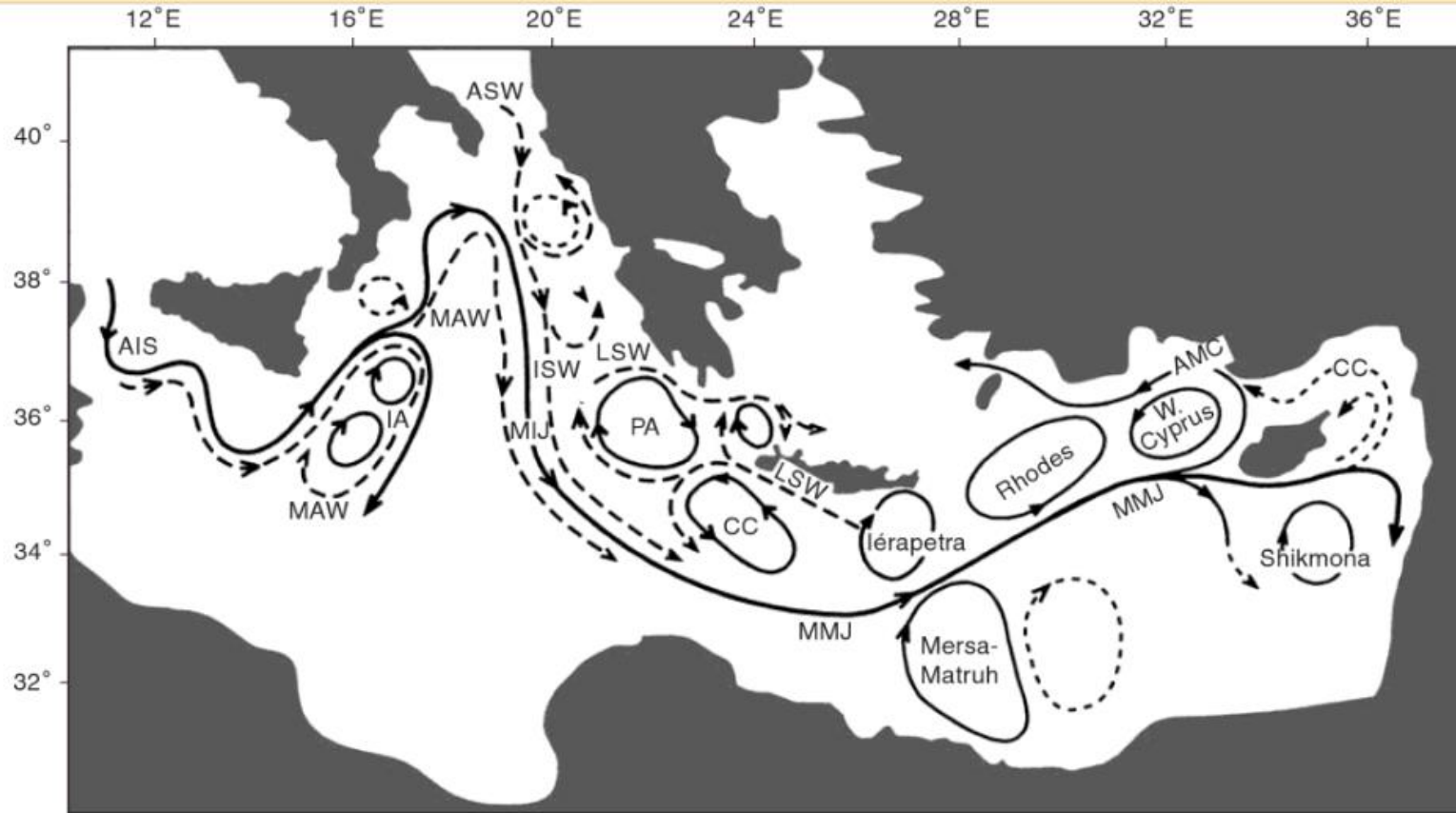
# Κυκλοφορία

- Επιφανειακή κυκλοφορία : αντι-ωρολογιακή ροή νερού σε κάθε μία από τις δύο λεκάνες
- Περίπλοκη ροή στο βόρειο όριο και κοντά σε νησιά: δημιουργία τοπικών περιδινήσεων (eddies)





# Κυκλοφορία



**Figure 4** Eastern Mediterranean: Schematic representation of the upper thermocline circulation. AIS, Atlantic Ionian Stream; AMC, Asia Minor Current; ASW, Adriatic Surface Water; CC, Cretan Cyclone; IA, Ionian anticyclones; ISW, Ionian Surface Water; LSW, Levantine Surface Water; MAW, Modified Atlantic Water; MIJ, Mid-Ionian Jet; MMJ, Mid-Mediterranean Jet; PA, Pelops anticyclone.

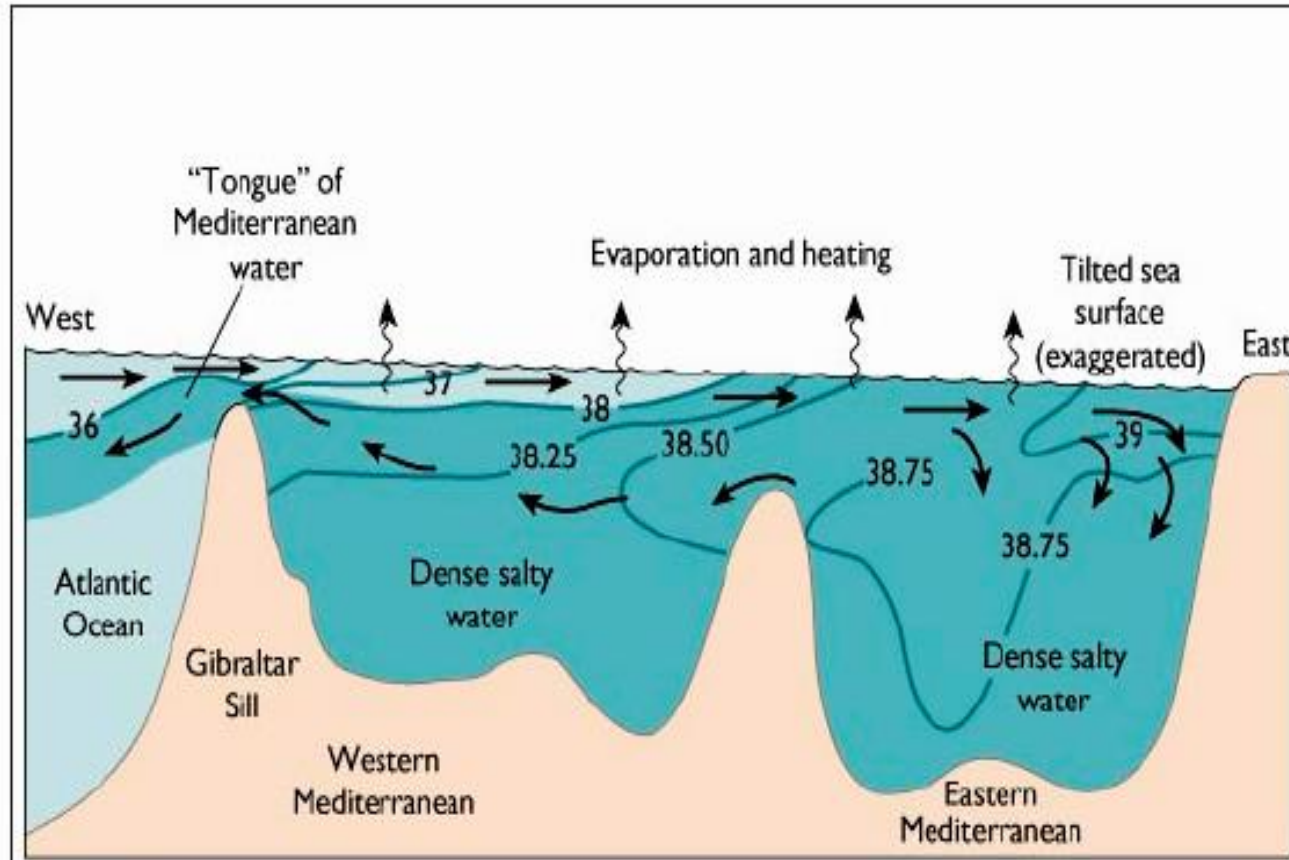
<https://www.youtube.com/watch?v=EaFWftpXLrU>

# Κυκλοφορία

- Το χειμώνα οι βόρειοι άνεμοι (Mistral και Tramontane) είναι ξηροί και ψυχροί
- Οπότε, στη Δυτική Μεσόγειο συμβαίνει βύθιση επιφανειακού νερού και δημιουργία νερού μεγάλου βάθους
- Παράλληλα, η αύξηση της αλατότητας λόγω εξάτμισης αυξάνει τη πυκνότητα και βυθίζεται.
- Το πλεόνασμα αυτού του βαθύτερου νερού κινείται πάνω από τα Στενά του Γιβραλτάρ και ρέει στον Ατλαντικό Ωκεανό.
- Δημιουργείται έτσι μία ροή υπο-επιφανειακού νερού προς τα δυτικά, κάτω από το εισερχόμενο νερό του Ατλαντικού.

Surface and subsurface circulation in the Mediterranean Sea occurs because evaporation exceeds precipitation and river runoff combined.

Figure 6.17a



— Isohalines (‰)      → Currents      ↑ Evaporation      Hot and salty Mediterranean water

(a) CIRCULATION IN THE MEDITERRANEAN SEA

Salinity-temperature variations at depth in the North Atlantic.

Figure 6.B6-8



(a) TEMPERATURE AT 1,000-METER DEPTH



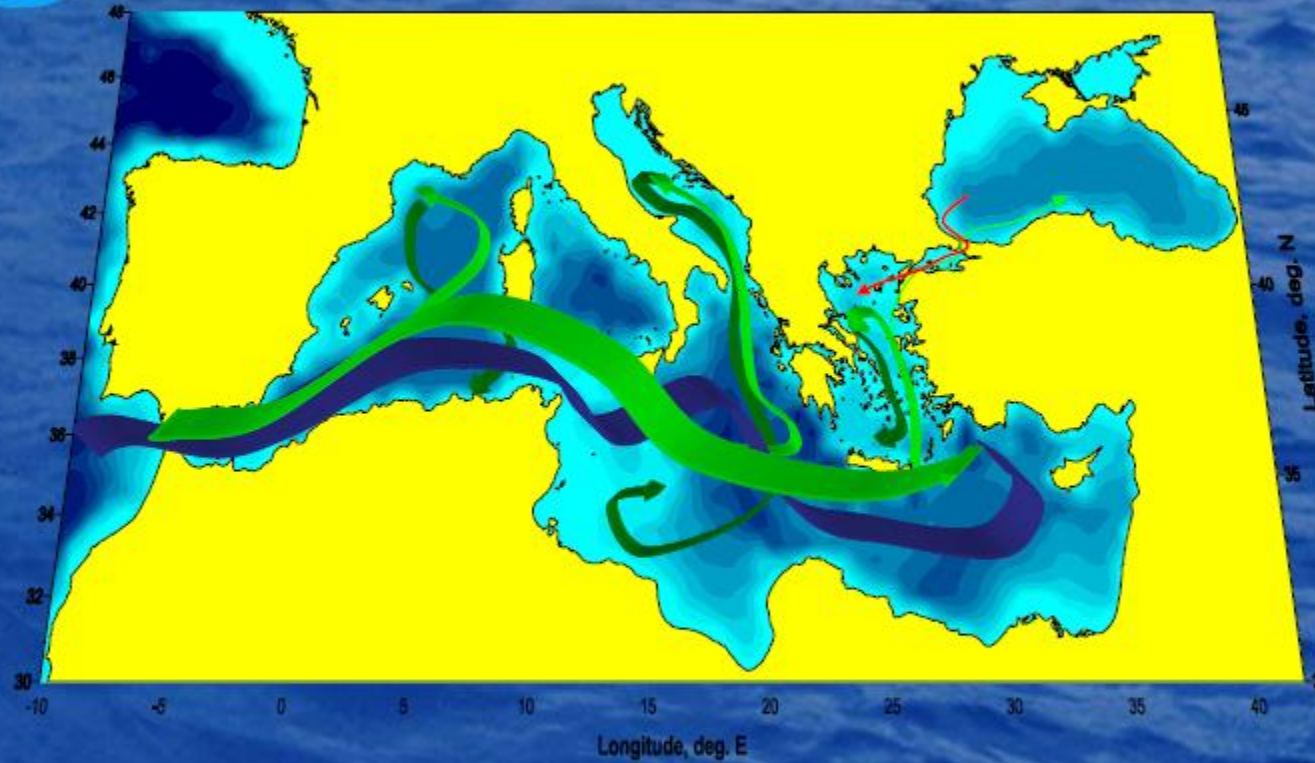
(b) SALINITY AT 1,000-METER DEPTH





International Action for Sustainability of the Mediterranean and Black Sea Environment

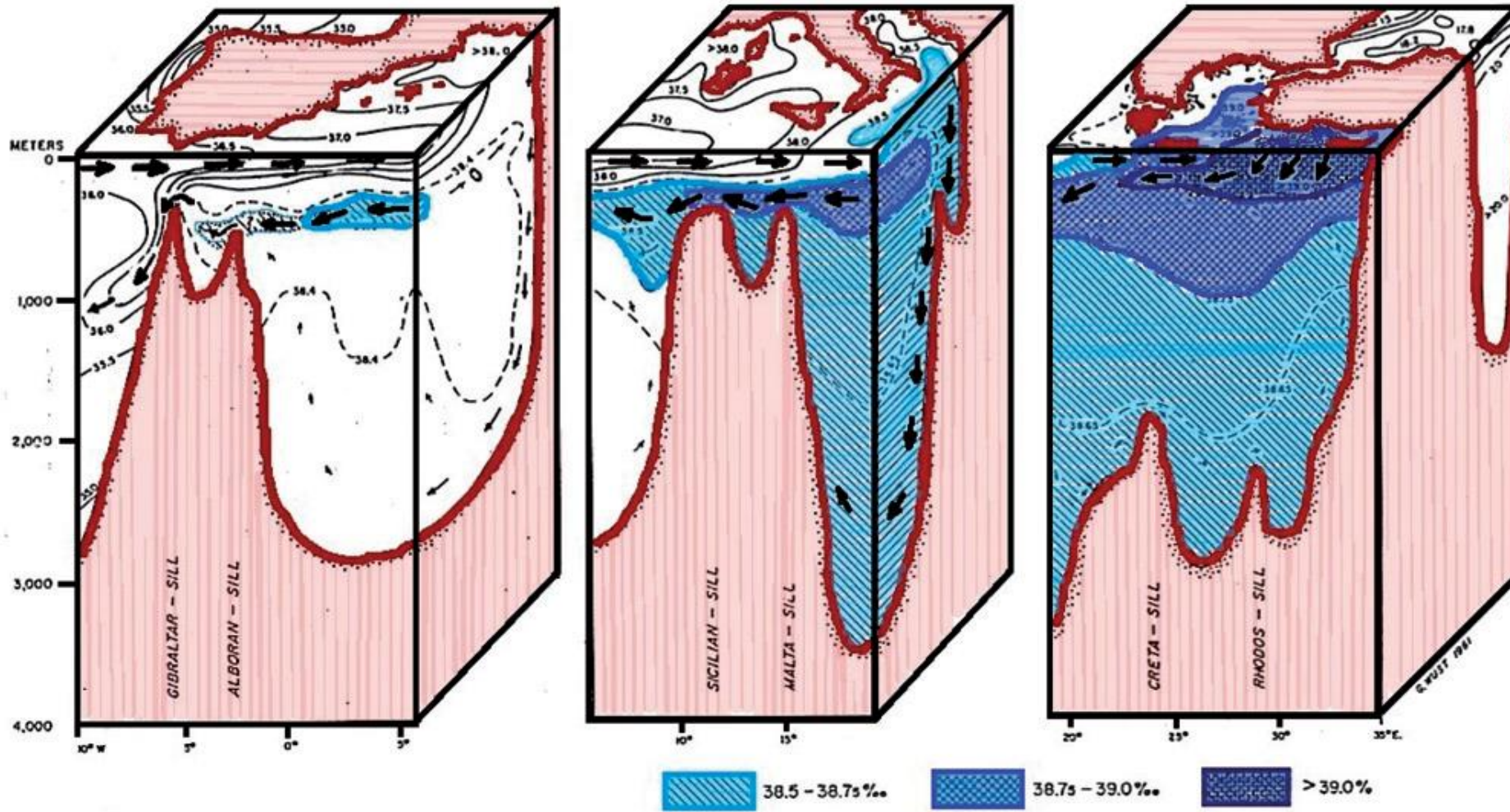
# Thermohaline circulation



-200 -1000 -2000 -3000 -4000 -5000

Final Scientific Conference - Istanbul, 11 May 2006



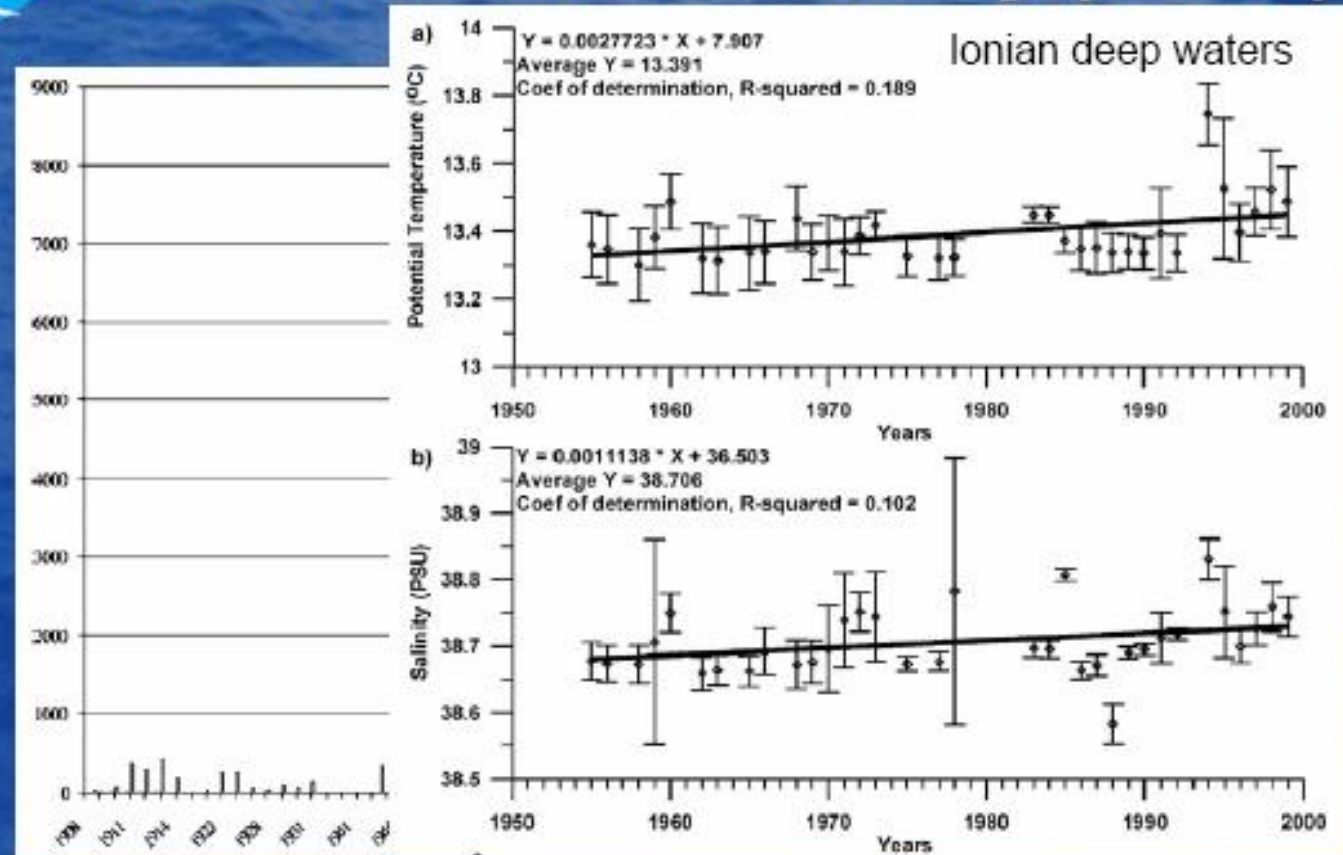


Τρισδιάστατη Θερμόαλη Κυκλοφορία της Μεσογείου τον Χειμώνα



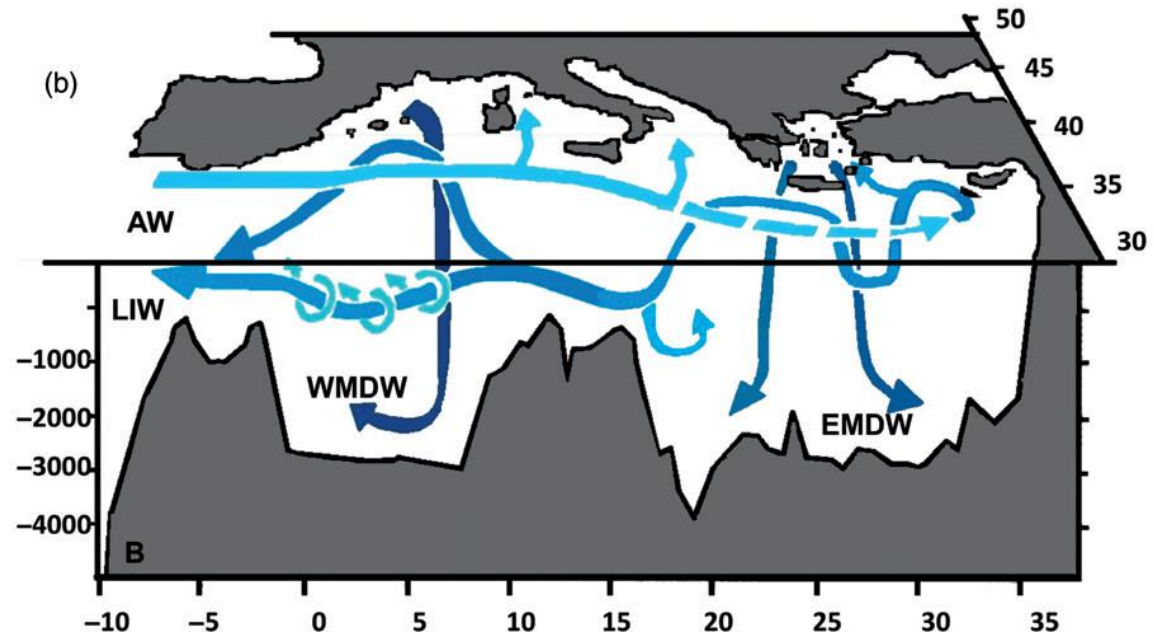
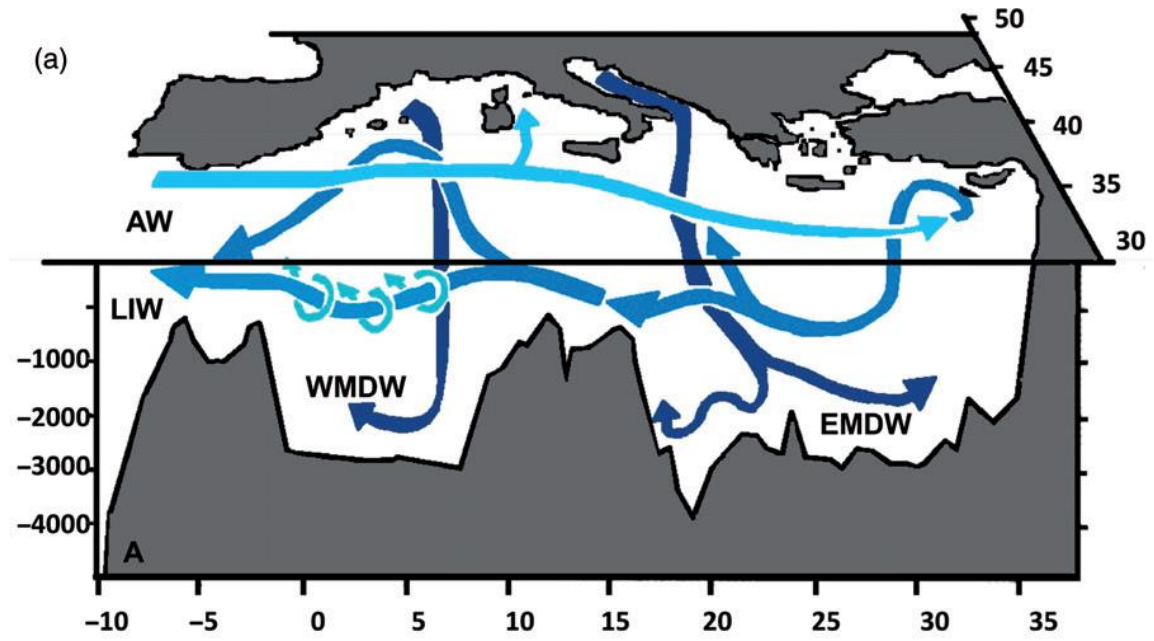


# Thermohaline variability (EMed)



Manca et al., 2004







Meteorological  
influences on the surface  
hydrographic patterns of  
the North Aegean Sea\*

OCEANOLOGIA, 53 (1), 2011.  
pp. 57–80.

© 2011, by Institute of  
*Oceanology PAS.*

**KEYWORDS**

Water masses  
Meteorological influences  
Black Sea Water  
Samothraki Anticyclone  
North Aegean Sea

GEORGIOS SYLAIOS

Department of Environmental Engineering,  
Democritus University of Thrace,  
GR-67100 Xanthi, Greece;  
e-mail: [gsylaios@env.duth.gr](mailto:gsylaios@env.duth.gr)

Received 11 August 2010, revised 17 January 2011, accepted 18 January 2011.

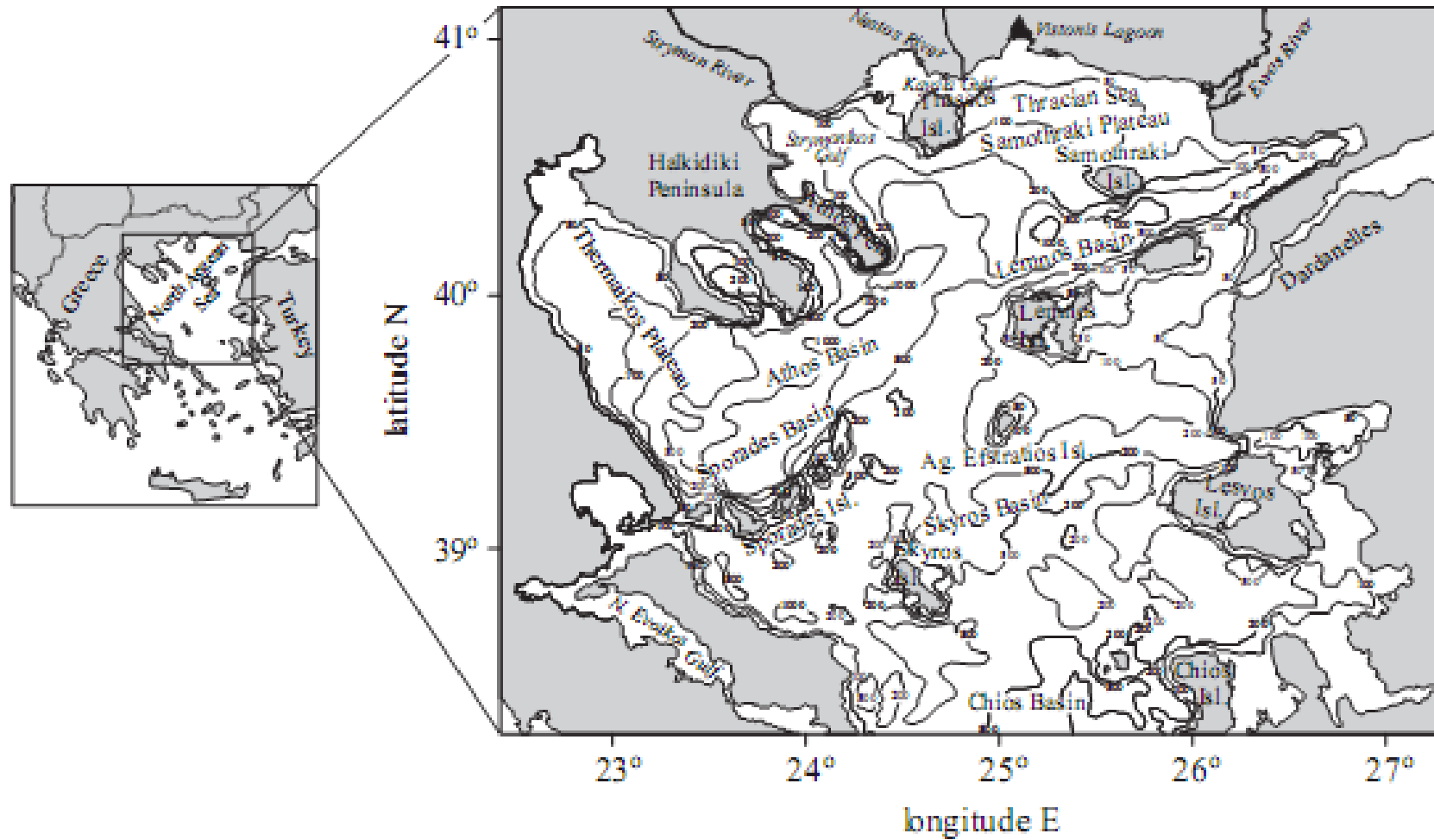
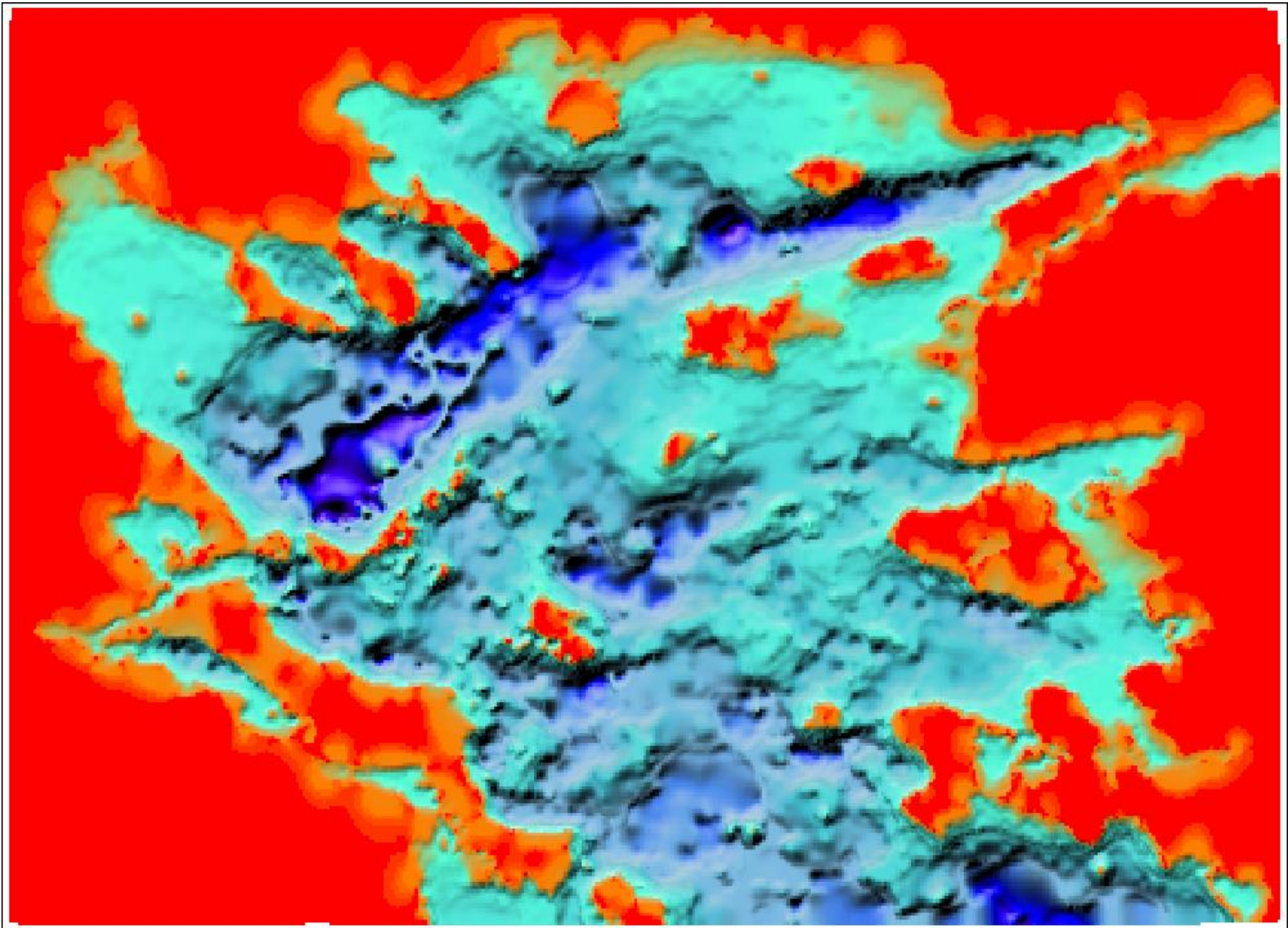
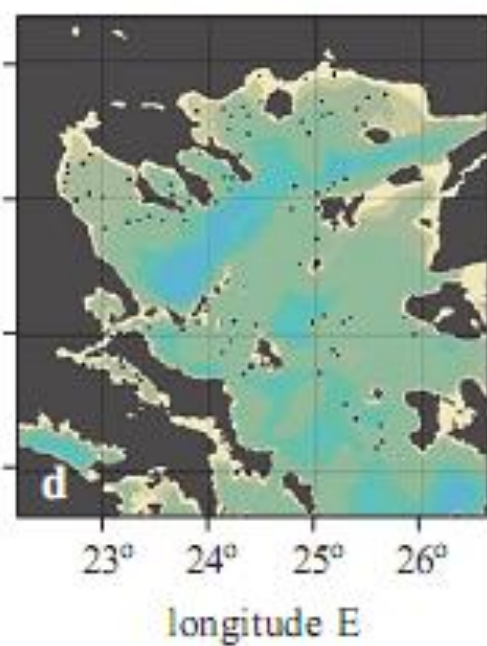
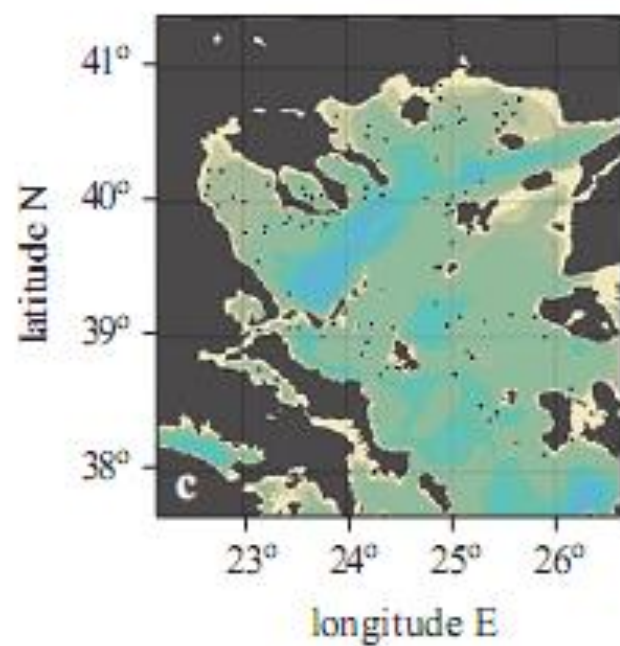
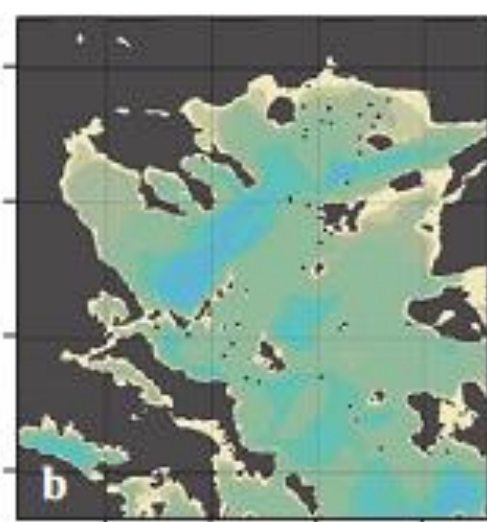
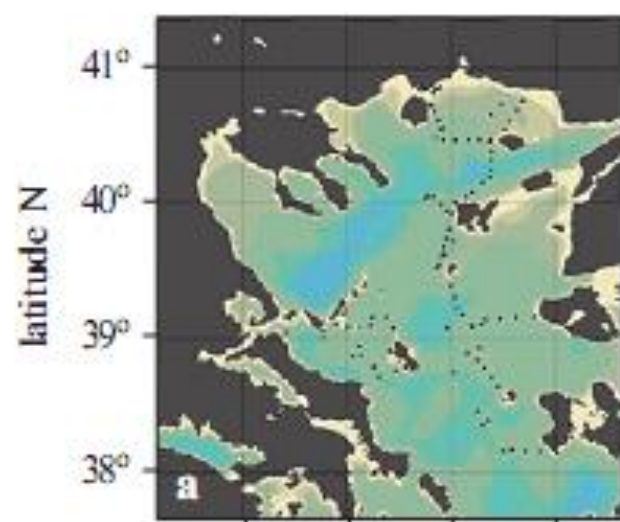


Figure 1. The North Aegean Sea and its main physiographic features

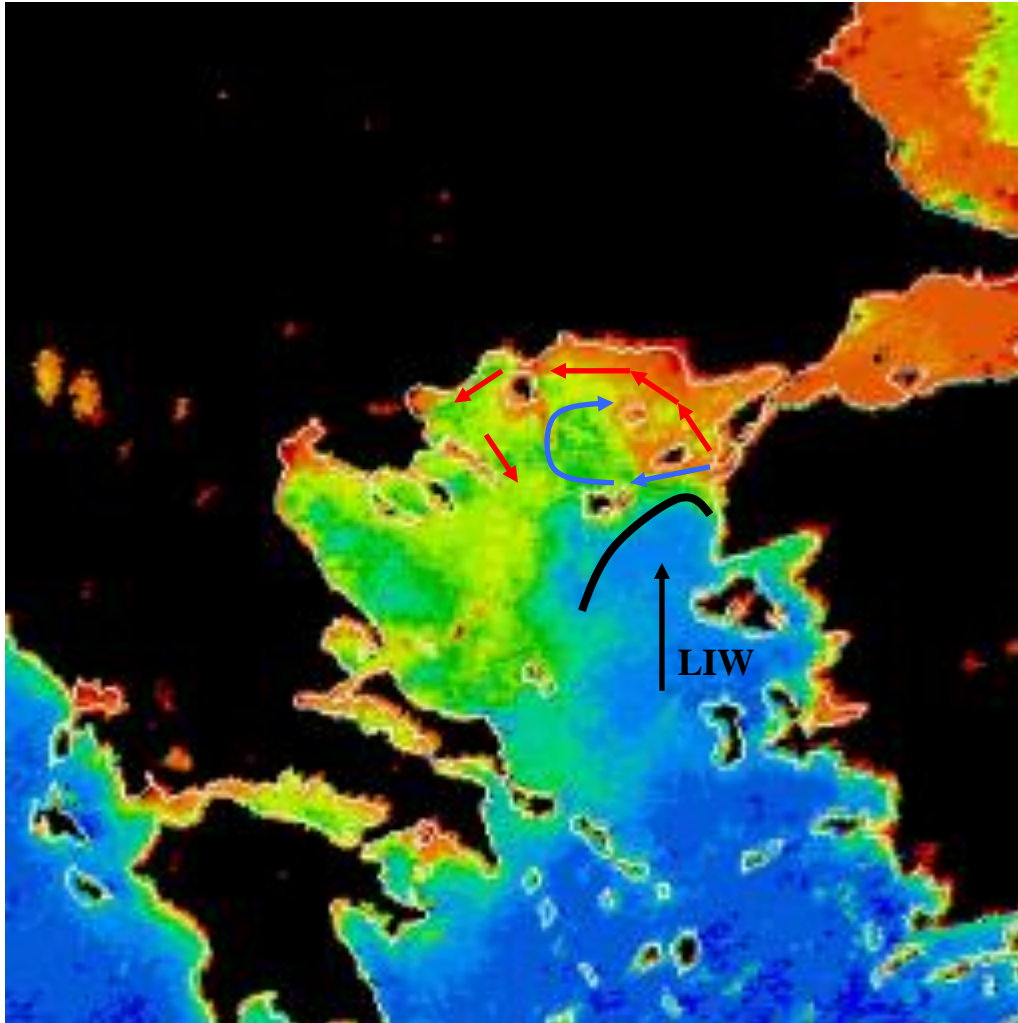








## Υδρογραφικά χαρακτηριστικά Βορείου Αιγαίου

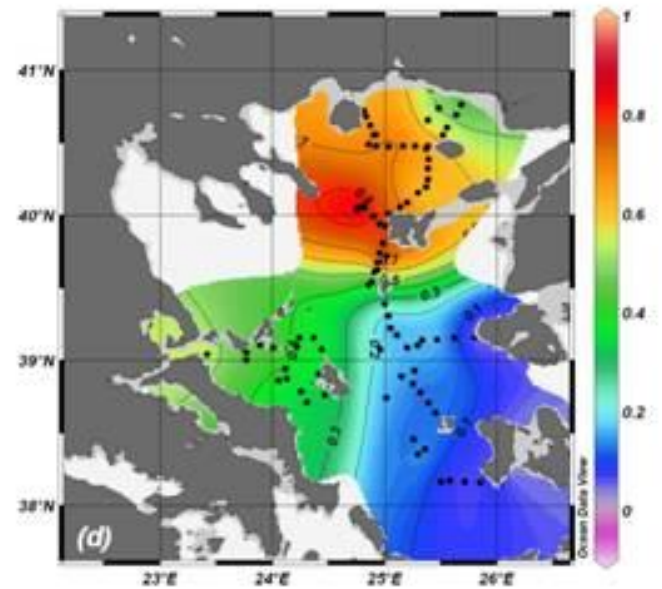
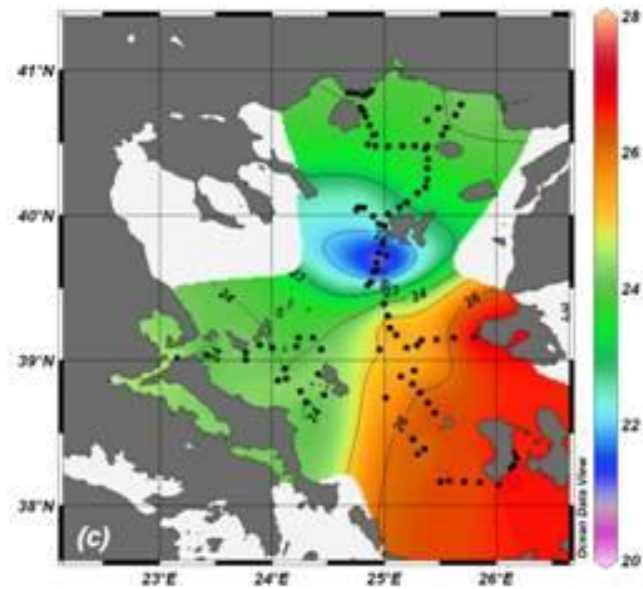
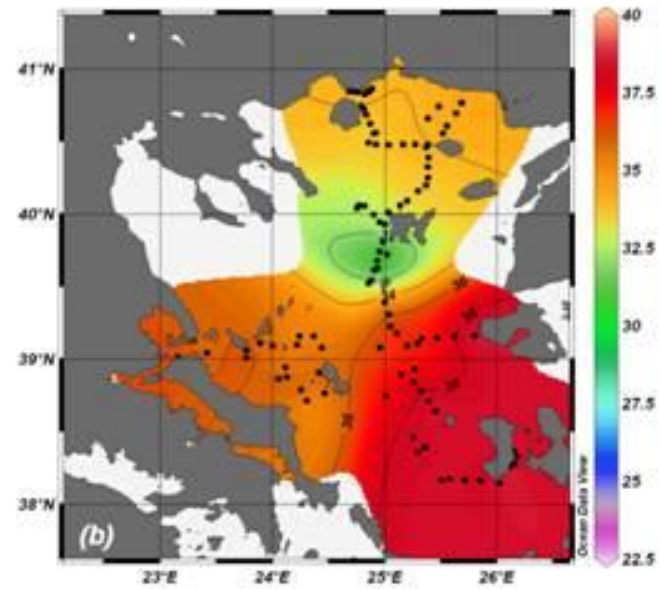
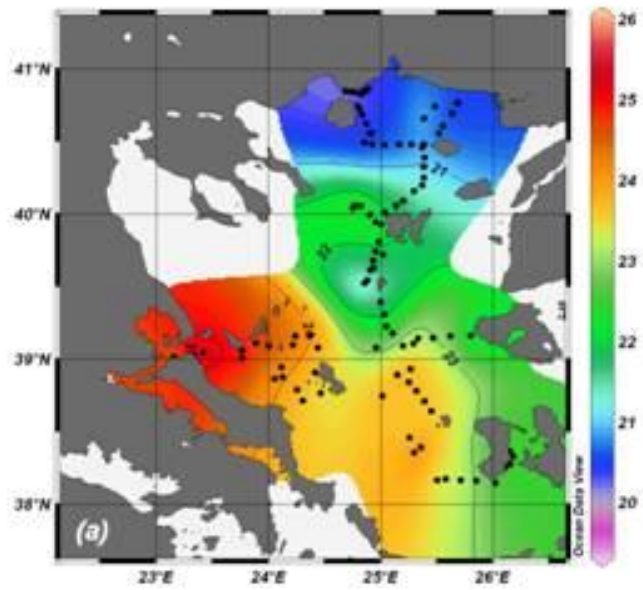


Υδάτινες Μάζες :

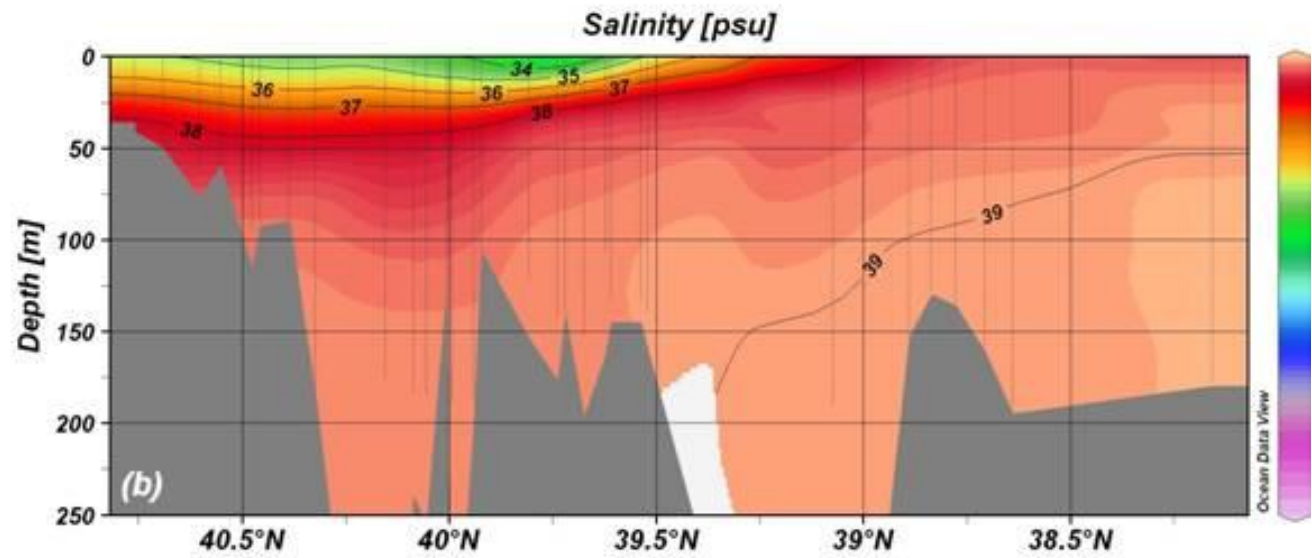
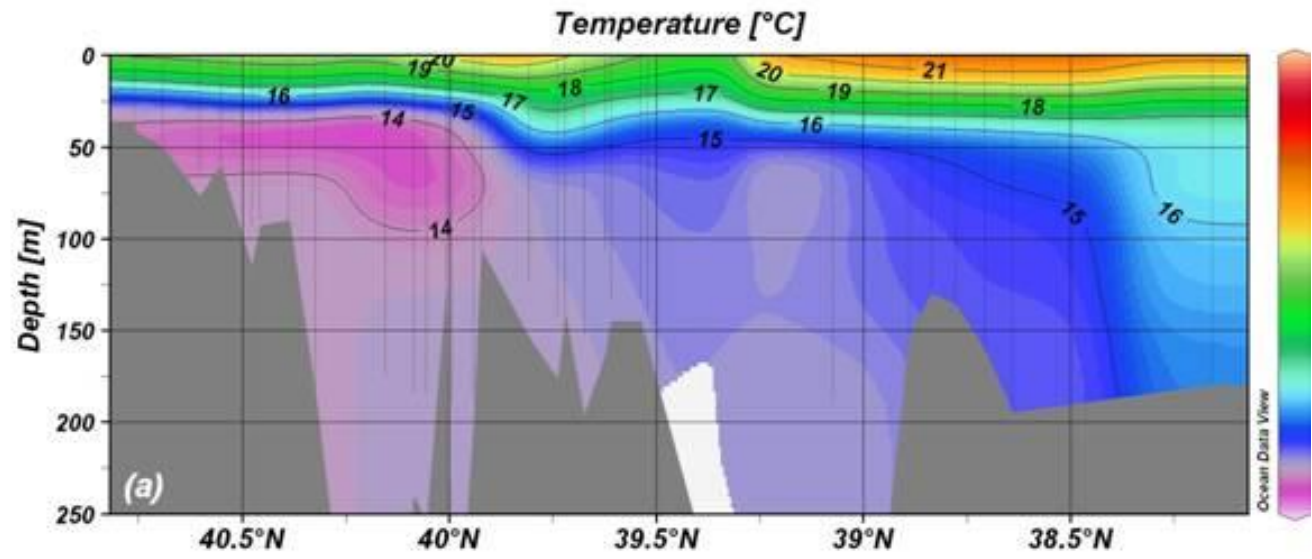
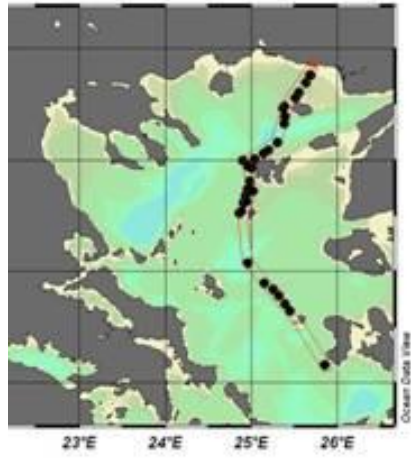
α) Εισροή Νερού Μαύρης Θάλασσας (BSW) χαμηλής θερμοκρασίας & αλατότητας (29-34 psu) σε βάθη από 0-40 μ,

β) Νερό της Λεκάνης Λεβαντίνης (LIW) με πολύ υψηλή αλατότητα (38,5 – 39 psu) σε βάθη από 40 – 400 μ,

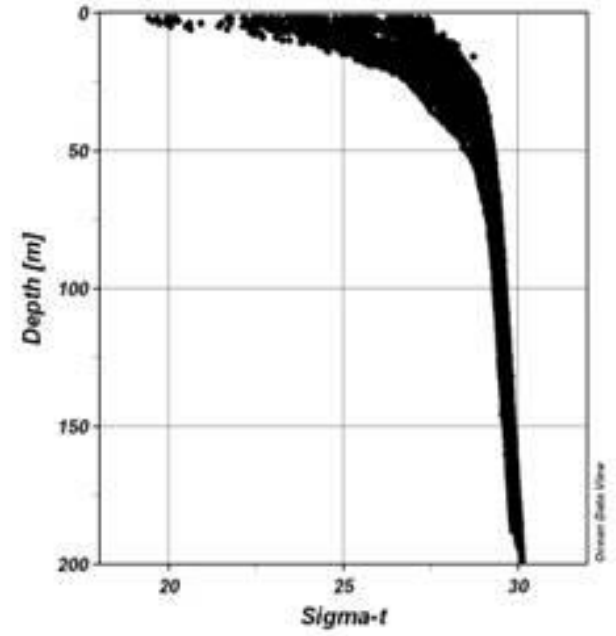
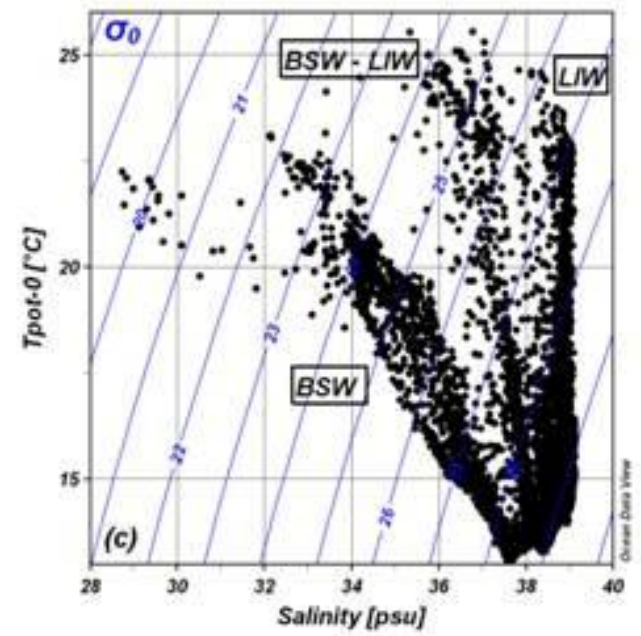
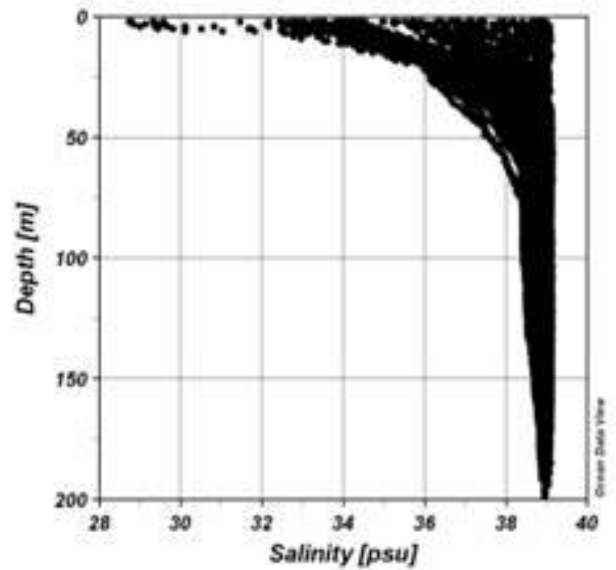
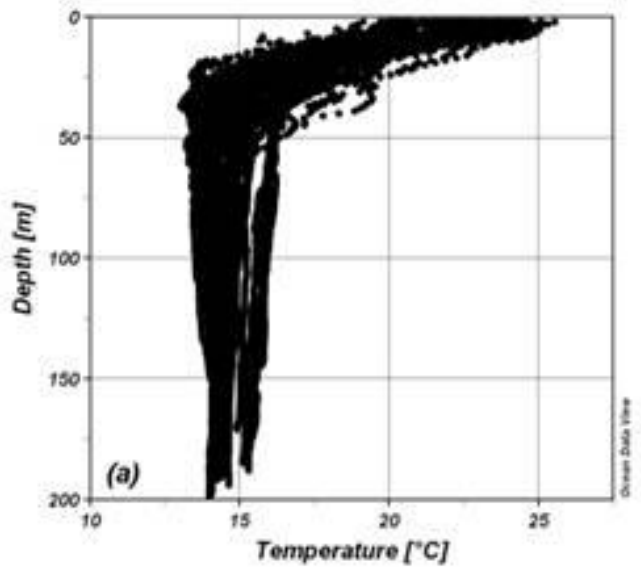
γ) Εκροή νερού χαμηλής αλατότητας από τους π. Έβρο, Νέστο, Στρυμόνα.

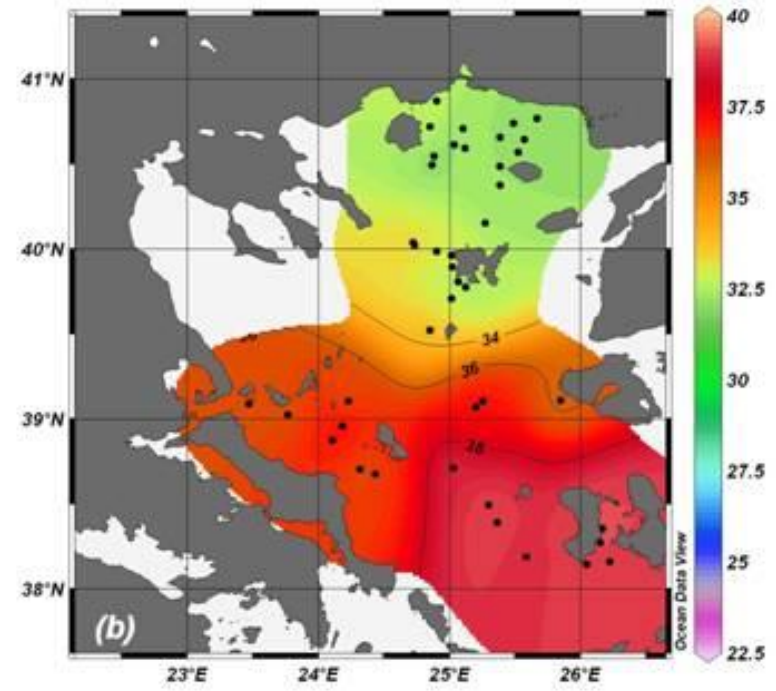
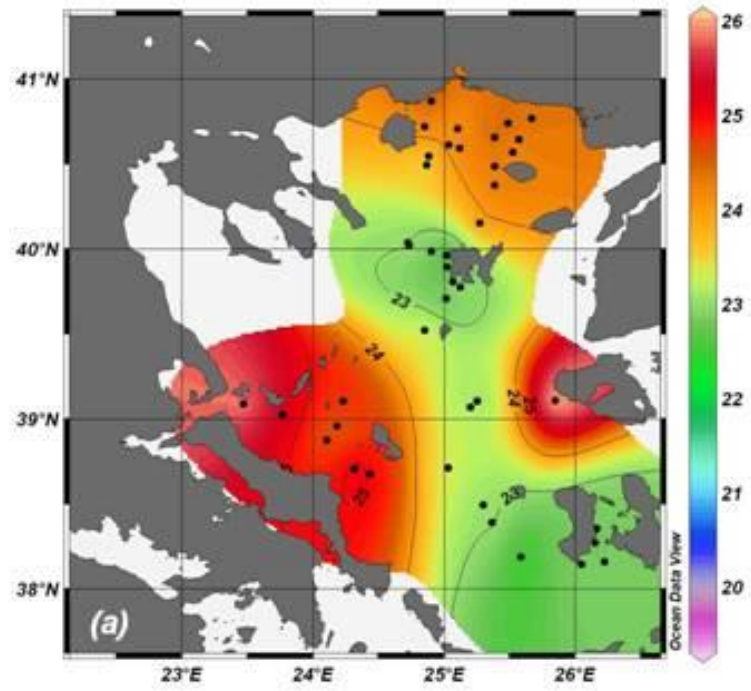


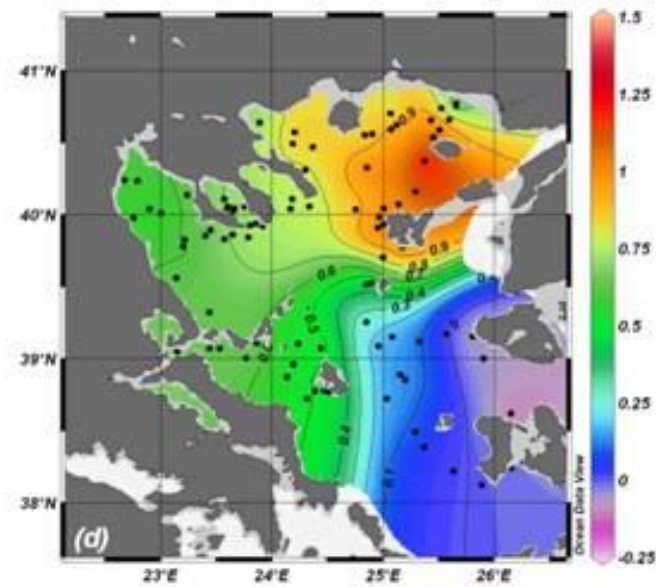
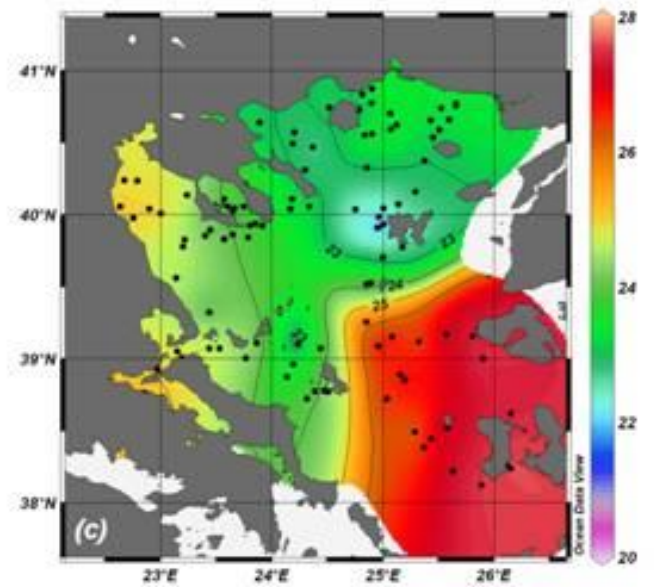
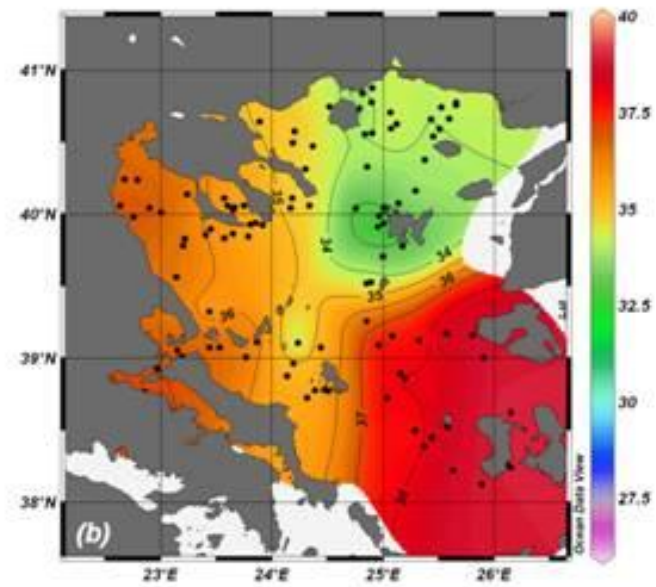
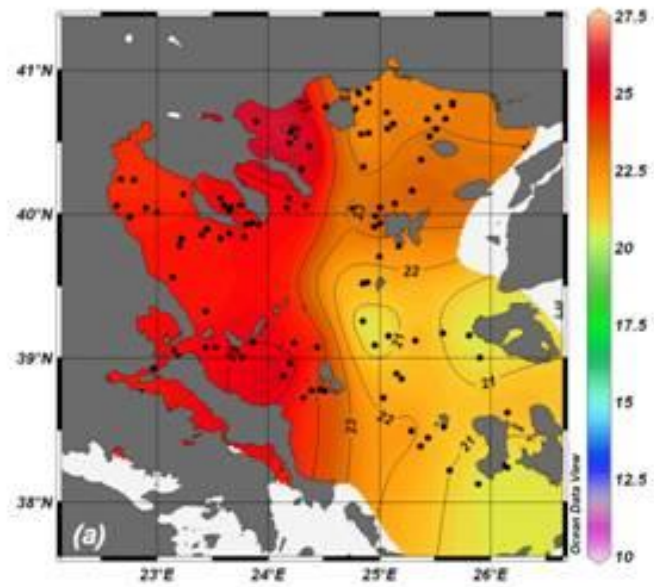


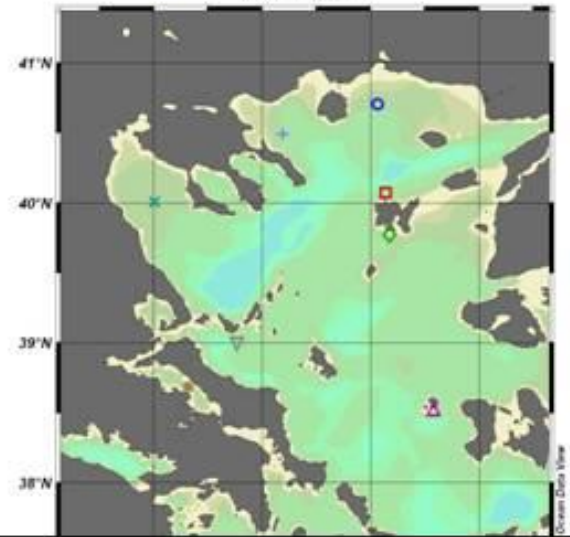
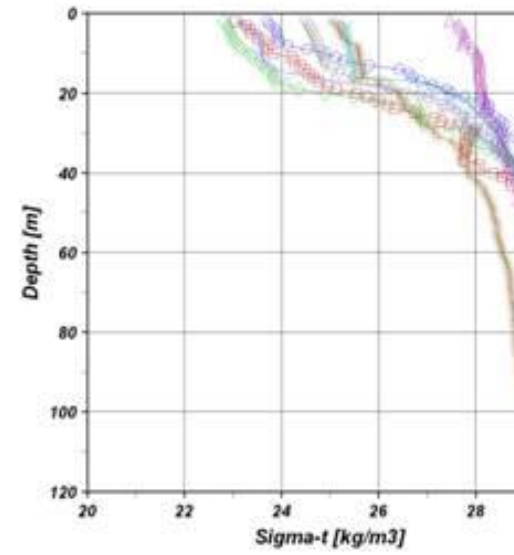
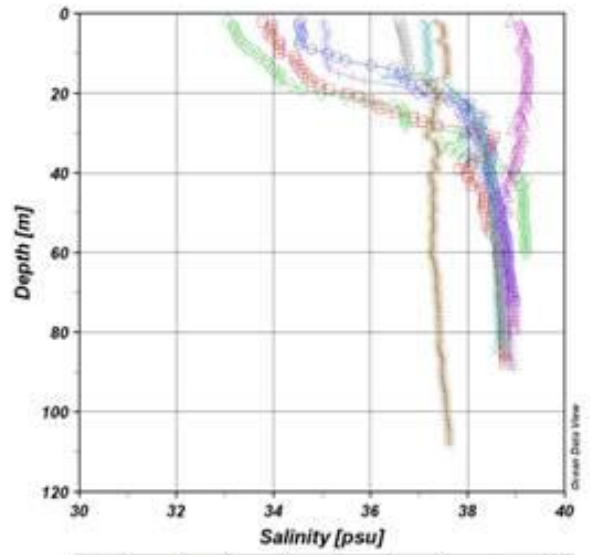
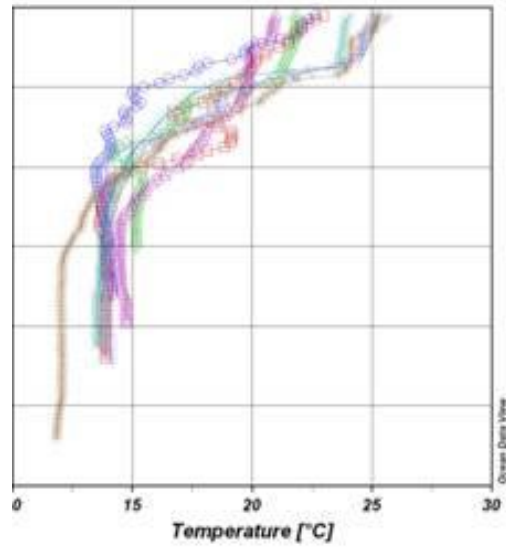




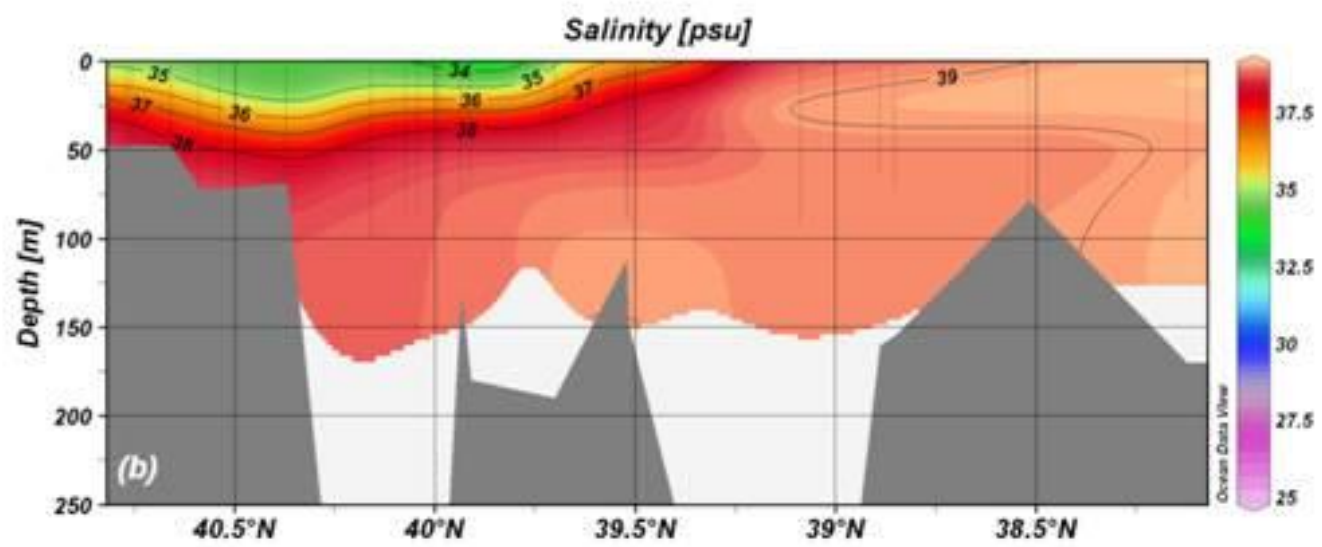
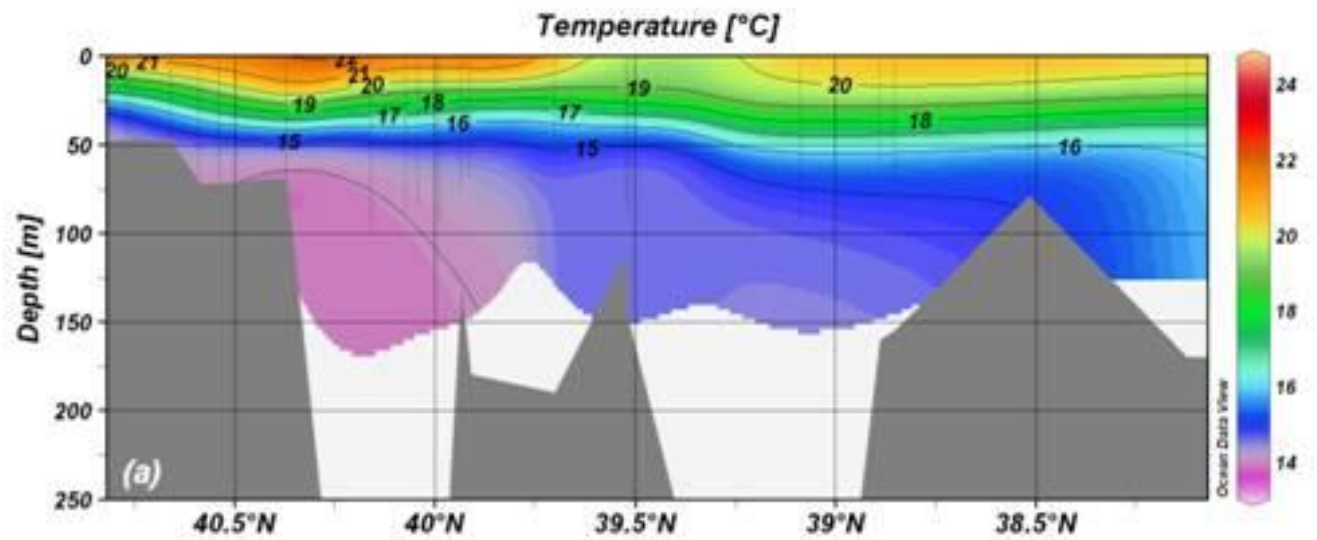


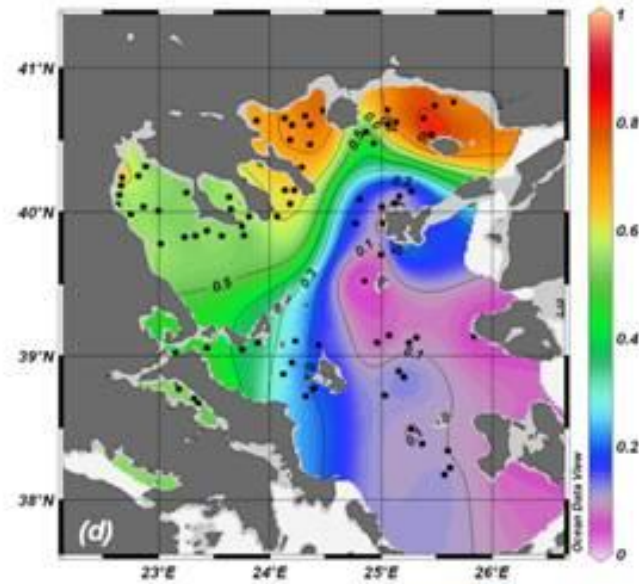
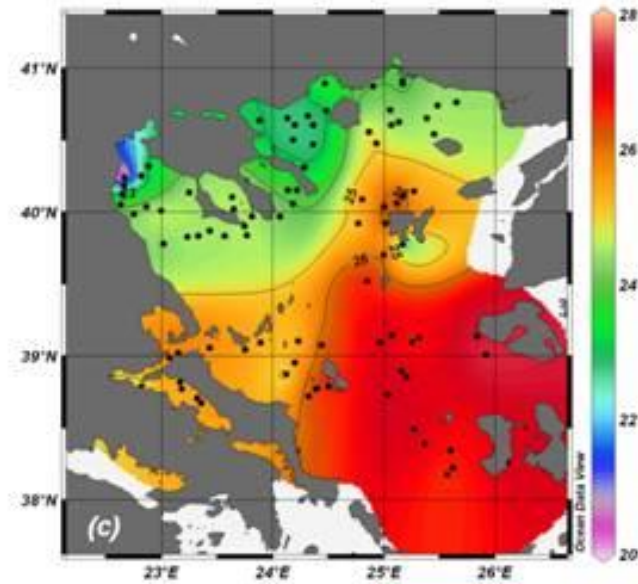
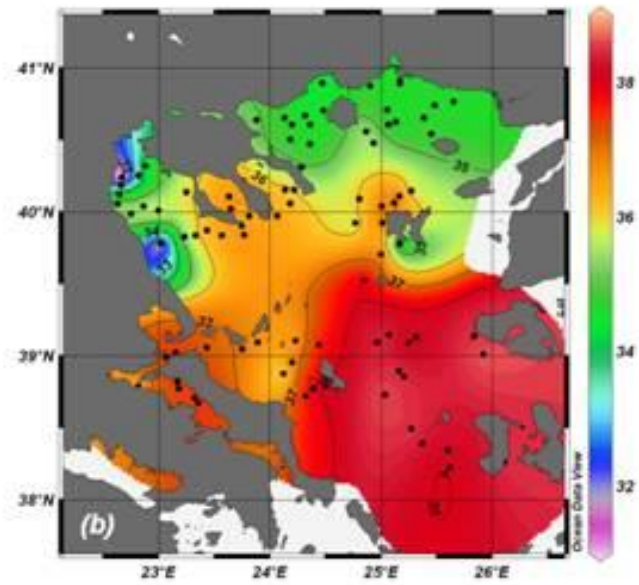
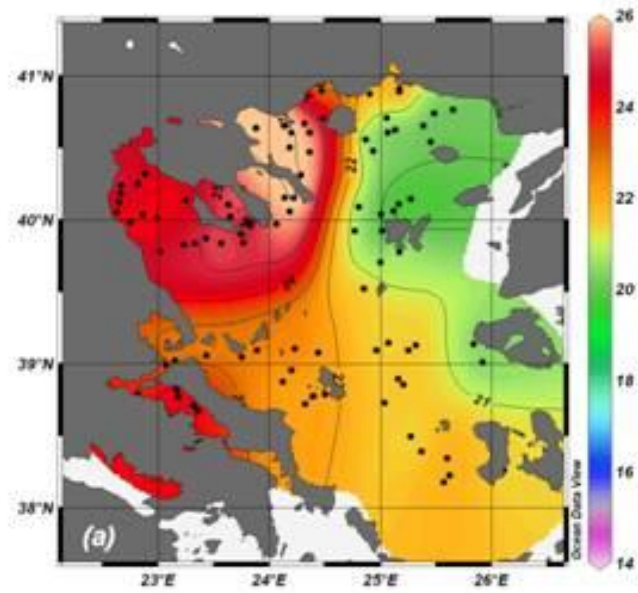






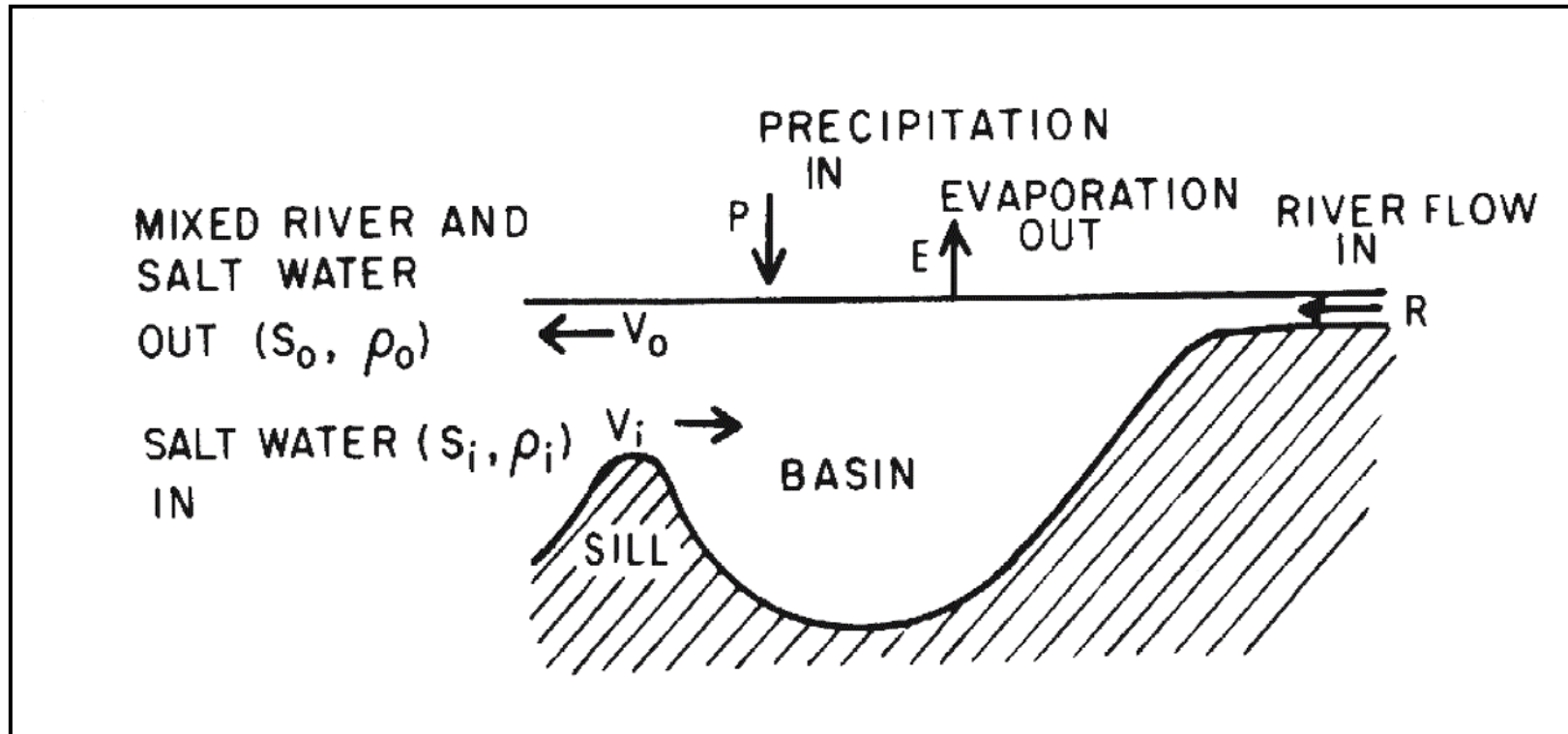




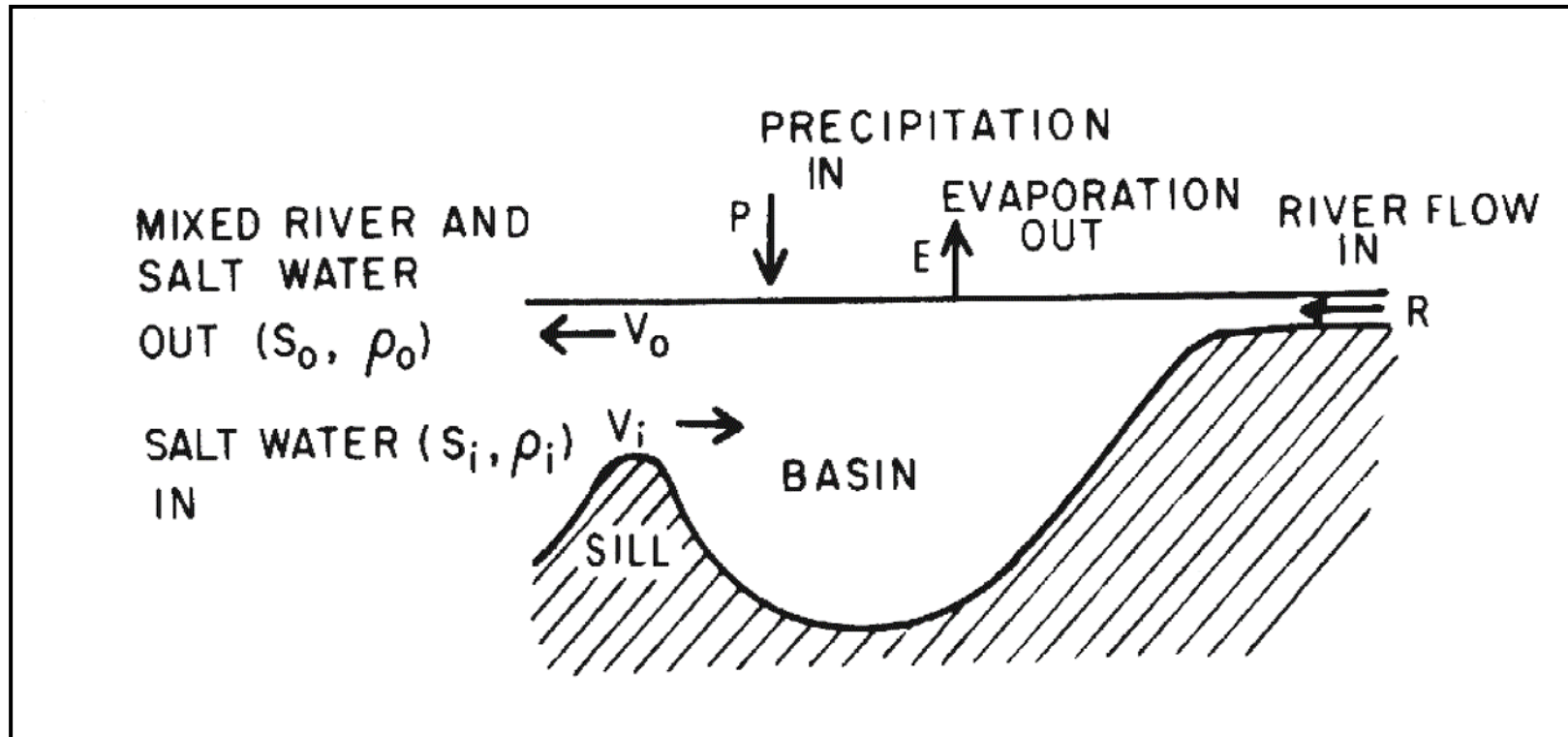


## Διατήρηση του Όγκου Υδάτινης Μάζας

Η αρχή της διατήρησης του όγκου (όπως αυτή προκύπτει από την εξίσωση της συνέχειας), προκύπτει από την αποδοχή της ασυμπίεστοτητας του νερού. Θεωρεί ότι όταν το νερό εισρέει σε ένα κλειστό ταμιευτήρα, η αρχή διατήρησης του όγκου απαιτεί την εκροή ίσου όγκου νερού από το ταμιευτήρα αυτό.



## Διατήρηση του Όγκου Υδάτινης Μάζας



$$V_i + R + P = V_o + E$$

ή αλλιώς

$$V_o - V_i = (R + P) - E = X$$

όπου  $V$  αναφέρεται στη μεταφορά όγκου και εκφράζει τη ροή σε μονάδες  $m^3/sec$ .



## Διατήρηση Άλατος

Η αρχή διατήρησης της αλατότητας εκφράζεται ως εξής :

$$V_i \rho_i S_i = V_o \rho_o S_o$$

όπου  $S_i$ ,  $S_o$  είναι οι αλατότητες της εισερχόμενης και της εξερχόμενης υδάτινης μάζας, και  $\rho_i$ ,  $\rho_o$  είναι οι αντίστοιχες πυκνότητες.

Εφόσον οι δύο πυκνότητες διαφέρουν μεταξύ τους κατά περίπου 3%, (η διαφορά μεταξύ του γλυκού και του αλμυρού νερού), οι πυκνότητες μπορούν να μη ληφθούν υπόψη στην εξίσωση, οπότε:

$$V_i S_i = V_o S_o$$

Ο συνδυασμός της παραπάνω εξίσωσης με αυτή της διατήρησης του όγκου, δίνει την εξίσωση Knudsen ως εξής

$$V_o - V_i = X$$

$$V_i S_i = V_o S_o$$

$$V_i = X S_o / (S_i - S_o) \text{ και } V_o = X S_i / (S_i - S_o)$$

**Εξισώσεις Knudsen**

## Παραδείγματα εφαρμογής – 1. Η Μεσόγειος Θάλασσα

$E > (R+P)$ , και το  $X$  είναι αρνητικό, άρα  $X = (R+P)-E = -7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{sec}$

Για τη εξισορρόπηση αυτού του ελλείμματος, υπάρχει μία εισροή νερού χαμηλής αλατότητας από τον Ατλαντικό ωκεανό, μέσω των Στενών του Γιβραλτάρ.

Μετρήσεις πεδίου στη περιοχή των Στενών Γιβραλτάρ δίνουν μία μέση εισροή  $V_i = 1.75 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

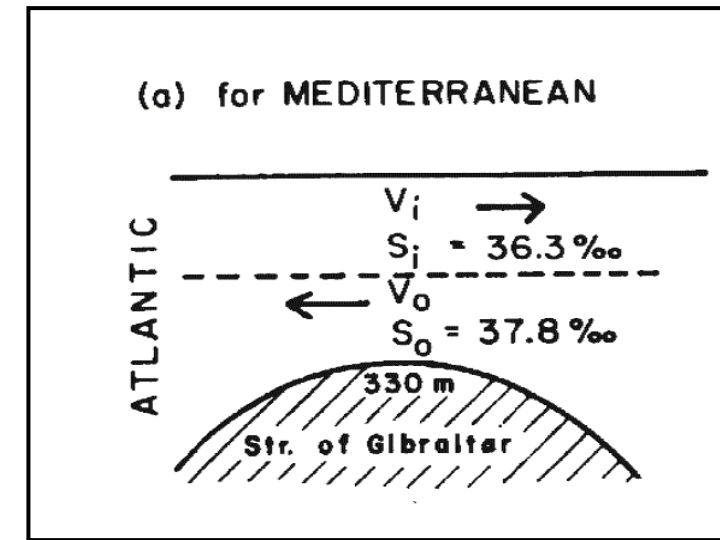
Οι δύο λόγοι αλατότητας των εξισώσεων Knudsen έχουν τιμές περίπου 25, γεγονός που σημαίνει ότι ο όγκος της εκροής αλμυρού νερού ( $V_o$ ) είναι κατά 25 φορές μεγαλύτερος από τον όγκο της εισροής γλυκού νερού ( $V_i$ ).

Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος εκροής  $V_o = 1.68 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$

Μετατρέποντας σε ετήσια την τιμή του  $V_i$  έχουμε μία συνολική εισροή  $5.5 \times 10^4 \text{ km}^3/\text{yr}$

**Flushing Time (Χρόνος Ανανέωσης) = Όγκος Συστήματος ( $\text{km}^3$ ) / Εισροή Όγκου στην Είσοδο ( $\text{km}^3/\text{yr}$ )**

Απαιτούνται περίπου 70 έτη για να γεμίσουμε με νερό τη Μεσόγειο Θάλασσα (όγκος Μεσογείου =  $3.8 \times 10^6 \text{ km}^3$ ). Αυτός ο χρόνος αποτελεί και μία εκτίμηση του **χρόνου ανανέωσης** (flushing time), δηλ. **του χρόνου που απαιτείται για την αντικατάσταση του νερού της Μεσογείου.**

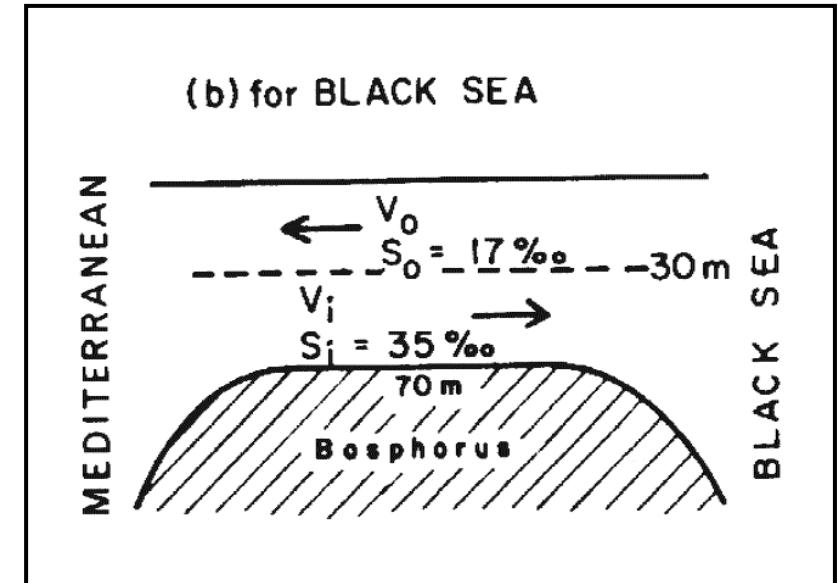


## Παραδείγματα εφαρμογής – 2. Η Μαύρη Θάλασσα

$V_i = 6 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$  και  $V_o = 13 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$ , οπότε  $X = (R + P) - E = 6.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$

Στη περίπτωση αυτή, η τιμή του  $V_i$  σημαίνει ότι η εισροή αλμυρού νερού από τη Μεσόγειο, μέσω του Βόσπορου, είναι της τάξης των  $0.02 \times 10^4 \text{ km}^3/\text{yr}$ .

Συγκρινόμενη η τιμή αυτή με τον όγκο της Μαύρης Θάλασσας που είναι  $0.6 \times 10^6 \text{ km}^3$ , προκύπτει ένας μέσος χρόνος ανανέωσης του νερού της τάξης των 3000 ετών.



Flushing Time (Χρόνος Ανανέωσης) = Όγκος Συστήματος ( $\text{km}^3$ ) / Εισροή Όγκου στην Είσοδο ( $\text{km}^3/\text{yr}$ )