

ΦΥΣΙΚΗ ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑ

ΜΑΘΗΜΑ 3

Η Αλατότητα του Θαλασσινού Νερού

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Γ. Συλαίος

Αλατότητα (Salinity)

Το ωκεάνιο νερό περιέχει οργανικά και ανόργανα συστατικά και διαλυμένα αέρια.

Τα ανόργανα συστατικά αναφέρονται συνολικά με τον όρο 'άλατα'.

Η αλατότητα, S , αναφέρεται στη μάζα των διαλυμένων ανόργανων ουσιών ανά μονάδα μάζας θαλασσινού νερού.

Εκφράζουμε την αλατότητα σε ppt, (‰), psu, ή ως αδιάστατη.

Αλατότητα 35 σημαίνει ότι υπάρχουν 35 g διαλυμένων ανόργανων ουσιών ανά 1 kg νερού.

Αλατότητα (Salinity)

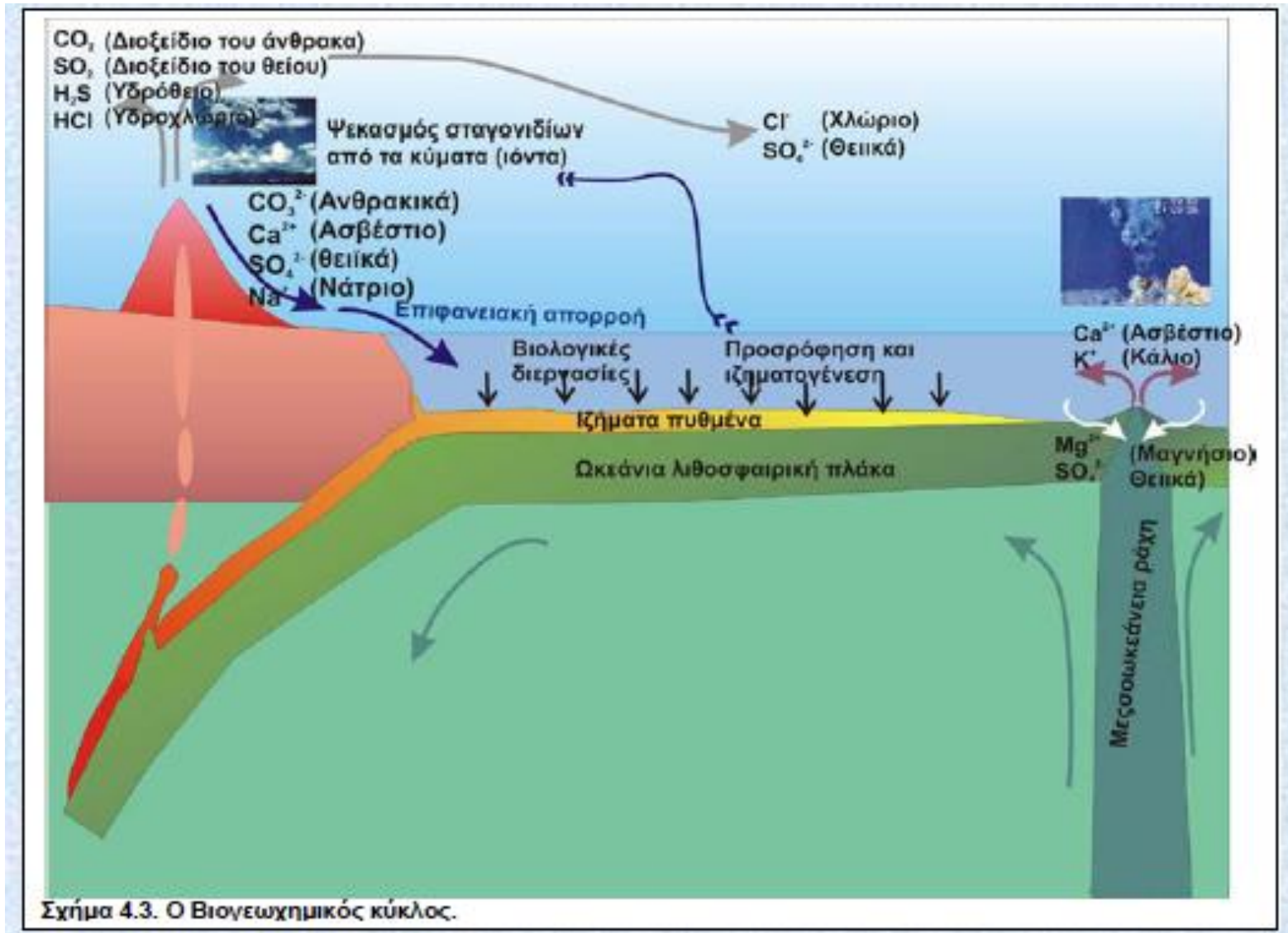
- Η διαλυμένη ποσότητα επηρεάζει τη πυκνότητα του νερού, τη συμπίεστικότητα, το σημείο πήξης και το σημείο μέγιστης πυκνότητας, και άρα η αλατότητα θα πρέπει να προσδιορίζεται.
- Ορισμός Forchhammer: Συνολική ποσότητα διαλυμένων αλάτων σε 1 κιλό νερού, όταν όλα τα ανθρακικά ιόντα μετατραπούν σε οξείδια, όλα τα ιόντα βρωμίου και ιωδίου έχουν αντικατασταθεί από ιόντα χλωρίου και το οργανικό υλικό έχει πλήρως οξειδωθεί.

Αλατότητα (Salinity)

Πίνακας 1. Ιοντική (κατά βάρος) σύσταση θαλασσινού νερού.

Ιόν	Σύμβολο	Ποσοστό συμμετοχής στο θαλασσινό νερό
Χλώριο	Cl ⁻	55,04
Νάτριο	Na ⁺	30,62
Θεική ρίζα	SO ₄ ⁻⁻	7,68
Μαγνήσιο	Mg ⁺⁺	3,69
Ασβέστιο	Ca ⁺⁺	1,15
Κάλιο	K ⁺	1,10
Ανθρακικά ιόντα	HCO ₃ ⁻	0,41

Από προέρχεται το αλάτι της θάλασσας ?



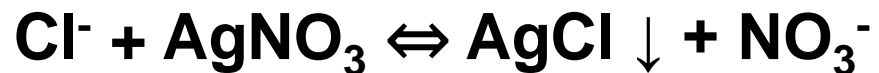
Από προέρχεται το αλάτι της θάλασσας ?

- Εισροή αλάτων - διάβρωση και την αποσάθρωση πετρωμάτων - πολύ αργή διεργασία (της τάξης των 100.000 ετών) σε σχέση με το ρυθμό ανάμειξης του ωκεάνιου νερού (της τάξης των 1.000 ετών).
- Η ποσότητα του άλατος στους ωκεανούς θεωρείται σταθερή, και είναι της τάξης των 5×10^{19} kg.
- Οι ποταμοί μεταφέρουν άλατα της τάξης των 3×10^{12} kg/yr.
- Για να υπολογίσουμε την ετήσια αύξηση αλάτων στον ωκεανό παίρνουμε τους λόγους μέσης αλατότητας προς τα συνολικά άλατα στον ωκεανό ο οποίος είναι ίσος με τον λόγο της προσθήκης της ετήσιας αύξησης ΔS προς την συνολική μάζα αλάτων αυξημένη κατά την ετήσια εισροή αλάτων.

$$\frac{35}{5 \times 10^{19}} = \frac{(35 + \Delta S)}{5 \times 10^{19} + 3 \times 10^{12}} \Rightarrow \Delta S = 21 \times 10^{-7}$$

Προσδιορισμός Αλατότητας

Για το προσδιορισμό της αλατότητας χρησιμοποιούμε συνήθως τη **χλωριότητα (Chlorinity)**, δηλ. τη μάζα των ιόντων χλωρίου, βρωμίου και ιωδίου που υπάρχουν σε καθορισμένη μάζα νερού, στο οποίο επενεργεί άργυρος, θεωρώντας ότι οι μικρές ποσότητες των ιόντων βρωμίου και ιωδίου έχουν αντικατασταθεί από ιόντα χλωρίου.



Ο χλωριούχος άργυρος δημιουργεί ίζημα λευκού χρώματος. Η αλατότητα μέσω της χλωριότητας προσδιορίζεται από το τύπο :

$$S (\text{‰}) = 1,80655 \times \text{Cl}^- (\text{‰})$$

Η αλατότητα που προσδιορίζεται με τον παραπάνω τρόπο καλείται **απόλυτη αλατότητα** (absolute salinity).

Προσδιορισμός Αλατότητας

Σήμερα η μέτρηση αλατότητας μέσω της χλωριότητας εγκαταλείφθηκε και πλέον αυτή γίνεται με τη μέτρηση αγωγιμότητας (conductivity) – απαιτεί ταυτόχρονη μέτρηση θερμοκρασίας.

$$S = f(T, C, \rho)$$

Η αλατότητα που προκύπτει με το νέο τρόπο προσδιορισμού καλείται **πρακτική αλατότητα (practical salinity)**.

Μονάδα μέτρησης αγωγιμότητας: mS/cm (χρήση αγωγιμόμετρου, σαλινόμετρου, CTD, Seacat)

Προσδιορισμός Αλατότητας

Η πρακτική αλατότητα μπορεί να προβληθεί στη κλίμακα πρακτικής αλατότητας η οποία βασίζεται σε καθορισμένο δείγμα νερού (standard seawater) που σε κανονική πίεση και θερμοκρασία 15°C έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με αυτή διαλύματος χλωριούχου καλίου με 31,4357 γρ. KCl ανά χιλιόγραμμο διαλύματος. Το προκαθορισμένο αυτό δείγμα προέρχεται από το Β. Ατλαντικό και καλείται '**νερό Κοπενγχάγης**'.

Practical Salinity Unit, S, προκύπτει από το λόγο:

$$K_{15} = C_{15,5}/C_{15,35}, \text{ όπου } C_{15,35} = 42.896 \text{ mhom/cm ή mS/cm.}$$

$$S = \alpha_0 + \alpha_1 K_{15}^{1/2} + \alpha_2 K_{15} + \alpha_3 K_{15}^{3/2} + \alpha_4 K_{15}^2 + \alpha_5 K_{15}^{5/2}$$

$$\alpha_0 = 0.0080, \alpha_1 = -0.1692, \alpha_2 = 25.3851,$$

$$\alpha_3 = 14.0941, \alpha_4 = -7.0261, \alpha_5 = 2.7081$$

$$\Sigma \alpha_i = 35$$

Νόμος Σταθερής Αναλογίας Dittmar

Ο Νόμος της Σταθερής Αναλογίας (Dittmar, 1884) σημαίνει ότι παρά τις τοπικές μεταβολές αλατότητας, οι λόγοι των συγκεντρώσεων των επιμέρους αλάτων παραμένει παντού και πάντα σταθεροί.

Πρακτικά σημαίνει ότι η μέτρηση ενός μόνο συστατικού είναι σε θέση να μας δώσει δεδομένα για τη περιεκτικότητα και των υπόλοιπων των συστατικών του θαλασσινού νερού.

Άρα ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης ενός και μόνο διαλυμένου άλατος αρκεί για το προσδιορισμό της συγκέντρωσης όλων των αλάτων \Rightarrow άθροιση και προσδιορισμός αλατότητας \Rightarrow **Συντηρητική παράμετρος**.

Αλατότητα (Salinity)

- Συντηρητική παράμετρος στον ωκεανό \Rightarrow άρα η συγκέντρωσή της δεν μεταβάλλεται λόγω βιογεωχημικών διεργασιών, παρά μόνο φυσικών διεργασιών, όπως:
 - Μεταφορά νερού (advection)
 - Μείξη (diffusion, dispersion)
 - Εξάτμιση (Evaporation)
 - Βροχόπτωση (Precipitation)
 - Στερεοποίηση (Freezing)

Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (Electric Conductivity)

- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι το μέτρο της ευκολίας με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μέσα από ένα υλικό (στη προκειμένη περίπτωση το θαλασσινό νερό).
- Το καθαρό νερό διαθέτει τιμή αγωγιμότητας μόλις 0,055 $\mu\text{Siemens/cm}$, ενώ όταν η συγκέντρωση των αλάτων (με την μορφή ιόντων) αυξάνει, αυξάνει και η ηλεκτρική αγωγιμότητα C .
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται κυρίως από την αλατότητα. Ωστόσο μεταβάλλεται και με την θερμοκρασία και την πίεση.
- Άρα η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, αλατότητας και πίεσης.

$$C = f(T, S, p)$$

Προσδιορισμός Αλατότητας

Ο προσδιορισμός της αλατότητας γίνεται με τους παρακάτω τρόπους :

- Εξάτμιση δείγματος νερού και τη ζύγιση βάρους των εναπομεινάντων στερεών συστατικών.
- Προσδιορισμός ιόντων χλωρίου, βρωμίου, ιωδίου που συνθέτουν τη παράμετρο της χλωριότητας και συσχέτιση της χλωριότητας με την αλατότητα μέσω του τύπου : $S = 1,80655 \text{ Cl}^-$ (ακρίβεια 0,025). Η χλωριότητα μετριέται με ένα αλατόμετρο το οποίο χρησιμοποιεί την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού (την ικανότητα του νερού να επιτρέπει ηλεκτρικό ρεύμα να διέρχεται από το εσωτερικό του) για να μετρήσει τη ποσότητα των ελεύθερων ιόντων στο νερό.
- Προσδιορισμός αλατότητας μέσω αγωγιμότητας, C , η οποία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της πίεσης.

$$S = f(T, C, p)$$

Προσδιορισμός Αλατότητας από την Αγωγιμότητα Νερού στην R

Στην R θα χρησιμοποιήσουμε την έτοιμη συνάρτηση του πακέτου oce με το όνομα swSCTp.

```
cond = 40  
temp = 12  
press = 10
```

```
sal = swSCTp(cond, temp, press, conductivityUnit="mS/cm")
```

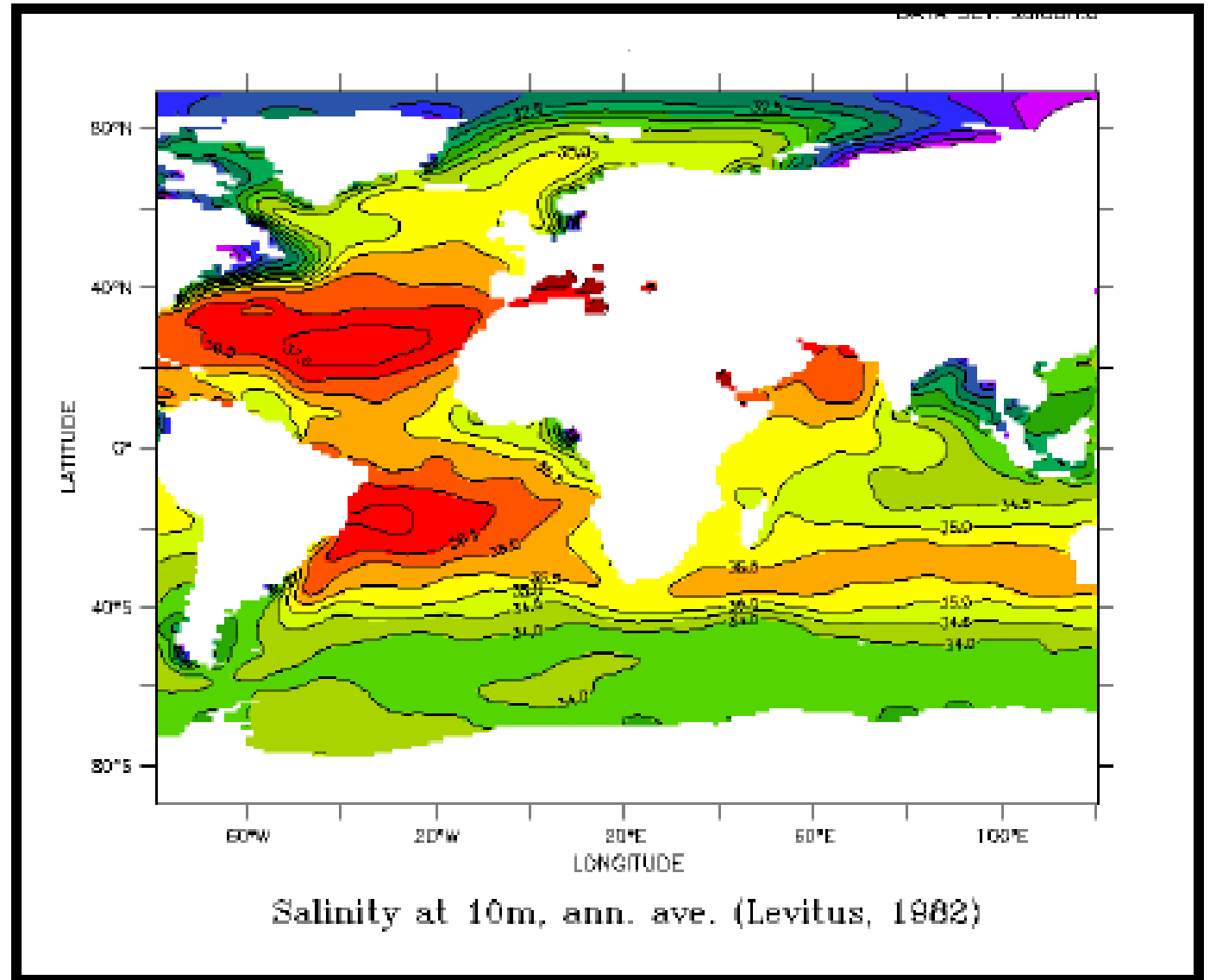
```
[1] 34.99676
```

Επιφανειακή Κατανομή Αλατότητας

Η αλατότητα κυμαίνεται από 33-37 με ΜΟ το 34.

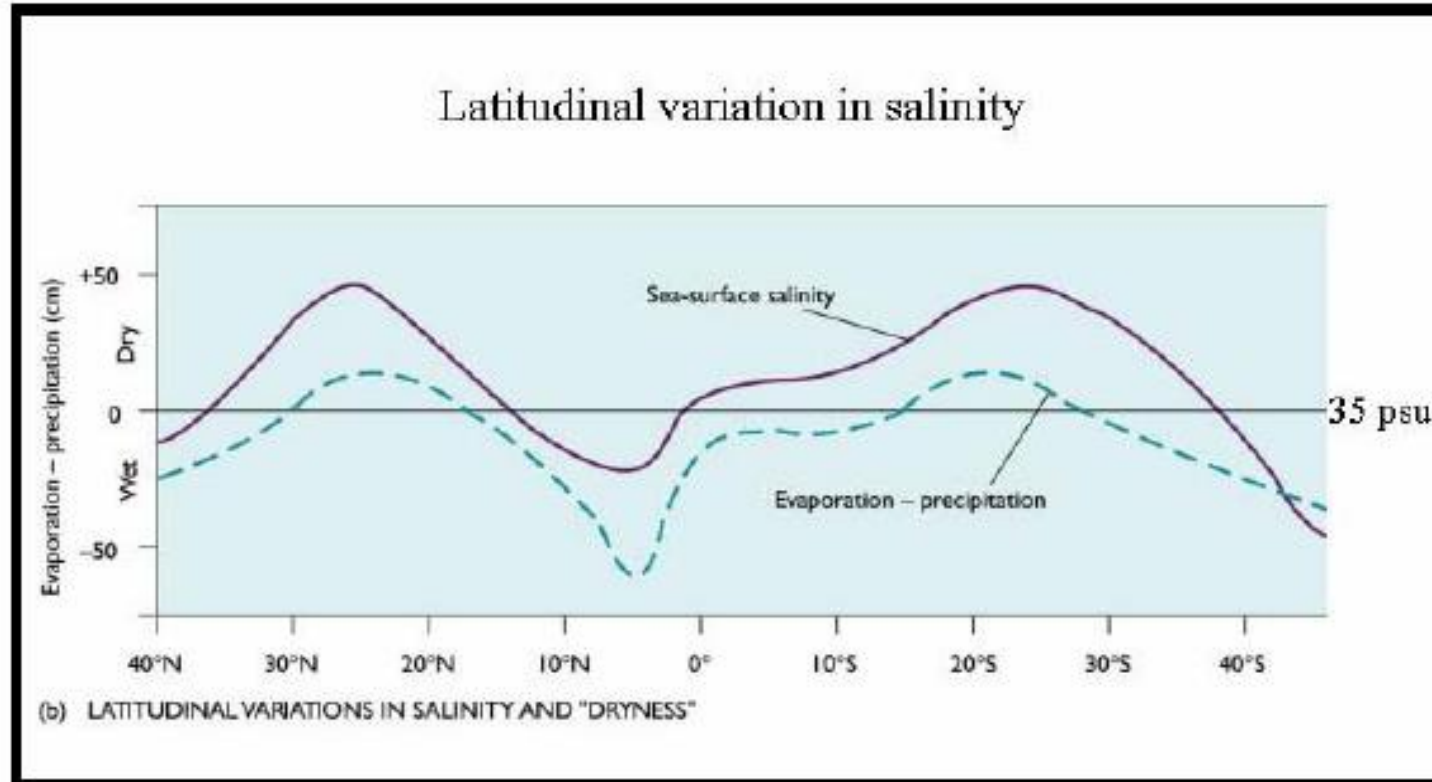
Συσχέτιση αλατότητας και γεωγραφικού πλάτους.

Χαμηλές τιμές στις πολικές περιοχές και τον Ισημερινό και υψηλές στις υποτροπικές περιοχές



Επιφανειακή Κατανομή Αλατότητας

Η ζωνώδης γεωγραφική κατανομή της αλατότητας συνδέεται κατά κύριο λόγο με τη βροχόπτωση (precipitation) και την εξάτμιση (evaporation).



Κατανομή μέσης ετήσιας επιφανειακής αλατότητας κατά μήκος ενός μεσημβρινού, σε σύγκριση με τη διαφορά εξάτμισης και βροχόπτωσης (E-P).

Παράγοντες που αυξάνουν ή μειώνουν την αλατότητα των ωκεανών.

Αύξηση αλατότητας	Μείωση αλατότητας
Εξάτμιση	Βροχόπτωση
Σχηματισμός πάγου	Λιώσιμο πάγου
Επιφανειακή κυκλοφορία (advection of more saline water)	Επιφανειακή κυκλοφορία (advection of less saline water)
Μείξη με πιο αλμυρά νερά	Μείξη με λιγότερο αλμυρά νερά
Διάλυση αλατούχων αποθέσεων	Έκχυση γλυκών υδάτων από ποταμούς και παγετώνες.

Κοντά στη ξηρά, οι τιμές της αλατότητας παρεκκλίνουν σημαντικά από τις προαναφερθείσες τιμές. Οι παρεκκλίσεις αυτές βρίσκονται κυρίως σε περιοχές όπου:

- α) υπάρχει μεγάλη έκχυση γλυκών υδάτων, όπως το Δέλτα του Αμαζονίου,
- β) μεγάλη εξάτμιση, όπως σε λιμνοθάλασσες,
- γ) η επικοινωνία με τη θάλασσα είναι περιορισμένη, όπως Μεσόγειος Θάλασσα, Ερυθρά Θάλασσα και Μαύρη Θάλασσα.

Sea-Surface Salinity

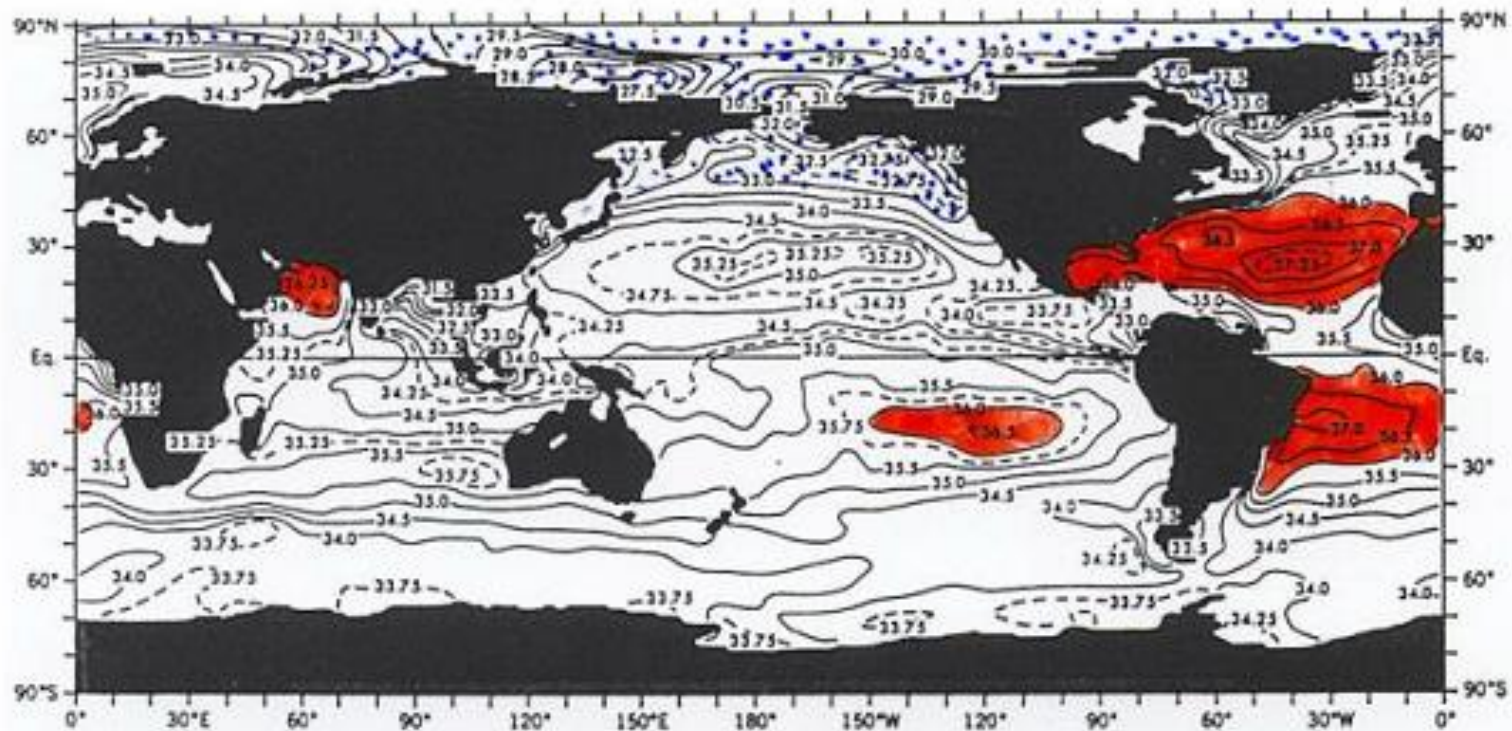


Fig. 1.1: Global distribution of annual-mean sea surface salinity in *ppt*.

 < 33.0 ‰  > 36.0 ‰