

ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ: ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΜΑΔΩΝ ΣΤΟ ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ / ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

Τίτλος Υποέργου:

«Εργαστηριακή προσομοίωση περιβαλλοντικών ροών μεγάλης κλίμακας υπό την επίδραση δυνάμεων Coriolis – Εφαρμογές στην επίδραση των εκροών των ποταμών Νέστου, Στρυμόνα, Έβρου στις παράκτιες προστατευόμενες περιοχές της Θράκης και Ανατολικής Μακεδονίας.»

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ ΠΑΚΕΤΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ 1

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Διερεύνηση βιβλιογραφίας

Φορέας υλοποίησης : ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
Επιστημονικός υπεύθυνος: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΩΤΣΟΒΙΝΟΣ

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ- ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ - ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
Α' ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΒΑΣ. ΣΟΦΙΑΣ 12—67100 ΞΑΝΘΗ
ΤΗΛ.: 25410 79604 – 25410 79321 – 25410 79610
E-mail: kotsovin @civil.duth.gr

Ερευνητική ομάδα

Επιστημονικός υπεύθυνος: Καθηγητής Κωτσοβίνος Νικόλαος

Μέλη ΔΕΠ του Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης

Σούλης Ιωάννης (Αν. Καθηγητής)
Χρυσάνθου Βλάσιος (Αν. Καθηγητής)
Συλαίος Γεώργιος (Επ. Καθηγητής)
Αγγελίδης Παναγιώτης (Λέκτορας)

Επιστημονικοί συνεργάτες

Χατζηκωνσταντίνου Αναστάσιος (Φυσικός, Υποψήφιος Διδάκτορας)
Κονιδάρης Αριστείδης (Πολιτικός Μηχανικός, Υποψήφιος Διδάκτορας)
Γιοβανούδης Χρήστος (Πολιτικός Μηχανικός, Υποψήφιος Διδάκτορας)
Γεωργουλός Αναστάσιος (Πολιτικός Μηχανικός, Υποψήφιος Διδάκτορας)
Γυρίκης Βασίλειος (Πολιτικός Μηχανικός)

Συνεργαζόμενα μέλη – καθηγητές εφαρμογών στο ΤΕΙ Καβάλας

Αποστολίδου Ελένη
Σαράφης Ηλίας
Παναγιωτίδης Θεολόγης
Κόγια Φωτεινή

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία αποτελεί το παραδοτέο του πρώτου πακέτου εργασιών του ερευνητικού υποέργου με τίτλο «Εργαστηριακή προσομοίωση περιβαλλοντικών ροών μεγάλης κλίμακας υπό την επίδραση δυνάμεων Coriolis – Εφαρμογές στην επίδραση των εκροών των ποταμών Νέστου, Στρυμόνα, Έβρου στις παράκτιες προστατευόμενες περιοχές της Θράκης και Ανατολικής Μακεδονίας» στα πλαίσια του προγράμματος «Πυθαγόρας: Ενίσχυση ερευνητικών ομάδων στα Πανεπιστήμια». Περιέχει τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και γενικότερα τη διερεύνηση της τρέχουσας γνώσης πάνω σε γενικά θέματα επίδρασης της δύναμης Coriolis σε εκροές ανωστικών πλουμίων, καθώς και σε έρευνες που έχουν γίνει για το Βόρειο Αιγαίο.

Στο Α' Μέρος περιγράφεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση του φαινομένου ανταλλαγής θαλάσσιων υδάτων μέσω στενών και του φαινομένου εκροής ποταμών, δίνοντας έμφαση στην επίδραση της περιστροφής της γης. Από υδραυλική άποψη, οι ροές αυτές αντιμετωπίζονται ως ανωστικά πλούμια και προσεγγίζονται με αναλυτικές, αριθμητικές και πειραματικές μεθόδους.

Το Β' Μέρος αποτελεί τη συλλογή ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων που αφορούν στα γενικά χαρακτηριστικά του Αιγαίου (με έμφαση στο Βόρειο Αιγαίο), τα στενά του Ελλήσποντου, και τους ποταμούς Έβρο, Νέστο και Στρυμόνα. Οι πληροφορίες αυτές προέρχονται από το συνδυασμό μετρήσεων πεδίου, αριθμητικών μοντέλων και δορυφορικών εικόνων. Χαρακτηριστικό είναι ότι μέχρι τώρα δεν υπάρχει εργασία που να έχει εφαρμόσει *πειραματική* προσομείωση στο Βόρειο Αιγαίο.

Στο Παράρτημα I περιλαμβάνονται οι βασικότεροι ορισμοί που συναντώνται σε προβλήματα ωκεανογραφίας. Στο Παράρτημα II αναφέρεται η κύρια βιβλιογραφία που περιγράφεται στα Μέρη Α' & Β', ενώ στο Παράρτημα III περιλαμβάνεται μια λίστα με δευτερεύουσας σημασίας (όσον αφορά το παρόν έργο) άρθρα που δε σχολιάζονται στην παρούσα εργασία. Στο Παράρτημα IV αποτελεί μια λίστα με τους πιο ενδιαφέροντες σχετικούς δικτυακούς τόπους, οι οποίοι αποτελούν σημαντική πηγή πληροφόρησης. Το Παράρτημα V περιέχει επιλεγμένες απεικονίσεις από αριθμητικά μοντέλα και δορυφορικές εικόνες για διάφορα χαρακτηριστικά του Βορείου Αιγαίου (αλατότητα, θερμοκρασία, συγκέντρωση χλωροφύλλης-α κλπ) που συλλέχθηκαν από διαδικτυακούς τόπους. Από τις εικόνες και μόνο φαίνεται η

διαφοροποίηση του βόρειου τμήματος του Βορείου Αιγαίου, ως αποτέλεσμα της εκροής υδάτων κυρίως από τον Ελλήσποντο και δευτερευόντως από τα ποτάμια.

Από την εργασία που έγινε, διαπιστώθηκε

- ότι οι μετρήσεις που έχουν γίνει στο Βόρειο Αιγαίο, καθώς και οι δορυφορικές εικόνες και τα αριθμητικά μοντέλα δείχνουν ξεκάθαρα την επίδραση της εισροής των υδάτων της Μαύρης Θάλασσας μέσω του Ελλήσποντου στο Βόρειο Αιγαίο, όπου εμφανίζεται μειωμένη αλατότητα, αυξημένη θερμοκρασία και κυρίως αυξημένες συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α και άλλων ρύπων, ένδειξη που μπορεί μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα να καταλήξει σε σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα.
- έλλειψη πειραματικής προσέγγισης του Βορείου Αιγαίου,
- έλλειψη ακριβούς προσδιορισμού της κυκλοφορίας των υδάτων εισροής από τον Ελλήσποντο (ως ένα από τα σημαντικά επιστημονικά ερωτήματα που διατυπώθηκαν στο [Aegean Sea Workgroup \(Rhodes 2002\)](#))

Οι παραπάνω παράγοντες πιστεύουμε ότι καθιστούν σαφή τη σημαντικότητα του παρόντος ερευνητικού έργου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛ.
ΜΕΡΟΣ Α: Αναλυτική, αριθμητική και πειραματική προσέγγιση του φαινομένου ανταλλαγής θαλάσσιων υδάτων μέσω στενών και του φαινομένου εκροής ποταμών, (με έμφαση στην επίδραση της περιστροφής της γης)	1
ΜΕΡΟΣ Β: Ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση εκροών από τα στενά του Ελλήσποντου και τους ποταμούς Έβρο, Νέστο και Στρυμόνα και γενικών χαρακτηριστικών του Βορείου Αιγαίου	10
Γενικά χαρακτηριστικά Αιγαίου	17
Ποταμός Έβρος	23
Ποταμός Νέστος	25
Ποταμός Στρυμόνας	26
Παράρτημα Ι: Βασικοί ορισμοί	29
Παράρτημα ΙΙ: Κύρια βιβλιογραφία	34
Παράρτημα ΙΙΙ: Δευτερεύουσα βιβλιογραφία (ασχολίαστη)	38
Παράρτημα ΙV: Άλλες πηγές πληροφόρησης - Σχετικοί δικτυακοί τόποι	40
Παράρτημα V: Gallery	44

ΜΕΡΟΣ Α: Αναλυτική, αριθμητική και πειραματική προσέγγιση του φαινομένου ανταλλαγής θαλάσσιων υδάτων μέσω στενών και του φαινομένου εκροής ποταμών, (με έμφαση στην επίδραση της περιστροφής της γης)

Ο [Anwar \(1998\)](#) πραγματοποίησε μετρήσεις πεδίου στις ανατολικές και δυτικές παράκτιες περιοχές της Μ. Βρετανίας, με σκοπό τη διερεύνηση της εξάπλωσης μηχανωστικών επιφανειακών πλουμίων σε ομογενές και σε στρωματοποιημένο περιβάλλον με ισχυρά παλιρροιακά ρεύματα. Η επίδραση της δύναμης Coriolis δελήφθηκε υπόψιν στην ανάλυση των δεδομένων.

Οι [Davies and Ahmed \(1996\)](#) διερεύνησαν πειραματικά την επίδραση της περιστροφής σε ροή οριζόντιας φλέβας με αρνητική άνωση σε ομογενές περιβάλλον. Η ροή είναι αυστηρά τρισδιάστατη, με ταυτόχρονη βύθιση λόγω της αρνητικής άνωσης και εκτροπή προς τα δεξιά λόγω της δύναμης Coriolis. Οι κύριες παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη είναι η ταχύτητα περιστροφής, η ειδική ροή ορμής και η ειδική ροή άνωσης. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκαν πειράματα χωρίς περιστροφή, με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η περιορισμένων διαστάσεων δεξαμενή στην οποία εκτελέστηκαν τα πειράματα συνεπάγεται τη σημαντική επίδραση των στερεών ορίων στα αποτελέσματα.

Οι [Zhu and Lawrence \(1996\)](#) παρουσίασαν μια θεωρητική και πειραματική μελέτη πάνω στην ανταλλαγή υδάτων λόγω διαφοράς πυκνότητας, μεταξύ δύο θαλάσσιων περιοχών που συνδέονται μέσω ενός στενού καναλιού, στου οποίου τον πυθμένα υπάρχει ύφαλος. Το ρευστό με μικρότερη πυκνότητα ρ_1 ρέει στο πάνω μέρος του καναλιού, ενώ αντίθετα το ρευστό με μεγαλύτερη πυκνότητα ρ_2 ρέει στο κάτω μέρος του καναλιού. Το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε λαμβάνει υπόψη *διατμητικές* και *μη-υδροστατικές* δυνάμεις και τα αποτελέσματα ήταν σε συμφωνία με τις πειραματικές μετρήσεις. Όπως παρατηρήθηκε, στη διεπιφάνεια εμφανίζονται φαινόμενα αστάθειας τύπου Kelvin-Helmholtz και Holmboe. Αυτή η αστάθεια (α) επηρεάζει τη διατμητική τάση της διεπιφάνειας, που με τη σειρά της επιδρά στη ροή και (β) μπορεί να προκαλέσει ανάμειξη των δύο στρώσεων. Τρεις αδιάστατες παράμετροι καθορίζουν την αστάθεια:

- ο αριθμός Richardson: $Ri = \frac{g'\delta}{(U_1 - U_2)^2}$
- ο αδιάστατος κυματικός αριθμός: $\alpha = \frac{2\pi\delta}{\lambda}$
- η σχετική μετατόπιση των προφίλ της ταχύτητας και της πυκνότητας: $\frac{d}{\delta}$

όπου λ το μήκος κύματος. Όπως προέκυψε, στην περίπτωση που $d/\delta = 0$, η αστάθεια Kelvin-Helmholtz εμφανίζεται μόνο για αριθμούς Richardson $Ri < 0.07$, ενώ η αστάθεια Holmboe μπορεί να παρουσιαστεί και σε μεγαλύτερους αριθμούς Richardson.

Ο [Garvine \(1995\)](#) επιχείρησε την ταξινόμηση των ανωστικών παράκτιων εκροών εφαρμόζοντας τη μέθοδο κανονικοποίησης (scaling analysis) στις εξισώσεις συνέχειας και ορμής. Όπως προέκυψε, η κύρια παράμετρος ταξινόμησης είναι ο αριθμός Kelvin, που ορίζεται ως ο λόγος του πλάτους της ανωστικής εκροής προς τη βαροκλινική ακτίνα Rossby. Για μικρούς αριθμούς Kelvin προκύπτουν ισχυροί όροι μεταφοράς στην εξίσωση ορμής, αριθμοί Froude της τάξης του ένα και μικρή επίδραση της δύναμης Coriolis. Αντίστοιχα, για μεγάλους αριθμούς Kelvin προκύπτουν ασθενείς όροι μεταφοράς, μικροί αριθμοί Froude και μεγάλη επίδραση της Coriolis. Ενδιάμεση κατάσταση ισχύει για αριθμούς Kelvin περίπου ίσους με τη μονάδα. Εφαρμογή της μεθόδου έγινε για δώδεκα περιπτώσεις εκροών σε θάλασσες από όλο τον κόσμο, με τον αριθμό Kelvin να κυμαίνεται από 0.1 έως 10.0. Το κύριο μειονέκτημα της προτεινόμενης μεθόδου ταξινόμησης είναι ότι απαιτείται εκ των προτέρων η γνώση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του προς μελέτη προβλήματος. Το επιθυμητό θα ήταν μια ταξινόμηση που να βασίζεται στα αρχικά, χονδρικά χαρακτηριστικά της κάθε εκροής, ωστόσο αυτό απαιτεί καλύτερη κατανόηση της δυναμικής των ανωστικών εκροών.

Οι [Yankovsky and Chapman \(1997\)](#) διακρίνουν τα ανωστικά παράκτια πλούμια εξετάζοντας αν το στρώμα εξάπλωσης του πλουμίου επεκτείνεται ή όχι μέχρι τον πυθμένα του αποδέκτη. Σκοπός της εργασίας είναι η ταξινόμηση του κάθε προβλήματος από τα αρχικά χαρακτηριστικά της εκροής και την τοπογραφία του πυθμένα. Η εισροή θεωρείται ότι προέρχεται από ορθογωνική διατομή πλάτους L και βάθους h_0 και με ομοιόμορφη ταχύτητα u_i . Έτσι, το βάθος στο οποίο το πλούμιο παραμένει προσκολλημένο στον πυθμένα υπολογίζεται από την εξίσωση

$$h_b = \sqrt{\frac{2Lu_i h_o f}{g'}}$$

η προς τα ανοιχτά απόσταση της επιφανειακής εξάπλωσης είναι

$$y_s = \frac{2(3g'h_o + u_i^2)}{f\sqrt{(2g'h_o + u_i^2)}}$$

ενώ η προς τα ανοιχτά απόσταση της εξάπλωσης στον πυθμένα (απόσταση στην οποία εμφανίζεται το h_b) είναι

$$y_b = \begin{cases} \frac{h_o \left(\sqrt{\frac{2Lu_i f}{g'h_o}} - 1 \right)}{s}, & h_b > h_o \\ 0, & h_b < h_o \end{cases}$$

όπου f η παράμετρος Coriolis, g' η επιτάχυνση άνωσης και s η κλίση του πυθμένα.

Διακρίνονται 3 περιπτώσεις:

- $h_b < h_o$ & $y_b = 0$: το πλούμιο αναπτύσσεται σε ένα επιφανειακό στρώμα
- $h_b > h_o$ & $y_b < y_s$: το πλούμιο φτάνει κατακόρυφα μέχρι τον πυθμένα του αποδέκτη σε απόσταση y_b προς τα ανοιχτά και στη συνέχεια (μέχρι την απόσταση y_s) εκδηλώνεται σε επιφανειακό στρώμα.
- $h_b > h_o$ & $y_b > y_s$: το μέτωπο του πλουμίου επεκτείνεται κατακόρυφα μέχρι τον πυθμένα σε όλο το πεδίο.

Η παραπάνω ταξινόμηση μπορεί να εκφραστεί και σε νομογράφημα συναρτήσεως των αδιάστατων αριθμών Burger και Rossby. Η κάθε κατηγορία έχει διαφορετική συμπεριφορά. Στην περίπτωση της επιφανειακής εξάπλωσης, αναπτύσσεται ένας κυκλώνας μπροστά από το στόμιο εκροής και τα νερά τροφοδοτούν ένα στενό ρεύμα κατά μήκος της ακτής δεξιά της εκροής. Στην περίπτωση που το μέτωπο του πλουμίου επεκτείνεται μέχρι τον πυθμένα, τα νερά σχηματίζουν ένα ρεύμα κατά μήκος της δεξιάς ακτής σε μεγαλύτερο πλάτος.

Οι [Lin and Atkinson \(2000\)](#) εξέτασαν πειραματικά και θεωρητικά την επίδραση της δύναμης Coriolis στην τύρβη των φλεβών ελεύθερης επιφανείας. Η Coriolis μετατοπίζει τον προσανατολισμό των δινών τύρβης δεξιόστροφα (για αντισωρολογιακή περιστροφή περιβάλλοντος) και παράλληλα αυξάνει την ελλειπτικότητα τους. Η αύξηση της ελλειπτικότητας πιθανότατα σχετίζεται με τη 'στρωματοποίηση της δύναμης Coriolis' (*Coriolis force stratification*). Παράλληλα, η στρωματοποίηση της δύναμης Coriolis εντείνει την εξάπλωση της φλέβας στην κατακόρυφη διεύθυνση.

Φασματική ανάλυση των μετρήσεων έδειξε αύξηση της ενέργειας στις χαμηλές συχνότητες.

Οι [Savage and Sobey \(1975\)](#) μελέτησαν θεωρητικά την εξάπλωση στρωτής φλέβας από κατακόρυφη σχισμή σε περιστρεφόμενο περιβάλλον, θεωρώντας ότι υπάρχει στερεό τοίχωμα πίσω από τη σχισμή. Από την ανάλυση προκύπτει ότι η δύναμη Coriolis που ασκείται στη φλέβα, καθώς αυτή διασχίζει το περιβάλλον ρευστό, εξισορροπείται από το πεδίο πιέσεων που δημιουργείται εκατέροθεν και τελικά η φλέβα δεν εκτρέπεται. Στην ίδια εργασία μελετήθηκε θεωρητικά η αρχική εξάπλωση οριζόντιας φλέβας από κυκλική οπή σε περιστρεφόμενο περιβάλλον και υπολογίστηκε ότι η αδιάστατη παραμετρική εξίσωση τροχιάς είναι η ακόλουθη κλωθοειδής καμπύλη

$$\bar{x}(\bar{t}) = \frac{x(\bar{t})}{L} = \int_0^{\bar{t}} \cos\left(\frac{\pi}{2} \bar{t}^2\right) d\bar{t}$$

$$\bar{y}(\bar{t}) = \frac{y(\bar{t})}{L} = -\int_0^{\bar{t}} \sin\left(\frac{\pi}{2} \bar{t}^2\right) d\bar{t}$$

όπου ο x-άξονας είναι κατά μήκος και ο y-άξονας εγκάρσια της αρχικής εκροής της φλέβας. Η μεταβλητή $\bar{t}$ δεν εκφράζει τον πραγματικό αδιάστατο χρόνο, αλλά την αδιάστατη απόσταση κατά μήκος της τροχιάς. Το χαρακτηριστικό μήκος L εκφράζει το μήκος τροχιάς στο σημείο που η καμπύλη έχει τη μέγιστη απόσταση κατά το x-άξονα και είναι

$$L = \sqrt{\frac{1}{\Omega a} \sqrt{\frac{\pi \cdot \ln 2}{2} \frac{J_r}{\rho}}}$$

όπου J_r : η ροή ορμής του στομίου. Πειράματα έδειξαν ότι η παραπάνω εξίσωση ισχύει σε 'βαθύ' αποδέκτη, δηλαδή όταν υπάρχει ένα ικανοποιητικό ύψος h του νερού της δεξαμενής σε σχέση με το μήκος L . Για λόγους h/L μικρότερους της τάξης του 0.1 η εκτροπή της φλέβας είναι ασθενέστερη, καθώς αυτή η περίπτωση πλησιάζει κάπως την προηγούμενη περίπτωση της φλέβας από κατακόρυφη σχισμή. Ανάλογα πειράματα φλέβας από κυκλική οπή έχουν πραγματοποιηθεί και στην περιστρεφόμενη δεξαμενή του εργαστηρίου της υποφαινόμενης ερευνητικής ομάδας στα πλαίσια μεταπτυχιακής διατριβής και τα αποτελέσματα ήταν σε ικανοποιητική συμφωνία με την παραπάνω εργασία.

Ο [Constantin \(2004\)](#) επιχείρησε μια αναλυτική προσέγγιση των περιστρεφόμενων, ασυμπίεστων εξισώσεων Euler και Navier-Stokes για τη διερεύνηση των κινήσεων κατά τη διεύθυνση της περιστροφής.

Ο [Gadgil \(1971\)](#) διερεύνησε θεωρητικά την ομογενή, στρωτή, ημι-γεωστροφική φλέβα, δίνοντας έμφαση στην επίδραση της στοιβάδας Ekman. Όταν η φλέβα εφάπτεται σε στερεό όριο που είναι κάθετο στον άξονα περιστροφής, και καθώς αυξάνεται ο ρυθμός περιστροφής, η αρχική ορμή της φλέβας μειώνεται σημαντικά κατά μήκος της ροής, λόγω της διάχυσης που πραγματοποιείται από τις διατμητικές τάσεις εντός της στοιβάδας Ekman. Εφαρμογή στο Gulf Stream εξηγεί εν μέρει κάποια φαινόμενα που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή του ρεύματος. Ωστόσο, στη θεωρία το συνολικό πεδίο ροής δημιουργείται από την ίδια τη φλέβα, σε αντίθεση με το φαινόμενο στη φύση, όπου η ροή μακριά από την περιοχή της φλέβας καθορίζεται και από άλλες δυνάμεις, όπως ο άνεμος.

Οι [Sobey and Savage \(1974\)](#) περιέγραψαν μια θεωρητική και πειραματική μελέτη στην κυκλοφορία που προκαλεί η ορμή εισροής μιας φλέβας σε μια δεξαμενή με νερό. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η διαστατική ανάλυση που εφαρμόζεται, από την οποία προκύπτει

$$\frac{Q_c}{\sqrt{K_o}L} = f \left[\frac{1}{L} \left(\frac{K_o}{f^2} \right)^{\frac{1}{4}}, \frac{\sqrt{K_o}L}{Q_o}, \frac{L}{h}, \frac{\sqrt{K_o}}{v}, \frac{K_o}{Q_o \sqrt{gh}}, \frac{\Delta\rho}{\rho}, \frac{k_s}{h} \right]$$

όπου K_o : η ροή της ορμής της φλέβας, Q_o : η ροή μάζας της φλέβας, Q_c : η ροή του συνολικού όγκου κυκλοφορίας της δεξαμενής, L : η χαρακτηριστική οριζόντια απόσταση της δεξαμενής (ήτοι η διάμετρος), h : το χαρακτηριστικό βάθος της δεξαμενής, f : η τοπική παράμετρος Coriolis, v : το κινηματικό ιξώδες του νερού, k_s : το μέσο ύψος τραχύτητας, g : η επιτάχυνση της βαρύτητας, ρ : η πυκνότητα του περιβάλλοντος και $\Delta\rho$: η διαφορά πυκνότητας του ρευστού εισροής και του περιβάλλοντος ρευστού. Ωστόσο, τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε μη-περιστρεφόμενη δεξαμενή και οι όροι που περιέχουν την παράμετρο Coriolis παρήλφθηκαν.

Οι [Griffiths and Linden \(1981\)](#) μελέτησαν πειραματικά την ευστάθεια των στροβίλων σε περιστρεφόμενο, στρωματοποιημένο ρευστό. Η ροή που προκαλείται από μια σημειακή πηγή μέσα σε ένα περιστρεφόμενο περιβάλλον αναπτύσσεται αξιsymμετρικά (όπως και σε ένα μη-περιστρεφόμενο περιβάλλον) μέχρι να λάβει ένα

κρίσιμο μέγεθος, πέρα από οποίο προκαλείται διαταραχή, οπότε το φαινόμενο διασπάται σε δύο ή και περισσότερους στροβίλους. Παρόμοια φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί σε πειράματα που έχουν γίνει στο εργαστήριο της υποφαινόμενης ερευνητικής ομάδας. Μάλιστα, πειράματα έδειξαν ότι παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζει και η εξέλιξη οριζόντιων φλεβών, καθώς από κάποιο σημείο και ύστερα αρχική τους ορμή εξασθενεί και παίζει δευτερεύοντα ρόλο.

Η εκροή στη θάλασσα, υπό την επίδραση της Coriolis, μπορεί να εκτραπεί διατηρώντας συνοχή, ή μπορεί να διακλαδωθεί. Ο [Nof \(1987\)](#) ανέπτυξε ένα μη-γραμμικό, μη-ιξώδες, αναλυτικό μοντέλο με σκοπό τη διερεύνηση του παραπάνω φαινομένου και υποστηρίζει ότι η κύρια παράμετρος που καθορίζει τη συμπεριφορά είναι η γωνία των ακτών αριστερά και δεξιά της εκβολής. Συγκεκριμένα, στο βόρειο ημισφαίριο της γης:

- για $\varphi < 90^\circ$, η ροή διατηρεί συνοχή και εκτρέπεται προς τα δεξιά
- για $90^\circ < \varphi < 180^\circ$, η ροή διατηρεί συνοχή και εκτρέπεται προς τα αριστερά
- για $180^\circ < \varphi < 270^\circ$, η ροή διασπάται σε ένα στενό ρεύμα που εκτρέπεται προς τα δεξιά και σε ένα πλατύ ρεύμα που κατευθύνεται προς τα αριστερά
- για $\varphi > 270^\circ$, η ροή διασπάται σε δύο συμμετρικές διακλαδώσεις.

Έγινε εφαρμογή στην περιοχή των στενών Tsugaru της Ιαπωνίας, όπου η τοπογραφία μπορεί να προσομοιωθεί με την περίπτωση όπου $180^\circ < \varphi < 270^\circ$. Πράγματι, παρατηρήσεις πεδίου δείχνουν να συμφωνούν με τα συμπεράσματα του αναλυτικού μοντέλου. Παρόμοια φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί σε πρόσφατα πειράματα στο εργαστήριο της υποφαινόμενης ερευνητικής ομάδας στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας, χωρίς ωστόσο να έχουν ποσοτικοποιηθεί και αναλυθεί ακόμη.

Ο [Nof \(1978\)a](#) και [Nof \(1978\)b](#) προσέγγισε θεωρητικά και πειραματικά το πρόβλημα εκροής στη θάλασσα και ανταλλαγής υδάτων μέσω στενών θεωρώντας γεωστροφική ροή, για (α) ένα επίπεδο και (β) δύο επίπεδα στον αποδέκτη. Το μαθηματικό μοντέλο δε λαμβάνει υπόψη διατμητικές τάσεις. Όπως φάνηκε, η περιστροφή είναι σημαντική όταν ο λόγος του εσωτερικού αριθμού Froude προς τον αριθμό Rossby δεν είναι αμελητέος. Διαπιστώθηκε η ύπαρξη μιας κρίσιμης τιμής του αριθμού Rossby, πέρα από την οποία υφίσταται αποκόλληση της ροής από τα στερεά όρια. Αν και γενικά αναμένεται η εκτροπή της ροής να εκδηλώνεται προς τα δεξιά για το Βόρειο Ημισφαίριο, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περίπτωση, είναι

δυνατόν παρατηρηθεί και προς τα αριστερά. Μια όχι λεπτομερής προσπάθεια γίνεται για την ερμηνεία της συμπεριφοράς της ροής που παρατηρείται από τα στενά του Γιβραλτάρ στη θάλασσα Alboran (το δυτικό τμήμα της Μεσογείου θάλασσας), η οποία εκτρέπεται προς τα αριστερά, και της αντίστοιχης ροής από τη θάλασσα Alboran, το Νείλο και τον Ελλήσποντο προς τη Μεσόγειο θάλασσα, όπου παρατηρείται εκτροπή προς τα δεξιά. Αν και το πρόβλημα παραμένει ανοιχτό, πιθανότατα υπάρχει κάποια αλληλεξάρτηση της διεύθυνσης εκτροπής και της υπάρχουσας κυκλοφορίας του νερού στη μάζα του θαλάσσιου αποδέκτη.

Οι [Davies et. al. \(2002\)](#) μελέτησαν πειραματικά την εκροή που παρατηρείται από τη Μεσόγειο Θάλασσα στον κόλπο του Cadiz της νότιας Ισπανίας, μέσω των στενών του Γιβραλτάρ, σε περιστρεφόμενη ορθογωνική δεξαμενή διαστάσεων $2.05 \times 0.65 \times 0.25 m^3$. Το νερό εκροής έχει πυκνότητα μεγαλύτερη από τα επιφανειακά νερά του κόλπου του Cadiz και το φαινόμενο εξελίσσεται σε ένα ενδιαμέσο υποθαλάσσιο επίπεδο σε στρωματισμένο περιβάλλον, πιο χαμηλά από το μέσο επίπεδο που υφίσταται η εκροή. Εκτελέστηκε πληθώρα πειραμάτων για εύρος τιμών διαφόρων αδιάστατων αριθμών (αριθμοί Rossby, Reynolds, Burger, Froude κ.α.), κοντά στις τάξεις μεγέθους των αριθμών του πραγματικού φαινομένου, εκτός από τον αριθμό Reynolds, όπου στο πρότυπο είναι της τάξης του 10^8 , ενώ στα πειράματα κυμάνθηκε μεταξύ 900 και 2000· ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις η ροή θεωρείται τυρβώδης. Το ομοίωμα ήταν παραμορφωμένο στις τρεις διαστάσεις, με παραμόρφωση 1/5 μεταξύ της οριζόντιας διεύθυνσης κατά μήκος της εκροής και της οριζόντιας διεύθυνσης εγκάρσια της εκροής και 1/60 μεταξύ της οριζόντιας διεύθυνσης κατά μήκος της εκροής και της κατακόρυφης διεύθυνσης. Παράλληλα, το ομοίωμα αναπαρίστανε πολύ χονδρικά τη γεωμορφολογία του φυσικού προβλήματος. Ωστόσο, και παρά το γεγονός ότι τα πειράματα δε λαμβάναν υπόψη τα παλιρροιακά φαινόμενα που είναι έντονα σε αυτές τις θάλασσες, τα αποτελέσματα ήταν σε συμφωνία, τουλάχιστον ποιοτική, με μετρήσεις πεδίου και με αριθμητικές προσεγγίσεις του προβλήματος, και έδωσαν ερεθίσματα για την ερμηνεία των μηχανισμών του φαινομένου.

Οι εργασίες του [McClimans \(1990\)](#) και [McClimans \(1999\)](#) αναφέρονται στην προσέγγιση της εργαστηριακής μοντελοποίησης των εκροών σε θάλασσα. Γίνεται διάκριση των *εργαστηριακών πειραμάτων* και των *εργαστηριακών μοντέλων*. Τα εργαστηριακά πειράματα αναφέρονται στην κατασκευή και μελέτη πειραματικής διάταξης με απλοποιημένη γεωμετρία, με σκοπό την κατανόηση των βασικών

μηχανισμών και τη διατύπωση καθολικών νόμων που κυβερνούν τα φαινόμενα. Από την άλλη, τα εργαστηριακά μοντέλα, αποσκοπούν στη μελέτη συγκεκριμένων προβλημάτων στη φύση, με την προσαρμογή της τοπογραφίας και των οριακών συνθηκών, με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσέγγιση της κατασκευής των κλιμάκων και της αδιαστατοποίησης, που συνοψίζεται στα ακόλουθα:

- Λόγω της πολύ μικρής κατακόρυφης διάστασης στη φύση, σε σχέση με την οριζόντια, η κατακόρυφη κλίμακα της μοντελοποίησης πρέπει να είναι μεγεθυμένη σε σχέση με την οριζόντια, ούτως ώστε η επίδραση των επιφανειακών τάσεων να είναι αμελητέα.
- Οι κύριες δυνάμεις που κυβερνούν τη ροή είναι οι ανωστικές, οι αδρανειακές και οι δυνάμεις περιστροφής. Οι δυνάμεις ιξώδους θεωρούνται αμελητέες. Στην πραγματικότητα, οι επιφανειακές δυνάμεις λόγω του ανέμου μπορούν να επηρεάσουν τη ροή, ωστόσο είναι δύσκολο να προσομειωθούν πειραματικά και αγνοούνται από τον ερευνητή εν γνώσει του.
- Ο λόγος των αδρανειακών προς τις ανωστικές δυνάμεις εκφράζεται από τον πυκνομετρικό αριθμό Froude, ενώ ο λόγος των αδρανειακών δυνάμεων προς τις δυνάμεις περιστροφής εκφράζεται από τον αριθμό Rossby. Ως εκ τούτου, η μοντελοποίηση γίνεται με ομοιότητα Froude και Rossby, δηλαδή οι χαρακτηριστικές κλίμακες της οριζόντιας και κατακόρυφης απόστασης, της οριζόντιας ταχύτητας, του χρόνου και της επιτάχυνσης άνωσης λαμβάνονται τέτοιες ούτως ώστε οι αριθμοί Froude και Rossby να έχουν ίδιες τιμές στο φυσικό πρότυπο και στο μοντέλο.

Η [Kourafalou \(2001\)](#) εφάρμοσε ένα τρισδιάστατο, ελεύθερης επιφανείας, πολυεπίπεδο, σ-συντεταγμένων (σ-coordinates) αριθμητικό μοντέλο POM στις εκροές ποταμών σε ημι-κλειστές θαλάσσιες περιοχές και συγκεκριμένα στον ποταμό Πο στη Β. Αδριατική και στο Αξιό ποταμό στο Θερμαϊκό κόλπο, με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της τοπογραφίας στην ανάπτυξη του επιφανειακού πλουμίου του ποταμού, υπό την επίδραση της δύναμης Coriolis, της άνωσης και του ανέμου.

Στην εργασία των [Geyer et. al. \(2004\)](#) μελετάται ο τρόπος μεταφοράς, σχηματισμού και απόθεσης των ιζημάτων που δημιουργούνται στις εκβολές των ποταμών σε σχέση με ανοδικές παράκτιες ροές. Τα ποτάμια αποτελούν τον κύριο δρόμο σχηματισμού ιζημάτων στους ωκεανούς. Η διαφορά πυκνότητας μεταξύ του νερού

των ποταμών και της θάλασσας καθώς και η ανωμαλία της πυκνότητας λόγω της ύπαρξης του ιζήματος, έχει καθοριστική σημασία στο σχηματισμό, την μεταφορά και την τελική κατάσταση του ιζήματος που σχηματίζεται. Η διαφορά αυτή της πυκνότητας αποτελεί την κινητήρια δύναμη της παράκτιας κυκλοφορίας τόσο στις εκβολές όσο και στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα. Η ηπειρωτική απορροή έχει σημαντική επίδραση στην βιογεωχημεία των ωκεανών, καθώς αποτελεί την κυρία οδό μεταφοράς από τη στεριά προς τη θάλασσα. Η απόθεση των ιζημάτων σε θαλάσσια περιβάλλοντα και η τελική κατάληξή τους ελέγχονται από διεργασίες στον ποταμό, στις εκβολές και στη θάλασσα, που όλες εξαρτώνται από τη ροή του γλυκού νερού. Γίνεται μια σύντομη αναφορά στις διεργασίες συσσωμάτωσης λόγω της μεγάλης σημασίας που έχει στο ρυθμό καθίζησης των μικροσωματιδίων, τόσο στις εκβολές όσο και στη θάλασσα. Καθώς το ίζημα απομακρύνεται από το ποτάμιο περιβάλλον, χάνει τελικά τη σχέση του με το γλυκό νερό που το μετέφερε στη θάλασσα. Παρόλα αυτά, η άνωση συνεχίζει να έχει πρωτεύοντα ρόλο στη μεταφορά του ιζήματος, τόσο λόγω της στρωμάτωσης του παράκτιου περιβάλλοντος όσο και λόγω της ανωμαλίας της πυκνότητας που οφείλεται στο ίδιο το ίζημα. Η διαδρομή που ακολουθεί το ίζημα μετά την έξοδο του από τον ποταμό είναι πιο πολύπλοκη από αυτή του γλυκού νερού, λόγω των διεργασιών της συσσωμάτωσης, της καθίζησης, του εγκλωβισμού και της επαναιώρησης που λαμβάνουν χώρα. Έτσι παρόλο που το γλυκό νερό στα επιφανειακά πλούμια μπορεί να φτάσει χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά από τις εκβολές του ποταμού, η περιοχή στην οποία εκτείνεται το ίζημα είναι πολύ περιορισμένη, λόγω της καθίζησης έξω από το πλούμιο αφού αποσπαστεί από το στρώμα του πυθμένα. Εξάιρεση αποτελούν παράκτια ρεύματα λάσπης, τα οποία μπορεί να φτάσουν και χιλιάδες χιλιόμετρα από τις ποτάμιες πηγές τους, αλλά εμφανίζονται μόνο σε πολύ ρηχά νερά όπου η επαναδιάλυση μπορεί να διατηρήσει σημαντική ποσότητα ιζήματος. Γίνεται τέλος η διαπίστωση ότι μεγαλύτερη σημασία και ενδιαφέρον από τα ιζήματα έχουν τα υλικά που συνδέονται με αυτά όπως ρύποι, θρεπτικά και οργανικός άνθρακας, τα οποία έχουν μεγάλη επίδραση τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Καλύτερη κατανόηση της μεταφοράς ιζημάτων στα ηπειρωτικά όρια θα βελτιώσει τις εκτιμήσεις για το ρυθμό με τον οποίο μετατρέπεται σε ορυκτός ο οργανικός άνθρακας και θάβεται στα ιζήματα. Ανάλογη είναι η επίδραση της μεταφοράς των ιζημάτων στους ρύπους που καταλήγουν στη θάλασσα και στη μακροπρόθεσμη διαχείρισή τους.

ΜΕΡΟΣ Β: Ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση εκροών από τα στενά του Ελλήσποντου και τους ποταμούς Έβρο, Νέστο και Στρυμόνα και γενικών χαρακτηριστικών του Βορείου Αιγαίου

Οι [Sofianos et. al. \(2002\)](#) συνέταξαν μια σύντομη αναφορά του 'Aegean Sea Workshop' που διεξήχθη το 2002 στη Ρόδο. Περιέχονται διάφορα χρήσιμα στοιχεία σχετικά με τα γεωγραφικά, ατμοσφαιρικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά του Αιγαίου, την κυκλοφορία των υδάτων και τη βιοφυσική κατάσταση. Αναφέρεται μια λίστα με κρίσιμα επιστημονικά ερωτήματα που διατυπώθηκαν, μεταξύ των οποίων είναι η πορεία των υδάτων εκροής από τον Ελλήσποντο και πώς αυτά επηρεάζουν γενικότερα το Αιγαίο σε μικρής και μεγάλης κλίμακας χρονικές περιόδους.

Οι [Poulos et. al. \(1997\)](#) παρουσίασαν μια γενική επισκόπηση των ερευνών που είχαν γίνει μέχρι το 1996 πάνω στα χαρακτηριστικά της θάλασσας του Αιγαίου (αλατότητα, θερμοκρασία, κυκλοφορία, ισοζύγιο μάζας και θερμότητας, άνεμοι κλπ) και την περιοδικότητα που αυτά παρουσιάζουν. Η ανταλλαγή υδάτων μέσω του Ελλήσποντου είναι από τους βασικούς παράγοντες που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά κυρίως του Βορείου Αιγαίου, αλλά και του Αιγαίου συνολικά. Παράλληλα, σημαντική είναι η επίδραση των ισχυρών βορείων ανέμων (μελέμια) κατά τη θερινή περίοδο, οι οποίοι κινούν τα νερά κατά μήκος των ακτών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται φαινόμενα ανάδυσης θαλάσσιων μαζών (upwelling) στις τουρκικές ακτές (ανατολικά) και κατάδυσης θαλάσσιων μαζών (downwelling) στις ελληνικές ακτές (δυτικά) και τελικά να σχηματίζεται αντικυκλωνική κυκλοφορία στο ανατολικό Αιγαίο και κυκλωνική κυκλοφορία στο δυτικό Αιγαίο. Το φαινόμενο ανάδυσης ψυχρών θαλάσσιων μαζών από τα κατώτερα στρώματα προκαλεί ταυτόχρονα πτώση της θερμοκρασίας κατά 2°C περίπου, γι' αυτό και η θερμοκρασία του ανατολικού Αιγαίου κατά τους θερινούς μήνες είναι γενικά χαμηλότερη από του δυτικού Αιγαίου. Αντίθετα, κατά τους χειμερινούς μήνες, που επικρατεί η εισροή των θερμών υδάτων της Λεβαντινής Θάλασσας από τα ανατολικά στενά του Κρητικού τόξου, τα νερά του ανατολικού Αιγαίου είναι πιο θερμά από αυτά του δυτικού.

Οι [Unluata et. al. \(1990\)](#) περιγράφουν τη φυσική ωκεανογραφία των στενών του Βοσπόρου και των Δαρδανελίων και της αλληλεπίδρασης τους με τον Εύξεινο Πόντο, τη θάλασσα του Μαρμαρά και το Αιγαίο. Περιέχουν διάφορα γεωμορφολογικά,

ατμοσφαιρικά και υδρογραφικά στοιχεία περιοχής από μετρήσεις που έχουν γίνει σε διάφορες περιόδους. Τα πιο σημαντικά συνοψίζονται ως εξής:

- Τα στενά του Ελλήσποντου έχουν μήκος περίπου $62km$ και πλάτος που κυμαίνεται από $1.2km$ έως $7.0km$, με μέση τιμή περίπου $4.0km$. Το μέσο βάθος των στενών είναι $55m$.
- Στα ύδατα του συστήματος Μαύρης Θάλασσας – Βοσπόρου – Προποντίδας – Ελλήσποντου υπάρχει έντονη στρωμάτωση, με το βάθος του άνω στρώματος να κυμαίνεται από $50m$ στη Μαύρη Θάλασσα μέχρι $10m$ στην έξοδο του Ελλήσποντου στο Αιγαίο ενώ στη Θάλασσα του Μαρμαρά η πυκνοκλινής εμφανίζεται σε βάθος 20 με $25m$. Η στρωμάτωση αυτή οφείλεται στις μεγάλες παροχές των ποταμών που εκβάλλουν στη Μαύρη Θάλασσα.
- Η άνω στρώση ρέει προς το Αιγαίο, ενώ η κάτω στρώση ρέει προς τη Μαύρη Θάλασσα.
- Το άνω στρώμα στα στενά του Ελλήσποντου υφίσταται έντονη εποχιακή μεταβολή ως προς την αλατότητα, το βάθος και τη θερμοκρασία λόγω της εποχιακής μεταβολής των παροχών των ποταμών που εκβάλλουν στη Μαύρη Θάλασσα. Έτσι, κατά τη θερινή περίοδο, όπου οι παροχές των ποταμών ελαχιστοποιούνται, η αλατότητα και το βάθος εμφανίζουν τις ελάχιστες τιμές, ενώ κατά τη χειμερινή περίοδο εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές. Συγκεκριμένα:
 - ο η αλατότητα κυμαίνεται από $23psu$ κατά το μήνα Ιούλιο έως $28psu$ κατά το μήνα Ιανουάριο.
 - ο το βάθος μεταβάλλεται από περίπου $20m$ κατά του θερινούς μήνες έως περίπου $32m$ κατά τους χειμερινούς μήνες.
 - ο η θερμοκρασία μεταβάλλεται από $4^{\circ}C$ κατά το μήνα Φεβρουάριο έως $24^{\circ}C$ κατά το μήνα Αύγουστο.
- Από την άλλη, οι εποχιακές μεταβολές κάτω στρώματος του Ελλήσποντου είναι πολύ μικρές. Συγκεκριμένα:
 - ο η αλατότητα πρακτικά παραμένει σταθερή γύρω στο $38.5psu$ με $38.7psu$
 - ο η θερμοκρασία κυμαίνεται από $13.1^{\circ}C$ κατά το μήνα Μάρτιο έως $16.5^{\circ}C$ κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.
- Κατά μήκος του Ελλήσποντου τα νερά των δύο στρώσεων υφίστανται σημαντική ανάμειξη. Συγκεκριμένα:

- ο Από τα $866 \text{ km}^3/\text{yr}$ (με μέση αλατότητα 25.5 ppt) που εισέρχονται από την Προποντίδα στον Ελλήσποντο μέσω της άνω στρώσης, τα $25 \text{ km}^3/\text{yr}$ μεταφέρονται στην κάτω στρώση και επιστρέφουν στην Προποντίδα.
- ο Αντίστοιχα, από τα $957 \text{ km}^3/\text{yr}$ (με μέση αλατότητα 38.9 ppt) που ρέουν στην κάτω στρώση από το Αιγαίο στον Ελλήποντο, τα $416 \text{ km}^3/\text{yr}$ μεταφέρονται στο άνω στρώμα και επιστρέφουν στο Αιγαίο.
- ο Τελικά, η ποσότητα που εκβάλλει στο Αιγαίο από την άνω στρώση είναι $1257 \text{ km}^3/\text{yr}$, με μέση αλατότητα 29.6 ppt .
- ο Το καθαρό ισοζύγιο εισροής στο Αιγαίο στην εκβολή του Ελλήσποντου είναι: $1257 \text{ km}^3/\text{yr} - 957 \text{ km}^3/\text{yr} = 300 \text{ km}^3/\text{yr}$.
- Η ανάμειξη των στρωμάτων στον Ελλήσποντο πραγματοποιείται κυρίως λόγω των υδραυλικών αλμάτων που εμφανίζονται σε δύο σημεία. Το ένα είναι κατάντι του περάσματος του Nara, που είναι και το στενότερο σημείο του Ελλήσποντου. Η υποκρίσιμη ροή του άνω στρώματος, λόγω της στένωσης, γίνεται υπερκρίσιμη στο Nara, και κατάντι γίνεται πάλι υποκρίσιμη με τη δημιουργία υδραυλικού άλματος. Ανάλογο φαινόμενο πραγματοποιείται και στην περιοχή εκβολής στο Αιγαίο, όπου το πλάτος των στενών φαρδαίνει απότομα.

Η εργασία των [Korres et. al. \(2002\)](#) αναφέρεται στην πρόβλεψη των ωκεανογραφικών χαρακτηριστικών του Αιγαίου και βασίστηκε στο σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Εφαρμόστηκε ο συνδυασμός δύο αριθμητικών μοντέλων: του υδροδυναμικού μοντέλου POM και του ατμοσφαιρικού μοντέλου ETA. Τα χαρακτηριστικά της πλεγματοποίησης του μοντέλου είναι:

- γεωγραφικά πλάτη περιοχής: από 30° έως 41° Βόρεια
- γεωγραφικά μήκη περιοχής: από 20° έως 29° Ανατολικά
- πυκνότητα πλέγματος: 180 διαστήματα κατά μήκος επί 220 διαστήματα κατά πλάτος
- διαστάσεις κυψελών πλέγματος: $4.1-4.8 \text{ km}$ κατά πλάτος επί $5.3-5.7 \text{ km}$ κατά μήκος
- 30σ -επίπεδα κατά την κατακόρυφη διεύθυνση

Όσον αφορά την εισροή από τον Ελλήσποντο, θεωρείται ότι προέρχεται από σημειακή πηγή και λαμβάνεται υπόψη το καθαρό ετήσιο ισοζύγιο εισροής

$300\text{ km}^3/\text{yr}$ (και όχι πραγματική ανταλλαγή υδάτων με $1257\text{ km}^3/\text{yr}$ εισροή και $957\text{ km}^3/\text{yr}$ εκροή). Τα $300\text{ km}^3/\text{yr}$ αντιστοιχούν σε μέση παροχή $10000\text{ m}^3/\text{s}$, με τη μέγιστη παροχή $15000\text{ m}^3/\text{s}$ να εφαρμόζεται στα μέσα του Ιουλίου και την ελάχιστη $5000\text{ m}^3/\text{s}$ στα μέσα του Ιανουαρίου. Η αλατότητα θεωρείται σταθερή κατά τη διάρκεια του έτους, ίση με 28.3 ppt . Σημαντική εποχιακή διαφοροποίηση εμφανίζεται στην κυκλοφορία του Βορείου Αιγαίου. Κατά τους χειμερινούς μήνες τα νερά από τον Ελλήσποντο διακλαδίζονται, με ένα τμήμα να κατευθύνεται βόρεια και να σχηματίζει αντικυκλονική κυκλοφορία στο Θρακικό πέλαγος και κυκλονική νότια της Χαλκιδικής, ενώ ένα άλλο τμήμα κατευθύνεται νοτιοδυτικά προς τις Σποράδες και τελικά καταλήγει στις Κυκλάδες. Κατά τους θερινούς μήνες η κατεύθυνση των νερών του Ελλήσποντου μετατοπίζεται προς τα δυτικά και νοτιοδυτικά, λόγω της αυξημένης παροχής και των βορείων ανέμων που επικρατούν. Σε κάθε εποχή, η αλατότητα των επιφανειακών υδάτων του βορείου Αιγαίου διατηρεί χαμηλότερες τιμές, όπως επίσης και η θερμοκρασία. Ικανοποιητική ήταν η σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου για την επιφανειακή θερμοκρασία με δορυφορικές εικόνες.

Οι [Kourafalou and Barbopoulos \(2003\)](#) μελέτησαν τα εποχιακά χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας στο Βόρειο Αιγαίο με τη βοήθεια προσομοίωσης κλιματολογικού τύπου με υψηλή ανάλυση για διάστημα μετρήσεων τριών ετών. Το μοντέλο βασίζεται στο Princeton Ocean Model (POM) παραμετροποιημένο για δυναμική πλουμίου διαφορετική από αυτή των υδάτινων λεκανών όπως η εκροή της Μαύρης Θάλασσας στο Αιγαίο μέσω των Δαρδανελίων. Η εργασία εξετάζει τη συμπεριφορά του Βορείου Αιγαίου στους σημαντικούς μηχανισμούς εξαναγκασμού της κυκλοφορίας της περιοχής, όπως η ένταση των ανέμων, θερμικές ροές και ροές αλατότητας, ανοδική κίνηση λόγω της εκβολής σε αυτό ποταμών, η εκροή των Δαρδανελίων και η αλληλεπίδραση με το Νότιο Αιγαίο. Η σημαντικότερη ποσότητα υδάτων που εισρέουν στο Βόρειο Αιγαίο προέρχεται από την εκροή των Δαρδανελίων και αποτελεί έναν υδροδυναμικό σύνδεσμο ανάμεσα στη Μαύρη Θάλασσα και τη Μεσόγειο μέσω της στενής Θάλασσας του Μαρμαρά. Η ποσότητα αυτή των υδάτων ξεπερνά κατά πολύ τη συνολική ποσότητα υδάτων που εισρέουν στο Αιγαίο από ποταμούς, ενώ έχει σημαντικά χαμηλότερη αλατότητα και θερμοκρασία από τα νερά του Αιγαίου. Από τα αριθμητικά αποτελέσματα γίνεται φανερό η αλληλεπίδραση μεταξύ αβαθών και βαθέων περιοχών στο Βόρειο Αιγαίο, με τη μορφή υδάτινων σφηνών με διαφορετικές ιδιότητες, ειδικά κοντά στην επιφάνεια, οι οποίες μεταβάλλουν ή και αντιστρέφουν τα χαρακτηριστικά τους ανάλογα με την εποχή.

Οι [Lykousis et. al. \(2002\)](#) ασχολήθηκαν με τη βιοχημική κατάσταση του Αιγαίου και τη λειτουργία του ως οικοσύστημα. Η εργασία βασίστηκε κυρίως σε μετρήσεις πεδίου κατά τη διάρκεια 1997 – 1998, στα πλαίσια του προγράμματος MTP-II-MATER. Η θάλασσα του Αιγαίου γενικά χαρακτηρίζεται ως oligotroφική, ωστόσο στο Βόρειο Αιγαίο οι διάφορες βιοχημικές παράμετροι έχουν υψηλότερες τιμές, ως αποτέλεσμα της εισροής των ρυπαρών υδάτων της Μαύρης Θάλασσας μέσω του Ελλήσποντου.

Οι [Zodiatis et. al. \(1996\)](#) επιχείρησαν μια προσέγγιση της επιφανειακής ροής στο Βόρειο Αιγαίο χρησιμοποιώντας δορυφορικές φωτογραφίες, καθώς και ένα αριθμητικό μοντέλο. Η επεξεργασία των δορυφορικών φωτογραφιών έγινε με τη μέθοδο MCC (Maximum Cross Correlation), που είναι μια στατιστική τεχνική επεξεργασίας εικόνας, από την οποία προκύπτει το πεδίο ροής. Το αριθμητικό μοντέλο είναι διδιάστατο, δύο επιπέδων, βαροτροπικό και λαμβάνει υπόψη την επίδραση του ανέμου. Τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων κρίνονται ενθαρρυντικά.

Στις εργασίες του [Jonsson \(2001\)](#) και [Jonsson \(2002\)](#) μελετώνται οι συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α που οφείλεται στην εκροή υδάτων της ευτροφικής Μαύρης Θάλασσας στο Βόρειο Αιγαίο, με τη λήψη δεδομένων από το δορυφόρο SeaWiFS. Οι δορυφορικές εικόνες (χωρικής ανάλυσης περίπου 1.1km) επεξεργάστηκαν στη μια εργασία με το λογισμικό SEADAS 3.3 και στην άλλη με τα SEADAS 4.0 και MUMM, με παραπλήσια αποτελέσματα. Η κατανομή συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης-α δίνει παράλληλα και μια αίσθηση της πορείας που ακολουθούν τα εισερχόμενα ύδατα της Μαύρης Θάλασσας στο Βόρειο Αιγαίο. Συνοπτικά τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι:

- Γενικά στο Βόρειο Αιγαίο, και κυρίως στο Θρακικό Πέλαγος, στην περιοχή νότια της Χαλκιδικής και στο Θερμαϊκό κόλπο, εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης-α, ως αποτέλεσμα της εκτροπής προς τα βόρεια των υδάτων της Μαύρης Θάλασσας που εισρέουν από τον Ελλήσποντο.
- Το MUMM εμφανίζει κάπως υψηλότερες συγκεντρώσεις, ενώ το SEADAS 4.0 αδυνατεί να δώσει αποτελέσματα σε κάποιες παράκτιες περιοχές.
- Σύγκριση με μετρήσεις πεδίου στη Λέσβο, για μια περίοδο 750 ημερών, έδειξαν κάποια ασυμφωνία, καθώς οι τελευταίες παρουσίασαν πολύ μεγαλύτερες διακύμανσεις. Αυτή η απόκλιση μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις πεδίου αφορούν σε πολύ μικρότερη χωρική κλίμακα και είναι

ευπρόσβλητες σε τοπικά φαινόμενα, ενώ οι δορυφορικές απεικονίσεις αναφέρονται σε μακροσκοπική συμπεριφορά.

- Υπάρχει μια ετήσια διακύμανση των συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-α (που προφανώς σχετίζεται με τις παροχές και τις συγκεντρώσεις των εισερχόμενων υδάτων από τη Μαύρη Θάλασσα), με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται το Φεβρουάριο με Μάρτιο και τις χαμηλότερες κατά τις περιόδους Ιούνιο - Ιούλιο και Οκτώβριο - Νοέμβριο.
- Ετήσια περιοδικότητα εμφανίζεται και στην κατεύθυνση των υδάτων της Μαύρης Θάλασσας. Κατά τη χειμερινή περίοδο η κύρια μάζα των υδάτων κατευθύνεται αρχικά προς τα δυτικά και στη συνέχεια ανάμεσα Λήμνου και Ίμβρου, περνώντας βόρεια της Λήμνου, ενώ κατά την καλοκαιρινή και φθινοπωρινή περίοδο η κατεύθυνση είναι κάπως μετατοπισμένη προς τα νοτιοδυτικά.
- Σύγκριση με αριθμητική προσέγγιση της επιφανειακής εξάπλωσης (*Kourafalou and Barbopoulos 2003*) έδειξε σχετική συμφωνία. Ωστόσο, το αριθμητικό μοντέλο τείνει να κατευθύνει τα ύδατα περισσότερο προς τα βόρεια, με σημαντική ποσότητα να περνάει ανατολικά της Ίμβρου.

Οι *Stachchuk and Hutter (2001)* διερεύνησαν την ανταλλαγή υδάτων μέσω των στενών των Δαρδανελίων με τη χρήση ενός διδιάστατου, μη-υδροστατικού, μη-γραμμικού αριθμητικού μοντέλου. Το μοντέλο φαίνεται να περιγράφει ικανοποιητικά τη δημιουργία των δύο στρώσεων (μια επιφανειακή, υφάλμυρη στρώση με ροή από το Μαρμαρά προς το Αιγαίο και μια βυθισμένη, μεγαλύτερης πυκνότητας στρώση με αντίθετη ροή), καθώς και τη μερική ανάμειξή των, με επίδραση στο προφίλ της αλατότητας. Επειδή η λεπτομερής δομή της ροής είναι πολύπλοκη, χρησιμοποιήθηκε ανάλυση ροής – αλατότητας, ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο μπορεί να επιτευχθεί κυκλοφορία σταθερής ροής. Η εκτίμηση του αριθμού Froude έδειξε ότι η ροή είναι υπερκρίσιμη στο πλέον στενό σημείο των στενών, το πέρασμα Νάρα. Η ροή μέσω του Turkish Straits System (TSS) γενικότερα αλλά και πιο συγκεκριμένα μέσω των Δαρδανελίων γίνεται φανερό ότι οφείλεται στις διαφορές πυκνότητας των υδάτων μεταξύ της Μαύρης Θάλασσας και του Αιγαίου και διατηρεί τη διαφορά επιπέδου μεταξύ των δύο θαλασσών σε ένα μέσο επίπεδο της τάξης των 55cm . Για την ακρίβεια το νερό της Μαύρης Θάλασσας με αλατότητα $\sim 17.8\text{ppt}$, ρέοντας μέσω του Βοσπόρου σαν επιφανειακό στρώμα, εισέρχεται στη θάλασσα του Μαρμαρά με αλατότητα $\sim 19.4\text{ppt}$. Διερχόμενο από τη Θάλασσα του Μαρμαρά, αυξάνεται η αλατότητα του νερού κατά ακόμη 6ppt και μετά από μια ακόμη αύξηση κατά 4ppt

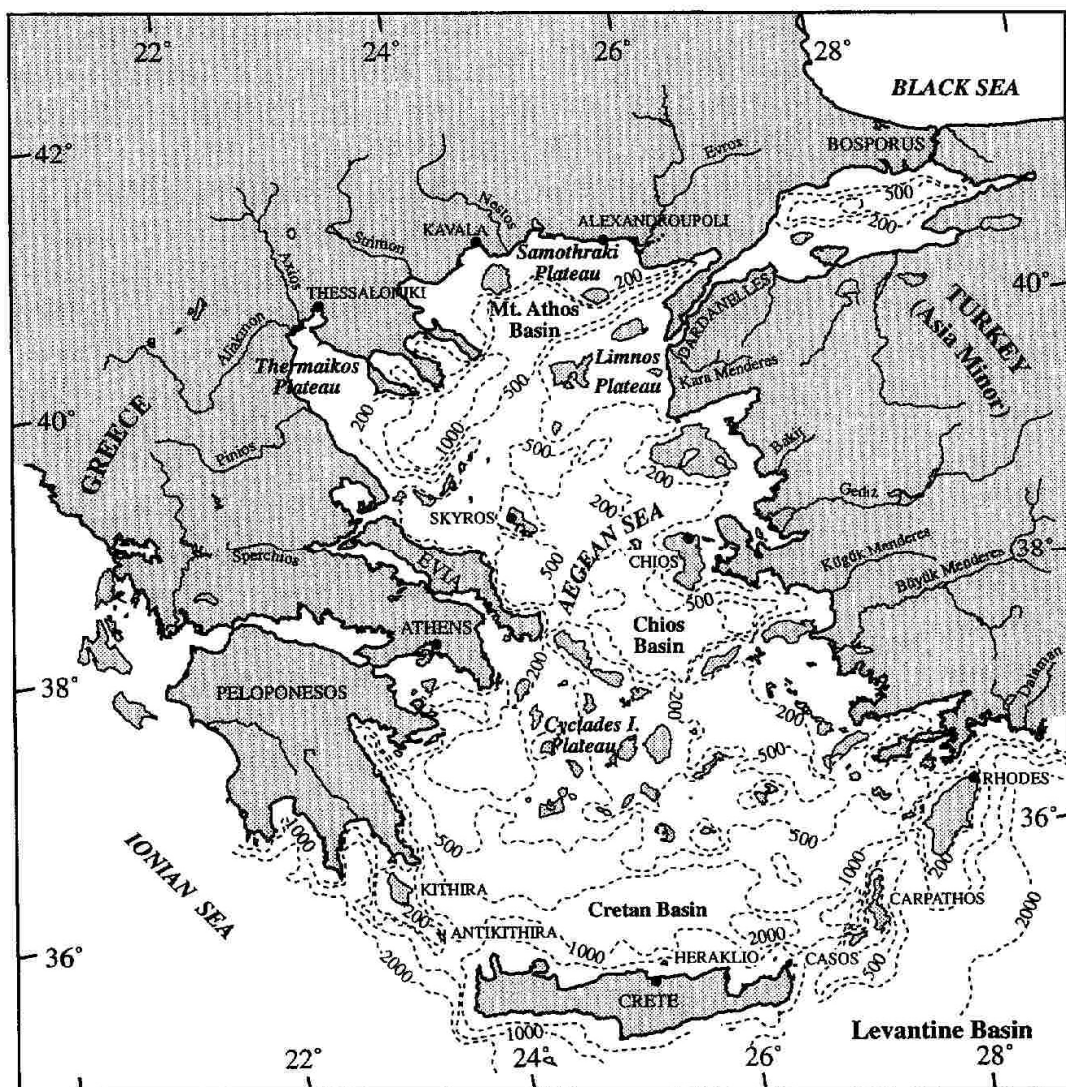
βγαίνει από τα Δαρδανέλια με αλατότητα $29.6\rho pt$. Αντίθετα τα νερά του Αιγαίου ξεκινώντας με αλατότητα $38.9\rho pt$ φτάνουν τελικά στην Μαύρη Θάλασσα με αλατότητα περίπου $35.0\rho pt$, σχηματίζοντας το κατώτερο στρώμα ροής.

Οι [Alpar and Yuce \(1998\)](#) ασχολήθηκαν με τις μεταβολές του επιπέδου της Θάλασσας του Μαρμαρά και την αλληλεπίδραση που υπάρχει με τη Θάλασσα του Αιγαίου και τη Μαύρη Θάλασσα. Φασματική ανάλυση χρονοσειρών μετρήσεων δείχνουν την επίδραση των διαφόρων αιτιών, όπως η παλίρροια, οι άνεμοι, οι εποχιακές μεταβολές κλπ. Το μέσο επίπεδο της Μαύρης Θάλασσας είναι περίπου $55cm$ ψηλότερα από τη Θάλασσα του Αιγαίου. Η κλίση είναι μη-γραμμική, απότομη κυρίως στα στενά του Βοσπόρου. Για το Αιγαίο, το μέσο μηνιαίο επίπεδο της θάλασσας έχει μια διαφορά της τάξης των $12cm$ μεταξύ του Οκτωβρίου (ανώτατο επίπεδο) και του Ιανουαρίου (κατώτατο επίπεδο). Οι αντίστοιχες μεταβολές στη Θάλασσα του Μαρμαρά και στα στενά του Βοσπόρου είναι κάπως μεγαλύτερες, γύρω στα $20cm$. Γενικά, η διαφορά στάθμης μεταξύ του Αιγαίου και της Θάλασσας του Μαρμαρά σπάνια ξεπερνάει τα $10cm$, οπότε η ροή που παρατηρείται μέσω του Ελλήσποντου οφείλεται κυρίως στη διαφορά πυκνότητας.

Οι [Aksu et.al. \(1999\)](#) μελέτησαν εκτενώς τη συμπεριφορά του Turkish Straits System (TSS) λόγω της μορφολογίας που απέκτησε η λεκάνη της Θάλασσας του Μαρμαρά κατά την Τεταρτογενή Γεωλογική Περίοδο και λόγω της γενικότερης Γεωλογικής συμπεριφοράς της περιοχής. Γίνεται μια παράθεση στοιχείων βαθυμετρίας και μορφολογίας του πυθμένα της θάλασσας του Μαρμαρά. Μελετάται επίσης η γεωλογική εξέλιξη των ροών και της ανταλλαγής των υδάτων από την τελευταία εποχή παγετώνων μέχρι σήμερα όπως και οι διακυμάνσεις της στάθμης των υδάτων από το Αιγαίο μέχρι την Μαύρη Θάλασσα.

Γενικά χαρακτηριστικά Αιγαίου

Η Θάλασσα του Αιγαίου καλύπτει μια επιφάνεια $240,000\text{km}^2$ και περιέχει περίπου $74,000\text{km}^3$ νερού. Πρόκειται για μια σχετικά κλειστή θάλασσα, που επικοινωνεί με τη Μαύρη Θάλασσα και την Προποντίδα μέσω του Ελλήσποντου και με την υπόλοιπη Μεσόγειο μέσω των στενών του Κρητικού Τόξου. Στην τοπογραφία του πυθμένα εμφανίζονται τρεις βασικές λεκάνες: η λεκάνη της Κρήτης, η λεκάνη της Χίου και η τάφος του Βορείου Αιγαίου. Το κλίμα του Αιγαίου χαρακτηρίζεται ως τυπικά Μεσογειακό και χωρίζεται σε δύο εποχιακές περιόδους: (α) τη χειμερινή περίοδο, από Νοέμβρη ως Μάρτη, που είναι κρύο και υγρό και (β) τη θερινή περίοδο, από Μάη έως Σεπτέμβρη, που είναι ζεστό και σχετικά ξηρό. Οι μήνες Οκτώβρης και Απρίλης είναι η μεταβατική περίοδος. (Sofianos et. al. 2002)



ΕΙΚΟΝΑ 1: Χάρτης Αιγαίου

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Διαστάσεις Στενών Κρητικού Τόξου (Sofianos et. al. 2002)

	ΠΛΑΤΟΣ [km]	ΒΑΘΟΣ [m]
Στενά Ρόδου	17	350
Στενά Καρπάθου	43	850
Στενά Κάσσου	67	1000
Στενά Αντικυθήρων	32	700
Στενά Κυθήρων	33	160
Στενά Ελαφονήσσου	11	180

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Κύριες βαθιές Λεκάνες Αιγαίου (Sofianos et. al. 2002)

	ΜΕΓΙΣΤΟ ΒΑΘΟΣ [m]
Λεκάνη Κρήτης	2500
Λεκάνη Χίου	1100
Τάφρος Βορείου Αιγαίου	1500

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Θερμοκρασία αέρα στο Αιγαίο (Poulos et. al. 1997)

Μέση ετήσια	16°C – 19.5°C
Μέγιστη ετήσια	45°C
Ελάχιστη ετήσια	-25°C
Ελάχιστη μέση μηνιαία στο Β. Αιγαίο	4.8°C (Αλεξ/πολη)
Ελάχιστη μέση μηνιαία στο Ν. Αιγαίο	12°C (Ηράκλειο)
Μέγιστη μέση μηνιαία στο Β. Αιγαίο	24°C (Καβάλα)
Μέγιστη μέση μηνιαία στο Ν. Αιγαίο	26.5°C (Ρόδος)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Κατακρημνίσεις στο Αιγαίο (περίοδος 1975-1990) (Poulos et. al. 1997)

Μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνίσεων	495mm
Ελάχιστο ετήσιο ύψος (Αθήνα)	372mm
Μέγιστο ετήσιο ύψος (Ρόδος)	672mm

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Άνεμοι στο Αιγαίο (Poulos et. al. 1997)

• Γενικά επικρατούν βόρειοι άνεμοι, με περιοδική εμφάνιση νοτίων-νοτιοανατολικών ανέμων, κυρίως κατά την άνοιξη • Εμφανίζεται διπλή περιοδικότητα της μέγιστης έντασης των ανέμων κατά το έτος, με κύριες μέγιστες τιμές κατά τους χειμερινούς μήνες Δεκ.-Φεβ. και δευτερεύουσες μέγιστες τιμές το καλοκαίρι Ιουλ.-Αυγ.	
Ελάχιστη μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου (μετρ. 1980-1983) (Δεκ. - Χίος & Ιαν. - Ρόδος)	3 m/s
Μέγιστη μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου (μετρ. 1980-1983) (Φεβ.& Αυγ. - Χίος)	> 7.5 m/s

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Εξάτμιση στο Αιγαίο (Poulos et. al. 1997)

• Η ετήσια διακύμανση της εξάτμισης εξαρτάται από τη διακύμανση της θερμοκρασίας, των κατακρημνίσεων και της ταχύτητας του ανέμου	
Μέσος ετήσιος ρυθμός εξάτμισης	1.4 m/yr ή 4 mm/d
Ελάχιστη μηνιαία εξάτμιση (άνοιξη & φθινόπωρο)	2 mm/d
Μέγιστη μηνιαία εξάτμιση (Φεβ. & Ιουλ.-Αυγ.)	7 mm/d

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Ετήσιο ισοζύγιο θερμότητας διαμέσου της επιφανείας (Poulos et. al. 1997)

Ροή ηλιακής ακτινοβολίας	169 W/m ²
Ροή ανάκλασης μακρών κυμάτων ακτινοβολίας	-78 W/m ²
Ροή θερμότητας λόγω εξάτμισης	-104 W/m ²
Ροή θερμότητας λόγω διάχυσης	-13 W/m ²
Καθαρή ροή θερμότητας (άθροισμα)	-26 W/m ²
Καθαρή ροή θερμότητας στο Βόρειο Αιγαίο	~ -35 W/m ²
Καθαρή ροή θερμότητας στο Νότιο Αιγαίο	~ -10 W/m ²
• Η συνολική επιφανειακή απώλεια θερμότητας αναπληρώνεται με την εισροή θερμών υδάτων από τη Λεβαντινή Θάλασσα. • Η επίδραση της ανταλλαγή θερμότητας μέσω του Ελλήσποντου στο ισοζύγιο του Αιγαίου θεωρείται αμελητέα – η τιμή της υπολογίζεται σε αντίστοιχη επιφανειακή ροή στην επιφάνεια του Αιγαίου μικρότερη από 1 W/m²	

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Ετήσιο ισοζύγιο υδάτων (Poulos et. al. 1997)

Κατακρημνίσεις	500 mm/yr
Εξάτμιση	-1280 mm/yr
Εισροή ποταμών	110 mm/yr
Καθαρή εισροή από Ελλήσποντο	1670 mm/yr
Συνολική ανταλλαγή από στενά Κρητικού Τόξου	-1000 mm/yr

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Θερμοκρασία επιφανειακών υδάτων (Poulos et. al. 1997)

Μέγιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία (Ν. Αιγαίο – Αυγ.)	> 24°C
Ελάχιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία (Β. Αιγαίο – Φεβ.)	< 13°C

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Αλατότητα επιφανειακών υδάτων (Poulos et. al. 1997)

Μέγιστη αλατότητα (Ν. Αιγαίο)	> 39.0psu
Ελάχιστη αλατότητα (Β. Αιγαίο)	< 31.0psu
Τοπικά ελάχιστη αλατότητα (κοντά σε εκβολές ποταμών)	< 25.0psu
• Η μικρότερη αλατότητα στο Β. Αιγαίο οφείλεται στα υφάλμυρα εισρέοντα νερά της Μαύρης Θάλασσας, καθώς και στις εκροές των ποταμών • Οι ελάχιστες τιμές της αλατότητας στο Β. Αιγαίο εμφανίζονται κατά την άνοιξη και τις αρχές του καλοκαιριού, λόγω των μεγίστων παροχών από τον Ελλήσποντο και τα ποτάμια (όταν λειώνουν τα χιόνια από τα βουνά)	

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Χαρακτηριστικά Ελλήσποντου (*Unluata et. al. 1990*)

	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΚΑΤΩΤΑΤΗ ΤΙΜΗ	ΑΝΩΤΑΤΗ ΤΙΜΗ	ΤΙΜΗ ΣΤΗΝ ΕΚΒΟΛΗ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ
Πλάτος	4.0km	1.2km	7.0km	~ 6.0km
Βάθος	55m	33m	105m	70m
Μήκος	62km	-	-	-
Ροή στο Αιγαίο (άνω στρώση)	-	-	-	1257 km ³ /yr 39850m ³ /s
Ροή προς Προποντίδα (κάτω στρώση)	-	-	-	957 km ³ /yr 30300m ³ /s
Καθαρή εισροή στο Αιγαίο	-	5000 m ³ /s (Korres)	15000 m ³ /s (Korres)	300 km ³ /yr 9510m ³ /s
Βάθος άνω στρώματος	26m	20m (θερ.)	32m (χειμ.)	10m
Ταχύτητα άνω στρώματος	0.85 m/s	0.5 m/s	2.0 m/s	1.0 m/s
Ταχύτητα κάτω στρώματος	0.3 m/s	0.2 m/s	0.4 m/s	-
Θερμοκρασία άνω στρώματος	14°C	4°C (Φεβ)	24°C (Αυγ)	-
Αλατότητα άνω στρώματος	25.5ppt	23.0ppt (Ιούλ)	28.0ppt (Ιαν)	29.6ppt
Θερμοκρασία κάτω στρώματος	14.8°C	13.1°C (Μαρ)	16.5°C (Αυγ)	-
Αλατότητα κάτω στρώματος	38.6ppt	38.5ppt	38.7ppt	38.9ppt

Στον Πίνακα 12 περιέχονται οι μέσες ετήσιες και οι ακρότατες μέσες μηνιαίες απορροές όλων των ποταμών που εκβάλλουν στο Αιγαίο. Τα στοιχεία για τα ποτάμια που εκβάλλουν από τον ελληνικό χώρο προέρχονται από μετρήσεις κατά την περίοδο 1962-1972, ενώ για τα τουρκικά ποτάμια από την περίοδο 1978-1982. Οι απορροές των τουρκικών ποταμών είναι πολύ μικρές σε σχέση με των ελληνικών.

(Poulos et. al. 1997)

ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Χαρακτηριστικά ποταμών που εκρέουν στο Αιγαίο από μετρήσεις κατά την περίοδο 1962-1972 για τα ελληνικά ποτάμια και την περίοδο 1978-1982 για τα τουρκικά ποτάμια (Poulos et. al. 1997)

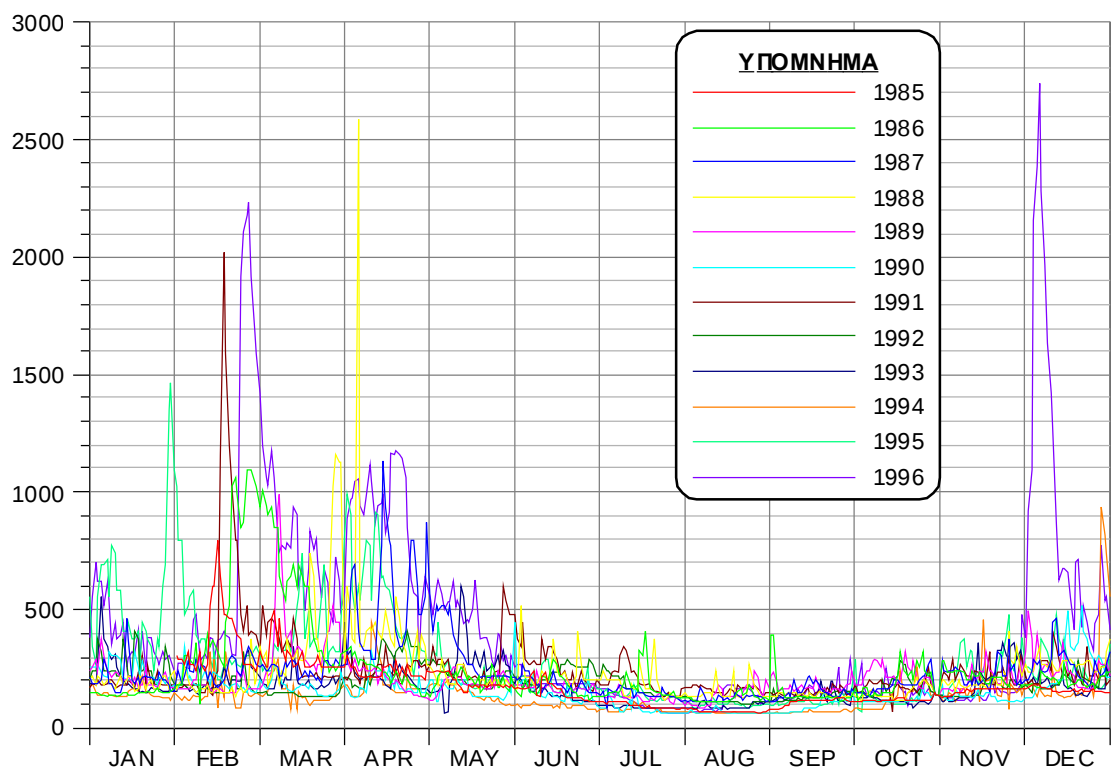
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΡΟΗ		ΑΝΩΤΑΤΗ ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΚΡΟΗ	ΚΑΤΩΤΑΤΗ ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΚΡΟΗ
		m^3/s	km^3/yr		
	km^2			m^3/s	m^3/s
<i>Ελληνικά ποτάμια</i>					
Έβρος	27465	103	3.25	240 (Μαρ.)	15 (Σεπ.)
Νέστος	4374	58	1.82	110 (Ιαν.)	10 (Σεπ.)
Στρυμόνας	10937	110	3.44	225 (Μαρ.)	20 (Σεπ.)
Αξιός	22450	159	5.03	230 (Μαρ.)	50 (Σεπ.)
Αλιάκμονας	6075	73	2.29	135 (Μαρ.)	15 (Αυγ.)
Πηνειός	7081	81	2.53	170 (Δεκ.)	10 (Ιουλ.)
Σπερχειός	1158	62	0.74	100 (Ιαν.)	10 (Σεπ.)
<i>Τουρκικά ποτάμια</i>					
Kara	1586	11.1	0.35	48 (Δεκ.)	~0 (Αυγ.)
Bakir	16463	6.5	0.20	30 (Δεκ.)	~0 (Αυγ.)
Gediz	15617	9.0	0.28	25 (Δεκ.)	~0 (Ιουν.)
Kuzuk	3255	1.1	0.03	5 (Δεκ.)	~0 (Αυγ.)
Bujuk	19596	30.9	0.97	75 (Δεκ.)	5 (Σεπ.)

Ποταμός Έβρος

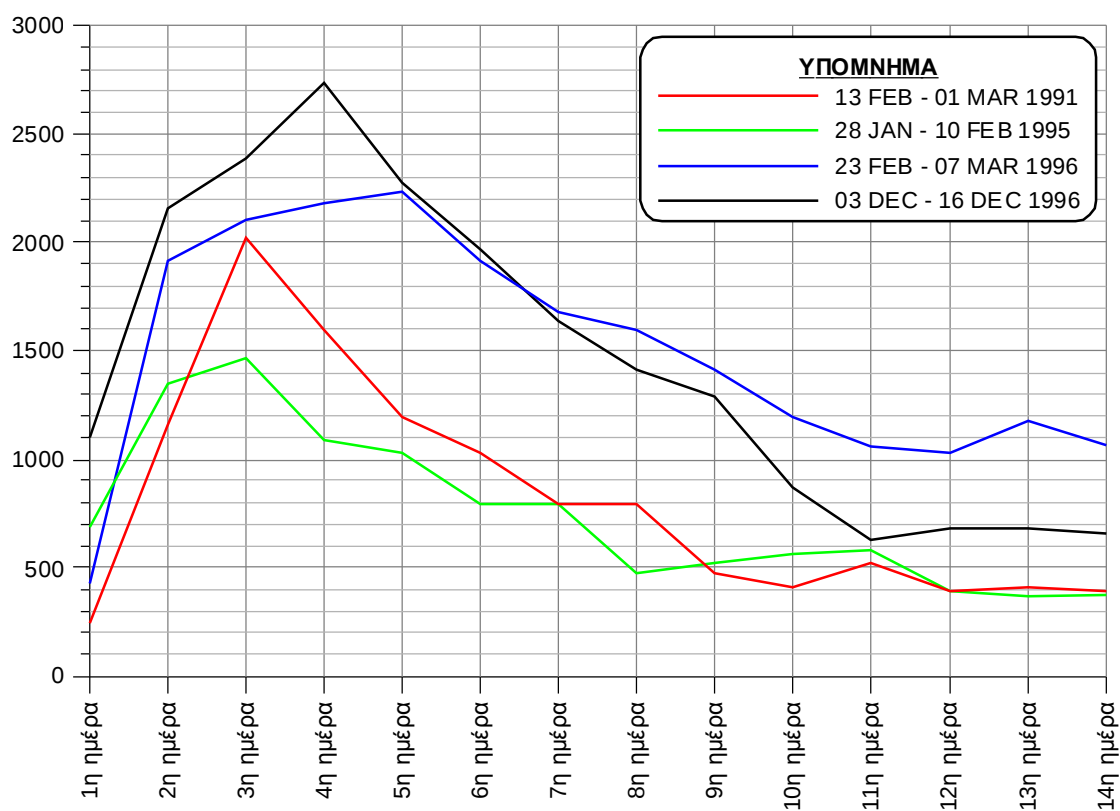
Ο ποταμός Έβρος έχει λεκάνη απορροής $27,465\text{km}^2$. Πηγάζει από τη Βουλγαρία και αποτελεί φυσικό σύνορο μεταξύ της Ελλάδας και της Τουρκίας. Είναι ο μεγαλύτερος από τους τρεις εν λόγω ποταμούς (Έβρος – Νέστος - Στρυμόνας). Στον Πίνακα 13 παρατείνονται οι πιο σημαντικές πλημμύρες που εκδηλώθηκαν στον Έβρο κατά το 19^ο και τον 20^ο αιώνα. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται τα υδρογραφήματα της παροχής στη θέση Πύθιο κατά το διάστημα 1985-1996, ενώ στην Εικόνα 3 απεικονίζονται σε μεγέθυνση τα υδρογραφήματα των μεγίστων παροχών που παρατηρήθηκαν κατά το ίδιο διάστημα. (Κωτσοβίνος – αδημοσίευτη εργασία)

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Σημαντικότερες πλημμύρες Έβρου κατά το 19^ο και τον 20^ο αιώνα

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΘΕΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ
1844	Έβρος, μετά τη συμβολή με Τούντζα και Άρδα	άγνωστη – κατέστρεψε 1200 σπίτια στην Αδριανούπολη
1858	Έβρος, στη Φιλιππούπολη	άγνωστη – κατέστρεψε 700 σπίτια στη Φιλιππούπολη
Ιούν. 1897	Έβρος, Πύθιο	$4800\text{m}^3/\text{s}$ (σύμφωνα με εκτίμηση της Harza Engineering Company) $8950\text{m}^3/\text{s}$ (κατά τους Αυστριακούς μηχανικούς που μελέτησαν τη σιδηροδρομική γέφυρα του Πυθίου)
Φεβρ. 1916	Εργίνης	$5200\text{m}^3/\text{s}$
Δεκ. 1929	Έβρος, Πύθιο	$4800\text{m}^3/\text{s}$
Μάρτ. 1936	Έβρος, Πύθιο	$4800\text{m}^3/\text{s}$
Ιούν. 1940	Έβρος, Πύθιο	$8000\text{m}^3/\text{s}$ (σύμφωνα με εκτίμηση της Harza Engineering Company)
Φεβρ. 1956	Έβρος, Πύθιο	$4600\text{m}^3/\text{s}$
Ιαν. 1955	Έβρος, Πύθιο	$2700\text{m}^3/\text{s}$
Φεβρ. 1963	Έβρος, Πύθιο	$4900\text{m}^3/\text{s}$
6 Δεκ. 1996	Έβρος, Πύθιο	$2737\text{m}^3/\text{s}$
3 Μαΐου 1997	Έβρος, Πύθιο	$4555\text{m}^3/\text{s}$
8 Φεβ. 1998	Έβρος, Πύθιο	$2711\text{m}^3/\text{s}$



ΕΙΚΟΝΑ 2: Υδρογραφήματα Έβρου στη θέση Πύθιο κατά το διάστημα 1985-1996



ΕΙΚΟΝΑ 3: Υδρογραφήματα μεγίστων παροχών Έβρου στη θέση Πύθιο κατά το διάστημα 1985-1996

Ποταμός Νέστος

Ο Νέστος είναι ο δεύτερος από τα ανατολικά μεγάλο ελληνικός ποταμός μετά τον Έβρο που εκβάλλει στο Βόρειο Αιγαίο. Έχει επιφάνεια λεκάνης απορροής $4,374\text{km}^2$ το μεγαλύτερο μέρος της οποίας βρίσκεται σε βουλγαρικό έδαφος. Η μέση ετήσια εκροή του Νέστου είναι $58\text{m}^3/\text{s}$ ή $1.82\text{km}^3/\text{yr}$, ενώ η μέση μηνιαία εκροή παρουσιάζει διακυμάνσεις από μια μέγιστη τιμή $110\text{m}^3/\text{s}$ τον Ιανουάριο μέχρι μια ελάχιστη τιμή $10\text{m}^3/\text{s}$ τον Σεπτέμβριο. *(Poulos et. al. 1997)*

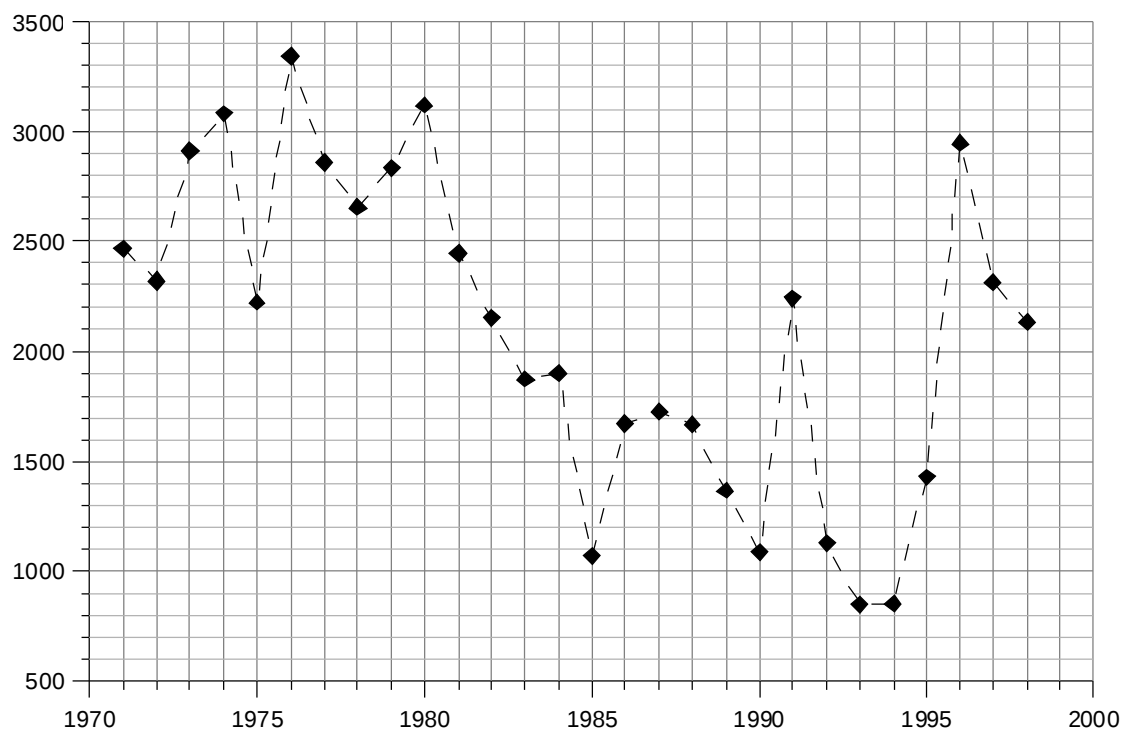
Ο Νέστος είναι ο μικρότερος από άποψη παροχών από τους τρεις προς μελέτη ποταμούς. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη φραγμάτων (κυρίως το φράγμα του Θησαυρού) κατά μήκος του έχουν σαν αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται πλημμύρες αφού πραγματοποιείται ανάσχεσή τους στα φράγματα και η απορροή του ποταμού στη θάλασσα διαμορφώνεται τελικά σε $200\text{m}^3/\text{s}$ με $300\text{m}^3/\text{s}$. *(Κωτσοβίνος – Αδημοσίευτη εργασία)*

Ποταμός Στρυμόνας

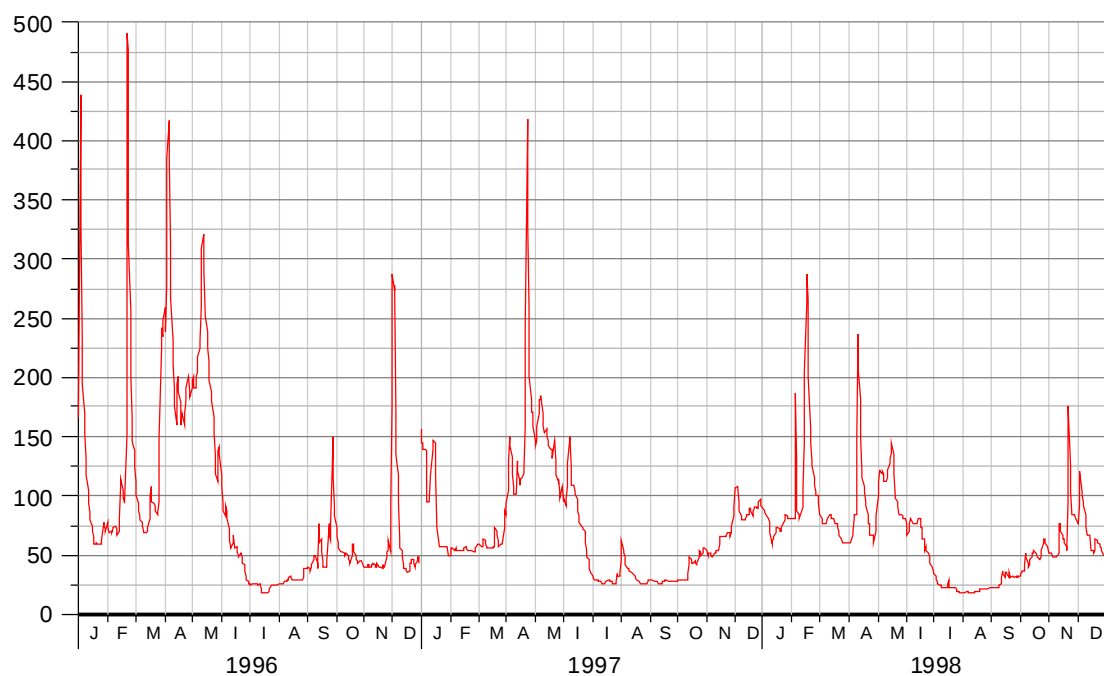
Ο Στρυμόνας είναι ο τρίτος από τα ανατολικά μεγάλος ελληνικός ποταμός μετά τον Έβρο και το Νέστο που εκβάλλει στο Βόρειο Αιγαίο. Έχει επιφάνεια λεκάνης απορροής $10,937\text{km}^2$, από την οποία το μεγαλύτερο μέρος βρίσκεται σε βουλγαρικό έδαφος.

Η ετήσια απορροή του Στρυμόνα στη θέση Marino Pole (εντός της Βουλγαρίας, κοντά στα ελληνο-βουλγαρικά σύνορα) όπως καταγράφηκε το διάστημα 1971-1998 παρουσιάζεται στην Εικόνα 4. Γενικά παρατηρείται πτώση της ετήσιας απορροής από το 1983 και μετά. Η μέγιστη ετήσια παροχή εμφανίστηκε το 1976 με απορροή $3343 \cdot 10^6\text{m}^3$, ενώ η ελάχιστη το έτος 1993 με $847 \cdot 10^6\text{m}^3$. Κατά την τριετία 1996–1998 η παροχή ξεπέρασε 4 φορές την τιμή των $400\text{m}^3/\text{s}$ στη θέση Marino Pole (Εικόνες 5 & 6). Στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται οι αναμενόμενες μέγιστες ετήσιες παροχές στη θέση Marino Pole για διάφορες περιόδους επαναφοράς, χρησιμοποιώντας τις μέγιστες ετήσιες παροχές που παρατηρήθηκαν τα τελευταία χρόνια και προσομοιώνοντας τις με κατανομή Gumbel.

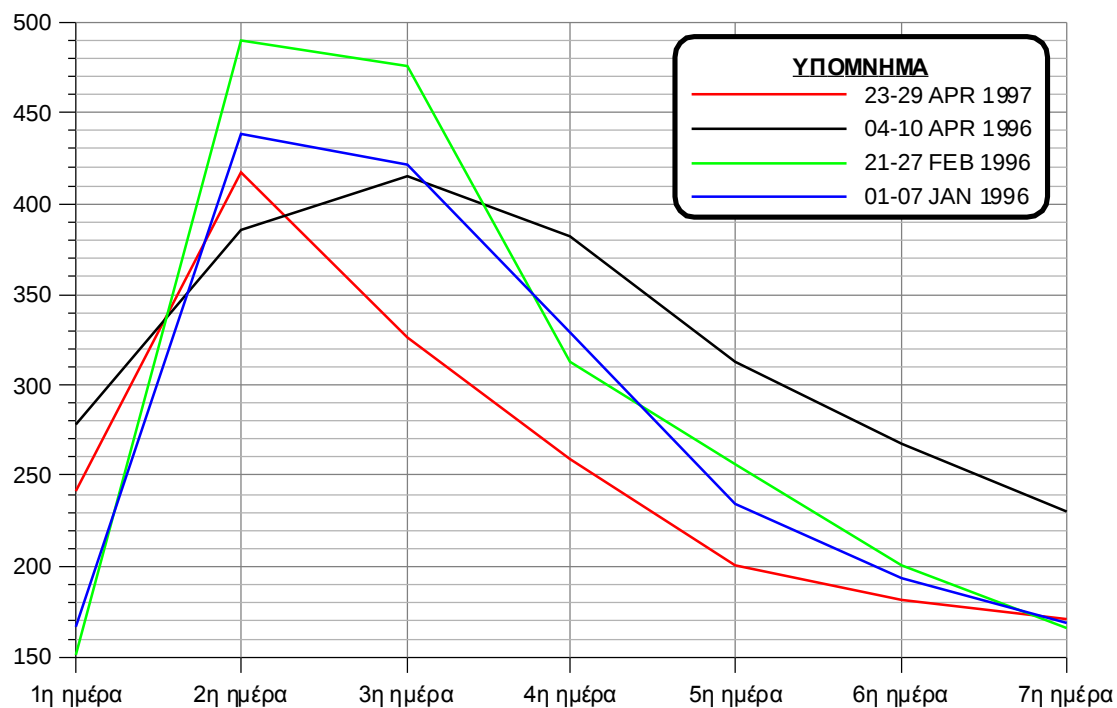
Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι εντός του ελληνικού χώρου υπάρχει η λίμνη Κερκίνη, όπου γίνεται μερική ανάσχεση των μεγίστων παροχών που εμφανίζονται στο Marino Pole. Σύμφωνα με υπολογισμούς, το φράγμα της λίμνης Κερκίνης μπορεί να αντέξει παροχή μέχρι περίπου $800\text{m}^3/\text{s}$, πέρα από την οποία η γύρω περιοχή αναμένεται να πλημμυρίσει. Σύμφωνα με τον Πίνακα 13, η παροχή $800\text{m}^3/\text{s}$ εμφανίζεται με περίοδο επαναφοράς λιγότερο από 100 έτη. (Κωτσοβίνος – αδημοσίευτη εργασία)



ΕΙΚΟΝΑ 4: Ετήσια απορροή του Στρυμόνα στη θέση Marino Pole (κοντά στα ελληνο-βουλγαρικά σύνορα) το διάστημα 1971 – 1998



ΕΙΚΟΝΑ 5: Υδρογράφημα του Στρυμόνα στη θέση Marino Pole (κοντά στα ελληνο-βουλγαρικά σύνορα) το διάστημα 1996-1998



ΕΙΚΟΝΑ 6: Υδρογραφήματα των μεγαλύτερων παροχών που παρατηρήθηκαν στο Στρυμόνα, στη θέση Marino Pole, κατά το διάστημα 1996-1998

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Στατιστική ανάλυση μεγίστων ετήσιων παροχών Στρυμόνα στη θέση Marino Pole και υπολογισμός μεγίστων ετήσιων παροχών για διάφορες περιόδους επαναφοράς, σύμφωνα με την κατανομή Gumbel

Μέση τιμή	351.16
Τυπική απόκλιση	144.93
x_0	285.94
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ
[years]	[m³/s]
2	327.38
5	455.50
10	540.34
20	621.71
30	668.52
50	727.04
100	805.97
200	884.61
500	988.36
1000	1066.77
5000	1248.75
10000	1327.12

Παράρτημα Ι: Βασικοί ορισμοί

Δύναμη Coriolis

Η πρόσθετη δύναμη που παρατηρείται να ασκείται σε ένα σώμα, όταν η κίνησή του εξετάζεται ως προς ένα περιστρεφόμενο σύστημα αναφοράς. Είναι κάθετη στο διάνυσμα της ταχύτητας $\mathbf{u}$ και στο διάνυσμα της περιστροφής $\mathbf{\Omega}$ και για σώμα μάζας ισούται με

$$F_{Cor} = -2m(\mathbf{\Omega} \times \mathbf{u})$$

Εκφράσεις εξίσωσης Navier-Stokes για περιστρεφόμενο σύστημα

Θεωρώντας σταθερό διάνυσμα περιστροφής, παράλληλο στον z-άξονα, η εξίσωση ορμής σε διάφορες εκφράσεις είναι:

- Διαστατική μορφή εξίσωσης ορμής εκφραζόμενη σε ταχύτητα και πίεση

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \text{grad} \mathbf{u} + \mathbf{\Omega} \times (\mathbf{\Omega} \times \mathbf{R}) + 2\mathbf{\Omega} \times \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \text{grad} p + \nu \nabla^2 \mathbf{u}$$

- Αδιάστατη μορφή εξίσωσης ορμής εκφραζόμενη σε ταχύτητα και πίεση

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + Ro \cdot \mathbf{u} \cdot \text{grad} \mathbf{u} + 2\hat{\mathbf{k}} \times \mathbf{V} = -\text{grad} p + Ek \nabla^2 \mathbf{u}$$

- Διαστατική μορφή εξίσωσης ορμής εκφραζόμενη σε ταχύτητα και στροβιλότητα

$$\frac{\partial \boldsymbol{\zeta}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \text{grad} \boldsymbol{\zeta} - \boldsymbol{\zeta} \cdot \text{grad} \mathbf{u} - 2\mathbf{\Omega} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z} = \nu \nabla^2 \boldsymbol{\zeta}$$

- Αδιάστατη μορφή εξίσωσης ορμής εκφραζόμενη σε ταχύτητα και στροβιλότητα

$$\frac{\partial \boldsymbol{\zeta}}{\partial t} + Ro [\mathbf{u} \cdot \text{grad} \boldsymbol{\zeta} - \boldsymbol{\zeta} \cdot \text{grad} \mathbf{u}] - 2 \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z} = Ek \nabla^2 \boldsymbol{\zeta}$$

όπου ο όρος $\mathbf{\Omega} \times (\mathbf{\Omega} \times \mathbf{R})$ της (1) περιλαμβάνεται στον όρο $\text{grad} p$ της (2), $\hat{\mathbf{k}}$ είναι το μοναδιαίο διάνυσμα κατά τον z-άξονα και $\mathbf{R}$ είναι το διάνυσμα θέσης.

Εξίσωση συνέχειας

Είναι ίδια με το μη-περιστρεφόμενο σύστημα

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot \text{div} \mathbf{u} + \mathbf{u} \cdot \text{grad} \rho = 0$$

η οποία για ασυμπίεστη ροή είναι

$$\text{div} \mathbf{u} = 0$$

Εξίσωση διατήρησης στροβιλότητας

$$\text{div}\zeta = 0$$

Συχνότητα Brunt-Vaisala ή συχνότητα άνωσης (Brunt-Vaisala frequency or buoyancy frequency)

Θεωρώντας ένα στρωματοποιημένο ρευστό και ένα σωματίδιο το οποίο ισορροπεί εντός του στρωματοποιημένου ρευστού, η συχνότητα Brunt-Vaisala (ή συχνότητα άνωσης) είναι η συχνότητα με την οποία θα ταλαντωθεί το σωματίδιο όταν εκτραπεί από το επίπεδο ισορροπίας, εκφράζει δε το βαθμό στρωμάτωσης του ρευστού. Η γενική εξίσωση είναι

$$N = \sqrt{\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz}}$$

Στην περίπτωση που το προφίλ της πυκνότητας είναι γραμμικό, προκύπτει

$$N = \sqrt{\frac{g'}{H}}$$

Οι μονάδες είναι $[N] = [T^{-1}]$

Ακτίνα Rossby της παραμόρφωσης (Rossby radius of deformation)

Εκφράζει την απόσταση στην οποία οι επιδράσεις της άνωσης και της δύναμης Coriolis είναι εξίσου σημαντικές. Για ένα ομογενές επίπεδο του ρευστού, η βαροτροπική ακτίνα Rossby είναι

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

όπου c η ταχύτητα διάδοσης κυματισμών. Σε ένα ομογενές επίπεδο, ισχύει

$c = \sqrt{gH}$, οπότε η βαροτροπική ακτίνα Rossby είναι

$$\lambda = \frac{\sqrt{gH}}{f}$$

Παράμετρος Coriolis (Coriolis parameter)

Εκφράζει την κατακόρυφη συνιστώσα του διανύσματος της ταχύτητας περιστροφής της γης σε κάθε γεωγραφικό πλάτος φ και είναι

$$f = 2\Omega \sin \varphi$$

Αριθμός Rossby (Rossby number)

Αδιάστατος αριθμός που εκφράζει το λόγο των δυνάμεων αδρανείας προς τη δύναμη Coriolis και είναι

$$Ro = \frac{U}{\Omega L}$$

Αριθμός Ekman (Ekman number)

Αδιάστατος αριθμός που εκφράζει το λόγο των διατμητικών δυνάμεων προς τη δύναμη Coriolis και είναι

$$Ek = \frac{\nu}{\Omega L^2}$$

Αριθμός Richardson (Richardson number) & πυκνομετρικός αριθμός Froude (densimetric Froude number)

Αδιάστατος αριθμός Richardson εκφράζει το λόγο των ανωστικών δυνάμεων προς τις αδρανειακές δυνάμεις και είναι

$$Ri = \frac{H^2 N^2}{U_o^2}$$

ή για γραμμικό προφίλ πυκνότητας

$$Ri = \frac{Hg'}{U_o^2}$$

Η σχέση που συνδέει τον αριθμό Richardson με τον πυκνομετρικό αριθμό Froude είναι

$$F = \frac{1}{\sqrt{Ri}}$$

ή`

$$F = \frac{U_o}{\sqrt{Hg'}}$$

Αριθμός Schmidt (Schmidt number)

Αδιάστατος αριθμός που εκφράζει το λόγο της διάχυσης της ορμής προς τη μοριακή διάχυση του αλατιού και είναι

$$Sc = \frac{V}{k}$$

Αριθμός Burger (Burger number)

Αδιάστατος αριθμός που εκφράζει το λόγο των κατακόρυφων ανωστικών δυνάμεων προς τις οριζόντιες δυνάμεις Coriolis και είναι

$$Bu = \left(\frac{NH}{\Omega D} \right)^2$$

Αριθμός Kelvin

Είναι ο λόγος του πλάτους του πλουμίου προς την ακτίνα Rossby

$$K = \frac{b}{\lambda}$$

Βαροτροπία (Barotropy)

Κατάσταση ενός ρευστού κατά την οποία οι ισοβαρείς (ίσης πίεσης) και οι ισοπυκνείς (ίσης πυκνότητας) επιφάνειες είναι παράλληλες.

Βαροκλισία (Baroclinity)

Κατάσταση ενός ρευστού κατά την οποία οι ισοβαρείς (καμπύλες ίσης πίεσης) και οι ισοπυκνείς (καμπύλες ίσης πυκνότητας) εν γένει δεν είναι παράλληλες.

Γεωστροφική ροή (Geostrophic Flow)

Ροή κατά την οποία η δύναμη Coriolis υπερिशύχει των αδρανειακών και των διατμητικών δυνάμεων ($Ro, Ek \ll 1$), οπότε η εξίσωση ορμής απλοποιείται στην ισορροπία της δύναμης Coriolis και του όρου της βαθμίδας πίεσης

$$\boldsymbol{\Omega} \times (\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{R}) = -\frac{1}{\rho} \text{grad} p$$

Ανάδυση θαλάσσιων μαζών (Upwelling) & Κατάδυση θαλάσσιων μαζών (Downwelling)

Η ανάδυση θαλάσσιων μαζών παρουσιάζεται όταν η παράκτια επιφανειακή θαλάσσια μάζα κινείται παράλληλα με την ακτή και έχει την ακτή αριστερά της στο βόρειο ημισφαίριο (δεξιά της στο νότιο ημισφαίριο). Λόγω αυτής της κίνησης, τα επιφανειακά νερά δέχονται μια δύναμη Coriolis με διεύθυνση προς τα ανοιχτά. Το 'κενό' που δημιουργείται αναπληρώνεται με την ανάδυση θαλάσσιων μαζών από κατώτερα στρώματα βάθους της τάξης συνήθως 200 έως 400 m .

Η κατάδυση θαλάσσιων μαζών είναι το αντίστοιχο φαινόμενο όταν τα νερά κινούνται παράλληλα με την ακτή και έχουν την ακτή δεξιά τους στο βόρειο ημισφαίριο (αριστερά τους στο νότιο ημισφαίριο). Σε αυτήν την περίπτωση, η δύναμη Coriolis κατευθύνει τα νερά προς την ακτή, οπότε αυτά βυθίζονται σε κατώτερα στρώματα.

Προσέγγιση Boussinesq (Boussinesq approximation)

Προσέγγιση που εφαρμόζεται στις εξισώσεις κίνησης, κατά την οποία η πυκνότητα θεωρείται σταθερή, εκτός από τον όρο άνωσης στην εξίσωση κατακόρυφης κίνησης. Μπορεί να εφαρμοστεί στις περισσότερες καταστάσεις στη θάλασσα.

Παράρτημα II: Κύρια βιβλιογραφία

Aksu, A.E., Hiscott, R.N. and Yasar, D., 1999, Oscillating quaternary water levels of the Marmara Sea and vigorous outflow into the Aegean Sea from the Marmara Sea – Black Sea drainage corridor, *Marine Geology*, **153**, pp. 275-302

Alpar, B. and Yuce, H., 1998, Sea-level variations and their interactions between the Black Sea and the Aegean Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **46**, pp. 609-619

Anwar, H., 1998, Spread of surface plume in homogeneous and stratified coastal waters, *Journal of Hydraulic Engineering*, **124(5)**, pp. 465-473

Constantin, P., 2004, Transport in rotating fluids, *Discrete and Continuous Dynamical Systems*, **10(1&2)**, pp. 165-176

Davies, P.A. and Ahmed, I., 1996, Laboratory studies of a round, negative buoyant jet discharged horizontally into a rotating homogenous fluid, *Fluid Dynamics Research*, **17**, pp 237-274

Davies, P.A., Guo, Y. and Rotenberg, E., 2002, Laboratory model studies of Mediterranean outflow adjustment in the gulf of Gadiz, *Deep Sea Research II*, **49**, 4207-4223

Gadgil, S., 1971, Structure of jets in rotating systems, *Journal of Fluid Mechanics*, **47(3)**, pp. 417-436

Garvine, R.W., 1995, A dynamical system for classifying buoyant coastal discharges, *Continental Shelf Research*, **15(13)**, pp. 1585-1596

Geyer, W.R., Hill, P.S. and Kineke G.C., 2004, The transport, transformation and dispersal of sediment by buoyant coastal flows, *Continental Shelf Research*, **24**, pp. 927-949

Griffiths, R.W. and Linden, P.F., 1981, The stability of vortices in a rotating, stratified fluid, *Journal of Fluid Mechanics*, **105**, 283-316

Jonsson, L., 2001, Some quality and hydrodynamic features of the North Aegean Sea derived from seawifs ocean colour data, *EUMETSAT Meteorological Satellite Data Users' Conference*

Jonsson, L., 2002, Seawifs chl-a data in the North Aegean Sea and discharge properties from the dardanelles strait, *UMETSAT Meteorological Satellite Conference*

Korres, G., Lascaratos, A., Hatzia Apostolou, E. and Katsafados, P., 2002, Towards an ocean forecasting system for the Aegean Sea, *The Global Atmosphere and Ocean System*, **8(2-3)**, pp. 191-218

Kourafalou, V.H., 2001, River plume development in semi-enclosed Mediterranean regions: North Adriatic Sea and Northwestern Aegean Sea, *Journal of Marine Systems*, **30**, pp. 181-205

Kourafalou, V.H. and Barbopoulos, K., 2003, High resolution simulations on the North Aegean Sea seasonal circulation, *Annales Geophysicae*, **21**, pp. 251-265

Lin, G. and Atkinson, J., 2000, Coriolis effects on turbulence structures in free surface jets, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **31**, pp. 247-269

Lykousis, V., Chronis, G., Tselepidis, A., Price, N.B., Theocharis, A., Siokou-Frangou, I. and Van Wambeke, F., 2002, Major outputs on the recent multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea, *Journal of Marine Systems*, **33-34**, pp. 313-334

McClimans, T., 1990, Role of laboratory experiments and models in the study of sea strait processes, In: *The Physical Oceanography of Sea Straits*, Editor: Pratt, J., NATO-ASI series, Kluwer Academic, pp. 373-388

McClimans, T., 1999, Laboratory benchmark for circulation studies in the Kara Sea, *Transport Programme: Oceanography (SINTEF)*,
(<http://npolar.no/transeff/Transport/Oceanography/Progress/Feb99-SINTEF.htm>)

Nof, D., 1978, On geostrophic adjustment in sea straits and wide estuaries: Theory and laboratory experiments. Part I: one-layer system, *Journal of Physical Oceanography*, **8(4)**, pp. 690-702

Nof, D., 1978, On geostrophic adjustment in sea straits and wide estuaries: Theory and laboratory experiments. Part II: two-layer system, *Journal of Physical Oceanography*, **8(5)**, pp. 861-872

Nof, D., 1987, The bifurcation of outflows, *Journal of Physical Oceanography*, **17(1)**, pp. 37-52

Poulos, S.E., Drakopoulos, P.G. and Collins, M.B., 1997, Seasonal variability in sea surface oceanographic conditions in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean): an overview, *Journal of Marine Systems*, **13**, pp. 225-244

Savage, S.B. and Sobey, R.J., 1975, Horizontal momentum jets in rotating basins, *Journal of Fluid Mechanics*, **71(4)**, pp. 755-768

Sobey, R.J. and Savage, S.B., 1974, Jet-forced circulation in water-supply reservoirs, *Journal of the Hydraulics Division*, **100**, 1809-1828

Sofianos, S., Johns, W., Lascaratos, A., Murray, S., Olson, D. and Theocharis, A., 2002, Draft Report of the Aegean Sea Workshop, Rhodes, Greece
http://www.oc.phys.uoa.gr/workshop/Aegean_Draft_Report_f.htm

Stashchuk, N. and Hutter, K., 2001, Modelling of water exchange through the strait of the Dardanelles, *Continental Shelf Research*, **21**, pp. 1361-1382

Unluata, U., Oguz, T., Latif, M.A. and Ozsoy, E., 1990, On the physical oceanography of the turkish straits, In: *The Physical Oceanography of Sea Straits*, Editor: Pratt, J., NATO-ASI series, Kluwer Academic, pp. 25-60

Yankovsky, A.E. and Chapman, D.C., 1997, A simple theory for the fate of buoyant coastal discharges, *Journal of Physical Oceanography*, **27(7)**, pp. 1386-1401

Zhu, Z. and Lawrence, G.A., 1996, Exchange flow through a channel with an underwater sill, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **24**, pp. 153-161

Zodiatis, G., Alexandri, S., Pavlakis, P., Jonsson, L., Kallos, G., Demetropoulos, A., Georgiou, G. and Theodorou, A., 1996, Tentative study of flow patterns in the North Aegean Sea using NOAA-AVHRR images and 2D model simulation, *Annales Geophysicae*, **14**, pp. 1221-1231

Παράρτημα III: Δευτερεύουσα βιβλιογραφία (ασχολίαστη)

Anderson, H.I., 1996, Flows dominated by centrifugal and Coriolis forces – a survey of Euromech 336, *Fluid Dynamics Research*, **18**, pp. 53-64

Anwar, H., 1998, Spread of surface plume in homogeneous and stratified coastal waters, *Journal of Hydraulic Engineering*, **124(5)**, pp. 465-473

Besiktepe, S.T., Ozsoy, E. and Latif, M.A., 1995, Sewage outfall in the two layer channel: an example of Istanbul outfall, *Water Science Technology*, **32(2)**, pp. 69-75

Boyer, D.L. and Davies, P.A., 2000, Laboratory studies of orographic effects in rotating and stratified flows, *Annual Review of Fluid Mechanics*, **32**, pp. 165-202

Brasseur, P., Beckers, J.M., Brankart, J.M. and Schoenauen, R., 1996, Seasonal temperature and salinity fields in the Mediterranean Sea: Climatological analyses of a historical data set, *Deep-Sea Research I*, **43(2)**, pp. 159-192

Dagg, M., Benner, R., Lohrenz, S. and Lawrence, D., 2004, Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: plume processes, *Continental Shelf Research*, **24**, pp. 833-858

Davies, P.A. and Osborne, M.C., 1999, A laboratory technique for generating a rotating, two-layer stratified channel flow, *Experiments in Fluids*, **26**, pp. 404-414

Faller, A.J., 1991, Instability and transition of disturbed flow over a rotating disk, *Journal of Fluid Mechanics*, **230**, pp. 245-269

Gustafsson, O, Buesseler, K.O., Geyer, R.W., Moran, B.S. and Gshwend, P.M., 1998, An assessment of the relative importance of horizontal and vertical transport of particle-reactive chemicals in the coastal ocean, *Continental Shelf Research*, **18**, pp. 805-829

Kourafalou, V.H., Oey, L., Wang, J.D. and Lee, T.N., 1996, The fate of river discharge on the continental shelf 1. Modeling the river plume and the inner shelf coastal current, *Journal of Geophysical Research*, **101(C2)**, pp. 3415-3434

MacCready, P., Robert, H.D. and Geyer, R.W., 2002, Long-term isohaline salt balance in an estuary, *Continental Shelf Research*, **22**, pp. 1591-1601

McClimans, T.A. and Saegron, S., 1982, River plume studies in distorted Froude models, *Journal of Hydraulic Research*, **20(1)**, pp.15-27

Nof, D., 2001, The ballooning of outflows, *Journal of Physical Oceanography*, **31(10)**, pp. 3045-3058

Nof, D., 2004, A different outflow length scale?, *Journal of Physical Oceanography*, **34(4)**, pp. 793-804

Ozsoy, E., Latif, M.A., Tubgul, S. and Unluata, U., 1995, Exchanges with the Mediterranean, fluxes, and boundary mixing processes in the Black Sea, *Briand, F. (Ed), Mediterranean Tributry Seas. Bull. Inst. Oceanogr. Monaco Spec. No. 15, CIESME Sci. Ser 1*, pp. 1-25,

Page, M.A. and Eabry, M.D., 1990, The breakdown of jets flows in a low-Rossby-number rotating fluid, *Journal of Engineering Mathematics*, **24**, pp. 287-310

Geyer, W., Hill, P., Milligan, T. and Traykovski, P., 2000, *Continental Shelf Research*, **20**, pp. 2067-2093

Spall, H., 2002, On the thermohaline circulation in semi-enclosed marginal seas, *Aegean Sea Workshop (Rhodes 2002)*

Yoce, H., 1996, On the variability of Mediterranean water flow into the Black Sea, *Continental Shelf Research*, **16(11)**, pp. 1399-1413

Zodiatis, G. and Balopoulos, E., 1993, Structure and characteristics of fronts in the North Aegean Sea, *Bolletino Oceanologia Teorica ed Applicata*, **XI(2)**, pp. 113-124

Παράρτημα IV: Άλλες πηγές πληροφόρησης - Σχετικοί δικτυακοί τόποι

<http://www.skio.peachnet.edu/>

Ο δικτυακός τόπος του 'Skidaway Institute of Oceanography', μια αυτόνομη ερευνητική μονάδα του Πανεπιστημίου της Georgia, που ασχολείται με τη θαλάσσια έρευνα. Μεταξύ άλλων περιλαμβάνονται επιμέρους ιστοσελίδες από ερευνητικές ομάδες και προγράμματα, όπου περιλαμβάνονται διάφορες εργασίες, συνέδρια, newsletter & mailing-list, συνδέσεις με σχετικούς δικτυακούς τόπους και άλλα. Οι πιο ενδιαφέρουσες ιστοσελίδες που εμπεριέχονται είναι:

- <http://www.skio.peachnet.edu/coop/>
Το CoOP (Coastal Ocean Processes) είναι ένα ερευνητικό πρόγραμμα που εστιάζει στην παράκτια ωκεανογραφία.
- <http://www.skio.peachnet.edu/research/coastalphysics/>
Η ιστοσελίδα του 'Coastal and Estuarine Physics group', με συμμετοχή σε ερευνητικά προγράμματα που ασχολούνται με την παράκτια κυκλοφορία.

<http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/index.html>

Πρόκειται για την ιστοσελίδα του POM (Princeton Ocean Model). Το POM είναι σ-συντεταγμένης, ελεύθερης επιφανείας, αριθμητικό μοντέλο με εφαρμογή σε θαλάσσιες περιοχές εκβολών, παράκτιες περιοχές, καθώς και για ανοιχτούς ωκεανούς. Αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του '70 και από τότε έχουν βγει νεότερες εκδόσεις. Το μεγάλο πλεονέκτημα του POM είναι ότι παρέχεται ανοιχτός ο κώδικας του προγράμματος σε γλώσσα Fortran. Μεταξύ των άλλων, η ιστοσελίδα περιέχει:

- Τον κώδικα του προγράμματος σε Fortran
- Πλήρη οδηγός χρήσης του POM, καθώς και γενικότερες πληροφορίες για τα αριθμητικά μοντέλα που εφαρμόζονται στους ωκεανούς
- Διάφορα εργαλεία απεικόνισης των αποτελεσμάτων που προέρχονται από το POM
- Εκτενή κατάλογο με δημοσιευμένες εργασίες όπου έχει χρησιμοποιηθεί το POM. Για κάποιες από αυτές τις εργασίες παρέχεται και το πλήρες κείμενο.
- Λίστα δικτυακών τόπων από project στα οποία έχει χρησιμοποιηθεί το POM
- Λίστα με σχετικά επιστημονικά περιοδικά
- Εκτενή λίστα με σχετικούς δικτυακούς τόπους

- mailing list των χρηστών του POM, με σκοπό την ανταλλαγή απόψεων, λύσης αποριών κλπ.

<http://www.hcmr.gr/>

Είναι η επίσημη ιστοσελίδα του ΕΛΚΕΘΕ (Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών). Το ΕΛΚΕΘΕ αποτελείται από πέντε ινστιτούτα, ένα από τα οποία είναι το Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας. Το Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας ασχολείται με την καταγραφή, τη μελέτη και την έρευνα των φυσικών, χημικών, βιολογικών και γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στο θαλάσσιο οικοσύστημα και στα φυσικά του όρια με την ατμόσφαιρα, το βυθό και την ακτή. Μεταξύ άλλων περιέχει:

- <http://www.poseidon.ncmr.gr/greek/>

Η ιστοσελίδα του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ, το οποίο αποτελεί ένα σύστημα παρακολούθησης και πρόγνωσης των ελληνικών θαλασσών. Βασίζεται σε αριθμητικά μοντέλα που χρησιμοποιούν μετρήσεις από ένα δίκτυο πλωτών ωκεανογραφικών μετρητικών σταθμών. Το υδροδυναμικό μοντέλο βασίζεται στο μοντέλο POM. Παρέχονται σε απεικονίσεις στο χάρτη του Αιγαίου πληροφορίες προγνώσεων (για 72 ώρες) για την αλατότητα στην επιφάνεια της θάλασσας, τη θερμοκρασία, την ταχύτητα ανέμου, την κυκλοφορία υδάτων κ.

<http://archimedes.civil.auth.gr/krestenitis/gr/aegean.html>

& <http://archimedes.civil.auth.gr/krestenitis/en/aegean.html>

Δικτυακός τόπος στα ελληνικά και στα αγγλικά όπου παρουσιάζεται περιληπτικά μια ενδιαφέρουσα εργασία που έγινε για τη διερεύνηση της κυκλοφορίας των υδάτων στο Αιγαίο από τον καθηγητή Κρεστενίτη του ΑΠΘ. Χρησιμοποιήθηκε μαθηματικό ομοίωμα του Αιγαίου, του οποίου η αριθμητική επίλυση βασίστηκε στο μοντέλο POM. Επίσης περιέχονται στοιχεία για τα χαρακτηριστικά της εισροής υδάτων στο Αιγαίο μέσω των στενών του Ελλήσποντου και συγκεκριμένα (α) η παροχή εισροής, (β) η θερμοκρασία, (γ) το βάθος της άνω στρώσης και (δ) η αλατότητα, καθώς αυτά μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια του έτους.

<http://www.oc.phys.uoa.gr/>

Δικτυακός τόπος της Ομάδας Ωκεανογραφίας του Τμήματος Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η παραπάνω ομάδα έχει δραστηριοποιηθεί σε έρευνες στο Αιγαίο, καθώς και στον ευρύτερο θαλάσσιο χώρο της Μεσογείου. Ανάμεσα σε άλλα ενδιαφέροντα στοιχεία, περιέχονται:

- <http://www.oc.phys.uoa.gr/workshop.html>
Η ιστοσελίδα του “Aegean Sea Workshop” που διεξήχθη το 2002 στη Ρόδο.
- <http://www.oc.phys.uoa.gr/SST/satsst.html>
σύστημα on-line απεικόνισης σε χάρτη των προβλέψεων της θερμοκρασίας, της αλατότητας και της ταχύτητας των υδάτων της Ανατολικής Μεσογείου. Οι προβλέψεις γίνονται με το αριθμητικό μοντέλο που βασίζεται στο POM.
- <http://www.oc.phys.uoa.gr/dok1.htm>
Η διεύθυνση του Συστήματος Πρόβλεψης Κυμάτων ΤΡΙΤΩΝ για τις ελληνικές θάλασσες. Όπως και το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ του ΕΛΚΕΘΕ, παρέχει σε απεικόνιση σε χάρτη την πρόβλεψη (60 ώρες) του ύψους και της κατεύθυνσης των κυμάτων, όπως προκύπτουν από αριθμητικό μοντέλο, βασισμένο σε πραγματικές μετρήσεις.
- <http://www.oc.phys.uoa.gr/dok4.htm>
Η διεύθυνση του Συστήματος Πρόβλεψης Alermo για την επιφανειακή θερμοκρασία, την κυκλοφορία και την αλατότητα της Ανατολική Μεσογείου.

http://www.atmos.washington.edu/gfd_exp/exp_e/index.htm

Δικτυακός τόπος του Πανεπιστημίου της Ουάσιγκτον που αναφέρεται στην εργαστηριακή μελέτη των ωκεανών. Μεταξύ των άλλων, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν τα στοιχεία που δίνονται για την κατασκευή πειραματικών διατάξεων που σχετίζονται με τη δύναμη Coriolis, καθώς και η συλλογή με φωτογραφίες από πειράματα.

<http://www.cineca.it/cgi-bin/mfspp/xcst-table.plx?cast>

Δικτυακός τόπος με τίτλο «Mediterranean Ocean Forecast System», που περιέχει ενδιαφέροντες χάρτες της Μεσογείου με διάφορα χαρακτηριστικά, όπως θερμοκρασία και αλατότητα, στην επιφάνεια της θάλασσας, καθώς και σε βάθη 30m , 120m και 360m . Οι χάρτες είναι δυναμικοί, δηλαδή απεικονίζουν on-line την τωρινή κατάσταση, καθώς και πώς αυτή αναμένεται να εξελιχθεί μέχρι και τις επόμενες δέκα ημέρες.

<http://www.oce.uri.edu/ecm8/index.html>

Πρόκειται για την ιστοσελίδα του 8^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου Εκβολών και Παράκτιας Μοντελοποίησης (8th International Conference of Estuarine and Coastal Modeling), που πραγματοποιήθηκε το Νοέμβριο του 2003. Εκτός των άλλων ενδιαφέροντων στοιχείων, περιέχει μια λίστα με τους τίτλους και τις περιλήψεις των εργασιών που παρουσιάστηκαν.

<http://www.doronnof.net/index.html>

Η προσωπική ιστοσελίδα του Doron Nof, καθηγητή Φυσικής Ωκεανογραφίας στο Πανεπιστήμιο της Florida, με σημαντικό ερευνητικό έργο σε θέματα εκροής και ανταλλαγής θαλάσσιων υδάτων μέσω στενών. Μεταξύ άλλων στοιχείων αναφορικά με την Ωκεανογραφία, περιέχονται τα κείμενα από εργασίες του καθηγητή.

<http://www.iers.org/>

Δικτυακός τόπος του IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service). Περιέχει διάφορες χρήσιμες πληροφορίες, δημοσιευμένες εργασίες, διασυνδέσεις με άλλους δικτυακούς τόπους κλπ.

<http://www.agu.org/revgeophys/lentz01/lentz01.html>

Περιέχει μια ανασκόπηση εργασιών στις αρχές της δεκαετίας του '90 από αμερικανούς επιστήμονες που ασχολήθηκαν με τη φυσική ωκεανογραφία και τις ηπειρωτικές υφαλοκρηπίδες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η 4^η ενότητα, που αναφέρεται στις εκροές ποταμών σε υφαλοκρηπίδες.

<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl?sen=am>

Δικτυακός τόπος της NASA που περιέχει δορυφορικές εικόνες από όλη τη γη.

<http://modis.gsfc.nasa.gov/>

Ο δικτυακός τόπος του συστήματος MODIS. Το MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), βασιζόμενο στους δορυφόρους Terra (EOS AM) και Aqua (EOS PM), αποτελεί ένα σύστημα δορυφορικής απεικόνισης, καλύπτοντας ολόκληρη την επιφάνεια της γης κάθε μία με δύο ημέρες, χρησιμοποιώντας 36 διαφορετικές φασματικές μπάντες. Στην ιστοσελίδα προσφέρεται μια ενδιαφέρουσα συλλογή από εικόνες από όλα της γης, περιλαμβανομένου και του Αιγαίου.

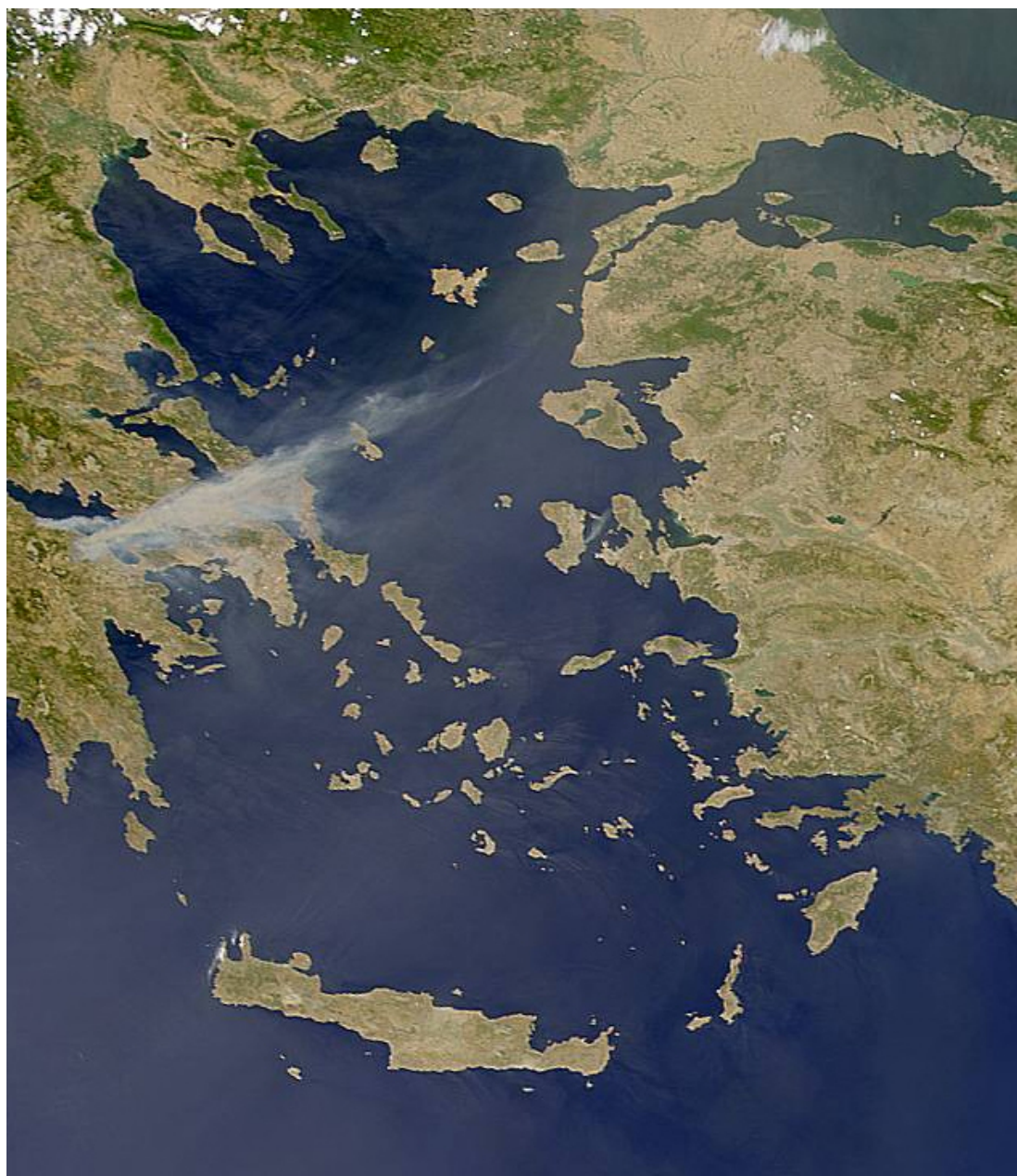
<http://stommel.tamu.edu/~baum/paleo/paleogloss/node4.html>

Λεξικό όρων Ωκεανογραφίας

<http://amsglossary.allenpress.com/glossary>

Λεξικό όρων μετεωρολογίας της Αμερικανικής Μετεωρολογικής Εταιρίας

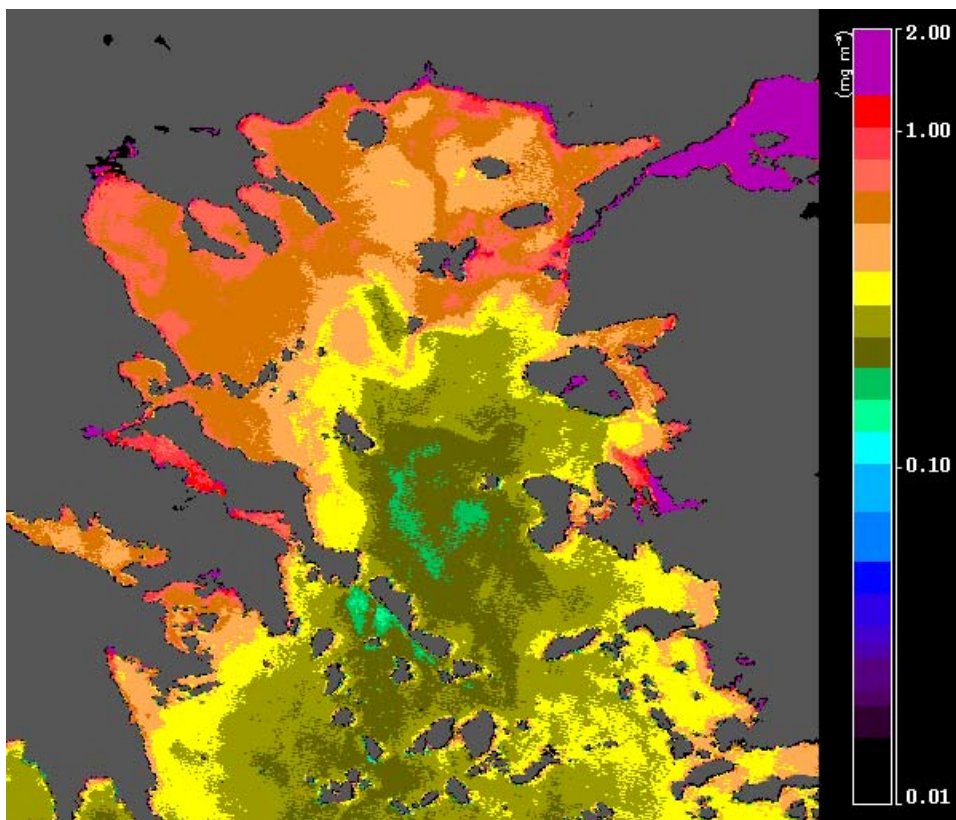
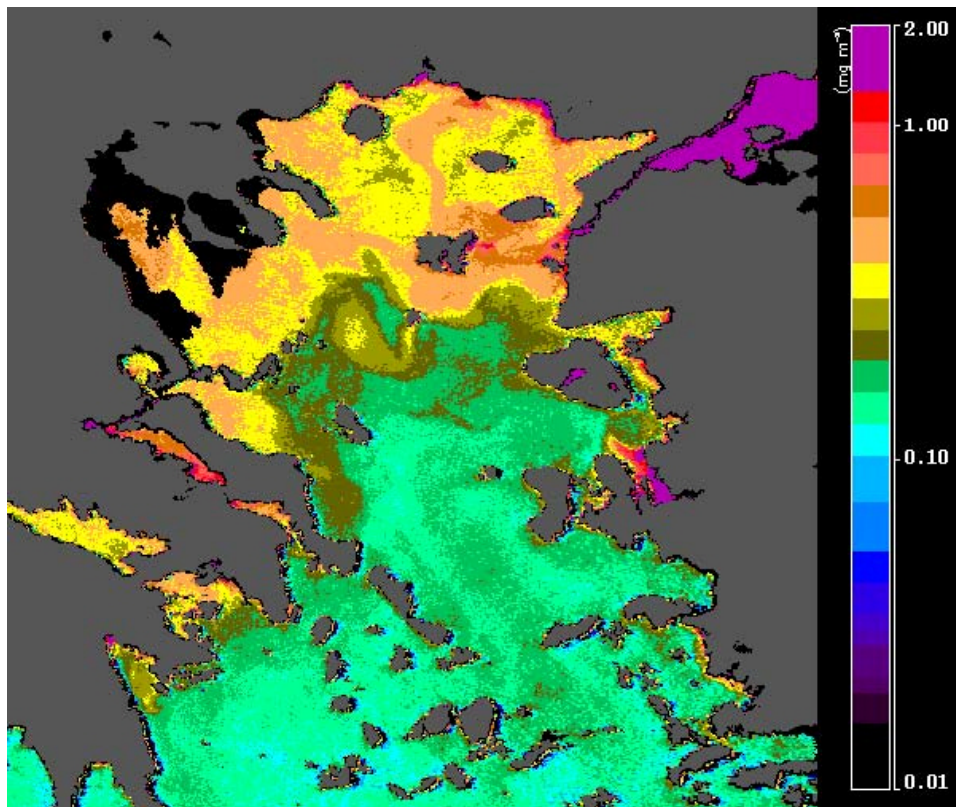
Παράρτημα V: Gallery



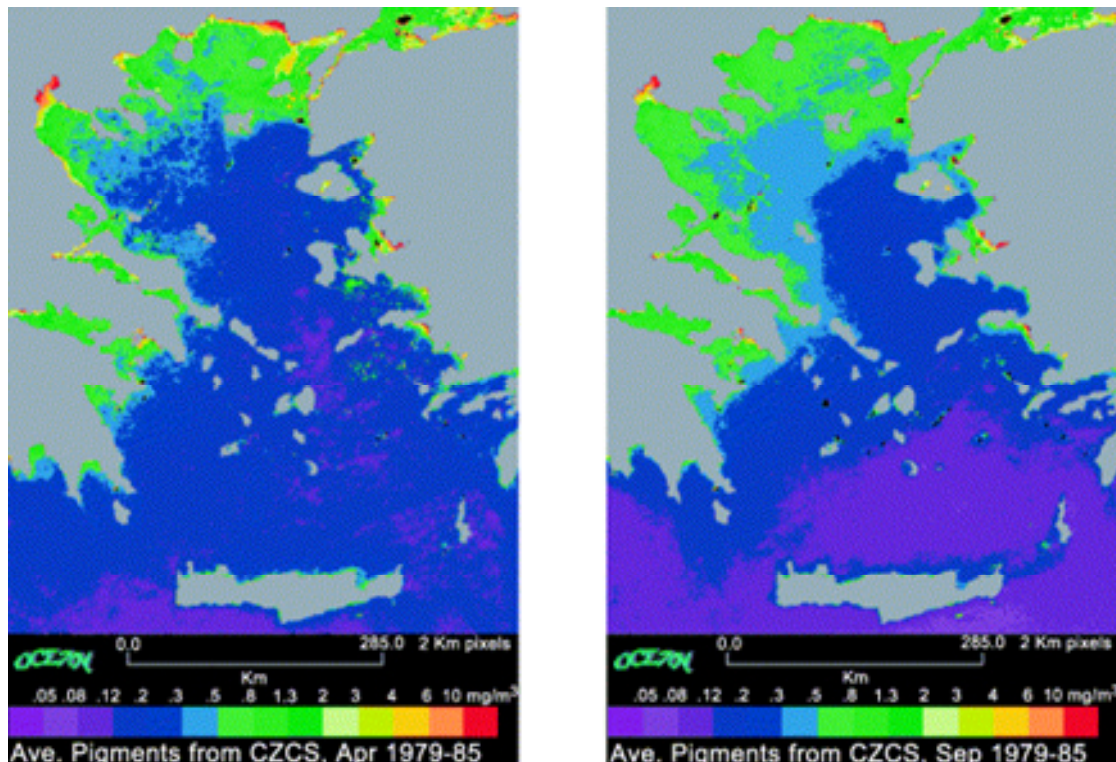
ΕΙΚΟΝΑ 7: Δορυφορική απεικόνιση Αιγαίου ([Σύστημα MODIS](#))



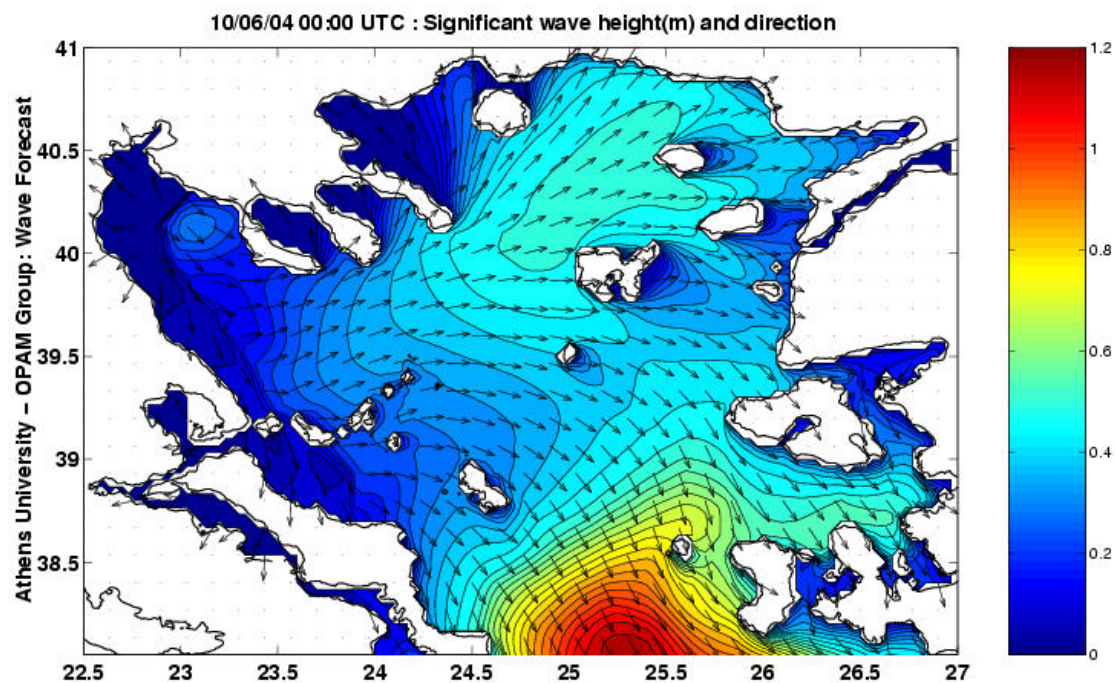
ΕΙΚΟΝΑ 8: Δορυφορική απεικόνιση του Βορείου Αιγαίου και της Προποντίδας (α) 25-06-2003 & (β) 11-07-2003. Το καλοκαίρι του 2003, και για διάρκεια 6½ εβδομάδων, το χρώμα της Θάλασσας του Μαρμαρά από σκούρο μπλε είχε αλλάξει σε ανοιχτό τυρκουάζ, απεικονίζοντας παράλληλα την πορεία της εκροής από τον Ελλήσποντο στο Αιγαίο. Το φαινόμενο μπορεί να οφειλόταν σε αυξημένες συγκεντρώσεις κοκκολιθοφόρων, ανθρακικού ασβεστίου, θείου ή ιζημάτων. ([Σύστημα MODIS](#))



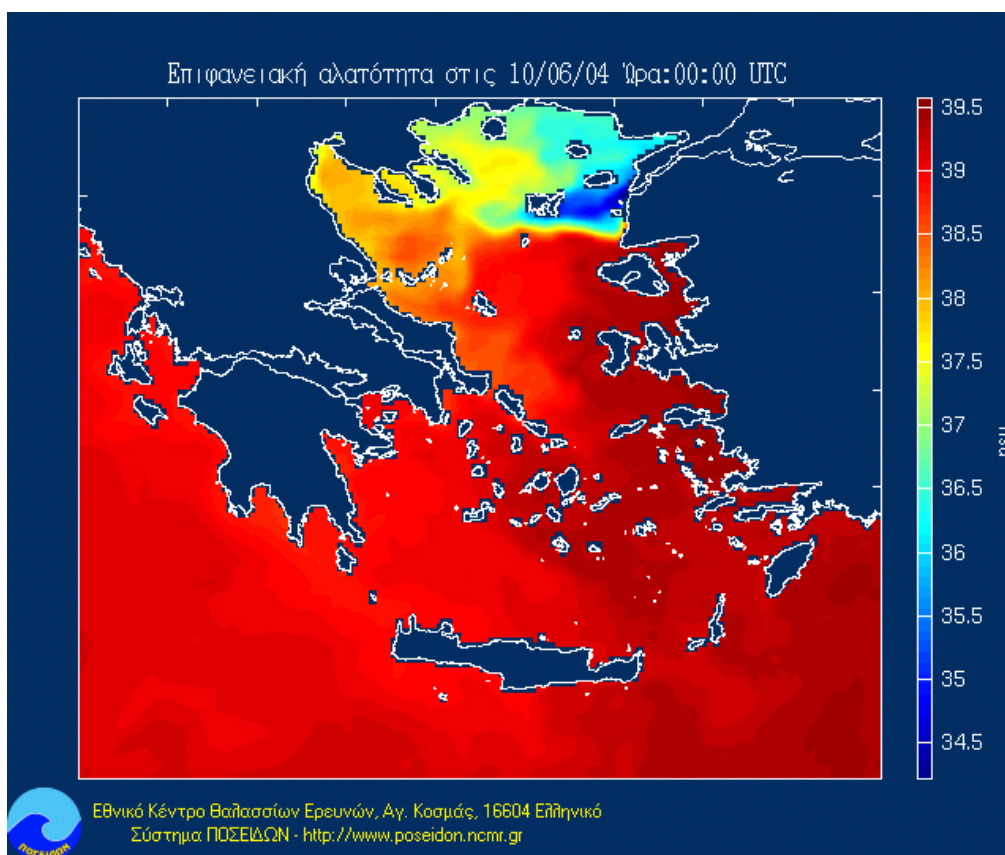
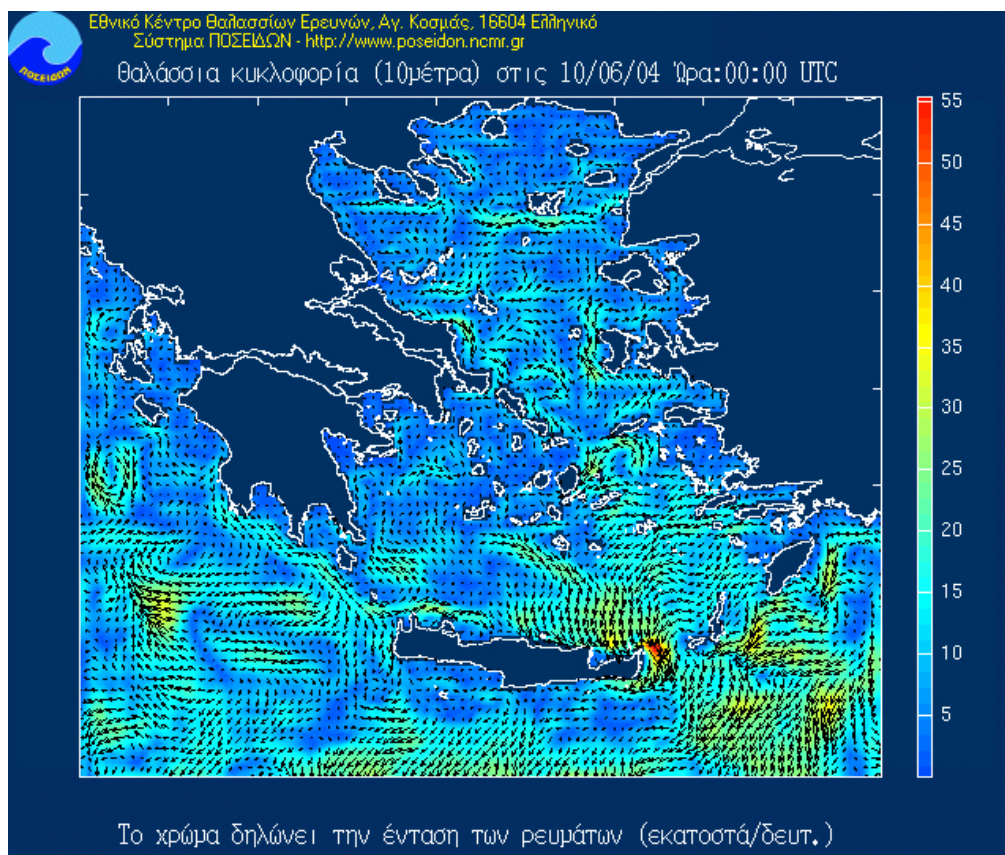
ΕΙΚΟΝΑ 9: Δορυφορική απεικόνιση συγκεντρώσεων χλωροφύλλης-α (mg/m^3) στο Βόρειο Αιγαίο την 11-08-2002, επεξεργασμένη με από τα προγράμματα (α) SeaDAS 4.0 και (β) MUMM. (Jonsson 2002)



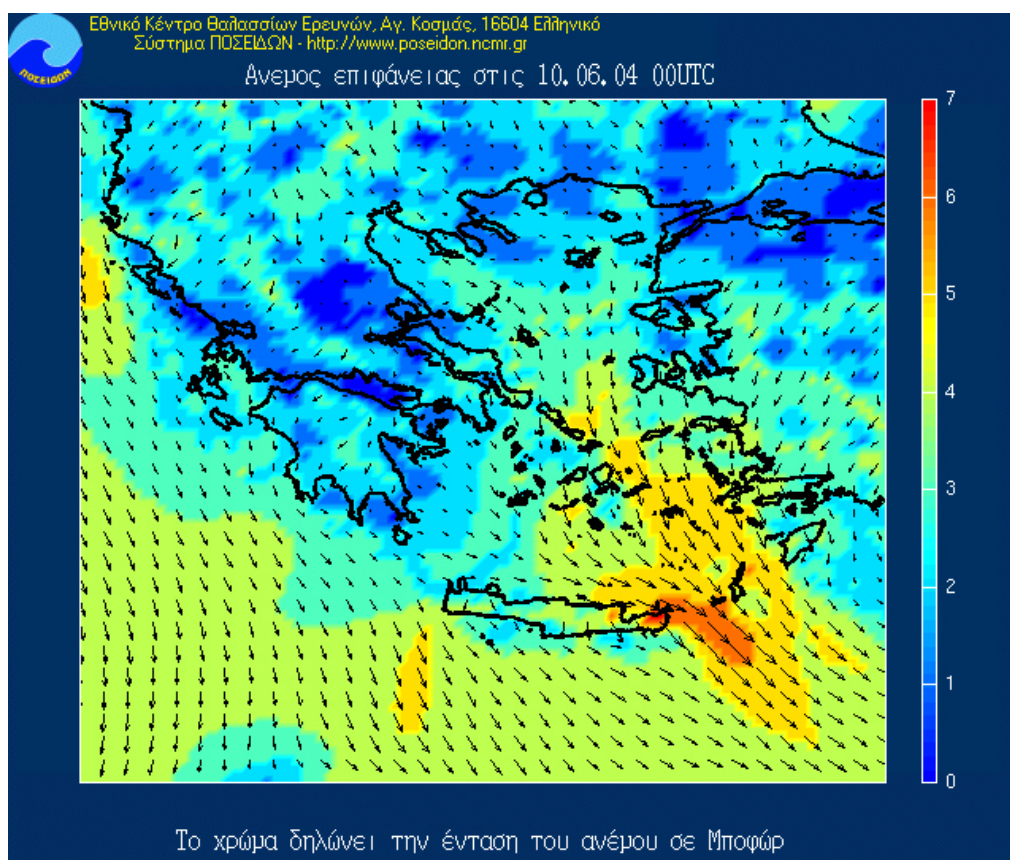
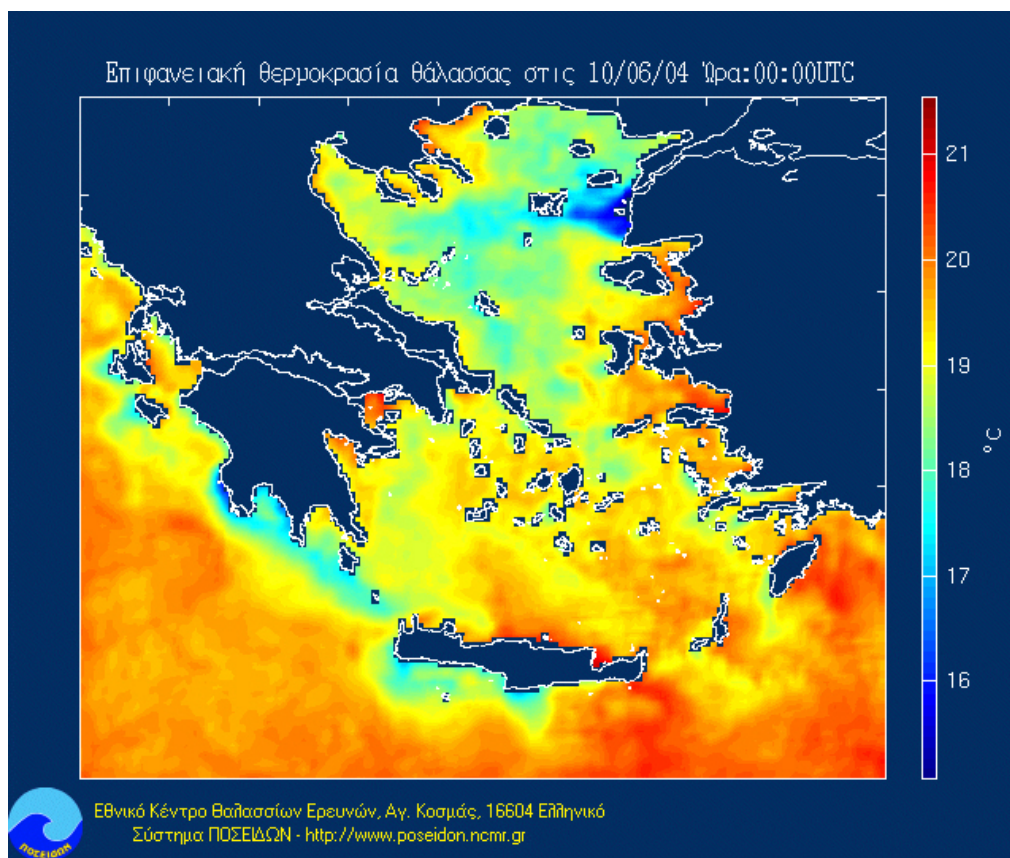
ΕΙΚΟΝΑ 10: Δορυφορική απεικόνιση μέσων συγκεντρώσεων τροφισμού (mg/m^3) του Αιγαίου κατά τους μήνες (α) Απρίλιο και (β) Σεπτέμβριο (*Lykousis et. al. 2002*)



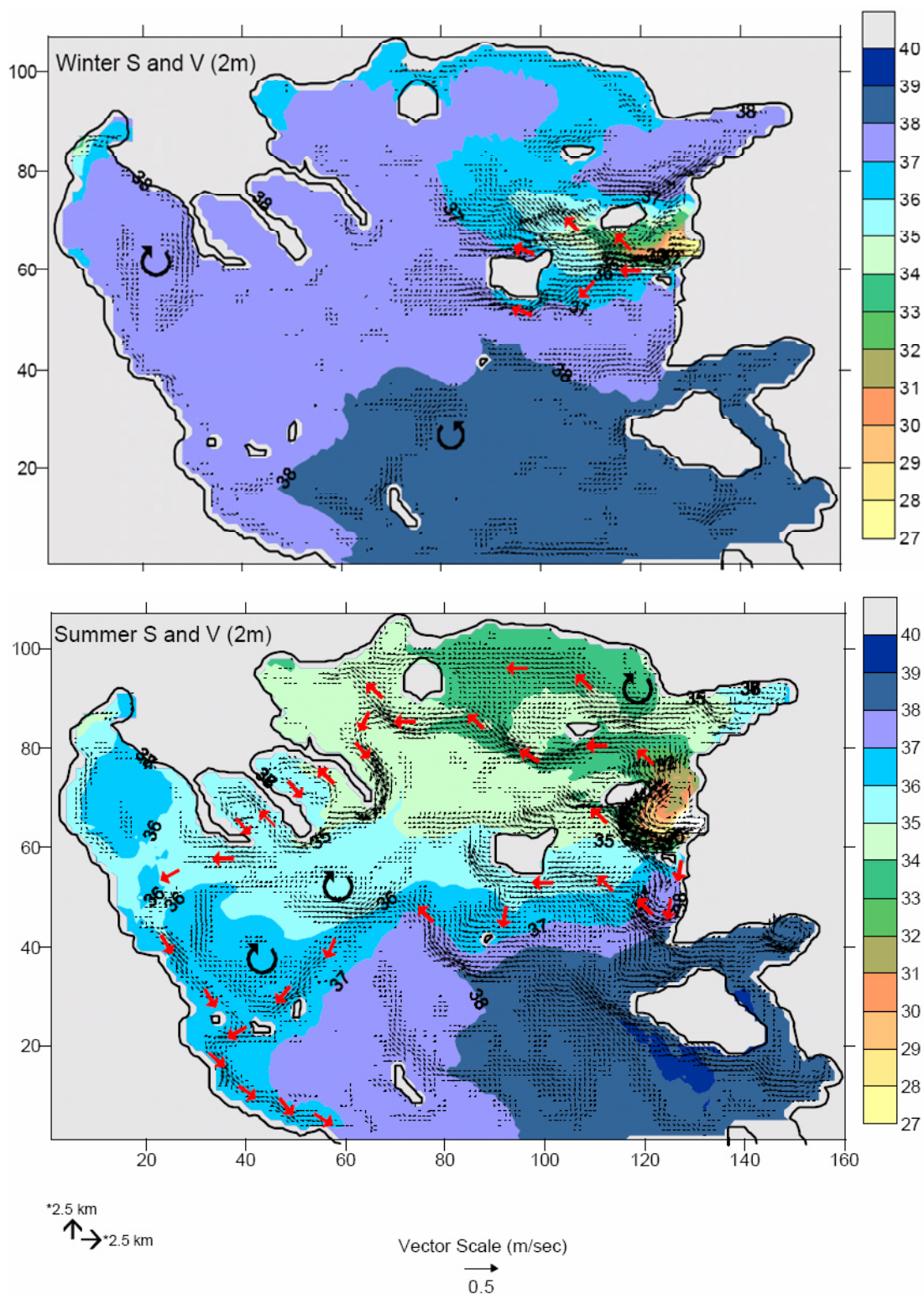
ΕΙΚΟΝΑ 11: Υπολογισμός κυματισμών (ύψος και κατεύθυνση) του Αιγαίου την 10-06-2004, από το σύστημα *TPITON*.



ΕΙΚΟΝΑ 12: Υπολογισμός (α) θαλάσσιας κυκλοφορίας και (β) αλατότητας του Αιγαίου την 10-06-2004, από το σύστημα [ΠΟΣΕΙΔΩΝ](http://www.poseidon.ncmr.gr)



ΕΙΚΟΝΑ 13: Υπολογισμός (α) θερμοκρασίας θάλασσας και (β) έντασης ανέμου επιφανείας του Αιγαίου την 10-06-2004, από το σύστημα [ΠΟΣΕΙΔΩΝ](http://www.poseidon.ncmr.gr)



ΕΙΚΟΝΑ 14: Υπολογισμός αλατότητας (χρωματική κλίματα) και ταχύτητας (βέλη) υδάτων Βορείου Αιγαίου σε βάθος 2m, με αριθμητικό μοντέλο (POM) για (α) χειμερινή και (β) καλοκαιρινή περίοδο. Τα έντονα, κόκκινα βελάκια δείχνουν την κύρια διαδρομή των υδάτων εκροής από τον Ελλήσποντο. (*Kourafalou and Barbopoulos 2003*)