

Παράκτια Υδραυλική & Τεχνολογία

Υδροδυναμική Προσομοίωση Παράκτιων Περιοχών

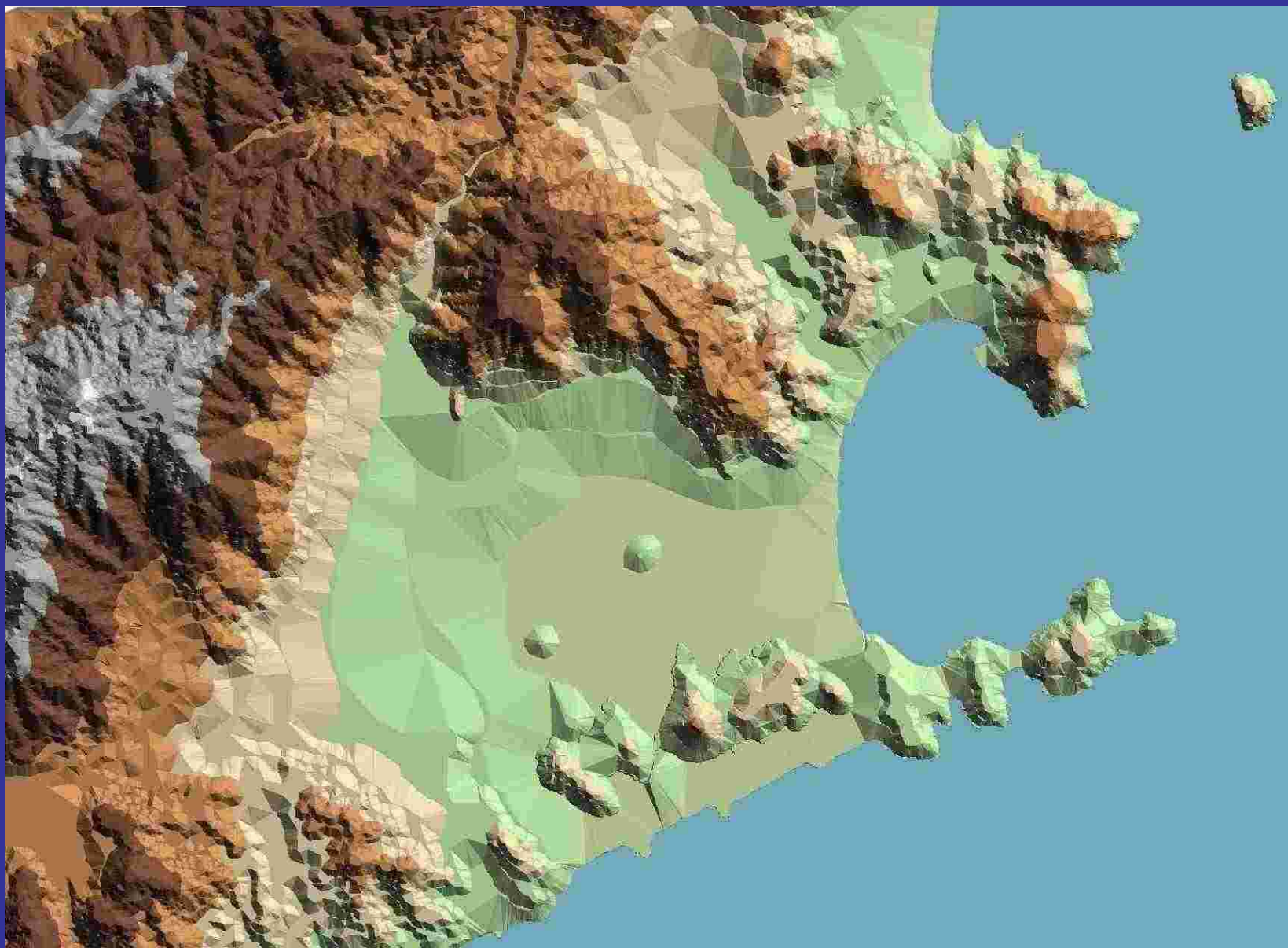
Δρ. Γιώργος Συλαίος
Ωκεανογράφος – Επ. Καθηγητής ΤΜΠ-ΔΠΘ

Παράκτια Κυκλοφορία

Σαν παράκτια κυκλοφορία ορίζεται η μη μόνιμη ροή (ανάπτυξη διανυσματικού πεδίου ταχυτήτων) και μεταβολή της στάθμης της θάλασσας σε μία παράκτια περιοχή. Το πεδίο μελέτης είναι γεωφυσικό, με βάθος μερικών δεκάδων μέτρων και οριζόντιες διαστάσεις μερικών δεκάδων χιλιομέτρων πολύπλοκης βαθυμετρίας και γεωμετρίας ορίων ακτών.

Το πεδίο αυτό επικοινωνεί με την υπόλοιπη θάλασσα με ένα φυσικό όριο (όριο ανοικτής θάλασσας). Η κυκλοφορία σε παρόμοιες περιοχές προκαλείται από διάφορα γενεσιουργά αίτια, τα κυριότερα από τα οποία είναι η παλίρροια, η επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια, η διαφοροποίηση της ορμής από θέση σε θέση λόγω διάθλασης και ρηχότητας των ανεμογενών κυματισμών και οι οριζόντιες ή κατακόρυφες μεταβολές της πυκνότητας.

Λεκάνη Απορροής και Κόλπος Ελευθερών



Η κατάσταση του μαθηματικού ομοιώματος παράκτιας κυκλοφορίας που συνθέτεται από τις εξισώσεις διατήρησης της μάζας και ισορροπίας των δυνάμεων, γίνονται συνήθως οι εξής παραδοχές :

[1] Παραδοχή σχεδόν οριζόντιας ροής, που σημαίνει ότι οι οριζόντιες ταχύτητες u , v κατά τις διευθύνσεις x , y είναι κατά τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες της κατακόρυφης ταχύτητας w . Η παραδοχή αυτή προέρχεται από το γεγονός ότι οι οριζόντιες διαστάσεις του πεδίου ροής είναι κατά πολύ μεγαλύτερες της κατακόρυφης διάστασης. Η παραδοχή της σχεδόν οριζόντιας κυκλοφορίας απλοποιεί σημαντικά τις εξισώσεις κίνησης, διότι διώχνει τους όρους που συμμετέχει η κατακόρυφη ταχύτητα w , αλλά το κυριότερο δείχνει ότι η κατακόρυφη κατανομή της πίεσης εξαρτάται μόνο από το ειδικό βάρος του νερού (υδροστατική κατανομή πιέσεων). Η παραδοχή αυτή εκφράζεται μαθηματικά ως :

$$w \approx 0, \quad \partial p / \partial z = - \rho g$$

Υπάρχουν ωστόσο παράκτιες περιοχές με έντονη κατακόρυφη ανοδική (upwelling) ή καθοδική (downwelling) κυκλοφορία στις οποίες η παραδοχή αυτή δεν ισχύει.

[2] Συμμετοχή δυνάμεων Coriolis στις εξισώσεις κίνησης, μια και οι χρονικές και χωρικές κλίμακες εξέλιξης των φαινομένων στη παράκτια κυκλοφορία είναι μεγάλες (πολλές φορές της τάξης μερικών ημερών). Οι δυνάμεις Coriolis που εκφράζονται από το εξωτερικό γινόμενο $2 \Omega \times V$, όπου Ω το διάνυσμα της γωνιακής ταχύτητας της Γης ($|\Omega| = 2\pi/86400 \text{ rad/sec}$).

[3] Η ροή στον ωκεανό είναι τυρβώδης. Οι μεγάλες γραμμικές διαστάσεις του πεδίου ροής, ακόμα και για τις πιο μικρές ταχύτητες συνεπάγεται μεγάλους αριθμούς Reynolds ($0[Re] > 10^4$) και άρα η ροή στη θάλασσα είναι τυρβώδης. Για τη περιγραφή της ροής αυτής απαιτούνται οι συντελεστές τυρβώδους ιξώδους, οι οποίοι αναπτύσσονται ανισότροπα προς τις διάφορες διευθύνσεις και η τιμή τους εξαρτάται από τη κατάσταση τύρβης σε τοπικό επίπεδο.

[1] Εξισώσεις κίνησης :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + a_x + \frac{\partial}{\partial x} (A_x \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_y \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \frac{\partial u}{\partial z})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + a_y + \frac{\partial}{\partial x} (A_x \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_y \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (A_z \frac{\partial v}{\partial z})$$

[2] Η εξίσωση της συνέχειας της μάζας :

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

που σημαίνει ότι το ρευστό είναι ασυμπίεστο.

[3] Η κατά το βάθος ολοκληρωμένη εξίσωση της συνέχειας :

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\zeta} u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\zeta} v dz + w \Big|_{\zeta} - w \Big|_{-h} = 0$$

Εφόσον $w|_{-h} = 0$ και $w|_{\zeta} \approx \partial \zeta / \partial t$ (η οποία γραμμικοποιεί τη κινηματική συνθήκη της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας). Τότε η παραπάνω εξίσωση γίνεται :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int v dz = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Uh) + \frac{\partial}{\partial y} (Vh) = q$$

Οριακές Συνθήκες

[1] Συνθήκη περιμετρικού ορίου ακτών : Σύμφωνα με τη συνθήκη αυτή, το μέγεθος της ταχύτητας που είναι εγκάρσια στα περιμετρικά όρια των ακτών της υπό μελέτη περιοχή, μηδενίζεται. Μία τέτοια συνθήκη δεν επιτρέπει τη διαβροχή των χερσαίων περιοχών πέρα από την αρχική ακτογραμμή.

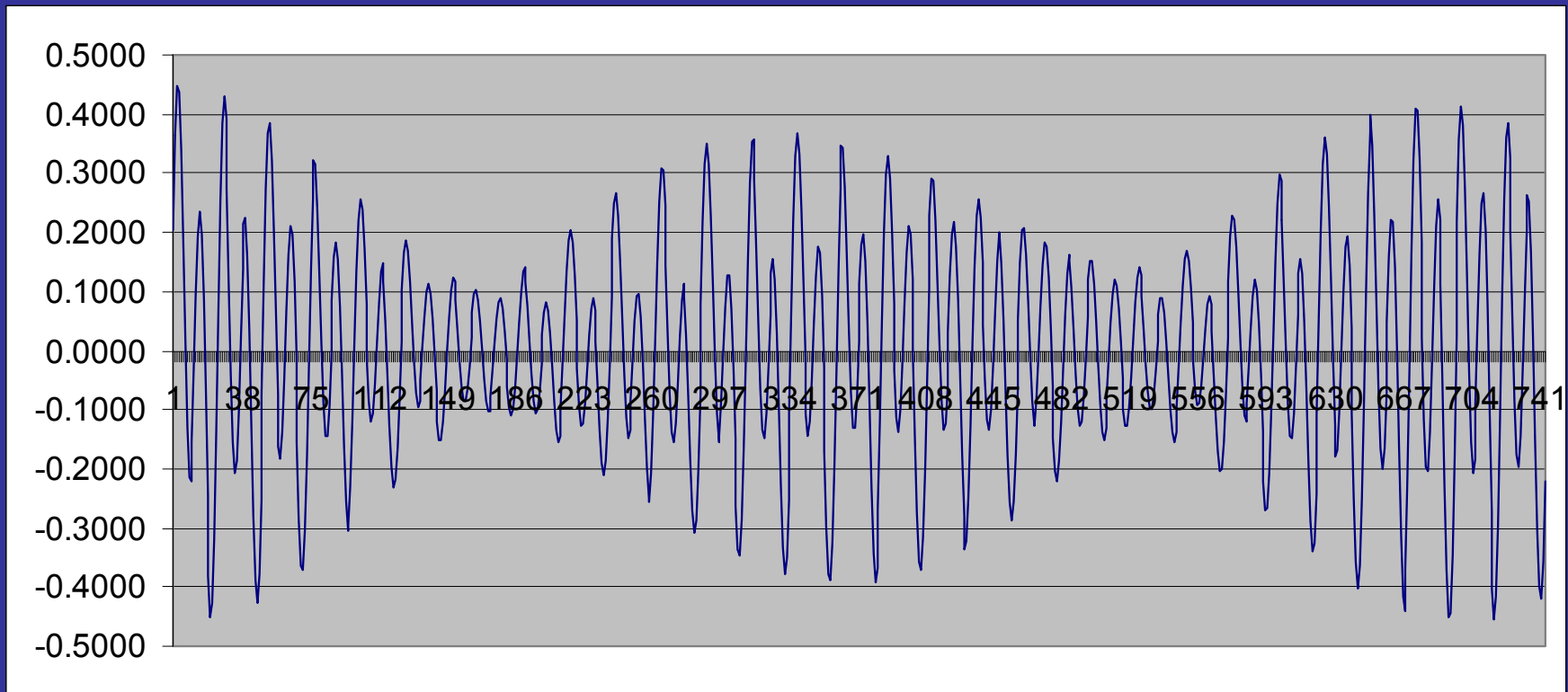
[2] Συνθήκη ορίου ανοικτής θάλασσας : Η συνθήκη αυτή αποτελεί τη πιο βασική οριακή συνθήκη του ομοιώματος παράκτιας κυκλοφορίας, διότι στο όριο ανοικτής θάλασσας (νοητή γραμμή επικοινωνίας της υπό μελέτη παράκτιας περιοχής με την παρακείμενη ανοικτή θάλασσα) θα πρέπει να καθορισθούν από το μελετητή οι τιμές της ταχύτητας ή της μεταβολής της ελεύθερης στάθμης της θάλασσας.

Συνήθως χρησιμοποιούμε ως οριακή συνθήκη ανοικτού ορίου τη περιγραφή της μεταβολής της ελεύθερης στάθμης της θάλασσας ($\eta(t)$), όπως αυτή προκύπτει είτε από παρατηρήσεις πεδίου είτε από παραδοχές ως προς το κύριο γενεσιουργό αίτιο πρόκλησης της μεταβολής αυτής (π.χ., παλιρροιακή μεταβολή).

	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1
amp	0.20	0.09	0.04	0.01	0.04	0.08	0.04
per	12.42	12.00	12.66	11.97	23.93	25.82	24.07

$$=\$Y\$2*\text{SIN}(2*\text{PI}()*A2/\$Y\$3)$$

M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	TOTAL
0.0969	0.0465	0.0182	0.0040	0.0096	0.0200	0.0100	0.2053
0.1696	0.0806	0.0321	0.0070	0.0186	0.0388	0.0193	0.3658
0.1997	0.0930	0.0382	0.0080	0.0263	0.0554	0.0273	0.4478
0.1798	0.0806	0.0351	0.0069	0.0321	0.0686	0.0334	0.4366
0.1149	0.0465	0.0235	0.0040	0.0358	0.0779	0.0373	0.3399
0.0212	0.0000	0.0062	-0.0001	0.0370	0.0825	0.0386	0.1856
-0.0778	-0.0465	-0.0125	-0.0041	0.0357	0.0823	0.0374	0.0145
-0.1574	-0.0806	-0.0282	-0.0070	0.0320	0.0772	0.0336	-0.1304
-0.1975	-0.0930	-0.0372	-0.0080	0.0260	0.0676	0.0275	-0.2146
-0.1881	-0.0806	-0.0371	-0.0069	0.0183	0.0540	0.0196	-0.2209
-0.1316	-0.0465	-0.0281	-0.0039	0.0093	0.0372	0.0103	-0.1534
-0.0422	0.0000	-0.0123	0.0001	-0.0003	0.0182	0.0004	-0.0361
0.0578	0.0465	0.0064	0.0041	-0.0099	-0.0018	-0.0096	0.0935
0.1434	0.0806	0.0236	0.0070	-0.0189	-0.0218	-0.0190	0.1950
0.1930	0.0930	0.0351	0.0080	-0.0265	-0.0404	-0.0270	0.2353
0.1943	0.0806	0.0382	0.0069	-0.0323	-0.0567	-0.0332	0.1976
0.1469	0.0465	0.0320	0.0039	-0.0359	-0.0696	-0.0372	0.0865
0.0627	0.0000	0.0181	-0.0002	-0.0370	-0.0785	-0.0386	-0.0736
-0.0372	-0.0465	-0.0002	-0.0042	-0.0356	-0.0827	-0.0375	-0.2439
-0.1278	-0.0806	-0.0184	-0.0071	-0.0318	-0.0820	-0.0338	-0.3814



Οριακή Συνθήκη Παλιρροιακής διακύμανσης λαμβάνοντας υπόψη 7 παλιρροιακές συνιστώσες

Υπάρχει τέλος η τεχνική επίλυσης του μαθηματικού ομοιώματος για τη παρακείμενη θαλάσσια περιοχή και τη χρήση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν στη περιοχή κοντά στο ανοικτό όριο της υπό μελέτης περιοχής ως οριακή συνθήκη. Η μέθοδος αυτή (nested grid method) δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα, διότι επιτυγχάνει οριακές συνθήκες σωστότερα περιγραφόμενες στο ανοικτό όριο : α) διότι έτσι η μεταβολή της ελεύθερης στάθμης της θάλασσας μεταβάλλεται και κατά μήκος του ανοικτού ορίου ($\eta(y,t)$), και β) διότι η μεταβολή της ελεύθερης στάθμης στο ανοικτό όριο της υπό μελέτη περιοχής δεν εφαρμόζεται από το μελετητή αλλά προκύπτει ως αποτέλεσμα μαθηματικού ομοιώματος, περιέχει επομένως τις φυσικές διεργασίες της ευρύτερης περιοχής.

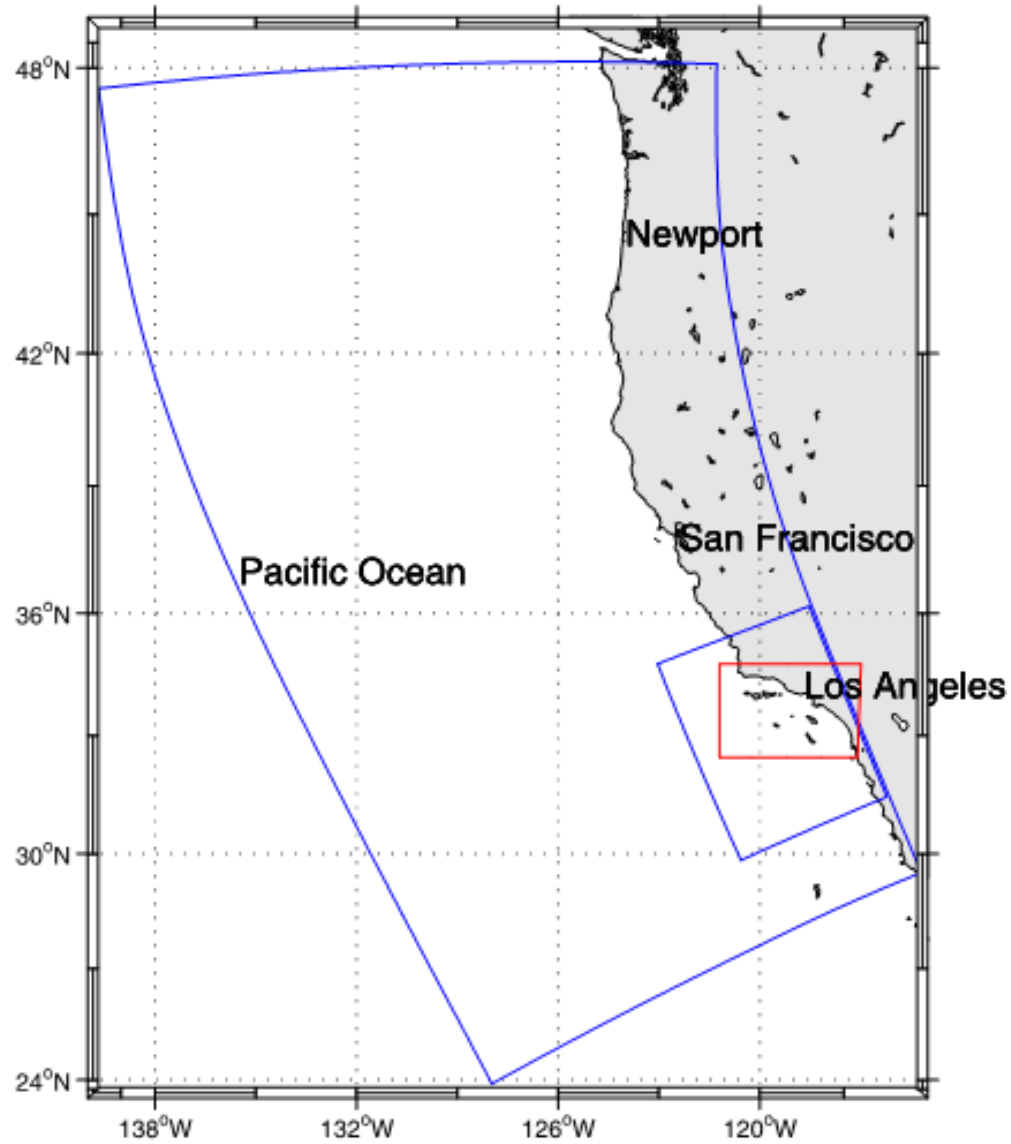
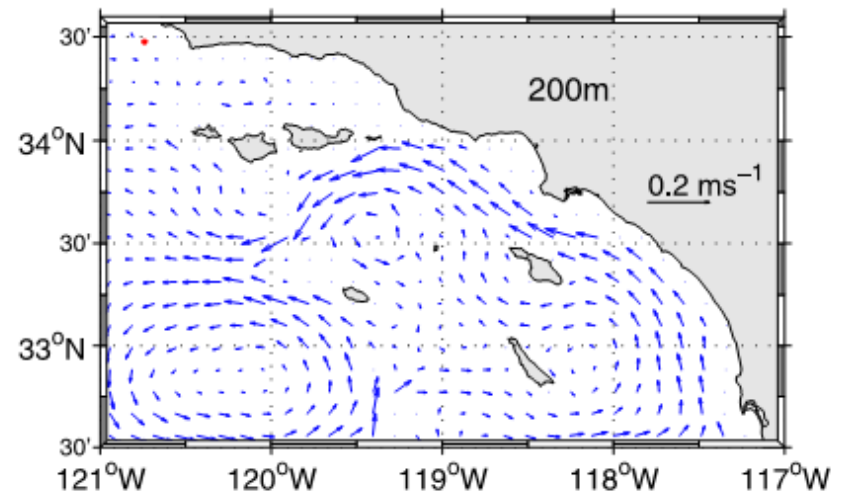
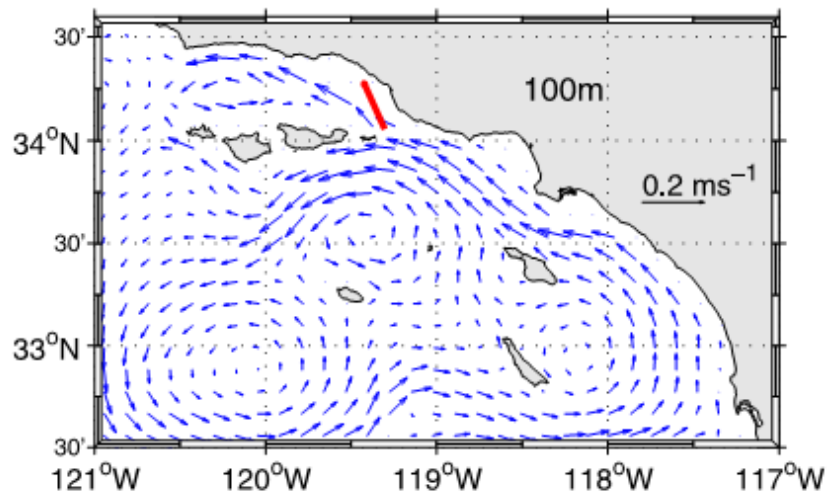
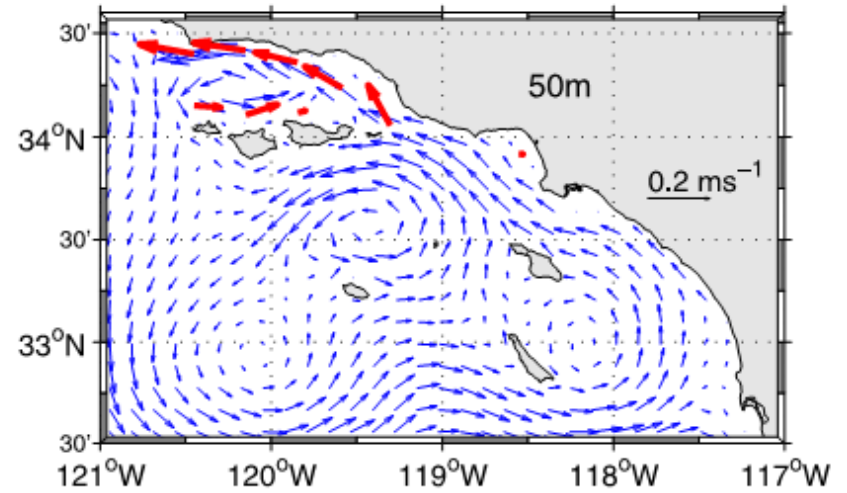
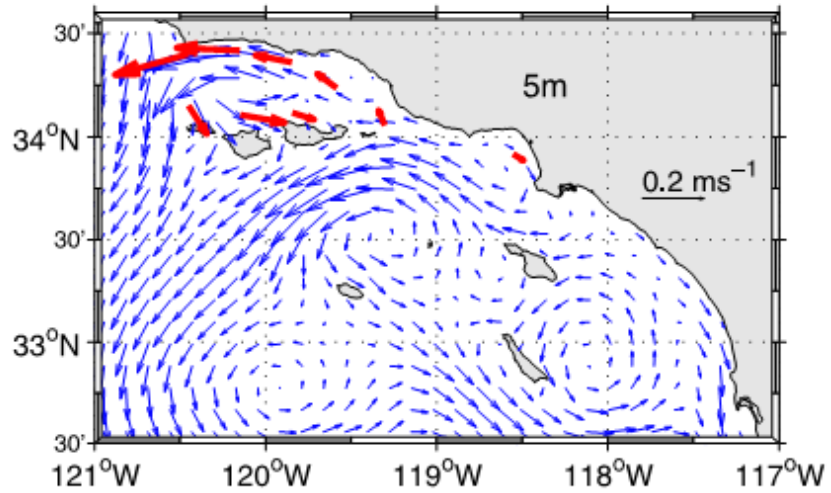


Fig. 1. Three nested model grids. An enlarged innermost model domain with 1 km horizontal grid resolution can be seen in Fig. 2.



[3] Συνθήκη ορίου επιφάνειας : Σε μαθηματικά ομοιώματα παράκτιας κυκλοφορίας στα οποία θεωρούμε τη διατμητική δράση του ανέμου παρούσα, με συνιστώσες ταχύτητας W_x , W_y συμβατικά μετρημένες 10 μ. από την επιφάνεια της θάλασσας, έτσι ώστε

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$\frac{\tau_{sx}}{\rho} = A_z \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=\zeta} = k W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$\frac{\tau_{sy}}{\rho} = A_z \left. \frac{\partial v}{\partial z} \right|_{z=\zeta} = k W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

όπου k ο συντελεστής σύρσης (drag coefficient) που εξαρτάται από τη ταχύτητα του ανέμου w , τη σταθερότητα των κατώτερων ατμοσφαιρικών στρωμάτων και τη κατάσταση της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας. Ο αδιάστατος αυτός συντελεστής αποκτά τιμές που προκύπτουν από επιτόπιες παρατηρήσεις ή εμπειρικές σχέσεις, όπως :

$$k = 1,6 \times 10^{-3} \text{ για } w < 7 \text{ m/sec}$$

$$k = 2,5 \times 10^{-3} \text{ για } w > 10 \text{ m/sec} \quad (\text{Csanady, 1982})$$

και

$$k = (1,1 + 0,0536 w) \times 10^{-3} \quad (\text{Wang and Conor, 1975})$$

Η οριζόντια συνιστώσα της ανεμογενούς τάσης εκφράζεται ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου ως :

$$\tau_{wind} = k \rho_a w^2 \sin \psi$$

όπου ψ η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης του ανέμου και του άξονα του καννάβου διακριτοποίησης της παράκτιας περιοχής.

[4] Συνθήκη ορίου πυθμένα : Όπως προηγουμένως θα πρέπει να ορίσουμε το μέγεθος της πυθμιαίας διατμητικής τάσης με σκοπό να προσομοιώσουμε τη κατακόρυφη μεταφορά ορμής λόγω της παρουσίας του ορίου του πυθμένα (Johns, 1983; Soulsby, 1983).

$$\tau_{\text{bottom}} = k |u_{\Delta}| u_{\Delta} \text{ σε βάθος } z = -d$$

όπου u_{Δ} είναι η ταχύτητα 1 μ. πάνω από το όριο του πυθμένα.

Ο αδιάστατος συντελεστής k εξαρτάται αρχικά από τη τραχύτητα του πυθμένα, και η τιμή του προκύπτει από εμπειρικές σχέσεις όπως αυτές των Manning, Chezy και Darcy-Weisbach, ως εξής :

$$k = f/s \quad (\text{Darcy - Weisbach})$$

$$k = g/c^2 \quad (\text{Chezy})$$

$$k = g n^2 / (8,23)^2 h^{1/3} \quad (\text{Manning})$$

όπου f ο συντελεστής τριβής Darcy - Weisbach; c ο συντελεστής Chezy και s η κλίση του πυθμένα. Ο συντελεστής τριβής Manning, n , με μονάδες $\text{cm}^{1/6}$ που μπορεί να μεταβάλλεται κατά τη x -, y - διεύθυνση.

Τελικές Εξισώσεις Μαθηματικού Ομοιώματος

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + fV - \frac{gU}{hC^2} \sqrt{U^2 + V^2} + A_x \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - fU - \frac{gV}{hC^2} \sqrt{U^2 + V^2} + A_x \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + A_y \frac{\partial^2 V}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (U h) + \frac{\partial}{\partial y} (V h) = q$$

$$U_{i,j}^{n+1} = f_1 (U^n, V^n, \zeta^{n+1/2}, \dots)$$

$$V_{i,j}^{n+1} = f_2 (U^n, V^n, \zeta^{n+1/2}, \dots)$$

$$\zeta_{i,j}^{n+3/2} = f_3 (U^{n+1}, V^{n+1}, \zeta^{n+1/2}, \dots)$$

Αριθμητική Επίλυση Μαθηματικού Ομοιώματος

$$U_{i,j}^{n+1} = U_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{8\Delta x} [(U_{i+1,j}^n + U_{i,j}^n)^2 - (U_{i,j}^n + U_{i-1,j}^n)^2] - \frac{\Delta t}{2\Delta y} V_{i,j}^n (U_{i,j+1}^n - U_{i,j-1}^n) -$$

$$-g \frac{\Delta t}{\Delta x} (\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i-1,j}^{n+1/2}) - \frac{2gU_{i,j}^n \sqrt{U_{i,j}^{n2} + V_{i,j}^{n2}}}{C^2 (h_{i,j} + h_{i-1,j})} + fV_{i,j}^n$$

$$V_{i,j}^{n+1} = V_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{8\Delta y} [(V_{i,j+1}^n + V_{i,j}^n)^2 - (V_{i,j}^n + V_{i,j-1}^n)^2] - \frac{\Delta t}{2\Delta x} U_{i,j}^n (V_{i+1,j}^n - V_{i-1,j}^n) -$$

$$-g \frac{\Delta t}{\Delta x} (\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j-1}^{n+1/2}) - \frac{2gV_{i,j}^n \sqrt{U_{i,j}^{n2} + V_{i,j}^{n2}}}{C^2 (h_{i,j} + h_{i,j-1})} - fU_{i,j}^n$$

$$\zeta_{i,j}^{n+3/2} = \zeta_{i,j}^{n+1/2} - \frac{\Delta t}{2\Delta x} (U_{i+1,j}^n (h_{i+1,j} + h_{i,j}) - U_{i,j}^n (h_{i,j} + h_{i-1,j})) -$$

$$- \frac{\Delta t}{2\Delta y} (V_{i,j+1}^n (h_{i,j} + h_{i,j+1}) - V_{i,j}^n (h_{i,j} + h_{i,j-1})) + q_{i,j} \Delta t$$

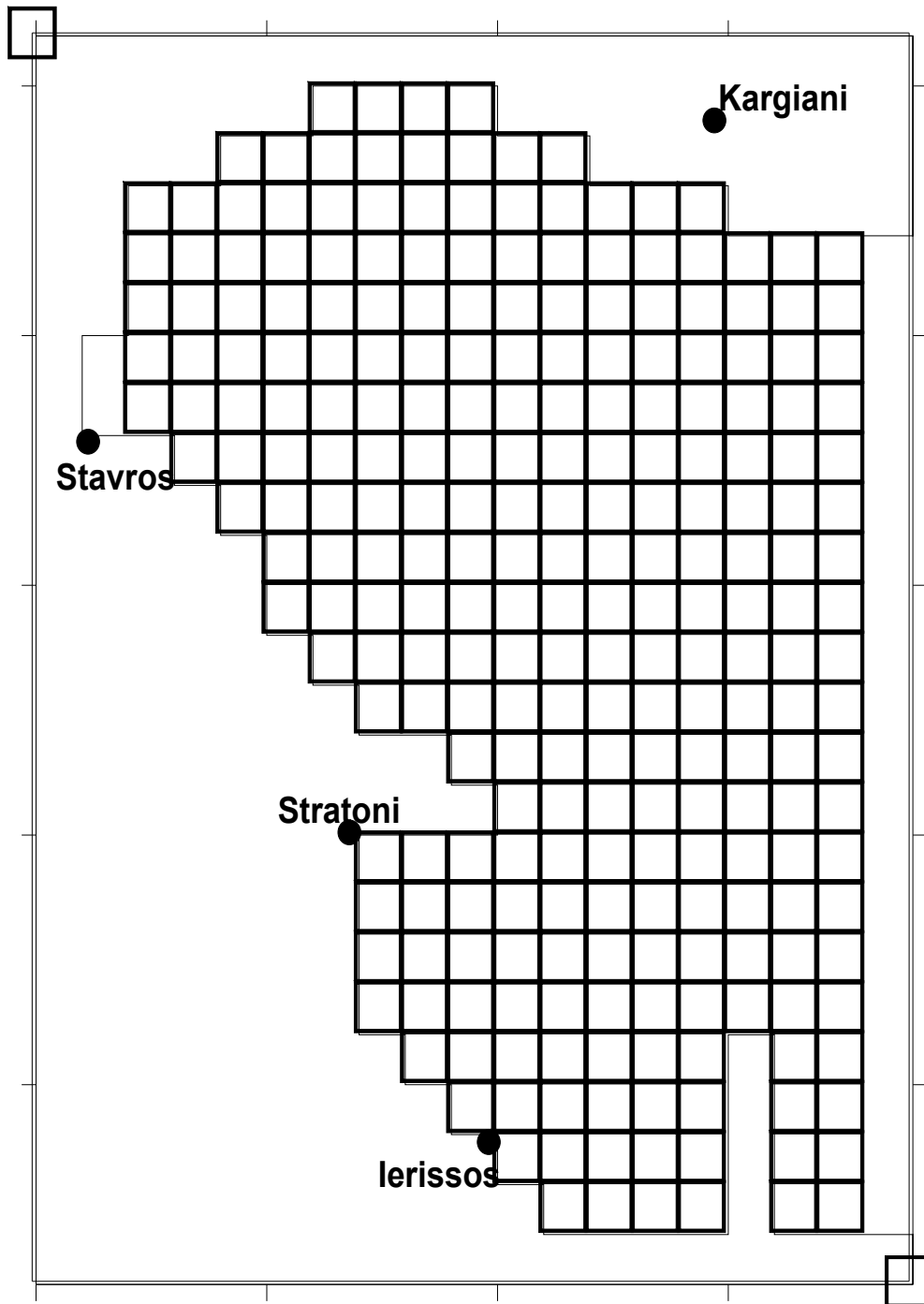
$$\frac{c \Delta t}{\Delta x} < 1$$

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΡΥΜΟΝΙΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ & ΚΟΛΠΟΥ ΙΕΡΙΣΣΟΥ

Συλαίος Γ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σαν παράκτια κυκλοφορία ορίζεται η μη μόνιμη γενικά κίνηση (ανάπτυξη διανυσματικού πεδίου ταχυτήτων) και μεταβολή της στάθμης επιφάνειας του νερού σε μία παράκτια περιοχή. Η κυκλοφορία σε παρόμοιες περιοχές προκαλείται από διάφορα γενεσιουργά αίτια, τα κυριότερα από τα οποία είναι η παλίρροια, η επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια, η διαφοροποίηση της ροής ορμής από θέση σε θέση λόγω διάθλασης και shoaling των ανεμογενών κυματισμών και οι οριζόντιες ή κατακόρυφες διαφορές πυκνότητας.



Εφαρμογή μαθηματικού ομοιώματος
στο Στρυμονικό Κόλπο

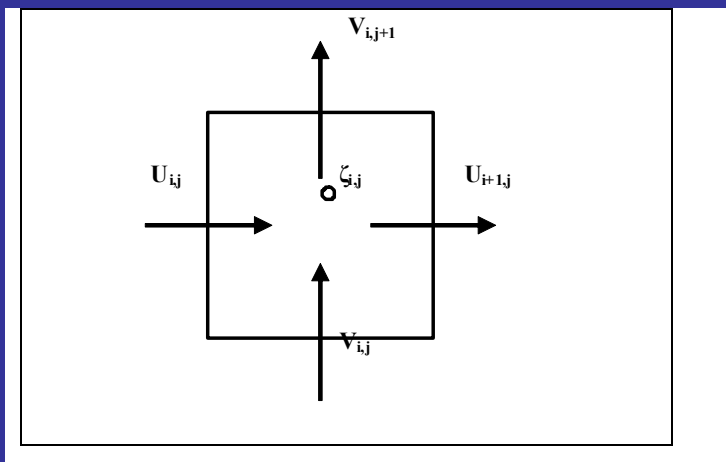
Οι ολοκληρωμένες κατά το βάθος εξισώσεις ισορροπίας είναι οι εξής :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + f V - \frac{gU}{hC^2} \sqrt{U^2 + V^2} + v_h \nabla_h^2 U \quad (1)$$

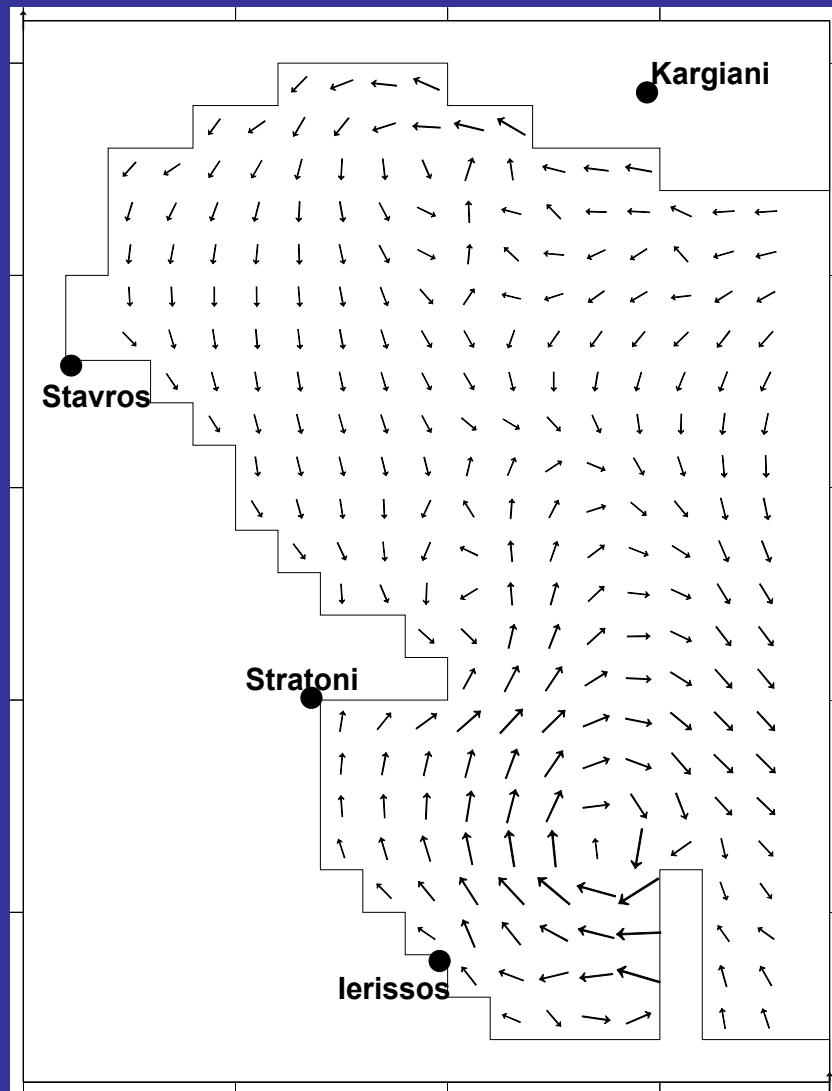
$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - f U - \frac{gV}{hC^2} \sqrt{U^2 + V^2} + v_h \nabla_h^2 V \quad (2)$$

Η ολοκληρωμένη κατά το βάθος εξίσωση της συνέχειας είναι :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (U h) + \frac{\partial}{\partial y} (V h) = q \quad (3)$$

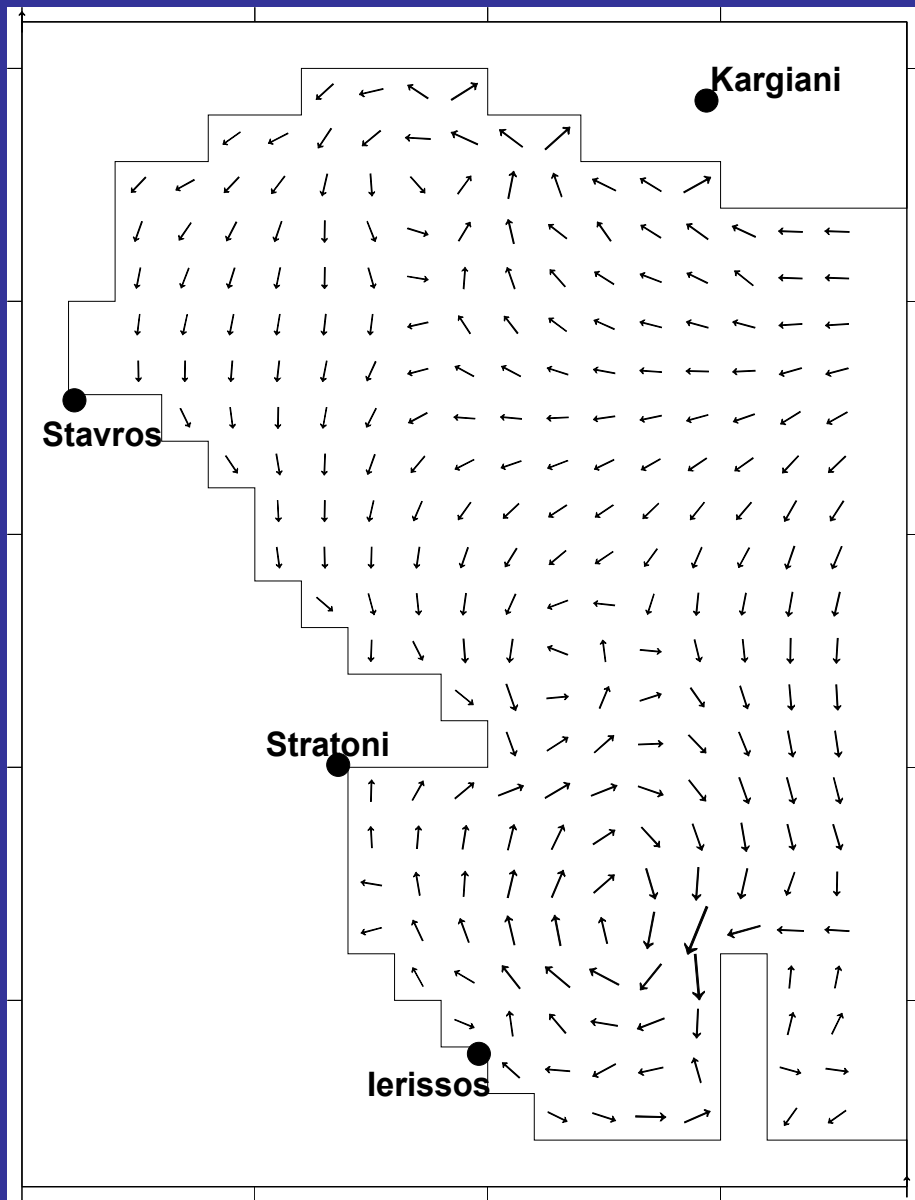


Σχήμα 2. Θέσεις υπολογισμού παραμέτρων κατά την αριθμητική λύση.



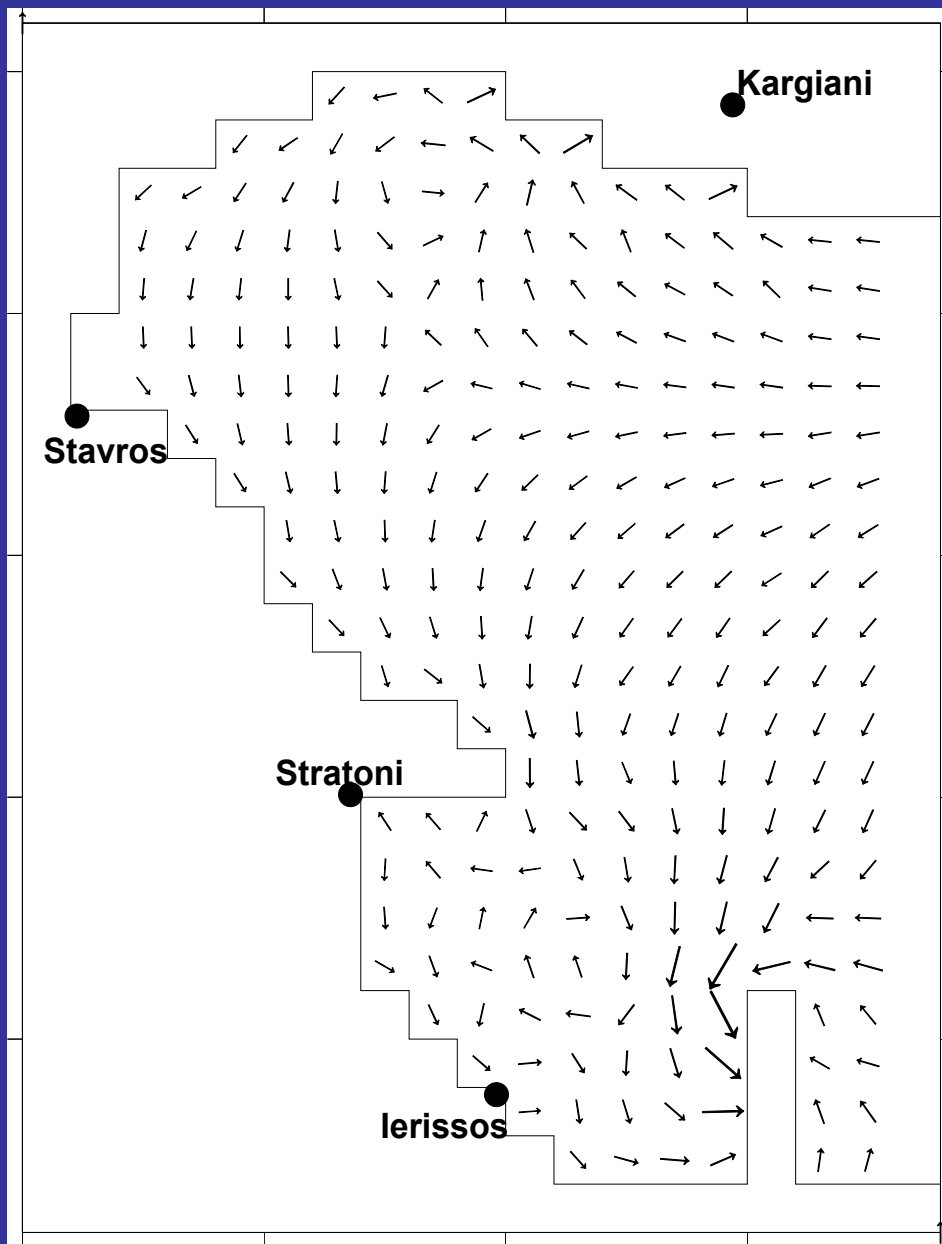
Σχήμα 3. Οριζόντια Παράκτια Κυκλοφορία στο Στρυμονικό Κόλπο και στο Κόλπο Ιερισσού τη χρονική στιγμή $t = 0.0$ hr.

Η έναρξη του παλιρροιακού κύκλου συμπίπτει με το τέλος της κίνησης των μαζών νερού προς τα έξω από τη περιοχή μελέτης (τέλος αμπώτιδος). Χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση μίας έντονης περιστροφικής κίνησης με ωρολογιακή φορά με κέντρο στο νοτιοανατολικό άκρο του Κόλπου της Ιερισσού, η οποία οφείλεται στη μορφολογία της ακτογραμμής (headland eddy) του Ακρωτηρίου «Αράπης». Οι ταχύτητες των ρευμάτων αποκτούν τιμές της τάξης των 15-18 cm/sec. Παρατηρείται επίσης η εισροή υδάτινων μαζών (γεωστροφικό ρεύμα) παράλληλα με το βόρειο τμήμα του Στρυμονικού Κόλπου. Το ρεύμα αυτό διανύει σχεδόν ολόκληρη την ακτογραμμή του Στρυμονικού (μέχρι την Ολυμπιάδα), με μέτριες σε ένταση ταχύτητα (8-10 cm/sec), προτού κινηθεί προς τα έξω από το νότιο τμήμα του κόλπου.



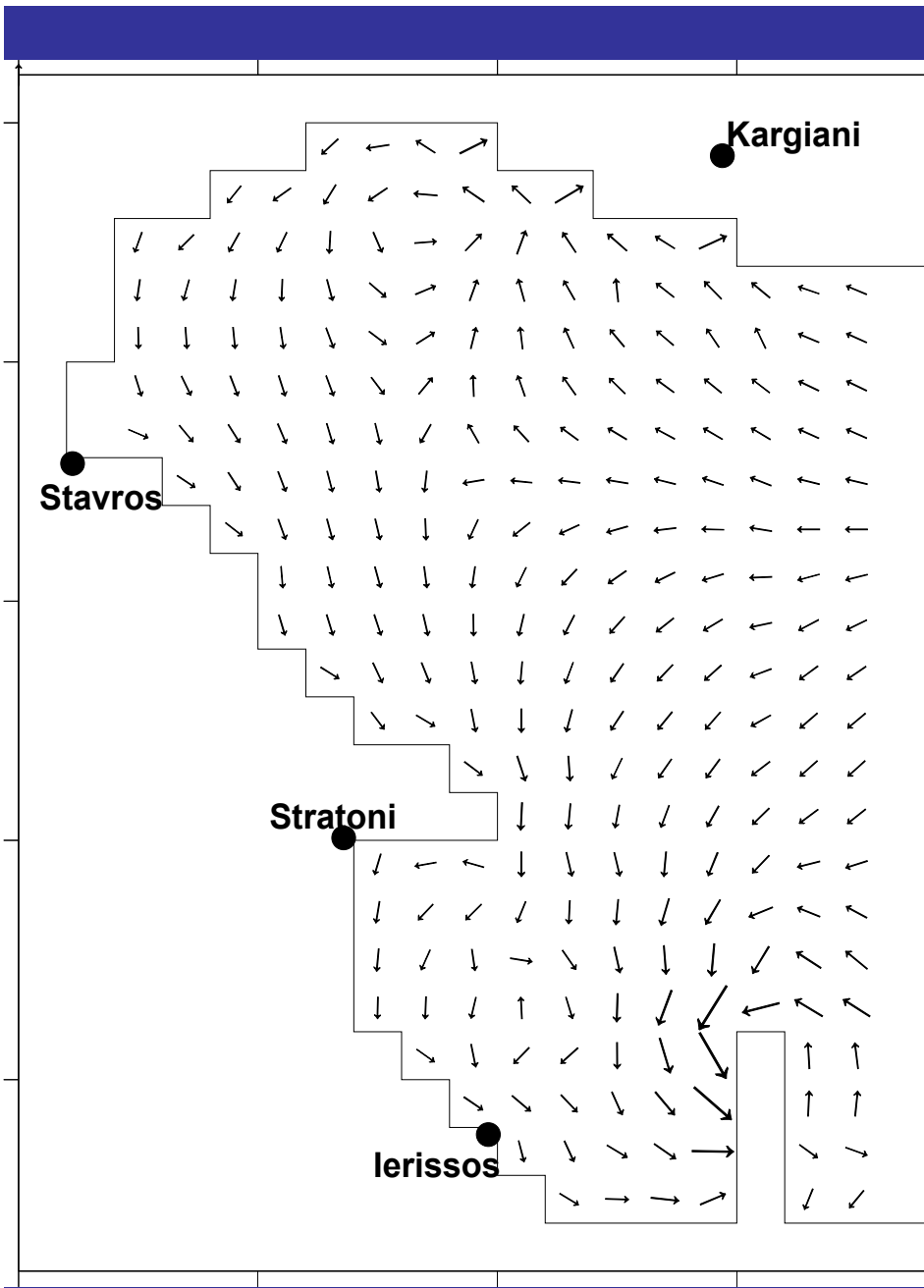
Σχήμα 4. Οριζόντια Παράκτια Κυκλοφορία στο Στρυμονικό Κόλπο και στο Κόλπο Ιερισσού τη χρονική στιγμή $t = 1.0$ hr.

Κατά τη χρονική στιγμή $t = 1.0$ hr. έχουμε την έναρξη της πλήμης (κίνησης των υδάτινων μαζών προς το εσωτερικό του Στρυμονικού Κόλπου). Η κίνηση αυτή είναι εμφανής στο βόρειο τμήμα του ανοικτού ορίου της περιοχής μελέτης, με μέτριες σε μέγεθος ταχύτητες ρευμάτων της τάξης των 10 cm/sec, παράλληλα με την παραλία της Κάργιανης. Το κεντρικό και νότιο τμήμα του ανοικτού ορίου παρουσιάζει ροή με διεύθυνση νότια τροφοδοτώντας έτσι τη περιστροφική κίνηση στο Κόλπο της Ιερισσού. Η ροή των γλυκών νερών του ποταμού Στρυμώνα και του Ρήχειου δείχνει να υπερισχύει της παλιρροιακής ροής δημιουργώντας ένα ρεύμα με διεύθυνση νότια που κινείται παράκτια μέχρι το ανοικτό όριο του Κόλπου της Ιερισσού. Η περιδίνηση παραμένει στο Κόλπο της Ιερισσού λόγω της παρουσίας του ακρωτηρίου που δυσκολεύει την έξοδο των νερών του κόλπου προς το Βόρειο Αιγαίο.

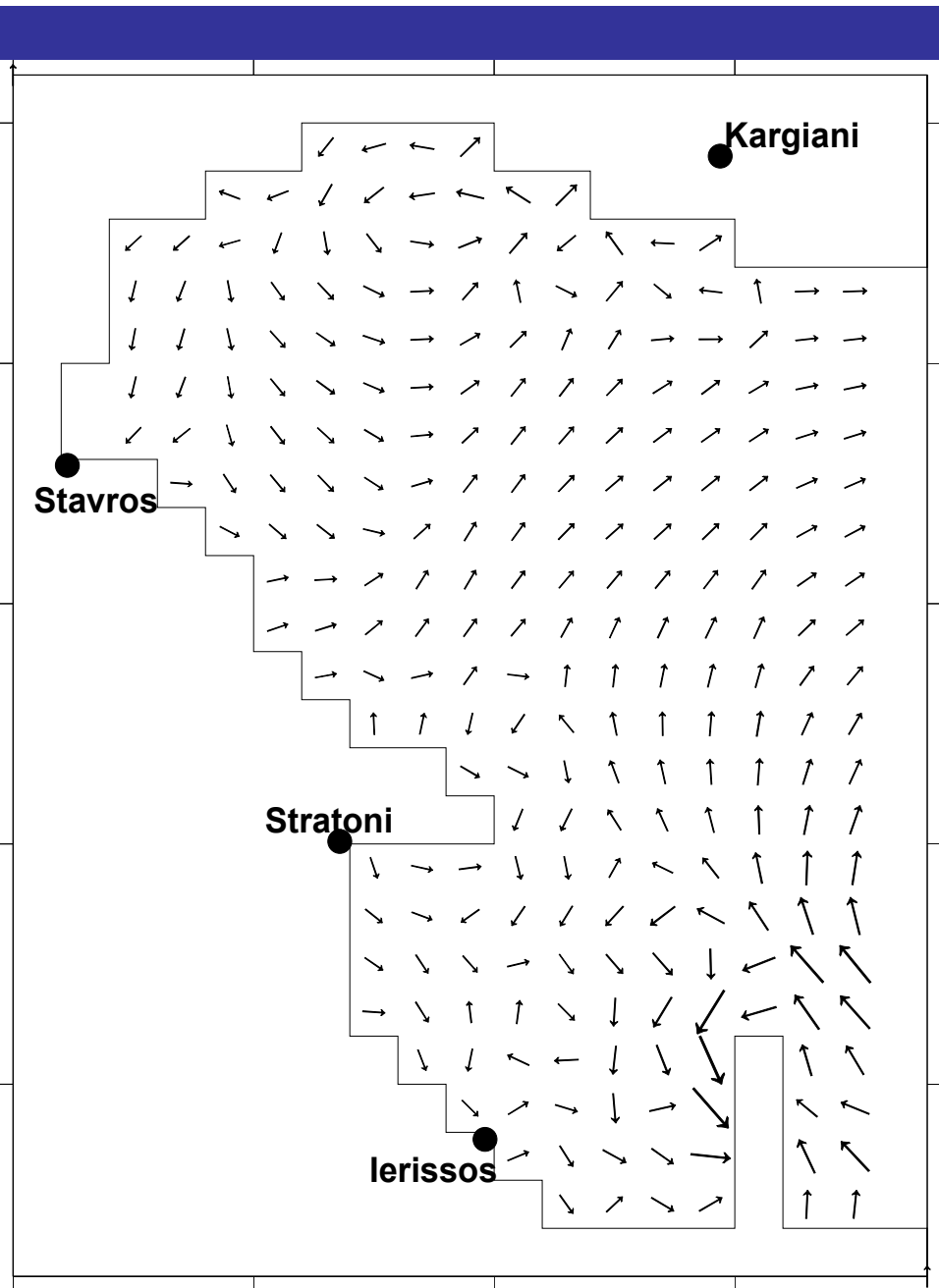


Τη χρονική στιγμή $t = 2.0$ hr. από την έναρξη του δωδέκατου παλιρροιακού κύκλου, έχουμε μεγαλύτερη ένταση στα εισερχόμενα παλιρροιακά ρεύματα, και ειδικότερα στο βόρειο τμήμα του ανοικτού ορίου του Στρυμονικού Κόλπου. Στο κεντρικό και νότιο τμήμα του ανοικτού ορίου του Στρυμονικού τα ρεύματα έχουν διεύθυνση νότια - νοτιοδυτική προς το Κόλπο της Ιερισσού. Η νότιας διεύθυνσης ροή των γλυκών και υφάλμυρων νερών των Ποταμών Στρυμόνα και Ρήχειου εξακολουθεί να είναι σημαντική. Η περιδίνηση που είχαμε παρατηρήσει στο Κόλπο της Ιερισσού έχει πλέον αποδυναμωθεί και διαλυθεί λόγω της έντασης των εισερχόμενων ρευμάτων που κινούνται περιμετρικά της χερσονήσου που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο του.

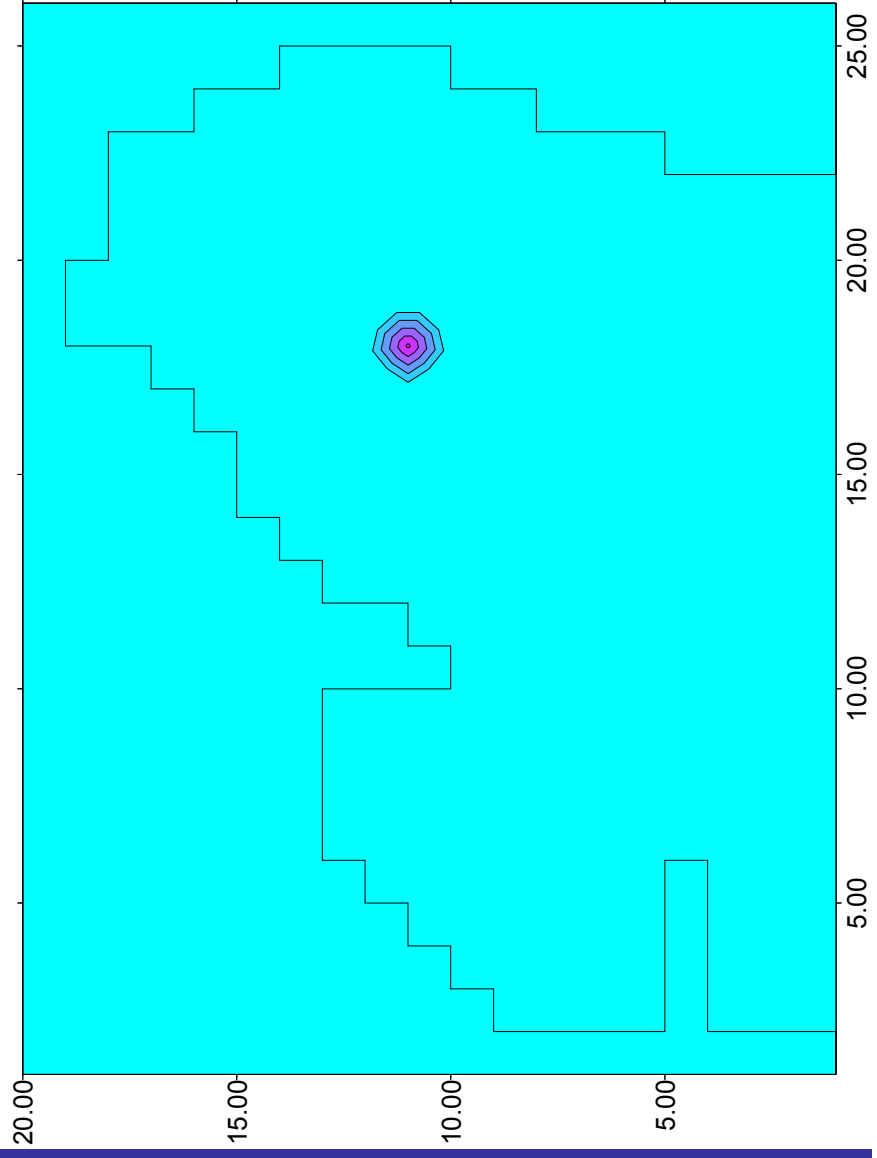
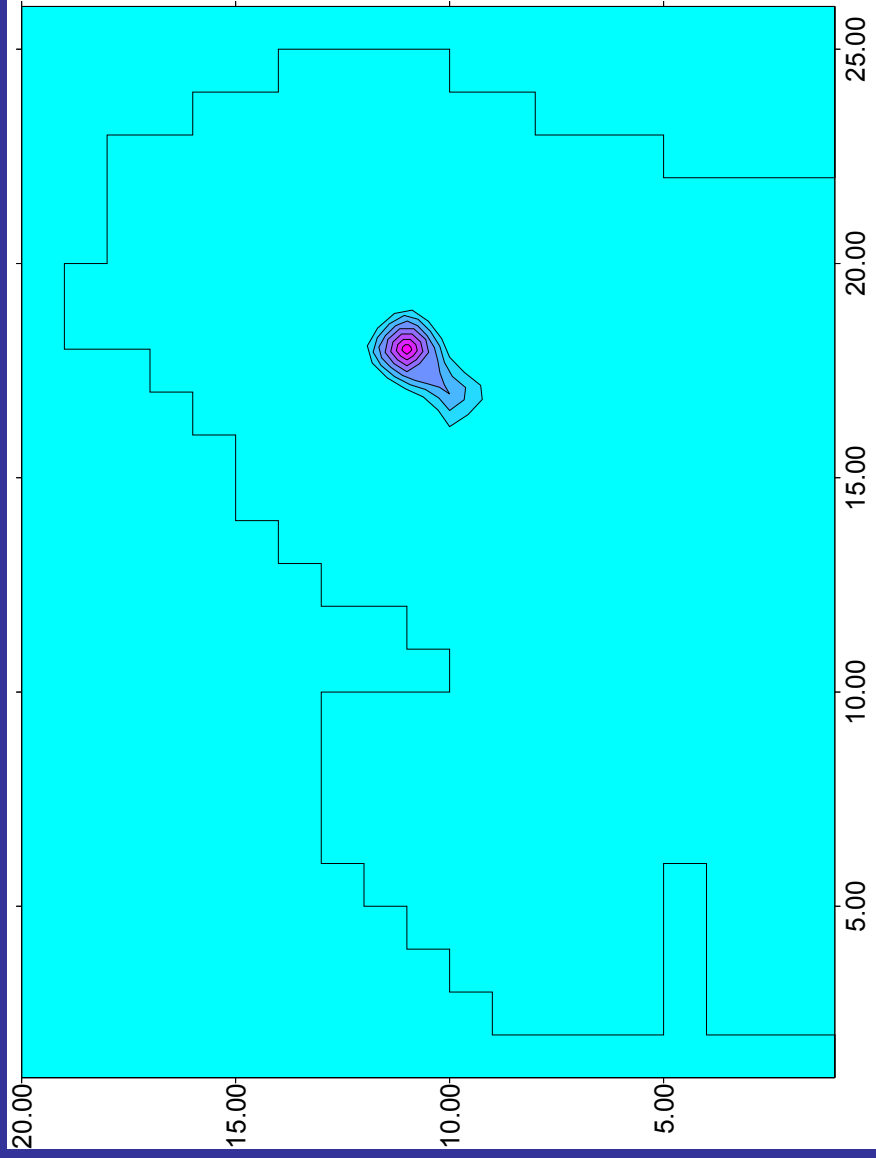
Σχήμα 5. Οριζόντια Παράκτια Κυκλοφορία στο Στρυμονικό Κόλπο και στο Κόλπο Ιερισσού τη χρονική στιγμή $t = 2.0$ hr.



Σχήμα 6. Οριζόντια Παράκτια Κυκλοφορία στο Στρυμονικό Κόλπο και στο Κόλπο Ιερισσού τη χρονική στιγμή $t = 3.0$ hr.

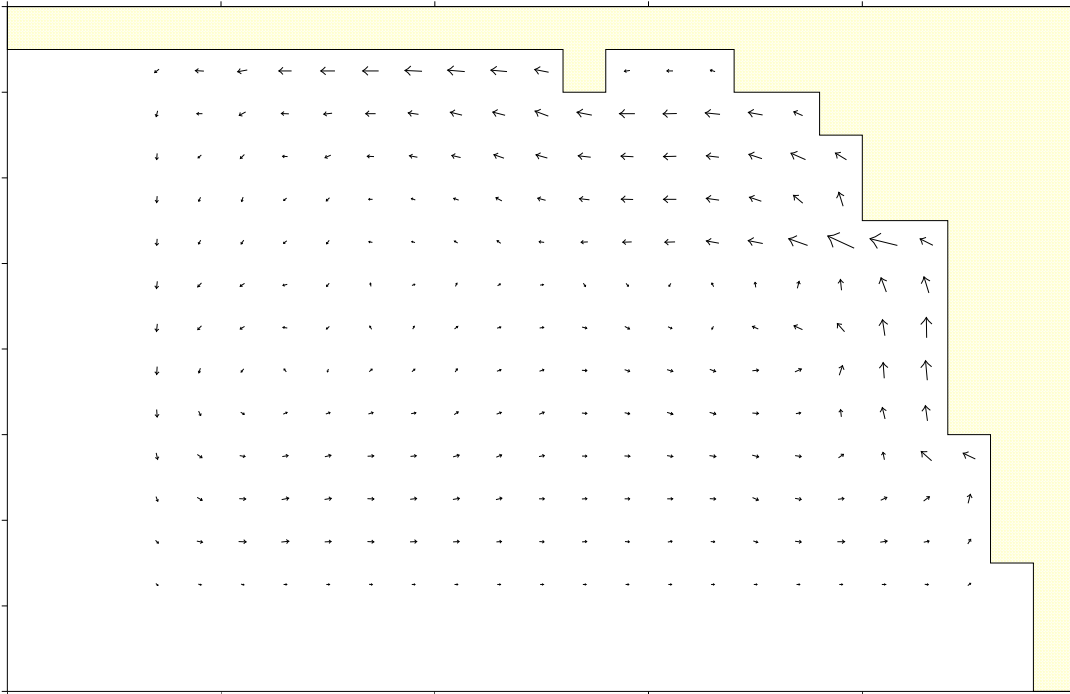


Σχήμα 9. Οριζόντια Παράκτια Κυκλοφορία στο Στρυμονικό Κόλπο και στο Κόλπο Ιερισσού τη χρονική στιγμή $t = 6.0$ hr

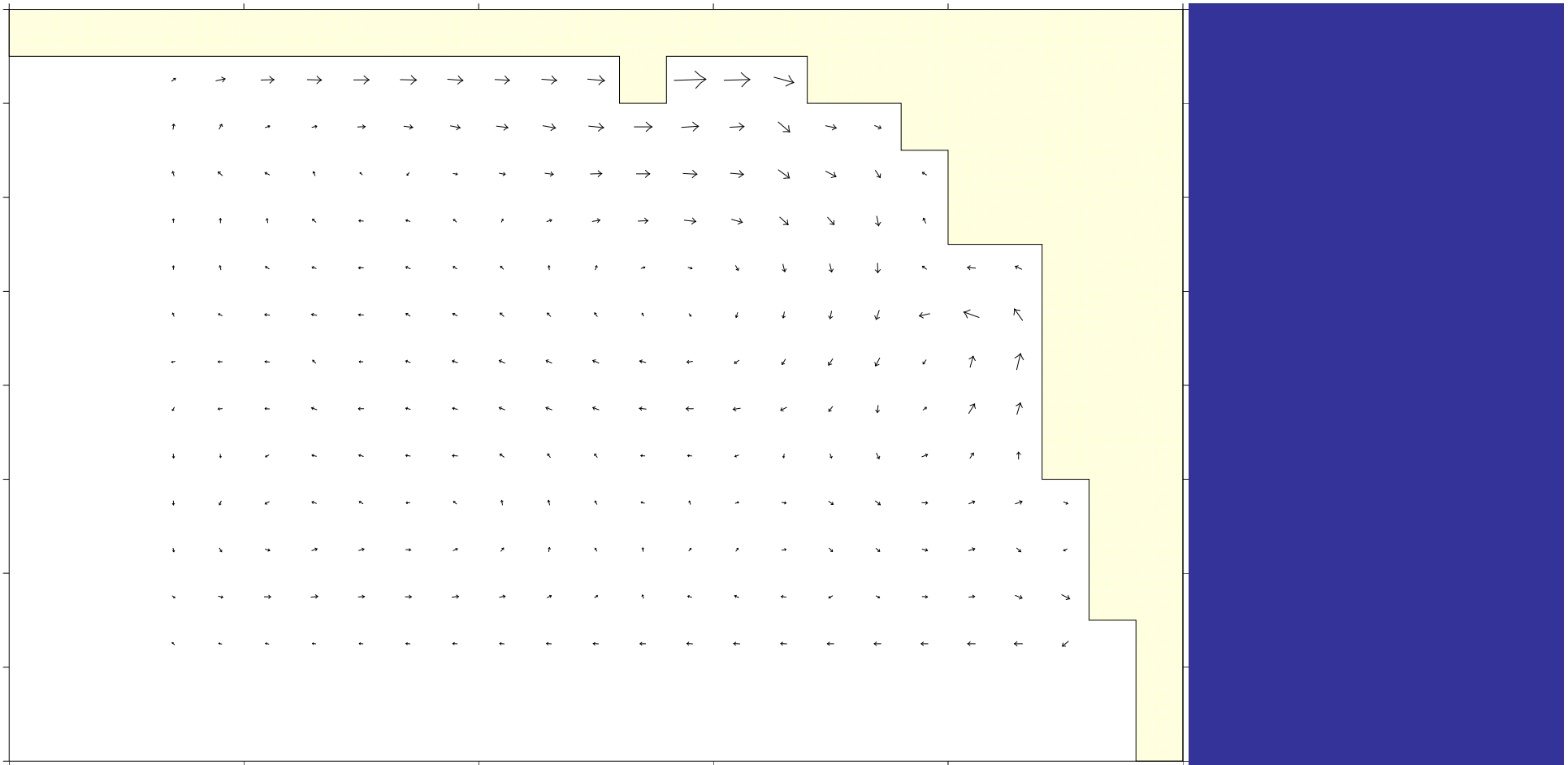




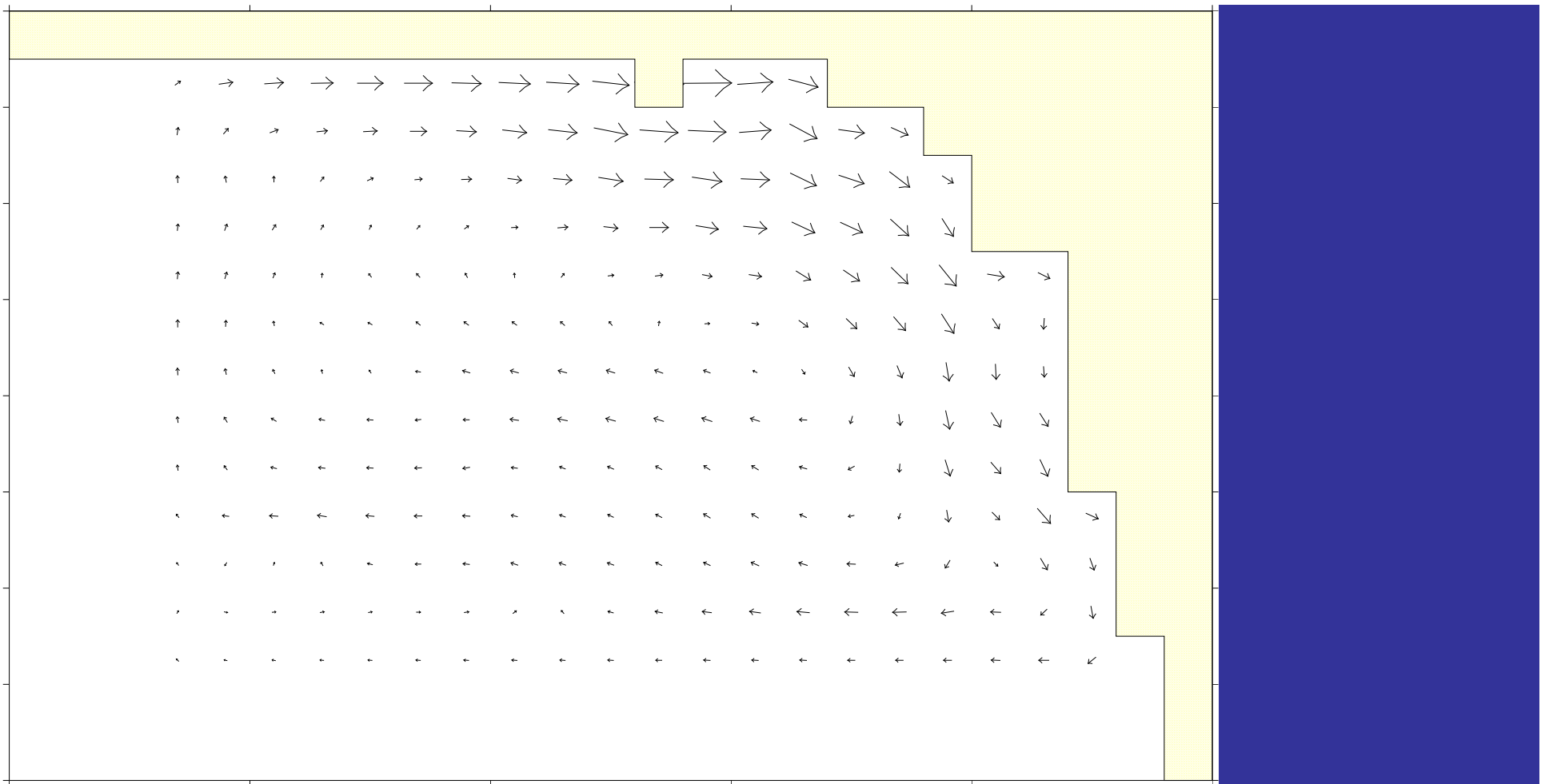
Σχήμα 2. Προσομοίωση ολοκληρωμένης κατά το βάθος παλιρροιακής ροής στο Κόλπο Αλεξανδρούπολης για παλιρροιακό κύμα εύρους 20 cm (χρόνος προσομοίωσης : ε) 60 ώρες, στ) 63 ώρες).



Σχήμα 3. Προσομοίωση ολοκληρωμένης κατά το βάθος ανεμογενούς ροής στο Κόλπο Αλεξανδρούπολης για άνεμο σταθερής έντασης 20 m/sec νότιας διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης : 72 ώρες).



Σχήμα 4. Προσομοίωση ολοκληρωμένης κατά το βάθος ανεμογενούς ροής στο Κόλπο Αλεξανδρούπολης για άνεμο σταθερής έντασης 25 m/sec νοτιοδυτικής διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης : 72 ώρες).



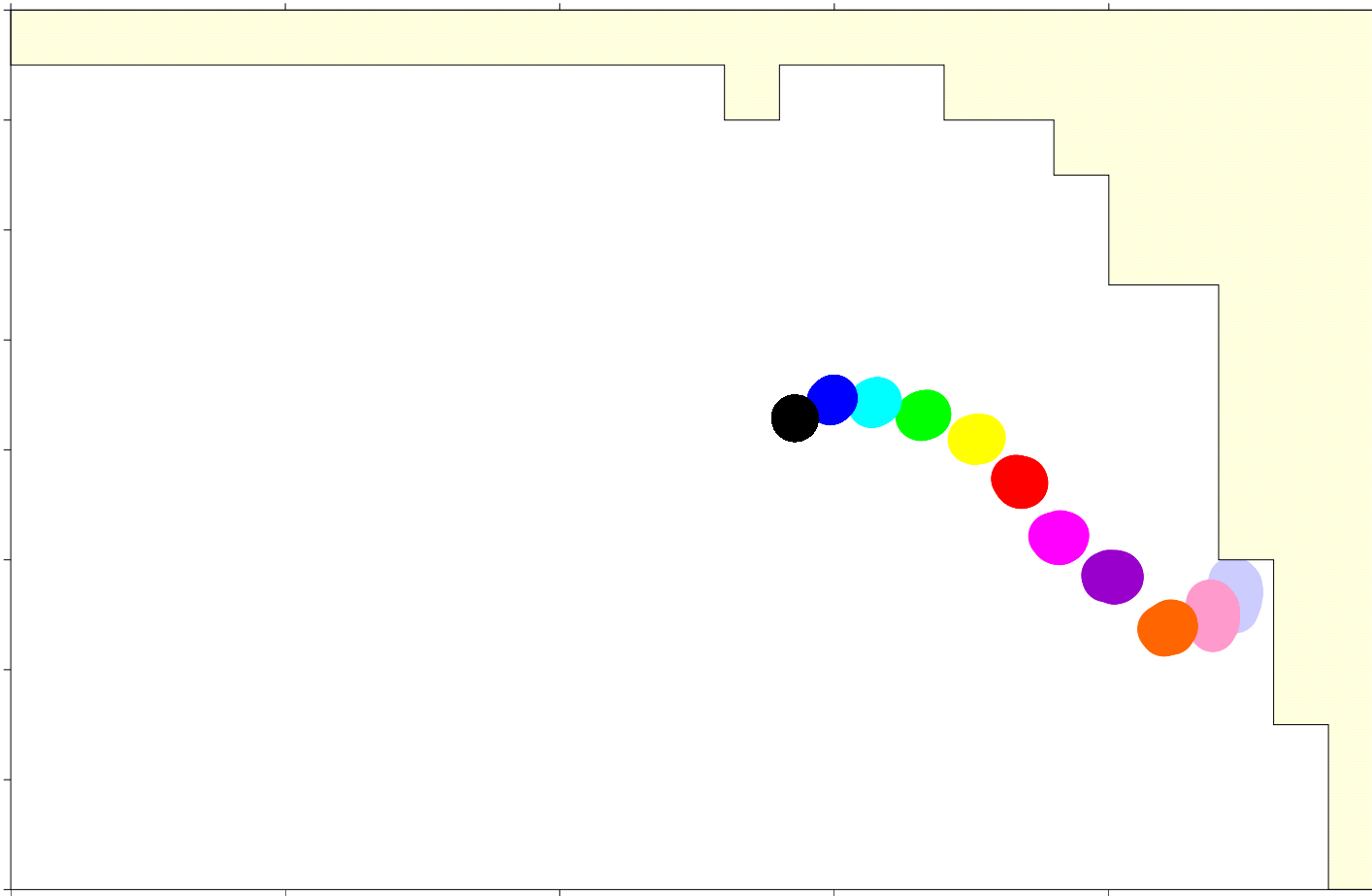
Σχήμα 5. Προσομοίωση ολοκληρωμένης κατά το βάθος ανεμογενούς ροής στο Κόλπο Αλεξανδρούπολης για άνεμο σταθερής έντασης 20 m/sec δυτικής-νοτιοδυτικής διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης :72 ώρες).

α) Πετρελαιοκηλίδα

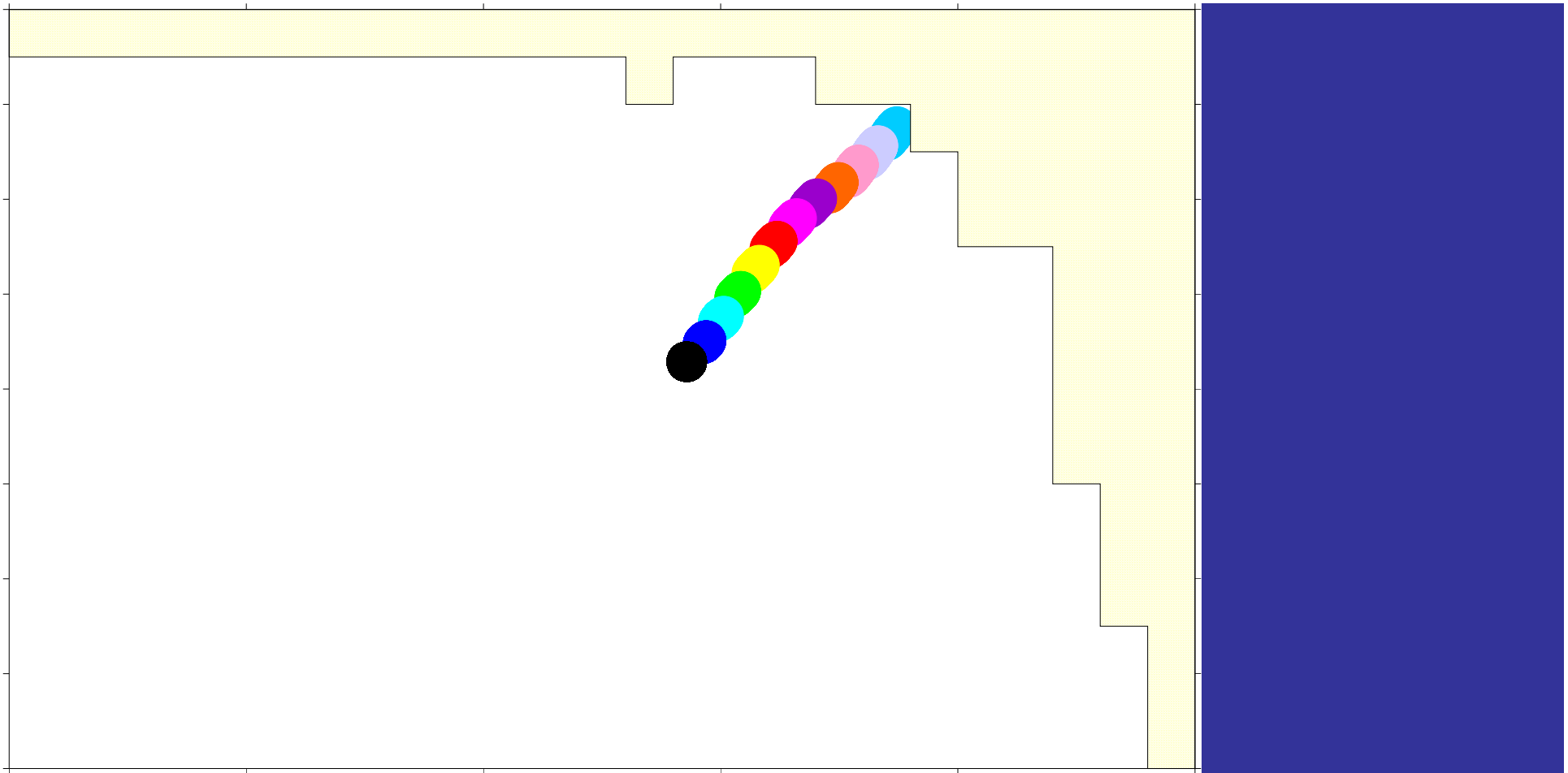
Στα πλαίσια της μελέτης διάχυσης – διασποράς μίας υποθετικής επιφανειακής πετρελαιοκηλίδας στο σημείο πρόσδεσης και εφοδιασμού των πετρελαιοφόρων, αναπτύχθηκε ένα μαθηματικό ομοίωμα εφαρμόζοντας τη μέθοδο του ιχνηλάτη (προσέγγιση Lagrange) στο κόλπο Αλεξανδρούπολης.

Η μεταφερόμενη διάχυση ρυπαντών με τη μέθοδο του ιχνηλάτη βασίσθηκε στην εφαρμογή της δειγματοληψίας Monte Carlo στο ομοιόμορφα κατανομημένο τμήμα της στοχαστικής ταχύτητας (Maier-Reimer & Sundermann, 1982), οπότε η νέα θέση κάθε υλικού σημείου προκύπτει ως:

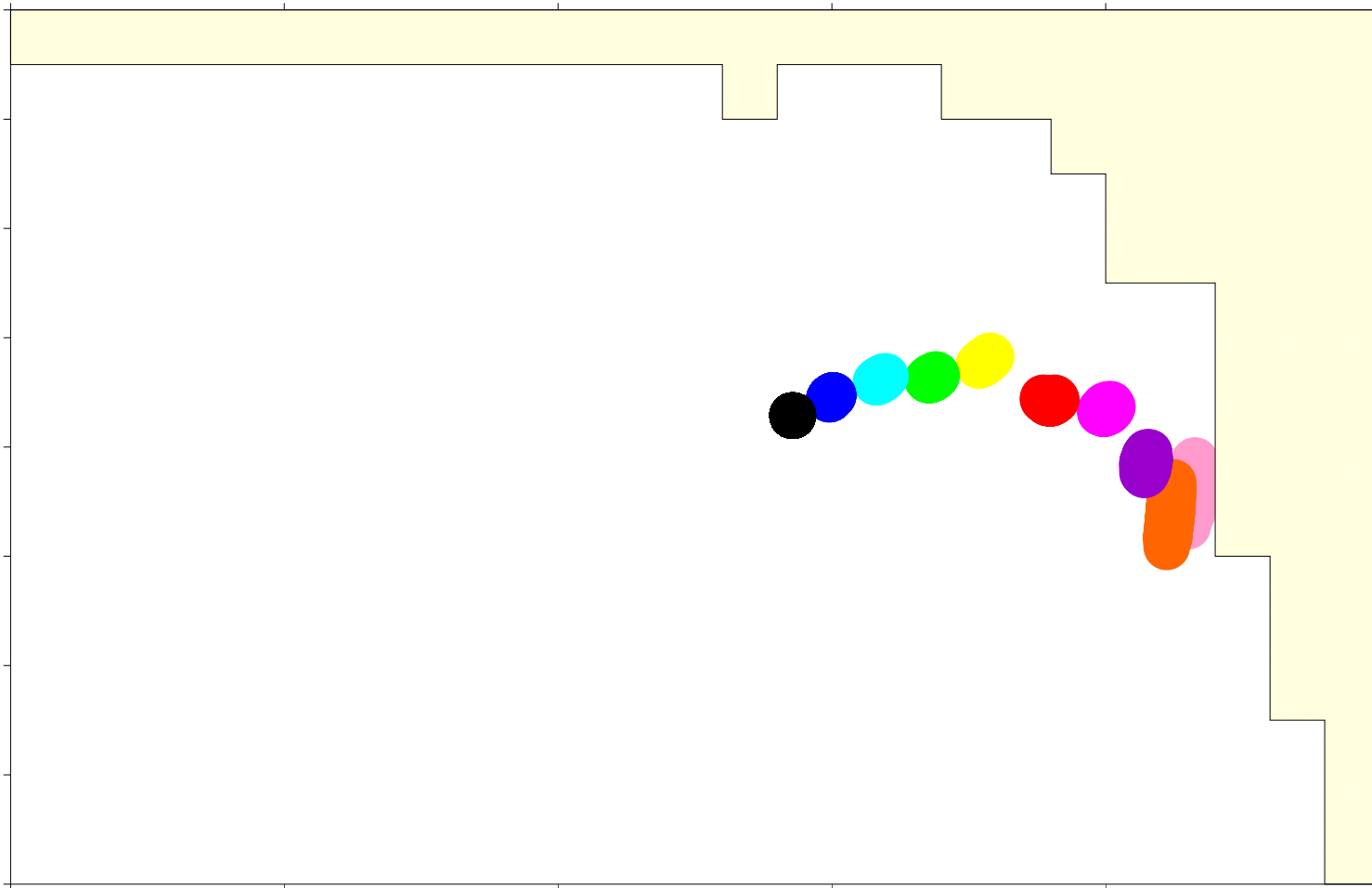
$$x_p(t + \Delta t) = x_p(t) + u(x_p(t), t) \Delta t$$



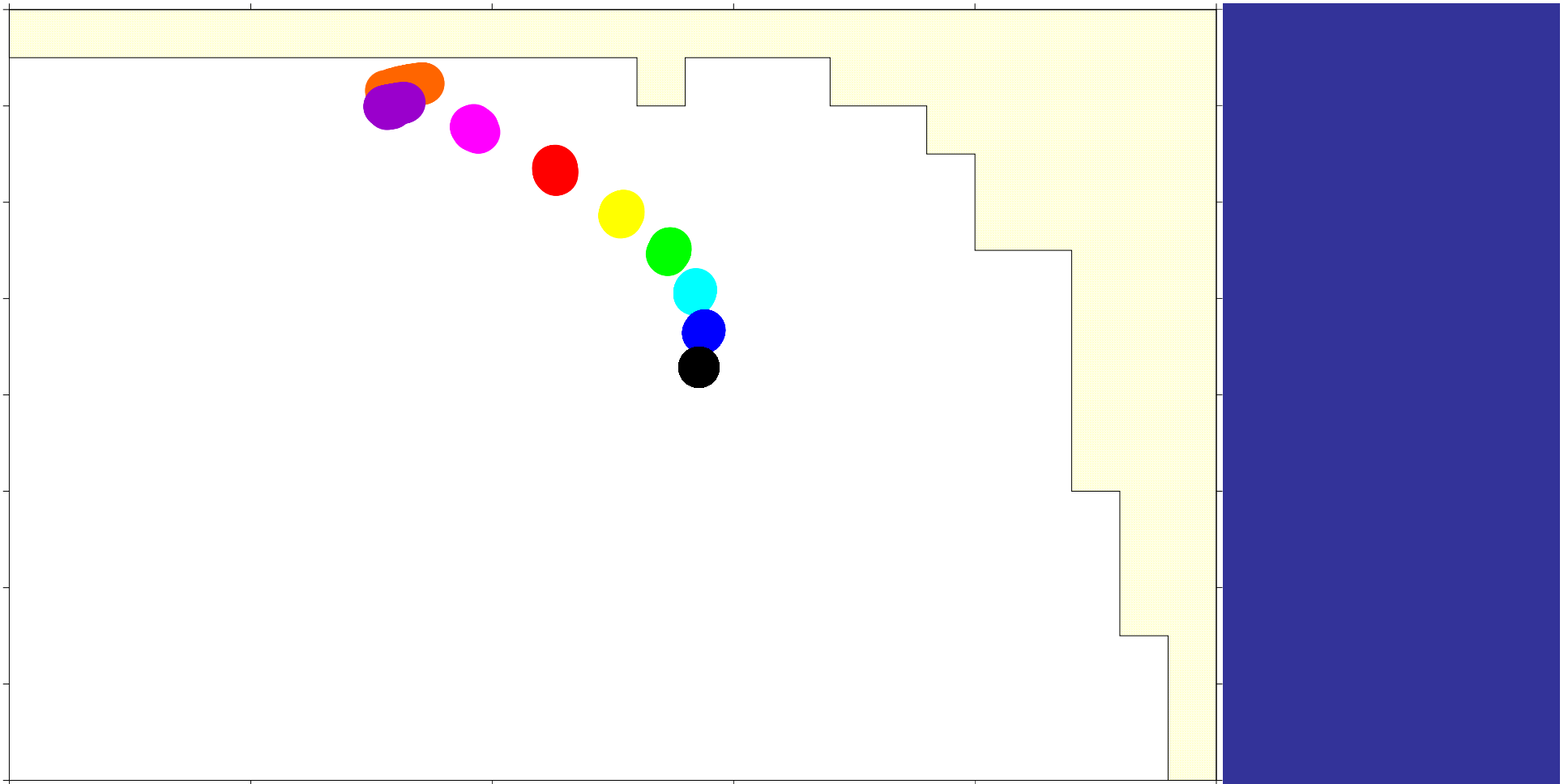
Σχήμα 6. Προσομοίωση μετακίνησης-διασποράς υποθετικής πετρελαιοκηλίδας στη θέση πρόσδεσης πλοίων, για παλιρροιακό ύψος 0,20 μ. και άνεμο σταθερής έντασης 20 m/sec δυτικής διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης: 12 ώρες, διαφορετικός χρωματισμός κάθε ώρα).



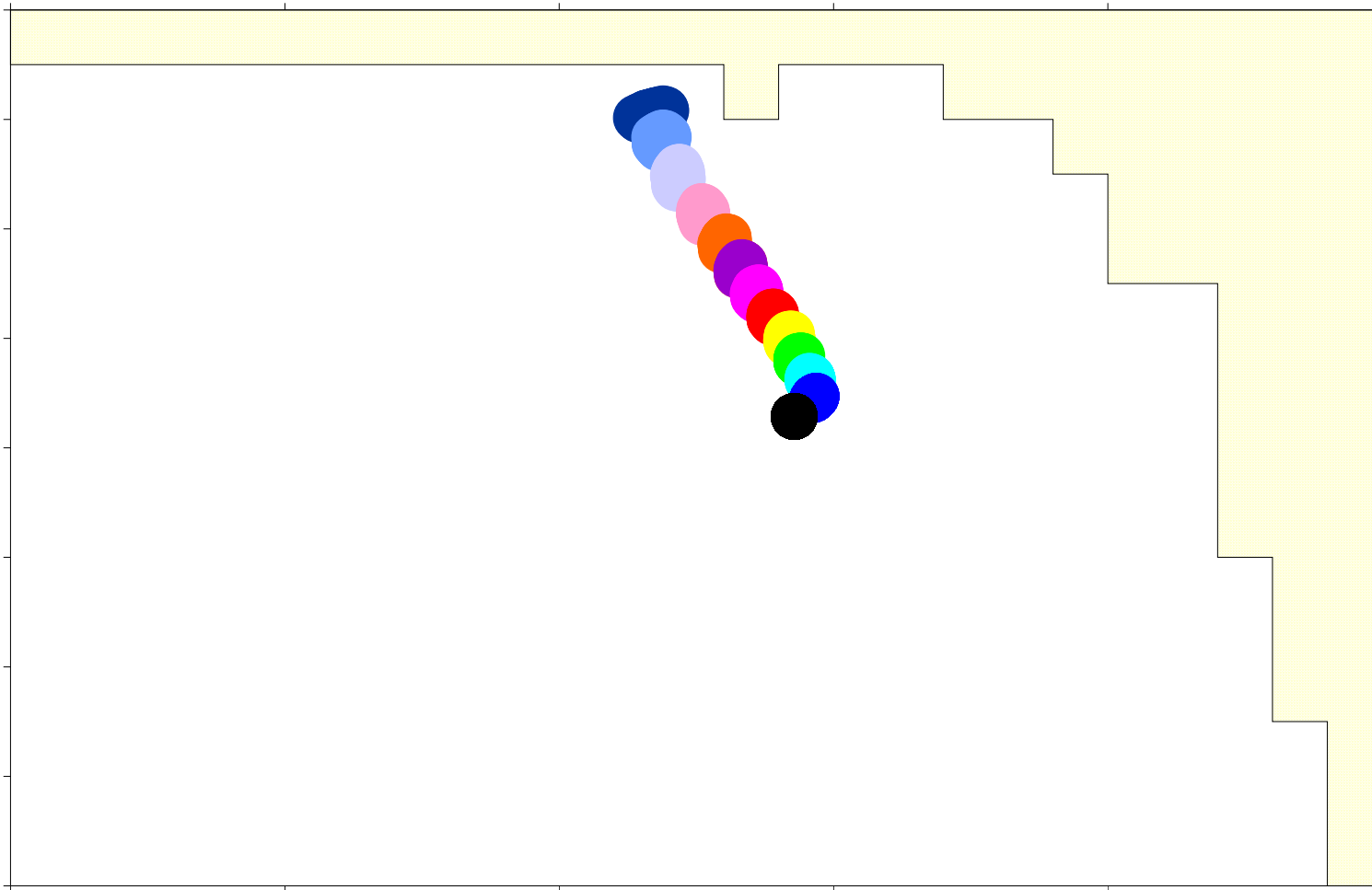
Σχήμα 7. Προσομοίωση μετακίνησης-διασποράς υποθετικής πετρελαιοκηλίδας στη θέση πρόσδεσης πλοίων, για παλιρροιακό ύψος 0,20 μ. και άνεμο σταθερής έντασης 20 m/sec δυτικής-νοτιοδυτικής διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης: 12 ώρες, διαφορετικός χρωματισμός κάθε ώρα).



Σχήμα 8. Προσομοίωση μετακίνησης-διασποράς υποθετικής πετρελαιοκηλίδας στη θέση πρόσδεσης πλοίων, για παλιρροιακό ύψος 0,20 μ. και άνεμο σταθερής έντασης 20 m/sec βόρειας διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης: 12 ώρες, διαφορετικός χρωματισμός κάθε ώρα).



Σχήμα 9. Προσομοίωση μετακίνησης-διασποράς υποθετικής πετρελαιοκηλίδας στη θέση πρόσδεσης πλοίων, για παλιρροιακό ύψος 0,20 μ. και άνεμο σταθερής έντασης 20 m/sec ανατολικής διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης: 12 ώρες, διαφορετικός χρωματισμός κάθε ώρα).



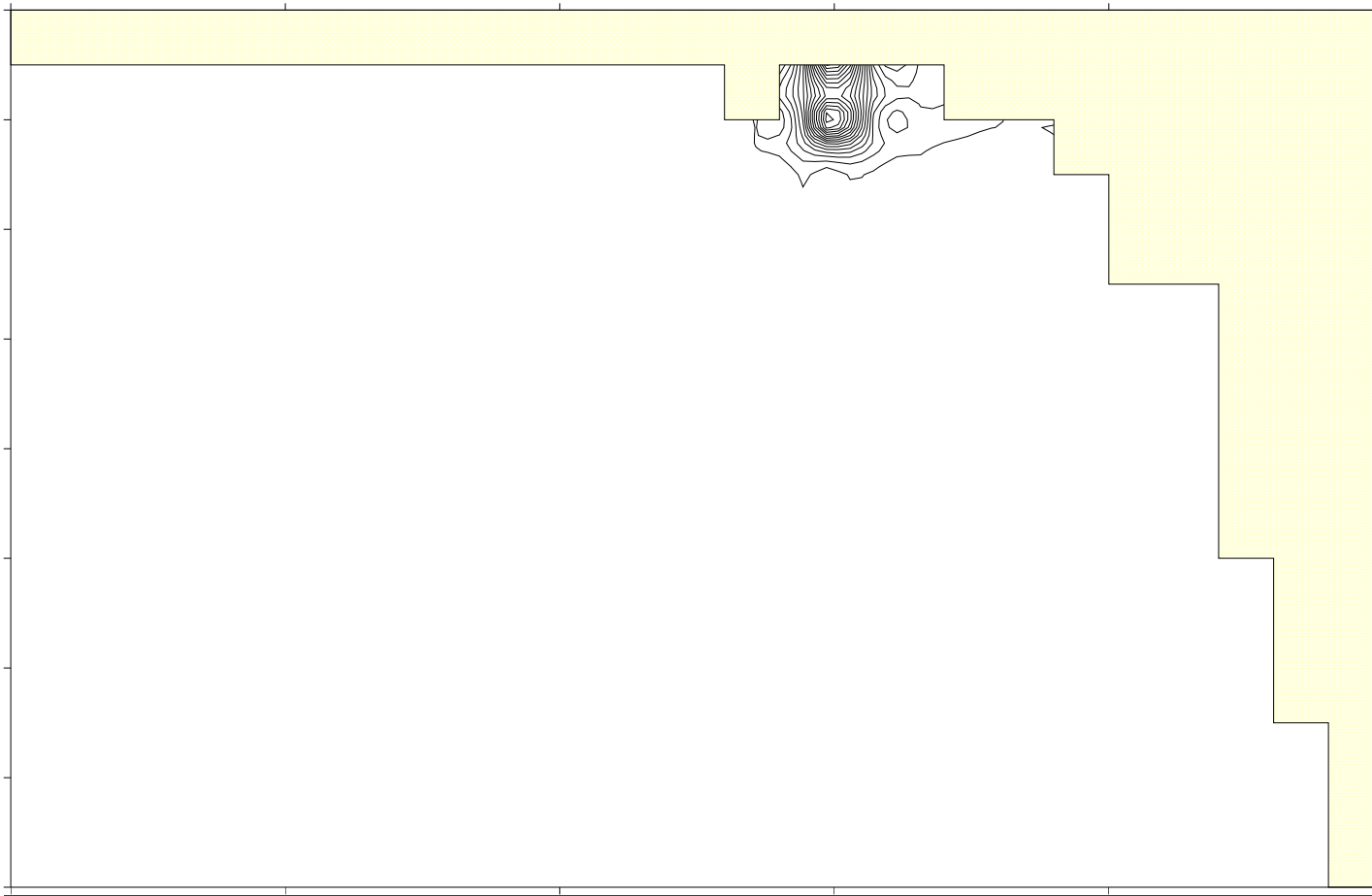
Σχήμα 10. Προσομοίωση μετακίνησης-διασποράς υποθετικής πετρελαιοκηλίδας στη θέση πρόσδεσης πλοίων, για παλιρροιακό ύψος 0,20 μ. και άνεμο σταθερής έντασης 20 m/sec νότιας διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης: 12 ώρες, διαφορετικός χρωματισμός κάθε ώρα).

β) Διαλελυμένοι ρύποι

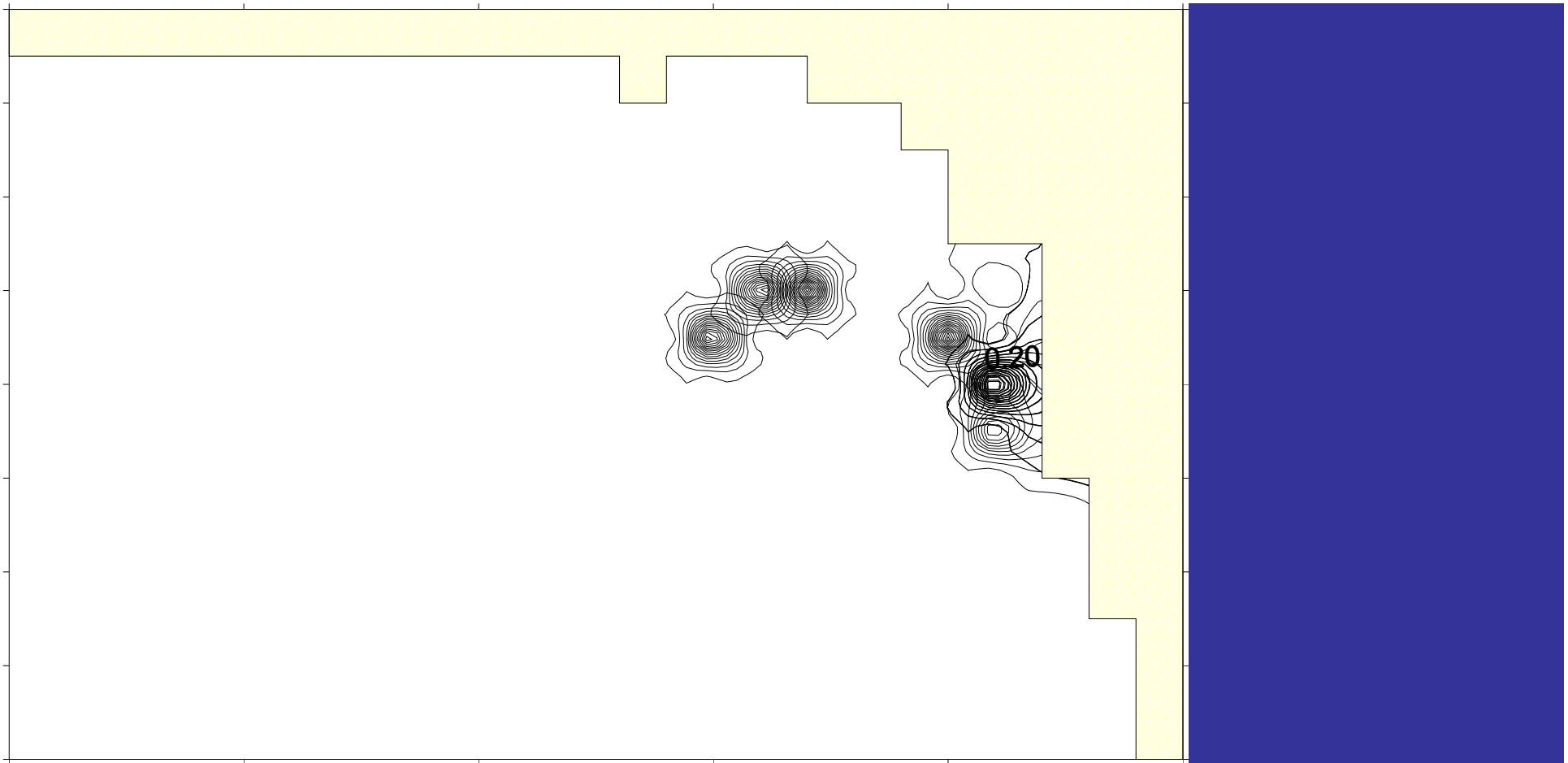
Αναπτύχθηκε μαθηματικό ομοίωμα μεταφοράς – διάχυσης διαλελυμένων ρύπων, με σκοπό τη διερεύνηση της βραχυπρόθεσμης κίνησης των ρυπαντών που βρίσκονται διαλελυμένοι στα έρμα που θα απορρίπτονται στη θάλασσα με ελάχιστη συγκέντρωση υδρογονανθράκων 10 ppm.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right)$$

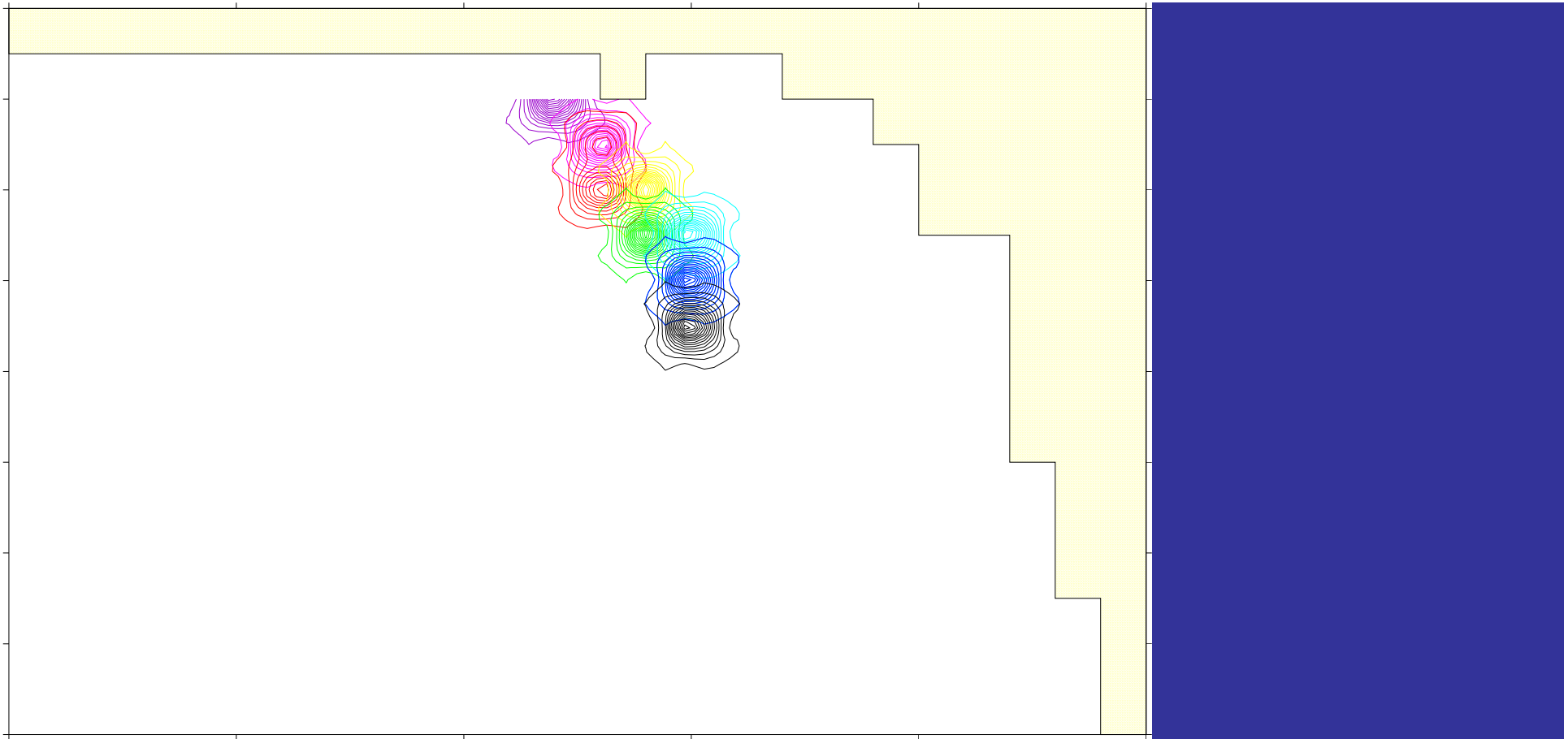
Το μαθηματικό ομοίωμα εφαρμόσθηκε για δύο περιπτώσεις : α) τη περίπτωση έκχυσης των έρμων των πλοίων από τη περιοχή των χερσαίων εγκαταστάσεων (μονάδα επεξεργασίας έρμων) όπως αναφέρεται στη μελέτη σκοπιμότητας, και β) η εναλλακτική λύση της έκχυσης των έρμων από το σημείο πρόσδεσης των πλοίων (θέση SPM).



Σχήμα 11. Προσομοίωση μετακίνησης-διασποράς διαλελυμένων ρύπων στη θέση χερσαίων εγκαταστάσεων, για παλιρροιακό ύψος 0,20 μ. και άνεμο σταθερής έντασης 20 m/sec δυτικής διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης: 2 ώρες).



Σχήμα 12. Προσομοίωση μετακίνησης-διασποράς διαλελυμένων ρύπων στη θέση πρόσδεσης πλοίων, για παλιρροιακό ύψος 0,20 μ. και άνεμο σταθερής έντασης 20 m/sec βόρειας διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης: 6 ώρες).



Σχήμα 13. Προσομοίωση μετακίνησης-διασποράς διαλελυμένων ρύπων στη θέση πρόσδεσης πλοίων, για παλιρροιακό ύψος 0,20 μ. και άνεμο σταθερής έντασης 20 m/sec νότιας διεύθυνσης (χρόνος προσομοίωσης: 8 ώρες).