



Ε. Π. Ανταγωνιστικότητα
και Επιχειρηματικότητα
(ΕΠΑΝ ΙΙ), ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης



Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων,
Πολιτισμού και Αθλητισμού
ΓΓΕΤ – ΕΥΔΕ-ΕΤΑΚ



WaveForUs: Wave climate and
coastal circulation **Forecasts** for public **Use**

Πιλοτικό Σύστημα για την Ανάπτυξη και Αναμετάδοση Ημερήσιων Προγνώσεων
Κυματισμών και Θαλάσσιας Κυκλοφορίας στο Θερμαϊκό Κόλπο
για Δημόσια Χρήση και Έκτακτες Συνθήκες

Πρόγνωση Μετεωρολογικής Παλίρροιας: High Resolution Storm Surge Model

Χρήστος Μακρής

Δρ. Υπολογιστικής Υδροδυναμικής

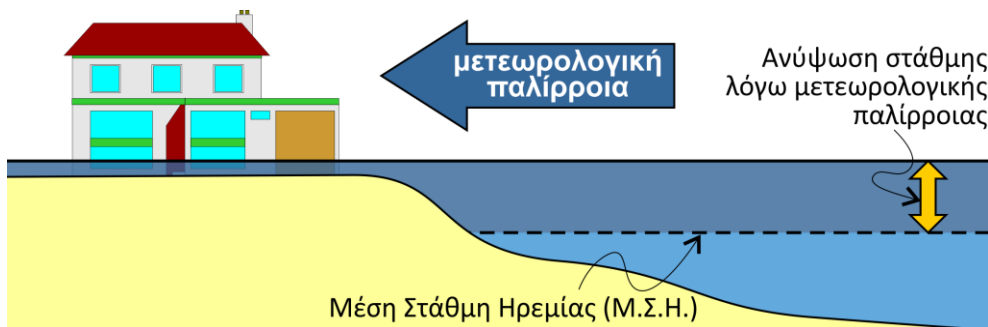
ΜΔΕ Μηχ/κος Παράκτιας Ζώνης

Διπλ. Πολιτικός Μηχ/κος

Ημερίδα Παρουσίασης
Αποτελεσμάτων Ερευνητικού Προγράμματος
Τρίτη 9 Ιουνίου 2015, κτίριο ΚΕΔΕΑ

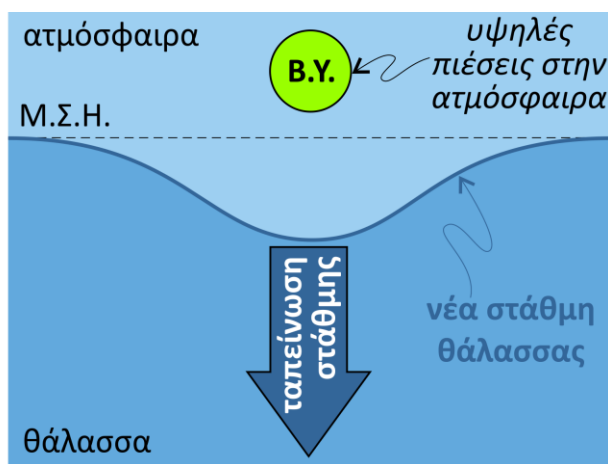
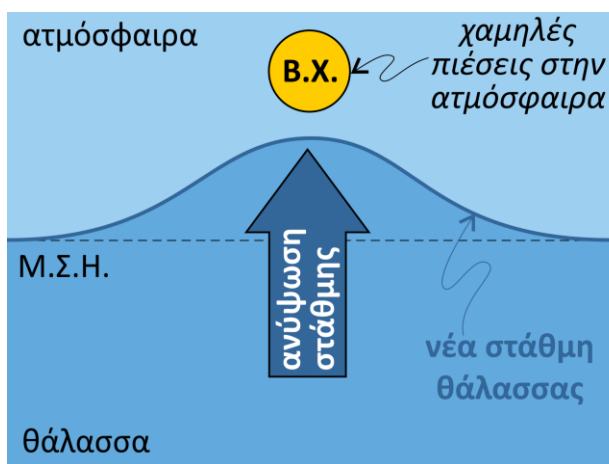
Μετεωρολογική Παλίρροια (Storm Surge/Tide)

Μεταβολή Στάθμης Θάλασσας



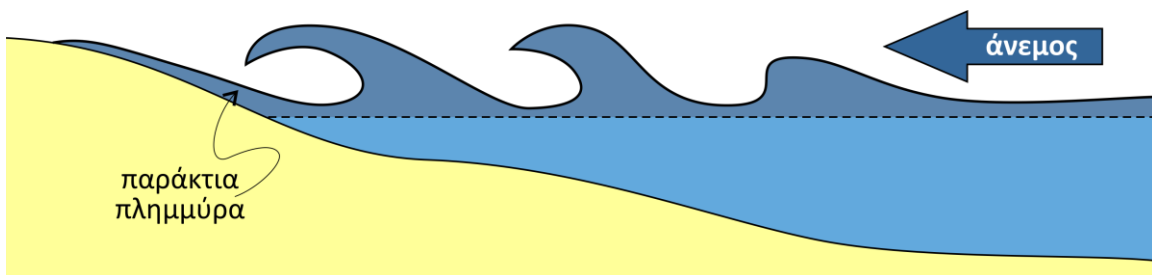
Ανύψωση ή Ταπείνωση της Μέσης Στάθμης Θάλασσας (ΜΣΘ)

Χρονική κλίμακα φαινομένου: μερικές ώρες έως μέρες



Αλληλεπίδραση με:

- γεωστροφικές ροές (μερικές μέρες εβδομάδες/μήνες)
- αστρονομική παλίρροια (ημι-ημερήσια στην περιοχή)
- κυματογενή ανύψωση για κορεσμένη ζώνη θραύσης (μερικές ώρες - μέρα)



Μοντέλο Μετεωρολογικής Παλίρροιας HRSS

Γενική Περιγραφή

Το μοντέλο μετεωρολογικής παλίρροιας

High Resolution Storm Surge (HRSS) model

2-διάστατο υδροδυναμικό μοντέλο εξισώσεων ρηχών νερών (SWEs) περιγράφει μεταβολές ΜΣΘ λαμβάνοντας υπόψη:

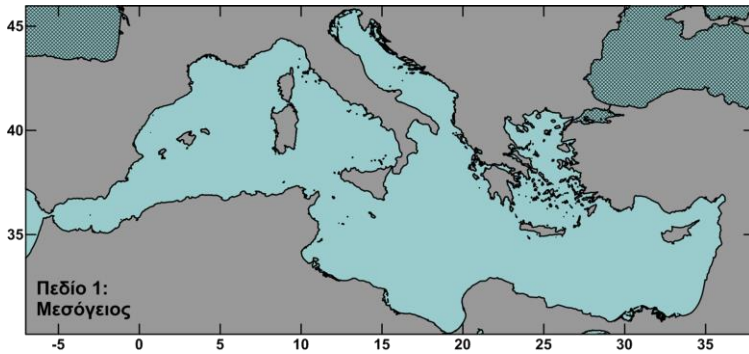
- Ατμοσφαιρικές παραμέτρους (άνεμος και ατμοσφαιρική πίεση)
- Απόκριση ελεύθερης επιφάνειας στη βαροβαθμίδα
- Γεωστροφία (δυνάμεις Coriolis)
- Αστρονομική παλίρροια
- Τριβές υδάτινης μάζας στον πυθμένα
- Διατμητικές τάσεις στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας
- Επίδραση κυματογενών ρευμάτων + ανύψωσης

Αποτελέσματα του μοντέλου: **ΜΣΘ & μέση με το βάθος ταχύτητα ρεύματος**

Μοντέλο Μετεωρολογικής Παλίρροιας HRSS

Πεδίο Εφαρμογής – Υπολογιστικά Επίπεδα

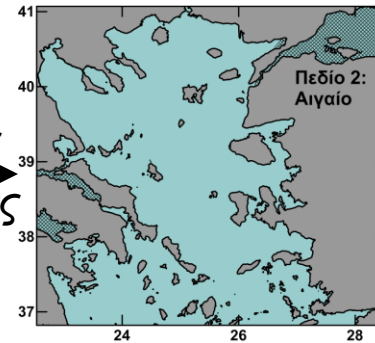
Επίπεδο 1



$$\Delta x = 1/10^\circ \approx 10\text{km}$$

Επίπεδο 2

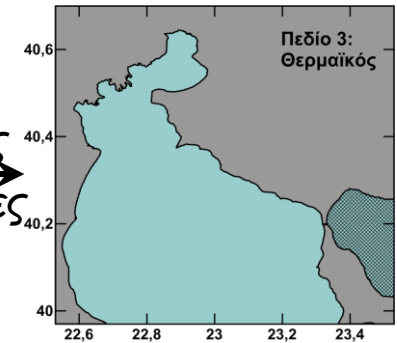
Οριακές
συνθήκες



$$\Delta x = 1/20^\circ \approx 5\text{km}$$

Οριακές
συνθήκες

Επίπεδο 3



$$\Delta x = 1/60^\circ \approx 1,6\text{km}$$

3 μονόδρομα εμφωλευμένα υπολογιστικά πεδία

$$\Delta t_{\text{sim}} = 30\text{sec}$$

$$\Delta t_{\text{out}} = 1 \text{ και/ή } 3 \text{ hrs}$$

Βαθυμετρίες από GEBCO (2009)

Μοντέλο Μετεωρολογικής Παλίρροιας HRSS

Βασικές Εξισώσεις

HRSS: De Vries et al (1995) – Krestenitis et al (2010, 2011) – Androulidakis et al (2015)

2-D Εξισώσεις Navier-Stokes

Εξισώσεις ποσότητας κίνησης

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fu + g \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\tau_x}{(h+z)} - k \frac{u\sqrt{u^2+v^2}}{\rho_0(h+z)} - \frac{g}{\rho_0} \frac{0.9\partial z - 0.7\partial z_0}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fv + g \frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\tau_y}{(h+z)} - k \frac{v\sqrt{u^2+v^2}}{\rho_0(h+z)} - \frac{g}{\rho_0} \frac{0.9\partial z - 0.7\partial z_0}{\partial y}$$

χωροχρονική
μεταβολή
πεδίου
ταχυτήτων

επιρροή
Coriolis
και
βαρύτητα

δύναμη
λόγω
πίεσης

δύναμη
λόγω
ανέμου

δύναμη
λόγω
τριβών
πυθμένα

δύναμη
λόγω
αστρονομικής
παλίρροιας

Εξίσωση συνέχειας

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial(h+z)u}{\partial x} + \frac{\partial(h+z)v}{\partial y} = 0$$

χωροχρονική μεταβολή ΜΣΘ με
αρχή διατήρησης της μάζας



Μοντέλο Μετεωρολογικής Παλίρροιας HRSS

Ειδικές Παραμετροποιήσεις

Υπολογισμός διατμητικών τάσεων στη διεπιφάνεια νερού/αέρα

$$\tau = \rho_A C_D |W| W$$

W: ταχύτητα ανέμου στα 10m

$$C_D = (0.63 + 0.066W) / 10^3 \quad C_D: \text{συντελεστής τριβής ελεύθερης επιφάνειας Smith \& Banke (1975)}$$

Προσομοίωση των οριζόντιων δινών: μοντέλο τύπου Smagorisky

Συντελεστής $C_S=0.1$ Rogallo & Moin (1984) για υπολογισμό τυρβώδους κινηματικής συνεκτικότητας

Αστρονομική παλίρροια από Schwiderski (1980)

$$n = k_o \sin(2\varphi) \cos(\sigma t + x + \lambda) \quad n = k_o \sin(2\varphi) \cos(\sigma t + x + \lambda)$$

$$h_o = 279.69668 + 36000.768930485T_d + 3.03 \cdot 10^{-4} T_d^2$$

$$s_o = 270.434358 + 481267.88314137T_d - 0.001133T_d^2 + 1.9 \cdot 10^{-6} T_d^3$$

$$T_d = (27392.500528 + 1.0000000356D) / 36525$$

$$D = \text{day} + 365 \cdot (\text{yr} - 1975) + \text{int}[(\text{yr} - 1973) / 4]$$

Συνιστώσες:

M2, S2, N2,

K2, K1, O1,

P1, Q1

Υπολογισμός κυματογενούς ανύψωσης (Dean & Dalrymple, 2002; Goda, 1985)

$$\eta_s = \frac{3\gamma^2/8}{1+3\gamma^2/8} \cdot d_b - \frac{\gamma^2 \cdot d_b}{16} \quad \text{and} \quad \zeta_{\text{rms}} = \frac{0.01 \cdot H_{s,o}'}{\sqrt{H_{s,o}'/L_o \left(1 + d_b/H_{s,o}'\right)}}$$

Βαθμονόμηση Μοντέλου HRSS

Παραμετροποιήσεις

Έτος Προσομοίωσης 2012

ΠΕΙΡΑΜΑ	Ατμοσφαιρικές Παράμετροι	Παλίρροια Schwiderski (1980)	Οριακή Συνθήκη στο Γιβραλτάρ	Λοιπές Παραμετροποιήσεις *	Μέγιστο Βάθος H (m)
Π.1	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	C_D (Smith & Banke, 1975)	Πραγματικό
Π.2	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	»	»
Π.3	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	»	»
Π.4	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	»	»
Π.5	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	$C_D = 10^{-5}$	»
Π.6	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	$C_D = 10^{-6}$	»
Π.7	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	C_D (Smith and Banke, 1975)	100
Π.8	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	$C_D = 10^{-5}$	100
Π.9	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	»	Πραγματικό
Π.10	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	$C_D = 10^{-6}$	»
Π.11	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	C_D (Smith and Banke, 1975) $C_S=0.24$	»
Π.12	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	* $C_S=C_D=10^{-5}$ παντού εκτός από Π.11	»

Αξιολόγηση Μοντέλου HRSS

Συντελεστές Συσχέτισης

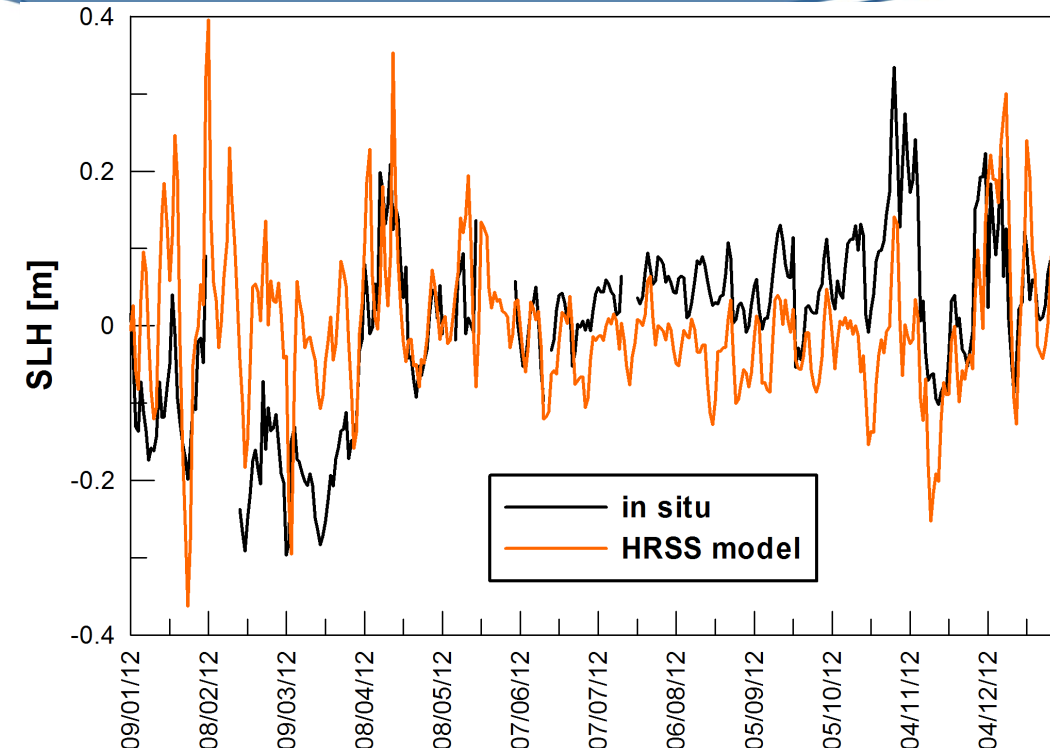
Willmott Skill Score (1981)

$$WS = 1 - \frac{\sum |X_m - X_o|^2}{\sum (|X_m - \bar{X}_o| + |X_o - \bar{X}_o|)^2}$$

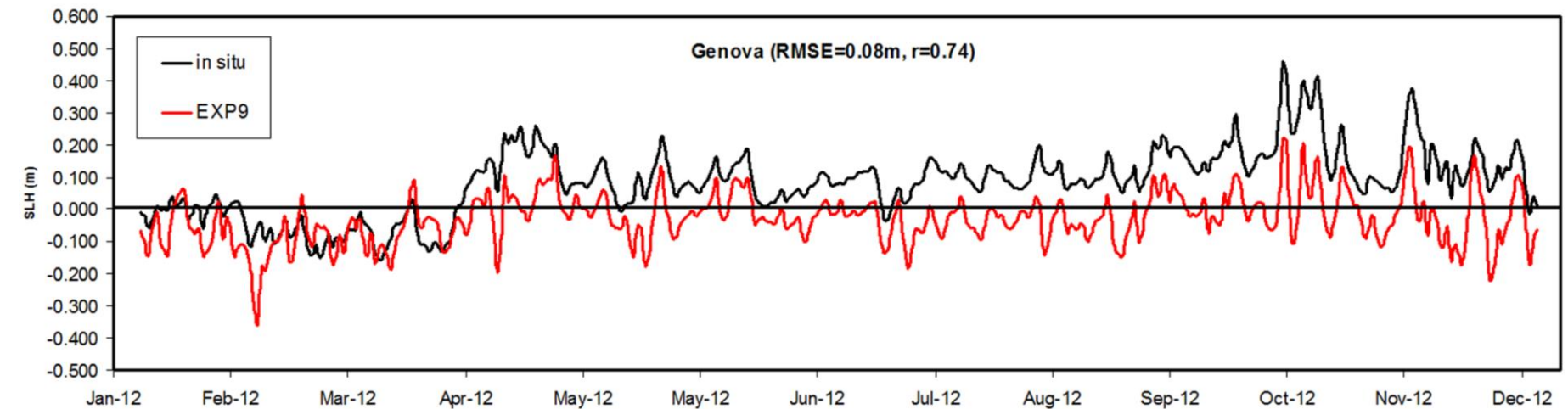
ΣΤΑΘΜΟΣ	Π.1	Π.2	Π.3	Π.4	Π.5	Π.6	Π.7	Π.8	Π.9	Π.10	Π.11	Π.12
Thessaloniki	0.48	0.59	0.53	0.57	0.62	0.53	0.59	0.56	0.68	0.55	0.51	0.65
Genova	0.72	0.76	0.76	0.77	0.71	0.73	0.77	0.77	0.79	0.76	0.72	0.61
Ancona	0.61	0.68	0.68	0.69	0.67	0.63	0.73	0.70	0.72	0.67	0.64	0.69
Napoli	0.56	0.62	0.59	0.61	0.59	0.56	0.68	0.66	0.69	0.61	0.56	0.58
Marseille	0.50	0.51	0.55	0.52	0.42	0.51	0.39	0.43	0.46	0.52	0.81	0.46
Venice	0.61	0.71	0.71	0.72	0.80	0.66	0.75	0.71	0.82	0.69	0.68	0.68
Catania	0.40	0.47	0.36	0.43	0.40	0.38	0.45	0.44	0.51	0.43	0.36	0.46
Hadera	0.50	0.54	0.54	0.55	0.62	0.50	0.62	0.65	0.66	0.53	0.51	0.45
Cagliari	0.45	0.54	0.47	0.51	0.54	0.48	0.50	0.49	0.60	0.50	0.46	0.43
Otranto	0.44	0.53	0.46	0.51	0.52	0.45	0.54	0.51	0.62	0.50	0.43	0.39
Alexandroupoli	0.34	0.64	0.63	0.64	0.73	0.59	0.68	0.64	0.77	0.61	0.60	0.76
All Stations	0.51	0.60	0.57	0.59	0.60	0.55	0.61	0.60	0.67	0.58	0.57	0.56

Αξιολόγηση Μοντέλου HRSS

Σύγκριση προσομοιώσεων με μετρήσεις

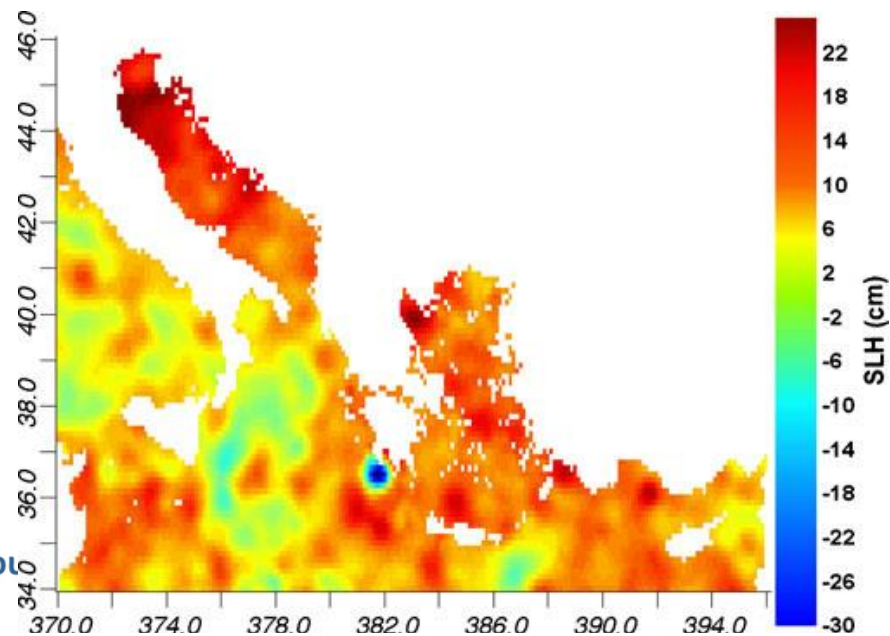
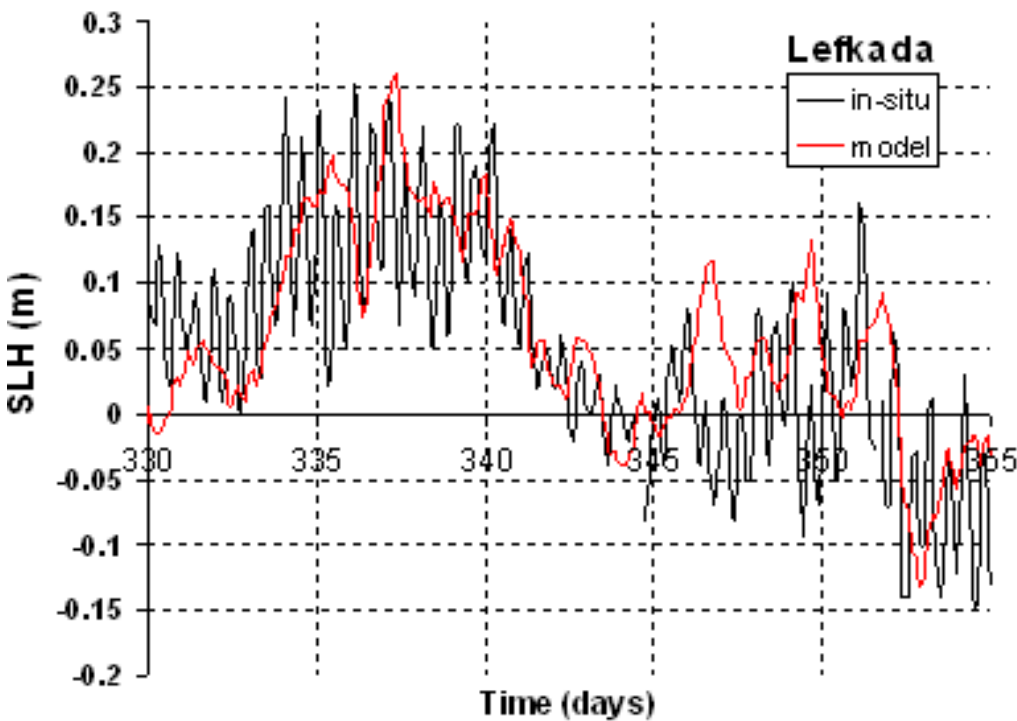


- καλή αναπαραγωγή εξέλιξης της ΜΣΘ
- καλή αναπαράσταση των τοπικών εξάρσεων και ακροτάτων
- υποτίμηση από Ιούλιο ως Οκτώβριο
- μετρητής εντός του ΛΘ: επιρροή από τοπικές ανακλάσεις και ταλαντώσεις



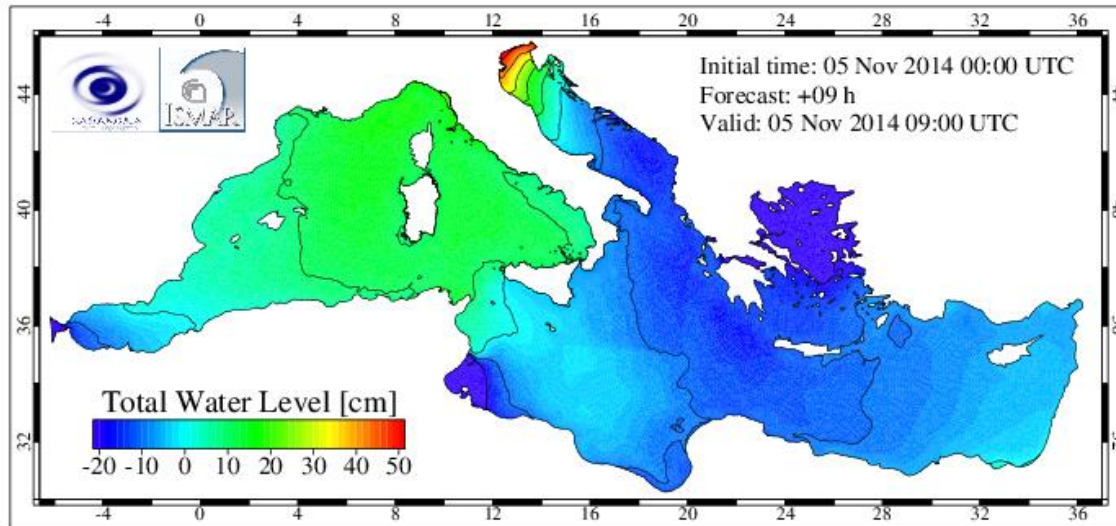
Αξιολόγηση Μοντέλου HRSS

Σύγκριση προσομοιώσεων με μετρήσεις



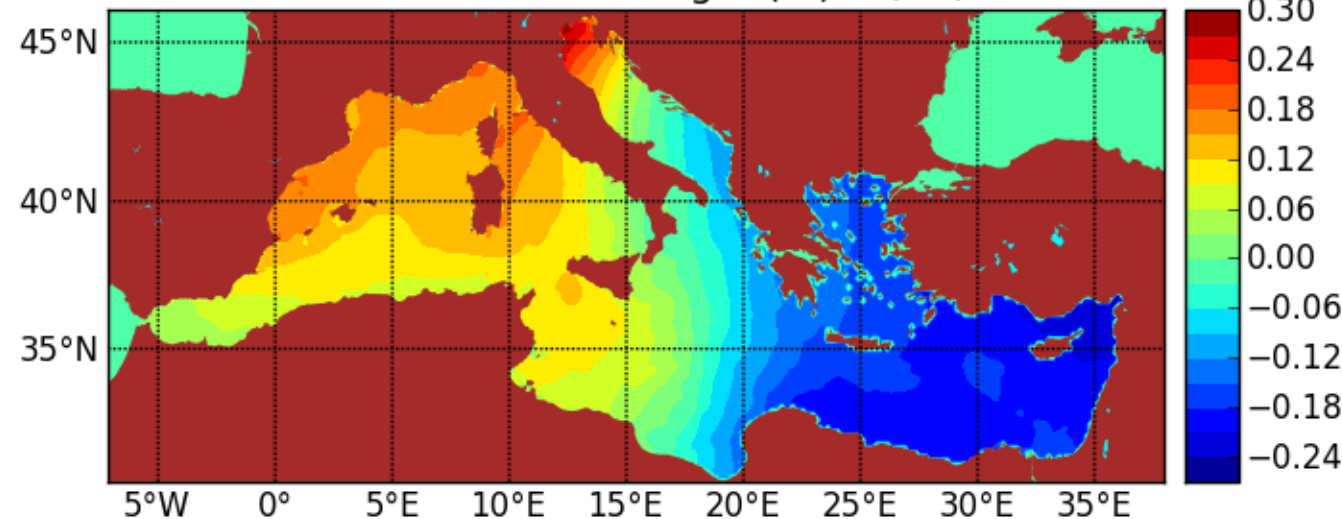
Απόδοση μοντέλου HRSS

Σύγκριση με άλλα συστήματα πρόγνωσης



Kassanda
Storm Surge System
ΜΣΘ [m]
05/11/14
09:00 UTC

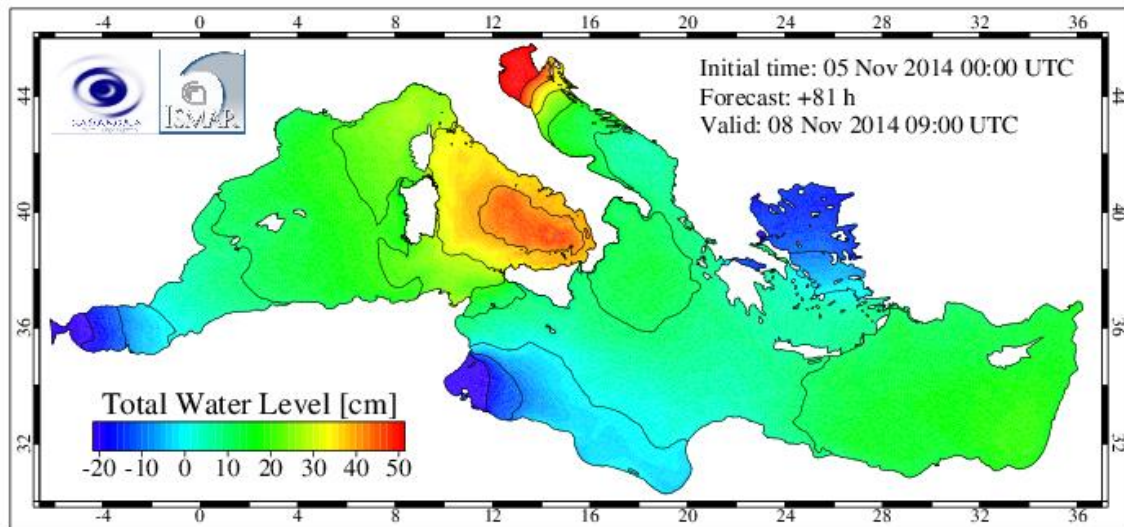
Mediterranean Sea Level Height (m) 05/11/14 12:00



HRSS
ΜΣΘ [m]
05/11/14
10:00 UTC

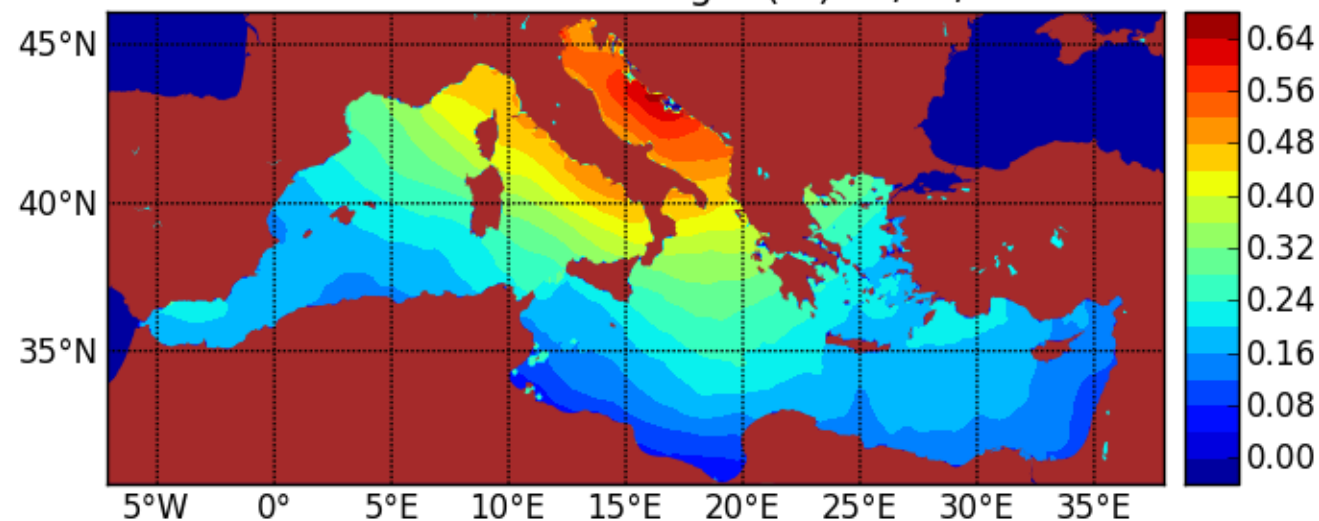
Απόδοση μοντέλου HRSS

Σύγκριση με άλλα συστήματα πρόγνωσης



Kassanda
Storm Surge System
ΜΣΘ [m]
08/11/14
09:00 UTC

Mediterranean Sea Level Height (m) 08/11/14 12:00

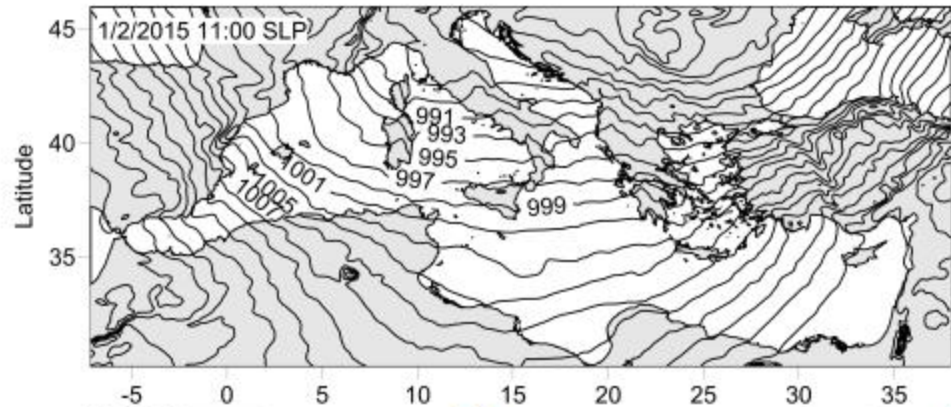


HRSS
ΜΣΘ [m]
08/11/14
10:00 UTC

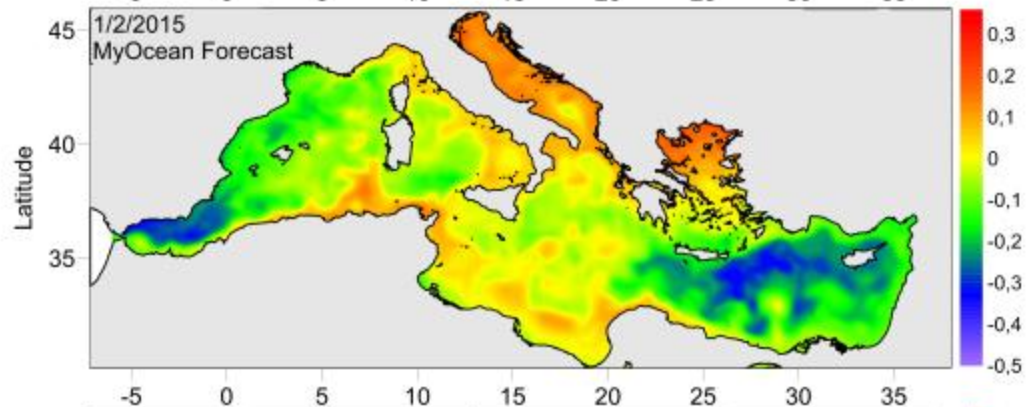
Απόδοση μοντέλου HRSS

Σύγκριση με άλλα συστήματα πρόγνωσης

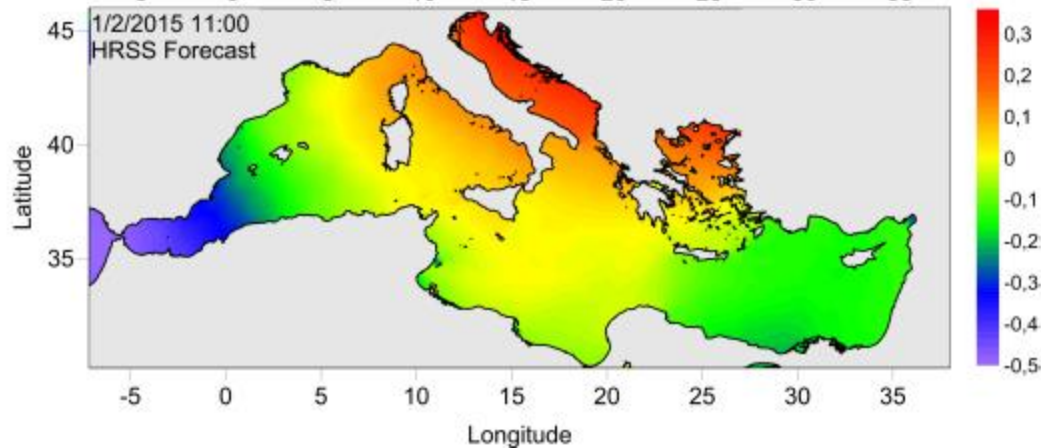
Πραγματικό
SLP (hPa)



MyOcean
ΜΣΘ (m)

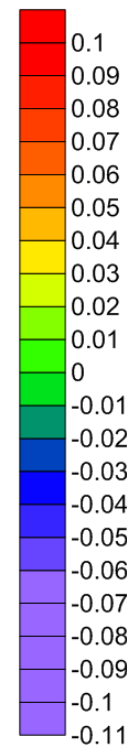
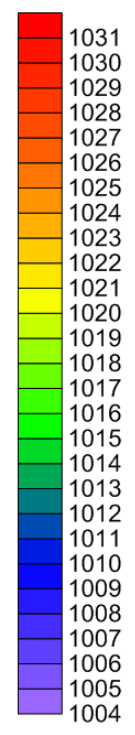
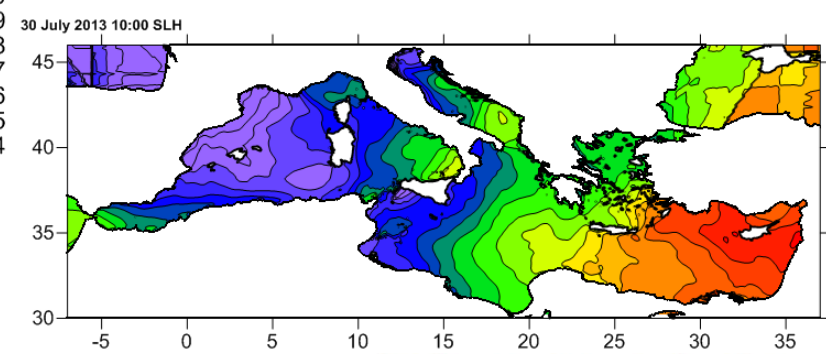
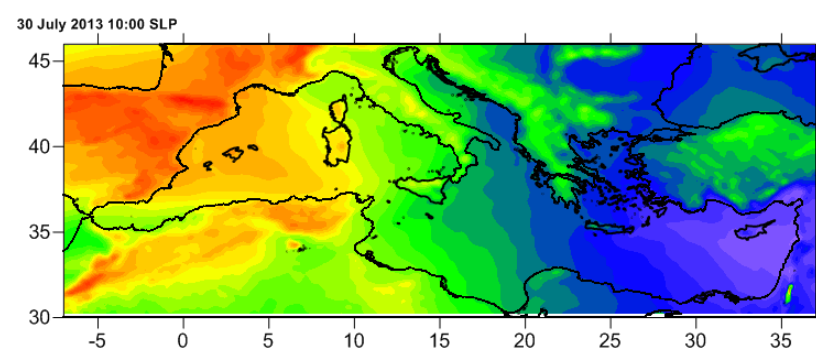
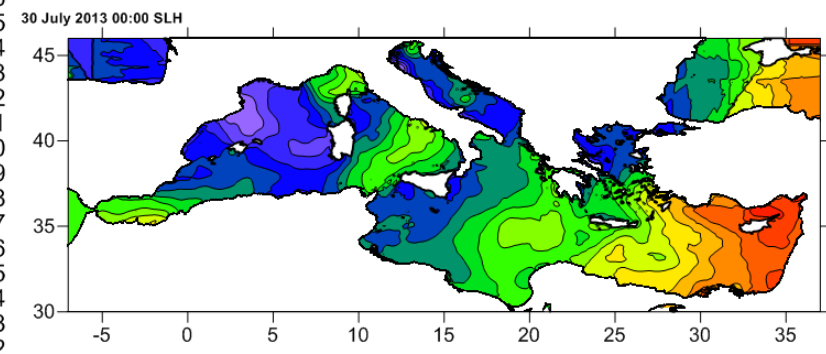
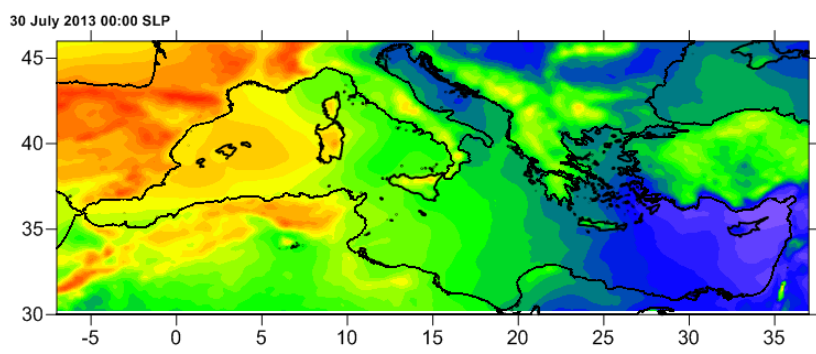
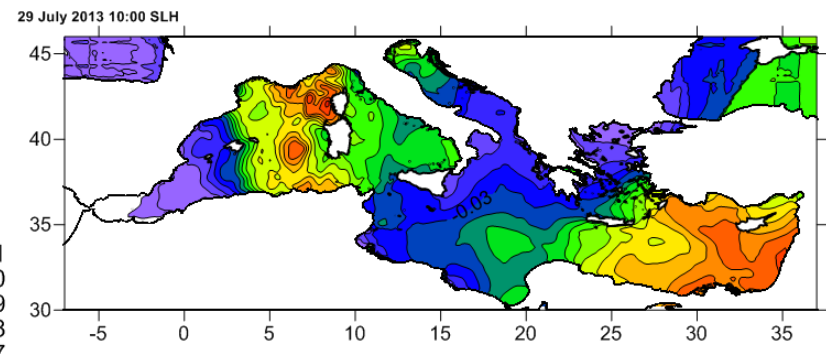
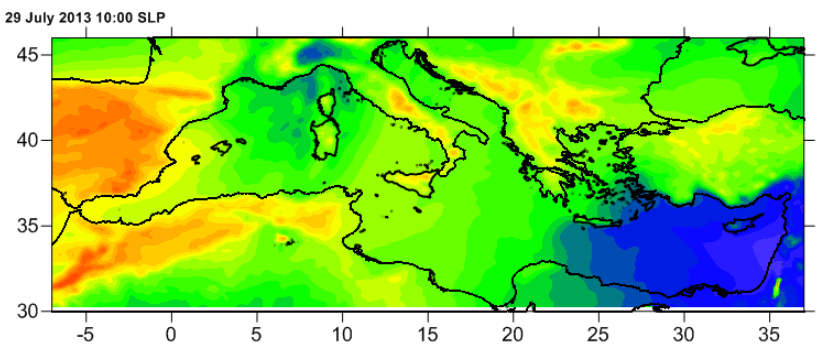


HRSS
ΜΣΘ (m)



Απόδοση μοντέλου HRSS

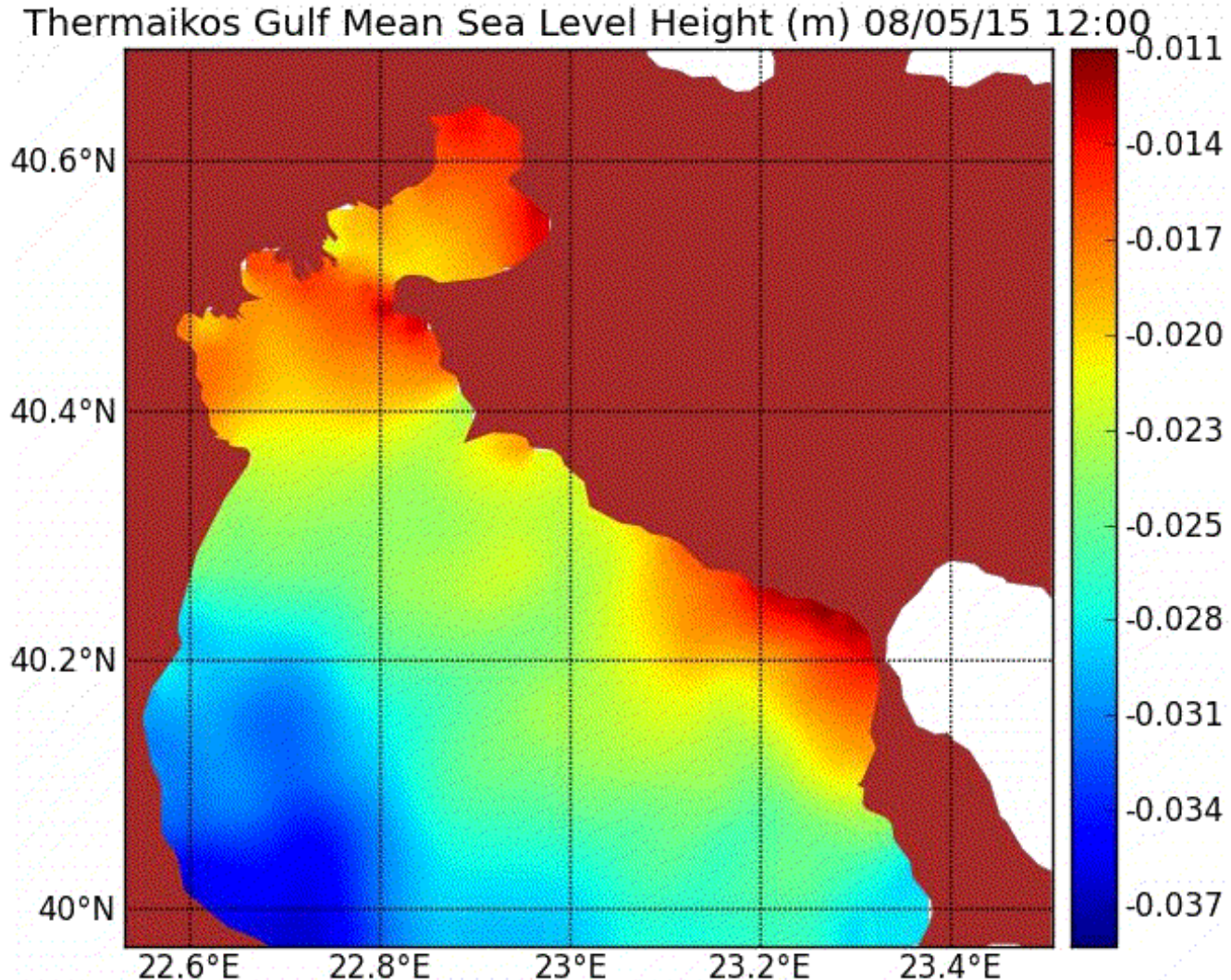
Απόκριση σε δεδομένα εισόδου



Αποτελέσματα μοντέλου HRSS

Χρονική εξέλιξη 2-D χαρτών ΜΣΘ

Μέση Στάθμη Θάλασσας [m]



Πρόγνωση που έγινε στις 08/05 και αφορά στην περίοδο

08 Μαΐου 12:00 με
11 Μαΐου 12:00

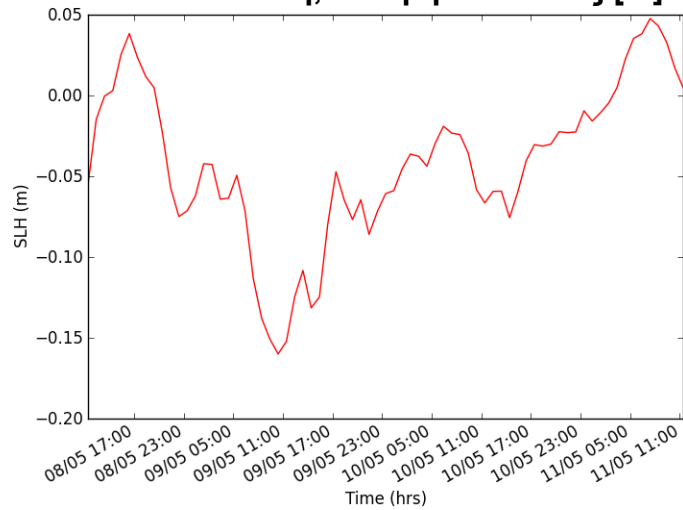
Αποτελέσματα μοντέλου HRSS

Χρονοσειρές ΣΣΘ σε σταθμούς

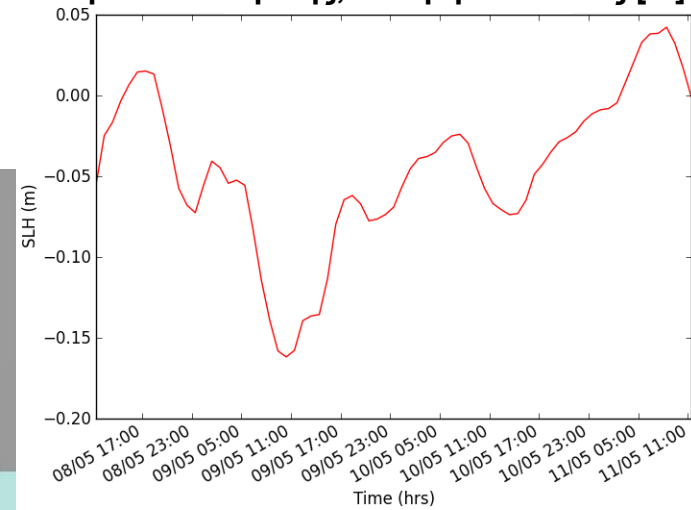
Total Surge

$$\Sigma\Sigma\Theta = \text{ΜΣ}\Theta + \eta_S (+\zeta_{\text{rms}})$$

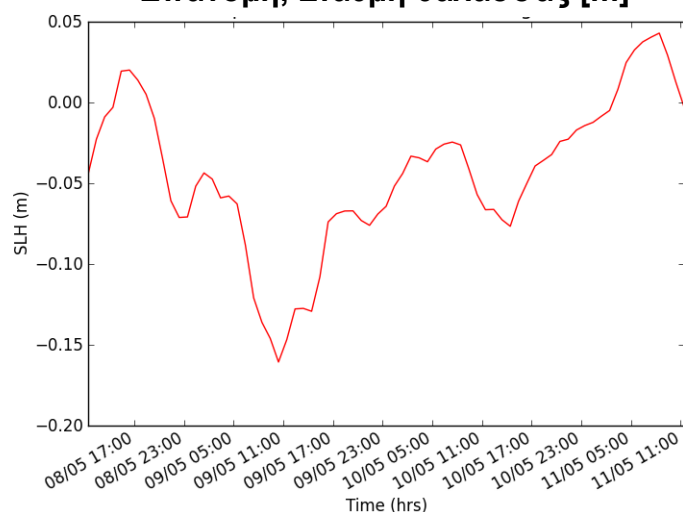
Θεσσαλονίκη, Στάθμη θάλασσας [m]



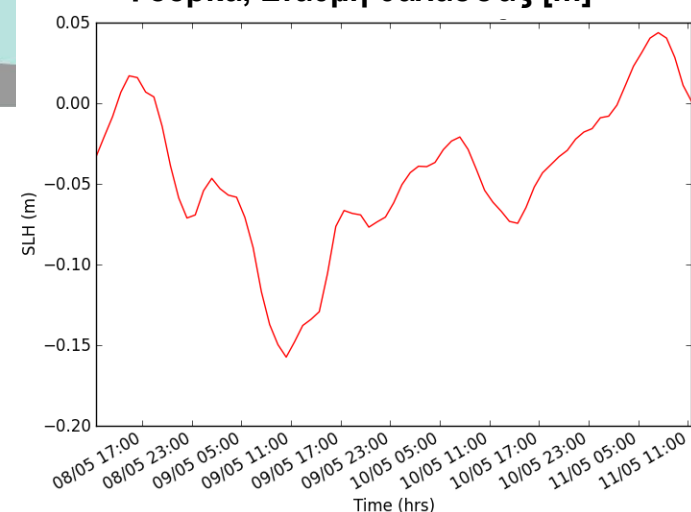
Παραλία Κατερίνης, Στάθμη θάλασσας [m]



Επανομή, Στάθμη θάλασσας [m]



Φούρκα, Στάθμη θάλασσας [m]



Ημερίδα Παρουσίασης Απο



Ε. Π. Ανταγωνιστικότητα
και Επιχειρηματικότητα
(ΕΠΑΝ ΙΙ), ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης



Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων,
Πολιτισμού και Αθλητισμού
ΓΓΕΤ – ΕΥΔΕ-ΕΤΑΚ



Το πρόγραμμα WaveForUs χρηματοδοτήθηκε από τη δράση "ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ 2011": Συμπράξεις Παραγωγικών και Ερευνητικών Φορέων σε Εστιασμένους Ερευνητικούς και Τεχνολογικούς Τομείς στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα" (ΕΠΑΝ ΙΙ, ΕΣΠΑ 2007-13)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΟΥΜΕ ΠΟΛΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ

OCE Group

Γιάννης Κρεστενίτης

Κατερίνα Κομπιάδου

Γιάννης Ανδρουλιδάκης

Χρήστος Μακρής

Βασίλης Μπαλτίκας

OCE Group

Εργαστήριο Θαλάσσιας Τεχνικής και Θαλασσίων

Έργων

ΑΠΘ - Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

