

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Βραχυχρόνια Πρόγνωση. Κλιματικές Μεταβολές

Γιάννης Ν. Κρεστενίτης

Ομ. Καθηγητής Παράκτιας Τεχνικής & Ωκεανογραφίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ

&

Ιωάννης Ανδρουλιδάκης, Χρήστος Μακρής, Βασίλης Μπαλτίκας,
Ιωάννης Πυθαρούλης, Κωνσταντία Τολίκα

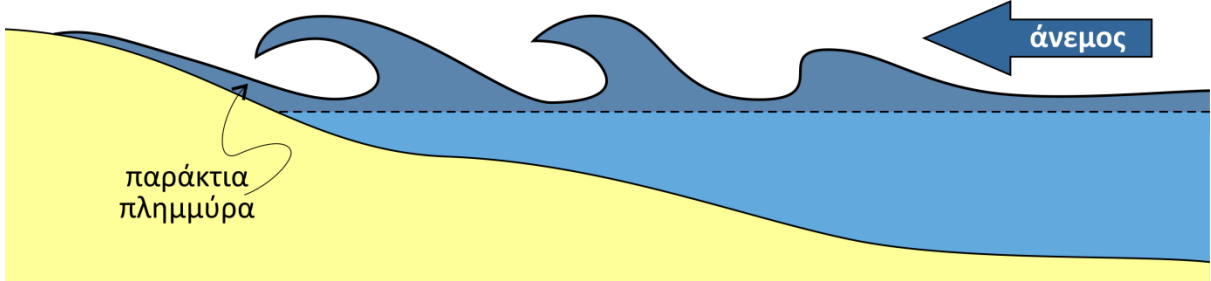
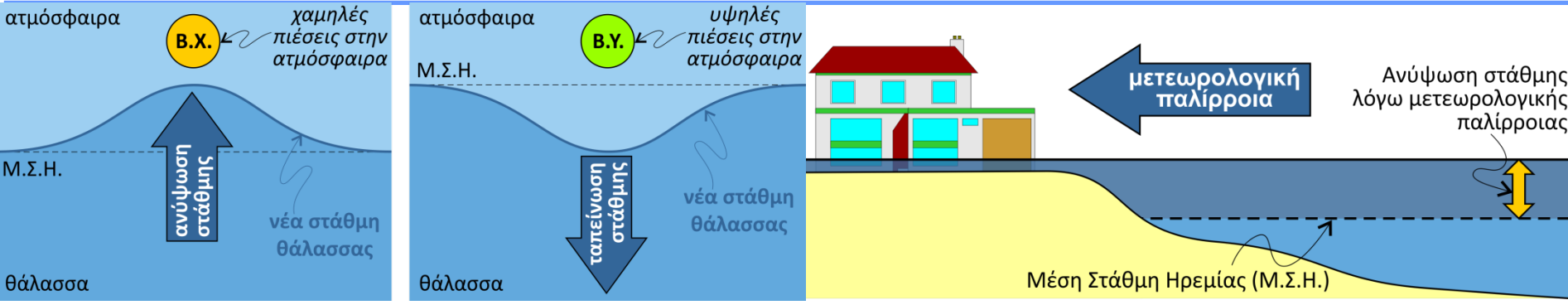


Παράκτια πλημμύρα – κατάκλυση παράκτιων περιοχών

Μετεωρολογική Παλίρροια (Storm Surge): Μεταβολή Στάθμης Θάλασσας (**ΜΣΘ**) ως αποτέλεσμα χαμηλών βαρομετρικών συστημάτων + ανέμων

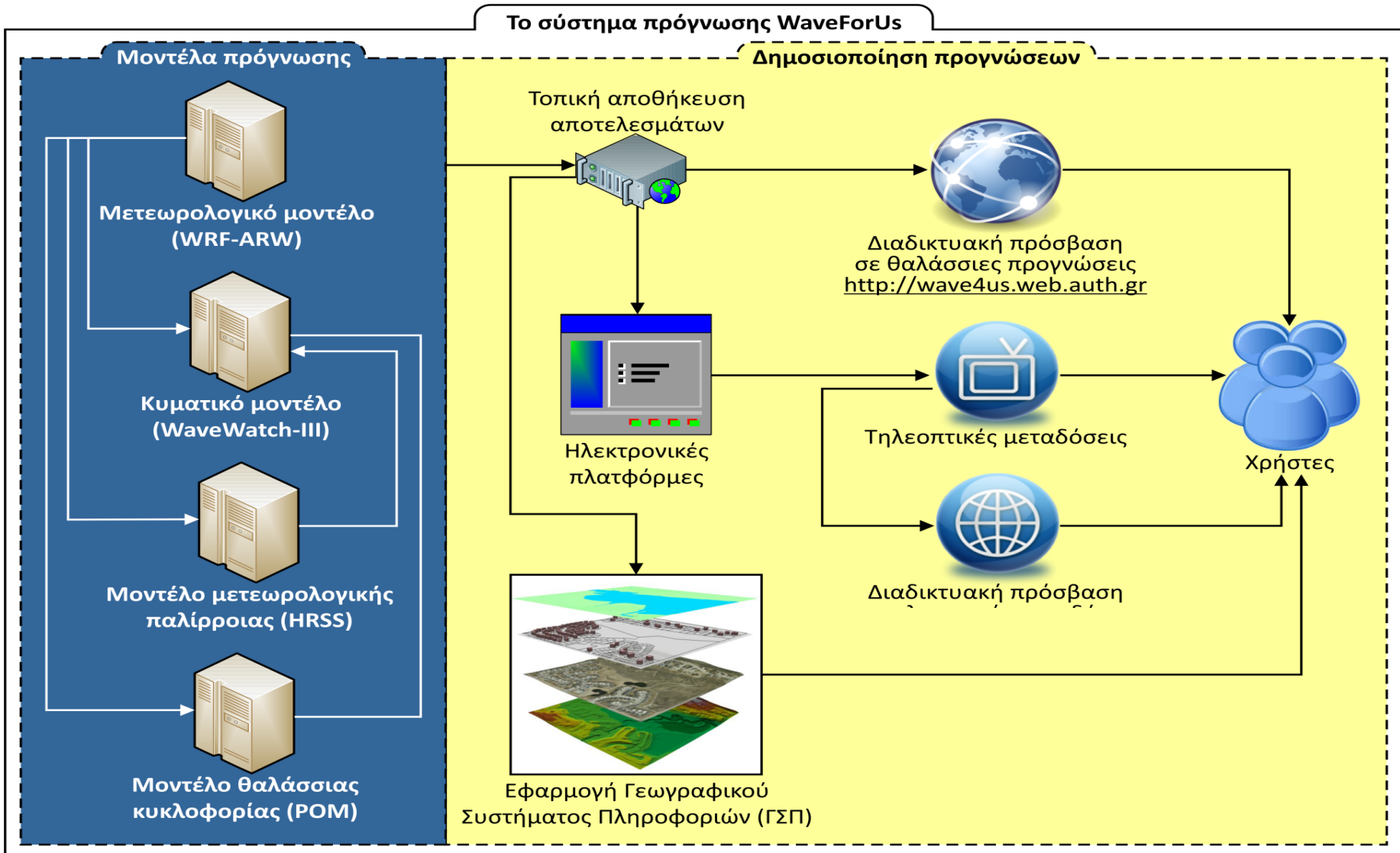
- Αύξηση κινδύνου **παράκτιας κατάκλυσης – παράκτιας πλημμύρας**
- Σημαντικές **επιπτώσεις σε παράκτιες περιοχές χαμηλού υψομέτρου:** πλημμύρες και διάβρωση
- Έντονη όχληση σε: Πληθυσμούς – Περιουσίες – Οικοτόπους – Δημόσιους χώρους

ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ: Ετοιμότητα/Αντίδραση => κατάλληλη αποτύπωση των επικίνδυνων περιοχών + καταγραφή πιθανοτήτων εμφάνισης



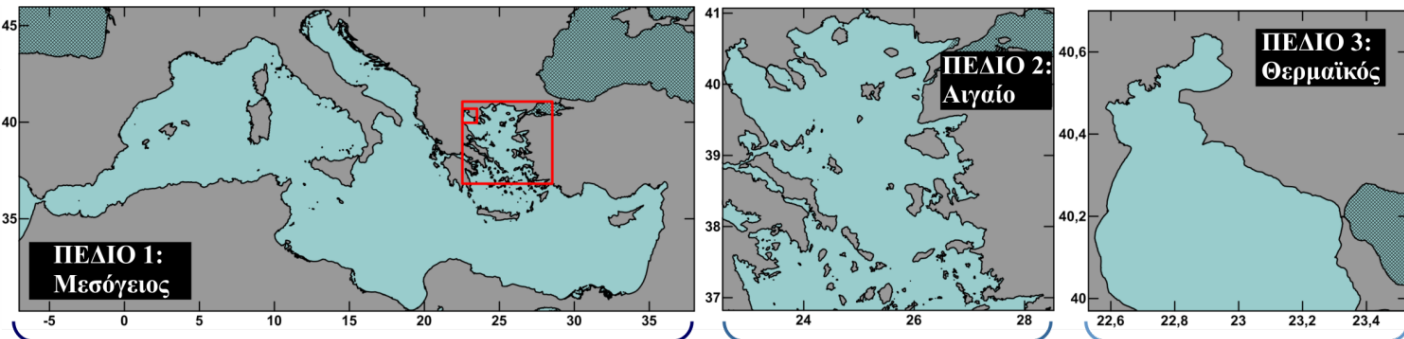
WaveForUs Αυτοματοποιημένο Σύστημα Πρόγνωσης

3-ήμερη, ανά 3ωρο πρόγνωση κύματος, θαλάσσιας κυκλοφορίας και παλιρροιών (αστρονομικών & μετεωρολογικών) στην περιοχή της **Μεσογείου, Αιγαίου και Θερμαϊκού Κόλπου**



Μεθοδολογία Πεδία Εφαρμογής Μοντέλων Πρόγνωσης

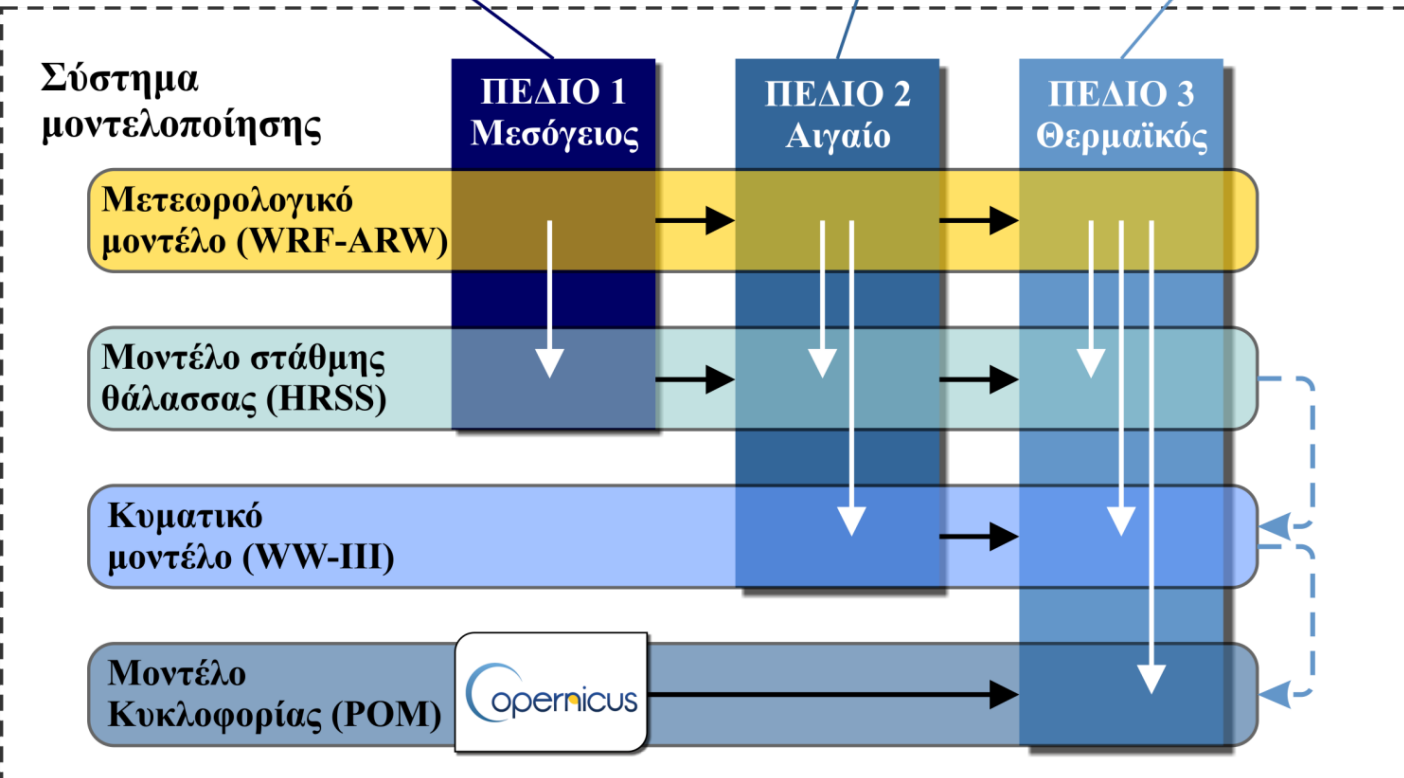
Υπολογιστικά μοντέλα εφαρμόζονται σε τρία διαφορετικά πεδία, διαδοχικά αυξανόμενης ανάλυσης



Πεδίο 1
Μεσόγειος Θάλασσα
χωρικό βήμα
 $0.15^\circ \times 0.15^\circ (\sim 15\text{km})$

Πεδίο 2
Αιγαίο Πέλαγος
χωρικό βήμα
 $0.05^\circ \times 0.05^\circ (\sim 5\text{km})$

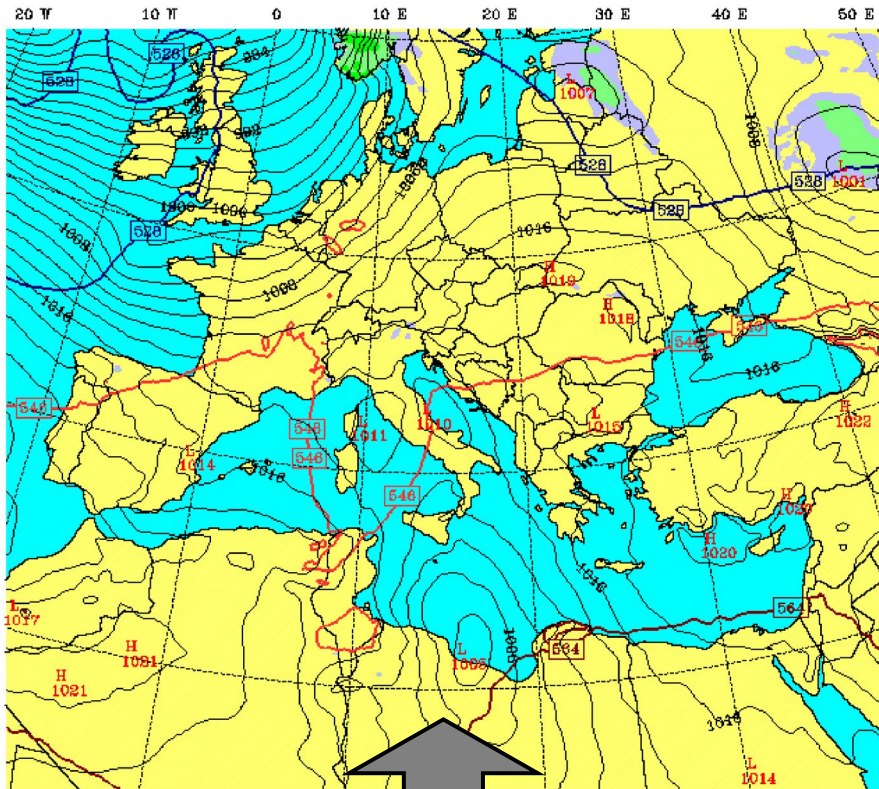
Πεδίο 3
Θερμαϊκός Κόλπος
χωρικό βήμα
 $0.016^\circ \times 0.016^\circ (\sim 1.7\text{km})$



Μεταβολή Στάθμης Θάλασσας (Μετεωρολογική + Αστρονομική Παλίρροια)

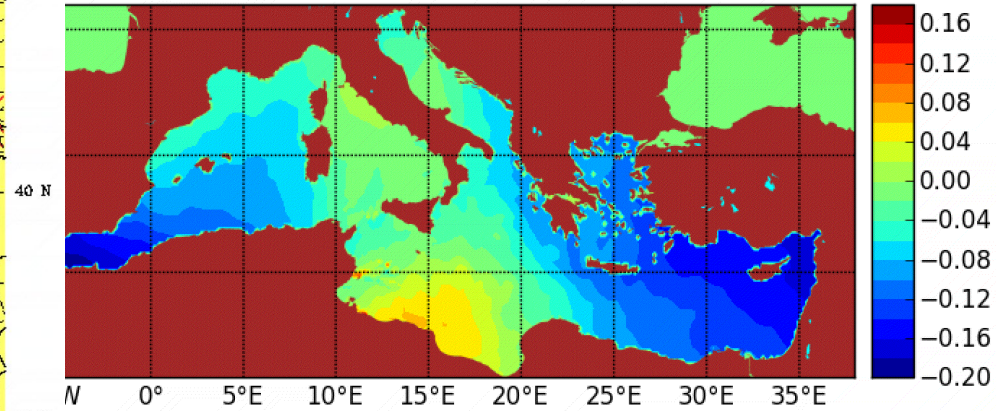
AUTH, Dept. of Met&Clim
Fest: 6.00 h
003hr ACCUMULATED SNOW
Sea-level pressure

Init: 1200 UTC Thu 20 Feb 14
Valid: 1800 UTC Thu 20 Feb 14 (2000 LST Thu 20 Feb 14)



Ατμοσφαιρικής πίεση
WRF-ARW: Ευρωπαϊκή κάλυψη

Mediterranean Sea Level Height (m) 20/02/14 20:00




Μέση στάθμη θάλασσας
HRSS: Μεσόγειος Θάλασσα

Διάχυση των αποτελεσμάτων πρόγνωσης θαλάσσιων παραμέτρων

Καθημερινές 3-ήμερες
προγνώσεις στις **10:30**

<http://coastal.web.auth.gr/>

Aristotle University of Thessaloniki
School of Civil Engineering
Oceanography and Coastal Engineering Group



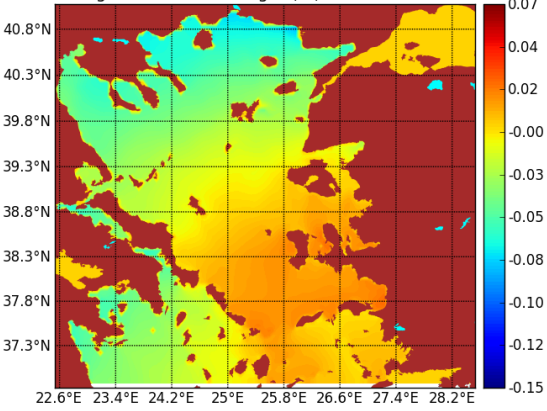
about us
Thermaikos Gulf
Ocean circulation modelling
Wave modelling
Sediment transport modelling
Storm surge modelling
ICZM
Monitoring coastal areas
Educational software
Links

STORM SURGE MODELLING | AEGEAN SEA FORECASTS (WAVE4US PROJECT)

Using the drop-down menu below, you can view forecasts for the MSLH for the North Aegean Sea from the storm surge model for the period 31/08/2015 12:00 until 03/09/2015 12:00. The forecast are performed in the framework of the WaveForUs project and the results are updated daily at 10:30 Athens time (UTC/GMT + 2hrs). Please note that the areas of the Black Sea and Dardanelles strait are excluded from the model calculations.


Date selection menu: 01/09/2015_06:00

Aegean Sea Level Height (m) 01/09/15 06:00




40.8°N
40.3°N
39.8°N
39.3°N
38.8°N
38.3°N
37.8°N
37.3°N

22.6°E 23.4°E 24.2°E 25°E 25.8°E 26.6°E 27.4°E 28.2°E



Aristotle University of Thessaloniki
School of Civil Engineering
Oceanography and Coastal Engineering Group



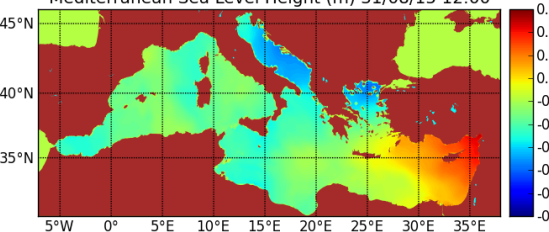
about us
Thermaikos Gulf
Ocean circulation modelling
Wave modelling
Sediment transport modelling
Storm surge modelling
ICZM
Monitoring coastal areas
Educational software
Links

STORM SURGE MODELLING | MEDITERRANEAN SEA FORECASTS (WAVE4US PROJECT)

Using the drop-down menu below, you can view forecasts for the MSLH for the Mediterranean sea from the storm surge model for the period 31/08/2015 12:00 until 03/09/2015 12:00. The forecast are performed in the framework of the WaveForUs project and the results are updated daily at 10:30 Athens time (UTC/GMT + 2hrs). Please note that the areas of the Black Sea and the Atlantic Ocean are excluded from the model calculations.


Date selection menu: 31/08/2015_12:00

Mediterranean Sea Level Height (m) 31/08/15 12:00



45°N
40°N
35°N

5°W 0° 5°E 10°E 15°E 20°E 25°E 30°E 35°E



Διάχυση των πολύ υψηλής ανάλυσης αποτελεσμάτων πρόγνωσης θαλάσσιων παραμέτρων

Thursday 25-6-2015 | ελληνικά

Wave4us
A PILOT SYSTEM FOR THE DEVELOPMENT AND DELIVERY OF DAILY WAVE AND CIRCULATION FORECASTS FOR PUBLIC AND EMERGENCY USE IN THE THERMAIKOS GULF
Project acronym: WaveForUs (Wave climate and coastal circulation forecasts For public Use)

the WaveForUs project | the forecasting system | partners | forecast models | forecasts

3-day sea-state prognoses

Using the drop-down menu below, you can view forecasts for the MSLH from the storm surge model (HRSS), the Significant wave height from the wave propagation model (WWIII) and Temperature, Salinity and Velocity fields from the circulation model (POM) at depths of 0m, 10m 20m and at the seabed for the period from 25/06/2015 12:00 to 28/06/2015 12:00. Results are presented as spatial distributions and time-series or/and cross-sections in areas of interest that can be viewed using the 'Results type selection' menu. The forecast results are updated daily at 10:30 Athens time (UTC/GMT + 2hrs)

You can also view the storm surge forecasts for the Mediterranean Sea [Mediterranean Sea SLH forecasts](#)
the storm surge forecasts for the North Aegean Sea [Aegean Sea SLH forecasts](#)
the wave forecasts for the North Aegean Sea [Aegean Sea wave forecasts](#)
the meteorological model forecasts [WRF-ARW model forecasts](#)
and the results of the WaveForUs system in the [Web GIS platform](#)

Variable selection: | Results type selection: | Depth selection: | Date selection:

Temperature
Mean Sea Level Height
Significant wave height
Temperature
Salinity
Current velocities

Thermaikos Gulf Temperature (°C) 27/06/15 15:00

Operational programme: "Competitiveness and Entrepreneurship" and Regions in Transition
National Action: "COOPERATION 2011 - Partnerships of Production and Research Institutions in Focused Research and Technology Sectors"

EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL
DEVELOPMENT FUND

MINISTRY OF EDUCATION, LIFELONG LEARNING AND RELIGIOUS AFFAIRS - GENERAL SECRETARIAT FOR RESEARCH AND TECHNOLOGY

NSRF
2007-2013
Programme for Development

Καθημερινές 3-ήμερες
προγνώσεις στις **10:30 π.μ.**
ανά τρίωρο

http://wave4us.web.auth.gr/index_eng.html

Πρόγνωση 17/9

Κίνηση από το Ιόνιο προς το Αιγαίο

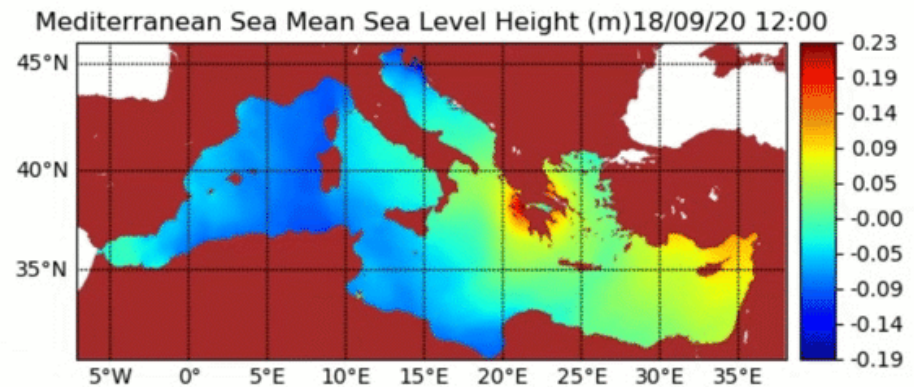
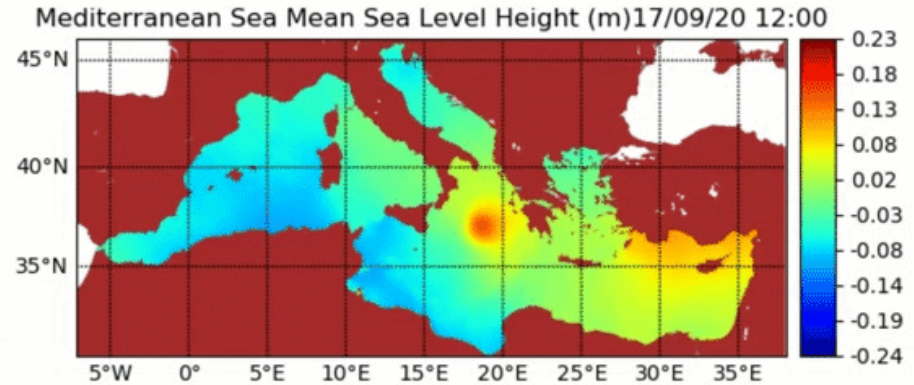
Πρόγνωση 18/9

Αλλαγή πρόγνωσης της πορείας του Ιανού

Νότια και όχι ανατολική κίνηση

Αλλαγή πρόγνωσης της ανύψωσης στάθμης

Σημασία ανανεωμένης πληροφορίας και την έγκυρη πρόγνωση



Βραχυχρόνια πρόγνωση στάθμης θάλασσας

- **WaveForUs**: εξελιγμένο, επιχειρησιακό, σύστημα που προσφέρει 3-ήμερες, υψηλής χωρικής ανάλυσης, στοχευμένες προγνώσεις θάλασσας
- Πρόγνωση στάθμης θάλασσας με **συνεκτίμηση μετεωρολογικής παλίρροιας, αστρονομικής παλίρροιας και κυματικού κλίματος**
- **Διάχυση** έγινε με ποικίλους **τρόπους** (ιστοσελίδες, τηλεοπτικά δελτία, πλατφόρμα web-GIS) **άμεσους και φιλικούς προς το χρήστη**
- **Χρηστικότητα συστήματος**: ναυσιπλοΐα, αλιεία, αναψυχή, υδατοκαλλιέργειες και ναυταθλητισμός
- **Κατάλληλο για πρόγνωση έντονων μετεωρολογικών επεισοδίων** που μπορούν να προκαλέσουν **προβλήματα κατάκλυσης σε παράκτιες περιοχές χαμηλού υψομέτρου** σε συνδυασμό με σύστημα προειδοποίησης του κοινού

Επεισόδια κατάκλυσης στη Βενετία (Νοέμβριος 2019)

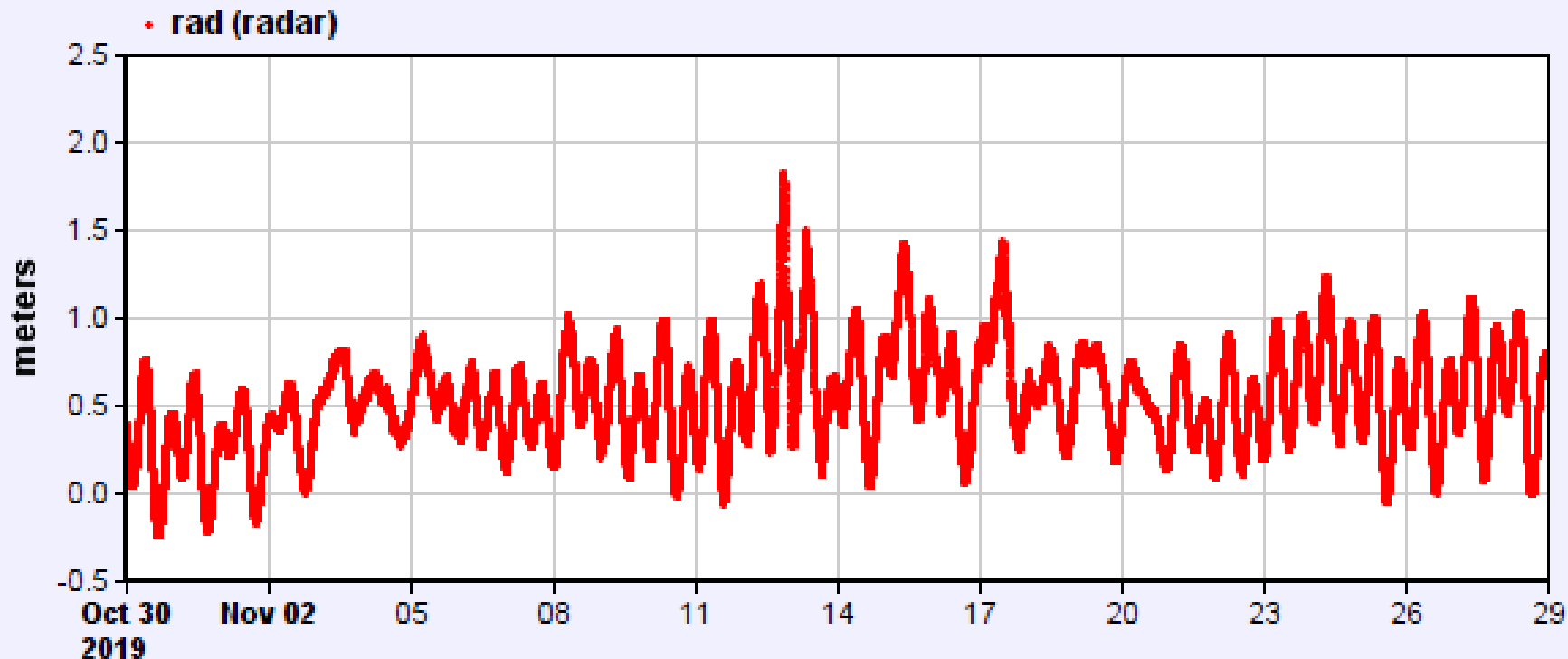


© Reuters/M. Silvestri



Κλιματική αλλαγή & μεταβολή στάθμης θάλασσας

Sealevel at Venice station



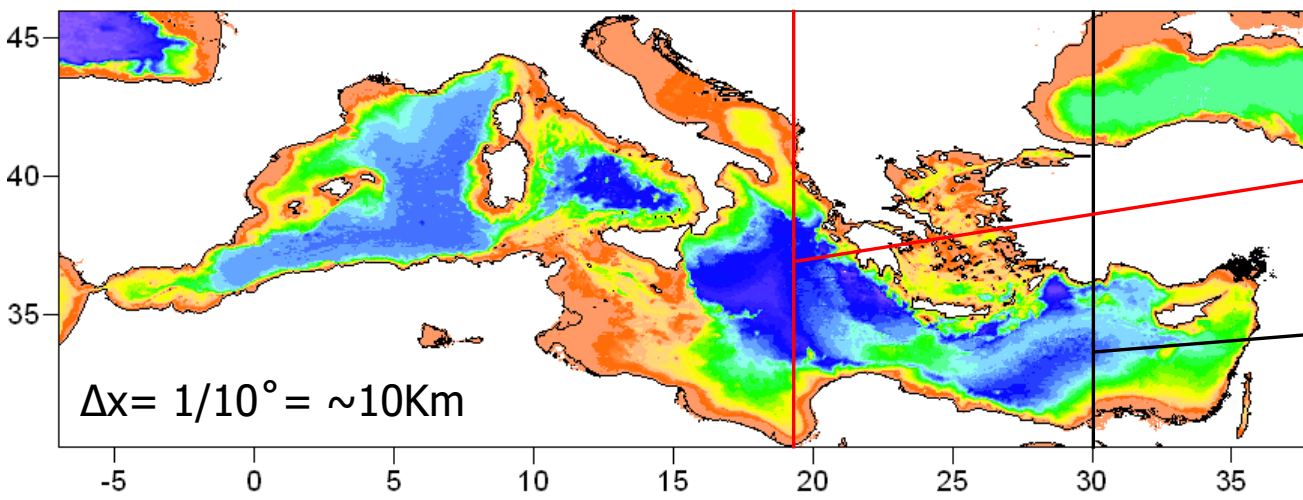
From 2019-10-30 00:00+00:00 to 2019-11-29 00:00+00:00 © IOC-VLIZ

- H > 1.40 m 25** επεισόδια τα τελευταία 15 χρόνια
- H > 1.40 m 6** επεισόδια τα τελευταία 2 χρόνια
- H > 1.40 m 4** επεισόδια τον Νοέμβριο 2019

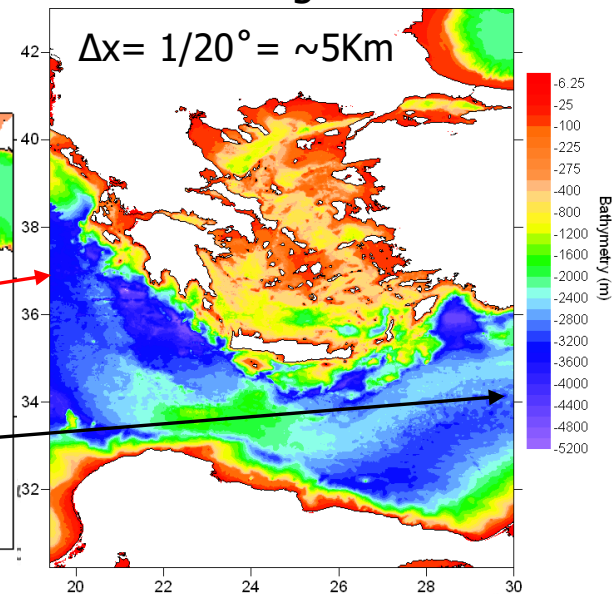
Μεθοδολογία Προσέγγισης - Πρόβλεψης

- Μαθηματικό ομοίωμα:** 2-D Εξισώσεις Ρηχών Νερών (Krestenitis et al, 2011)
- Διέγερση μοντέλου: Άνεμος + SLP από RegCM3 για το A1B σενάριο (IPCC)
- Αποτελέσματα: ΜΣΘ λόγω μετεωρολογικών επιδράσεων
- Οριακές Συνθήκες: **Εμφώλευση** GreCSS με MeCSS model
- Περίοδος Προσομοίωσης: 1951-2100

MeCSS: Mediterranean Climate Storm Surge model



GreCSS: Greek seas Climate Surge model



Νεότερες προσομοιώσεις

2 χαρακτηριστικά RCPs για τον 21^ο αιώνα από IPCC-AR5

- RCP4.5 πιθανό μελλοντικό κλίμα με “μέτριες” εκτιμήσεις για συγκεντρώσεις αερίων θερμοκηπίου
- RCP8.5 “απαισιόδοξο” σενάριο
- Πολλαπλοί συνδυασμοί GCMs, RCMs και RCPs από **Med-CORDEX**

3 Regional Climate Models (RCMs) από CMCC, CNRM και GUF

- MED-44 και MED-10 πεδία για την Μεσόγειο με ανάλυση 0.44° και 0.1°
- CMCC-CCLM4: μη-υδροστατικό μοντέλο
- CNRM-ALADIN52: περιορισμένης έκτασης δι-φασματικό κλιματικό μοντέλο
- CCLM-NEMO: συζευγμένο ατμοσφαιρικό-ωκεανογραφικό μοντέλο με πεπερασμένες διαφορές, υδροστατικό μοντέλο για τη γενική ωκεάνια κυκλοφορία

Μεγέθη & Εργαλεία Μελέτης

SLH: Μεταβολή Στάθμης Θάλασσας (ΜΣΘ)

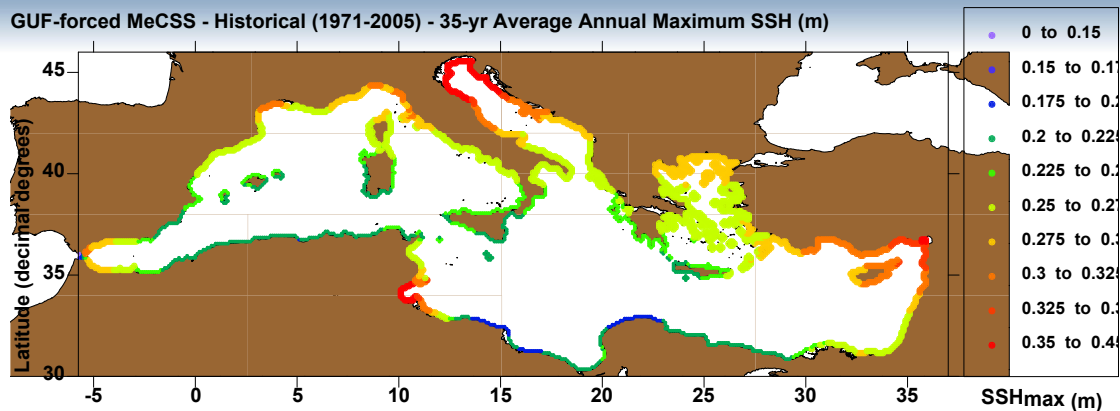
SSI: **Δείκτης Μετεωρολογικής Παλίρροιας** = Μέσος των 3 ανεξάρτητων μεγίστων SLH_{max} σε ένα έτος

Δείκτης Κλιματικής Αλλαγής:

$$CCI (\%) = \frac{\overline{SSI}_{mod}^{(FUTURE\ 11yrs)} - \overline{SSI}_{mod}^{(PAST\ 11yrs)}}{\overline{SSI}_{mod}^{(PAST\ 11yrs)}} \cdot 100$$

Αποτελέσματα SLH Maxima (m) στις παράκτιες ζώνες της Μεσογείου

GUF-forced MeCSS - Historical (1971-2005) - 35-yr Average Annual Maximum SSH (m)

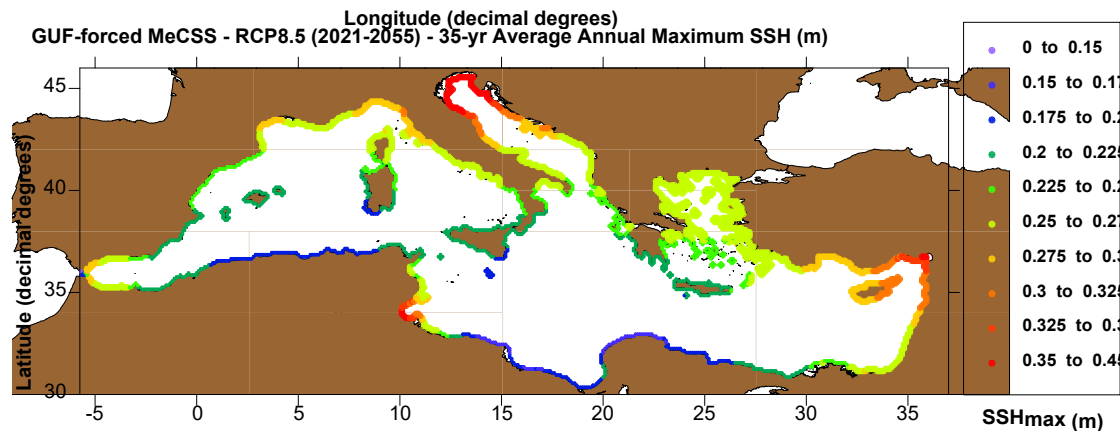


Περίοδος
Αναφοράς

Σενάριο
RCP8.5

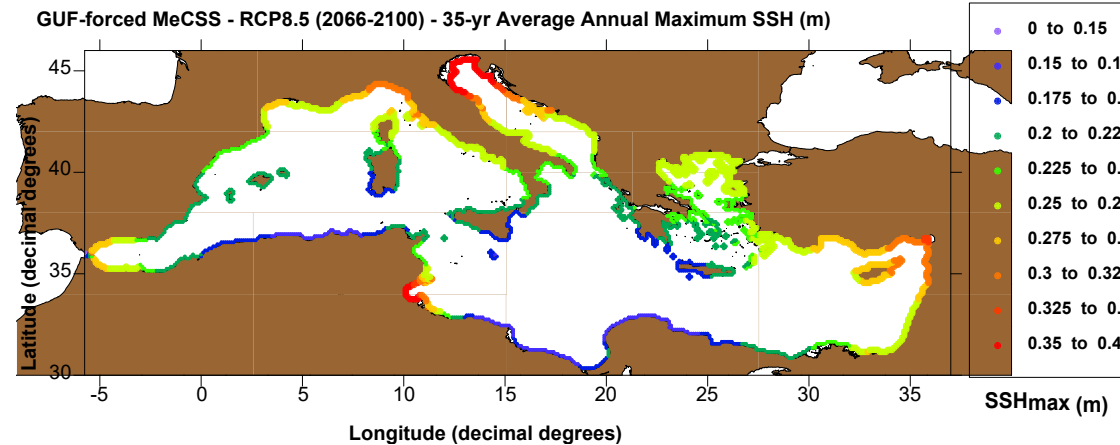
Μοντέλο
MeCSS

GUF-forced MeCSS - RCP8.5 (2021-2055) - 35-yr Average Annual Maximum SSH (m)



2021-2055

GUF-forced MeCSS - RCP8.5 (2066-2100) - 35-yr Average Annual Maximum SSH (m)



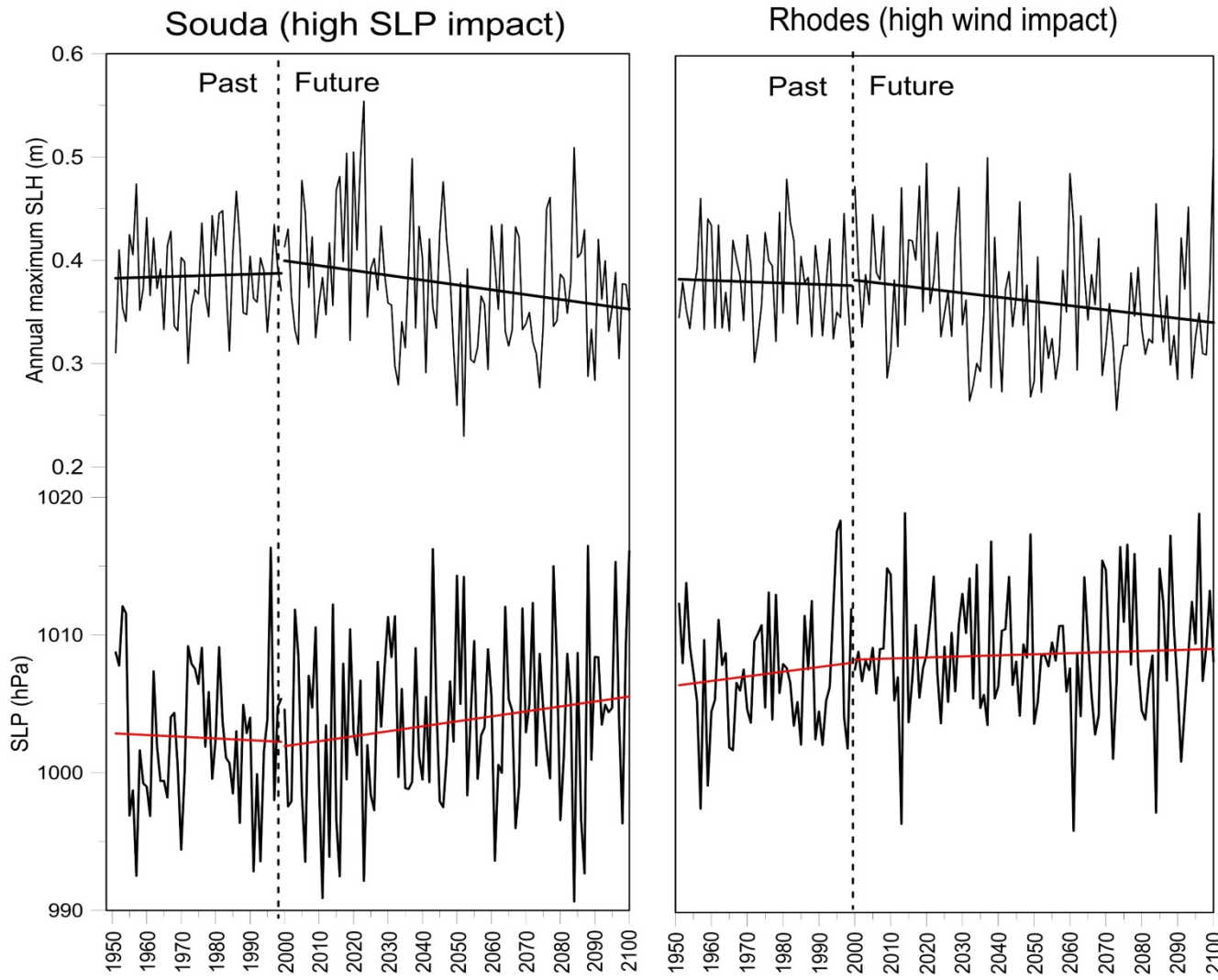
2066-2100

Αποτελέσματα Συσχέτιση βαρομετρικών συστημάτων με ΜΣΘ

Επιρροή **SLP** στην εξέλιξη του ετήσιου **SLH_{max}** από GreCSS

2 χαρακτηριστικοί σταθμοί στο Νότιο Αιγαίο

2 περιόδοι προσομοίωσης: **παρελθόν** (1951-2000) vs. **μέλλον** (2001-2100)



Σούδα:

Έντονη αύξηση SLP
(τάση προς υψηλότερα
βαρομετρικά)
αποτυπώνεται στην
έντονη πτωτική τάση
του SLH_{max}

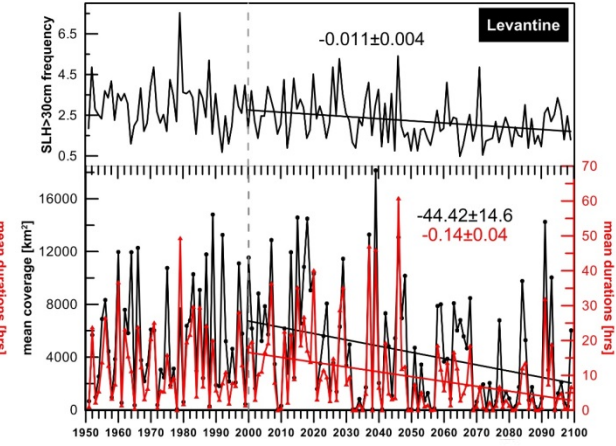
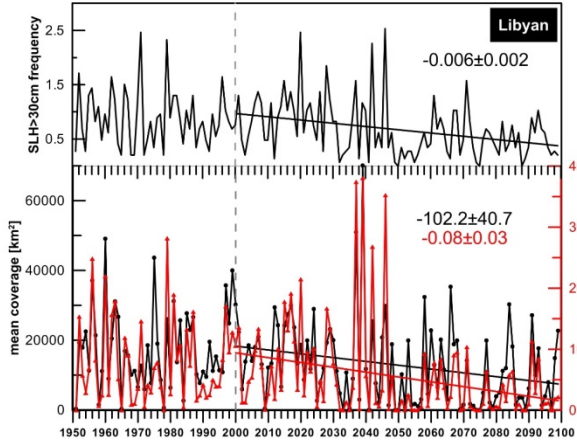
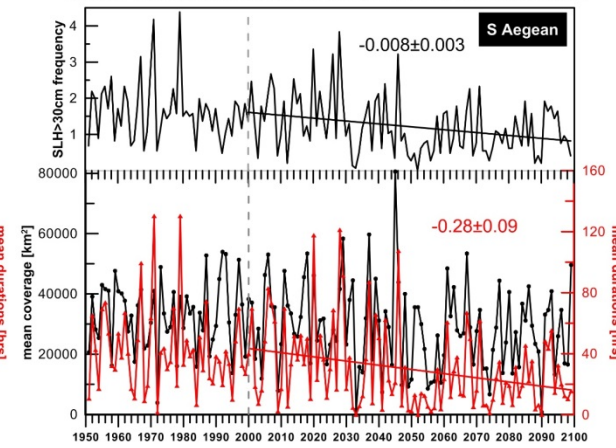
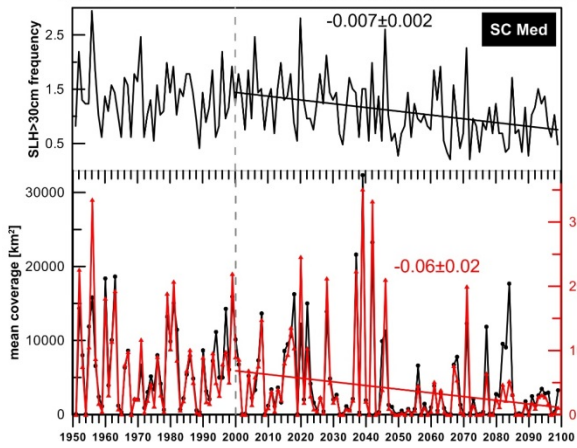
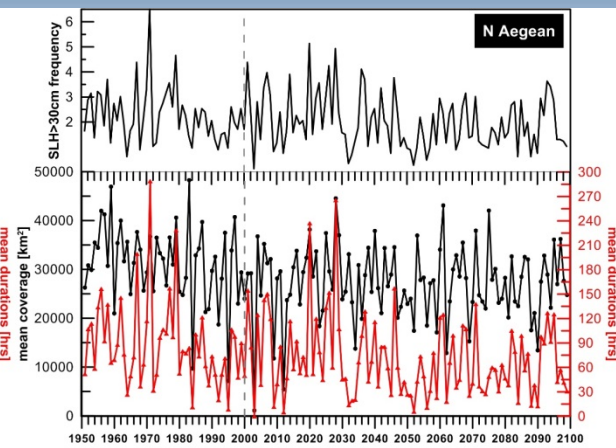
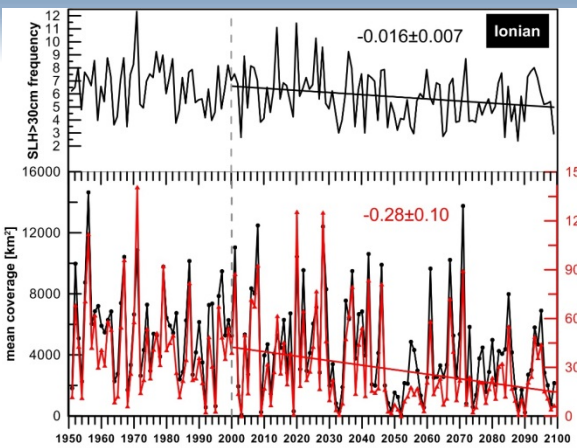
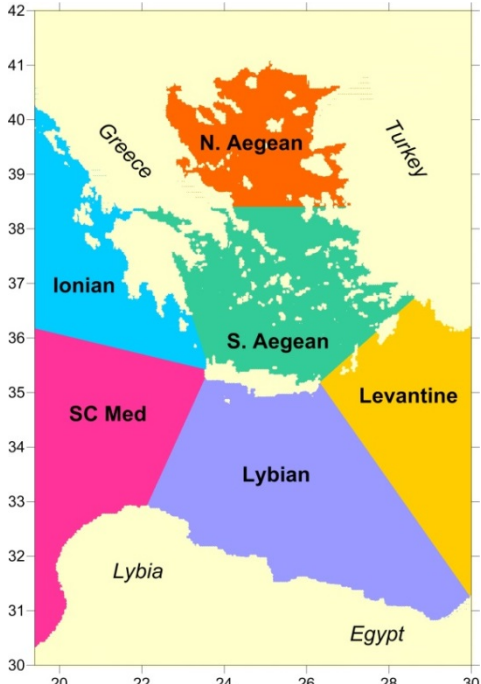
Ρόδος:

Έντονη πτώση του
 SLH_{max} δεν οφείλεται σε
αύξηση SLP, αλλά στο
καθεστώς ανέμων

Αποτελέσματα Τάσεις διάρκειας/έντασης μετεωρολογικών παλιρροιών

Γεγονότα με SLH>30cm

- Τάσεις μείωσης της έντασης μεταξύ -7 και -16 mm/yr
- Τάσεις μείωσης της διάρκειας μεταξύ -0.06 και -0.28 hr/yr
- Ανυπαρξία **σημαντικής** τάσης για τη χωρική κάλυψη **γεγονότων**, πλην Λεβαντίνης και Λυβικού
- Ύπαρξη τοπικών μέγιστων στο μελλοντικό κλίμα που υπερβαίνουν αντίστοιχες τιμές του παρελθόντος



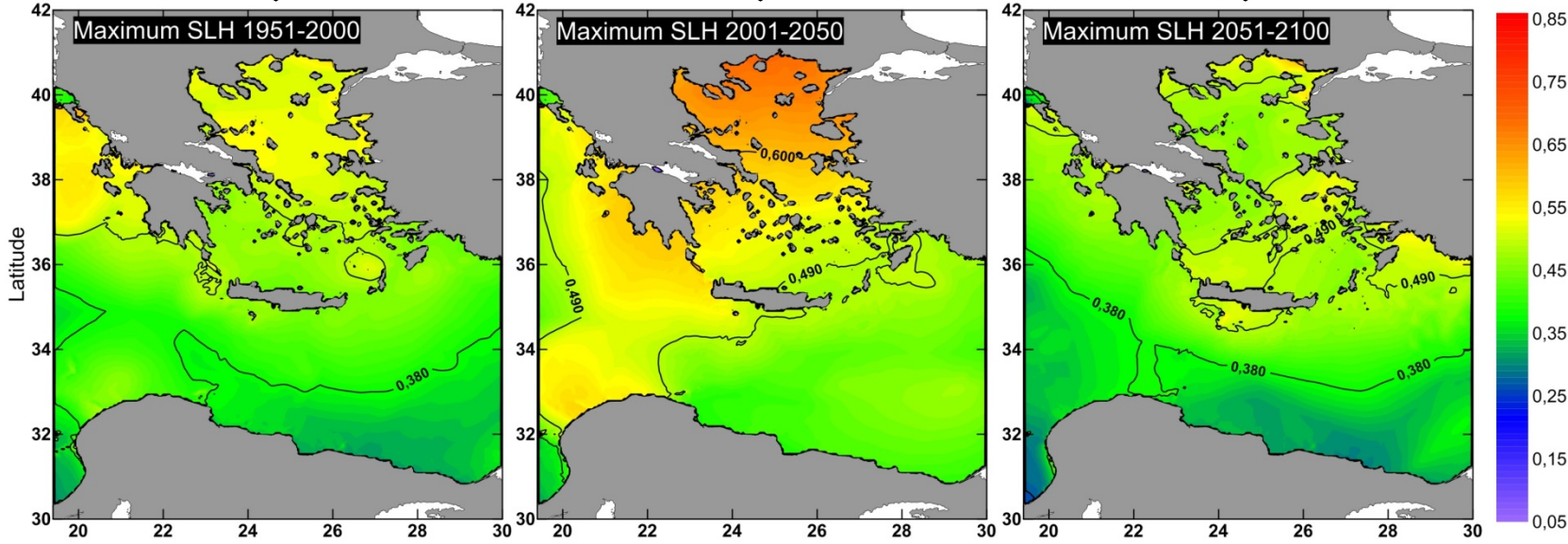
Αποτελέσματα Χωρική κατανομή μέγιστου και μέσου SLH 50-ετίας

Σενάριο
SRES-A1B

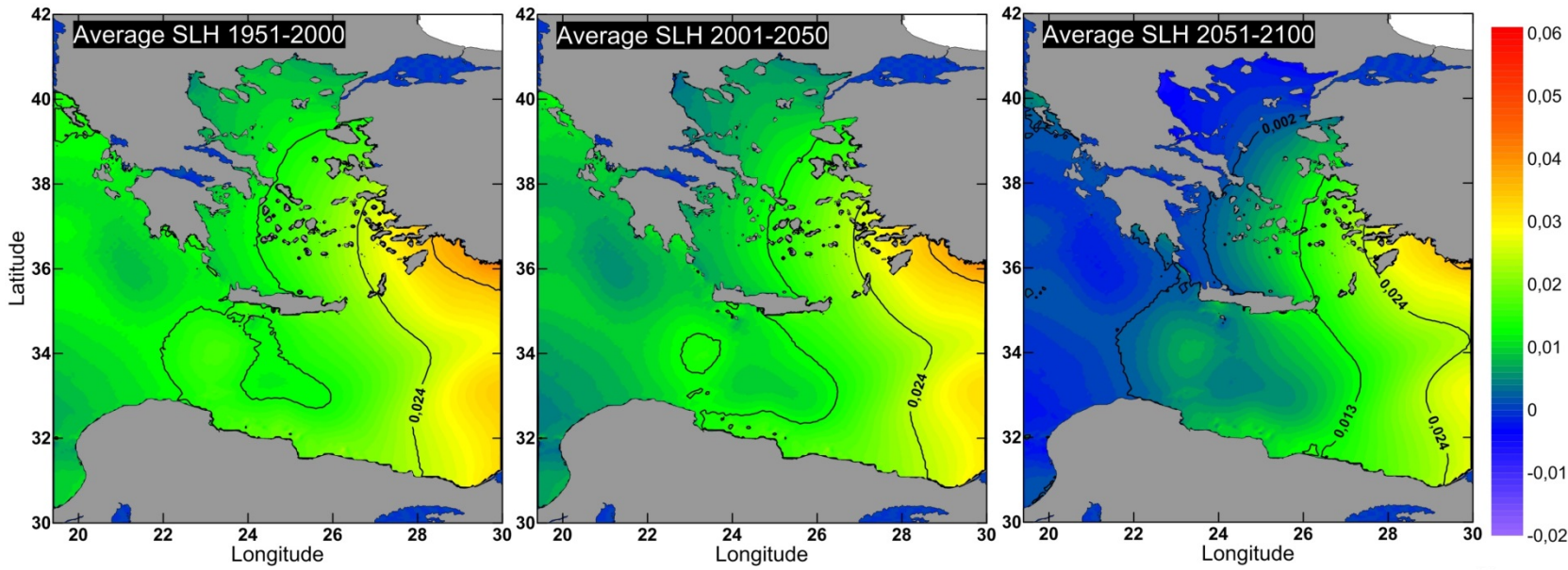
Μοντέλο
GreCSS

Περίοδος Αναφοράς 1^η 50-ετία 21^{ου} αιώνα 2^η 50-ετία 21^{ου} αιώνα

Μέγιστο SLH

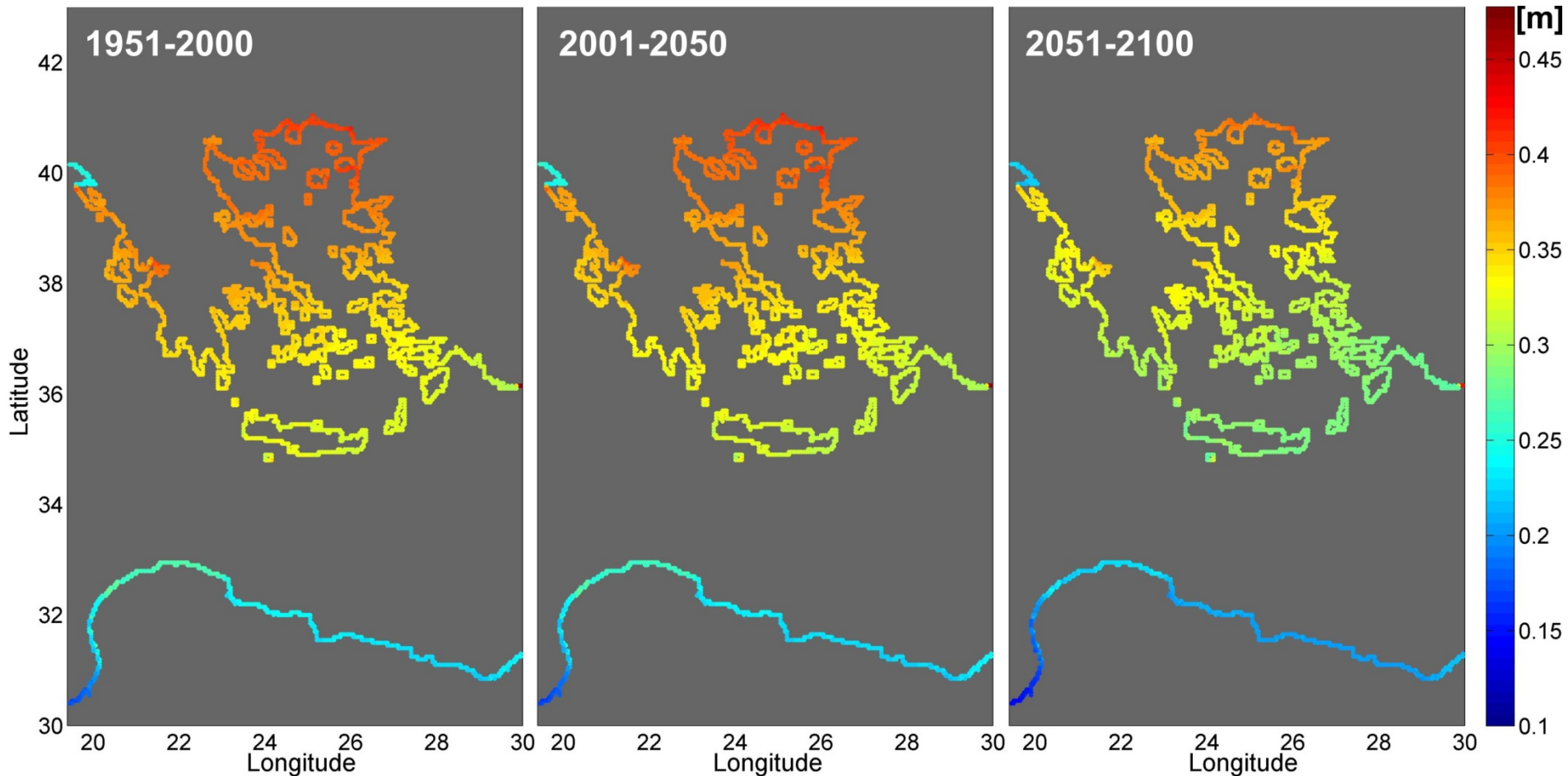


Μέσο SLH



Αποτελέσματα Στατιστικά σημαντική τιμή ανύψωσης ΜΣΘ (SSI)

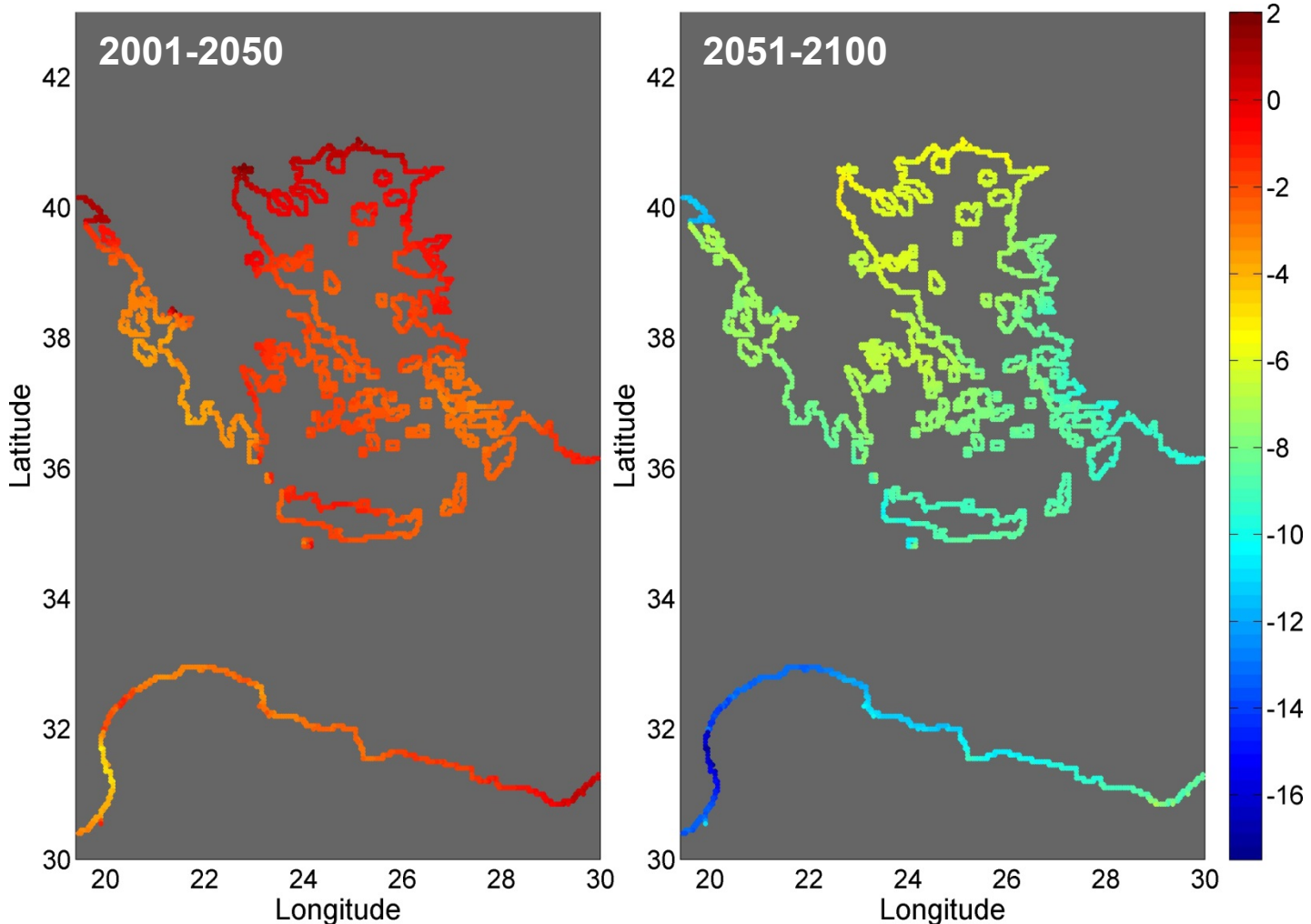
- Δείκτης SSI **μειώνεται** από Βορρά προς Νότο, με τιμές από 40-48cm κατά μήκος των βόρειων ακτών έως 30-35cm στο Νότιο Αιγαίο και τις ακτές της Κρήτης ($SLH_{max}=0.6m$)
- 1^η **50ετία** του 21^{ου} αιώνα: οι τιμές είναι στα ίδια επίπεδα με αυτές του παρελθόντος
- 2^η **50ετία**: εμφανής μείωση της στατιστικά σημαντικής ανύψωσης της ΜΣΘ στο σύνολο σχεδόν του πεδίου 35-40cm στις βόρειες ακτές του Αιγαίου και 27-30cm στις νότιες ακτές



Αποτελέσματα Δείκτης κλιματικής αλλαγής (CCI) στην παράκτια ζώνη

- Ο δείκτης CCI για την περίοδο 2001-2050 κυμαίνεται μεταξύ +2 και -4% (μέση τιμή -1.5%)
- Στην περίοδο 2051-2100 οι τιμές του δείκτη βρίσκονται μεταξύ -5 και -12% (μέση τιμή -7.5%)

$$CCI (\%) = \frac{SSI_{Future\ 50\ yrs} - SSI_{Past\ 50\ yrs}}{SSI_{Past\ 50\ yrs}} \cdot 100$$



Συμπεράσματα

- ❑ Ακραίες τιμές ΜΣΘ Β. Αιγαίου μεγαλύτερες από αυτές του Κεντρ. και Ν. Αιγαίου λόγω διαφοράς σε μηχανισμούς ατμοσφαιρικής διέγερσης και στην τοπογραφία της περιοχής
- ❑ Ακραία τιμή μέγιστης ετήσιας ΜΣΘ προβλέπεται ότι θα αυξηθεί τον τρέχοντα αιώνα
- ❑ Εποχιακή εμφάνιση ακραίων τιμών μετεωρολογικής παλίρροιας
- ❑ Επίδραση Κλιματικής Αλλαγής:
Βραχυπρόθεσμη (11ετία 2020-2030) αύξηση ετήσιων μέγιστων (SSI)
Μακροπρόθεσμη πτώση SSI ως 2060 και άνοδος ως 2100
- ❑ Τάση εξέλιξης ακραίων τιμών ΜΣΘ (2000-2100) τόσο τοπικά όσο και σε ολόκληρες περιοχές μελέτης παρουσιάζει ελαφρά κάμψη προς το μέσο του 21ου αιώνα και ελαφρά αύξηση στο τέλος
- ❑ Μέση στο χρόνο ΜΣΘ λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας υπό Κλιματική Αλλαγή προβλέπεται ότι θα αυξηθεί στη ΝΑ Μεσόγειο σε σχέση με τις ελληνικές θάλασσες· αντίστροφα για μέγιστη ΜΣΘ
- ❑ CCI 50ετίας στην παράκτια ζώνη: Αύξηση το 1^ο μισό και μείωση το 2^ο του 21^{ου} αιώνα

Δημοσιεύσεις

- Makris C., Androulidakis Y., Karambas T., Papadimitriou A., Metallinos A., Kontos Y., Baltikas V., Chondros M., Krestenitis Y., Tsoukala V. and Memos C. (2020). Integrated modelling of sea-state forecasts for safe navigation and operational management in ports. *Applied Mathematical Modelling*, Elsevier.
- Makris, C., Androulidakis, Y., Baltikas, V., Kontos, Y., Karambas, T., and Krestenitis, Y. (2019). HiReSS: Storm Surge Simulation Model for the Operational Forecasting of Sea Level Elevation and Currents in Marine Areas with Harbor Works. *Proc 1st International Scientific Conference DMPCO*, Athens, Greece, 8-11 May 2019, Vol. 1, pp. 11-15.
- Galiatsatou, P., Makris, C., Kokkinos, D., Prinos, P., and Krestenitis, Y. (2019). Climate Change Effects on Extreme Total Water Levels of the Greek Coastal Zone. *Proc 1st International Scientific Conference DMPCO*, Athens, Greece, 8-11 May 2019, Vol. 2, pp. 169-173.
- Skoulikaris, Ch., Makris, Ch., Mpaltikas, V., Katirtzidou, M. and Krestenitis, Y. (2019). Vulnerability of water-food-environment nexus at coastal areas under climate change. *Proc 7th International CEMEPE and SECOTOX Conference*, Session: Natural Resources Management, Mykonos Island, Greece, 19-24 May 2019, pp. 758-767. Part of ISBN: 978-618-5271-73-2.
- Krestenitis, Y., Pytharoulis, I., Karacostas, T., Androulidakis, Y., Makris, C., Kombiadou, K., Tegoulis, I., Baltikas, V., Kotsopoulos, S. and Kartsios, S. (2017). Severe weather events and sea level variability over the Mediterranean Sea: the WaveForUs operational platform. In: *Perspectives of Atmospheric Sciences* (Eds: Karacostas, T., Bais, A., Nastos, P.T.), Springer Atmospheric Sciences, Pt.1: Meteorology, pp. 63-68. doi:10.1007/978-3-319-35095-0_9.
- Makris, C., Androulidakis, Y., Kombiadou, K., Baltikas, V. and Krestenitis, Y. (2017). The impact of climate change on the storm surges of the Greek seas. *Hydrotechnika: Journal of Fluid Engineering and Water Resources*, Vol. 26, pp. 67-80. (in Greek).
- Androulidakis, Y.S., Kombiadou, K.D., Makris, C.V., Baltikas, V.N. & Krestenitis, Y.N. (2015), Storm surges in the Mediterranean Sea: variability and trends under future climatic conditions, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 71, 56-82.
- Krestenitis, Y.N., Androulidakis, Y.S., Kontos, Y.N., & Georgakopoulos, G. (2011), Coastal inundation in the north-eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events. *Journal of Coastal Conservation*, 15(3), 353-368.