

# ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ «ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ», ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 01/12/2007 ΕΩΣ 30/11/2009.

Παπαδοπούλου Ευαγγελία<sup>1</sup>, Παπαδόπουλος Αναστάσιος<sup>2</sup>, Περιβολιώτης  
Λεωνίδας<sup>3</sup>, Κατσαφάδος Πέτρος<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ελ. Βενιζέλου 7, Καλλιθέα – Αθήνα 17671, email [gs20728@hua.gr](mailto:gs20728@hua.gr), [pkatsaf@hua.gr](mailto:pkatsaf@hua.gr)

<sup>2</sup> Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων, Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ), 46.7km Αθηνών - Σουνίου 19013, θυρίδα 712, Ανάβυσσος, Αττική, email [tpapa@ath.hcmr.gr](mailto:tpapa@ath.hcmr.gr)

<sup>3</sup> Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας, Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ), 46.7km Αθηνών - Σουνίου 19013, θυρίδα 712, Ανάβυσσος, Αττική, email [lperiv@ath.hcmr.gr](mailto:lperiv@ath.hcmr.gr)

## Περίληψη

Το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) λειτουργεί επιχειρησιακά το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ για την παροχή εξειδικευμένων μετρήσεων και προγνώσεων για τις περιβαλλοντικές συνθήκες των Ελληνικών Θαλασσών και της ευρύτερης νοτιοανατολικής Μεσογείου. Πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί δικτυακές εφαρμογές μέσω των οποίων μπορούν να αντληθούν οι μετρήσεις που έχουν συλλεχθεί κατά την πολυετή λειτουργία του δικτύου των πλωτών μετρητικών σταθμών καθώς και οι ατμοσφαιρικές, ωκεανογραφικές και κυματικές προγνωστικές τιμές που παράγονται καθημερινά από τα προγνωστικά μοντέλα του συστήματος «ΠΟΣΕΙΔΩΝ».

Σκοπός της εργασίας είναι ο έλεγχος της προγνωστικής ακρίβειας του συστήματος πρόγνωσης καιρού του ΠΟΣΕΙΔΩΝ, κατά μήκος του Αιγαίου, με βάση τις μετρήσεις από το δίκτυο πλωτών μετρητικών σταθμών (buoys), αξιοποιώντας τις νέες δικτυακές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, οι προγνωστικές τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στο επίπεδο της μέσης στάθμης της θάλασσας και της θερμοκρασίας του αέρα κοντά στην επιφάνεια που αντλήθηκαν από τη δικτυακή πύλη πρόσβασης **LAS** (Poseidon Live Access Server) συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες μετρήσεις από τη βάση δεδομένων **Buoys Data & Metadata Database**. Η χρονική περίοδος που αναλύθηκε ήταν από 01/12/2007 έως 30/11/2009 χρησιμοποιώντας μετρήσεις από τρεις πλωτούς μετρητικούς σταθμούς σε χαρακτηριστικές θέσεις στο Αιγαίο: Άθως (Βόρειο Αιγαίο), Μύκονος (Κεντρικό Αιγαίο) και Σαντορίνη (Νότιο Αιγαίο). Η στατιστική σύγκριση βασίστηκε σε δύο στατιστικούς δείκτες: το **συστηματικό σφάλμα (Bias)** και την **τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (RMSE)**. Προκειμένου να εξεταστεί η εποχιακή διακύμανση της προγνωστικής ικανότητας του συστήματος πρόγνωσης καιρού του ΠΟΣΕΙΔΩΝ η στατιστική ανάλυση εφαρμόστηκε επίσης για τις ψυχρές, τις θερμές και τις μεταβατικές περιόδους και τα πρώτα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν ότι το προγνωστικό σφάλμα είναι μεγαλύτερο όταν συγκρίνεται με τις μετρήσεις του σταθμού της Μυκόνου.

# STATISTICAL EVALUATION OF “POSEIDON”, WEATHER FORECASTING SYSTEM, FOR THE PERIOD 01/12/2007 – 30/11/2009.

Papadopoulou Evangelia<sup>1</sup>, Papadopoulos Anastasios<sup>2</sup>, Perivoliotis Lewnidas<sup>3</sup>,  
Katsafados Petros<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Geography, Harokopion University of Athens, 70 El. Venizelou STR Kallithea – Athens 17671, email [gs20728@hua.gr](mailto:gs20728@hua.gr) , [pkatsaf@hua.gr](mailto:pkatsaf@hua.gr)

<sup>2</sup> Institute of Inland Waters, Hellenic Centre for Marine Research(HCMR) ,46.7km Athens – Sounio ave. , P. C. 19013, P. O. Box 712, Anavyssos Attiki, email [tpapa@ath.hcmr.gr](mailto:tpapa@ath.hcmr.gr)

<sup>3</sup> Institute of Oceanography, Centre for Marine Research(HCMR) ,46.7km Athens – Sounio ave. , P. C. 19013, P. O. Box 712, Anavyssos Attiki, email [lperiv@ath.hcmr.gr](mailto:lperiv@ath.hcmr.gr)

## Abstract

The Hellenic Centre for Marine Research (HCMR) operates the POSEIDON system to provide advanced measurements and forecasts for the environmental conditions of the Greek Seas and the Eastern Mediterranean Sea. Recently, new web applications have been developed to give on-line access to measurements that have been collected during the long-term POSEIDON network operation and to weather, wave and sea state forecasts issued daily, taking advantage of the POSEIDON’s forecasting system.

This study aims to verify the POSEIDON weather forecasts across the Aegean Sea using as reference the measurements from the POSEIDON buoy network, taking advance of the new web applications. More specifically, the forecasts of the mean sea level pressure and the near surface air temperature obtained from the **LAS** (Poseidon Live Access Server) were compared with the corresponding measurements obtained from the **Buoys Data and Metadata Database**. The evaluation has been performed from 01/12/2007 to 30/11/2009 using measurements from three typical observation sites in the Aegean Sea: Athos (North Aegean), Mykonos (Central Aegean) and Santorini (South Aegean). The statistical evaluation was based on two statistical measures: the systematic error (**Bias**) and the Root Mean Square Error (**RMSE**). In order to assess the seasonal variability of the POSEIDON weather forecast skill, the statistical evaluation was carried out also for the cold, warm and transient periods and the first results showed that the system’s error is bigger when compared to Mykonos’s station the measurements.

**Λέξεις κλειδιά:** Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ, Πρόγνωση καιρού, Βάση δεδομένων, Δικτυακή πύλη LAS.

**Key words:** Poseidon system, Weather forecast, Buoys Database and Metadata Database, LAS(Live Access Server).

## 1. Εισαγωγή

Το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) λειτουργεί επιχειρησιακά το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ για την παροχή εξειδικευμένων μετρήσεων και προγνώσεων για τις περιβαλλοντικές συνθήκες των Ελληνικών Θαλασσών. Οι τρεις βασικές συνιστώσες του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ είναι α) το δίκτυο πλωτών μετρητικών σταθμών (buoys) και το τηλεπικοινωνιακό σύστημα που

εξασφαλίζει τη σε πραγματικό χρόνο μετάδοση των δεδομένων, β) το σύνολο των αριθμητικών μοντέλων για την παραγωγή των προγνώσεων καιρού και θαλάσσιας κατάστασης και γ) το σύστημα διάχυσης των μετρήσεων και των προγνώσεων προς την επιστημονική κοινότητα και το ευρύτερο κοινό μέσω της ιστοσελίδας <http://www.poseidon.hcmr.gr> (Nittis et al., 2001).

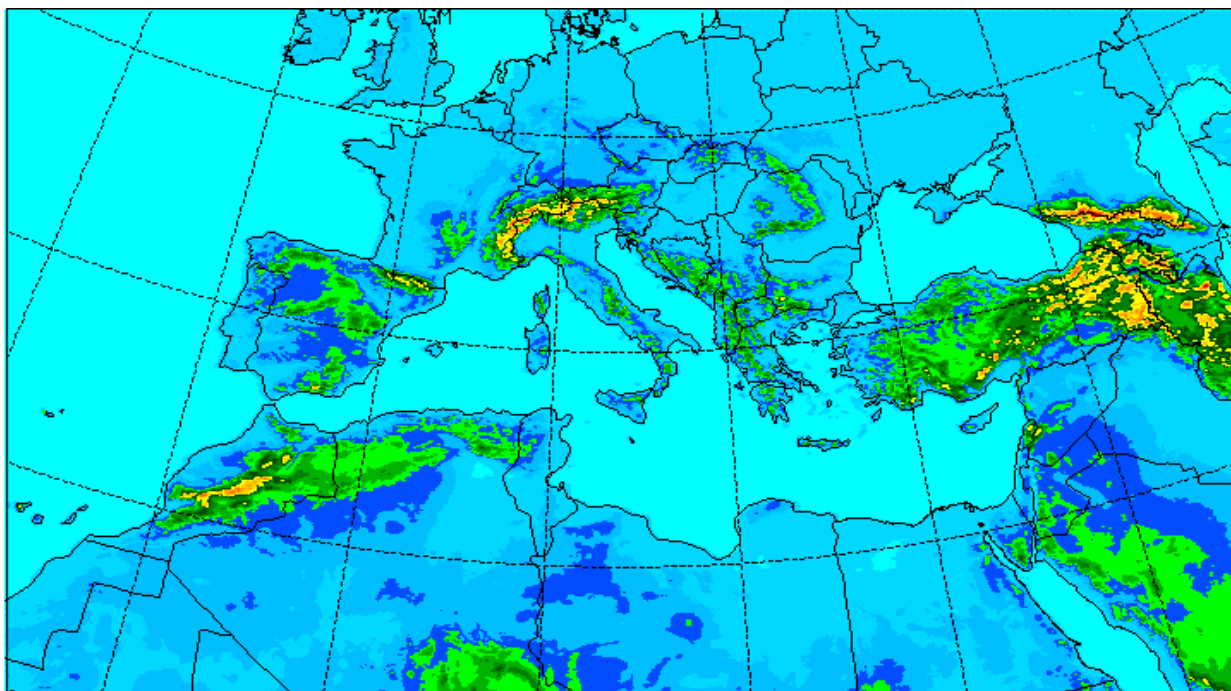
Το δίκτυο των πλωτών μετρητικών σταθμών καταγράφει τις φυσικές, βιολογικές και χημικές παραμέτρους των Ελληνικών θαλασσών σε 8 θέσεις στο Αιγαίο Πέλαγος και σε 2 στο Ιόνιο Πέλαγος. Για την εξυπηρέτηση των επιχειρησιακών αναγκών του συστήματος, το ΕΛΚΕΘΕ διατηρεί και συντηρεί 11 σταθμούς τύπου Seawatch και 5 σταθμούς ανοικτής θαλάσσης τύπου Wavescan. Για την ικανοποίηση των προγνωστικών αναγκών ένα σύνολο από ολοκληρωμένα συστήματα αριθμητικών μοντέλων εφαρμόζονται καθημερινά στο επιχειρησιακό κέντρο του ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Οι προγνώσεις που παράγονται αφορούν τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, τη θαλάσσια κυκλοφορία, τον κυματισμό, την ποιότητα του θαλάσσιου οικοσυστήματος και τη διασπορά και γήρανση πετρελαιοκηλίδων. Πρόσφατα, έχει αναπτυχθεί η δικτυακή πύλη πρόσβασης στα ατμοσφαιρικά, ωκεανογραφικά και κυματικά δεδομένα από τα προγνωστικά μοντέλα του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ, **LAS** (Poseidon Live Access Server).

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογηθεί στατιστικά η αξιοπιστία των δεδομένων του συστήματος πρόγνωσης καιρού ΠΟΣΕΙΔΩΝ, όπως αυτά διατίθενται από τη δικτυακή πύλη πρόσβασης **LAS**. Τα προγνωστικά πεδία της ατμοσφαιρικής πίεσης και της θερμοκρασίας του αέρα κοντά στην επιφάνεια συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες παρατηρήσεις από 3 πλωτούς ωκεανογραφικούς μετρητικούς σταθμούς του ΠΟΣΕΙΔΩΝ που αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων **Buoys Data & Metadata Database** του συστήματος.

## 2. Το σύστημα πρόγνωσης καιρού «Ποσειδών»

Το σύστημα αναπτύχθηκε αρχικά στο πλαίσιο του προγράμματος «Σύστημα καταγραφής και πρόγνωσης της κατάστασης των Ελληνικών Θαλασσών – Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ» και λειτουργεί επιχειρησιακά από το 1999 (Kallos et al., 1997; Papadopoulos et al., 2002). Ο πρωταρχικός στόχος ήταν ο σχεδιασμός ενός αξιόπιστου και υπολογιστικά αποτελεσματικού συστήματος για τη δημιουργία υψηλής ακρίβειας δεδομένων, ιδιαίτερα χρήσιμων για την πρόγνωση των τοπικών ατμοσφαιρικών συνθηκών καθώς και για την τροφοδοσία των προγνωστικών κυματικών και υδροδυναμικών μοντέλων και του προγνωστικού μοντέλου οικοσυστήματος του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ με αναλυτικά πεδία επιφανειακών ροών ορμής, υγρασίας, θερμότητας, ακτινοβολίας (μικρού και μεγάλου μήκους κύματος) και βροχόπτωσης. Η σημαντικότερη και εκτενέστερη αναβάθμιση πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος «Ένα σύστημα δεύτερης γενιάς για τη συνεχή παρακολούθηση και πρόγνωση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην Ανατολική Μεσόγειο: ΠΟΣΕΙΔΩΝ-2» (2005-2008). Οι εργασίες αναβάθμισης επικεντρώθηκαν κυρίως: (α) στην εγκατάσταση της τελευταίας μη υδροστατικής έκδοσης του ατμοσφαιρικού μοντέλου SKIRON/Eta (Janjic et al., 2001), (β) στην ανάπτυξη σύγχρονων σχημάτων παραμετροποίησης των κύριων φάσεων του κύκλου ζωής της εδαφικής σκόνης για την εκτίμηση των διεργασιών παραγωγής, διάχυσης, μεταφοράς και εναπόθεσης, λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή διαφορετικών μεγεθών σωματιδίων σκόνης (Kallos et al., 2006), (γ) στην πιο λεπτομερή επίλυση των φυσικών διεργασιών εφαρμόζοντας προηγμένα σχήματα παραμετροποίησης και (δ) στην εφαρμογή ενός τρισδιάστατου πακέτου αφομοίωσης δεδομένων, του Local Analysis Prediction System (LAPS), για την δημιουργία πεδίων ανάλυσης υψηλής ευκρίνειας.

Στην τελευταία του έκδοση το σύστημα πρόγνωσης καιρού ΠΟΣΕΙΔΩΝ-2 λειτουργεί επιχειρησιακά από το Νοέμβριο 2007 και εφαρμόζεται με οριζόντια ανάλυση  $1/20^\circ \times 1/20^\circ$  (~5 km) σε μια εκτεταμένη περιοχή που καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Μεσόγειου, της Μαύρης Θάλασσας και μεγάλο μέρος της Βόρειας Αφρικής και της Ασίας (Σχήμα 1). Στο κατακόρυφο χρησιμοποιούνται 50 επίπεδα που επεκτείνονται μέχρι το ύψος των 25 hPa (~25 km). Ο προγνωστικός ορίζοντας είναι 120 ώρες (5 ημέρες) και οι βασικοί χάρτες καιρού δημοσιεύονται καθημερινά στην ιστοσελίδα [www.poseidon.hcmr.gr](http://www.poseidon.hcmr.gr).



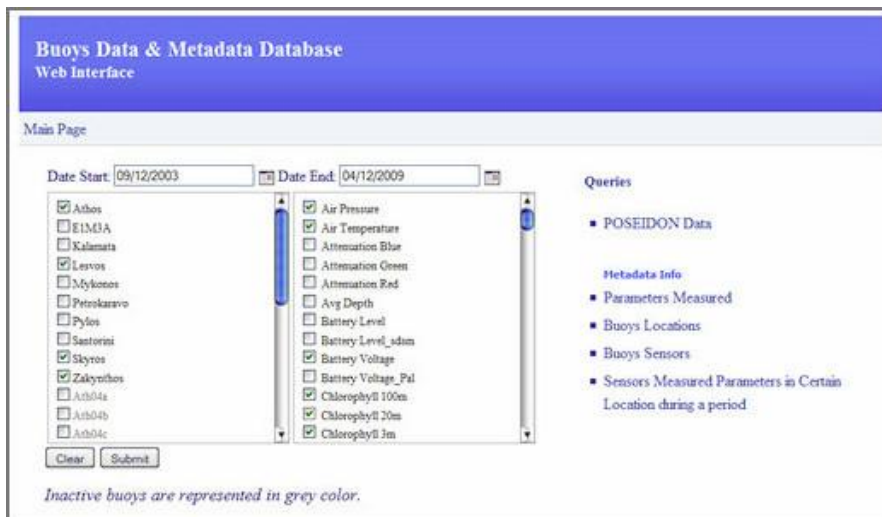
Σχήμα 1. Περιοχή ολοκλήρωσης του συστήματος πρόγνωσης καιρού ΠΟΣΕΙΔΩΝ

### 3. Δεδομένα και Μεθοδολογία

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις της ατμοσφαιρικής πίεσης και της θερμοκρασίας του αέρα στα 2 μέτρα από την επιφάνεια για 3 σταθμούς της Ελλάδας. Η χρονική περίοδος που αναλύθηκε ήταν από 01/12/2007 έως 30/11/2009 και πραγματοποιήθηκε στις θέσεις πόντισης των τριών πλωτών μετρητικών σταθμών. Συγκεκριμένα, με γεωγραφικές συντεταγμένες: Άθως (Γεωγραφικό πλάτος: 24,72 και γεωγραφικό μήκος: 39,96), Μύκονος (Γεωγραφικό πλάτος: 25,46 και γεωγραφικό μήκος: 37,51) και Σαντορίνη (Γεωγραφικό μήκος: 25,49 και γεωγραφικό πλάτος: 36,26).

#### 3.1 Βάση Δεδομένων (Buoy Data and Metadata Database)

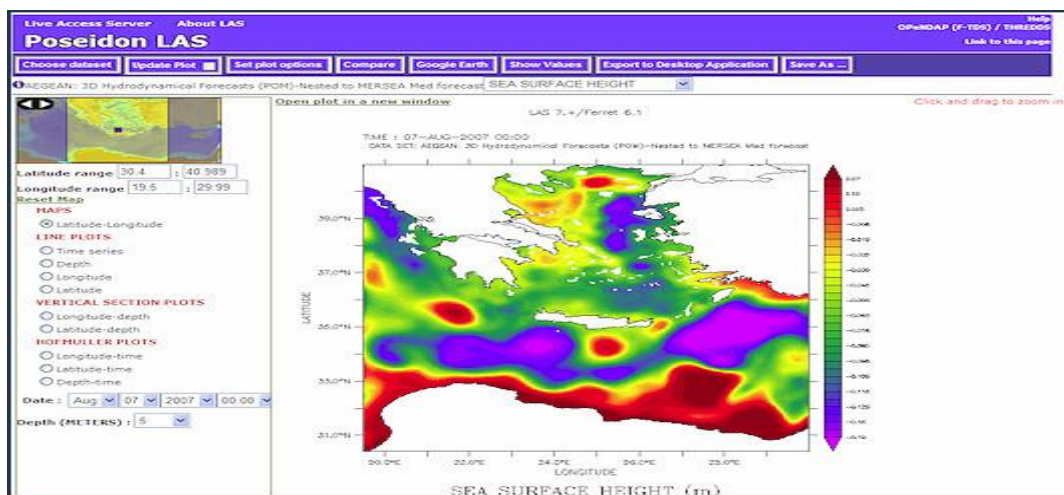
Τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί κατά την πολυετή λειτουργία του δικτύου σταθμών του ΠΟΣΕΙΔΩΝ είναι πλέον προσβάσιμα μέσω μιας δικτυακής εφαρμογής που επικοινωνεί με τη βάση δεδομένων του συστήματος. Η βάση δεδομένων ενημερώνεται σε καθημερινή βάση προσφέροντας πλήρη πρόσβαση τόσο σε παλαιότερα όσο και σε πρόσφατα δεδομένα. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα πρόσβασης επίσης σε μια σειρά επιπλέον δεδομένων που αφορούν τους σταθμούς όπως οι αισθητήρες που έχουν χρησιμοποιηθεί, η ακριβής θέση και η περίοδος λειτουργίας τους καθώς και άλλες συνδυαστικές πληροφορίες. Στο Σχήμα 2 φαίνεται η κεντρική σελίδα από όπου επιλέγονται οι θέσεις των σταθμών και οι μετρήσεις που επιθυμεί ο χρήστης να ανακτήσει.



Σχήμα 2. Βάση Δεδομένων συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ

### 3.2 Δικτυακή πύλη Poseidon Live Access Server (LAS)

Poseidon Live Access Server (LAS) είναι η δικτυακή πύλη πρόσβασης στα αποτελέσματα των προγνωστικών μοντέλων του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ. Μέσω του LAS ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση τόσο στις τρέχουσες όσο και σε παλιότερες προγνώσεις, ορίζοντας την περιοχή ενδιαφέροντος γίνεται η εξαγωγή ή η γραφική παράσταση των δεδομένων της επιλογής του χρήστη. Στο Σχήμα 3 φαίνεται η κεντρική σελίδα από όπου γίνονται οι κατάλληλες ρυθμίσεις από το χρήστη προκειμένου να καθορίσει τη μορφή και τα δεδομένα που επιθυμεί.



Σχήμα 3. Δικτυακή Πύλη LAS.

### 3.3 Μεθοδολογία

Στη στατιστική ανάλυση δύο πληθυσμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετά μεγέθη. Αυτό, όμως, που ενδιαφέρει στο στατιστικό έλεγχο των αποτελεσμάτων ενός επιχειρησιακού συστήματος πρόγνωσης καιρού είναι να εξακριβωθεί, αν παρουσιάζει συστηματική απόκλιση στην εκτίμηση μιας μετεωρολογικής μεταβλητής καθώς επίσης να υπολογιστεί η ακρίβεια των εκτιμήσεων του σε σύγκριση με αντίστοιχες μετρήσεις. Για τον συγκεκριμένο σκοπό επιλέχθηκαν στατιστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται ευρέως σε αξιολογήσεις της προγνωστικής ικανότητας μετεωρολογικών μοντέλων (Wilks, 1995). Τα μεγέθη αυτά είναι: (α) η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των σφαλμάτων (RMSE) και (β) το συστηματικό σφάλμα (BIAS), που υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{N}} \quad (1)$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (M_i - O_i) = \bar{M} - \bar{O} \quad (2)$$

όπου  $O_i$  είναι η μετρούμενη τιμή στη θέση του σταθμού  $i$  και  $M_i$  η αντίστοιχη τιμή που προκύπτει από το μοντέλο για τη συγκεκριμένη μετεωρολογική μεταβλητή. Οι πλωτοί σταθμοί (buoys) που επιλέχθηκαν βρίσκονται στα βόρεια και νότια του Αιγαίου πελάγους καλύπτοντας μ' αυτόν τον τρόπο σχεδόν ολόκληρη την περιοχή του πελάγους και γίνεται δυνατό να αποκομίσουμε συμπεράσματα για την ευρύτερη περιοχή. Γνωρίζοντας λοιπόν τις γεωγραφικές συντεταγμένες των πλωτών σταθμών έγινε η επιλογή των τεσσάρων σημείων πλέγματος του μοντέλου που περικλείουν τη θέση του σταθμού μέτρησης, για τα οποία είναι διαθέσιμες οι προγνωστικές τιμές από τη βάση δεδομένων Poseidon Live Access Server. Έτσι, η τιμή  $M$  υπολογίζεται με παρεμβολή από τις αντίστοιχες προγνωστικές τιμές των τεσσάρων αυτών σημείων πλέγματος, δίνοντας περισσότερη βαρύτητα στα κοντινότερα σημεία πλέγματος, σύμφωνα με τη σχέση:

$$M = \frac{\sum_{k=1}^4 w_k \cdot M_k}{\sum_{k=1}^4 w_k} \quad (3)$$

όπου  $M_k$  είναι η εκτιμώμενη τιμή της μεταβλητής στο  $k$  γειτονικό σημείο πλέγματος και  $w_k$  είναι ένας συντελεστής βαρύτητας, που ορίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα κοντινότερα σημεία πλέγματος να επιδρούν περισσότερο και ορίζεται ως:

$$w_k = \frac{1}{r_k^2} \quad (4)$$

όπου  $r_k$  είναι η απόσταση του  $k$  γειτονικού σημείου πλέγματος από τη θέση του σταθμού.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις από τους σταθμούς πραγματοποιούνται κάθε 3 ώρες και είναι διαθέσιμες από τη βάση δεδομένων ανά τρίωρο. Όμως παρόλο που οι προγνώσεις καιρού είναι διαθέσιμες ανά ώρα, λόγω του τεράστιου όγκου τους, αποθηκεύονται στη

δικτυακή εφαρμογή ανά 6 ώρες. Συνεπώς, τα ζεύγη τιμών των μετρήσεων και των αντίστοιχων προγνωστικών μεταβλητών που εφαρμόστηκε η στατιστική ανάλυση συνθέτουν μια χρονοσειρά ανά 6 ώρες. Ελέγχοντας το πλήθος των διαθέσιμων ζευγών προγνώσεων και μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι στη διάρκεια της περιόδου αξιολόγησης οι προγνώσεις καιρού δεν ήταν διαθέσιμες για 39 ημέρες. Επίσης διαπιστώθηκαν και χρονικά διαστήματα όπου δεν ήταν διαθέσιμες οι μετρήσεις, ελλείψεις που οφείλονται σε διάφορους λόγους, όπως για παράδειγμα σε σφάλματα κατά τη μετάδοση της μέτρησης ή λόγω δυσλειτουργίας του αντίστοιχου αισθητήρα μέτρησης ή ακόμα και καταγραφή μη ρεαλιστικών τιμών. Τελικά, ο ελάχιστος αριθμός ζευγών προγνώσεων και μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση ήταν 2.744, αριθμός αρκετά μεγάλος προκειμένου να μας οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με τις μετρήσεις αναλύεται χωρικά και χρονικά. Με τη χωρική ανάλυση διαπιστώνεται η ακρίβεια του μοντέλου σε κάποια χρονική στιγμή σε συγκεκριμένες θέσεις, ενώ με τη χρονική ανάλυση διαπιστώνεται η χρονική ακρίβεια του μοντέλου σε μια θέση. Προκειμένου να εξεταστεί η εποχική διακύμανση της προγνωστικής ικανότητας του συστήματος πρόγνωσης καιρού του ΠΟΣΕΙΔΩΝ η στατιστική ανάλυση εφαρμόστηκε για τέσσερις περιόδους: ψυχρή, μεταβατική, θερμή και ετήσια (για τα δύο έτη της περιόδου). Ως ψυχρή περίοδο θεωρήθηκαν οι μήνες Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Μάρτιος, ως μεταβατική οι μήνες Απρίλιος, Μάιος, Οκτώβριος και Νοέμβριος και ως θερμή περίοδο οι μήνες Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος.

Η συνδυασμένη σύγκριση των χρονοσειρών για όλες τις θέσεις των σταθμών μέτρησης αποτελεί αξιόπιστο εργαλείο για τη διερεύνηση της συνολικής επίδοσης του μοντέλου. Από τις τιμές του συστηματικού σφάλματος (BIAS) μπορούμε να διαπιστώσουμε αν το μοντέλο υποεκτιμά (αρνητικό BIAS) ή υπερεκτιμά (θετικό BIAS) συστηματικά τη μεταβολή μιας μετεωρολογικής μεταβλητής στο χρόνο. Επίσης επειδή το μέγεθος RMSE υπολογίζεται αθροίζοντας τα τετράγωνα των σφαλμάτων του μοντέλου είναι εμφανές ότι ήταν πολύ ευαίσθητο στις μεγάλες αποκλίσεις. Έτσι, όσο μεγαλύτερη υπολογίζεται η τιμή του τόσο και περισσότερο αποκλίνει το μοντέλο στην εκτίμηση της αναλυμένης μετεωρολογικής μεταβλητής.

## 4. Αποτελέσματα

Για κάθε εποχιακή περίοδο (θερμή, ψυχρή και μεταβατική) και για τη συνολική περίοδο αναλύθηκαν οι χρονοσειρές των μετρήσεων και των προγνωστικών τιμών της ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας και της θερμοκρασίας αέρα σε ύψος 2 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι περίοδοι που είναι πιο χαρακτηριστικές για την μεταβλητή που αξιολογείται, βάση των μέσων τιμών του συστηματικού σφάλματος Bias και του μεγέθους RMSE, συνολικά για τις 120 προγνωστικές ώρες χρησιμοποιώντας τα 6-ωρα ζεύγη παρατηρήσεων-προγνώσεων.

### 4.1 Ατμοσφαιρική πίεση

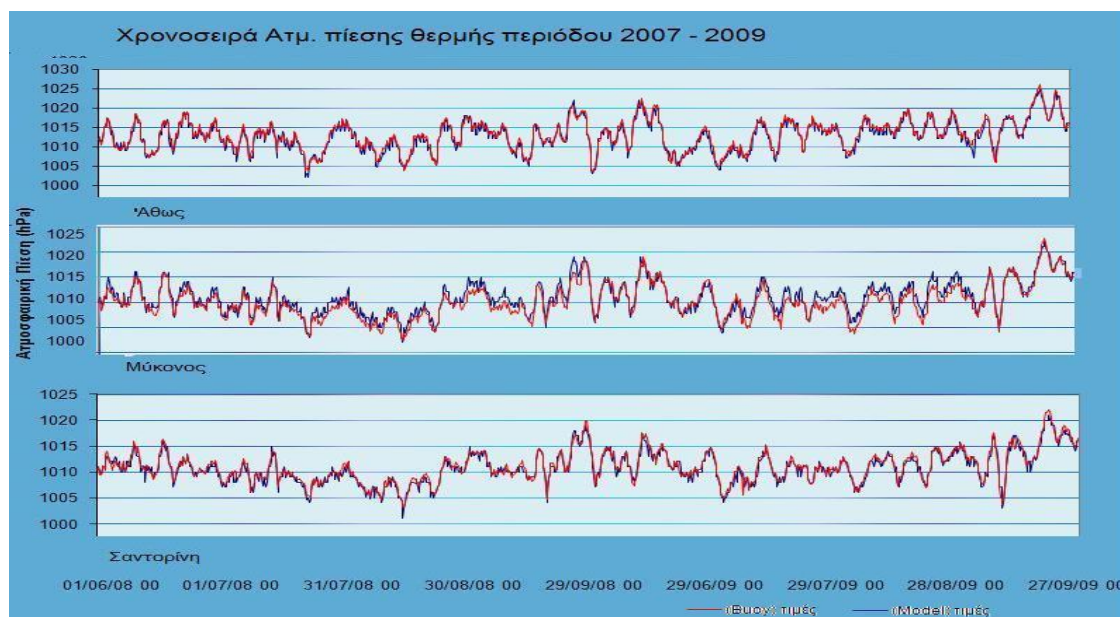
Σύμφωνα με τις μετρήσεις η ατμοσφαιρική πίεση στο Βόρειο Αιγαίο (στον Άθω) την περίοδο μελέτης κυμάνθηκε από 983,58 hPa ως 1.035,70 hPa. Αντίστοιχα οι προγνωστικές τιμές κυμάνθηκαν σε εύρος από 985,13 hPa ως 1036,79 hPa. Από τη στατιστική ανάλυση διαπιστώθηκε ότι οι προγνώσεις παρουσίασαν μικρό συστηματικό σφάλμα σε σύγκριση με τις μετρήσεις (bias=-0,29) με σφάλμα RMSE περίπου 0,97. Όσο αφορά την εποχιακή διακύμανση της αξιοπιστίας της πρόγνωσης στη συγκεκριμένη θέση βρέθηκε ότι την ψυχρή περίοδο παρουσιάζει το μεγαλύτερο σφάλμα (RMSE= 0,71) με σχεδόν αμελητέο συστηματικό σφάλμα (bias= -0,04). Αντίστοιχα για τη θερμή και τη μεταβατική περίοδο το συστηματικό σφάλμα υπολογίστηκε σε -0,39 και -0,10, ενώ το σφάλμα RMSE σε 0,57 και 0,66, αντίστοιχα.



Στο Νότιο Αιγαίο, στο σταθμό της Σαντορίνης, μετρήθηκαν ατμοσφαιρικές πιέσεις που κυμαίνονται από 996,56 hPa έως 1031,81hPa. Η αξιοπιστία των προγνώσεων σε αυτή τη θέση παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή που είδαμε στον Άθω με μηδαμινό συστηματικό σφάλμα ( $bias = -0,15$ ) αλλά σχετικά μεγαλύτερο σφάλμα  $RMSE = 0,81$ . Επίσης, την ψυχρή περίοδο εμφανίζεται το μεγαλύτερο σφάλμα,  $RMSE = 1,26$  με σχεδόν μηδαμινό συστηματικό σφάλμα ( $bias = 0,01$ ). Αντίστοιχα, παρατηρείται ελαφρά υποεκτίμηση τόσο στη μεταβατική ( $bias = -0,22$ ) όσο και τη θερμή περίοδο ( $bias = -0,32$ ) με σχετικά μικρό  $RMSE$ , δηλαδή 0,61 και 0,56 αντίστοιχα.

Στη Μύκονο η ατμοσφαιρική πίεση μετρήθηκε μεταξύ 995,23 hPa έως 1032,90 hPa καθ' όλη τη διάρκεια των δύο ετών. Γενικά παρατηρείται ότι οι προγνώσεις παρουσιάζουν μια μικρή υπερεκτίμηση ( $bias = 0,35$ ) και ελαφρώς μεγαλύτερο σφάλμα  $RMSE = 0,98$ . Εποχιακά, η μεγαλύτερη απόκλιση των προγνώσεων παρατηρούνται τη θερμή περίοδο όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη υπερεκτίμηση στην πρόγνωση της ατμοσφαιρικής πίεσης ( $bias = 0,79$ ) με σφάλμα  $RMSE$  περίπου 1,5. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά μπορεί να ερμηνευθεί από το ότι ο σταθμός της Μυκόνου είναι πολύ κοντά στην ακτή με αποτέλεσμα ένα από τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν στη σχέση παρεμβολής (3) να βρίσκεται στη στεριά, οπότε και η εκτιμώμενη ατμοσφαιρική πίεση να επηρεάζεται από θερμικές κυκλοφορίες που αναπτύσσονται στη στεριά και είναι πιο έντονες στη διάρκεια της θερμής περιόδου. Αντίστοιχα, η στατιστική ανάλυση για την ψυχρή και τη μεταβατική περίοδο οδηγεί σε παρόμοια αποτελέσματα με τις άλλες θέσεις. Δηλαδή, μηδαμινό συστηματικό σφάλμα τόσο για την ψυχρή ( $bias = 0,07$ ) όσο και τη μεταβατική περίοδο ( $bias = 0,03$ ), και σχετικά μικρό σφάλμα  $RMSE$  0,84 και 0,60 για τις δύο περιόδους αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 4 εμφανίζεται η χρονοσειρά των μετρήσεων και των προγνώσεων της ατμοσφαιρικής πίεσης για τη θερμή περίοδο στις θέσεις των τριών σταθμών.



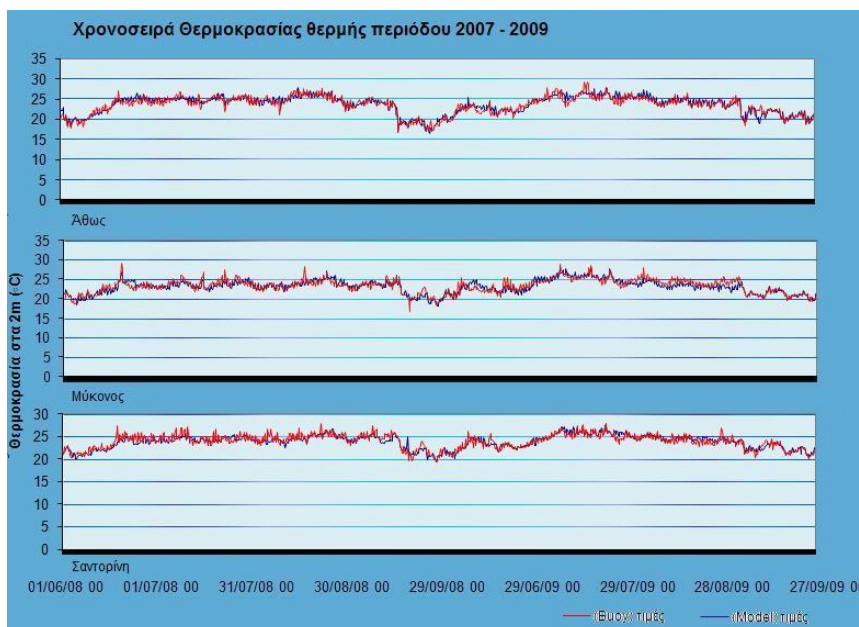
Σχήμα 4. Χρονοσειρά μετρήσεων (κόκκινη γραμμή) και προγνώσεων (μπλε γραμμή) της ατμοσφαιρικής πίεσης, την προγνωστική ώρα 12μμ, για τη θερμή περίοδο 2007 – 2009



## 4.2 Θερμοκρασία αέρα

Η επιφανειακή θερμοκρασία αέρα στον Άθω μετρήθηκε από 0,03°C ως 27,72 °C καθ' όλη τη διάρκεια των 2 ετών, ενώ οι προγνωστικές τιμές κυμάνθηκαν σε εύρος από 0,03°C ως 29,38°C, παρουσιάζοντας μικρή υπερεκτίμηση σε σχέση με τις μετρήσεις (bias= 0,28) και σφάλμα RMSE με τιμή 1,07. Εποχιακά, παρατηρείται ότι το μοντέλο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη υπερεκτίμηση κατά την ψυχρή περίοδο (bias=0,40) όπου και σημειώνεται και το μεγαλύτερο σφάλμα (RMSE= 1,35). Στη διάρκεια της μεταβατικής περιόδου παρατηρείται και πάλι υπερεκτίμηση με μικρότερο όμως συστηματικό σφάλμα (bias=0,36) και σφάλμα RMSE=0,69 ενώ στη θερμή περίοδο παρατηρείται αρκετά μικρότερη υπερεκτίμηση (bias = 0,12) και μικρό σφάλμα RMSE=0,65. Στη Μύκονο οι μετρήσιμες τιμές της θερμοκρασίας αέρα βρίσκονται στο διάστημα 3,88°C – 29,13°C για το διάστημα 2007 – 2009. Για όλη την περίοδο αξιολόγησης οι προγνώσεις παρουσιάζουν μια μικρή υπερεκτίμηση (bias=0,26) και μεγάλο σφάλμα RMSE =1,25. Τους ψυχρούς μήνες αλλά και τη μεταβατική περίοδο σημειώνονται μικρά σφάλματα RMSE, 0,46 και 0,41 αντίστοιχα, και ελαφρά υπερεκτίμηση (bias= 0,25) ενώ τη θερμή περίοδο παρ' όλο που το συστηματικό σφάλμα είναι μικρό και αρνητικό (bias=-0,21), παρατηρείται σημαντική υπερεκτίμηση των πραγματικών μετρήσεων κατά διαστήματα με σφάλμα RMSE=0,88. Η θερμοκρασία του αέρα στο σταθμό της Σαντορίνης μετρήθηκε από 3,06°C έως 27,89°C στη διάρκεια των δύο ετών ενώ οι προγνωστικές τιμές κυμάνθηκαν σε εύρος από 3,06°C ως 30,8°C, παρουσιάζοντας μικρή υποεκτίμηση σε σχέση με τις μετρήσεις (bias= 0,26) και σφάλμα RMSE με τιμή 0,59. Το ψυχρό διάστημα σημειώνεται υπερεκτίμηση (bias= 0,25) με σχετικά μικρό σφάλμα RMSE=0,67, όπως και τη μεταβατική περίοδο όπου το συστηματικό σφάλμα είναι μικρό (bias= 0,11) και σχετικά μικρό σφάλμα RMSE=0,49 και τέλος, η θερμή περίοδος παρουσιάζει σφάλμα RMSE της τάξης του 0,59 με μικρό συστηματικό σφάλμα (bias= -0,10). Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα του προγνωστικού μοντέλου καιρού του «ΠΟΣΕΙΔΩΝΑ» είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό αξιόπιστα ενώ οι μικρές αποκλίσεις που σημειώνονται ορισμένες φορές, οφείλονται στο ίδιο το “μικροκλίμα” που δημιουργείται περιφερειακά των πλωτών σταθμών και δεν αναπαριστάνεται από τη χωρική ανάλυση του μοντέλου.

Στο Σχήμα 5 εμφανίζεται η χρονοσειρά των μετρήσεων και των προγνώσεων της θερμοκρασίας αέρα για τη θερμή περίοδο στις θέσεις των τριών σταθμών.



Σχήμα 5. Χρονοσειρά μετρήσεων (κόκκινη γραμμή) και προγνώσεων (μπλε γραμμή) της θερμοκρασίας αέρα, την προγνωστική ώρα 12 μμ, για την θερμή περίοδο 2007 – 2009

## 5. Συμπεράσματα

Σκοπός της εργασίας αυτής, πέρα από τη στατιστική αξιολόγηση της προγνωστικής ικανότητας του συστήματος πρόγνωσης καιρού ΠΟΣΕΙΔΩΝ, ήταν παράλληλα και η αποτελεσματικότητα της χρήσης της βάσης μεγάλου όγκου δεδομένων LAS όπου αποθηκεύονται απευθείας, τα προγνωστικά πεδία. Χρησιμοποιώντας τις νέες δικτυακές εφαρμογές γρήγορα και με εύχρηστο τρόπο αντλήθηκαν οι προγνώσεις από το LAS καθώς και οι μετρήσεις από τους πλωτούς σταθμούς από τη βάση δεδομένων Buoy Data and Metadata Database. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε στατιστική αξιολόγηση όπου ακολουθήθηκαν διάφορα βήματα και έγινε έλεγχος του πλήθους των στοιχείων που αντλήθηκαν, στατιστική ανάλυση, σύγκριση και έλεγχος της εποχιακής διακύμανσης του προγνωστικού σφάλματος καθώς και η απεικόνιση των χρονοσειρών των προγνώσεων και των μετρήσεων. Τα πρώτα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν ότι το προγνωστικό σφάλμα είναι μεγαλύτερο όταν συγκρίνεται με τις μετρήσεις του σταθμού της Μυκόνου. Η διαπίστωση αυτή υποδεικνύει ότι παρόλο που το μετεωρολογικό μοντέλο εφαρμόζεται με πολύ υψηλή χωρική ανάλυση (περίπου 5 χλμ), δεν μπορεί να αναπαραστήσει με τον ίδιο βαθμό επίδοσης, όπως και στις άλλες δύο θέσεις ανοικτής θάλασσας, τις τοπικές κυκλοφορίες που αναπτύσσονται κοντά στο παράκτιο σταθμό της Μυκόνου. Ο σταθμός της Μυκόνου βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 4 χλμ από τη στεριά.

## Βιβλιογραφία

- Nittis, K., V. Zervakis, L. Perivoliotis, A. Papadopoulos, and G. Chronis, 2001: "Operational Monitoring and Forecasting in the Aegean Sea: System Limitations and Forecasting Skill Evaluation". *Marine Pollution Bulletin*, 43, Issues 7-12, 154-163.
- Janjic ZI, Gerrity J PJr and Nickovic S, 2001: An Alternative Approach to Nonhydrostatic Modeling. *Monthly Weather Review*, 129, 1164-1178.
- Kallos G, Nickovic S, Papadopoulos A, Jovic D, Kakaliagou O, Misirlis N, Boukas L, Mimikou N, Sakellaridis G, Papageorgiou J, Anadranistakis E, and Manousakis M, 1997: The regional weather forecasting system SKIRON: An overview. *Proceedings of the Symposium on Regional Weather Prediction on Parallel Computer Environments*, Athens, Greece, 109-122.
- Kallos G, Papadopoulos A, Nickovic S, and Katsafados P, 2006: Trans-Atlantic North African dust transport: Model simulation. *Journal of Geophysical Research*, 111, D09204, doi:10.1029/2005JD006207.
- Papadopoulos A., G. Kallos, P. Katsafados, and S. Nickovic, 2002: "The Poseidon weather forecasting system: An overview". *The Global Atmosphere and Ocean Systems*, 8, No. 2-3, 219-237 (retitled *Journal of Atmospheric and Ocean Science*).
- Wilks DS, 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Academic Press, 467 pp.