

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΦΥΣΙΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΓΕΝΕΣΗΣ

Π. ΚΑΤΣΑΦΑΔΟΣ¹, Η. ΜΑΥΡΟΜΑΤΙΔΗΣ¹, Α. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ² ΚΑΙ Ι. ΠΥΘΑΡΟΥΛΗΣ³

¹ Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών

² Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων, Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών

³ Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται ένα βαθύ κυκλωνικό σύστημα, που αναπτύχθηκε στην Ανατολική Μεσόγειο και επηρέασε στη συνέχεια τις παράκτιες περιοχές της Νότιας Ελλάδας. Για να προσδιορισθεί η ευαισθησία της καταιγίδας σε διαφορετικές πηγές επιφανειακών θερμοκρασιών θάλασσας πραγματοποιήθηκαν συγκριτικές αριθμητικές προσομοιώσεις με την εφαρμογή ενός μη υδροστατικού ατμοσφαιρικού μοντέλου. Αναλύθηκε επίσης η επίδραση των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών στην ανάπτυξη της καταιγίδας, μέσω προσομοιώσεων με τροποποιημένη τοπογραφία και κατανομή ξηράς-θάλασσας. Οι προσομοιώσεις έδειξαν σημαντική απόκριση της ατμόσφαιρας στον εντοπισμό των ζωνών νετού και στις επιφανειακές ροές θερμότητας. Συνολικά όμως, η φάση και η δομή του συστήματος δεν επηρεάστηκαν σημαντικά από τις διαφοροποιημένες οριακές συνθήκες.

THE ROLE OF SEA SURFACE TEMPERATURES AND THE PHYSIOGRAPHIC CHARACTERISTICS ON THE DEVELOPMENT OF AN EXPLOSIVE CYCLOGENESIS

P. KATSAFADOS¹, E. MAVROMATIDIS¹, A. PAPADOPOULOS² AND I. PYTHAROULIS³

¹ Department of Geography, Harokopio University of Athens, Greece

² Institute of Inland Waters, Hellenic Centre for Marine Research, Greece

³ School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

This paper studies a deep cyclonic system that developed over Eastern Mediterranean and affected the coastal communities of Southern Greece. To this end, comparative numerical simulations were performed based on a non-hydrostatic regional model, in order to determine the sensitivity of the event to various SST sources. The impact of the physiographic characteristics on storm development was also analyzed through sensitivity experiments with modified topography and sea-land distribution. Model outputs suggested a significant atmospheric response in terms of rain-band location and the surface fluxes. However, the phase and the structure of the system were not significantly affected by the different boundary conditions forcing.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

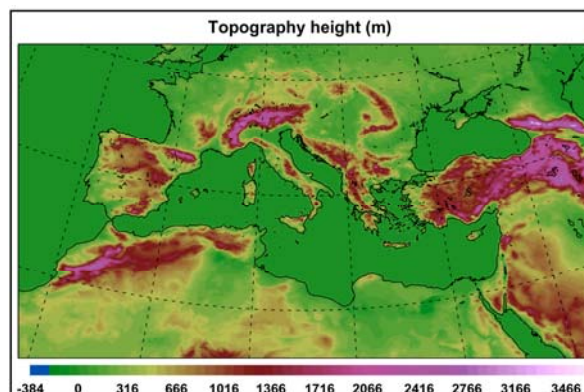
Υπάρχει μια ειδική κατηγορία υποτροπικών κυκλώνων, οι οποίοι αναπτύσσονται κυρίως κατά την χειμερινή περίοδο, σε θαλάσσιο περιβάλλον και σε περιοχές με ισχυρές βαθμίδες της επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας (ΕΘΘ/ 10 °C ανά 180 km). Μία εκρηκτική κυκλογένεση μπορεί να χαρακτηριστεί σαν “βόμβα”, εάν η κεντρική πίεση στο επίπεδο της μέσης στάθμης θάλασσας παρουσιάσει πτώση κατά 1hPa ανά ώρα για

τουλάχιστον 24 ώρες στις 60 °N γεωγραφικό πλάτος (Sanders and Gyakum, 1980). Ο ρόλος των επιφανειακών ροών και της συνοπτικής κυκλοφορίας στην γένεση και εξέλιξη ανάλογων συστημάτων αποτέλεσε αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης (π.χ. Gyakum and Danielson, 2000; Martin and Otkin, 2004). Πρόσφατες εργασίες εστιάζονται στην προσομοίωση των συνθηκών ανάπτυξης περιπτώσεων εκρηκτικής κυκλογένεσης (Yamamoto and Hirose, 2007; Kathleen and Capehart, 2008). Τα πιο χαρακτηριστικά συμπεράσματα από τις παραπάνω μελέτες είναι ότι: α) οι ισχυρές “βόμβες” ενισχύονται ραγδαία όταν διασχίζουν περιοχές όπου επικρατούν μεγάλες βαθμίδες ΕΘΘ, β) τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά και η κατανομή ξηράς-θάλασσας είναι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη καταιγίδων αυτού του τύπου και γ) οι αριθμητικές προσομοιώσεις είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις οριακές συνθήκες της επιφάνειας.

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μελέτης παρουσιάζεται μία ανασκόπηση των αποτελεσμάτων συγκριτικών αριθμητικών προσομοιώσεων ενός επεισοδίου εκρηκτικής κυκλογένεσης σε θαλάσσιο περιβάλλον με την εφαρμογή ενός μη υδροστατικού ατμοσφαιρικού μοντέλου. Στις συγκεκριμένες προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν ως κατώτερες οριακές συνθήκες αναλύσεις καθώς και δορυφορικές και κλιματολογικές βάσεις δεδομένων ΕΘΘ με σκοπό τον προσδιορισμό της επίδρασης των διαφορετικών πηγών ΕΘΘ στην ανάπτυξη και την ένταση της καταιγίδας. Διερευνήθηκε επιπλέον η επίδραση των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών στην ανάπτυξη του συστήματος μέσω πειραμάτων ευαισθησίας με τροποποιημένη τοπογραφία και κατανομή ξηράς-θάλασσας για την περιοχή προσομοίωσης. Για την ανάλυση επιλέχθηκε η περίπτωση 21-22 Ιανουαρίου 2004 καθώς το συγκεκριμένο επεισόδιο κατατάσσεται μεταξύ των τριών ισχυρότερων κυκλωνικών συστημάτων που αναπτύχθηκαν στη Μεσόγειο τις τελευταίες δεκαετίες (Lagouvardos et al., 2007).

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

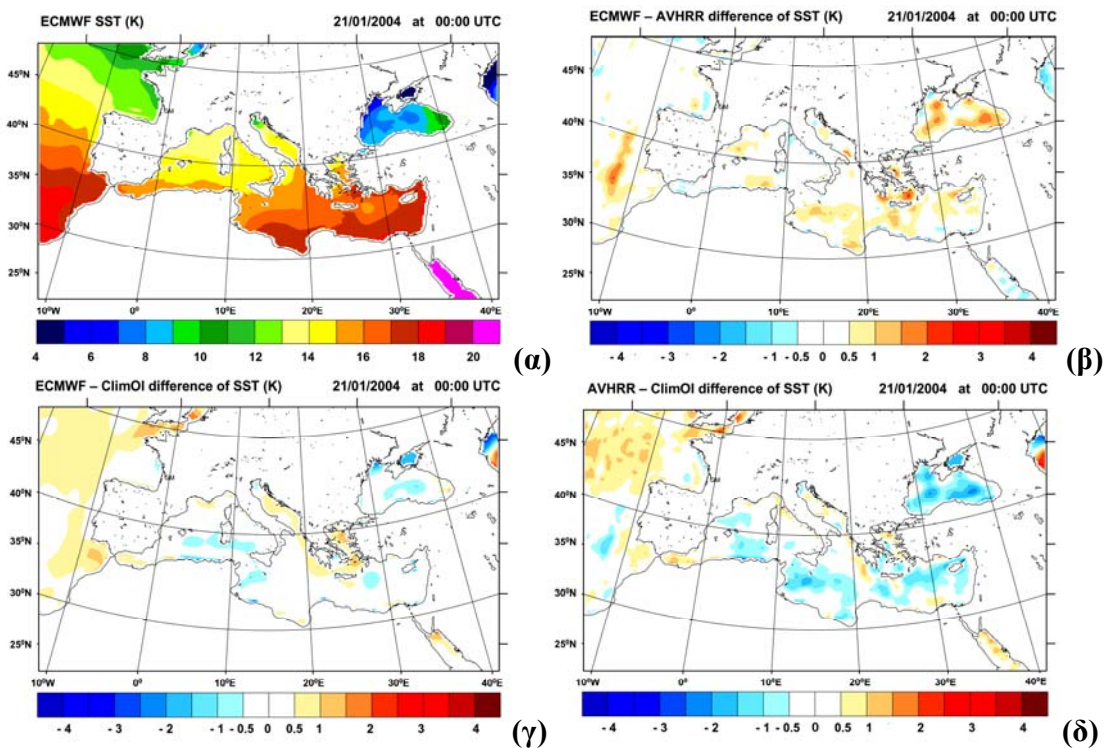
Για την μελέτη του συστήματος εφαρμόστηκε το μη υδροστατικό ατμοσφαιρικό μοντέλο WRF-NMM, σε staggered Arakawa E πλέγμα 305x273 σημείων με 0.09°x0.09° οριζόντια χωρική διακριτότητα (Σχήμα 1).



ΣΧΗΜΑ 1. Τοπογραφία (m) της περιοχής ολοκλήρωσης του μοντέλου.

Η φυσική του μοντέλου βασίζεται στο σχήμα μικροφυσικής Ferrier (Ferrier et al., 2002), στο σχήμα GFDL για την ακτινοβολία μικρού και μεγάλου μήκους κύματος, το σχήμα Betts-Miller-Janjic για την ανοδική μεταφορά (Janjic, 2003), το σχήμα Monin-Obukhov-Janjic για την φυσική του επιφανειακού στρώματος, το σχήμα τυρβώδους κινητικής ενέργειας Mellor-Yamada-Janjic για το οριακό στρώμα και, τέλος, το υπομοντέλο εδάφους του NOAA (Chen and Dudhia, 2001).

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της απόκρισης της ατμόσφαιρας σε συνοπτική και μέση κλίμακα στις διαφορετικές πηγές ΕΘΘ, πραγματοποιήθηκαν τρία (3) πειράματα. Η περίοδος προσομοίωσης ήταν από 00:00 UTC της 21^{ης} Ιανουαρίου 2004 μέχρι 00:00 UTC της 23^{ης} Ιανουαρίου. Ως αρχικές και πλευρικές οριακές συνθήκες χρησιμοποιήθηκαν τα πεδία ανάλυσης του European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) με οριζόντια ανάλυση $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ σε 12 ισοβαρικά επίπεδα μέχρι τα 50 hPa.



ΣΧΗΜΑ 2. (α) Οριζόντια κατανομή της ΕΘΘ στο πλέγμα του μοντέλου από την ανάλυση του ECMWF, (β) Διαφορές ΕΘΘ μεταξύ των ECMWF και AVHRR (γ) Διαφορές ΕΘΘ μεταξύ των ECMWF και ClimOI, και (δ) Διαφορές ΕΘΘ μεταξύ των AVHRR και ClimOI. Διαφορές εύρους -0.5°K έως 0.5°K εμφανίζονται με λευκό χρώμα. Ημερομηνία: 21 Ιανουαρίου 2004 στις 00:00 UTC.

Η πρώτη προσομοίωση, που θεωρείται προσομοίωση ελέγχου, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δεδομένων ανάλυσης ΕΘΘ από το ECMWF (Σχήμα. 2α) με οριζόντια χωρική διακριτότητα $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ και θα αναφέρεται ως προσομοίωση ECMWF-SST. Στη δεύτερη προσομοίωση (AVHRR-SST) χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα ΕΘΘ στο υπέρυθρο τύπου AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) με οριζόντια ανάλυση $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ (Reynolds et al., 2007). Για την τρίτη προσομοίωση

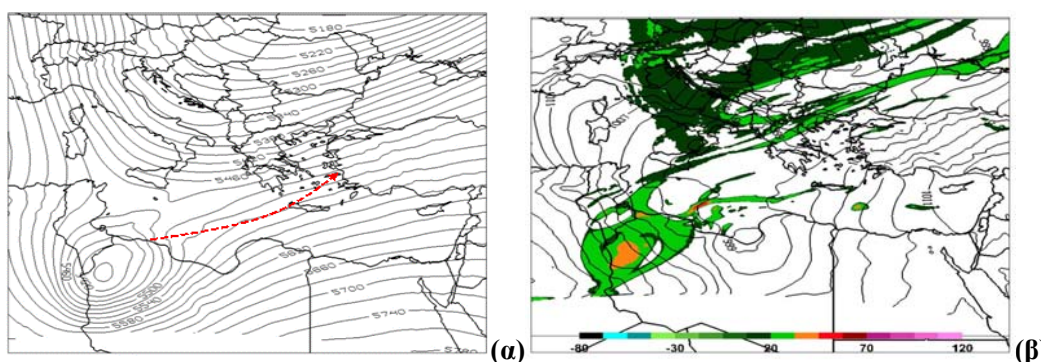
χρησιμοποιήθηκαν μηνιαία κλιματολογικά δεδομένα ΕΘΘ 30 ετών (1971-2000) προερχόμενα από την Optimum Interpolation SST V2 βάση δεδομένων του National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Reynolds et al., 2002) σε ανάλυση $1^\circ \times 1^\circ$ (ClimOI-SST). Τα βασικά χαρακτηριστικά των ΕΘΘ που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα συνοψίζονται στον Πίνακα 1, ενώ στα Σχήματα 2β έως 2δ παρουσιάζονται οι διαφορές τους στην περιοχή ολοκλήρωσης (Katsafados et al., 2009). Οι αναλύσεις ECMWF εμφανίζουν μέχρι 3°K θερμότερες κατανομές ΕΘΘ στο Αιγαίο σε σχέση με τα δεδομένα AVHRR (Σχήμα 2β), ενώ δεν εντοπίζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ ECMWF και ClimOI (Σχήμα 2γ).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Οι προσομοιώσεις και οι πηγές των ΕΘΘ

Προσομοιώσεις	Πηγές ΕΘΘ	Οριζόντια ανάλυση ($^\circ$)
1. ECMWF-SST	Δεδομένα ΕΘΘ ανάλυσης του ECMWF	$0.5^\circ \times 0.5^\circ$
2. AVHRR-SST	Δορυφορικά δεδομένα ΕΘΘ από AVHRR	$0.25^\circ \times 0.25^\circ$
3. ClimOI-SST	Κλιματικά δεδομένα ΕΘΘ από το NOAA	$1.0^\circ \times 1.0^\circ$

3. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η συνοπτική περιγραφή του συστήματος βασίζεται στα αποτελέσματα της προσομοίωσης ECMWF-SST. Το κυκλωνικό σύστημα δημιουργήθηκε κατά τις μεσημβρινές ώρες της 21^{ης} Ιανουαρίου του 2004 στον Κόλπο της Σύρτης, και συνδύαστηκε με ένα αποκομμένο χαμηλό πάνω από τη Λιβύη (Σχήμα 3α). Ο απόλυτος στροβιλισμός στα 500 hPa παρουσίασε μέγιστο δυτικά του κυκλώνα επιφανείας με τιμή περίπου $30.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (Σχήμα 3β). Το σύστημα ενισχύθηκε με ρυθμό 11 hPa σε 12 ώρες (από 12:00 UTC της 21^{ης} Ιανουαρίου μέχρι 00:00 UTC της 22^{ας} Ιανουαρίου) και κινήθηκε προς τη Νότια Ελλάδα.

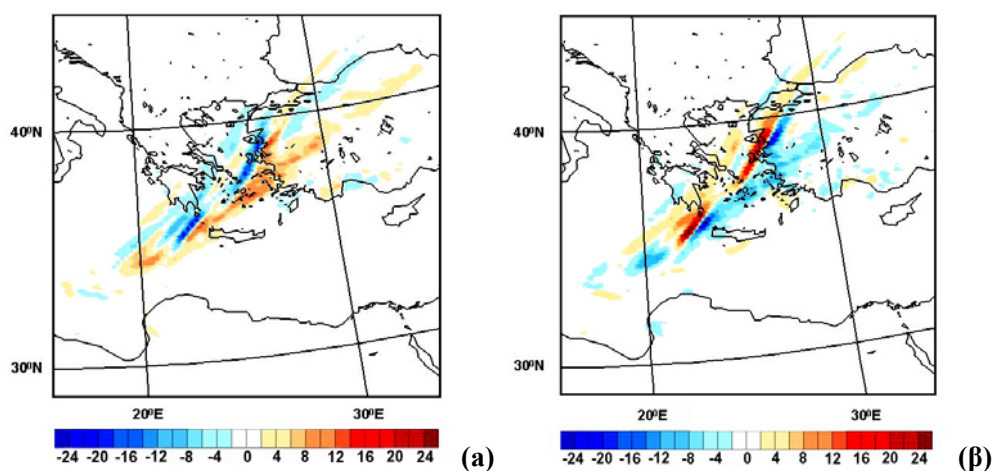


ΣΧΗΜΑ 3. (α) Γεωδυναμικό ύψος στα 500 hPa (ανά 20 gpm), και β) ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη θάλασσας (συνεχείς γραμμές ανά 2 hPa) και απόλυτος στροβιλισμός στο επίπεδο των 500 hPa (ανά $5.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, απεικονίζονται τιμές μεγαλύτερες από $15.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$), εστιασμένα στην Ανατολική Μεσόγειο, για την 21^η Ιανουαρίου 2004 στις 12:00 UTC. Με την κόκκινη γραμμή στο (α) συμβολίζεται η πραγματική τροχιά του συστήματος στη μέση στάθμη θάλασσας.

Στις 12:00 UTC της 22^{ας} Ιανουαρίου η συνολική μείωση της επιφανειακής πίεσης ήταν 24 hPa σε 24 ώρες. Είναι χαρακτηριστικό ότι στη Σάμο καταγράφηκε πίεση επιφανείας ίση με 976 hPa, ενώ το απόλυτο ελάχιστο (972 hPa) παρατηρήθηκε στην Ικαρία (Μπρίκας, 2006; Pytharoulis, 2008). Κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ο απόλυτος στροβιλισμός στην Ανατολική Μεσόγειο ήταν $60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, ενώ η καταιγιδόφορος δραστηριότητα μεγιστοποιήθηκε στην περιοχή μεταξύ της Κύπρου και των Τουρκικών ακτών καθώς ο άξονας της ύφεσης στην ανώτερη ατμόσφαιρα κινήθηκε ανατολικά (Lagouvardos et al., 2007).

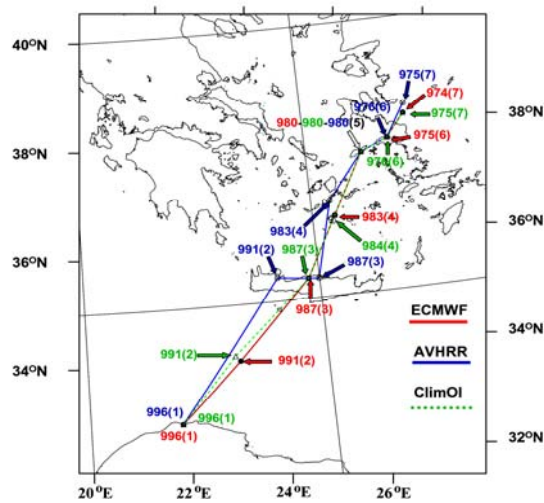
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η απόκριση του συστήματος από την εφαρμογή διαφορετικής φύσης ΕΘΘ ως κατώτερων οριακών συνθηκών στις τρεις προσομοιώσεις ευαισθησίας εμφανίζεται σχετικά περιορισμένη. Οι σημαντικότερες διαφορές εντοπίζονται στην ταχύτητα μετάβασης της ζώνης υετού, η οποία φαίνεται να κινείται ταχύτερα στην προσομοίωση ECMWF-SST σε σχέση με την προσομοίωση AVHRR-SST (Σχήμα 4α). Στην περίπτωση των προσομοιώσεων AVHRR-SST και ClimOI-SST η ζώνη υετού κινείται ταχύτερα στην προσομοίωση ClimOI-SST (Σχήμα 4β). Αντίθετα, πολύ μικρές διαφορές εμφανίζονται στην ταχύτητα κίνησης της ζώνης βροχόπτωσης μεταξύ των προσομοιώσεων ECMWF-SST και ClimOI-SST.



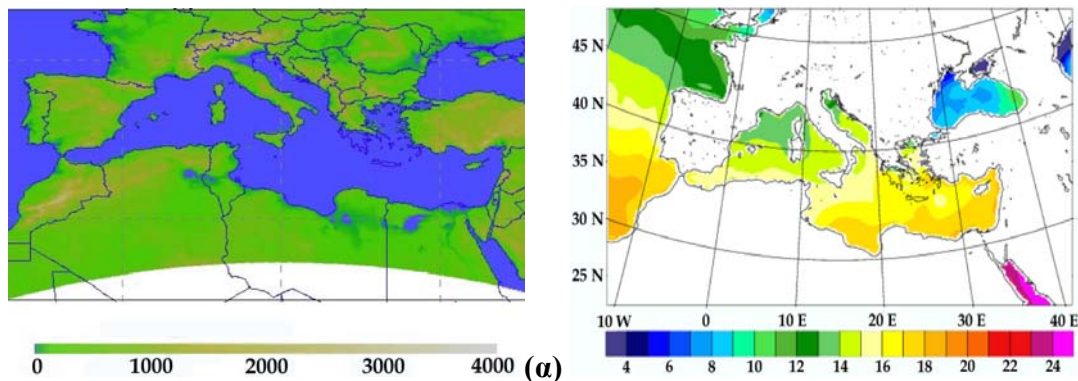
ΣΧΗΜΑ 4. Διαφορές της 12-ωρης αθροιστικής βροχόπτωσης (mm) μεταξύ των προσομοιώσεων: α) ECMWF-SST και AVHRR-SST, και β). AVHRR-SST και ClimOI-SST για την περίοδο 18:00 UTC, 21 Ιανουαρίου 2004 έως 06:00 UTC, 22 Ιανουαρίου 2004.

Η ταχύτερη μετακίνηση της ζώνης βροχόπτωσης στην προσομοίωση με την θερμότερη ΕΘΘ, οφείλεται στις ισχυρότερες επιφανειακές ροές θερμότητας, οι οποίες ενισχύουν την αστάθεια στα κατώτερα στρώματα της καταιγίδας. Στην προσομοίωση ECMWF-SST οι επιφανειακές ροές λανθάνουσας θερμότητας είναι αυξημένες μέχρι και 150 W/m^2 συγκριτικά με τις επιφανειακές ροές που υπολογίζονται στην προσομοίωση AVHRR-SST (Katsafados et al., 2009).



ΣΧΗΜΑ 5. Τροχιές της καταιγίδας για την χρονική περίοδο από 18:00 UTC της 21^{ης} Ιανουαρίου έως 12:00 UTC της 22^{ας} Ιανουαρίου 2004 των τριών προσομοιώσεων που αναφέρονται στον πίνακα 1. Οι τιμές αναφέρονται στην κεντρική πίεση (hPa) του συστήματος ενώ οι τιμές στις παρενθέσεις αντιστοιχούν στα τρίωρα (1-7) για τη συγκεκριμένη περίοδο.

Οι εκτιμούμενες τροχιές της καταιγίδας για κάθε πείραμα με τις τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στο κέντρο του χαμηλού (ανά 3 ώρες) από τις 18:00 UTC της 21^{ης} Ιανουαρίου 2004 μέχρι τις 12:00 UTC της 22^{ας} Ιανουαρίου 2004 παρουσιάζονται στο Σχήμα 5. Με βάση τα αποτελέσματα, η χρήση διαφορετικών τύπων ΕΘΘ φαίνεται να έχει περιορισμένη επίδραση στην ένταση και στην φάση του συστήματος. Οι τροχιές και οι τιμές πίεσης στο κέντρο του χαμηλού εμφανίζονται παρόμοιες για τις προσομοιώσεις ECMWF-SST και ClimOI-SST, ενώ σχετικά σημαντικότερες διαφοροποιήσεις εντοπίζονται στο πείραμα AVHRR-SST όπου το σύστημα φαίνεται να κινείται σε σχετικά βορειότερες τροχιές.

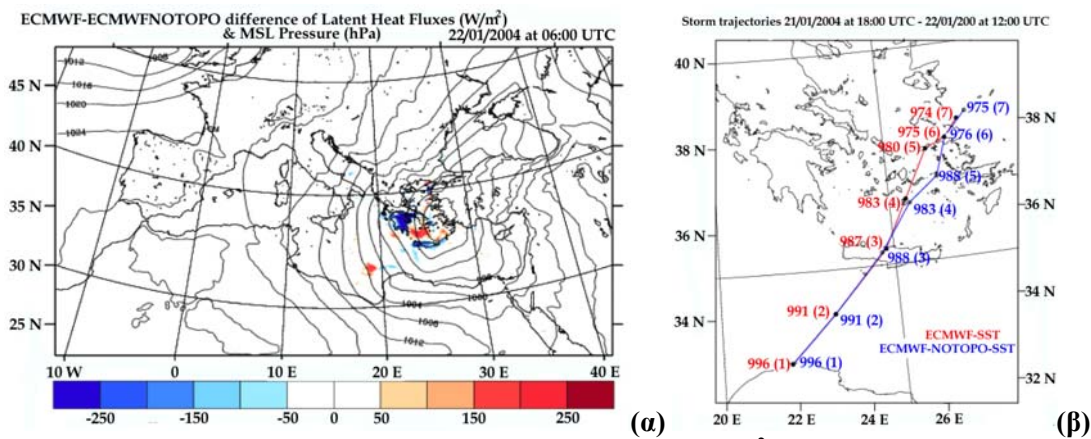


ΣΧΗΜΑ 6. (α) Τροποποιημένη τοπογραφία της περιοχής ολοκλήρωσης και (β) τροποποιημένη ΕΘΘ βασισμένη στην ανάλυση του ECMWF για την 21^η Ιανουαρίου 2004 στις 00:00 UTC.

Για την εκτίμηση της επίδρασης των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών και της κατανομής ξηράς-θάλασσας στην ανάπτυξη της καταιγίδας πραγματοποιήθηκε ένα επιπλέον πείραμα (ECMWF-NOTOPO-SST) με βάση σενάριο κατά το οποίο εκτεταμένες

περιοχές ξηράς πάνω από τις οποίες κινήθηκε το σύστημα (όπως η Πελοπόννησος, η Κρήτη και νησιά του Κεντρικού και Ανατολικού Αιγαίου) θεωρούνται θαλάσσιες (Σχήμα 6α). Οι τιμές ΕΘΘ των αναλύσεων του ECMWF, στις περιοχές όπου απομακρύνθηκε το ανάγλυφο, αντικαταστάθηκαν με τη μέθοδο διωνυμικής παρεμβολής από τις θερμοκρασίες θάλασσας των γειτονικών σημείων (Σχήμα 6β).

Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ελέγχου ECMWF-SST οι διαφορές στις επιφανειακές ροές λανθάνουσας θερμότητας υπερβαίνουν τα 250 W/m^2 στις περιοχές μεταβολής των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών (Σχήμα 7α). Όμως, οι σημαντικές χωρικές διαφοροποιήσεις των επιφανειακών ροών δεν φαίνεται να επιφέρουν ουσιαστική απόκριση στην τροχιά και την ένταση του συστήματος. Ειδικότερα, στο πείραμα ECMWF-NOTOPO-SST εντοπίζεται περιορισμένη απόκλιση στην τροχιά της καταιγίδας προς τα νότια κατά το πέρασμα της από το κεντρικό Αιγαίο ενώ οι κεντρικές πιέσεις του συστήματος παραμένουν αμετάβλητες (Σχήμα 7β).



ΣΧΗΜΑ 7. (α) Διαφορές λανθάνουσας ροής θερμότητας (W/m^2) μεταξύ των ECMWF-SST και ECMWF-SST-NOTOPO για τις 22 Ιανουαρίου στις 06:00 UTC. Διαφορές εύρους -50 W/m^2 έως 50 W/m^2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα (β) Τροχιές της καταιγίδας για την χρονική περίοδο από 18:00 UTC της 21^{ης} Ιανουαρίου μέχρι τις 12:00 UTC της 22^{ας} Ιανουαρίου 2004, της προσομοίωσης ελέγχου ECMWF-SST (κόκκινη γραμμή) και της προσομοίωσης με την τροποποιημένη τοπογραφία ECMWF-NOTOPO-SST (μπλε γραμμή). Οι τιμές αναφέρονται στην κεντρική πίεση (hPa) του συστήματος ενώ οι τιμές στις παρενθέσεις αντιστοιχούν στα τρίωρα (1-7) για τη συγκεκριμένη περίοδο.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη συγκεκριμένη εργασία διερευνήθηκε η απόκριση μίας περίπτωσης εκρηκτικής κυκλογένεσης στις επιφανειακές ροές. Η ανάλυση υλοποιήθηκε μέσω συγκριτικών αριθμητικών προσομοιώσεων με εφαρμογή διαφορετικής φύσης ΕΘΘ ως κατώτερες οριακές συνθήκες. Επίσης, διερευνήθηκε η επίδραση των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών στην ανάπτυξη της καταιγίδας μέσω πειραμάτων ευαισθησίας με τροποποιημένη τοπογραφία και κατανομή ξηράς-θάλασσας για την περιοχή ολοκλήρωσης.

Οι προσομοιώσεις ευαισθησίας έδειξαν σχετικά περιορισμένη απόκριση του συστήματος στις επιφανειακές ροές πάνω από το θαλάσσιο περιβάλλον. Σημαντικές

διαφοροποιήσεις της λανθάνουσας ροής θερμότητας ($150-250 \text{ W/m}^2$) δεν επέφεραν ανάλογες μεταβολές στην φάση και την ένταση της καταιγίδας. Το σύστημα φαίνεται ότι ελεγχόταν κυρίως από τις συνοπτικές συνθήκες που επικρατούσαν στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Μεταβολές στην ταχύτητα μετάβασης των ζωνών υετού στις περιπτώσεις θερμότερων ΕΘΘ μπορούν να αποδοθούν κυρίως στις ισχυρότερες επιφανειακές ροές, οι οποίες προκάλεσαν ισχυρότερη αποσταθεροποίηση στο οριακό στρώμα της καταιγίδας. Ο μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο οι διαφορές των επιφανειακών ροών (προερχόμενες από διαφορές των ΕΘΘ) είναι το αίτιο για τη μεταβολή των ταχυτήτων μετάβασης στις ζώνες υετού, απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση και εμπλουτισμό με επιπλέον περιπτώσεις μελέτης.

6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Chen F and Dudhia J, 2001: Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity, *Monthly Weather Review*, 129 (4), 569-585.
- Ferrier BS, Jin Y, Lin Y, Black T, Rogers E and DiMego G, 2002: Implementation of a new grid-scale cloud and precipitation scheme in the NCEP Eta model. *Preprints, 15th Conf. on Numerical Weather Prediction*, San Antonio, TX, Amer. Meteor. Soc., 280-283.
- Gyakum JR, and Danielson R.E, 2000: Analysis of meteorological precursors to ordinary and explosive cyclogenesis in the western north pacific, *Monthly Weather Review*, 128, 851-863.
- Janjic ZI, 2003: A nonhydrostatic model based on a new approach, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 82, 271-285.
- Kathleen MC and Capehart WJ, 2008: Sensitivity of medium-range forecasts in WRF to Sea Surface Temperatures, *9th WRF Users Workshop*, 23-27 June 2008, Boulder, Colorado.
- Katsafados P, Mavromatidis E, Papadopoulos A and Pytharoulis I, 2009: The role of SSTs in the development of explosive cyclogenesis: The storm of 21-22 January 2004 in the Eastern Mediterranean, *11th Plinius Conference on Mediterranean Storms*, Barcelona, Spain.
- Lagouvardos K, Kotroni V and Defer E, 2007: The 21-22 January 2004 explosive cyclogenesis over the Aegean Sea: Observations and model analysis, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 133, 1519-1531.
- Martin JE and Otkin JA, 2004: The rapid growth and decay of an extratropical cyclone over the central Pacific Ocean, *Weather and Forecasting*, 19, 358-376.
- Μπρίκας Δ, 2006: *Ο υποτροπικός αεροχείμαρρος και η συμβολή του στη δημιουργία και ένταση εξαιρετικών καιρικών φαινομένων στον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 270 σελ.
- Pytharoulis I, 2008: Numerical study of the eastern Mediterranean “bomb” of January 2004, *8th Annual Meeting of the European Meteorological Society and European Conference on Applied Climatology*, Amsterdam, Holland.
- Reynolds RW, Rayner NA, Smith TM, Stokes DC and Wang W, 2002: An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate, *Journal of Climate*, 15, 1609-1625.
- Reynolds RW, Smith TM, Liu C, Chelton DB, Casey KS and Schlax MG, 2007: Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature, *Journal of Climate*, 20, 5473-5496.
- Sanders F and Gyakum JR, 1980: Synoptic-dynamic climatology of the bomb, *Monthly Weather Review*, 108, 1589-1606.
- Yamamoto M, and Hirose N, 2007: Impact of SST reanalyzed using OGCM on weather simulation: A case of developing cyclone in the Japan Sea area, *Geophysical Research Letters*, 34, L005808.