



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

Π.Μ.Σ. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

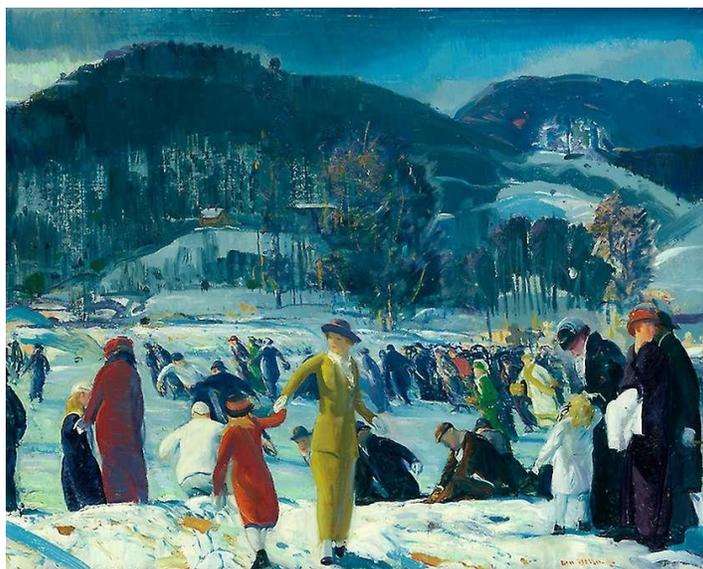


ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΟΥ ΖΩΗ

ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ Α.Π.Θ.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΕΝΤΟΝΗΣ ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΗΣ  
ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΗΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2023





ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΟΥ ΖΩΗ

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 08618

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΕΝΤΟΝΗΣ ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΗΣ  
ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΗΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας  
, Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας,  
Π.Μ.Σ. Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

Δρ. Πυθαρούλης Ιωάννης (Αναπληρωτής Καθηγητής) ....., Επιβλέπων

Δρ. Ζάνης Πρόδρομος (Καθηγητής) ....., Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Δρ.Μπαμπζέλης Δημήτριος (Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό) ....., Μέλος  
Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής



© Δημητριάδου Ζωή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΕΝΤΟΝΗΣ ΧΙΟΝΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΗΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ.- ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

© Zoi Dimitriadou, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology, 2023

All rights reserved.

NUMERICAL STUDY OF AN INTENSE SNOWFALL EVENT IN GREECE AND ITS SENSITIVITY TO SEA SURFACE TEMPERATURES- Master Thesis

Citation: Δημητριάδου Ζ. 2023. – Αριθμητική μελέτη περίπτωσης έντονης χιονόπτωσης στην Ελλάδα και της ευαισθησίας της στις επιφανειακές θερμοκρασίες της θάλασσας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 247 σελ.

Dimitriadou Z., 2023. – Numerical Study of An Intense Snow Fall In Greece And Its Sensitivity To Sea Surface Temperatures Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 247pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του ΑΠΘ

*Εικόνα Εξωφύλλου: Love of Winter 1914, George Wesley Bellows*



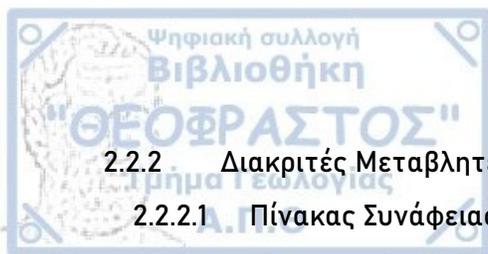
Στους γονείς μου Άννα και Ανέστη,  
Και στην Μπουκιά,



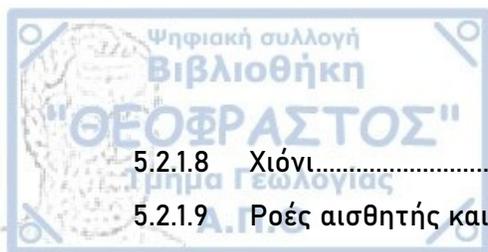


## Περιεχόμενα

i. Περίληψη.....	xii
ii. Abstract.....	xiii
iii. ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	xiv
iv. Πίνακας Ακρωνύμων.....	xvi
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Χιονοπτώσεις στην Ελλάδα και στην Αττική.....	1
1.2 Φαινόμενο επίδρασης θάλασσας ( και γενικότερα υδάτινων επιφανειών) σε έντονες χιονοπτώσεις.....	3
1.3 Επιρροή θερμοκρασιών επιφανείας θάλασσας στο φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow).....	6
1.4 Σκοπός της Εργασίας.....	7
Κεφάλαιο 2 Αριθμητικό μοντέλο και μεθοδολογία αξιολόγησης.....	9
2.1 Αριθμητικό Μοντέλο Πρόγνωσης WRF - ARW.....	9
2.1.1 Επίδραση σχημάτων ανωμεταφοράς.....	14
2.1.2 Παραμετροποίηση πλανητικού οριακού στρώματος.....	14
2.1.3 Περιγραφή των σχημάτων ανωμεταφοράς που χρησιμοποιήθηκαν.....	15
2.1.3.1 Σχήμα Kain - Fritsch.....	15
2.1.3.2 Σχήμα Betts - Miller - Janjic.....	16
2.1.3.3 Σχήμα Grell - Freitas.....	17
2.1.4 Περιγραφή των σχημάτων οριακού στρώματος που χρησιμοποιήθηκαν.....	17
2.1.4.1 Σχήμα Mellor - Yamada - Janjic.....	17
2.1.4.2 Σχήμα Yonsei University.....	18
2.2 Στατιστική Ανάλυση.....	18
2.2.1 Στατιστικές Μεταβλητές.....	18
2.2.1.1 Μέσο σφάλμα.....	19
2.2.1.2 Μέσο Απόλυτο Σφάλμα.....	19
2.2.1.3 Τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος.....	19
2.2.1.4 Συντελεστής Συσχέτισης.....	20
2.2.1.5 Τυπικό Σφάλμα.....	21
2.2.1.6 Βαθμός επιτυχίας.....	21



2.2.2	Διακριτές Μεταβλητές.....	22
2.2.2.1	Πίνακας Συνάφειας.....	22
2.2.2.2	Στατιστικά Μεγέθη.....	24
Κεφάλαιο 3	Συνοπτική / Δυναμική ανάλυση του φαινομένου.....	27
3.1	Εισαγωγή.....	27
3.2	Φαινόμενα (Χιονοπτώσεις).....	28
3.3	Συνοπτική Ανάλυση.....	33
3.3.1	13/02/2021.....	33
3.3.2	14/02/2021.....	43
3.3.3	15/02/2021.....	54
3.3.4	16/02/2021.....	64
3.3.5	17/02/2021.....	74
3.3.6	Ισόθερμος των 0°C από δεδομένα ραδιοβολίσεων.....	82
3.3.7	Μορφή παγοκρυστάλλων στην Αθήνα και στην Θεσσαλονίκη.....	84
3.3.8	Φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow).....	87
Κεφάλαιο 4	Πειράματα για την επιλογή της βέλτιστης αναπαράστασης του φαινομένου.....	100
4.1	Εισαγωγή.....	100
4.2	Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης.....	103
4.2.1	Συνεχείς Μεταβλητές.....	103
4.2.2	Διακριτές Μεταβλητές.....	113
Κεφάλαιο 5	Πειράματα για την επιρροή των θερμοκρασιών θάλασσας στο φαινόμενο.....	129
5.1	Εισαγωγή.....	129
5.2	Ανάλυση και περιγραφή της βασικής συνοπτικής κατάστασης που παρουσιάζεται από το πείραμα CONTROL.....	132
5.2.1	Ανάλυση για 14 Φεβρουαρίου 2021.....	132
5.2.1.1	Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 850hPa.....	133
5.2.1.2	Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 500hPa.....	134
5.2.1.3	Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ 850 hPa και επιφάνειας της θάλασσας.....	135
5.2.1.4	Άνεμος στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa.....	136
5.2.1.5	Άνεμος στα 10 μέτρα από την επιφάνεια.....	137
5.2.1.6	Κάθετη τομή με την μεταβλητή του ανέμου.....	138
5.2.1.7	Υετός.....	139



5.2.1.8	Χιόνι.....	140
5.2.1.9	Ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας.....	141
5.2.2	Ανάλυση για 15 Φεβρουαρίου 2021.....	142
5.2.2.1	Πίεση μέσης στάθμης θάλασσας:.....	142
5.2.2.2	Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 850hPa.....	143
5.2.2.3	Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 500hPa.....	144
5.2.2.4	Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ 850 hPa και επιφάνειας της θάλασσας.....	145
5.2.2.5	Άνεμος στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa.....	146
5.2.2.6	Άνεμος στα 10 μέτρα από την επιφάνεια.....	147
5.2.2.7	Κάθετη τομή με την μεταβλητή του ανέμου .....	148
5.2.2.8	Υετός .....	149
5.2.2.9	Χιόνι.....	150
5.2.2.10	Ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας .....	151
5.2.3	Ανάλυση για 16 Φεβρουαρίου 2021.....	152
5.2.3.1	Πίεση μέσης στάθμης θάλασσας .....	152
5.2.3.2	Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 850hPa.....	153
5.2.3.3	Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 500hPa.....	154
5.2.3.4	Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ 850 hPa και επιφάνειας της θάλασσας.....	155
5.2.3.5	Άνεμος στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa.....	156
5.2.3.6	Άνεμος στα 10 μέτρα από την επιφάνεια.....	157
5.2.3.7	Κάθετη τομή με την μεταβλητή του ανέμου .....	158
5.2.3.8	Υετός .....	159
5.2.3.9	Χιόνι.....	160
5.2.3.10	Ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας .....	161
5.3	Σύγκριση των πειραμάτων με διαφορετικές θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας με το πείραμα CONTROL .....	162
5.3.1	Σύγκριση θερμοκρασιών σε όλο το ύψος της ατμόσφαιρας στο κέντρο προσθήκης της ανωμαλίας καθ' όλη την διάρκεια του φαινομένου. ....	162
5.3.2	Σύγκριση πίεσης μέσης επιφανείας θάλασσας όλων των πειραμάτων με το πείραμα CONTROL.....	166
5.3.3	Σύγκριση υγρασίας μεταξύ των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA και του πειράματος CONTROL.....	168



5.3.4	Σύγκριση ανέμου των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA με τον άνεμο του πειράματος CONTROL.....	173
5.3.5	Σύγκριση ροής θερμότητας και υγρασίας μεταξύ των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA και του πειράματος CONTROL.....	179
5.3.6	Σύγκριση υετού μεταξύ των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA και του πειράματος CONTROL.....	183
5.3.6.1	14 <sup>η</sup> Φεβρουαρίου.....	183
5.3.6.2	15 <sup>η</sup> Φεβρουαρίου.....	183
5.3.6.3	16 <sup>η</sup> Φεβρουαρίου.....	184
5.3.7	Σύγκριση χιονιού μεταξύ των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA και του πειράματος CONTROL.....	186
5.3.7.1	14 <sup>η</sup> Φεβρουαρίου.....	186
5.3.7.2	15 <sup>η</sup> Φεβρουαρίου.....	186
5.3.7.3	16 <sup>η</sup> Φεβρουαρίου.....	187
5.4	Στατιστική ανάλυση των πειραμάτων.....	189
5.4.1	Στατιστική ανάλυση για την διαφορά θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa σε σχέση με την θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας.....	190
5.4.2	Στατιστική ανάλυση για την μεταβλητή του υετού.....	194
5.4.3	Στατιστική ανάλυση για την μεταβλητή του χιονιού.....	198
5.4.4	Μέση τιμή υετού και χιονιού για την διάρκεια του φαινομένου και το ποσοστό του υετού που αντιστοιχεί σε χιόνι.....	201
5.4.5	Επιφανειακές ροές θερμότητας.....	203
5.4.5.1	Ροή Λανθάνουσας θερμότητας.....	203
5.4.5.2	Ροή αισθητής θερμότητας.....	204
Κεφάλαιο 6	Συμπεράσματα και Συζήτηση.....	206
Κεφάλαιο 7	Βιβλιογραφία.....	210
Κεφάλαιο 8	Παράρτημα και Συμπληρωματικό Υλικό.....	221



Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την αριθμητική, συνοπτική και δυναμική μελέτη του έντονου φαινομένου χιονόπτωσης που συνέβη στην Ελλάδα στις 13-17 Φεβρουαρίου του 2021 και ονομάστηκε «Μήδεια». Βασικός στόχος της εργασίας ήταν και η μελέτη της επιρροής των επιφανειακών θερμοκρασιών της θάλασσας στην εμφάνιση και έντασή του. Το φαινόμενο «Μήδεια» ήταν ένα από τα πιο έντονα φαινόμενα χιονόπτωσης της τελευταίας 20ετίας για την Ελλάδα. Προκάλεσε την απώλεια της ζωής τριών ατόμων, την καταστροφή περιουσίας, τη διακοπή ηλεκτρισμού, θέρμανσης, τηλεφωνίας και ίντερνετ, καθώς και την παρακώλυση των συγκοινωνιών όλων των ειδών (αυτοκινητόδρομοι, θαλάσσιες συγκοινωνίες και ακυρώσεις πτήσεων). Το φαινόμενο επηρέασε πολλά μέρη της χώρας, αλλά κυρίως την πρωτεύουσα που δεν είχε τις υποδομές να διαχειριστεί ένα τόσο έντονο φαινόμενο χιονόπτωσης.

Η εργασία αυτή είναι πρωτοπόρα στη μελέτη του φαινομένου χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (γνωστό στην διεθνή βιβλιογραφία ως «lake/sea effect snow») στην Ελληνική περιοχή και στην επιρροή του Αιγαίου πελάγους και των επιφανειακών θερμοκρασιών του στα έντονα φαινόμενα και τις χιονοπτώσεις στην Ελλάδα. Επίσης, προσπαθεί να καλύψει το κενό που υπάρχει στη διεθνή βιβλιογραφία στη μελέτη της επιρροής των επιφανειακών θερμοκρασιών θάλασσας σε χιονοπτώσεις στην Ανατολική Μεσόγειο.

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής αρχικά πραγματοποιήθηκε συνοπτική και δυναμική ανάλυση του επεισοδίου και στη συνέχεια έγιναν πειράματα για τη βέλτιστη προσομοίωση του φαινομένου με χρήση του μη-υδροστατικού αριθμητικού μοντέλου πρόγνωσης καιρού Weather and Research Forecasting (WRF). Επίσης, πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων με τοπικές ανωμαλίες και με κλιματικές τιμές των επιφανειακών θερμοκρασιών θάλασσας προκειμένου να μελετηθεί η επιρροή τους στο έντονο επεισόδιο χιονόπτωσης. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του φαινομένου προήλθαν από μετρήσεις επιφανείας και ανώτερης ατμόσφαιρας των διαθέσιμων μετεωρολογικών σταθμών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY), συλλογή δεδομένων από τα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης, επιχειρησιακές αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων (ECMWF) και χάρτες καιρού της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου (UKMet). Οι επιφανειακές θερμοκρασίες της θάλασσας προήλθαν από υψηλής ανάλυσης ημερήσια πλεγματικά δεδομένα των Εθνικών Κέντρων Περιβαλλοντικής Πρόγνωσης των Η.Π.Α. (NCEP) και από κλιματικά πλεγματικά δεδομένα χαμηλής ανάλυσης.

Το φαινόμενο αυτό προσδιορίστηκε ως μια περίπτωση φαινομένου χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας. Διαπιστώθηκε ότι μετά τη σύγκριση των πειραμάτων η βέλτιστη προσομοίωση του μοντέλου WRF για το φαινόμενο ήταν αυτή που δεν συμπεριλάμβανε παραμετροποίηση ανωμεταφοράς και έκανε χρήση του σχήματος του Yonsei University για την παραμετροποίηση του πλανητικού οριακού στρώματος. Στο τελευταίο σκέλος της εργασίας, οι μεταβολές στις θερμοκρασίες επιφάνειας της θάλασσας κατά έως και  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  δείχνουν να μην είναι ικανές να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό ένα φαινόμενο όπως η «Μήδεια». Παρόλα αυτά η μείωση των θερμοκρασιών θάλασσας (που αντιστοιχεί και στην εικόνα των κλιματικών δεδομένων θερμοκρασιών θάλασσας) τείνει να μειώσει την ένταση του φαινομένου με μικρότερα ύψη νετού και χιονιού. Αντίθετα η αύξηση των θερμοκρασιών θάλασσας ενισχύει σε μικρό βαθμό το φαινόμενο.



## ii. Abstract

This thesis deals with the numerical, synoptic and dynamic analysis of the intense snowfall event that occurred in Greece on February 13-17, 2021, and was named "Medea". A major aim of this work was the study of its sensitivity to the sea surface temperatures. This event was one of the most intense snowfall phenomena of the last 20 years in Greece. It caused the loss of three lives, the destruction of property, the interruption of electricity, heating, telephony, and the Internet, as well as the obstruction of all kinds of transport (highways, sea transport and flight cancellations). The phenomenon affected many parts of the country, but mainly the capital, which did not have the infrastructure to manage such an intense snowfall.

This work is pioneer in the study of the phenomenon of snowfall with the influence of the sea in the Greek region and especially the influence of the Aegean Sea and its surface temperatures on the intense phenomena and snowfall in Greece. It also attempts to fill the gap that exists in the international literature in the study of the influence of sea surface temperatures on snowfall in the Eastern Mediterranean.

The synoptic and dynamic analysis of the snowfall event was initially performed. Secondly, experiments were carried out for the optimal simulation of the phenomenon using the nonhydrostatic Weather and Research Forecasting (WRF) numerical model. Also, a series of experiments were carried out to study the influence of sea surface temperatures on the intense snowfall event. The data used for the analysis of the phenomenon included the available surface and upper air observations from the meteorological stations of the Hellenic National Meteorological Service (HNMS), data collection from the media, operational gridded analyses of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) and weather charts from the United Kingdom Meteorological Office (UKMet). Furthermore, the sea surface temperatures were based on the high-resolution daily gridded analyses of the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and lower resolution gridded climatology.

The synoptic/dynamic analysis showed that this phenomenon can be considered as a case of lake/sea effect snow. The optimum WRF simulation of the event was produced by the combination of the Yonsei University boundary layer parameterization with explicitly resolved cumulus convection. In the last part of this thesis, it was shown that local sea surface temperature anomalies up to  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  in the Aegean Sea are not able to greatly affect a phenomenon like "Medea". Nevertheless, the decrease in sea temperatures (which also corresponds to the climatic data of sea surface temperatures) tends to reduce the intensity of the phenomenon with smaller precipitation and snowfall amounts. On the contrary, the increase in sea surface temperatures amplifies the phenomenon to a small extent.

Η παρούσα μελέτη αποτελεί την διπλωματική διατριβή, που πραγματοποιήθηκε με στόχο την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στον τομέα της Μετεωρολογίας, για το Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών "Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον", του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Η εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση του Αναπληρωτή Καθηγητή Δρ. Ιωάννη Πυθαρούλη.

Ο αντικειμενικός σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η αριθμητική μελέτη και η συνοπτική και δυναμική ανάλυση του έντονου φαινομένου χιονόπτωσης που συνέβη την περίοδο 13-17 Φεβρουαρίου του 2021 στην περιοχή της Ελλάδας, και το οποίο ονομάστηκε "Μήδεια" από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών/meteo.gr. Στην συνέχεια το σύγχρονο μοντέλο μέσης κλίμακας Weather Research and Forecasting (WRF), χρησιμοποιήθηκε αρχικά, για την προσομοίωση των συνθηκών του φαινομένου, με την διενέργεια πειραμάτων με διαφορετική δόμηση του μοντέλου ούτως ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη προσομοίωση για τις πραγματικές συνθήκες μετά από στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Σε δεύτερη φάση το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθεί η επιρροή της μεταβολής των θερμοκρασιών θάλασσας στο φαινόμενο που μελετάται. Τέλος το φαινόμενο συγκρίθηκε με κλιματικά δεδομένα της περιοχής.

Η εργασία που προέκυψε δομήθηκε ως εξής: Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που αποτελεί αναγκαία γνώση για την κατανόηση των όσων αναφέρονται στην λοιπή εργασία όπως και η ανάλυση του σκοπού της μελέτης αυτής. Στο δεύτερο κεφάλαιο απαριθμούνται και παρουσιάζονται το αριθμητικό μοντέλο και η μεθοδολογία αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν σε όλο το εύρος της εργασίας. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η συνοπτική και δυναμική ανάλυση του φαινομένου της Μήδεια μέσω των δεδομένων που λήφθηκαν από ποικίλες πηγές. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για να επιλεχθεί η βέλτιστη προσομοίωση του φαινομένου καθώς και η στατιστική ανάλυση που οδήγησε στην επιλογή αυτή. Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η δεύτερη σειρά πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, που είχαν σκοπό την μελέτη της επιρροής της μεταβολής των θερμοκρασιών θάλασσας του φαινομένου, όπως επίσης και την σύγκριση του φαινομένου με το τι θα συνέβαινε με την επιλογή των κλιματικών θερμοκρασιών θάλασσας για την περιοχή. Στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η μελέτη, όπως και κάποιοι προβληματισμοί και συζήτηση γύρω από το θέμα. Τέλος στα κεφάλαια 7 και 8 καταγράφεται η βιβλιογραφία και το παράρτημα με επιπρόσθετο υλικό αντίστοιχα.



Θα ήθελα τώρα να αφιερώσω λίγες αράδες για να ευχαριστήσω τα άτομα χωρίς τα οποία η εργασία αυτή δεν θα μπορούσε ποτέ να επιτευχθεί. Αρχικά και κυριότερα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή μου Δρ. Ιωάννη Πυθαρούλη για την αμέριστη στήριξη, για την υπομονή και το μεράκι του να με βοηθήσει να μάθω όσες περισσότερες νέες γνώσεις ήταν δυνατόν στην διάρκεια της συνεργασίας μας στο πλαίσιο της εργασίας αυτής. Σας ευχαριστώ που ήσασταν εκεί για να λύσετε όλες μου τις απορίες και προβληματισμούς και να με οδηγήσετε στην σωστή κατεύθυνση όποτε χανόμουν και δυσκολευόμουν σε σχέση με την διατριβή μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον Δρ. Ζάνη Πρόδρομο και τον Δρ. Μπαμπζέλη Δημήτριο για την στήριξη και την βοήθεια τους καθώς και για την υπομονή τους. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Δρ. Ιωάννη Τεγούλια και Δρ. Στέργιο Κάρτσιο για τις ώρες που αφιέρωσαν για να με βοηθήσουν στην μελέτη μου και στην αμέριστη προσφορά που είχαν σε αυτήν. Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το διδακτικό προσωπικό του μεταπτυχιακού "Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος" για τις γνώσεις που μου χάρισαν και για το ήρεμο και επαγγελματικό αλλά και προσφιλές περιβάλλον που δημιούργησαν κατά τα χρόνια της φοίτησης μου. Ιδιαίτερα θα ήθελα να δώσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Ομότιμο Καθηγητή κύριο Θεόδωρο Καρακώστα, χωρίς την καθοδήγηση και την έμπνευση που μου χάρισε μέσω της αξιοσημείωτης διδακτικής του ικανότητας σε προπτυχιακό αλλά και μεταπτυχιακό επίπεδο, αλλά και της έκδηλης αγάπης του στην μετεωρολογία δεν θα είχα διαλέξει την πορεία που ακολούθησα για την ακαδημαϊκή μου ζωή και δεν θα έπαιρνα όλες τις ενδιαφέρουσες γνώσεις και εμπειρίες. Στην συνέχεια θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ στους γονείς μου, οι κόποι και οι αγώνες των οποίων μου έδωσαν την ευκαιρία να είμαι στην θέση που είμαι σήμερα και να γράφω την εργασία αυτή. Ένα ευχαριστώ ακόμα θα ήθελα να πω στην αδερφή μου και στους φίλους μου , που με στήριξαν ψυχολογικά και δεν με άφησαν να λυγίσω στις δύσκολες περιόδους που μεσολάβησαν της πραγματοποίησης της εργασίας (Ένα διπλό ευχαριστώ στην Άννα που ήταν πάντα εκεί όταν δεν ήμουν καλά αλλά και όταν ήμουν). Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς στον πρώην σύντροφο μου Παύλο και την μικρή μου Μπουκιά, χωρίς τις γνώσεις, την ψυχραιμία και την στήριξη του πρώτου και τα νιαουρίσματα και τα ηρεμιστικά γουργουρίσματα της δεύτερης δεν θα είχα καταφέρει να τελειώσω την εργασία αυτή και να βαδίσω στο επόμενο βήμα της ακαδημαϊκής μου καριέρας και της ζωής μου.

"I wonder if the snow *loves* the trees and fields, that it kisses them so gently ? And then it covers them up snug, you know, with a white quilt; and perhaps it says, "Go to sleep, darlings, till the summer comes again ." - Lewis Carroll, Alice's Adventures in Wonderland / Through the Looking-Glass

## iv. Πίνακας Ακρωνύμων

WRF	Weather Research and Forecasting Model
ARW	Advanced Research WRF
ECMWF	Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
UKMET	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία Ηνωμένου Βασιλείου
EMY	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
MSLP	Πίεση στη μέση στάθμη θάλασσας
UTC	Συντονισμένη Παγκόσμια ώρα
ME	Μέσο Σφάλμα
MAE	Μέσο Απόλυτο Σφάλμα
RMSE	Τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού Σφάλματος
SST	Θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας
ACC	Ακρίβεια (Accuracy)
BIAS	Δείκτης Συχνότητας Μεροληψίας (BIAS score)
POD	Πιθανότητα Ανίχνευσης (Probability Of Detection)
FAR	Λόγος Ψευδών Προγνώσεων (False Alarm Ratio)
POFD	Πιθανότητα Ψευδών Προγνώσεων (Probability Of False Detection)
SR	Ποσοστό επιτυχιών (Success Ratio)
HSS	Δείκτης επιτυχίας του Heidke ( Heidke Skill Score)
ETS	Δείκτης επιτυχίας του Gilbert ( Equitable Skill Score)
LH	Επιφανειακή Ροή Λανθάνουσας Θερμότητας
SH	Επιφανειακή Ροή Αισθητής Θερμότητας
EXP1	Πείραμα με παραμετροποίηση ανωμεταφοράς Kain - Fritsch
EXP2 / CONTROL	Πείραμα χωρίς παραμετροποίηση ανωμεταφοράς
EXP3	Πείραμα με παραμετροποίηση ανωμεταφοράς Betts - Miller - Janjic
EXP4	Πείραμα με παραμετροποίηση πλανητικού οριακού στρώματος Grell - Freitas
EXP5	Πείραμα χωρίς παραμετροποίηση ανωμεταφοράς και με παραμετροποίηση Mellor-Yamada-Janjic για την παραμετροποίηση του πλανητικού οριακού
CLIMA	Πείραμα με κλιματικά δεδομένα θερμοκρασιών επιφάνειας θάλασσας
P1	Πείραμα με προσθήκη μέγιστης ανωμαλίας +1 βαθμού Κελσίου στις θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας
P2	Πείραμα με προσθήκη μέγιστης ανωμαλίας +2 βαθμών Κελσίου στις θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας
P3	Πείραμα με προσθήκη μέγιστης ανωμαλίας +3 βαθμών Κελσίου στις θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας
M1	Πείραμα με προσθήκη μέγιστης ανωμαλίας -1 βαθμού Κελσίου στις θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας
M2	Πείραμα με προσθήκη μέγιστης ανωμαλίας -2 βαθμών Κελσίου στις θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας
M3	Πείραμα με προσθήκη μέγιστης ανωμαλίας -3 βαθμών Κελσίου στις θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας

## Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

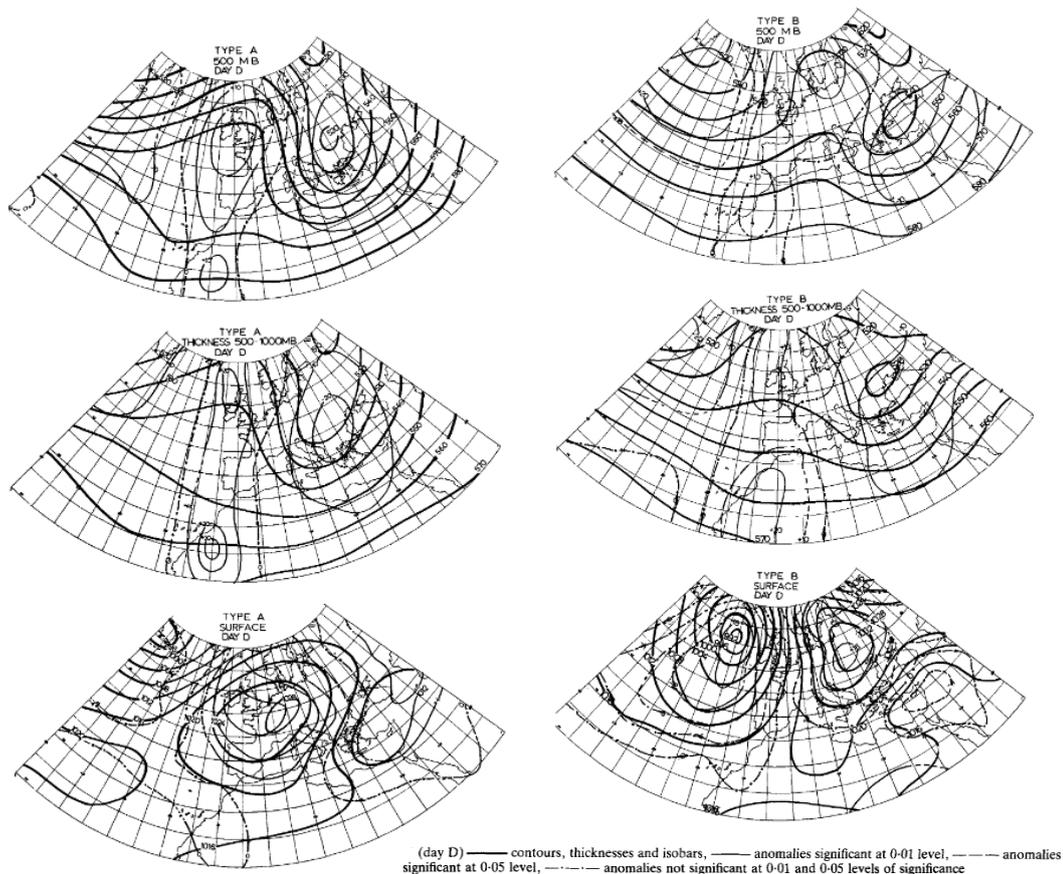
### 1.1 Χιονοπτώσεις στην Ελλάδα και στην Αττική

Το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό και στην κατάταξη Köppen-Geiger κατατάσσεται στην κατηγορία πρώτη κατηγορία του Μεσογειακού Κλίματος με θερμά καλοκαίρια (γνωστό και ως τυπικό μεσογειακό κλίμα – Csa) (Kottek et al., 2006), η οποία αποτελείται από θερμά κλίματα με ήπια και ξηρά καλοκαίρια και υγρούς χειμώνες. Τα κλίματα αυτά δεν χαρακτηρίζονται συνήθως από έντονες χιονοπτώσεις και έτσι τα φαινόμενα αυτά έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μελέτη. Στην Ελλάδα, οι ευνοϊκές συνοπτικές καταστάσεις για την χιονόπτωση παρατηρούνται συνήθως όταν υπάρξουν υψηλές πιέσεις στα βόρεια και ένα βαρομετρικό χαμηλό στην κεντρική Μεσόγειο, που κινείται σε βορειοανατολική κατεύθυνση (Ζιακόπουλος & Φραγκούλη, 2015). Η θέση του βαρομετρικού χαμηλού προσδιορίζει και το που θα παρατηρηθεί η εντονότερη χιονόπτωση, για παράδειγμα ένα χαμηλό που βρίσκεται νοτιότερα θα αντιστοιχεί σε μια ζώνη σύγκλισης στην κεντρική Ελλάδα που αντιστοιχεί σε χιονοπτώσεις κυρίως στην περιοχή εκείνη (Ζιακόπουλος, 2009).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον δίνεται στις χιονοπτώσεις που επηρεάζουν την Αττική και ιδιαίτερα την Αθήνα, καθώς ως πρωτεύουσα της χώρας οι καιρικές συνθήκες που παρατηρούνται σε αυτή επηρεάζουν την ζωή, την εργασία και γενικότερα τις δραστηριότητες μεγάλου μέρους του πληθυσμού. Οι συνοπτικές συνθήκες που χαρακτηρίζονται ως ευνοϊκές για την εμφάνιση χιονοπτώσεων στην Αθήνα χωρίζονται σε δύο κύριους τύπους (Prezerakos & Angouridakis, 1984). (Σχήμα 1.1)

Τύπος Α : Το κέντρο δράσης στον τύπο αυτό προσδιορίζεται από έναν αντικυκλώνα που βρίσκεται πάνω από την βορειοδυτική Ευρώπη, όπως και ένα ακόμα βαρομετρικό υψηλό στα βορειοανατολικά της ηπείρου. Χαρακτηριστικές του τύπου αυτού είναι επίσης οι χαμηλές πιέσεις στην νοτιοανατολική μεσόγειο που προκαλούνται λόγω ενός κυκλώνα που κινείται από τα δυτικά. Στον τύπο αυτό οι ψυχρές αέριες μάζες που προκαλούν την χιονόπτωση προέρχονται από τις βόρειες Σκανδιναβικές χώρες ή ακόμα και βορειότερα από τον Βόρειο πόλο ή και την Αρκτική.

Τύπος Β: Ο τύπος αυτός χαρακτηρίζεται από ένα πολύ ισχυρό βαρομετρικό υψηλό στην Ανατολική Ευρώπη, βορειότερα του Ελληνικού χώρου και χαμηλές πιέσεις που παρουσιάζονται πάνω από την Ανατολική Μεσόγειο, συμπεριλαμβανομένης και της ανατολικής Ελλάδας. Ο συνδυασμός των δύο αυτών συστημάτων προκαλεί πολύ ισχυρούς βορειοανατολικούς ανέμους στην ανατολική Ελλάδα όπως και έντονες χιονοπτώσεις ενώ οι καιρικές συνθήκες στα δυτικά της χώρας είναι ηπιότερες. Το σύστημα που ξεχωρίζει τον τύπο αυτό και είναι χαρακτηριστικό του, είναι ο θερμού τύπου αντικυκλώνας πάνω από την Σκανδιναβική χερσόνησο στο ύψος των 500 hPa, που ανήκει στο σύστημα εμποδισμού τύπου "Ωμέγα" που εμφανίζεται στην περιοχή. Το μέγιστο του στροβιλισμού για την περίπτωση αυτή κινείται από τα βόρεια προς τα νότια, γεγονός που αντιστοιχεί σε πολύ έντονα φαινόμενα όταν το μέγιστο αυτό περάσει πάνω από την Ελλάδα και δημιουργηθούν έντονες καθοδικές κινήσεις συνοπτικής κλίμακας λόγω του αντικυκλώνα και της ψυχρής οριζόντιας μεταφοράς. Το πεδίο των βορειοανατολικών ανέμων που δημιουργείται περνά πάνω από την Μαύρη Θάλασσα και το Αιγαίο πέλαγος, που οδηγεί τόσο στην θέρμανση των κινούμενων αερίων μαζών όσο και στον εμπλουτισμό τους σε υγρασία. Οι μεταβολές αυτές οδηγούν σε αστάθεια στην χαμηλότερη τροπόσφαιρα που ευνοούν την εμφάνιση έντονων φαινομένων στην περιοχή.



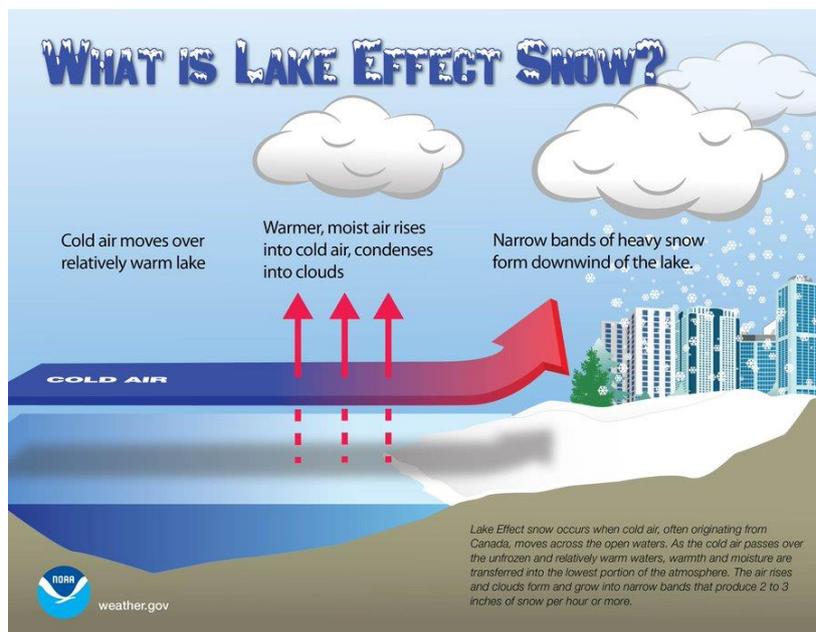
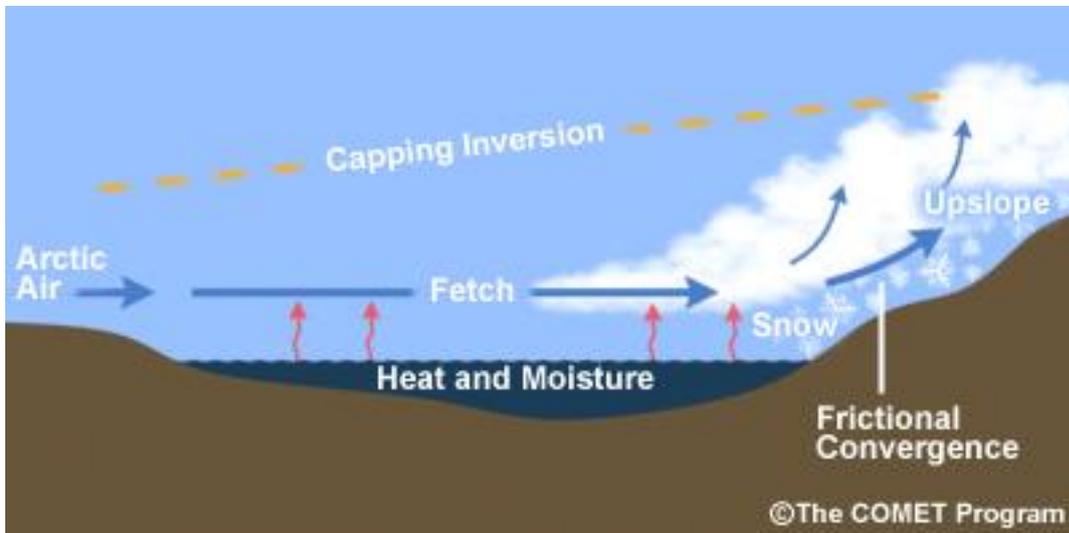
Σχήμα 1. 1 Χάρτες επιφανείας, thickness 500-1000 MB και 500 MB για τις δύο κατηγορίες χιονόπτωσης στον Ελληνικό χώρο. Τα σχήματα στα αριστερά αντιστοιχούν στην ημέρα του φαινομένου για τον τύπο Α, ενώ τα σχήματα στα δεξιά στην ημέρα του φαινομένου για τον τύπο Β. (Prezerakos & Angouridakis, 1984)

## 1.2 Φαινόμενο επίδρασης θάλασσας ( και γενικότερα υδάτινων επιφανειών) σε έντονες χιονοπτώσεις

Το φαινόμενο που στην ξένη βιβλιογραφία αναφέρεται ως lake effect και εδώ θα αναφέρεται ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow), ταιριάζει περισσότερο με τον τύπο Β που περιγράφηκε παραπάνω για την περιοχή της Αττικής και την επιρροή του Αιγαίου ως «κλειστή» υδάτινη επιφάνεια στις χιονοπτώσεις. (Prezerakos & Angouridakis, 1984). Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται από ψυχρή αέρια μάζα αρκτικής ή πολικής πηγής που περνά πάνω από σχετικά θερμότερες υδάτινες επιφάνειες, οδηγώντας στον εμπλουτισμό της με υδρατμούς και ενισχύοντας τις ανοδικές κινήσεις που έτσι καταλήγουν στην δημιουργία ζωνών χιονιού πάνω από την προσήνεμη περιοχή (Laird et al., 2003; Sousounis, 2003; *Topics in Lake Effect Snow Forecasting* ([https://www.met.ed.ucar.edu/norlat/snow/lake\\_effect/navmenu.php](https://www.met.ed.ucar.edu/norlat/snow/lake_effect/navmenu.php))). Πιο συγκεκριμένα ο ψυχρός αέρας που περνά πάνω από την υδάτινη επιφάνεια θερμαίνεται και εμπλουτίζεται με υδρατμούς, λόγω των επιφανειακών ροών αισθητής θερμότητας και λανθάνουσας θερμότητας. Η αστάθεια στην περιοχή αυξάνεται και δημιουργούνται νέφη ανωμεταφοράς που οδηγούν στην παρουσία χιονιού στην υπήνεμη πλευρά της υδάτινης επιφάνειας. Η γενική εικόνα που παρουσιάζει το φαινόμενο παρουσιάζεται γραφικά στο *Σχήμα 1.2*.

Το φαινόμενο αυτό κατηγοριοποιήθηκε αρχικά για τις Μεγάλες Λίμνες (Great Lakes) στις Η.Π.Α. (Schmidlin, 1989) και στην συνέχεια παρουσιάστηκε και σε άλλες περιοχές. Παρότι το φαινόμενο δεν έχει μελετηθεί προγενέστερα της παρούσας εργασίας για την Ελλάδα και την επιρροή του Αιγαίου ως υδάτινη επιφάνεια, μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για την Μαύρη Θάλασσα (Demirtaş, 2022; Kindar, 2010; Yanuz et al., 2021) και την Κασπία Θάλασσα (Ghafarian et al., 2018, 2021). Οι περιοχές αυτές βρίσκονται σε παρόμοια γεωγραφικά μήκη με την περιοχή ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας και έτσι κάνουν εμφανή την δυνατότητα ύπαρξης αυτού του φαινομένου στις περιοχές αυτές.

Το φαινόμενο, όπως περιγράφηκε παραπάνω μπορεί να εμφανιστεί σε «κλειστές» υδάτινες επιφάνειες ανεξάρτητα του τύπου τους (λίμνες, θάλασσες, ωκεανούς κ.τ.λ.), παρόλα αυτά συνηθίζεται να αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως lake effect χάρις των Μεγάλων Λιμνών που αποτελούν την πιο χαρακτηριστική περιοχή εμφάνισης του. Στην συνέχεια της παρούσας εργασίας θα αναφέρεται ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) χάριν συντομίας και αποσαφήνισης του όρου.



Σχήμα 1. 2 Οπτική αναπαράσταση της διεργασίας του φαινομένου lake (sea) effect. Πηγή:  
<https://www.weather.gov/jetstream/>,  
[https://www.meted.ucar.edu/norlat/snow/lake\\_effect/navmenu.php](https://www.meted.ucar.edu/norlat/snow/lake_effect/navmenu.php)

Για να χαρακτηριστεί ένα φαινόμενο ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) θα πρέπει να ακολουθεί κάποιες προδιαγραφές ως προς την γεωμορφολογία της περιοχής, την ταχύτητα του ανέμου, την στροφή του ανέμου κατά το ύψος της ατμόσφαιρας, την κατεύθυνση του ανέμου πάνω από την υδάτινη επιφάνεια, το μέγιστο ύψος του πλανητικού οριακού στρώματος και τις θερμοκρασίες της υδάτινης επιφάνειας και της υπεράνω αέριας μάζας. Αναλυτικότερα τα όρια στα οποία θα πρέπει να εμπίπτει ένα φαινόμενο για αυτά τα χαρακτηριστικά αναφέρονται στην συνέχεια..

Σε συνδυασμό μελέτης του έργου των Laird et al. (2003) και Norris et al. (2013), Niziol (1987), Savijärvi (2015) και Sousounis (2003) τα οποία συνδυάστηκαν για ένα αντίστοιχο φαινόμενο στην Μαύρη Θάλασσα από την Demirtaş (2022). Τα παραπάνω όρια ορίζονται ως εξής:

- Η διαφορά της θερμοκρασίας επιφανείας θάλασσας από την θερμοκρασία στα 850 hPa στο σημείο με το ίδιο γεωγραφικό πλάτος και μήκος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 13 °C σε όλη την περιοχή ενδιαφέροντος.
- Ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 m/s σε όλη την περιοχή ενδιαφέροντος.
- Το ύψος του οριακού στρώματος να είναι τουλάχιστον ίσο με 1 km.
- Η στροφή του ανέμου από την επιφάνεια στα 850 hPa να είναι μικρότερη των 60°.
- Ο λόγος της ταχύτητας ανέμου προς το μήκος της θαλάσσιας περιοχής που ο άνεμος διέρχεται χωρίς εμπόδια (fetch) του ανέμου ( απόσταση που ο άνεμος καλύπτει πάνω από την υδάτινη επιφάνεια) να παίρνει τιμές από 0.02 έως 0.09 ms<sup>-1</sup>km<sup>-1</sup>. Οι τιμές αυτές επιλέγονται για υδάτινη επιφάνεια που θεωρείται κυκλική και έχει διάμετρο συγκρίσιμη με αυτή του βορείου Αιγαίου.

### 1.3 Επιρροή θερμοκρασιών επιφανείας θάλασσας στο φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow).

Στην παρούσα εργασία ένας από του κύριους στόχους είναι να μελετηθεί η επίδραση των επιφανειακών θερμοκρασιών θάλασσας στο φαινόμενο "Μήδεια" καθώς και στο φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow). Μελέτες για την επιρροή των θερμοκρασιών επιφανείας θάλασσας έχουν πραγματοποιηθεί σε φαινόμενα στην περιοχή μελέτης, όπως η εργασία του Pytharoulis (2018) που μελετά την ευαισθησία ενός μεσογειακού χαμηλού με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα στις θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας. Επίσης εργασίες για την επιρροή των θερμοκρασιών επιφανείας θάλασσας στην περιοχή της μεσογείου έχουν πραγματοποιηθεί για φαινόμενα εκρηκτικής κυκλογένεσης στην Μεσόγειο (Katsafados et al., 2011), για μεσογειακούς κυκλώνες πάνω από την νότια Ιταλία (Miglietta et al., 2011) καθώς και για τον υετό σε περιοχές με πολύπλοκη τοπογραφία και ακτογραμμές (όπως η Καλαβρία της Ιταλίας) (Senatore et al., 2014). Στα παραπάνω παρατηρείται ότι οι αλλαγές στις θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας επηρεάζουν τα εκάστοτε φαινόμενα άλλοτε σε πολύ μικρό βαθμό και άλλοτε σε μεγαλύτερο ανάλογα και με την υπόλοιπη συνοπτική κατάσταση κάθε περίπτωσης. Πιο συγκεκριμένα στην εργασία των Senatore et al. (2014) που είναι αυτή που προσεγγίζει καλύτερα την παρούσα εργασία, καθώς μελετά την επιρροή των θερμοκρασιών επιφανείας θάλασσας στον υετό, δείχνεται ότι μικρές ανωμαλίες στις θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας δεν επηρεάζουν σε γενικότερο βαθμό κατά μεγάλο ποσοστό το ύψος του υετού παρά μόνον σε συγκεκριμένες περιπτώσεις (με κατάλληλες συνοπτικές συνθήκες και το κέντρο των χαμηλών πιέσεων σε ορισμένη θέση). Φυσικά, η ανάλυση αυτή έγινε συγκεκριμένα για την περιοχή της Καλαβρίας και δεν μπορεί να μεταφερθεί με ακρίβεια στην περιοχή ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας.

Παρότι δεν έχει πραγματοποιηθεί εργασία για την επιρροή των θερμοκρασιών θάλασσας στις περιπτώσεις του χιονοπτώσεων του φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) στη περιοχή της Ελλάδας και γενικά της μεσογείου (κατά την συγγραφή της παρούσας εργασίας), αντίστοιχες εργασίες έχουν πραγματοποιηθεί για διαφορετικές περιοχές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα από τις εργασίες αυτές αποτελεί η εργασία των (Ghafarian et al., 2021), που μελετά την επιρροή των θερμοκρασιών της Κασπίας Θάλασσας στο χιόνι του φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) στις νοτιοδυτικές ακτές της Κασπίας, που είναι η εργασία που έχει πραγματοποιηθεί στην κοντινότερη περιοχή στις γεωγραφικές συντεταγμένες που μελετιούνται στην παρούσα εργασία. Η εργασία αυτή καταλήγει στο συμπέρασμα πως η αύξηση των θερμοκρασιών επιφανείας θάλασσας κατά 2°C οδηγεί στην μέγιστη αύξηση του ύψους του υετού προερχόμενου από το φαινόμενο

χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) κατά 19,41%. Ανάλογες εργασίες έχουν πραγματοποιηθεί και από στις Ηνωμένες πολιτείες της Αμερικής όπως αυτές των Shi & Xue (2019) και Theeuwes et al. (2010). Τα αποτελέσματα δείχνουν και πάλι πως η αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της λίμνης οδηγεί στην αύξηση του ύψους του υετού λόγω του φαινομένου.

Σύμφωνα με τους Zhang & Song (2006) και τα αποτελέσματα των CMIP5 μοντέλων οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας αναμένονται να συνεχίζουν να αυξάνονται κατά τον εικοστό πρώτο αιώνα. Επίσης από την εργασία του Sakalli (2017) αναμένεται αύξηση των θερμοκρασιών επιφανείας θάλασσας μέχρι το 2100 και για την περιοχή της Μεσογείου. Σύμφωνα με τα παραπάνω η αύξηση των θερμοκρασιών επιφανείας θάλασσας που αναμένεται να παρατηρηθεί θα οδηγήσει και σε αύξηση του ποσού του υετού που προέρχεται από φαινόμενα φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow), στις περιοχές για τις οποίες ένα τέτοιο φαινόμενο συμβαίνει.

## 1.4 Σκοπός της Εργασίας

Οι χιονοπτώσεις στον Ελληνικό χώρο και ιδιαίτερα οι έντονες χιονοπτώσεις που επηρεάζουν την ζωή και τις συνήθειες των πολιτών είναι σχετικά σπάνιες και γι' αυτό αποτελούν ιδιαίτερα ενδιαφέροντα φαινόμενα προς μελέτη. Η παρούσα εργασία έχει σκοπό την συνοπτική και δυναμική ανάλυση ενός φαινομένου που παρουσιάστηκε στον Ελληνικό χώρο κατά την περίοδο 13 έως 17 Φεβρουαρίου 2021, ονομάστηκε "Μήδεια" από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και περιγράφηκε ως μια ψυχρή εισβολή, με έντονες χιονοπτώσεις που επηρέασαν κυρίως την Στερεά Ελλάδα και το κεντρικό Αιγαίο, όπως και την Κρήτη και την Αττική (<https://www.meteo.gr/namedstorms.cfm>). Η ανάλυση του φαινομένου βασίστηκε σε δεδομένα τόσο της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) όσο και δεδομένων ανάλυσης του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων (ECMWF) , όπως επίσης και χάρτες καιρού από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία του Ηνωμένου Βασιλείου (UKMet). Τέλος χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα από πηγές των Μέσων Ενημέρωσης όπως εφημερίδες και ειδησεογραφικές σελίδες του διαδικτύου για μια ευρεία εικόνα της έκτασης του φαινομένου.

Στην συνέχεια γίνεται μελέτη για την προσομοίωση του φαινομένου μέσω του σύγχρονου αριθμητικού μοντέλου πρόγνωσης καιρού Weather Research and Forecasting με τον δυναμικό πυρήνα Advanced Research (WRF-ARW), επιλέγοντας αρχικά δεδομένα του Ευρωπαϊκού Κέντρου μετεωρολογικών προβλέψεων μεσαίου εύρους (ECMWF) και το αρχείο των θερμοκρασιών επιφανείας της θάλασσας από το υψηλής ανάλυσης μοντέλο της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α. (NCEP) (<https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/sst/>) για παγκόσμιες θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας σε πραγματικό χρόνο με ανάλυση 1/12 της μοίρας για όλα τα πειράματα που θα πραγματοποιηθούν, πέραν του πειράματος με



τα κλιματικά δεδομένα θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας που έχουν ανάλυση 1 μοίρας. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα με στόχο την επιλογή της βέλτιστης παραμετροποίησης του μοντέλου, που οδήγησε στην πλησιέστερη δυνατή προσομοίωση του φαινομένου μέσω του μοντέλου. Τα πειράματα συγκρίθηκαν με στατιστικές μεθόδους, τόσο μεταξύ τους όσο και με τα πραγματικά δεδομένα παρατήρησης.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε μελέτη της επιρροής των θερμοκρασιών θάλασσας στο φαινόμενο αυτό, με την προσθήκη Gauss ανωμαλιών σε αυτές. Οι θερμοκρασίες θαλάσσης μεταβλήθηκαν κατά 1, 2 και 3 βαθμούς Κελσίου τόσο με θέρμανση όσο και με ψύξη και τα αποτελέσματα που οι αλλαγές αυτές επιφέραν στο φαινόμενο μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν τόσο μεταξύ τους όσο και με την αρχική προσομοίωση που κατασκευάστηκε στο προηγούμενο σκέλος της παρούσας διπλωματικής διατριβής. Στην συνέχεια τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν και με αυτά που έδωσε το μοντέλο για τις Κλιματικές θερμοκρασίες θάλασσας της περιοχής.

## Κεφάλαιο 2 Αριθμητικό μοντέλο και μεθοδολογία αξιολόγησης

### 2.1 Αριθμητικό Μοντέλο Πρόγνωσης WRF - ARW

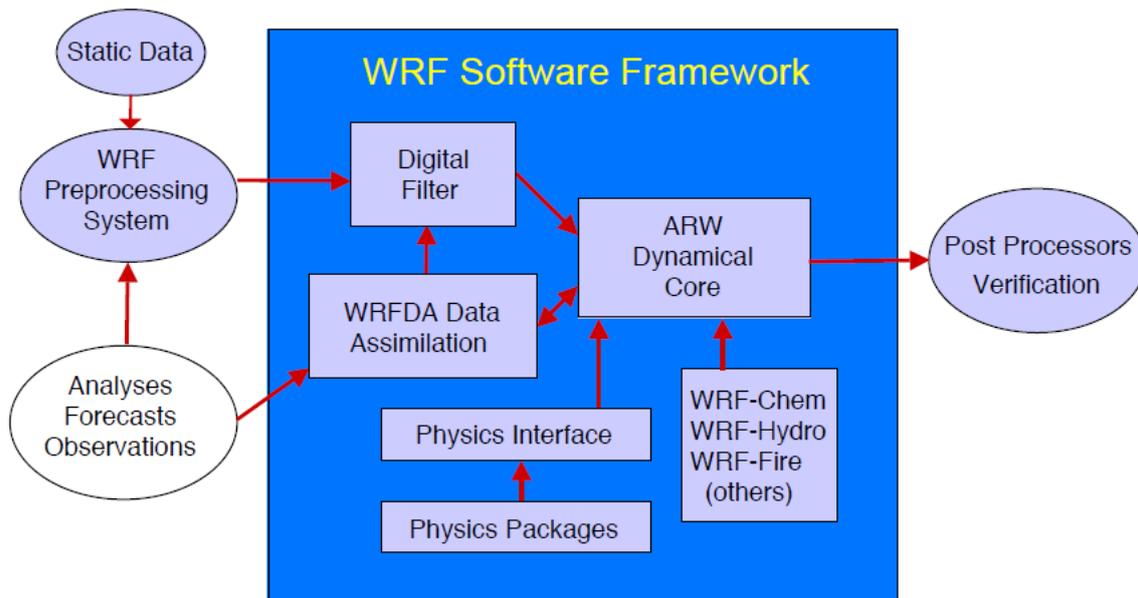
Το μοντέλο προηγμένης έρευνας (Advanced Research Model) WRF - ARW χρησιμοποιεί ένα από τους δύο δυναμικούς πυρήνες του περιοχικού τρισδιάστατου αριθμητικού μοντέλου πρόγνωσης Weather Research and Forecasting (WRF) και είναι αυτό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της παρούσας εργασίας. Το WRF - ARW είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται για πληθώρα χρήσεων, όπως για επιστημονική έρευνα, για ακαδημαϊκούς σκοπούς αλλά και για επιχειρησιακή χρήση.

Αν και το μοντέλο αρχικά σχεδιάστηκε από το Εθνικό Κέντρο Έρευνας της Ατμόσφαιρας των Η.Π.Α (NCAR), η βελτίωση και η εξέλιξή του με τον χρόνο οφείλεται στην κοινότητα που έχει δημιουργηθεί γύρω του, καθώς από την πρώτη κιόλας έκδοση του το Νοέμβριο του 2000 (WRF version 1.0) διατέθηκε ως ελεύθερο λογισμικό ανοιχτού κώδικα μέσω της ιστοσελίδας του (<https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>). Λόγω των προσπαθειών βελτίωσης που γίνονται καθημερινά το μοντέλο συνεχίζει να εξελίσσεται και καινούργιες εκδόσεις του διατίθενται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η έκδοση που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη είναι η έκδοση *Version 4.2* η οποία είχε την τελευταία της ενημέρωση στις 23 Απριλίου του 2020 ([https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user\\_guide\\_v4/v4.2/contents.html](https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_v4/v4.2/contents.html)). Γενικότερα οι αναβαθμίσεις και η περιγραφή της 4<sup>ης</sup> έκδοσης του μοντέλου περιγράφονται τόσο από τον οδηγό χρήστη που παρέχεται από την σελίδα του μοντέλου (*WRF Users' Guide*, 2020) όσο και από την εργασία των Skamarock et al. (2019).

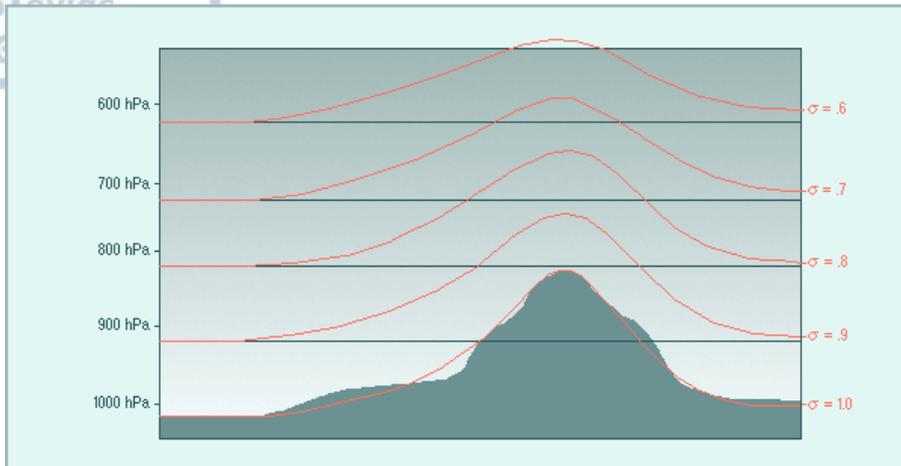
Το μοντέλο είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN 90 και βασίζεται σε ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων με μερικές παραγώγους ως προς τον χρόνο, που στοχεύουν στην πρόβλεψη των κινήσεων της αέριας μάζας της ατμόσφαιρας συνυπολογίζοντας τις αρχές διατήρησης της ορμής, της μάζας και της ενέργειας. (Πυθαρούλης, 2020b). Η δομή του συστήματος WRF παρουσιάζεται στο *σχήμα 2.1*. Το σύστημα αποτελείται από ένα σύστημα προ-επεξεργασίας (WPS), το οποίο μετασχηματίζει τα μεγάλης κλίμακας δεδομένα που υπάρχουν στα αρχικά αρχεία τύπου GRIB σε μία ενδιάμεση μορφή που μπορεί στην συνέχεια να χρησιμοποιηθεί από τον κυρίως κώδικα του WRF- ARW. Το ενδιάμεσο αυτό αρχείο, παρέχει στο ARW εισαγωγικά δεδομένα που είναι καλά προσαρμοσμένα τόσο στο κατακόρυφο όσο και στο οριζόντιο πλέγμα και χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με δεδομένα που προσδιορίζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά και πληροφορίες για τις φυσικές διεργασίες που θα ληφθούν υπόψιν κατά την ολοκλήρωση του μοντέλου.

Για την παρούσα εργασία τα πραγματικά εισαγωγικά δεδομένα λαμβάνονται από την ανάλυση του ECMWF.

Στην συνέχεια η δομή του μοντέλου οδηγεί στο δυναμικό τμήμα παραμετροποίησης των φυσικών διεργασιών, που αποτελούν και τον πυρήνα του μοντέλου. Εδώ γίνεται η χρήση του WRF - ARW, το οποίο είναι ένα πλήρως συμπιέσιμο (fully compressible) μη υδροστατικό μοντέλο (με διαθέσιμη επιλογή για υδροστατικές προσομοιώσεις), με υβριδικές κατακόρυφες συντεταγμένες τύπου Σίγμα σε 51 επίπεδα μέχρι τα 2500 hPa, που λαμβάνουν υπόψιν την τοπογραφία και με τον τρόπο αυτό επιτρέπει στα συνεχή πεδία, όπως η θερμοκρασία, να αναπαρίστανται ιδιαίτερα ομαλά στα χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου (Σχήμα 2.2).



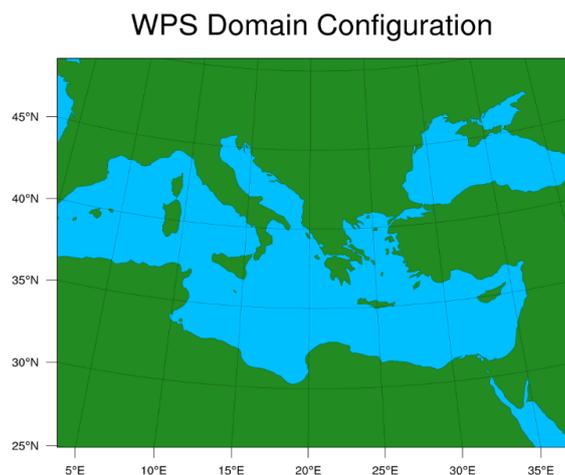
Σχήμα 2.1 Δομή του συστήματος WRF (Skamarock et al., 2019)



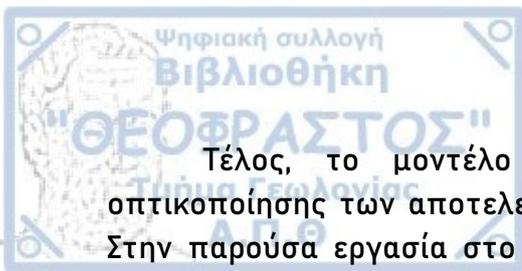
Σχήμα 2. 2 Παράδειγμα οριζόντιων συντεταγμένων τύπου Sigma (Πυθαρούλης, 2020b)

Οι διαφορές μεταβλητές τοποθετούνται στο οριζόντιο σε 3-διάστατες κυψελίδες με την μέθοδο των Εναλλασσόμενων Πλεγμάτων του Arakawa τύπου C (Arakawa & Lamb, 1977).

Το μοντέλο έχει την δυνατότητα να ολοκληρωθεί σε πλέγματα (τηλεσκοπικά ή μη) για αύξηση της χωρικής ανάλυσης. Παρόλα αυτά για την παρούσα εργασία δεν επιλέχθηκαν πλέγματα αλλά οι προσομοιώσεις έγιναν σε μία περιοχή ολοκλήρωσης με οριζόντια χωρική διακριτοποίηση 6km x 6km σε προβολή Lambert. (Σχήμα 2.3). Η περιοχή ολοκλήρωσης καλύπτει σχεδόν όλη τη λεκάνη της Μεσογείου, συμπεριλαμβάνοντας την Κεντρική και νότια Ευρώπη και τη βόρεια Αφρική.



Σχήμα 2. 3 Η περιοχή ολοκλήρωσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.



Τέλος, το μοντέλο καταλήγει στο σύστημα μετ-επεξεργασίας και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του μοντέλου (Post Processors Verification). Στην παρούσα εργασία στο βήμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα NCL (NCAR Command Language) και GrADS (Grid Analysis and Display System). Το NCL είναι μια γλώσσα που σχεδιάστηκε με σκοπό την ανάλυση και οπτικοποίηση επιστημονικών δεδομένων και είναι μια ελεύθερη και ευέλικτη γλώσσα που υποστηρίζει την ανάλυση τόσο NetCDF όσο και GRIB αρχείων. Παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας υψηλής ανάλυσης γραφικών με πολλές διαφορετικές μεθόδους (<https://www.ncl.ucar.edu/index.shtml>). Η NCL χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των περισσότερων γραφικών στην παρούσα εργασία. Το GrADS είναι ένα διαδραστικό εργαλείο με εύκολη πρόσβαση και χρήση, για την επεξεργασία και την οπτικοποίηση δεδομένων των γεωλογικών επιστημών. Επίσης υποστηρίζει την ανάλυση δεδομένων τόσο NetCDF όσο και GRIB μορφής και διατίθεται δωρεάν (<http://cola.gmu.edu/grads/>).

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι αρχικές και οριακές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για το τρέξιμο του προέρχονται από το ECMWF με χωρική ανάλυση  $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$  (γεωγραφικό πλάτος και μήκος) και χρονικό βήμα 6 ωρών. Ο αρχικός χρόνος προσομοίωσης είναι στις 13/02/2021 12:00 UTC και οι προσομοιώσεις τελειώνουν στις 17/02/2021 12:00 UTC, δηλαδή μετά από 4 ημέρες ή 96 ώρες. Τα αποτελέσματα που εξάγονται έχουν χρονική ανάλυση μιας ώρας. Στον *πίνακα 2.1* παρουσιάζονται οι παραμετροποιήσεις που επιλέχθηκαν για το μοντέλο, με εξαίρεση τα σχήματα ανωμεταφοράς (cumulus schemes) και τα σχήματα του πλανητικού οριακού στρώματος (planetary boundary layer schemes), για τα οποία έγινε μελέτη και θα περιγράφουν στην συνέχεια αναλυτικότερα.



Πίνακας 2. 1 Κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου WRF -ARW όπως επιλέχθηκαν να παραμετροποιηθούν για την διεξαγωγή της παρούσας μελέτης.

Οριζόντια χωρική ανάλυση	6 km
Κατακόρυφη ανάλυση	51 επίπεδα μέχρι το επίπεδο των 25 hPa
Χρονική Ανάλυση	36 sec
Κάλυψη Γης (Land Cover)	Vegetated - MODIS (NASA)
Χρήσεις Γης ( Land Use)	IGBP
Αρχικές συνθήκες	ECMWF
Οριακές συνθήκες	ECMWF
Σχήμα μικροφυσικής	Σχήμα WRF Single-Moment 6-class (συμπεριλαμβάνει πάγο, χιόνι και χιονοχαλάζι) (Hong & Lim, 2006)
Σχήμα μικρού μήκους ακτινοβολίας	Σχήμα RRTMG (Iacono et al., 2008)
Σχήμα μεγάλου μήκους ακτινοβολίας	Σχήμα RRTMG (Iacono et al., 2008)
Σχήμα επιφανείας (Land Surface)	1) Σχήμα Revised MM5 (Fairall et al. 2003) 2) Σχήμα Eta similarity, Μόνο για PBL = Mellor-Yamada-Janjic (based on Monin-Obukhov with Zilitinkevich thermal roughness)
Στρώμα Επιφανείας (Surface Layer)	Noah Land Surface Model (Chen & Dudhia, 2001)
Δεδομένα Θερμοκρασίας Επιφάνειας Θάλασσας	1) Real- Time Global Sea Surface Temperature (RTG_SST) με ανάλυση 1/12 της μοίρας 2) Κλιματολογικά δεδομένα θερμοκρασιών θάλασσας για το πείραμα CLIMA

Η περιγραφή των σχημάτων βασίζεται στις εργασίες των Skamarock et al. (2008), Teguolias (2020) εκτός και αν αναφέρεται κάτι διαφορετικό.

## 2.1.1 Επίδραση σχημάτων ανωμεταφοράς

Τα σχήματα της ανωμεταφοράς (Cumulus schemes) χρησιμοποιούνται για τις στήλες του πλέγματος του μοντέλου που περιέχουν νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης και έχουν διαστάσεις μικρότερες από αυτή του ορισμένου πλέγματος (sub grid scale). Ο λόγος ύπαρξης των σχημάτων αυτών είναι να απελευθερώσουν την αστάθεια που δημιουργείται σε κλίμακες μικρότερες από το πλέγμα του μοντέλου. Τα σχήματα ενεργοποιούνται μόνο σε μεμονωμένες στήλες του μοντέλου, όπου και παρέχουν τα κάθετα προφίλ της θερμοκρασίας και της υγρασίας, όταν υπάρξουν οι κατάλληλες συνθήκες αστάθειας. Κάποια από τα σχήματα παρέχουν επίσης τάσεις νεφών και υετού στην κάθετη στήλη και όλα τα σχήματα παρέχουν τον υετό επιφανείας που δημιουργείται λόγω κατακόρυφης μεταφοράς. Η ενεργοποίηση των σχημάτων αυτών αποτρέπει την δημιουργία μεγάλης κλίμακας κατακόρυφης αστάθειας που θα ήταν μη ρεαλιστική στα κατώτερα επίπεδα του μοντέλου (Πυθαρούλης, 2020) Για παραμετροποιήσεις μοντέλου με μέγεθος πλέγματος μικρότερο των 3 χιλιομέτρων, η χρήση των σχημάτων αυτών δεν προτείνεται μιας και τότε το μοντέλο μπορεί να υπολογίσει τις «μικρές» αυτές περιοχές με κατακόρυφες κινήσεις χωρίς την βοήθεια των σχημάτων. Επίσης τα σχήματα επιλέγονται συνήθως για πλέγματα που υπερβαίνουν τα 10 χιλιόμετρα. Υπάρχουν όμως και εξαιρέσεις όπου η ενεργοποίηση των σχημάτων δίνει καλύτερα αποτελέσματα και για μικρότερα μεγέθη πλέγματος ανάλογα με την περίπτωση. Το εύρος των μεγεθών πλεγμάτων 3 έως και 7 χιλιόμετρα θεωρείται γκριζα ζώνη (gray zone) και η μελέτη πρέπει να γίνεται ανά περίπτωση για την επιλογή ενός σχήματος ή όχι, όπως γίνεται και στην περίπτωση της παρούσας εργασίας όπου το πλέγμα είναι 7 χιλιόμετρα και άρα ανήκει σε αυτές τις χωρικές κλίμακες. Διαφορετικά σχήματα προκαλούν την εμφάνιση διαφορετικών ποσών υετού και διαφορετικής θέρμανσης της ατμόσφαιρας, ανάλογα με τις διεργασίες που δέχονται για το πως η ατμόσφαιρα θερμαίνεται και ψύχεται (Kain & Fritsch, 1990).

## 2.1.2 Παραμετροποίηση πλανητικού οριακού στρώματος

Τα σχήματα παραμετροποίησης του πλανητικού οριακού στρώματος (planetary boundary layer) είναι υπεύθυνα για τις κάθετες ροές με χωρικό εύρος μικρότερο του πλέγματος του μοντέλου που προκαλούνται λόγω των μεταφορών των στροβίλων (eddies) σε όλη την ατμοσφαιρική στήλη και όχι μόνο στο επίπεδο του οριακού στρώματος. Έτσι όταν ένα τέτοιο σχήμα ενεργοποιείται, η κατακόρυφη διάχυση «απενεργοποιείται» καθώς θεωρείται πως το σχήμα θα είναι αυτό που θα λάβει υπόψιν τις διεργασίες αυτές στην στήλη ατμοσφαιρικού αέρα. Τα σχήματα αυτά παίρνουν τις ροές επιφανείας από τα σχήματα του επιφανειακού στρώματος (surface layer) καθώς και από τα σχήματα της επιφανείας Ξηράς (land surface) που συνδέεται με τα σχήματα του υετού και του ισοζυγίου ακτινοβολίας. Τα σχήματα του πλανητικού οριακού στρώματος καθορίζουν τα προφίλ των ροών μέσα στο

καλά αναμεμειγμένο πλανητικό οριακό στρώμα καθώς και στο στρώμα ευστάθειας παρέχοντας έτσι πληροφορία για την θερμοκρασία, την υγρασία (συμπεριλαμβανομένων των νεφών) και την οριζόντια ορμή για όλη την ατμοσφαιρική στήλη. Τέλος, τα σχήματα αυτά είναι μονοδιάστατα και βασίζονται στην προϋπόθεση ότι οι στρόβιλοι (eddies) με χωρικό εύρος μικρότερο του πλέγματος του μοντέλου διαφοροποιούνται από τις μεγαλύτερου εύρους στροβίλους που αναγνωρίζονται από το μοντέλο, σε κλίμακα μερικών εκατοντάδων μέτρων.

## 2.1.3 Περιγραφή των σχημάτων ανωμεταφοράς που χρησιμοποιήθηκαν

Για την περιγραφή όλων των σχημάτων χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες και περιγραφές από τις προαναφερθείσες εργασίες σε συνδυασμό με τις εργασίες των Mazarakis (2010) και (Χατζούδης, 2018).

### 2.1.3.1 Σχήμα Kain – Fritsch

Το σχήμα των Kain και Fritsch (Kain & Fritsch, 1990, 1993) βασίστηκε στην παραδοχή ότι η κατακόρυφη μεταφορά αφαιρεί την Δυνητικά διαθέσιμη ενέργεια κατακόρυφης μεταφοράς (CAPE) στην χρονική κλίμακα των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης (Fritsch & Chappell, 1980). Επεξεργασία και βελτίωση του σχήματος έκανε ο Kain (Kain, 2004), για να μπορέσει να βελτιώσει την επίδοση του σχήματος σε διάφορες καιρικές συνθήκες. Στο σχήμα αυτό η ροή μάζας στην βάση του νέφους καθορίζεται από την CAPE και αποβάλλεται ως υετός που παρουσιάζεται λόγω των κατακόρυφων κινήσεων. Το σχήμα χρησιμοποιεί μια απλή παραμετροποίηση νέφους με ανοδικές και καθοδικές κινήσεις που συμπεριλαμβάνουν και τα αποτελέσματα της εισχώρησης (entrainment) ατμοσφαιρικού αέρα στο νέφος, της διάχυσης (detrainment) του αέρα του νέφους στο περιβάλλον καθώς και της απλής μικροφυσικής. Όταν το σχήμα ενεργοποιείται η ροή των ανοδικών ρευμάτων καθορίζεται από την CAPE, η οποία και αφαιρείται από την ατμοσφαιρική στήλη. Τα καθοδικά ρεύματα του σχήματος ξεκινούν 150-200 hPa πάνω από την βάση του νέφους και τροφοδοτούνται μέσω της εξάτμισης στο νέφος. Επίσης στο σχήμα τίθεται ένα ελάχιστο κατώφλι για την εισχώρηση ατμοσφαιρικού αέρα στο νέφος ούτως ώστε να περιοριστούν οι εκτεταμένες κατακόρυφες κινήσεις σε σχετικά ασταθή ξηρά περιβάλλοντα. Το σχήμα ενεργοποιείται με κριτήριο μόνο την ανοδική κίνηση ενός δείγματος αέρα από το ανυψούμενο επίπεδο συμπύκνωσης (LCL) στο επίπεδο ελεύθερης ανωμεταφοράς (LFC).

### 2.1.3.2 Σχήμα Betts – Miller – Janjic

Το σχήμα των Betts, Miller και Janjic (Janjic, 1994, 2000) βασίζεται στο προϋπάρχον σχήμα των Betts και Miller (Betts, 1986; Betts & Miller, 1986) με σημαντικές προσθήκες που έγιναν από τον Janjic (Janjic, 1994) καθώς και από την μακροχρόνια επιχειρησιακή χρήση στο NCEP με το αριθμητικό μετεωρολογικό μοντέλο ETA (Janjic, 2000; Mesinger et al., 2016). Το αρχικό σχήμα των Betts & Miller βασίζεται στην παραμετροποίηση βαθέως στρώματος που σχετίζεται με την παραδοχή ότι η CAPE δημιουργείται στο περιβάλλον μέσω μεγάλης κλίμακας διεργασιών και καταναλώνεται από τις κατακόρυφες κινήσεις. Η βασική ιδέα πάνω στην οποία βασίζεται το αρχικό σχήμα είναι ότι οι ραδιοβολίσεις που πραγματοποιούνται σε τροπική περιοχή που εμφανίζει κατακόρυφη ανάπτυξη παρουσιάζουν παρόμοια δομή. Ειδικότερα η δομή τους προσομοιάζει την καμπύλη της υγρής αδιαβατικής ισοδύναμης δυνητικής θερμοκρασίας  $\theta_e$ , με μόνη απόκλιση μια μικρή διαφορά στην μέση τροπόσφαιρα. Στο σχήμα αυτό για την μελέτη της αέριας μάζας χρησιμοποιείται η μεταβλητή του σημείου κορεσμού (saturation point) , στην θέση των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται σε άλλα σχήματα όπως η θερμοκρασία, η αναλογία μίγματος και η πίεση σε όλο το ύψος της ατμόσφαιρας. Το σημείο αυτό ορίζεται στο ανυψούμενο επίπεδο συμπύκνωσης (LCL). Το σχήμα των Betts, Miller και Janjic παρέχει τον υετό που σχετίζεται με τις κατακόρυφες κινήσεις καθώς και τις τάσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας αλλά όχι το νερό που εμπεριέχεται στο νέφος (cloud water) στο χωρικό εύρος του πλέγματος του μοντέλου (Baldwin et al., 2002). Το προφίλ των κάθετων κινήσεων καθώς και ο χρόνος διάλυσης αυτών εξαρτούνται από μια μεταβλητή που ονομάζεται "cloud efficiency" και είναι μια αδιάστατη μεταβλητή που χαρακτηρίζει το είδος των κατακόρυφων κινήσεων (Janjic, 1994). Η μεταβλητή αυτή εξαρτάται από την μεταβολή της εντροπίας, τον υετό και την μέση θερμοκρασία του νέφους. Κάποιες από τις τελευταίες βελτιώσεις που έγιναν στο σχήμα αυτό είναι οι εξής. Α) Ορίστηκε ένα ελάχιστο κατώφλι της μεταβολής της εντροπίας στο νέφος, πάνω από το οποίο οι βαθιές κατακόρυφες κινήσεις ενεργοποιούνται. Β) Στην αναζήτηση του υψηλότερου σημείου του νέφους, το αναδυόμενο δείγμα αέρα αναμειγνύεται με το περιβάλλον. Γ) Το έργο της άνωσης του ανυψούμενου δείγματος αέρα υποχρεούται να υπερβαίνει ένα ορισμένο θετικό κατώφλι. Το σχήμα αυτό έχει ορισμένα μειονεκτήματα, ένα από αυτά είναι ότι έχει ιδιαίτερα μεγάλη ευαισθησία στην υγρασία και ακόμα και μικρές μεταβολές μπορεί να παίξουν σημαντικό ρόλο στην εκτιμώμενη ποσότητα υετού. Όμως και τα πλεονεκτήματα του είναι αρκετά, όπως το ότι δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα και υπολογίζει γρήγορα και εύκολα και χειρίζεται πολύ καλά τις βαθιές ανοδικές μεταφορές. Το σχήμα αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο και χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για αναλύσεις πλέγματος μεγαλύτερες των 30 χιλιομέτρων καθώς μειώνει σημαντικά τον χρόνο της προσομοίωσης. Επίσης λόγω του ότι βασίζεται σε ραδιοβολίσεις που πραγματοποιήθηκαν σε τροπικές περιοχές προτείνεται κυρίως για χρήση σε υγρά περιβάλλοντα.

### 2.1.3.3 Σχήμα Grell – Freitas

Το σχήμα των Grell & Freitas ( G. A. Grell & Freitas, 2014 a; G. Grell & Freitas, 2014 b καθώς και οι τελευταίες βελτιώσεις από τους Freitas et al., 2017;2021) βασίζεται στην στοχαστική προσέγγιση που παρουσιάστηκε από τους Grell και Devenyi (G. A. Grell & Dévényi, 2002) που αποτελεί επίσης σχήμα για την παραμετροποίηση των κατακόρυφων κινήσεων καθώς και την μέθοδο που παρουσιάστηκε από τους Arakawa et al. (2011) για την κλίμακα. Στο συγκεκριμένο σχήμα σε κάθε μέρος του πλέγματος επιτρέπεται η ύπαρξη μόνο ενός νέφους, για το οποίο η εισροή ατμοσφαιρικού αέρα γίνεται από την βάση και η εκροή από την κορυφή του. Στην στήλη αέρα θεωρείται πως συμβαίνει μια βαθιά ανοδική μεταφορά (deep convection) μέσα στην οποία υπολογίζεται η μεταφορά λόγω στροβίλων, η υγρασία και άλλες μεταβλητές. Η ενεργοποίηση του σχήματος συμβαίνει όταν η CAPE παίρνει θετικές τιμές πάνω από το πλέγμα. Το σχήμα λαμβάνει υπόψιν την διαδικασία συμπύκνωσης των αερολυμάτων (aerosol) ανάλογα με την συγκέντρωση πυρήνων συμπύκνωσης μέσα στο νέφος.

## 2.1.4 Περιγραφή των σχημάτων οριακού στρώματος που χρησιμοποιήθηκαν

### 2.1.4.1 Σχήμα Mellor – Yamada – Janjic

Το σχήμα των Mellor, Yamada και Janjic (Janjić, 1990, 1996, 2002) είναι μια παραμετροποίηση για το πλανητικό οριακό στρώμα αλλά και για την ελεύθερη ατμόσφαιρα και βασίζεται στο προϋπάρχον σχήμα των Mellor και Yamada (1982), το οποίο στην συνέχεια ανανεώθηκε και βελτιώθηκε από τον Janjic (1990,1994,2002). Το σχήμα αυτό βασίζεται στην κατακόρυφη ανάμειξη στην στήλη του ατμοσφαιρικού αέρα και προβλέπει την κινητική ενέργεια των αναταράξεων. Το σχήμα αυτό περιγράφει τον συντελεστή της τυρβώδους διάχυσης καθώς και το κλείσιμο των βασικών εξισώσεων (level 2.5 turbulence closure) χρησιμοποιώντας την εξίσωση της τυρβώδους κινητικής ενέργειας, και δεν διαχωρίζει τον συντελεστή που προκύπτει από αυτήν για το πλανητικό οριακό στρώμα και την ελεύθερη ατμόσφαιρα. Επίσης το σχήμα δεν δέχεται την ανάμειξη ατμοσφαιρικών αέριων μαζών μεταξύ του πλανητικού οριακού στρώματος και της ελεύθερης ατμόσφαιρας και έτσι υπάρχει και λιγότερη ανάμειξη και μεταξύ άλλων παραμέτρων όπως η υγρασία, εμποδίζοντας έτσι για παράδειγμα την υγρασία να φτάσει σε ανώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας και να «εγκλωβίζεται» μέσα στο οριακό στρώμα (Ευσταθίου, 2013).



#### 2.1.4.2 Σχήμα Yonsei University

Το σχήμα του Yonsei University (Hong et al., 2006) που αποτελεί ένα σχήμα παραμετροποίησης του πλανητικού οριακού στρώματος με μη τοπική προσέγγιση των τυρβωδών ροών. Αποτελεί επίσης μια αναβαθμισμένη έκδοση του σχήματος MRF PBL (Hong & Pan, 1996) που είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο σχήμα παραμετροποίησης του οριακού στρώματος, προσθέτοντας σε αυτό άμεση εισχώρηση (entrainment) του ατμοσφαιρικού στο μέγιστο ύψος του οριακού στρώματος, λαμβάνοντας έτσι υπόψιν την κάθετη ανάμιξη. Η εισχώρηση θεωρείται ανάλογη της ροής άνωσης της επιφάνειας, ακολουθώντας τα συμπεράσματα εργασιών για μοντέλα μεγάλου στροβιλισμού (Noh et al., 2003). Το μέγιστο ύψος του οριακού στρώματος ορίζεται με την κρίσιμη τιμή του συντελεστή Critical Bulk Richardson (Vogelezang & Holtslag, 1996) να ορίζεται το μηδέν (στο MRF PBL ήταν 0.5), και έτσι το ανώτατο όριο του οριακού στρώματος ορίζεται στο επίπεδο της μέγιστης εισχώρησης (στην θέση του επιπέδου όπου η δυνατότητα διάχυσης γίνεται μηδενική). Το σχήμα αυτό έχει μελετηθεί σε προηγούμενες εργασίες και δείχνει να προσομοιώνει καλά την βροχόπτωση και τις υπόλοιπες μεταβλητές των πραγματικών δεδομένων για φαινόμενα τόσο στην περιοχή ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας (Pytharoulis, 2018; Tegoulis, 2020; Αθανασίου, 2019), όσο και για φαινόμενα χιονόπτωσης (Fernández-González et al., 2015).

## 2.2 Στατιστική Ανάλυση

Για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν διάφορες στατιστικές μεταβλητές και μέθοδοι, ούτως ώστε να επιτευχθεί αρχικά η επιλογή του βέλτιστου πειράματος παραμετροποίησης των πραγματικών δεδομένων της συνοπτικής κατάστασης για το φαινόμενο της «Μήδεια» και στην συνέχεια η επιρροή της μεταβολής της θερμοκρασίας επιφανείας θάλασσας τόσο στην συνοπτική κατάσταση του φαινομένου όσο και στο χιόνι που προέρχεται από το φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow). Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται τα στατιστικά «εργαλεία» που θα χρησιμοποιηθούν.

### 2.2.1 Στατιστικές Μεταβλητές

Για τις συνεχείς μεταβλητές στην εργασία αυτή θα υπολογιστούν κάποιες στατιστικές παράμετροι. Οι παράμετροι αυτοί παρουσιάζονται στην συνέχεια. Οι περιγραφές των Nurmi (2003), Wilks (2019), *WWRP/WGNE Joint Working Group on Forecast Verification Research* (2015) και Κολυβά - Μαχαίρα & Μπόρα - Σέντα (2014)

θα χρησιμοποιηθούν ως πηγές για την περιγραφή των στατιστικών μεταβλητών του κεφαλαίου αυτού.

### 2.2.1.1 Μέσο σφάλμα

Το μέσο σφάλμα (mean error) ορίζεται ως ο απλός μέσος όρος της διαφοράς των πραγματικών δεδομένων από τα δεδομένα κάθε πειράματος. Το μέσο σφάλμα υπολογίζεται από τον *τύπο (2.1)*

$$ME = (1 / n)\Sigma(f_i - o_i) \quad (2.1)$$

, όπου  $n$  ο αριθμός των παρατηρήσεων,  $f_i$  οι τιμές της μεταβλητής για τα πειράματα του μοντέλου και  $o_i$  οι τιμές των πραγματικών δεδομένων για την ίδια μεταβλητή.

Το εύρος των αποτελεσμάτων είναι από το μείον άπειρο έως το συν άπειρο  $(-\infty, +\infty)$ , με το αποτέλεσμα να θεωρείται βέλτιστο για την τιμή  $ME = 0$ . Πρέπει να ληφθεί υπόψιν βέβαια, ότι ένα σύνολο παρατηρήσεων μπορεί να αντιστοιχεί σε πολύ καλό αποτέλεσμα για την παράμετρο  $ME$  έχοντας πολύ μεγάλα σφάλματα, όταν τα σφάλματα αυτά είναι ετερόσημα. Έτσι η παράμετρος αυτή πρέπει να συνδυαστεί με άλλα στατιστικά μεγέθη, όπως το Μέσο Απόλυτο Σφάλμα, καθώς δεν υπολογίζει το μέγεθος των σφαλμάτων, αλλά την ύπαρξη συστηματικής υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης στις προσομοιώσεις.

### 2.2.1.2 Μέσο Απόλυτο Σφάλμα

Ως μέσο απόλυτο σφάλμα ορίζεται ο αριθμητικός μέσος της απόλυτης τιμής των διαφορών κάθε ζεύγους παρατηρήσεων - προσομοιωμένων τιμών. Η τιμή του δίνεται από τον *τύπο 2.2*

$$MAE = (1 / n)\Sigma|f_i - o_i| \quad (2.2)$$

όπου ισχύουν τα ίδια σύμβολα όπως και στο μέσο σφάλμα.

Η παράμετρος αυτή παίρνει τιμές από μηδέν έως συν άπειρο  $[0, +\infty)$ , με βέλτιστη τιμή να είναι το  $MAE=0$ , που αντιστοιχεί στην τέλεια πρόγνωση. Το  $MAE$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο του σφάλματος του μοντέλου σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα. Η βαρύτητα που δίνεται στα αρνητικά και θετικά σφάλματα είναι κοινή σε αντίθεση με τον υπολογισμό του μέσου σφάλματος.

### 2.2.1.3 Τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος

Η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος υπολογίζεται ως η τετραγωνική ρίζα του αριθμητικού μέσου του τετραγώνου των διαφορών για κάθε ζεύγος παρατηρήσεων - προσομοιωμένων τιμών. Η τιμή δίνεται από τον *τύπο 2.3*.

$$RMSE = \sqrt{(1/n)\sum(f_i - o_i)^2} \quad (2.3)$$

όπου ισχύουν τα ίδια σύμβολα όπως και στο μέσο σφάλμα.

Η παράμετρος αυτή παίρνει τιμές όπως και το MAE από μηδέν έως συν άπειρο  $[0, +\infty)$ , με βέλτιστη τιμή και πάλι να είναι  $RMSE=0$ . Η ρίζα χρησιμοποιείται με στόχο το αποτέλεσμα της μεταβλητής να έχει τις ίδιες μονάδες μέτρησης με αυτές της εκάστοτε μεταβλητής. Λόγω της δεύτερης δύναμης το RMSE είναι ευαίσθητο στα μεγάλα σφάλματα του μοντέλου καθώς και στα άτυπα σημεία, ειδικά σε σχέση με το MAE. Λόγω αυτού του προβλήματος τα αποτελέσματα μπορεί να μην είναι ιδανικά και ειδικά για μικρά σύνολα προτιμάται η χρήση του MAE. Η μεταβλητή αυτή απαντά στην ερώτηση ποιο είναι το μέσο μέγεθος των σφαλμάτων του μοντέλου.

#### 2.2.1.4 Συντελεστής Συσχέτισης

Συντελεστής συσχέτισης ή συντελεστής συνάφειας του Pearson είναι μια μεταβλητή που απαντά στο πόσο καλά οι τιμές της μεταβλητής του μοντέλου συσχετίζονται με τις τιμές της μεταβλητής για τα πραγματικά δεδομένα. Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως ο λόγος της συμμεταβλητότητας των δύο συνόλων δεδομένων που συγκρίνονται προς το γινόμενο των τυπικών αποκλίσεων για το κάθε ένα από τα σύνολα μεταβλητών αυτών. Η παράμετρος αυτή υπολογίζεται μέσω του τύπου 2.4.

$$r = \frac{\sum(f - \bar{f})(o - \bar{o})}{\sqrt{\sum(f - \bar{f})^2} \sqrt{\sum(o - \bar{o})^2}} \quad (2.4)$$

όπου ισχύουν τα ίδια σύμβολα όπως και στο μέσο σφάλμα, με το  $\bar{f}$  να αντιστοιχεί στην μέση τιμή των τιμών του μοντέλου και το  $\bar{o}$  αντιστοιχεί στην μέση τιμή των πραγματικών δεδομένων.

Οι τιμές που παίρνει η μεταβλητή αυτή βρίσκονται στο εύρος  $[-1,+1]$ , με την βέλτιστη τιμή να είναι  $r=1$ . Οι σχετικά μεγάλες τιμές δηλώνουν την ύπαρξη μια ισχυρής σχέσης μεταξύ των συνόλων. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στο πόσο «κοντά» είναι τα σημεία του διαγράμματος διασποράς στην διαγώνιο που θεωρείται η βέλτιστη περίπτωση. Τέλος, η μεταβλητή αυτή δεν λαμβάνει υπόψιν τα σφάλματα του συνόλου της παραμετροποίησης του μοντέλου, και έτσι ένα μοντέλο με μεγάλα σφάλματα μπορεί να αντιστοιχεί σε καλό συντελεστή συσχέτισης, επίσης ο συντελεστής συσχέτισης είναι ευαίσθητος στις μεγάλες τιμές και στα άτυπα σημεία.

### 2.2.1.5 Τυπικό Σφάλμα

Εκτιμώμενο τυπικό σφάλμα ή δειγματική τυπική απόκλιση ονομάζεται η τετραγωνική ρίζα της δειγματικής διασποράς. Για μη ομαδοποιημένο σύνολο δεδομένων δίνεται από τον τύπο

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.5)$$

Όπου  $n$  είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων,  $x_i$  είναι οι τιμές της μεταβλητής του κάθε συνόλου και  $\bar{x}$  είναι η μέση τιμή του συνόλου.

Το στατιστικό μέτρο αυτό υπολογίζεται για κάθε πείραμα χωριστά, όπως και για τα πραγματικά δεδομένα. Στην συνέχεια μπορεί να συγκριθεί με τα άλλα πειράματα για να αναδείξει το ποιο από τα σύνολα έχει μεγαλύτερες αποκλίσεις από την μέση τιμή και άρα μεγαλύτερες ακραίες τιμές και άτυπα σημεία. Η τιμή που παίρνει εξαρτάται από τις τιμές της εκάστοτε μεταβλητής που μελετάται (π.χ η τιμή της τυπικής απόκλισης της ταχύτητας ανέμου σε m/s αναμένεται να είναι μικρότερη από αυτή της σχετικής υγρασίας σε ποσοστό τα εκατό)

### 2.2.1.6 Βαθμός επιτυχίας

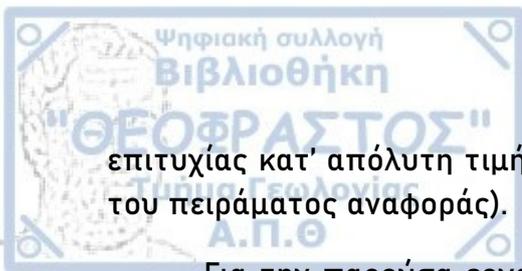
Ο βαθμός επιτυχίας (skill scores) είναι μια μέθοδος σύγκρισης μεταξύ δύο πειραμάτων του μοντέλου, που απαντά στην ερώτηση του πόση βελτίωση παρουσιάζεται με την επιλογή ενός πειράματος αντί ενός δεύτερου (συνήθως σε σύγκριση με ένα πείραμα που έχει τεθεί ως πείραμα αναφοράς (control)). Ο βαθμός επιτυχίας υπολογίζεται με τους τύπους 2.6 -2.7.

$$SS = \frac{A_{\text{πειράματος}}}{A_{\text{πειράματος αναφοράς}}} - 1 \quad (2.6) \text{ ,για στατιστικά μέτρα με βέλτιστη τιμή το } 0$$

$$\text{και } SS = 1 - \frac{A_{\text{πειράματος}}}{A_{\text{πειράματος αναφοράς}}} \quad (2.7) \text{ για στατιστικά μέτρα με βέλτιστη τιμή το } 1.$$

Όπου  $A_{\text{πειράματος}}$  είναι η τιμή κάποιου στατιστικού μέτρου (π.χ. MAE) για το πείραμα που συγκρίνεται,  $A_{\text{πειράματος αναφοράς}}$  είναι η αντίστοιχη τιμή για το πείραμα αναφοράς.

Η τιμή 0 αντιστοιχεί στη βέλτιστη συσχέτιση με το πείραμα αναφοράς, οι θετικές τιμές αντιστοιχούν σε πείραμα με χειρότερο σκορ από το πείραμα αναφοράς, και αντίθετα οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε πείραμα με καλύτερο σκορ από αυτό του πειράματος αναφοράς (οι μεγαλύτερες τιμές του βαθμού



επιτυχίας κατ' απόλυτη τιμή αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη διαφορά σκορ από αυτό του πειράματος αναφοράς).

Για την παρούσα εργασία τα παραπάνω στατιστικά μέτρα βαθμολογούνται από το 1 έως τον αριθμό των πειραμάτων που συγκρίνονται ( $n$ ), με το 1 να αντιστοιχεί στο πείραμα που προσομοίωσε καλύτερα την εκάστοτε μεταβλητή και το ( $n$ ) να αντιστοιχεί στο πείραμα που αντιστοιχεί στην λιγότερο καλή προσομοίωση. Στην συνέχεια υπολογίζεται μια μέση τιμή της βαθμολόγησης αυτής, ούτως ώστε να γίνει περισσότερο εμφανής η σύγκριση μεταξύ των πειραμάτων και ποιο από αυτά μπορεί να θεωρηθεί το βέλτιστο.

## 2.2.2 Διακριτές Μεταβλητές

### 2.2.2.1 Πίνακας Συνάφειας

Για τις μεταβλητές που θεωρούνται διακριτές και υπολογίζονται με αποτέλεσμα ΝΑΙ/ΟΧΙ (παραδείγματος χάριν ΝΑΙ – παρουσία χιονιού και ΟΧΙ – μη παρουσία χιονιού) και για αυτές που υπολογίζονται σε κλάσεις (π.χ. κλάσεις υετού και αν ΝΑΙ – το ύψος υετού ανήκει στην κλάση αυτή και ΟΧΙ – δεν ανήκει), χρησιμοποιούνται οι πίνακες συνάφειας. Το στατιστικό εργαλείο αυτό είναι χρήσιμο για τον υπολογισμό της εμφάνισης ή όχι του φαινομένου για το πείραμα του μοντέλου και των πραγματικών δεδομένων αντίστοιχα. Ένα παράδειγμα του πίνακα συνάφειας παρουσιάζεται στον *πίνακα 2.2*.

Πίνακας 2. 2 Παράδειγμα Πίνακα Συνάφειας

Πίνακας Συνάφειας		Πραγματικά Δεδομένα		
		Ναι	Όχι	Σύνολο
Αριθμητικό μοντέλο WRF	Ναι	Ευστοχίες	Ψευδείς Συναγερμοί	<b>Ναι για το μοντέλο</b>
	Όχι	Αστοχίες	Αληθείς Αρνητικά	<b>Όχι για το μοντέλο</b>
	Σύνολο	<b>Ναι για τα πραγματικά δεδομένα</b>	<b>Όχι για τα πραγματικά δεδομένα</b>	<b>Σύνολο</b>

Για τον πίνακα συνάφειας εμφανίζονται τέσσερις πιθανοί συνδυασμοί:

1. Ευστοχίες (Hits) : Το φαινόμενο εμφανίζεται τόσο στα πραγματικά δεδομένα όσο και στο μοντέλο.
2. Αστοχίες (Miss) : Το φαινόμενο εμφανίζεται στα πραγματικά δεδομένα αλλά το πείραμα του μοντέλου αποτυγχάνει στην πρόγνωση του.
3. Ψευδείς συναγερμοί (False alarm) : Το φαινόμενο δεν εμφανίζεται στα πραγματικά δεδομένα αλλά το μοντέλο, λανθασμένα, υπολογίζει την εμφάνιση του φαινομένου.
4. Αληθή Αρνητικά (Correct Negative) : Το φαινόμενο δεν παρουσιάζεται στα πραγματικά δεδομένα, και το μοντέλο, ορθώς, δεν παρουσιάζει το φαινόμενο επίσης.

Με χρήση των τιμών του πίνακα συνάφειας υπολογίζονται κάποια στατιστικά μέτρα για να περιγράψει η επίδοση του πειράματος σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα. Τα στατιστικά μέτρα αυτά παρουσιάζονται στην συνέχεια.

2.2.2.2 Στατιστικά Μεγέθη

**Ακρίβεια (Accuracy)**

Ακρίβεια ( Accuracy) ορίζεται το στατιστικό μέτρο που υπολογίζεται από τον *τύπο 2.8*

$$\text{Ακρίβεια} = \frac{\text{Ευστοχίες} + \text{Αληθή Αρνητικά}}{\text{Σύνολο}} \quad (2.8)$$

Το στατιστικό μέγεθος αυτό απαντά στην ερώτηση «Τι ποσοστό των προγνώσεων του μοντέλου ήταν ορθές;». Η ακρίβεια παίρνει τιμές στο εύρος [0,1], όπου το 1 αποτελεί την βέλτιστη τιμή. Το στατιστικό μέγεθος αυτό επηρεάζεται πολύ από την συχνή απουσία του σπάνιου φαινομένου (π.χ χιονόπτωση σε περιοχή χωρίς ευρύ πεδίο χιονόπτωσης)

**Δείκτης Συχνότητας Μεροληψίας (BIAS score)**

Ο δείκτης συχνότητας μεροληψίας (BIAS) ορίζεται από τον *τύπο 2.9*

$$\text{BIAS} = \frac{\text{Ευστοχίες} + \text{Ψευδείς Συναγερμοί}}{\text{Ευστοχίες} + \text{Αστοχίες}} \quad (2.9)$$

,απαντά στην ερώτηση «Πως συγκρίνεται η συχνότητα των συνολικών «ΝΑΙ» για το μοντέλο σε σχέση με τα συνολικά «ΝΑΙ» για τα πραγματικά δεδομένα;». Ο δείκτης αυτός παίρνει τιμές στο εύρος [0,+∞), με το BIAS =1 να αποτελεί την βέλτιστη τιμή. Για τις τιμές μεγαλύτερες του 1, τα δεδομένα του μοντέλου υπερεκτιμούν τη συχνότητα του «ΝΑΙ» τον πραγματικών δεδομένων και αντίστοιχα για τιμές μικρότερες του 1, τα δεδομένα του μοντέλα υποεκτιμούν τη συχνότητα των «ΝΑΙ» των πραγματικών δεδομένων. Ο δείκτης αυτός όμως δεν δίνει πληροφορίες για κατά πόσο οι υπολογισμοί του μοντέλου ανταποκρίνονται στα πραγματικά δεδομένα.

**Πιθανότητα Ανίχνευσης (Probability Of Detection)**

Η πιθανότητα ανίχνευσης ( Probability of Detection) ορίζεται μέσω του *τύπου 2.10*

$$\text{POD} = \frac{\text{Ευστοχίες}}{\text{Ευστοχίες} + \text{Αστοχίες}} \quad (2.10)$$

και απαντά στην ερώτηση « Τι ποσοστό των «ΝΑΙ» των πραγματικών δεδομένων υπολογίσθηκαν ορθά ως «ΝΑΙ» από το μοντέλο;». Η POD παίρνει τιμές στο εύρος  $[0, +\infty)$ , με βέλτιστη τιμή το  $POD = 1$ . Το στατιστικό μέτρο αυτό δείχνει ευαισθησία ως προς τις ευστοχίες και αγνοεί τα ψευδείς συναγερμοί .

#### Λόγος Ψευδών Προγνώσεων (False Alarm Ratio)

Ο λόγος ψευδών προγνώσεων (False Alarm Ratio) ορίζεται μέσω του τύπου 2.11

$$FAR = \frac{\text{Ψευδείς Συναγερμοί}}{\text{Ευστοχίες} + \text{Ψευδείς Συναγερμοί}} \quad (2.11)$$

και απαντά στην ερώτηση «Τι ποσοστό των «ΝΑΙ» από τα δεδομένα του μοντέλου, δεν συνέβησαν στην πραγματικότητα;». Ο FAR παίρνει τιμές στο εύρος  $[0,1]$ , με βέλτιστη τιμή να είναι  $FAR=0$ . Ο FAR είναι ευαίσθητος στα ψευδείς συναγερμοί και αγνοεί τις αστοχίες.

#### Πιθανότητα Ψευδών Προγνώσεων (Probability Of False Detection)

Η πιθανότητα ψευδών προγνώσεων (Probability of False Detection) ορίζεται μέσω του τύπου 2.12

$$POFD = \frac{\text{Ψευδείς συναγερμοί}}{\text{Αληθή Αρνητικά} + \text{Ψευδείς Συναγερμοί}} \quad (2.12)$$

και απαντά στην ερώτηση « Τι ποσοστό των «ΟΧΙ» των πραγματικών δεδομένων, αντιστοιχούν σε περιπτώσεις που λανθασμένα προβλέφθηκαν από το μοντέλο ως «ΝΑΙ»;». Η POFD παίρνει τιμές στο εύρος τιμών  $[0,1]$  με βέλτιστη τιμή  $POFD=0$ . Η POFD είναι ευαίσθητη στην παρουσία ψευδών θετικών και δεν λαμβάνει υπόψιν τις αστοχίες.

#### Ποσοστό επιτυχιών (Success Ratio)

Το ποσοστό επιτυχιών ( Success Ratio) ορίζεται από τον τύπο 2.13

$$SR = \frac{\text{Ευστοχίες}}{\text{Ευστοχίες} + \text{Ψευδείς συναγερμοί}} \quad (2.13)$$

και απαντά στην ερώτηση «Τι ποσοστό των «ΝΑΙ» στο πείραμα του μοντέλου πραγματικά παρατηρήθηκαν;». Το SR παίρνει τιμές στο εύρος  $[0,1]$ , όπου το βέλτιστο αποτέλεσμα είναι  $SR=1$ . Το SR είναι ευαίσθητο στα ψευδείς συναγερμοί και αγνοεί τις αστοχίες. Σημαντικό είναι επίσης να σημειωθεί ότι ισχύει  $SR = 1 - FAR$ .

**Δείκτης επιτυχίας του Heidke ( Heidke Skill Score)**

Ο δείκτης επιτυχίας Heidke (Doswell et al., 1990) υπολογίζεται από τον τύπο 2.14

$$HSS = \frac{(Ευστοχίες + Αληθή Αρνητικά) - (αναμενόμενα αληθή)_{\text{τυχαία}}}{N - (αναμενόμενα αληθή)_{\text{τυχαία}}} \quad (2.14)$$

$$\text{όπου } (αναμενόμενα αληθή)_{\text{τυχαία}} = \frac{1}{N} \left[ \frac{(Ευστοχίες + Αστοχίες)(Ευστοχίες + Ψευδή Θετικά)}{+(Αληθή Αρνητικά + Αστοχίες)(Αληθή Αρνητικά + Ψευδή Θετικά)} \right]$$

και απαντά στην ερώτηση «Ποια είναι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του μοντέλου σε σχέση με την τυχαία πιθανότητα;» Ο HSS παίρνει τιμές στο εύρος [-1,1], με την τιμή HSS=1 είναι η βέλτιστη τιμή, ενώ η τιμή HSS=0 αντιστοιχεί σε αποτυχία πρόγνωσης. Ως τυχαία πιθανότητα ορίζεται η πιθανότητα μια «πρόγνωση» να είναι τυχαία σωστή.

**Δείκτης επιτυχίας του Gilbert ( Equitable Skill Score)**

Ο δείκτης επιτυχίας του Gilbert (Gandin & Murphy, 1992) υπολογίζεται από τον τύπο 2.15

$$ETS = \frac{Ευστοχίες - (Ευστοχίες)_{\text{τυχαία}}}{Ευστοχίες + Αστοχίες + Ψευδείς Συναγερμοί - (Ευστοχίες)_{\text{τυχαία}}} \quad (2.15)$$

$$\text{όπου } (Ευστοχίες)_{\text{τυχαία}} = \frac{1}{N} [(Ευστοχίες + Αστοχίες)(Ευστοχίες + Ψευδή Θετικά)]$$

και απαντά στην ερώτηση «Πόσο καλά συσχετίζονται τα «ΝΑΙ» του μοντέλου στα «ΝΑΙ» των πραγματικών δεδομένων λαμβάνοντας υπόψιν την πιθανότητα τυχαία σωστής «πρόγνωσης»;». Ο ETS παίρνει τιμές στο εύρος  $[-\frac{1}{3}, 1]$ , με την τιμή ETS=1 είναι η βέλτιστη τιμή, ενώ η τιμή ETS=0 αντιστοιχεί σε αποτυχία πρόγνωσης. Ο ETS δείχνει ευαισθησία στις ευστοχίες, ενώ καθώς λαμβάνει υπόψιν τις ευστοχίες και τα Ψευδή αληθή κατά τον ίδιο τρόπο, δεν προσδιορίζει την πηγή του λάθους που υπολογίζει.



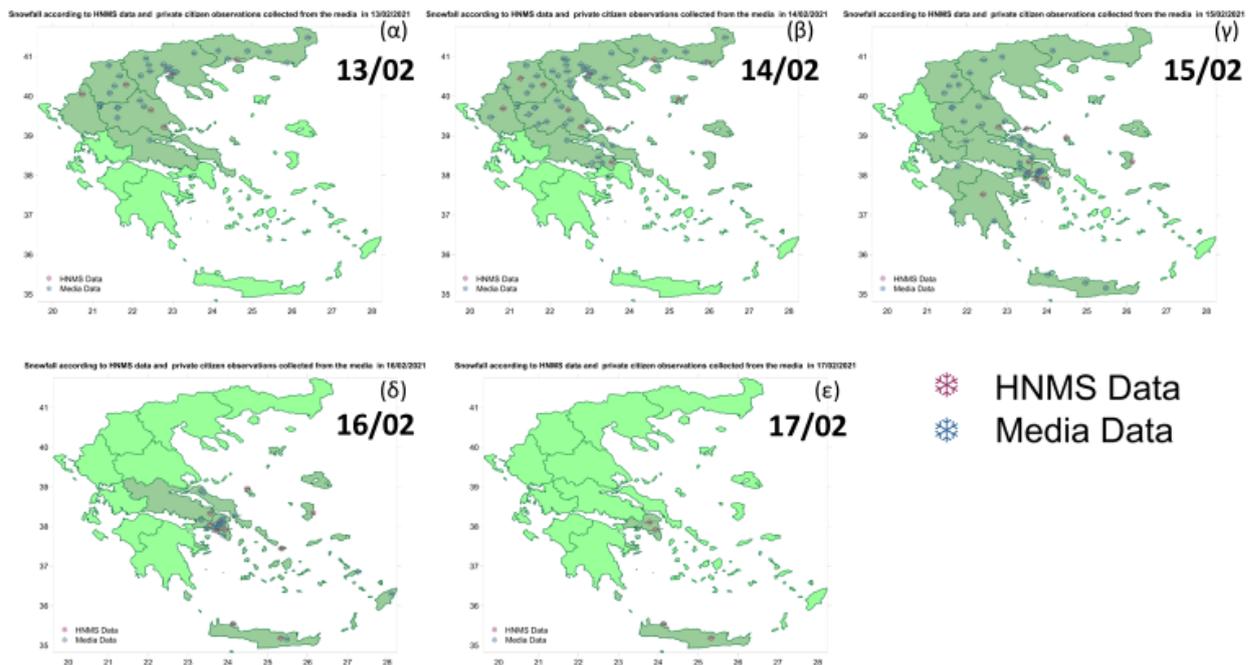
## Κεφάλαιο 3 Συνοπτική / Δυναμική ανάλυση του φαινομένου

### 3.1 Εισαγωγή

Το φαινόμενο που επηρέασε την Ελλάδα και κυριότερα τα ηπειρωτικά της χώρας, όπως και κάποια νησιά του Αιγαίου αλλά και τη Κρήτη με επίκεντρο την Αττική, Βοιωτία και Εύβοια στις 13 με 17 Φεβρουαρίου του 2021 ονομάστηκε από το Αστεροσκοπείο Αθηνών «Μήδεια». Είχε χαρακτηριστικές έντονες χιονοπτώσεις σε μεγάλο εύρος περιοχών της χώρας και επηρέασε τόσο τις ζωές όσο και τις εργασίες των πολιτών. Συγκεκριμένα τρεις πολίτες έχασαν τη ζωή τους λόγω της κακοκαιρίας (Welle ([www.dw.com](http://www.dw.com))), φραγή δημιουργήθηκε ακόμα στις θαλάσσιες και οδικές συγκοινωνίες, με κάποιους δρόμους να παραμένουν εντελώς κλειστοί και πτήσεις να ακυρώνονται λόγω καιρικών συνθηκών. Τέλος προκλήθηκε διακοπή ρεύματος σε κάποιες περιοχές και πολλοί πολίτες εγκλωβίσθηκαν στα οχήματα τους.

Σύμφωνα με δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, όπως και από δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον τύπο και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης χιόνισε σε μία ευρεία περιοχή του Ελληνικού χώρου όπως φαίνεται στο *σχήμα 3.1* με χιονοπτώσεις να εμφανίζονται ακόμα και σε περιοχές όπως η Κως και η Σκύρος, η Σάμος, η Μύκονος η Κρήτη (Σταθμός της Σούδας και του Ηρακλείου), περιοχές που οι χιονοπτώσεις είναι πολύ σπάνιες (Matzarakis et al., 2005). Στις 15 και 16 Φεβρουαρίου τα χιόνια σκέπασαν όλο το λεκανοπέδιο, με πολύ μεγάλα ύψη χιονιού στη Βοιωτία, Εύβοια και Αττική, με την Αττική να έχει καλυφθεί στο χιόνι μέχρι και τις κεντρικές και παραλιακές περιοχές. Οι θερμοκρασίες παρέμειναν χαμηλά με αποτέλεσμα το χιόνι να παραμείνει αναλλοίωτο ειδικά στα πιο ορεινά σημεία της περιοχής. Γενικότερα η διάρκεια των χιονοπτώσεων ήταν μεγαλύτερη στις βόρειες και δυτικές περιοχές με μέγιστο χρόνο χιονόπτωσης να καταγράφεται στη Τανάγρα, όπου και χιόνισε για 42 ώρες από τις 15 έως και τις 16 Φεβρουαρίου. (Παπαπέτρου & Καραταράκης, 2021).

Στην αναφορά της ΕΜΥ (Παπαπέτρου & Καραταράκης, 2021) αναφέρεται ακόμα και η θετική επίδραση που αναμένεται να έχει το φαινόμενο, με τη συμβολή των χιονοπτώσεων στον υδροφόρο ορίζοντα, καθώς όπως προαναφέρθηκε τα χιόνια σε πολλές περιοχές έλιωσαν με πολύ αργούς ρυθμούς, δίνοντας έτσι την ευκαιρία στο νερό από τη τήξη τους να διεισδύσει σε μεγάλα βάθη στους υπόγειους υδροφορείς, ενισχύοντας τα υδάτινα αποθέματα



Σχήμα 3. 1 Σταθμοί στους οποίους καταγράφηκε χιονόπτωση την περίοδο 13-17/02/2021. Οι μωβ χιονονιφάδες αντιστοιχούν σε επίσημους σταθμούς της ΕΜΥ στους οποίους έχει καταγραφεί χιονόπτωση, ενώ οι μπλε χιονονιφάδες αντιστοιχούν σε χιονόπτωση που έχει καταγραφεί από την παρούσα έρευνα μέσω των Μ.Μ.Ε. και των μέσων δικτύωσης. Το σκούρο πράσινο αντιστοιχεί σε περιφέρεια στην οποία καταγράφηκε χιονόπτωση. Δεδομένα : ΕΜΥ + ΜΜΕ

### 3.2 Φαινόμενα (Χιονοπτώσεις)

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό και τη μελέτη των χιονοπτώσεων προήλθαν τόσο από δεδομένα της ΕΜΥ όσο και από δεδομένα που συλλέχθηκαν στη παρούσα μελέτη από Μέσα Μαζικής ενημέρωσης (Εφημερίδες, Τηλεοπτικά προγράμματα, κ.α.) και από σελίδες μέσω κοινωνικής δικτύωσης. Τα δεδομένα δίνουν τη παρουσία χιονιού στις εκάστοτε περιοχές και όχι το ύψος των χιονοπτώσεων καθώς η ΕΜΥ δεν διέθετε αυτή τη πληροφορία και αυτή που συλλέχθηκε από ιδιώτες και καταγράφηκε στις εναλλακτικές πηγές που αναφέρθηκαν δεν θεωρήθηκε αξιόπιστη και έτσι δεν συμπεριλήφθηκε στη παρούσα εργασία.

Οι χιονοπτώσεις που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του φαινομένου της Μήδεια ακολούθησαν πορεία από τα Βόρεια προς τα Νότια στη πορεία των 5 ημερών που διήρκησε το φαινόμενο, με το μέγιστο γεωγραφικό εύρος να παρατηρείται τις δύο πρώτες ημέρες που ονομάστηκαν και ως «πρώτη φάση» του φαινομένου από το

Αστεροσκοπείο Αθηνών (Καραγιαννίδης & Λαγουβάρδος, 2021). Στη δεύτερη φάση που εκτυλίχθηκε κατά τις τρεις τελευταίες ημέρες του φαινομένου οι χιονοπτώσεις μετακινήθηκαν νοτιότερα και επηρέασαν και τη πρωτεύουσα. Στη φάση αυτή παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη ένταση των χιονοπτώσεων. Τα φαινόμενα στη φάση αυτή παρατηρούνται κυρίως στις 15 και 16 Φεβρουαρίου. Όμως συμπεριλαμβάνεται και η 17<sup>η</sup> Φεβρουαρίου καθώς σε μερικές περιοχές οι χιονοπτώσεις συνεχίστηκαν αλλά και σε πολλές περιοχές παρά την έλλειψη χιονοπτώσεων καταγράφεται η διατήρηση της χιονοκάλυψης λόγω χαμηλών θερμοκρασιών που δεν επέτρεψαν στο ήδη υπάρχον χιόνι να λιώσει.

Στον Πίνακα 3.1 συμβολίζονται με χιονονιφάδα οι περιοχές στους σταθμούς των οποίων η ΕΜΥ κατέγραψε χιονόπτωση στις αντίστοιχες ημερομηνίες (στο εκάστοτε 24ωρο από 00:00 UTC έως και 23:59 UTC). Οι σταθμοί στον πίνακα έχουν διαταχθεί κατά φθίνον γεωγραφικό πλάτος, που επιτρέπει να παρατηρηθεί εύκολα η προαναφερθείσα «μετακίνηση» των φαινομένων από τα βόρεια προς τα νότια της χώρας στη διάρκεια της κακοκαιρίας. Παρατηρείται ότι ολικός παγετός παρουσιάζεται μόνο στην πρώτη φάση του δεδομένου στην βόρεια Ελλάδα και ενώ οι θερμοκρασία παραμένει χαμηλή (κάτω των 8° C ) για όλες τις περιπτώσεις, στην νότια Ελλάδα, για το δεύτερο σκέλος του φαινομένου δεν καταγράφηκε καν παγετός με τις ελάχιστες θερμοκρασίες να παραμένουν άνω των 0° C.

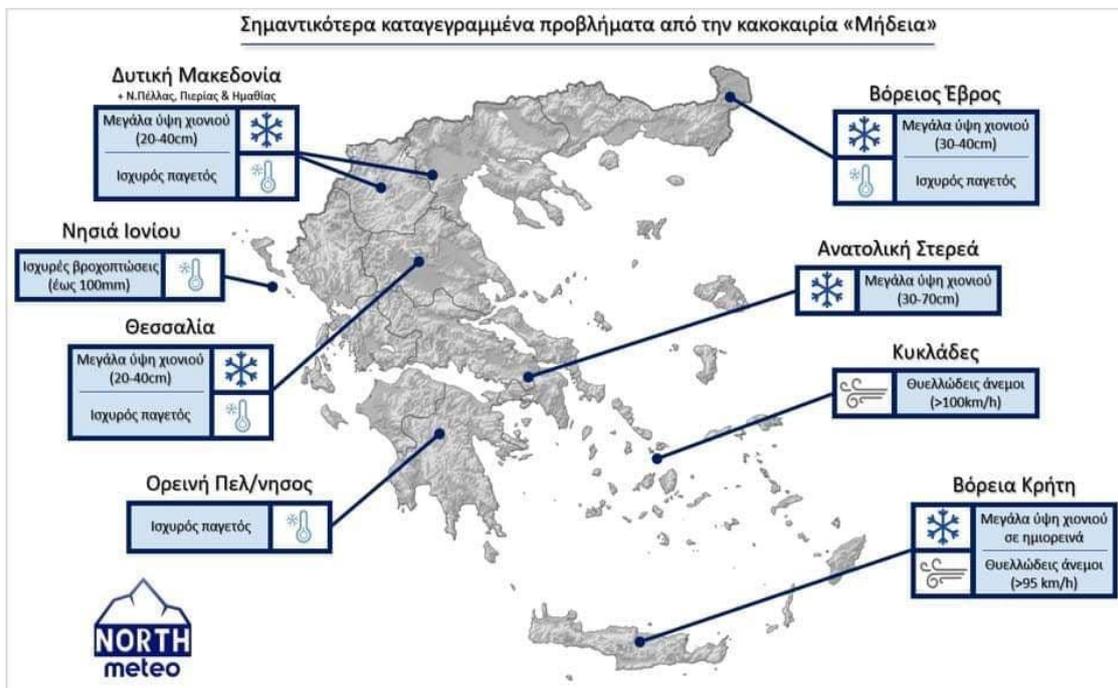
Πίνακας 3. 1 Σταθμοί της ΕΜΥ στους οποίους καταγράφηκε χιονόπτωση κατά τη διάρκεια του φαινομένου «Μήδεια» και η ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε. Οι συντεταγμένες των σταθμών αυτών χρησιμοποιήθηκαν και για την συνοπτική ανάλυση του φαινομένου. Οι μπλε χιονονιφάδες αντιστοιχούν σε περιπτώσεις ολικού παγετού, οι γκρι σε περιπτώσεις παγετού, και οι κόκκινες σε περιπτώσεις όπου οι θερμοκρασίες παρέμειναν άνω των 0° C Δεδομένα : ΕΜΥ

Θερμοκρασία	13/2/2021		14/2/2021		15/2/2021		16/2/2021		17/2/2021	
	Ελάχιστη	Μέγιστη								
ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ-ΚΑΒΑΛΑ	-2°C ❄️	5°C	-3.6°C ❄️	-2°C						
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ			-4.2°C ❄️	-0.8°C						
ΑΕΡ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	-0.2°C ❄️	5°C	-2.6°C ❄️	0°C						
ΚΑΣΤΟΡΙΑ			-9°C ❄️	-4.7°C						
ΚΟΖΑΝΗ	-7.2°C ❄️	0°C	-9.5°C ❄️	-7.1°C						
ΚΟΝΙΤΣΑ	0.3°C ❄️	7.6°C								
ΛΗΜΝΟΣ			-0.2°C ❄️	2°C						
ΙΩΑΝΝΙΝΑ			-3°C ❄️	6.8°C						
ΛΑΡΙΣΑ	-0.6°C ❄️	4.2°C	-2.4°C ❄️	-0.6°C						
ΑΓΧΙΑΛΟΣ	1.7°C ❄️	8°C	-1.8°C ❄️	1.8°C	-2.2°C ❄️	2.2°C				
ΣΚΙΑΘΟΣ			-	-	-	-				
ΣΚΥΡΟΣ					2.1°C	4.6°C	1.8°C ❄️	5.2°C		
ΧΙΟΣ					4.6°C ❄️	7°C	3.2°C ❄️	6.4°C		
ΤΑΝΑΓΡΑ			0.3°C ❄️	5.8°C	-1.6°C ❄️	1.3°C	-1.1°C ❄️	2°C		
ΤΑΤΟΙ (ΔΕΚΕΛΕΙΑ)					-0.8°C ❄️	2.6°C	-1.6°C ❄️	-0.3°C	-2.9°C ❄️	6.8°C
ΕΛΕΥΣΙΝΑ					-1.1°C ❄️	2.6°C	-1.2°C ❄️	2.6°C		
ΣΠΑΤΑ (ΑΕΡ ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ)					0°C ❄️	5.2°C	-0.2°C ❄️	2.2°C	1°C ❄️	7.2°C
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΕΡ					0.7°C ❄️	5.3°C	-0.6°C ❄️	2.6°C		
ΤΡΙΠΟΛΗ					-2.5°C ❄️	0.8°C				
ΜΥΚΟΝΟΣ							3°C ❄️	6.2°C		
ΣΟΥΔΑ							2.2°C ❄️	6°C	3°C ❄️	8.6°C
ΚΑΣΤΕΛΛΙ							0°C ❄️	5.2°C	1°C ❄️	5.2°C

Στο *σχήμα 3.1* φαίνονται οι περιοχές στις οποίες καταγράφηκε χιονόπτωση ανα ημέρα και πάλι όπως και πριν αλλά με δεδομένα από όλες τις διαθέσιμες πηγές που μελετήθηκαν. Με κόκκινη χιονονιφάδα συμβολίζονται τα δεδομένα που καταγράφηκαν από την EMY ενώ με μπλε χιονιφάδα τα δεδομένα από τις υπόλοιπες πηγές. Στις 13 Φεβρουαρίου οι περισσότερες παρατηρήσεις συγκεντρώνονται στη Βόρεια Ελλάδα και ιδιαίτερα στη περιοχή της Θεσσαλονίκης και της υπόλοιπης Μακεδονίας. Χιονοπτώσεις όμως καταγράφονται και στον Έβρο, την Ήπειρο, τη Θεσσαλία αλλά μέχρι και τη βορειότερη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας. Στις 14 Φεβρουαρίου είναι εμφανές ότι οι περιοχές με χιονοπτώσεις επεκτάθηκαν με περισσότερες καταγραφές χιονοπτώσεων στις περιοχές όπου χιονισε και στις 13 Φεβρουαρίου αλλά και με νέες περιοχές να καταγράφουν χιονοπτώσεις όπως η νότια Στερεά Ελλάδα, η Εύβοια αλλά ακόμα και κάποια νησιά του βορείου Αιγαίου, όπως η Λήμνος, η Σκιάθος και η Θάσος. Στις 15 Φεβρουαρίου ξεκινά η δεύτερη φάση του φαινομένου και αυτό είναι φανερό και στο *σχήμα 3.1*, λιγότερες καταγραφές χιονοπτώσεων γίνονται στη βόρεια Ελλάδα αν και ακόμα υπάρχουν κάποιες ιδιαίτερα στα βορειοδυτικά. Οι περισσότερες χιονοπτώσεις καταγράφονται στην Αττική, τη Βοιωτία και την Εύβοια. Κάποιες χιονοπτώσεις όμως καταγράφονται και νοτιότερα, στην Πελοπόννησο αλλά ακόμα και στην Κρήτη. Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να καταγραφεί ότι οι σταθμοί της EMY στην Κρήτη δεν κατέγραψαν ακόμα χιονοπτώσεις και τα δεδομένα προέρχονται μόνο από τις εναλλακτικές πηγές. Μία από τις κυριότερες αιτίες για αυτό είναι ότι οι χιονοπτώσεις αυτές καταγράφηκαν από ιδιώτες σε ορεινά χωριά και όχι στις μεγάλες πόλεις του νησιού. Στις 16 Φεβρουαρίου οι χιονοπτώσεις περιορίζονται σε έκταση αλλά σύμφωνα με την EMY (Παπαπέτρου & Καραταράκης, 2021) η ένταση τους είναι η μέγιστη. Οι χιονοπτώσεις καταγράφονται κυρίως στην Αττική με κάποιες να εκτείνονται στη Βοιωτία και την Εύβοια. Στα νησιά της χώρας χιονοπτώσεις υπάρχουν στο κεντρικό και στο νότιο Αιγαίο (Σκύρος, Χίος, Μύκονος, Κως και Ρόδος), όπως και στην Κρήτη, όπου χιονοπτώσεις καταγράφονται τώρα και από τους σταθμούς της EMY, και αναφέρεται ότι υπήρχε χιονόπτωση και μέσα στις πόλεις και κοντά στη θάλασσα. Τέλος, στις 17 Φεβρουαρίου, τα δεδομένα προέρχονται μόνο από σταθμούς της EMY και καταγράφονται χιονοπτώσεις μόνο στην Αττική και στην Κρήτη (στην πλειονότητα τους μέχρι τις 06:00 UTC).

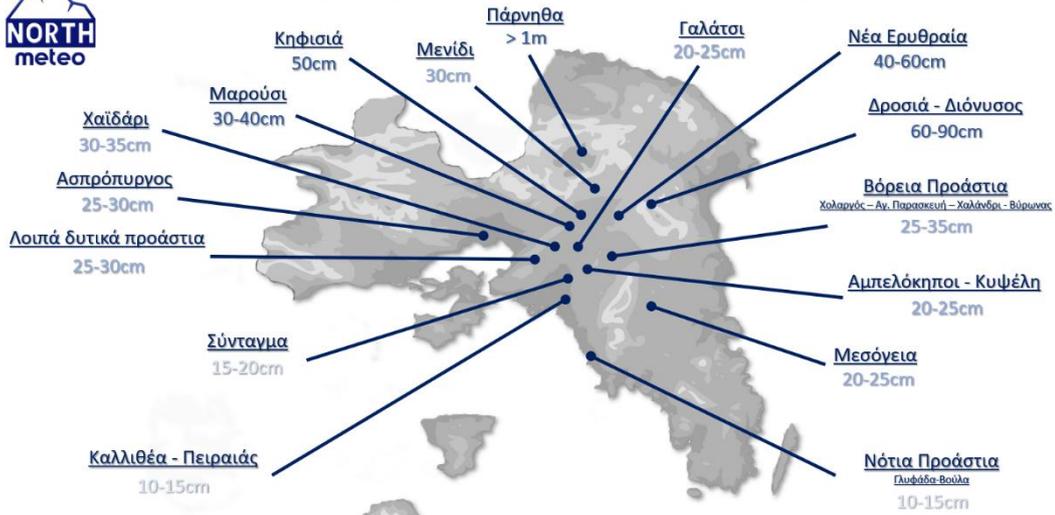
Είναι σημαντικό να σημειωθεί η έλλειψη χιονοπτώσεων στη δυτική Ελλάδα και στα νησιά του Ιονίου, στα οποία οι καταγραφές των ημερών ανέφεραν ήπιο έως και αίθριο καιρό. Η αιτία αυτού θα γίνει κατανοητή στη συνέχεια, με την ανάλυση του φαινομένου.

Στα *σχήματα 3.2 και 3.3* εμφανίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του φαινομένου για τη περιοχή της Ελλάδας και τα ύψη χιονιού που μετρήθηκαν από ιδιώτες στη περιοχή της Αττικής. Τα σχήματα αυτά δίνουν μια εικόνα για την ένταση του φαινομένου, που δεν μπορεί να παραχθεί από τα επίσημα δεδομένα της ΕΜΥ. Οι αναφορές υψών χιονιού έγιναν από πολίτες και δεν θεωρούνται απολύτως ακριβείς, γι' αυτό δεν λαμβάνονται υπόψιν στην ανάλυση αλλά παρουσιάζονται ως μία γενική εικόνα για τη κατανόηση του φαινομένου από τον αναγνώστη.



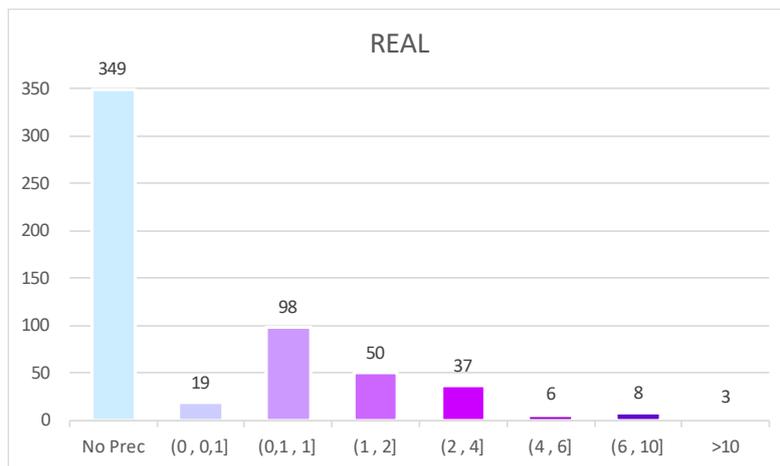
Σχήμα 3. 2 Βασικά χαρακτηριστικά του φαινομένου Μήδεια σε όλη την Ελλάδα. Πηγή: <https://northmeteo.gr>

Κακοκαιρία «Μήδεια» – Συνολικά ύψη χιονιού στο νομό Αττικής



Σχήμα 3. 3 Μέγιστα ύψη χιονιού στην περιοχή της Αττικής για τις 15/02/2021 από δεδομένα πολιτών. Πηγή: <https://northmeteo.gr>

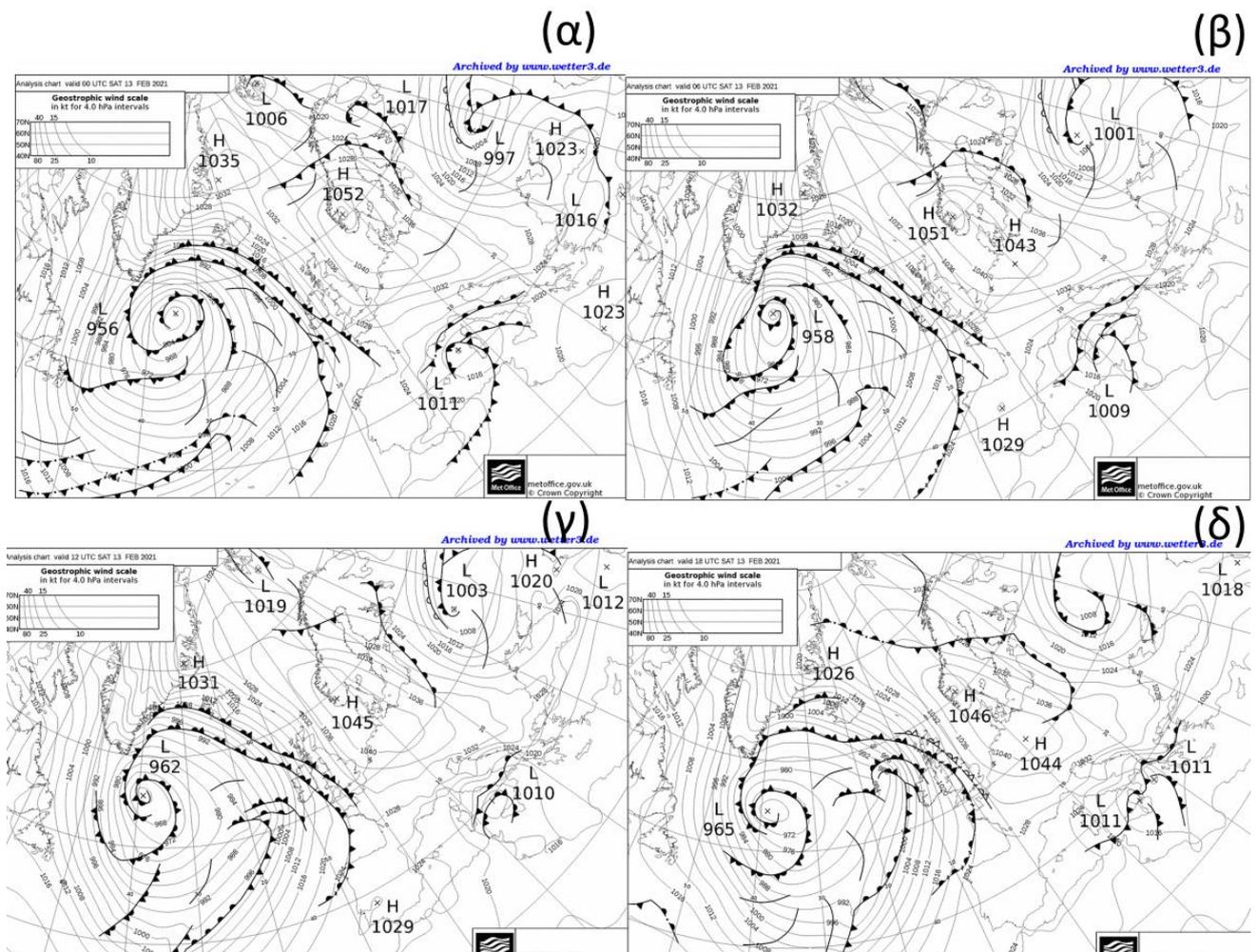
Παρότι δεν υπάρχουν στοιχεία για το ύψος χιονιού και την κατανομή αυτού, υπάρχουν στοιχεία για τον υετό που παρουσιάζεται κατά το φαινόμενο στους σταθμούς της. Οι διαθέσιμες μετρήσεις του υετού διαχωρίζονται σε 8 κλάσεις και υπολογίζεται η συχνότητα εμφάνισης κάθε κλάσης στις παρατηρήσεις της ΕΜΥ (σχήμα 3.4). Είναι εμφανές ότι 349 από τις παρατηρήσεις αντιστοιχούν στην έλλειψη υετού, ενώ η μεγαλύτερη συχνότητα παρατηρήσεων με υετό βρίσκεται στην κλάση (0.1 , 1] mm/ 3hr, με μόνο 11 παρατηρήσεις να υπάρχουν άνω των 6mm.



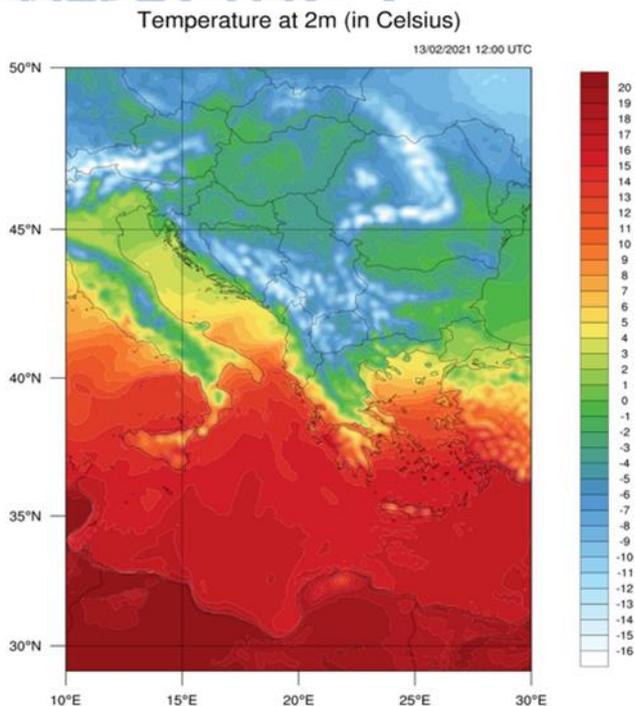
Σχήμα 3. 4 Ιστόγραμμα για κατανομή του υετού τριώρου (mm/3hr) σε 8 κλάσεις του υετού. Κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε μια κλάση του υετού. Δεδομένα : ΕΜΥ

### 3.3 Συνοπτική Ανάλυση 3.3.1 13/02/2021

Η 13 Φεβρουαρίου του 2021 είναι πρώτη ημέρα που αναλύεται σε σύνδεση με το φαινόμενο ενδιαφέροντος της εργασίας αυτής. Όπως φαίνεται στο *σχήμα 3.5*, στην αρχή της ημέρας, παρατηρείται κέντρο χαμηλών πιέσεων στα δυτικά της Μεσογείου, το οποίο στη συνέχεια κινείται προς τα Ανατολικά, φθάνοντας στο Ιόνιο στις 18:00 UTC με ελάχιστη πίεση στα 1011 hPa. Πάνω από τη Βόρεια Ευρώπη και τη Σκανδιναβία εμφανίζεται ένας αντικυκλώνας με το κέντρο του πάνω από τη νότια Νορβηγία, ο οποίος επεκτείνεται νοτιότερα στα Βαλκάνια. Η ροή πάνω από την Ελλάδα είναι ανατολική - βορειοανατολική, με ένα θερμό μέτωπο να «χωρίζει» τη χώρα στα δύο στις 18:00 UTC, με χαμηλές θερμοκρασίες στη βόρεια Ελλάδα και ειδικά στο ορεινά, όπως φαίνεται και στο *σχήμα 3.6*, και υψηλότερες θερμοκρασίες στη νότια Ελλάδα.



Σχήμα 3. 5 Χάρτες πίεσης επιφανείας για τις 13/02/2021. (α) 00:00UTC, (β)06:00UTC, (γ)12:00UTC, (δ)18:00UTC.  
Πηγή: [https://www.wetter3.de/archiv\\_ukmet\\_en.html](https://www.wetter3.de/archiv_ukmet_en.html)



Σχήμα 3. 6 Χάρτης θερμοκρασίας 2 μέτρων από την επιφάνεια σε βαθμούς Κελσίου. 13/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

Στο *σχήμα 3.7* απεικονίζεται η εικόνα της ατμόσφαιρας στα 850 hPa, όπου εμφανίζονται τα συστήματα που αναφέρθηκαν στους χάρτες επιφανείας είναι. Οι θερμοκρασίες στα 850 hPa είναι υπό του μηδενός στο εύρος των  $-2$  έως και  $-5$  °C στη βόρεια Ελλάδα ενώ στη νότια οι θερμοκρασίες παραμένουν πάνω από  $0$  °C.

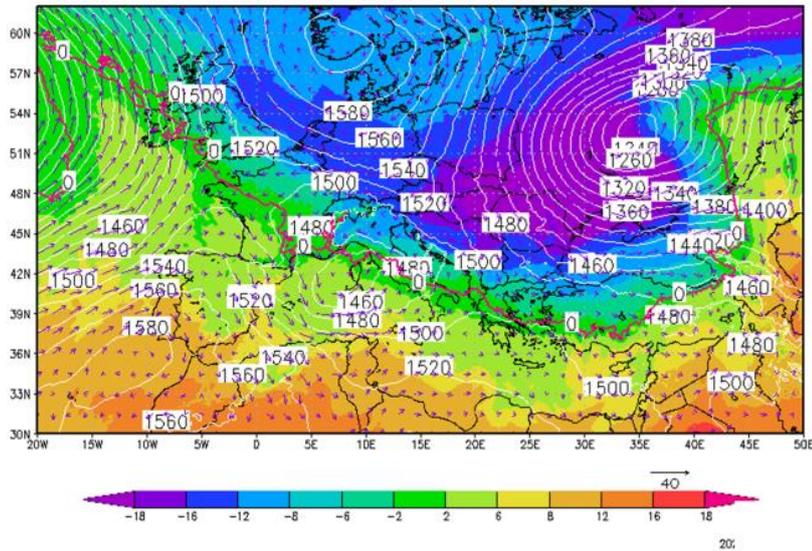
Στο *σχήμα 3.8* που αντιστοιχεί στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa παρατηρείται το βορειότερο χαμηλό πάνω από τη νότια Ρωσία και την Ουκρανία με κέντρο που αντιστοιχεί στα 5150 gpm, το οποίο εκτείνεται και πάνω από την Ανατολική Ευρώπη. Το χαμηλό των υψών της Ρωσίας-Ουκρανίας στα 850-500 hPa προκαλεί βόρεια ροή στα δυτικά του, η οποία μεταφέρει ψυχρές αέριες μάζες προς τα Βαλκάνια και την Ελλάδα. Ενώ ο αυλώνας της Μεσογείου (δίπλα στην Σαρδηνία – *σχήμα 3.8*) συνδέεται με το χαμηλό της επιφάνειας που φαίνεται στους χάρτες μέσης πίεσης επιφανείας θάλασσας.

Το *σχήμα 3.9*, που αποτυπώνει τον άνεμο στην ισοβαρική επιφάνεια των 300 hPa, φαίνεται η επιρροή των αεροχειμάρρων στην περιοχή ενδιαφέροντος. Στις 13 Φεβρουαρίου, ο πολικός αεροχειμάρρος «κατεβαίνει» πάνω από τη δυτική Ευρώπη και κινείται με δυτικούς ανέμους πάνω από τα Βαλκάνια, ακολουθώντας τη ροή που ορίζει το χαμηλό πάνω από τη δυτική Ρωσία. Το μέγιστο των ανέμων βρίσκεται και αυτό πάνω από τα Βαλκάνια με τις τιμές των ανέμων να ξεπερνούν τα 60 m/s και να αυξάνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Στον χάρτη της δυναμικής τροπόπαυσης (2 PVU με  $1 \text{ PVU} = 10^{-6} \text{Kkg}^{-1} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) (Σχήμα 3.10 α) παρουσιάζεται δυναμική ανωμαλία της τροπόπαυσης καθώς καταγράφονται μικρά γεωδυναμικά ύψη στην περιοχή της Ευρώπης με το ελάχιστο να εμφανίζεται πάνω από την Ουκρανία με 4000 grm, αλλά και χαμηλά ύψη πάνω από τη κεντρική Ευρώπη και την Ιταλία στο εύρος των 6000-8000 grm. Παράλληλα, παρατηρείται μεγάλη κλίση της τροπόπαυσης σε σχέση με τις γύρω περιοχές που βρίσκονται σε ύψη άνω των 11000 grm. Αυτό σημαίνει ότι στις περιοχές με χαμηλά γεωδυναμικά ύψη, στρατοσφαιρικός αέρας με μεγάλες τιμές δυναμικού στροβιλισμού διεισδύει στη τροπόσφαιρα (Πυθαρούλης, 2020b), όπου σε κατάλληλες συνθήκες βαροκλινικού περιβάλλοντος, υπάρχει δυνατότητα να οδηγήσει σε συνθήκες βαροκλιτικής αστάθειας (Hoskins et al., 1985). Έτσι και στη παρούσα περίπτωση, η ανωμαλία ενισχύει τον αυλώνα ψυχρού πυρήνα πάνω από τη νοτιοδυτική Ρωσία που ευθύνεται για τη μετακίνηση ψυχρών αερίων μαζών πάνω από τη περιοχή ενδιαφέροντος.

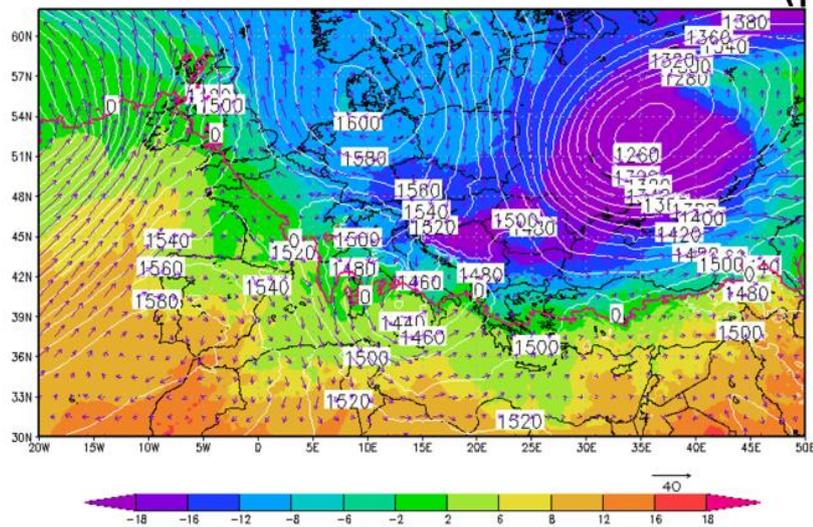
Temp(C), height(m) and Wind(m/s)  
at lev 850hPa at 00Z13FEB2021

(α)



Temp(C), height(m) and Wind(m/s)  
at lev 850hPa at 12Z13FEB2021

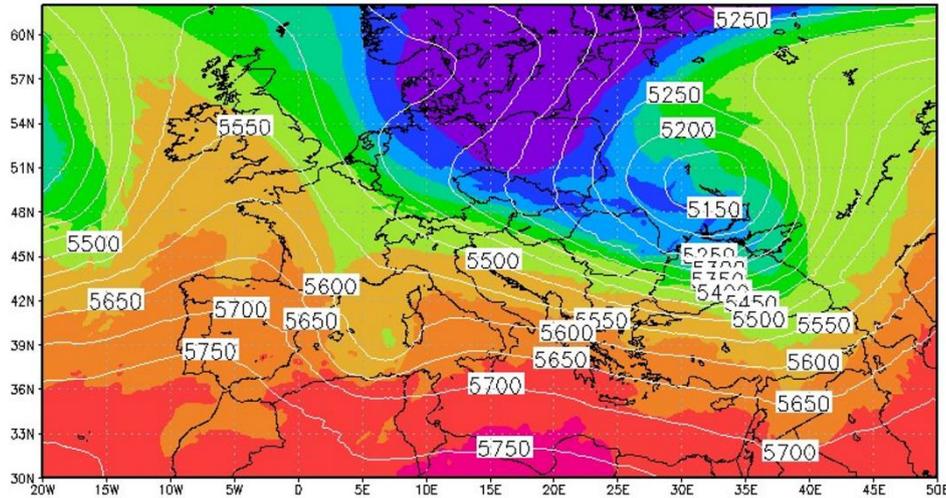
(β)



Σχήμα 3. 7 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa. Οι λευκές γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20gpm. Τα βελόνια αντιστοιχούν στον άνεμο και τα χρώματα υποδηλώνουν την θερμοκρασία ανά 4°C. Η κόκκινη γραμμή είναι η ισόθερμος των 0°C. Ημερομηνία: 13/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

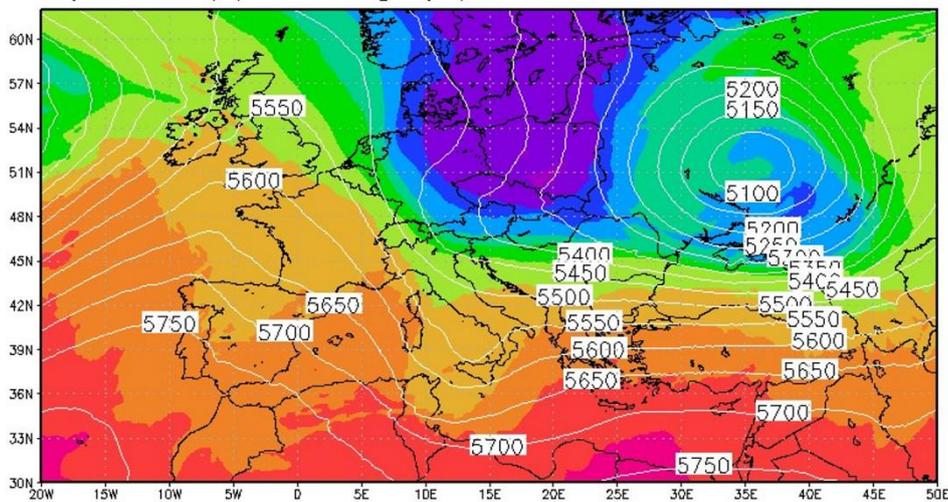
(α)

Temperature (C) and Height(m) at lev 500hPa at 00Z13FEB2021

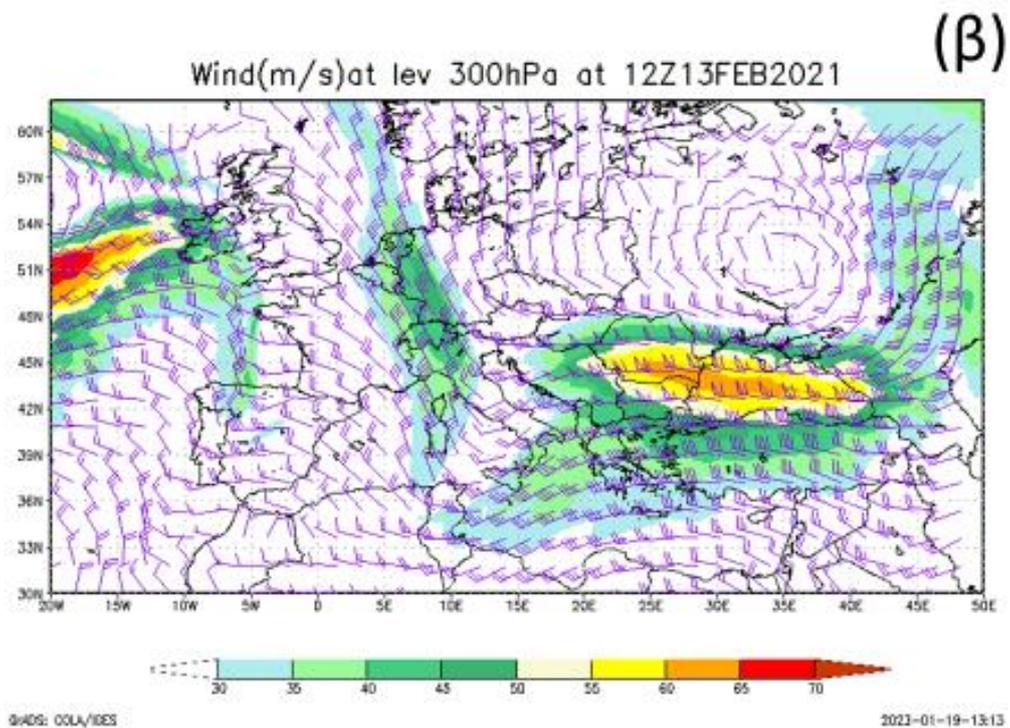
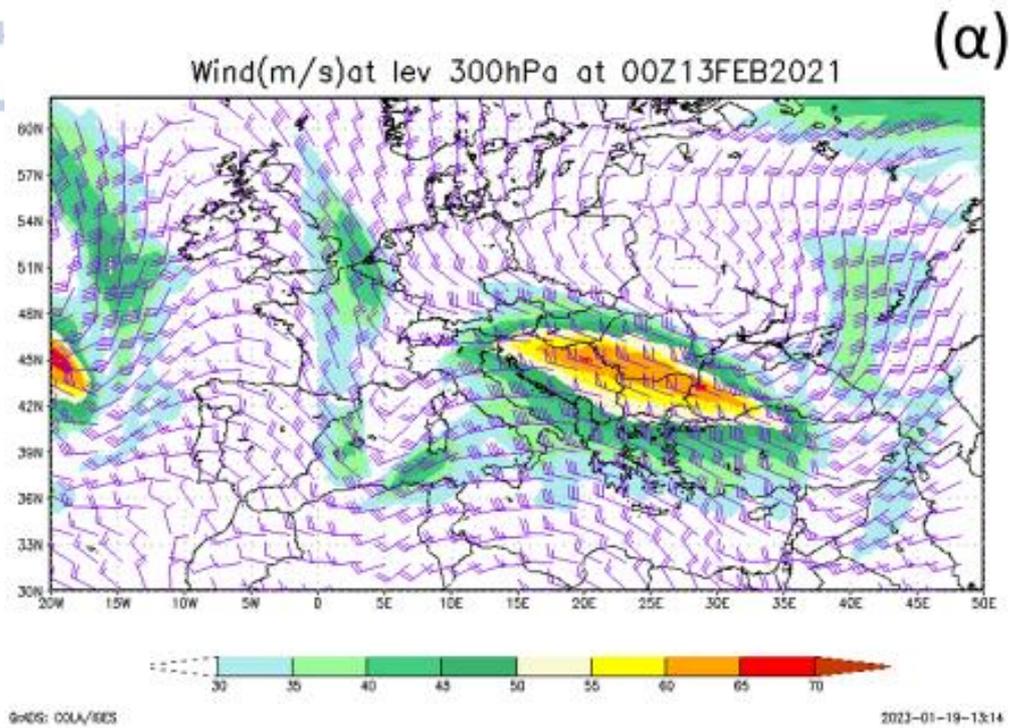


(β)

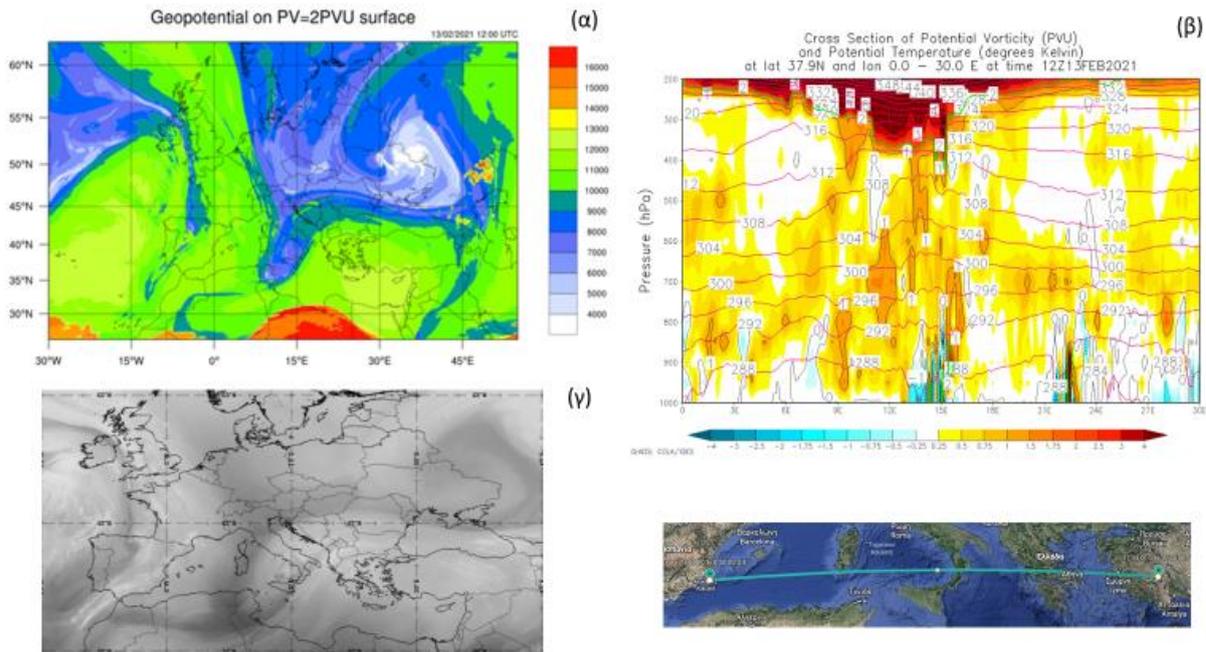
Temperature (C) and Height(m) at lev 500hPa at 12Z13FEB2021



Σχήμα 3. 8 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa. Οι λευκές γραμμές υποδηλώνουν ισοψείς ανά 50gpm. Τα χρώματα υποδηλώνουν τη θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου ανά 3°C. Ημερομηνία: 13/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις



Σχήμα 3. 9 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 300hPa. Τα μωβ βέλη (barbs) είναι ο άνεμος με την μία γραμμή να αντιστοιχεί σε 10 m/s. Τα χρώματα αντιστοιχούν στον άνεμο με ταχύτητα μεγαλύτερη των 30 m/s. Ημερομηνία: 13/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις



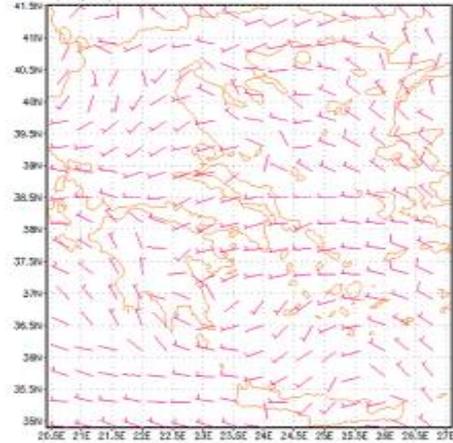
Σχήμα 3. 10 (α)Χάρτης γεωδυναμικού ύψους (gpm) της επιφάνειας με δυναμικό στροβιλισμό ίσο με 2PVU (δυναμική τροπόπαυση). (β) Κάθετη τομή δυναμικού στροβιλισμού (PVU) και δυναμικής θερμοκρασίας (°C) για γεωγραφικό πλάτος 38.9° N (όπως φαίνεται στον υπεράνω χάρτη) Η έντονη πράσινη γραμμή αντιστοιχεί στη τιμή δυναμικού στριβιλισμού με τιμή PV = 2 PVU Ημερομηνία: 13/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις (γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών MSG WV 6.2 μm Ημερομηνία: 13/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ibl (weather software solutions)

Στην κάθετη τομή της ατμόσφαιρας πάνω από τη περιοχή ενδιαφέροντος (Σχήμα 3.10 β) για τις μεταβλητές του δυναμικού στροβιλισμού και της δυναμικής θερμοκρασίας παρατηρείται ότι η δυναμική τροπόπαυση βρίσκεται πάνω από το ισοβαρικό επίπεδο των 200 hPa. Στην υπόλοιπη τροπόσφαιρα οι τιμές του δυναμικού στροβιλισμού παραμένουν στο μεγαλύτερο μέρος θετικές και με μικρό σχετικά μέτρο ( $\approx 0,75PVU$ ). Στα γεωγραφικά μήκη 21,9 – 22,7 E, δυτικά δηλαδή της Αττικής και πάνω από την βόρεια Πελοπόννησο παρουσιάζονται μεγάλες τιμές δυναμικού στροβιλισμού που οφείλονται στην επίδραση της τοπογραφίας, με κάποιες από τις τιμές να μην είναι πραγματικές καθώς είναι σε σημεία μέσα στην τοπογραφία. Δεν παρατηρείται έντονη κάθοδος της τροπόπαυσης στην κατώτερη τροπόσφαιρα.

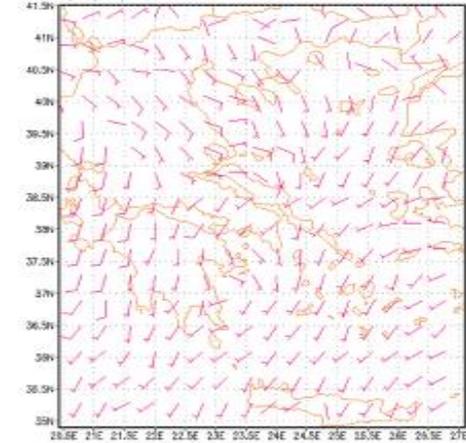
Ο άνεμος στα 850 hPa έχει μικρές σχετικά τιμές, γύρω στα 5 – 10 m/s και η κατεύθυνση των ανέμων είναι από δυτικές διευθύνσεις. (Σχήμα 3.11 (α) & (β)). Ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια και συγκεκριμένα στο ύψος των 10m (Σχήμα 3.11 (γ) &

(δ) είναι από δυτικές διευθύνσεις στην Δυτική Ελλάδα, ενώ είναι βορειοανατολικός στα βόρεια και ιδιαίτερα στο βόρειο Αιγαίο όπου παίρνει και τις μέγιστες τιμές του για την ημέρα που φθάνουν έως και 15 m/s μετά τις 18:00 UTC (δεν δείχνεται). Σύμφωνα με το *σχήμα 3.11 (ε)* για τη 13<sup>η</sup> Φεβρουαρίου του 2021 δεν παρατηρείται έντονη απόκλιση πάνω από την Αττική, την Εύβοια και τη Βοιωτία, αλλά παρατηρείται πολύ μικρή τιμή σύγκλισης ( $\approx -0.5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ).

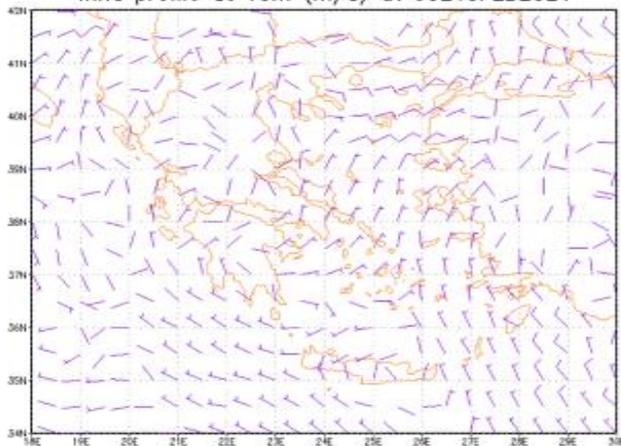
Wind(m/s) at lev 850hPa at 00Z13FEB2021 (α)



Wind(m/s) at lev 850hPa at 12Z13FEB2021 (β)



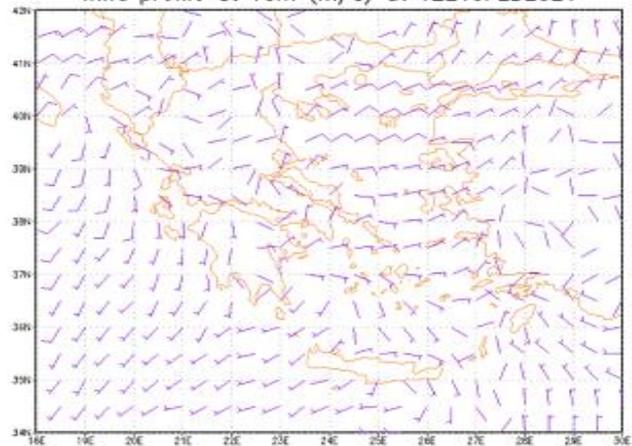
Wind profile at 10m (m/s) at 00Z13FEB2021 (γ)



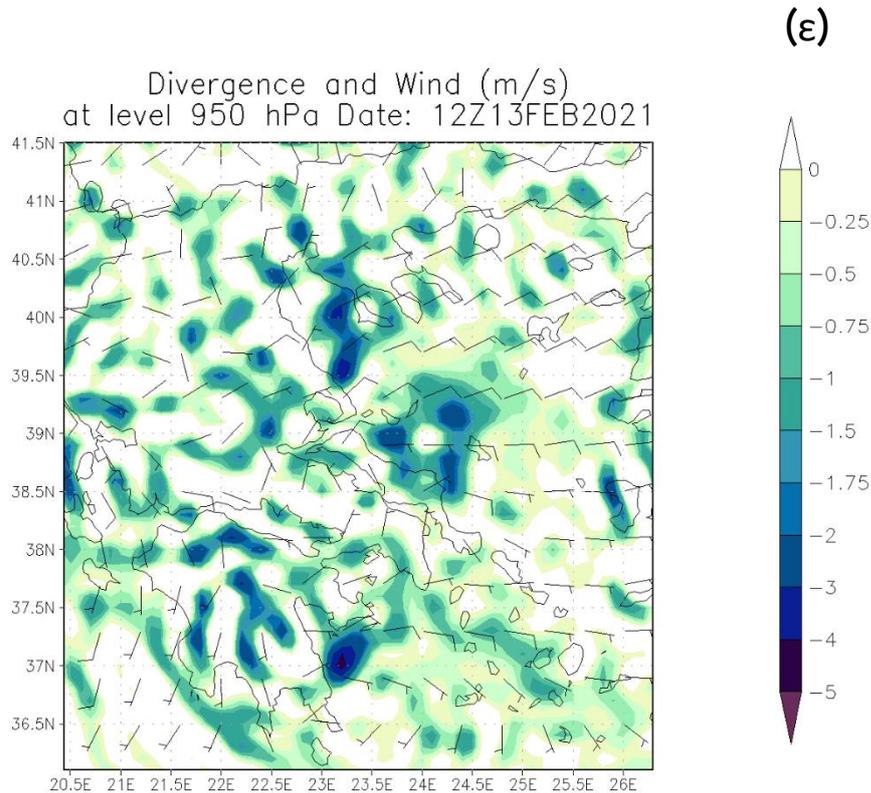
00-03A/005

(γ)

Wind profile at 10m (m/s) at 12Z13FEB2021 (δ)



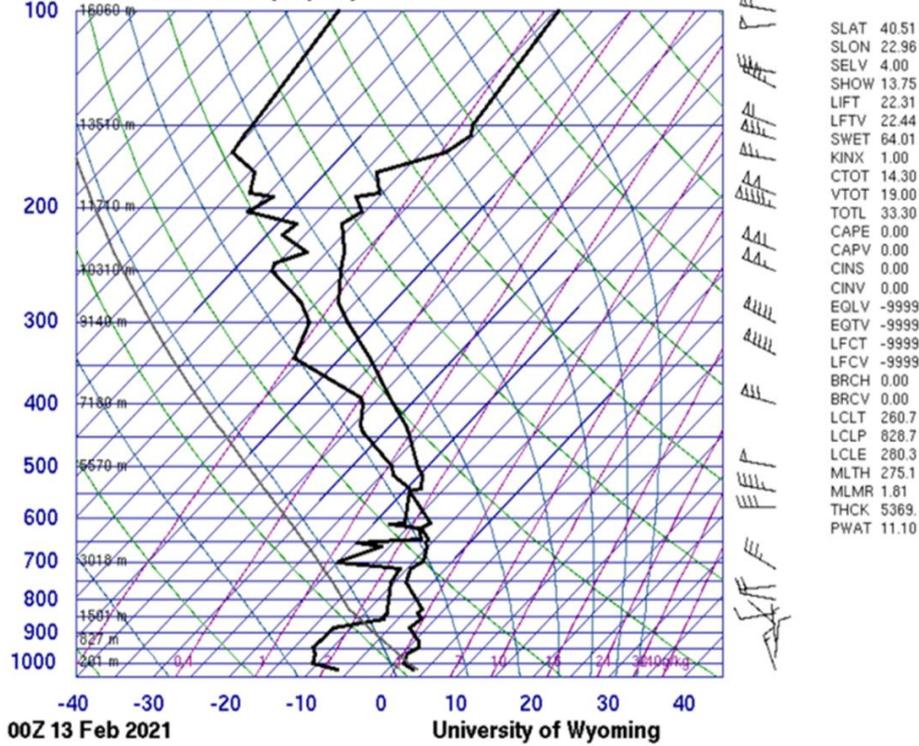
2021-01-21-0405: 00A/005



Σχήμα 3. 11 Χάρτες ανέμου στα 850 hPa ( α ) και ( β ) ) και στα 10 m από την επιφάνεια ( γ ) και ( δ ) ). Η μια γραμμή στα βελάκια (barbs) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Ημερομηνία: 13/02/2021 ( α ), ( γ ) 00:00UTC, ( β ), ( δ ) 12:00UTC. ( ε ) Χάρτης απόκλισης ανέμου πάνω από την περιοχή της κεντρικής Ελλάδας για τις 12:00 UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

Στο τεφίγραμμα του *σχήματος 3.12* που αντιστοιχεί στις 00:00 UTC για τις 13 Φεβρουαρίου του 2021 παρατηρείται ότι η θερμοκρασία είναι λίγο μεγαλύτερη του μηδενός κοντά στην επιφάνεια. Σε μεγαλύτερα ύψη παρατηρείται μικρή αναστροφή θερμοκρασιών από το επίπεδο των 1000 hPa έως και τα 950 hPa, όπως επίσης και στο επίπεδο των 900 έως και 850 hPa. Αυξημένη υγρασία παρατηρείται στο επίπεδο των 630 με 650 hPa. Στο επίπεδο των 850 hPa παρατηρείται έντονο «backing» των ανέμων, που αντιστοιχεί σε ψυχρή μεταφορά (Ζιακόπουλος & Φραγκούλη, 2015). Από τις κατακόρυφες τιμές στη βόρεια Ελλάδα σε γεωγραφικό πλάτος 40.9°N (*Σχήμα 3.13*) παρατηρούνται τόσο οι χαμηλές θερμοκρασίες υπό του μηδενός κοντά στην επιφάνεια όσο και η αύξηση του ποσοστού της σχετικής υγρασίας στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας με τη πορεία της ημέρας σε όλο το εύρος της κατακόρυφης τομής.

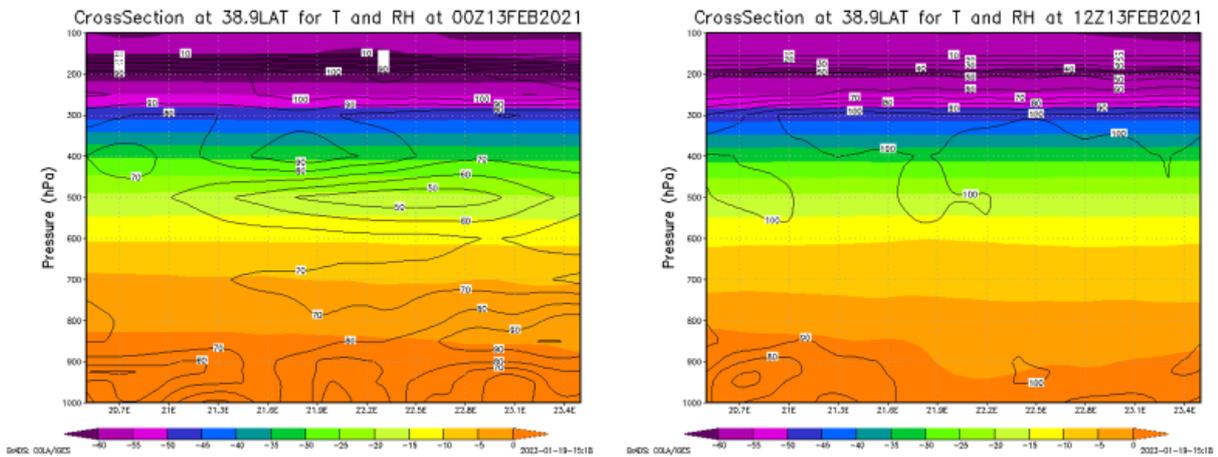
16622 LGTS Thessaloniki (Airport)



Σχήμα 3. 12 Τεφίγραμμα για τον σταθμό του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης (LGTS).  
Ημερομηνία: 13/02/2021 00:00UTC. Πηγή:  
<https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

(α)

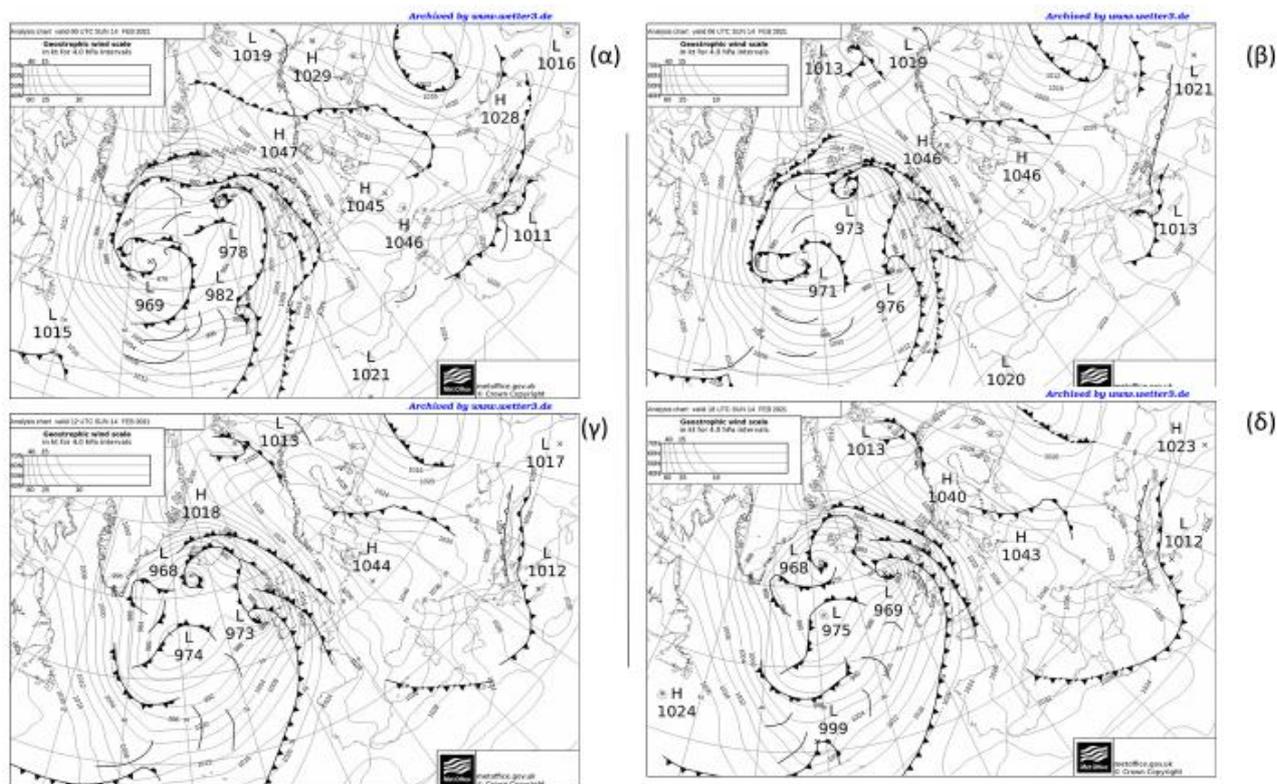
(β)



Σχήμα 3. 13 Ζωνικές κατακόρυφες τομές της θερμοκρασίας (σκίαση ανά 5°C) και της σχετικής υγρασίας (ισοπληθείς ανά 10%) στο γεωγραφικό πλάτος 40.9°N στις 13/02/2021 (α) 00:00UTC (β) 12:00UTC Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

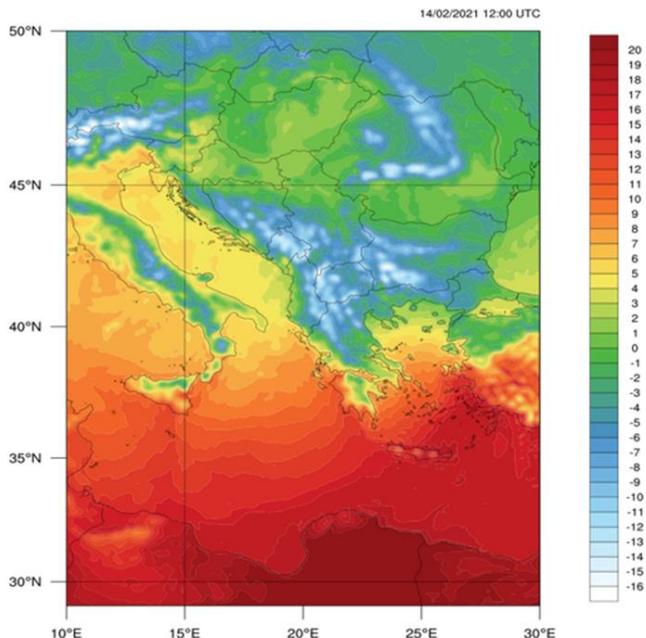
### 3.3.2 14/02/2021

Τη δεύτερη ημέρα μελέτης που αποτελεί και τη τελευταία ημέρα της πρώτης φάσης του φαινομένου, στους χάρτες πίεσης επιφανείας (Σχήμα 3.14) το χαμηλό πάνω από το νότιο Ιόνιο συνεχίζει να μετακινείται προς τα ανατολικά με το κέντρο του να περνά πάνω από το νοτιότερο άκρο της Ελληνικής περιοχής και την Κρήτη. Η θερμοβαθμίδα ενισχύεται στον Ελλαδικό χώρο. Οι θερμοκρασίες μειώνονται σε όλο το εύρος της ηπειρωτικής χώρας, με τιμές ακόμα και κάτω των  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  στα βόρεια της χώρας (Σχήμα 3.15). Συγκεκριμένα στην Κοζάνη η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους  $-10^{\circ}\text{C}$  καθ' όλη την ημέρα, όπως επίσης  $-10^{\circ}\text{C}$  καταγράφονται στην Φλώρινα στις 03:00 UTC, στην Καστοριά στις 06:00 UTC και στην Έδεσσα στις 21:00 UTC. Το κέντρο υψηλών πιέσεων που βρισκόταν πάνω από τη βόρεια Ευρώπη μετακινήθηκε νοτιότερα στην κεντρική Ευρώπη. Ο συνδυασμός των υψηλών πιέσεων στα βόρεια με τις χαμηλές πιέσεις στην ανατολική Μεσόγειο προκαλεί βορειοανατολική ροή που ευνοεί τη μετακίνηση ψυχρών αερίων μαζών από μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη.



Σχήμα 3. 14 Χάρτες πίεσης επιφανείας για τις 14/02/2021. (α) 00:00UTC, (β)06:00UTC, (γ)12:00UTC, (δ)18:00UTC.  
Πηγή: [https://www.wetter3.de/archiv\\_ukmet\\_en.html](https://www.wetter3.de/archiv_ukmet_en.html)

Temperature at 2m (in Celsius)



Σχήμα 3.15 Χάρτης θερμοκρασίας 2 μέτρων από την επιφάνεια σε βαθμούς Κελσίου. 14/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

Στα 850 hPa (Σχήμα 3.16) το χαμηλό των υψών εμφανίζεται πάνω από τη βόρεια Ελλάδα. Η θερμοκρασία στο επίπεδο αυτό έχει πτωτική τάση από την αρχή της ημέρας, με την ισόθερμο των 0 °C να μετακινείται νότια της Πελοποννήσου μετά τις 12:00 UTC και τις θερμοκρασίες πάνω από την βόρεια Ελλάδα να μειώνονται έως και τους -14 °C. Εμφανής είναι το χαμηλό των γεωδυναμικών υψών στην Ρωσία το οποίο επηρεάζει την περιοχή ενδιαφέροντος καθώς ο συνδυασμός του με την ράχη στην Κεντρική Ευρώπη προκαλεί μεταφορά πολύ ψυχρών αερίων μαζών ( $T_{850} < -16$  °C) από τα βόρεια.

Στην επιφάνεια των 500 hPa (Σχήμα 3.17) την Ελληνική περιοχή επηρεάζει ο αυλώνας που εκτείνεται από το χαμηλό των υψών της Ρωσίας προς τα Βαλκάνια. Το γεωδυναμικό ύψος πάνω από την Ελλάδα παραμένει κοντά στα 5500 gpm με την ροή να είναι δυτική νοτιοδυτική. Οι ψυχρές αέριες μάζες μεταφέρονται μέσω της κυκλωνικής κίνησης πάνω από την Ευρώπη από τα βόρεια προς την Ελλάδα, ψύχοντας την περιοχή στο επίπεδο των 500 hPa σε θερμοκρασίες -22 έως και -28 °C, με τις χαμηλότερες από αυτές θερμοκρασίες να παρουσιάζονται στην βόρεια Ελλάδα. Ο συνδυασμός των χαρτών στην μέση στάθμη θάλασσας και στα 500 hPa στις 00:00 και στις 12:00 UTC δείχνει ότι το βαρομετρικό χαμηλό της Ελλάδας έχει κλίση προς τα δυτικά με το ύψος. Αυτό υποδηλώνει τον βαροκλιτικό χαρακτήρα του και ότι είναι ακόμα σε φάση ανάπτυξης.

Στο ισοβαρικό επίπεδο των 300 hPa (Σχήμα 3.18) παρουσιάζεται η εικόνα των αεροχειμάρρων. Στις 14 Φεβρουαρίου του 2021 ο πολικός αεροχειμάρρος στρέφεται προς τα νότια πάνω από την κεντρική Ευρώπη και συναντά τον τροπικό

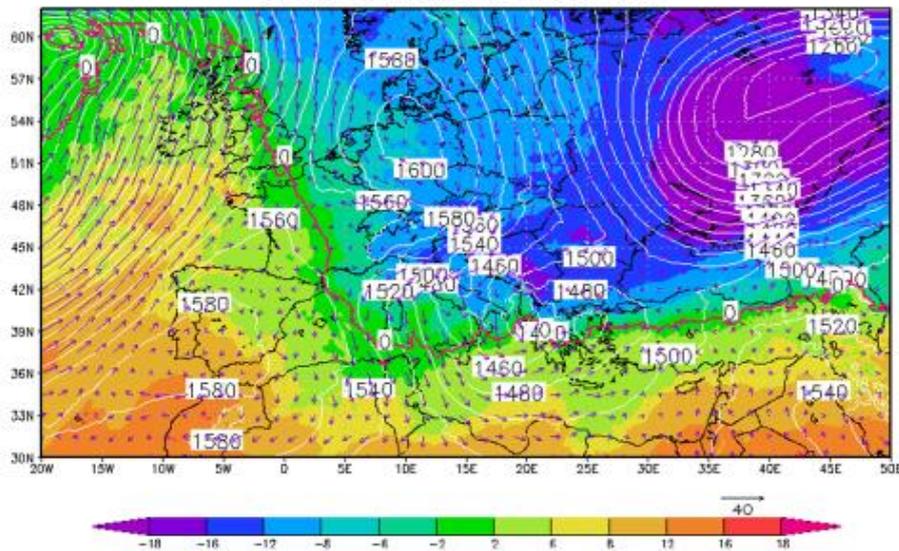


αεροχείμαρρο πάνω από την περιοχή της μεσογείου. Οι μέγιστες ταχύτητες του αεροχείμαρρου εμφανίζονται πάνω από την Πολωνία και την Ιταλία με ταχύτητες ανέμου να φθάνουν πάνω από 60 m/s. Οι ταχύτητες πάνω από την Ελλάδα βρίσκονται στο εύρος των 40 m/s.

Στον χάρτη επιφανείας 2PVU (Σχήμα 3.19) για τις 14/02 η δυναμική ανωμαλία της τροπόπαυσης έχει ακόμα το μέγιστο της πάνω από την περιοχή της Ουκρανίας αλλά στην περίπτωση αυτή επεκτείνεται και πάνω από τα Βαλκάνια και το Ιόνιο πέλαγος. Το ελάχιστο γεωδυναμικό ύψος να φθάνει στα 4000 grm και όπως αναφέρθηκε και για τις 13/02. Ο στρατοσφαιρικός αέρας που διεισδύει στην τροπόσφαιρα ενισχύει το βαρομετρικό χαμηλό στην επιφάνεια. Σημαντικό είναι να σημειωθεί πως το ύψος της τροπόπαυσης μειώνεται τώρα και πάνω από την Ελλάδα σε ύψος έως και 8000 grm.

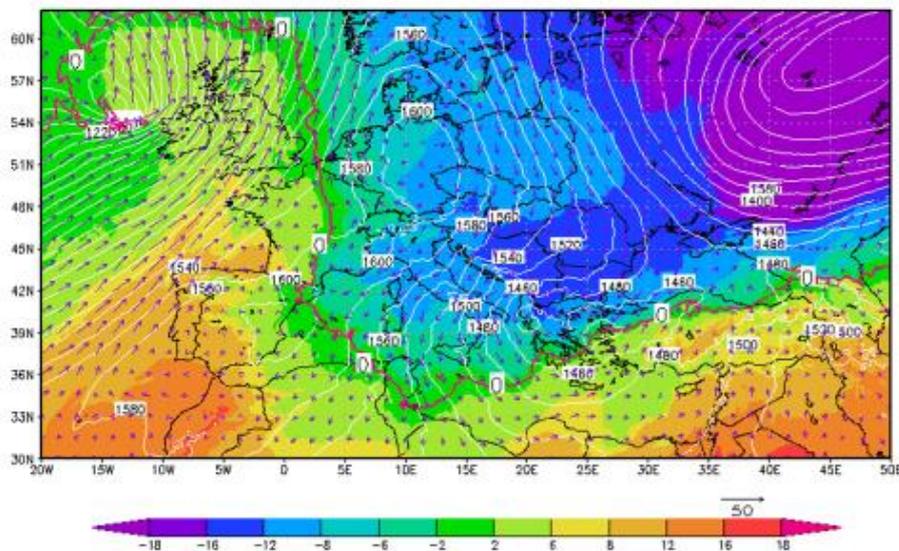
(α)

Temp(C), height(m) and Wind(m/s)  
at lev 850hPa at 00Z14FEB2021



(β)

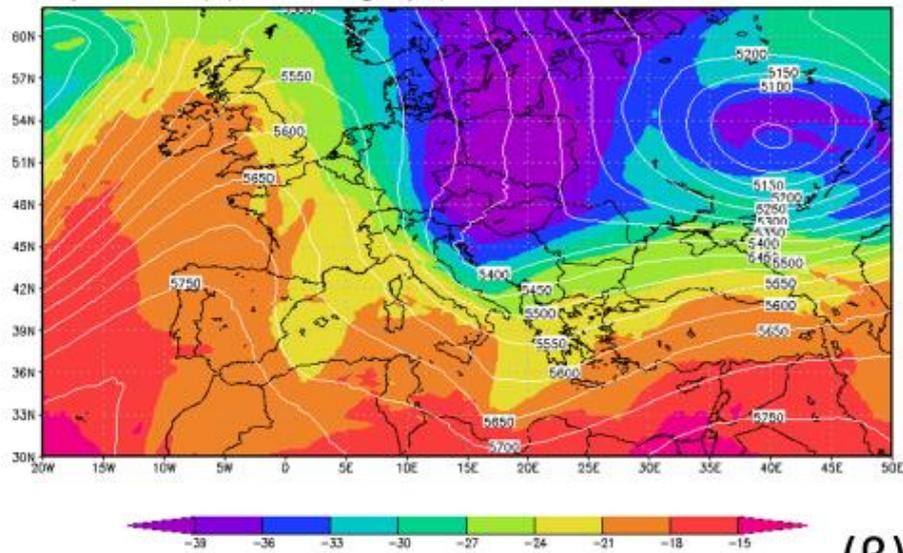
Temp(C), height(m) and Wind(m/s)  
at lev 850hPa at 12Z14FEB2021



Σχήμα 3. 16 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa. Οι λευκές γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20grm. Τα βελόνια αντιστοιχούν στον άνεμο και τα χρώματα υποδηλώνουν την θερμοκρασία ανά 4°C. Η κόκκινη γραμμή είναι η ισόθερμος των 0°C. Ημερομηνία: 14/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

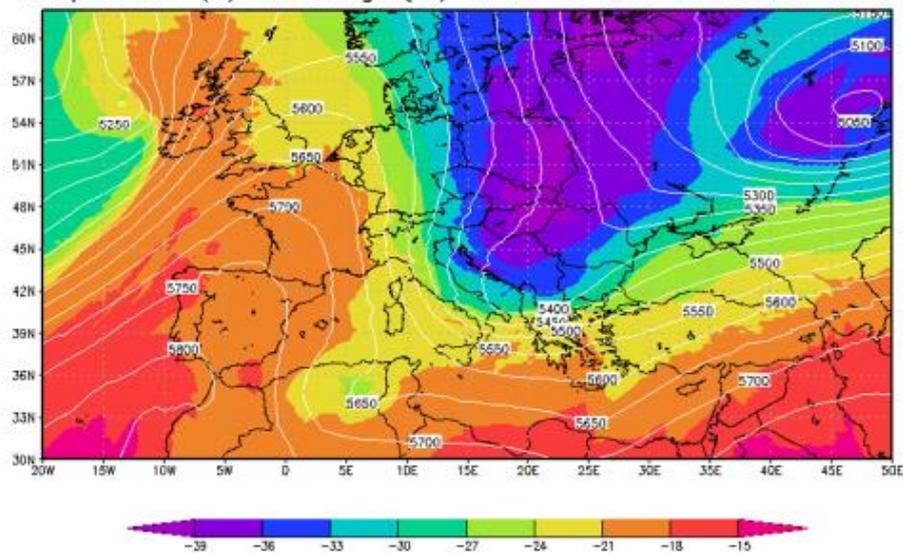
(α)

Temperature (C) and Height(m) at lev 500hPa at 00Z14FEB2021



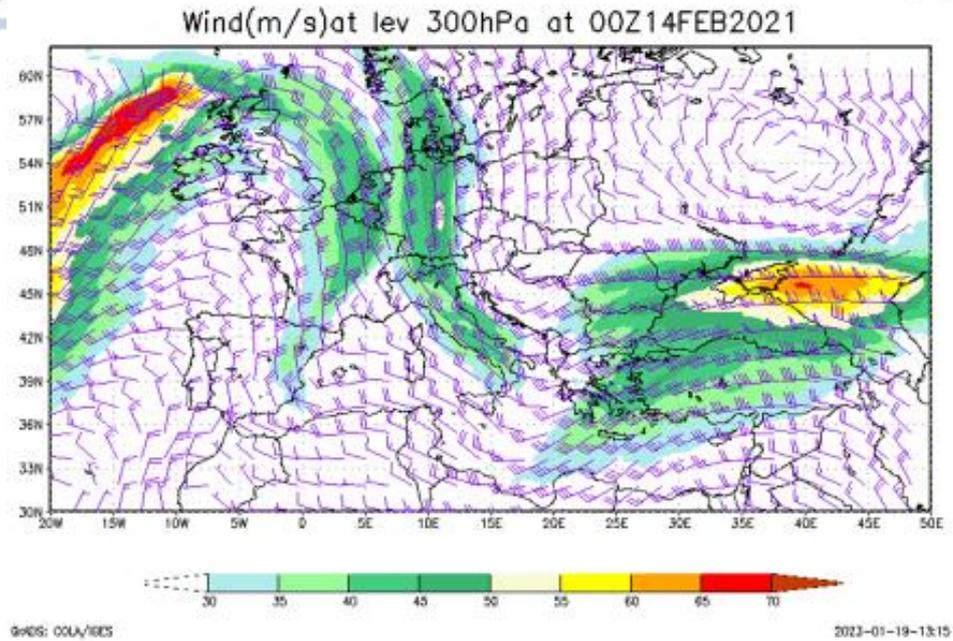
(β)

Temperature (C) and Height(m) at lev 500hPa at 12Z14FEB2021

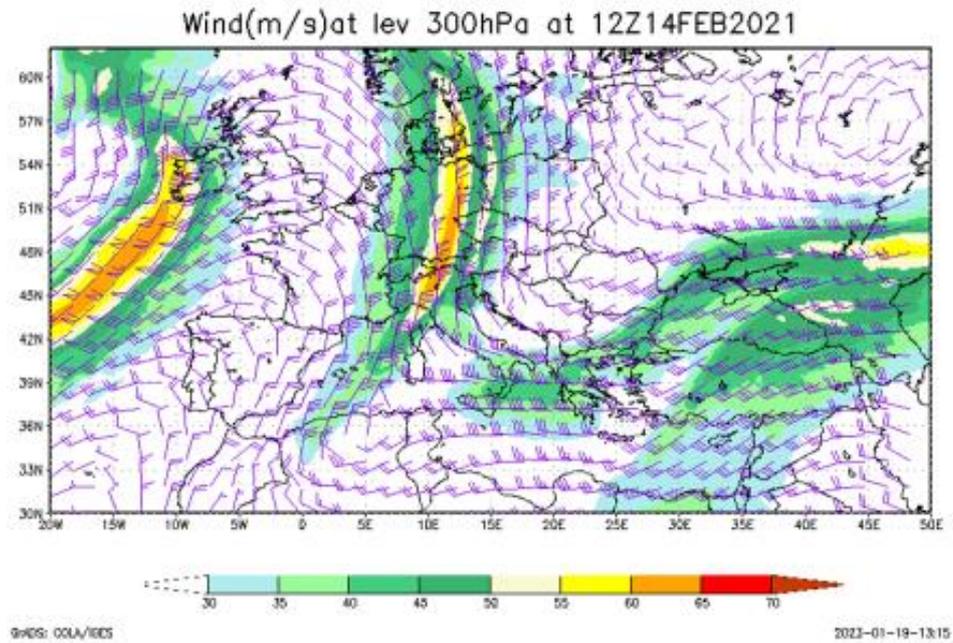


Σχήμα 3. 17 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa. Οι λευκές γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 50grm. Τα χρώματα υποδηλώνουν τη θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου ανά 3°C. Ημερομηνία: 14/02/2021 (α) 00:00UTC, (β) 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

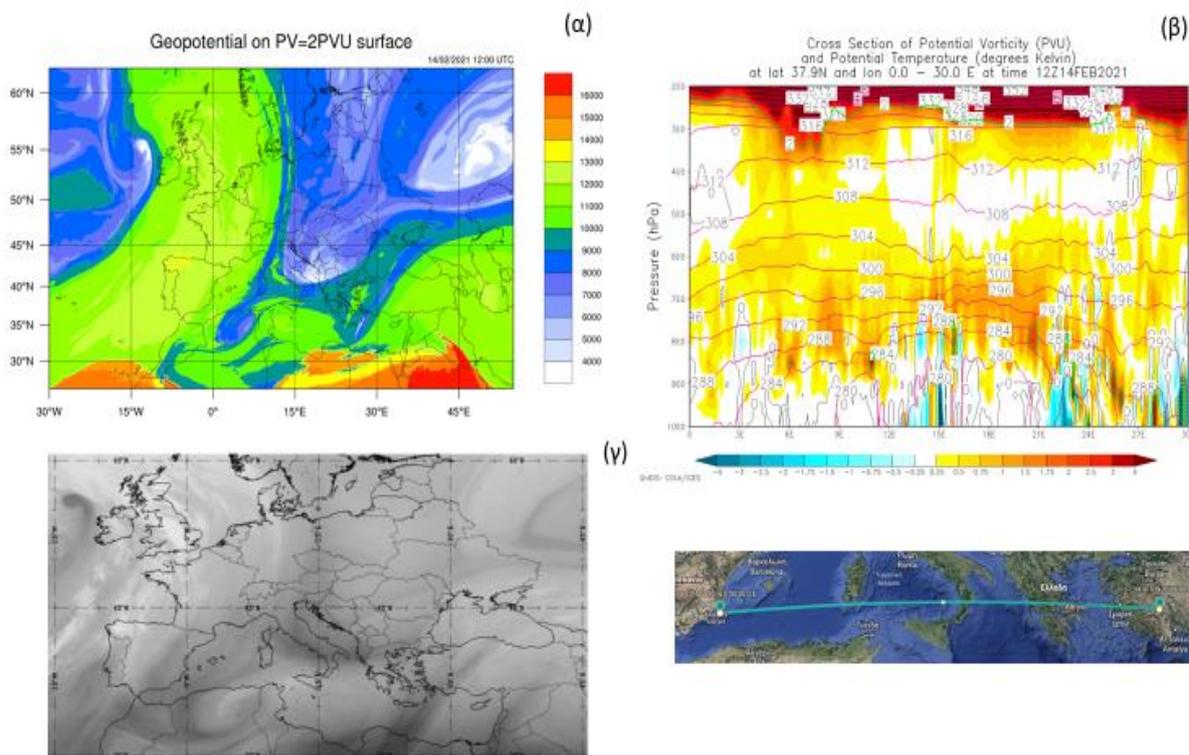
(α)



(β)



Σχήμα 3. 18 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 300hPa. Τα μωβ βέλη (barbs) είναι ο άνεμος με την μία γραμμή να αντιστοιχεί σε 10 m/s. Τα χρώματα αντιστοιχούν στον άνεμο με ταχύτητα μεγαλύτερη των 30 m/s. Ημερομηνία: 14/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις



Σχήμα 3. 19 (α)Χάρτης γεωδυναμικού ύψους (gpm) της επιφανείας με δυναμικό στροβιλισμό ίσο με 2PVU (δυναμική τροπόπαυση). (β) Κάθετη τομή δυναμικού στροβιλισμού (PVU) και δυναμικής θερμοκρασίας (°C) για γεωγραφικό πλάτος 38.9° N (όπως φαίνεται στον υπεράνω χάρτη) Η έντονη πράσινη γραμμή αντιστοιχεί στη τιμή δυναμικού στροβιλισμού με τιμή PV = 2 PVU Ημερομηνία: 14/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις (γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών MSG WV 6.2 μm Ημερομηνία: 14/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ibi (weather software solutions)

Στην κάθετη τομή (σχήμα 3.19 β) στις 12:00 UTC 14/02/2021 ο δυναμικός στροβιλισμός δείχνει μετατόπιση της δυναμικής τροπόπαυσης (2 PVU) χαμηλότερα στην τροπόσφαιρα. Συγκεκριμένα φθάνει έως και τα 300 hPa πάνω από τα δυτικά της κατακόρυφης τομής. Η δυναμική θερμοκρασία μειώνεται σε όλη την ατμόσφαιρα και κυρίως στα χαμηλά. Έντονος δυναμικός στροβιλισμός (άνω των 2.5 PVU) παρατηρείται πάνω από την περιοχή της Αττικής και ανατολικότερα πάνω από την νότια Εύβοια.

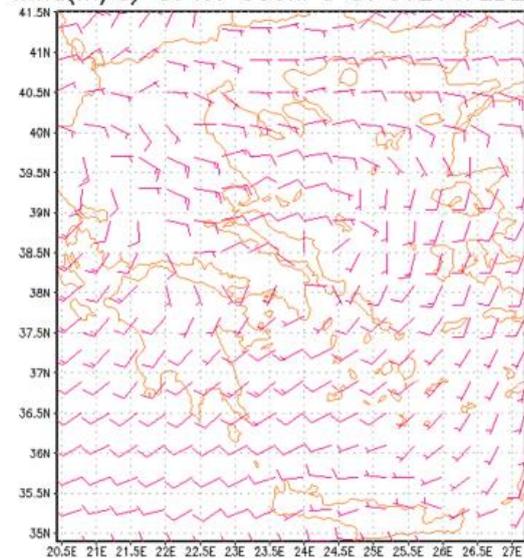
Ο άνεμος στα 850 hPa (Σχήμα 3.20 (α) & (β)) παραμένει σε σχετικά χαμηλές τιμές στα 5-10 m/s πάνω από ολόκληρη την χώρα με κυρίως δυτική - νοτιοδυτική κατεύθυνση στα νότια. Στα βόρεια της χώρας το πέρασμα του χαμηλού στρέφει τους ανέμους σε βορειοανατολικούς λόγω της κυκλωνικής κίνησης που προκαλεί, αυξάνοντας και τις ταχύτητες του ανέμου μέχρι και τα 20 m/s στην πορεία της ημέρας. Σημειώνεται ότι επικρατεί σχετική νηνεμία πάνω από τα δυτικά ηπειρωτικά. Ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια (σχήμα 3.20 (γ) & (δ)) έχει βόρεια - βορειοανατολική κατεύθυνση στα βόρεια, ειδικά προς το τέλος της ημέρας. Η ταχύτητα των ανέμων φθάνει το μέγιστο των 15 m/s πάνω από το Αιγαίο. Ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια (σχήμα 3.20 (α) & (β)) έχει συνοχή με τον άνεμο στα 850 hPa, με βόρεια -

βορειοανατολική κατεύθυνση στα βόρεια, ειδικά προς το τέλος της ημέρας. Η ταχύτητα των ανέμων φθάνει το μέγιστο των 15 m/s πάνω από το Αιγαίο.

Στο τεφίγραμμα του σχήματος 3.21 που αντιστοιχεί στον σταθμό του αεροδρομίου της Θεσσαλονίκης (LGTS) για τις 00:00 UTC στις 14 Φεβρουαρίου του 2021, παρατηρείται πολύ μεγάλη σχετική υγρασία από την επιφάνεια έως και τα 700 hPa, με συμπύκνωση στο επίπεδο από τα 800 έως τα 700 hPa. Η θερμοκρασία είναι παντού κάτω των 0 οC. Στην κατακόρυφη τομή στα βόρεια της χώρας (σχήμα 3.22) είναι εμφανής η πτώση της θερμοκρασίας υπό του μηδενός, καθώς και η αύξηση της σχετικής υγρασίας στα χαμηλότερα επίπεδα που δικαιολογεί και την καταγραφή των φαινομένων χιονόπτωσης την συγκεκριμένη ημέρα.

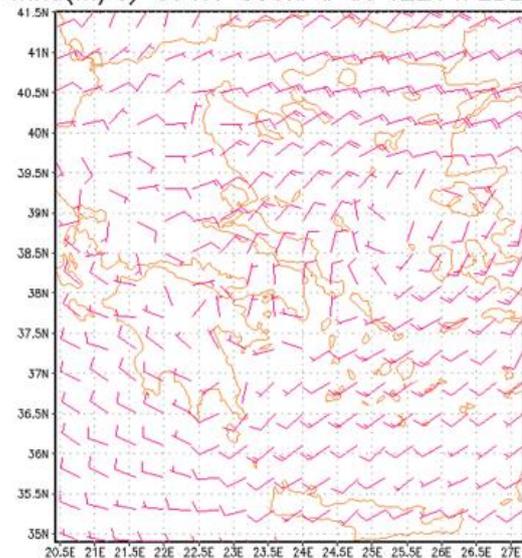
(α)

Wind(m/s) at lev 850hPa at 00Z14FEB2021



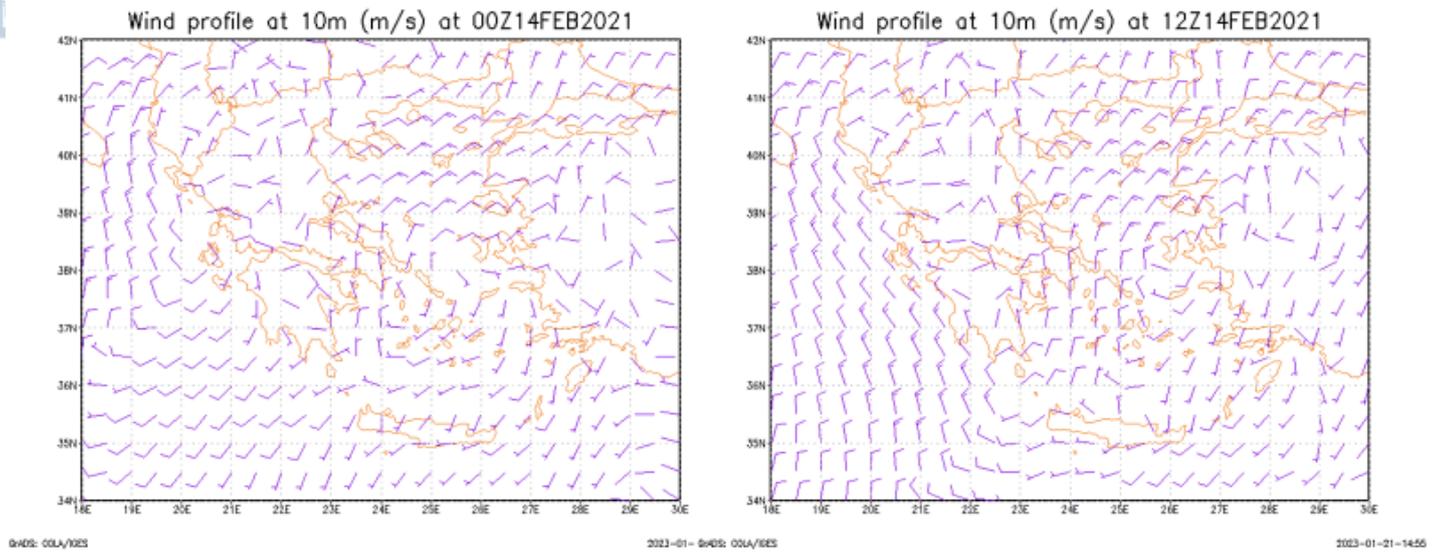
(β)

Wind(m/s) at lev 850hPa at 12Z14FEB2021

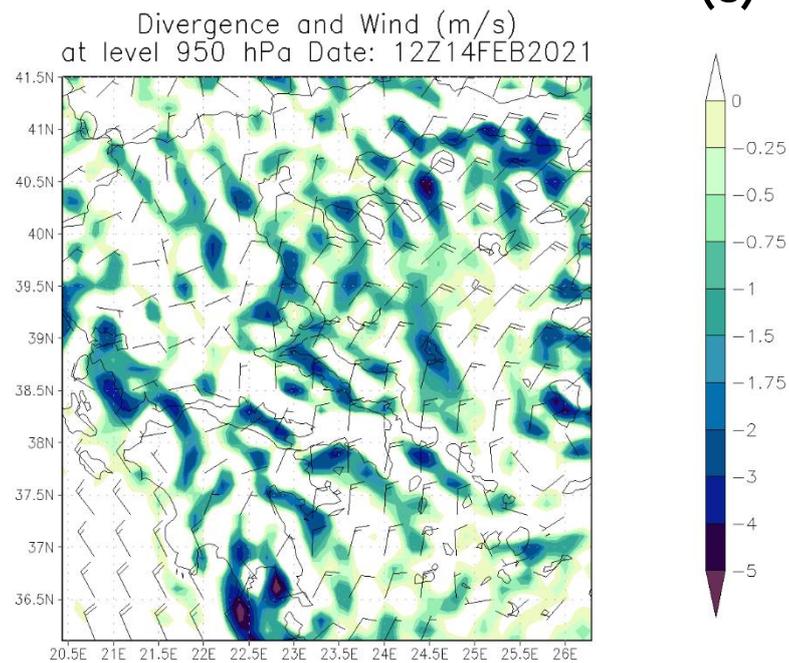


(γ)

(δ)

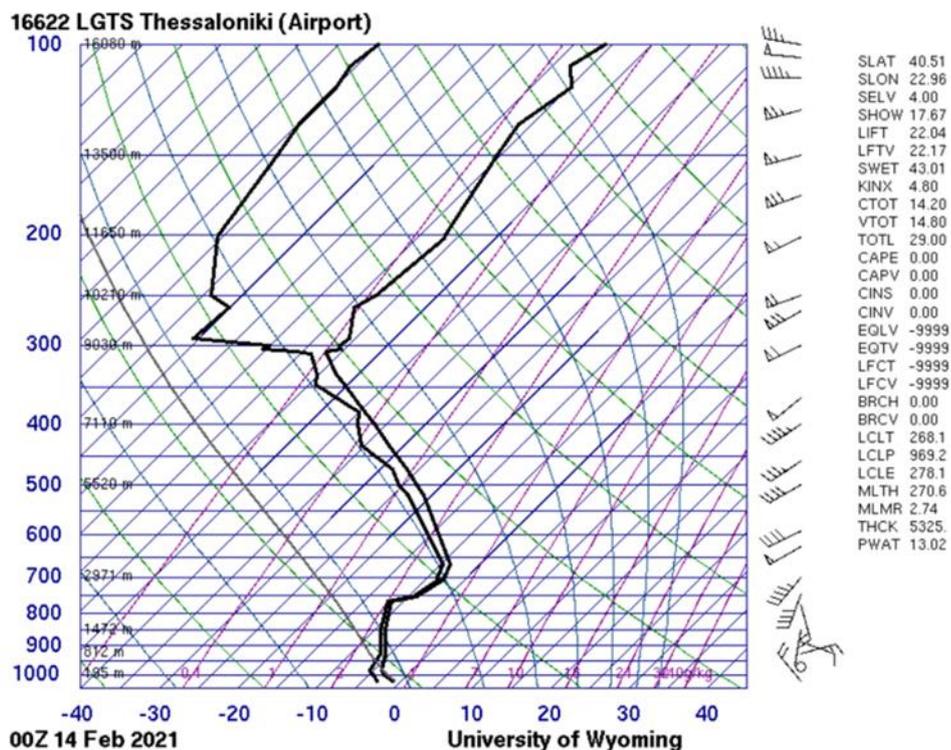


(ε)



Σχήμα 3. 20 Χάρτες ανέμου στα 850 hPa ( α ) και ( β ) ) και στα 10 m από την επιφάνεια ( γ ) και ( δ ) ). Η μια γραμμή στα βελόκια (barbs) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Ημερομηνία: 14/02/2021 ( α),(γ) 00:00UTC, ( β),(δ)12:00UTC. ( ε ) Χάρτης απόκλισης ανέμου πάνω από την περιοχή της κεντρικής Ελλάδας για τις 12:00 UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

Στον χάρτη του σχήματος 3.20 (ε) παρουσιάζεται το πεδίο της απόκλισης στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa. Όπως είναι εμφανές τόσο η απόκλιση όσο και η σύγκλιση αυξάνονται σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα στις 13/02/2021. Αυτό αντιστοιχεί με την αύξηση της αστάθειας που παρατηρείται τη 14η Φεβρουαρίου. Συγκεκριμένα οι μέγιστες τιμές σύγκλισης (μεγαλύτερες των  $-4 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ) παρουσιάζονται πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος, πάνω από την Αττική, τη Βοιωτία και την νότια Εύβοια. Ενώ έντονη απόκλιση παρουσιάζεται πάνω από περιοχή του κεντρικού Αιγαίου. Η εικόνα αυτή αντιστοιχεί στα έντονα φαινόμενα που αρχίζουν να εμφανίζονται στην περιοχή ενδιαφέροντος..

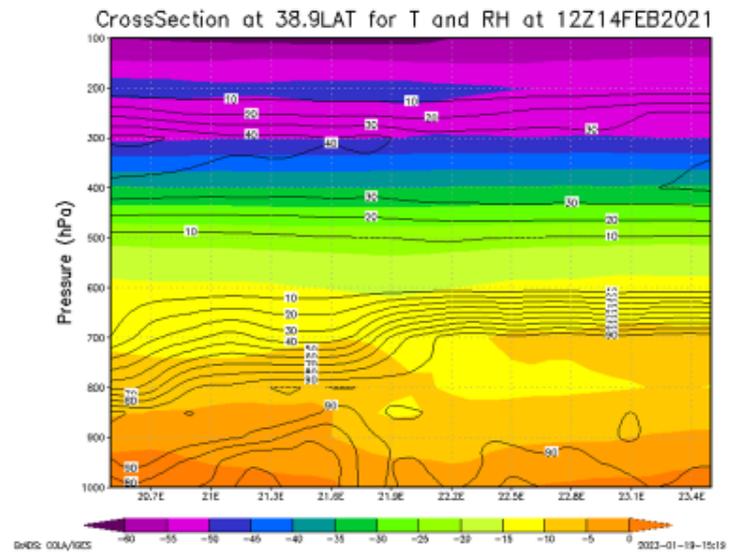
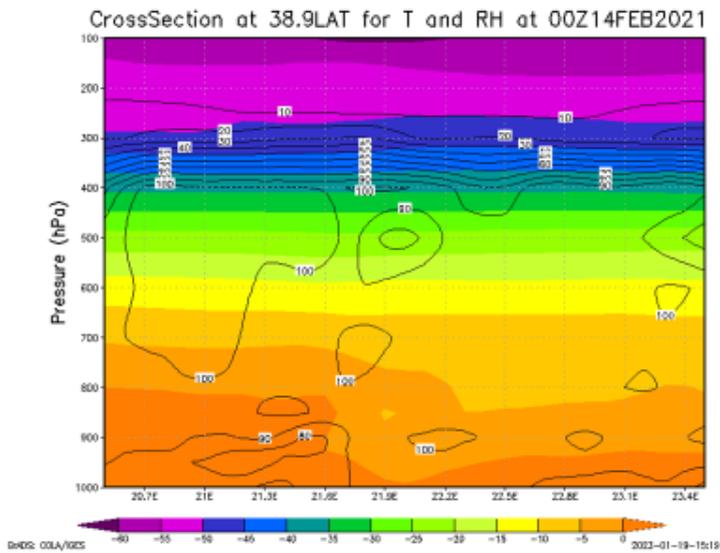


Σχήμα 3. 21 Τεφίγραμμα για τον σταθμό του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης (LGTS).

Ημερομηνία: 14/02/2021 00:00UTC. Πηγή: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

(α)

(β)

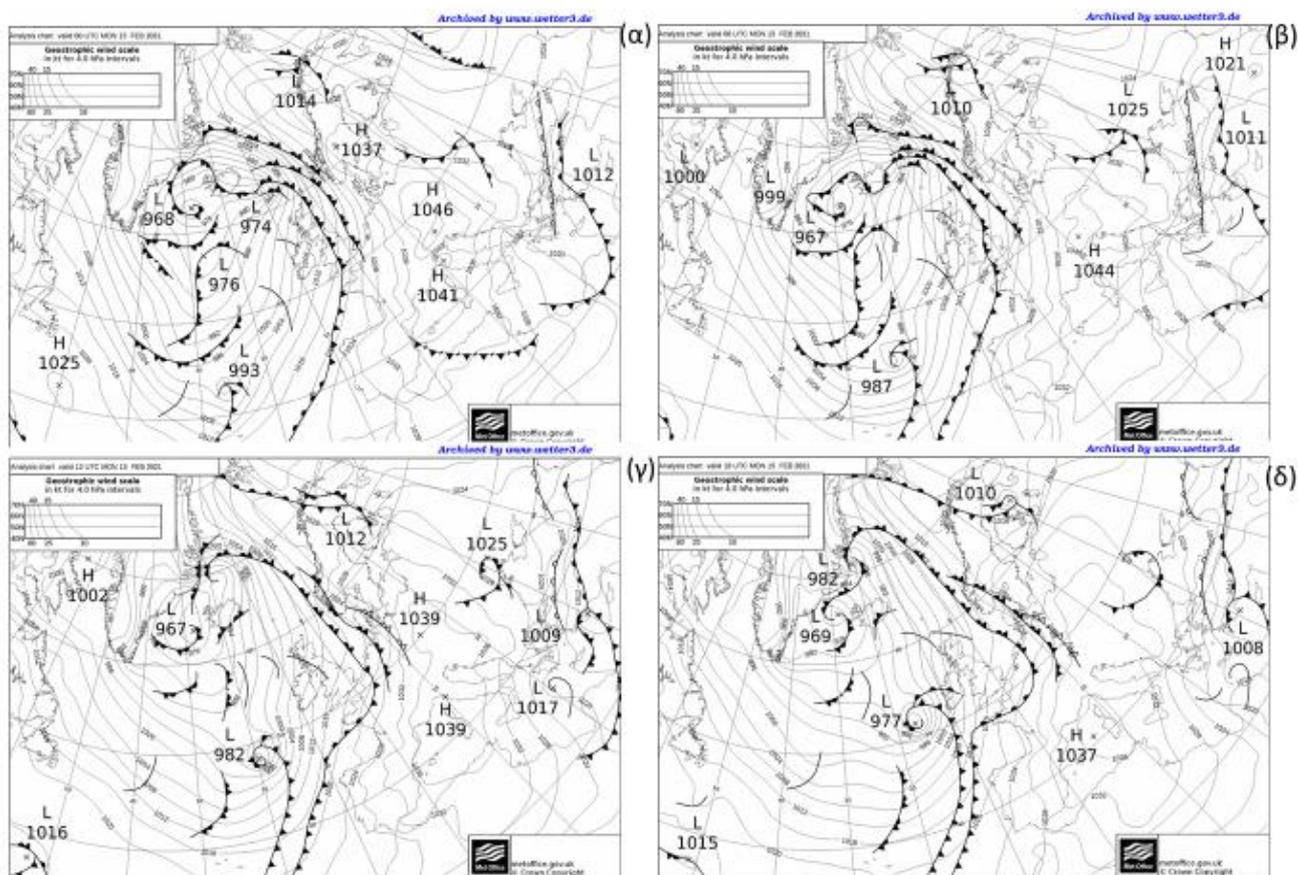


Σχήμα 3. 22 Χάρτης ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa. Οι λευκές γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20g/m. Τα βελάκια (αντιστοιχούν στον άνεμο και τα χρώματα (contours) υποδηλώνουν την θερμοκρασία ανά 4°C. Η κόκκινη γραμμή είναι η ισόθερμος των 0°C. Ημερομηνία: 15/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

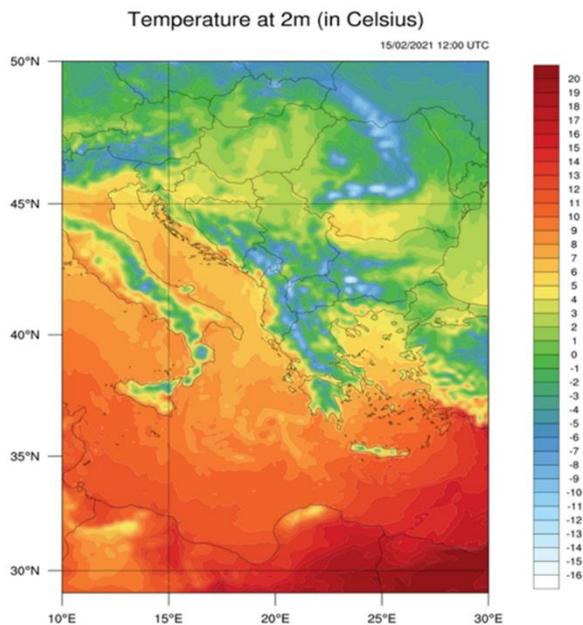
3.3.3 15/02/2021

Η 15η Φεβρουαρίου αποτελεί την πρώτη ημέρα της δεύτερης φάσης του φαινομένου που είναι και η φάση που έχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την παρούσα εργασία καθώς όπως θα δειχθεί και στο επόμενο υποκεφάλαιο αποτελεί παράδειγμα φαινομένου χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow).

Στους χάρτες πίεσης επιφανείας (Σχήμα 3.23), το χαμηλό που πέρασε από την Ελλάδα μετακινείται ανατολικότερα πάνω από την νοτιοδυτική Τουρκία με το κέντρο του να φτάνει τα 1008 hPa στο τέλος της ημέρας. Ο αντικυκλώνας της κεντρικής Ευρώπης μετατοπίζεται ακόμα νοτιότερα, με το κέντρο του να φθάνει πάνω από την Αυστρία και στη συνέχεια της ημέρας, μετά τις 12:00 UTC πάνω από την Ιταλία αλλά και την Τυρρηνική θάλασσα.



Σχήμα 3. 23 Χάρτες πίεσης επιφανείας για τις 15/02/2021. (α) 00:00UTC, (β)06:00UTC, (γ)12:00UTC, (δ)18:00UTC.  
Πηγή: [https://www.wetter3.de/archiv\\_ukmet\\_en.html](https://www.wetter3.de/archiv_ukmet_en.html)



Σχήμα 3. 24 Χάρτης θερμοκρασίας 2 μέτρων από την επιφάνεια σε βαθμούς Κελσίου. 15/02/2021 12:00UTC  
Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις.

Η δομή που σχηματίζει το ζεύγος του κυκλώνα και του αντικυκλώνα που αναφέρθηκαν γίνεται πιο εμφανής στην επιφάνεια και αποτυπώνεται με ευκρίνεια πάνω από την Ελλάδα, προκαλώντας βόρεια – βορειοανατολική ροή. Συγκεκριμένα οι ισοβαρείς στρέφονται σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και γίνονται πυκνότερες πάνω από την ανατολική Ελλάδα κάτι που συνάδει με τα έντονα φαινόμενα χιονόπτωσης στις περιοχές αυτές (βλ. Εύβοια, Βοιωτία, Αττική κτλ.).

Στον χάρτη της ισοβαρικής επιφάνειας των 850 hPa (Σχήμα 3.25) είναι εμφανής η μετακίνηση του χαμηλού από την Ελλάδα προς τη νοτιοδυτική Τουρκία , όπως και η ράχη πάνω από την Ιταλία αντιστοιχεί εδώ σε μια ράχη πάνω από την Ιταλία και τη Δυτική Μεσόγειο. Εμφανής παραμένει ακόμα και το χαμηλό των υψών στη Ρωσία, που επηρεάζει την ανατολική και κεντρική Ευρώπη μεταφέροντας ψυχρές αέριες μάζες προς τα νότια Βαλκάνια. Τέλος, παρατηρείται ότι η ισόθερμος των 0 οC κατεβαίνει νότια της Κρήτης και έτσι ολόκληρη η χώρα αποκτά θερμοκρασίες υπό του μηδενός στα 850 hPa, ενώ μεγάλο μέρος της χώρας βρίσκεται υπό του μηδενός ακόμα και στην επιφάνεια (Σχήμα 3.24 ).

Στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa (Σχήμα 3.26) ο αυλώνας στα βόρεια που εκτεινόταν και πάνω από τα Βαλκάνια μετακινείται ανατολικότερα μεταφέροντας χαμηλές θερμοκρασίες (  $T_{500} < -34$  οC) πάνω από την Ελλάδα.



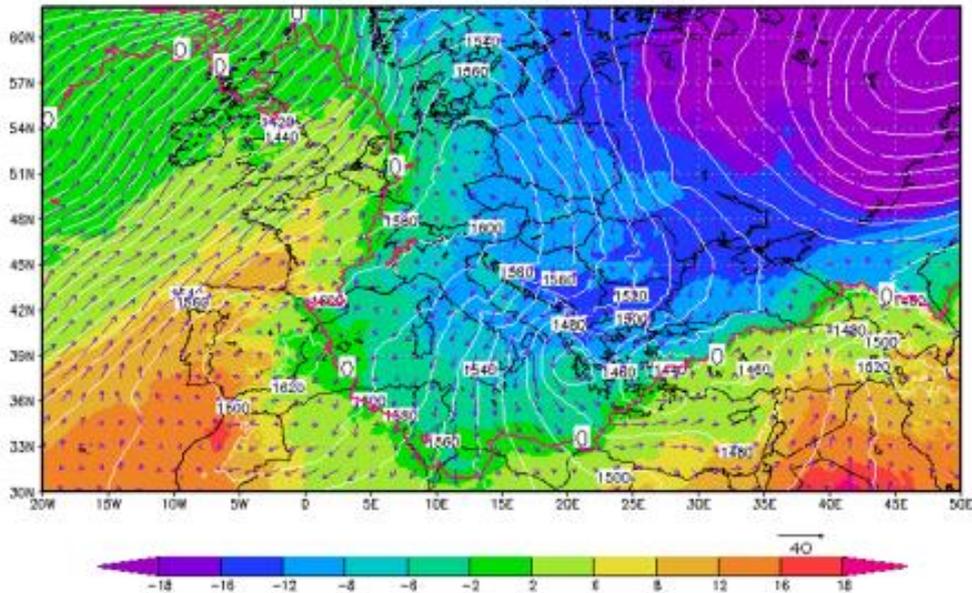
Αναμένεται θετική μεταφορά στροβιλισμού μπροστά από τον αυλώνα και άρα στην περιοχή της Ελλάδας, κάτι που ευνοεί την εκδήλωση φαινομένων.

Ο πολικός αεροχείμαρρος στα 300 hPa (Σχήμα 3.27) ενώνεται με τον υποτροπικό πάνω από την κεντρική μεσόγειο καθώς ο πρώτος κινείται από τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη σχεδόν κατακόρυφα προς τα μικρότερα, ακολουθώντας τις κυκλωνικές κινήσεις του βόρειου αυλώνα που προαναφέρθηκε. Το μέγιστο του πολικού αεροχείμαρρου παρατηρείται και πάλι πάνω από την Πολωνία και την Ιταλία ( $u_{300} > 60$  m/s) στις πρώτες ώρες της 15ης Φεβρουαρίου ενώ μετά τις 12:00 UTC μετακινείται ανατολικά πάνω από τα δυτικά Βαλκάνια και το Ιόνιο πέλαγος. Στα νότια της Ελλάδας οι δύο αεροχείμαρροι ενώνονται και η ροή γίνεται νοτιοδυτική με ένα δεύτερο μέγιστο ανέμων να παρατηρείται πάνω από την Μαύρη θάλασσα ( $u_{300} > 60$  m/s).

Στον χάρτη επιφανείας 2PVU (Σχήμα 3.28) για τις 15/02 η ανωμαλία της δυναμικής τροπόπαυσης εκτείνεται από τη Ρωσία προς την Ελλάδα. Το ύψος της τροπόπαυσης είναι ελάχιστο πάνω από την Ελλάδα φτάνοντας κάτω από τα 4000-5000 gpm. Η θέση της ανωμαλίας της δυναμικής τροπόπαυσης συνάδει με τα έντονα φαινόμενα που ξεκινούν την συγκεκριμένη ημέρα.

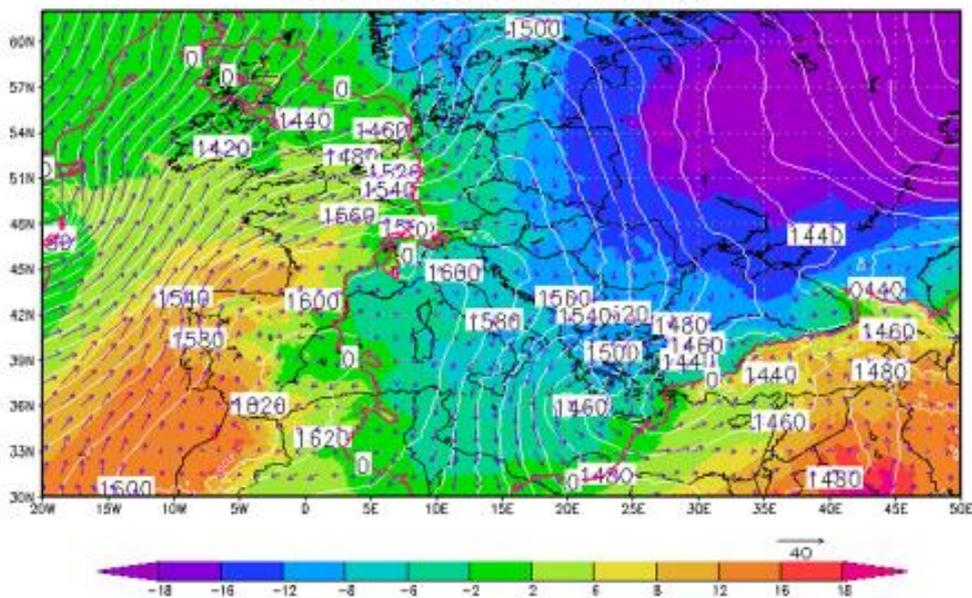
Temp(C), height(m) and Wind(m/s)  
at lev 850hPa at 00Z15FEB2021

(α)



Temp(C), height(m) and Wind(m/s)  
at lev 850hPa at 12Z15FEB2021

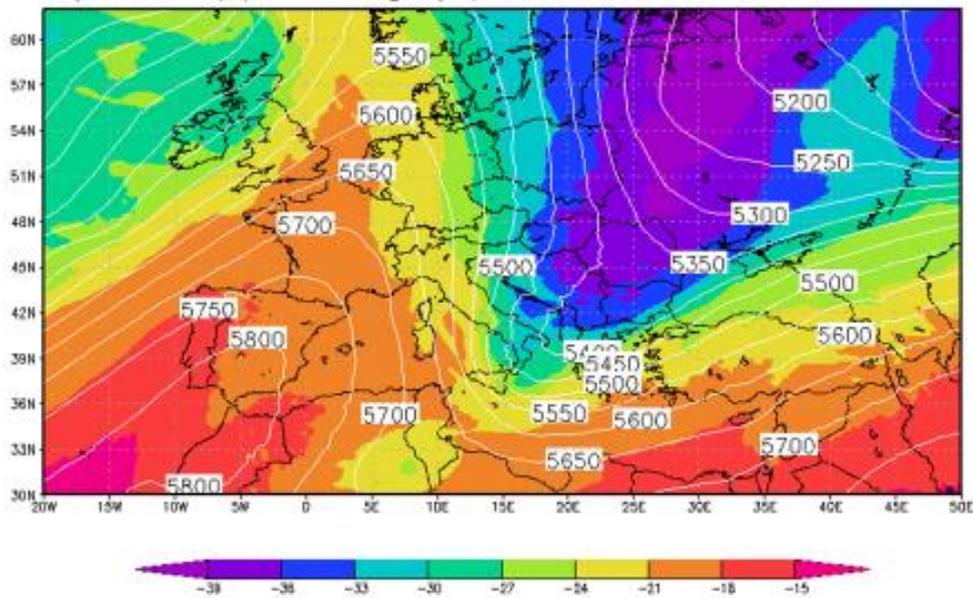
(β)



Σχήμα 3. 25 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa. Οι λευκές γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20gpm. Τα βελόνια αντιστοιχούν στον άνεμο και τα χρώματα υποδηλώνουν την θερμοκρασία ανά 4°C. Η κόκκινη γραμμή είναι η ισόθερμος των 0°C. Ημερομηνία: 15/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

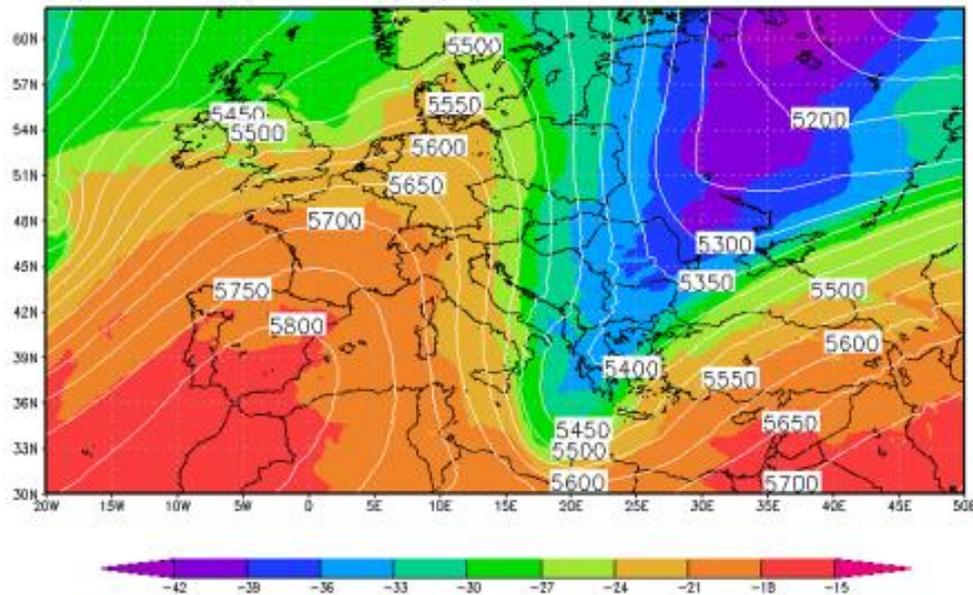
(α)

Temperature (C) and Height(m) at lev 500hPa at 00Z15FEB2021



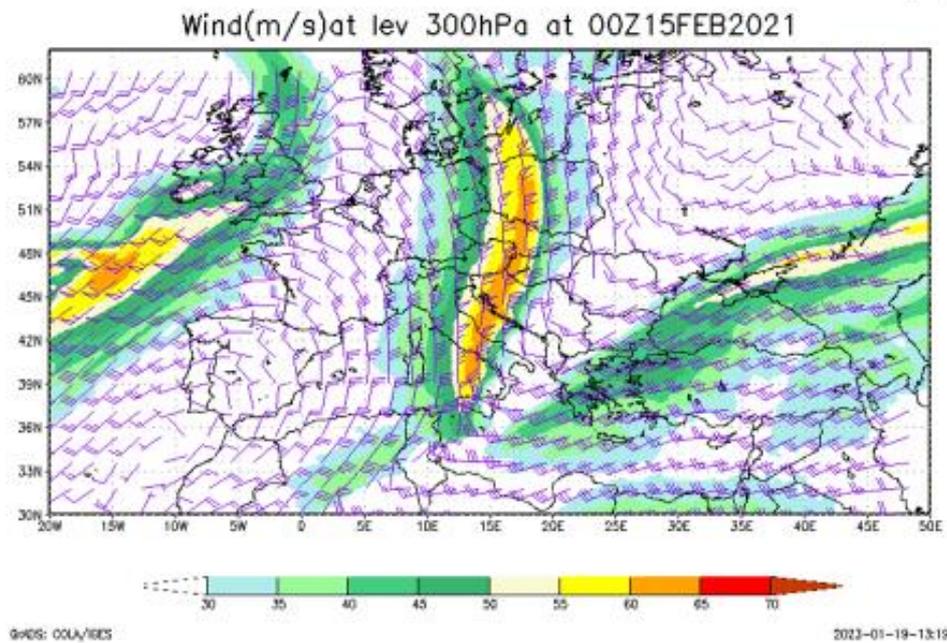
(β)

Temperature (C) and Height(m) at lev 500hPa at 12Z15FEB2021

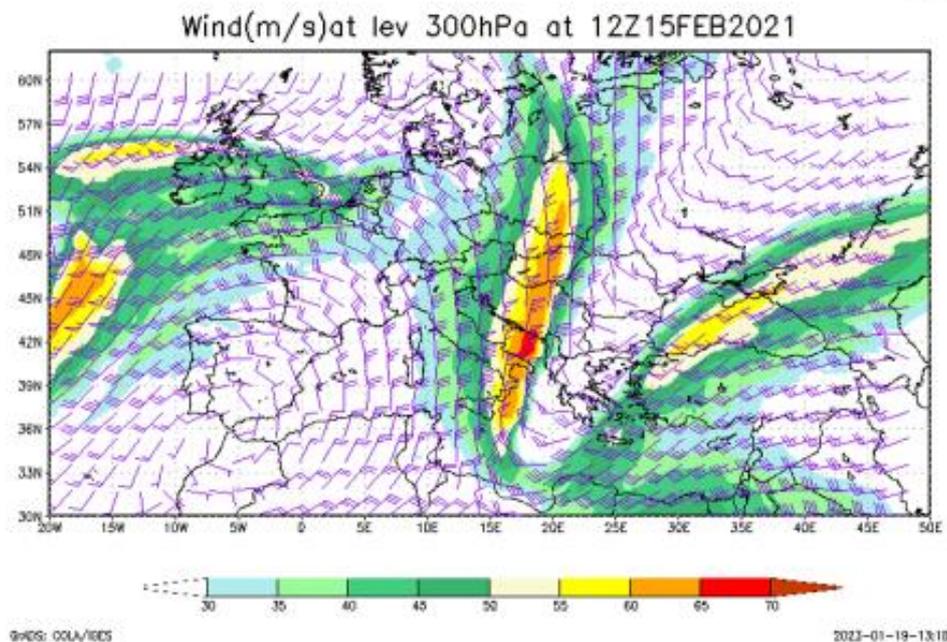


Σχήμα 3. 26 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa. Οι λευκές γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 50grm. Τα χρώματα υποδηλώνουν τη θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου ανά 3°C. Ημερομηνία: 15/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

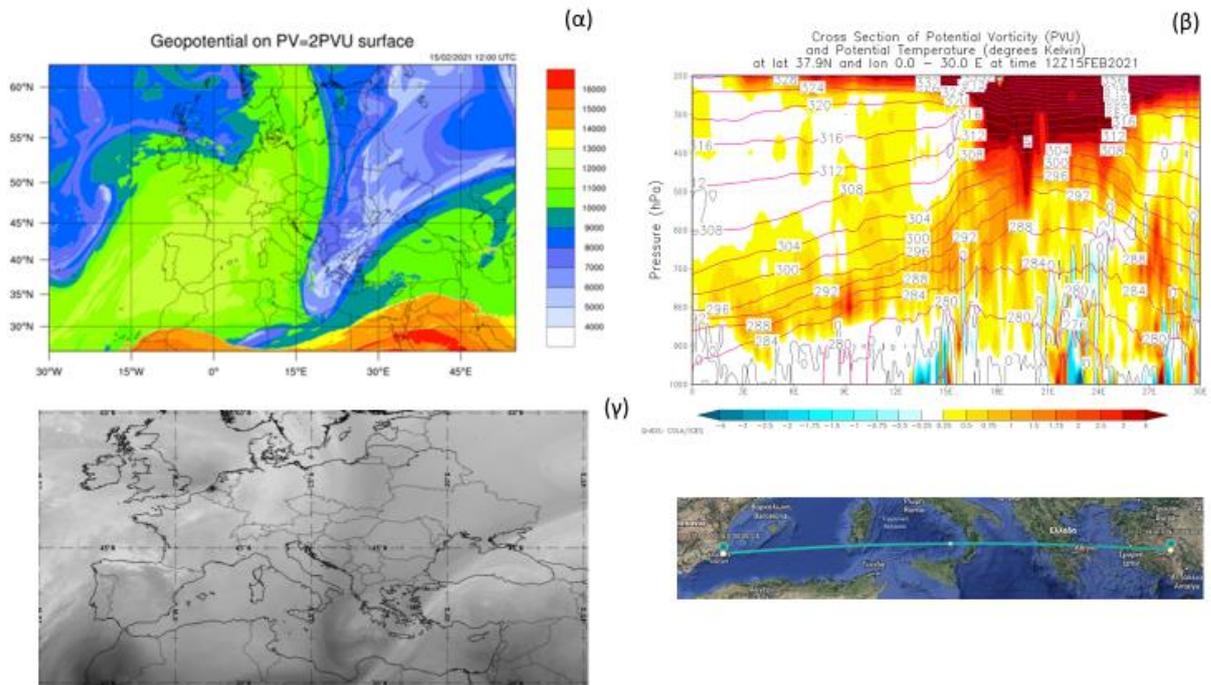
(α)



(β)



Σχήμα 3. 27 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 300hPa. Τα μωβ βέλη (*barbs*) είναι ο άνεμος με την μία γραμμή να αντιστοιχεί σε 10 m/s. Τα χρώματα αντιστοιχούν στον άνεμο με ταχύτητα μεγαλύτερη των 30 m/s. Ημερομηνία: 15/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

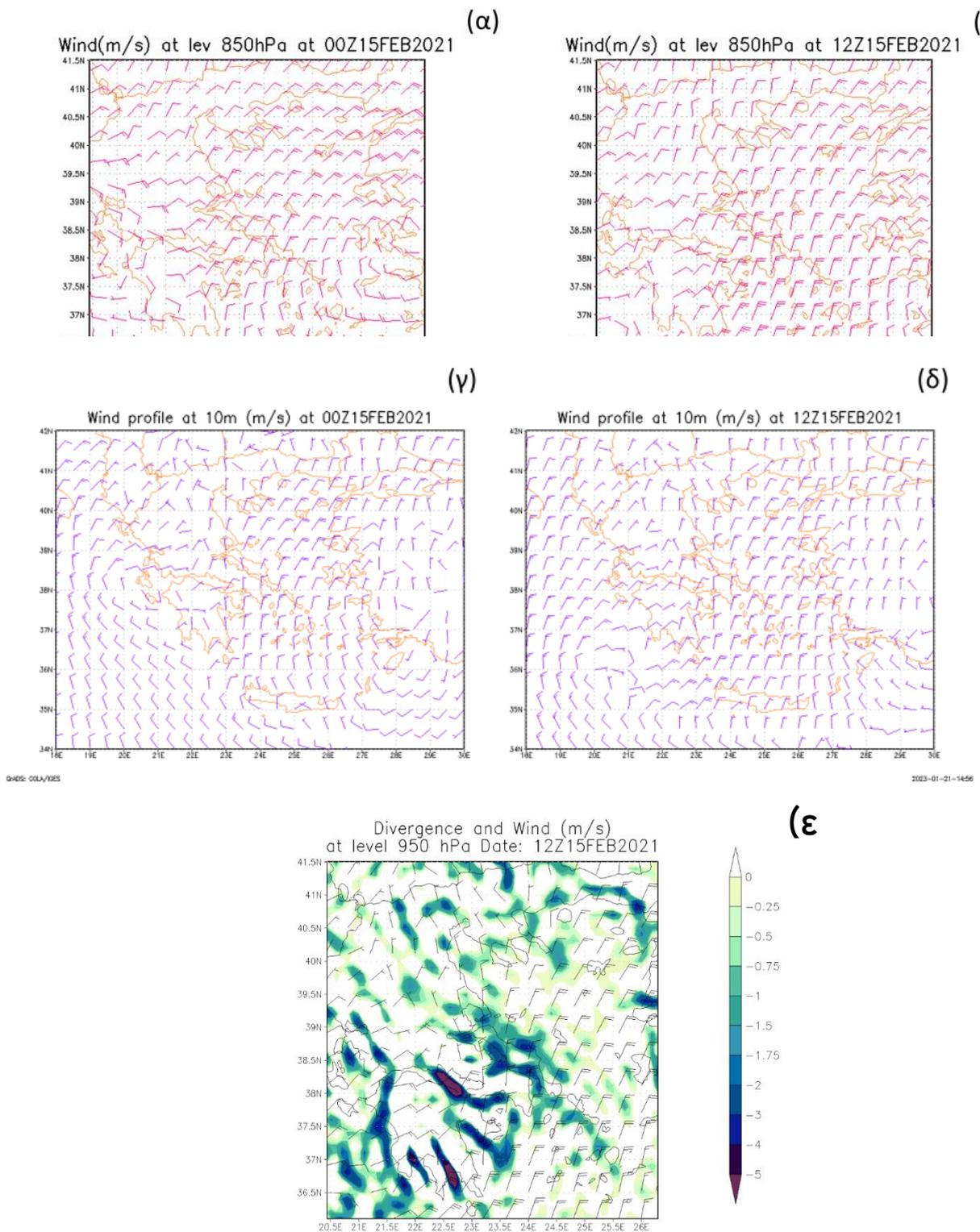


Σχήμα 3. 28 (α)Χάρτης γεωδυναμικού ύψους (gpm) της επιφάνειας με δυναμικό στροβιλισμό ίσο με 2PVU (δυναμική τροπόπαυση). (β) Κάθετη τομή δυναμικού στροβιλισμού (PVU) και δυναμικής θερμοκρασίας (°C) για γεωγραφικό πλάτος 38.9° N (όπως φαίνεται στον υπεράνω χάρτη) Η έντονη πράσινη γραμμή αντιστοιχεί στη τιμή δυναμικού στριβιλισμού με τιμή  $PV = 2 PVU$  Ημερομηνία: 15/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις (γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών MSG WV 6.2  $\mu m$  Ημερομηνία: 15/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ibl (weather software solutions)

Στο σχήμα 3.28β γίνεται εμφανές πως η καθοδική πορεία της δυναμικής τροπόπαυσης (2 PVU) στα χαμηλότερα ισοβαρικά επίπεδα της τροπόσφαιρας που παρατηρήθηκε την 14η Φεβρουαρίου συνεχίζεται και την 15η Φεβρουαρίου και κατεβαίνει ακόμη χαμηλότερα στο επίπεδο των 450 hPa, αυξάνοντας την αστάθεια πάνω από την περιοχή. Στα χαμηλά παρατηρείται υψηλή τιμή ανωμαλίας του δυναμικού στροβιλισμού (άνω των 4 PVU) πάνω από την Αττική. Η εικόνα αυτή αντιστοιχεί με τα έντονα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν στην Αττική και τις γύρω περιοχές κατά την 15η Φεβρουαρίου, με έντονα φαινόμενα και έντονη χιονόπτωση.

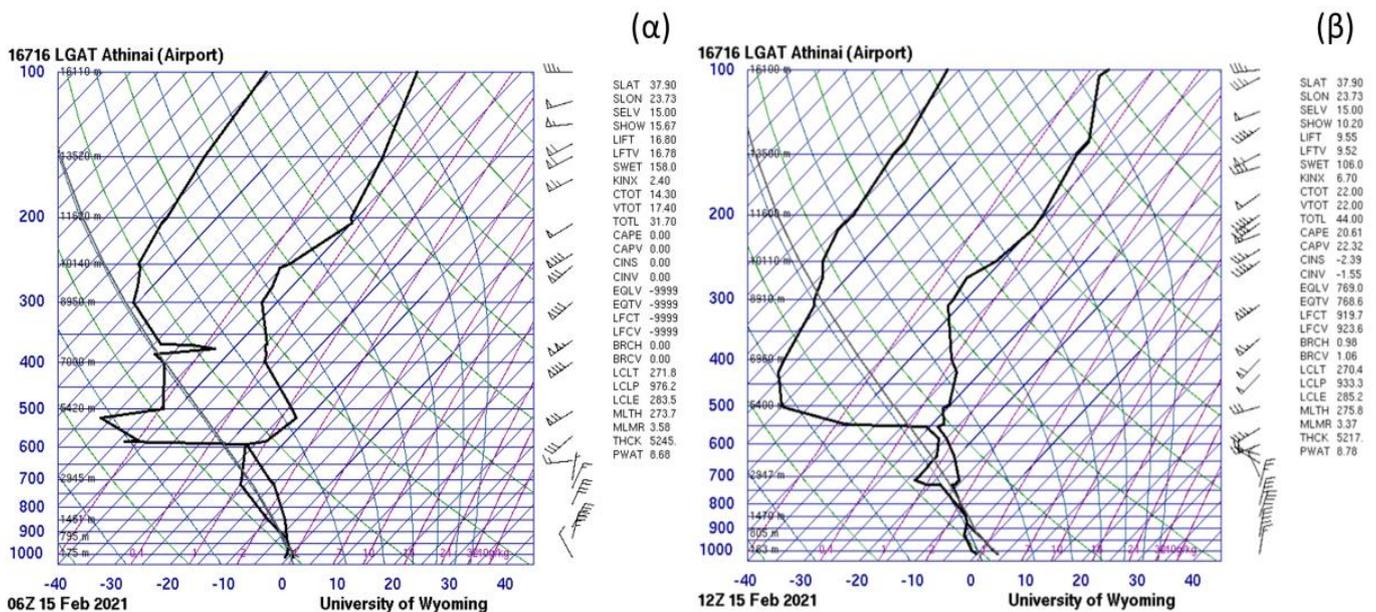
Ο άνεμος στα 850 hPa (Σχήμα 3.29 (α) & (β)) στις περιοχές ενδιαφέροντος (Β. Αιγαίο, Βοιωτία, Εύβοια, Αττική) είναι βορειοανατολικός που τείνει να γίνει βόρειος προς το τέλος της ημέρας. Πάνω από την υπόλοιπη ηπειρωτική Ελλάδα ο άνεμος τείνει να γίνει από ανατολικός, βορειοανατολικός στην πορεία της ημέρας. Οι τιμές του ανέμου πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος κυμαίνονται στα 15-20 m/s, ενώ προς το τέλος της ημέρας υπερβαίνουν ακόμα και τα 20 m/s. Αντίστοιχα ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια (σχήμα 3.29 (γ) & (δ)) ακολουθεί την κατεύθυνση που έχει ο άνεμος και στα 850 hPa με σχετικά μεγάλες ταχύτητες πάνω από το Αιγαίο που φθάνουν τα 10 – 15 m/s.

Στο τεφίγραμμα που αντιστοιχεί στον σταθμό του αεροδρομίου Αθηνών (LGAT) για τις 15 Φεβρουαρίου του 2021 και ώρα 06:00 UTC (Σχήμα 3.30 (α)), η θερμοκρασία είναι πάνω από το μηδέν μόνο στην επιφάνεια. Μεγάλες τιμές σχετικής υγρασίας υπάρχουν σε όλη την κατώτερη τροπόσφαιρα, με συμπύκνωση να συμβαίνει στα 950 hPa. Στα 650 hPa φαίνεται ένα ισχυρό "backing" ανέμων, που αποτελεί ένδειξη ψυχρής μεταφοράς και αστάθειας (Πυθαρούλης, 2020b). Στην συνέχεια παρουσιάζεται το τεφίγραμμα για τον ίδιο σταθμό στις 15 Φεβρουαρίου του 2021 και ώρα 12:00 UTC (Σχήμα 3.30 (β)). Εδώ η θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια βρίσκεται κοντά στους 5 οC. Η υγρασία είναι αυξημένη από την επιφάνεια έως τα 750 hPa, όπως επίσης και στα 550 hPa με συμπύκνωση να παρατηρείται στα 900 με 800 hPa. Επίσης μέσω της απεικόνισης των ανέμων παρατηρείται και εδώ ισχυρό "backing" στα 650 hPa, που όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα υποδεικνύει ψυχρή μεταφορά και αστάθεια στην περιοχή. Και στις δύο χρονικές στιγμές είναι εμφανής η ύπαρξη ξηρού στρατοσφαιρικού αέρα που φτάνει τη μέση τροπόσφαιρα.



Σχήμα 3. 29 Χάρτες ανέμου στα 850 hPa ( α) και (β) ) και στα 10 m από την επιφάνεια ( γ) και (δ) ). Η μια γραμμή στα βελάκια (barbs) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Ημερομηνία: 15/02/2021 (α),(γ) 00:00UTC, (β),(δ)12:00UTC. (ε) Χάρτης απόκλισης ανέμου πάνω από την περιοχή της κεντρικής Ελλάδας για τις 12:00 UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

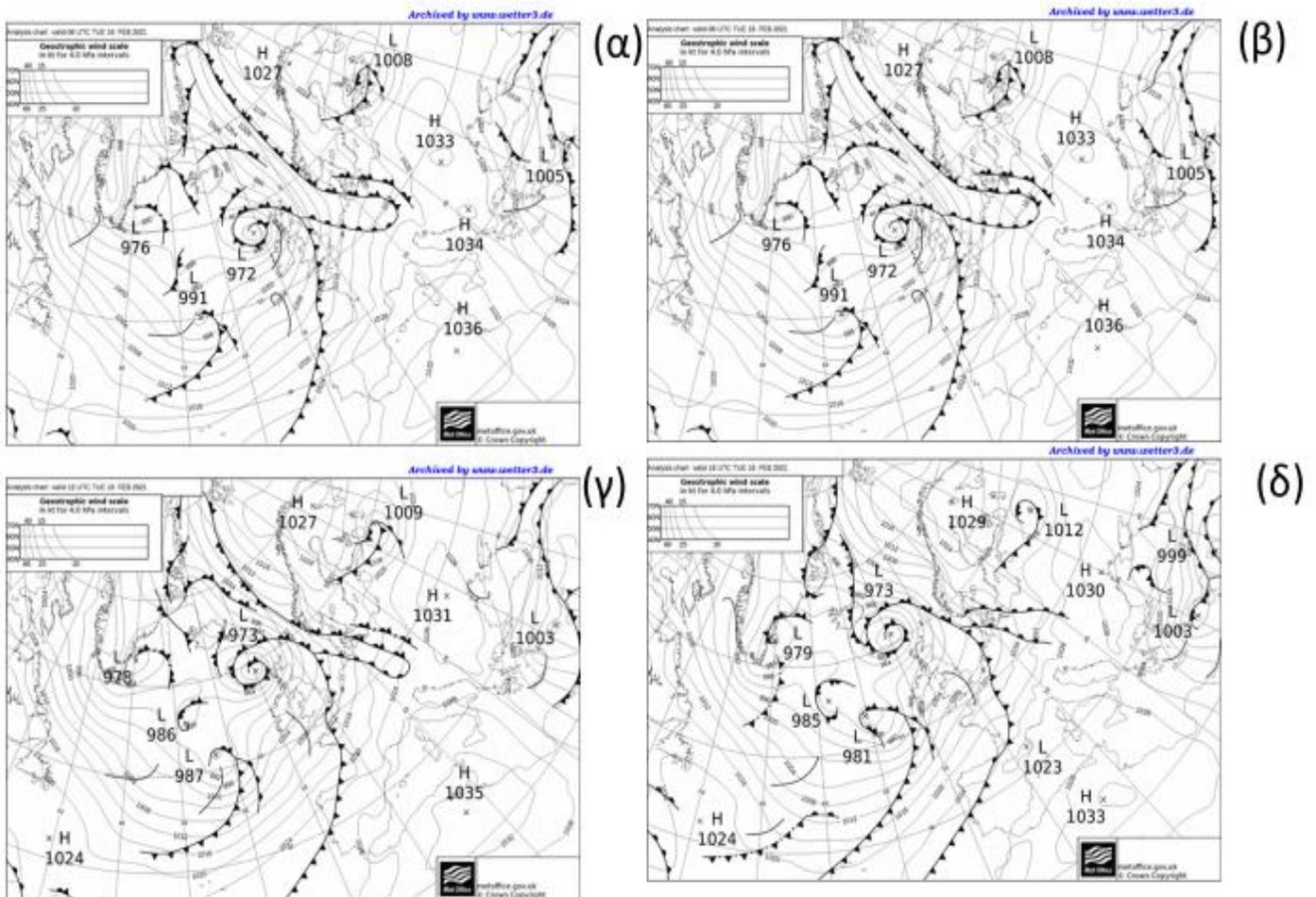
Στο σχήμα 3.29 (ε) παρουσιάζεται το πεδίο της απόκλισης στο ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa. Όπως είναι αναμενόμενο λόγω των έντονων φαινομένων που εμφανίζονται στην περιοχή την 15η Φεβρουαρίου, η σύγκλιση πάνω από τη Πελοπόννησο, τη Βοιωτία και τη κεντρική Εύβοια και μέρος της Αττικής παίρνει τις μέγιστες τιμές της, με απόλυτη τιμή μεγαλύτερη των  $4 \cdot 10^{-4} s^{-1}$ . Σε συνδυασμό μεγάλες τιμές απόκλισης παρουσιάζονται πάνω από μεγάλο μέρος της Αττικής, της βόρειας Βοιωτίας και της ανατολικής Πελοποννήσου. Ο συνδυασμός αυτών προκαλεί έντονες ανοδικές κινήσεις στην ατμόσφαιρα που αποδίδονται ως έντονα φαινόμενα και χιονοπτώσεις στην περιοχή.



Σχήμα 3. 30 Τεφίγραμμα για τον σταθμό του αεροδρομίου Αθηνών (LGAT). Ημερομηνία: 15/02/2021 (α)06:00UTC, (β) 12:00UTC . Πηγή: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

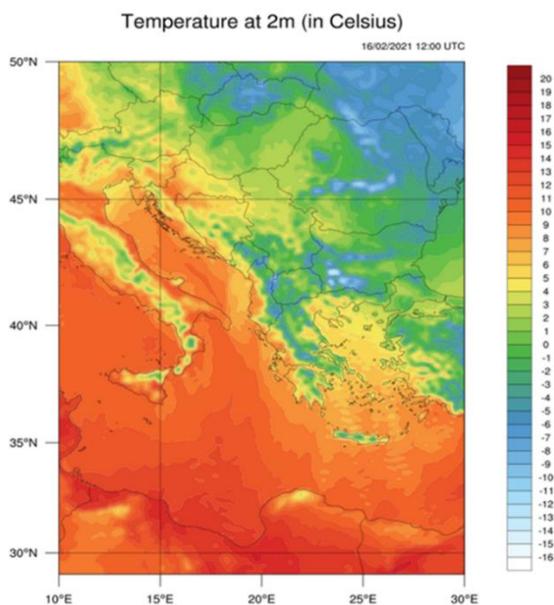
3.3.4 16/02/2021

Η 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2021 αποτελεί την δεύτερη ημέρα της δεύτερης φάσης του φαινομένου. Στους χάρτες πίεσης επιφανείας (Σχήμα 3.31) το κέντρο υψηλών πιέσεων μετακινείται ελάχιστα ανατολικότερα, πάνω από τα Βαλκάνια, βόρεια της Ελλάδας. Βορειοδυτικά της Μαύρης Θάλασσας εμφανίζεται κέντρο υψηλών πιέσεων που σε συνδυασμό με το χαμηλό στην νοτιοδυτική Τουρκία προκαλεί βορειοανατολικό - νοτιοδυτικό προσανατολισμό των ισοβαρών και ενισχυμένη ροή από την Ρωσία - Ουκρανία έως και την Ελλάδα μέσω της Μαύρης Θάλασσας και του Αιγαίου.



Σχήμα 3. 31 Χάρτες πίεσης επιφανείας για τις 16/02/2021. (α) 00:00UTC, (β)06:00UTC, (γ)12:00UTC, (δ)18:00UTC.  
Πηγή: [https://www.wetter3.de/archiv\\_ukmet\\_en.html](https://www.wetter3.de/archiv_ukmet_en.html)

Το ζεύγος αυτό ενισχύει την βόρεια -βορειοανατολική ροή πάνω από την Ελλάδα και συγκεκριμένα πάνω από το βόρειο Αιγαίο και στην συνέχεια πάνω από την Εύβοια, Αττική και Βοιωτία. Κοντά στην επιφάνεια η θερμοκρασία (Σχήμα 3.32) βρίσκεται υπό του μηδενός στην Αττική, Βοιωτία, Εύβοια, Πελοπόννησο και Κρήτη, όπου οι θερμοκρασίες κυμαίνονται στο εύρος των 0° έως και -5° C. Όπως και σε κάποια νησιά του Αιγαίου με την υπόλοιπη Ελλάδα να έχει θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 0 έως και 5 °C.



Σχήμα 3. 32 Χάρτης θερμοκρασίας 2 μέτρων από την επιφάνεια σε βαθμούς Κελσίου. 16/02/2021 12:00UTC  
Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

Στο ισοβαρικό επίπεδο τω 850 hPa (Σχήμα 3.33) η ροή από τα βόρεια – βορειοανατολικά είναι εμφανής πάνω από το Αιγαίο, με θερμοκρασίες υπό του μηδενός σε όλη την Ελλάδα, και πιο συγκεκριμένα στο εύρος των -2 έως και -8 οC. Οι μικρές αυτές θερμοκρασίες υφίστανται λόγω της ψυχρής αέριας μάζας που έχει “κατέβει” πάνω από τα Βαλκάνια και εκτείνεται μέχρι και τη βόρεια Αφρική (Αίγυπτο, Λιβύη, νότια Τυνησία, ανατολική Αλγερία).

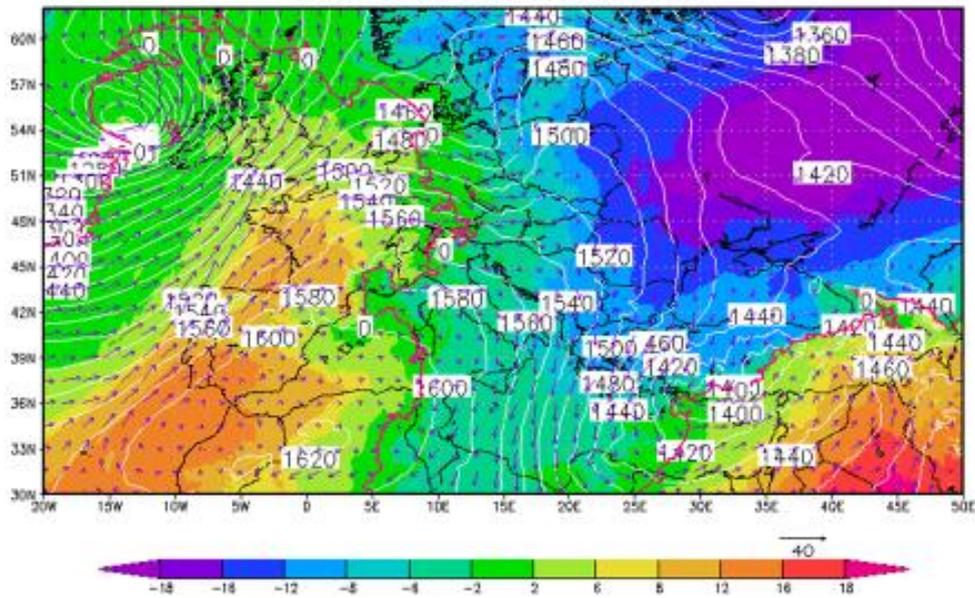
Στο ισοβαρικό επίπεδο των 500 hPa (Σχήμα 3.34) είναι εμφανές ότι ο αυλώνας έχει μετακινηθεί πάνω από την Μαύρη Θάλασσα και εκτείνεται πλέον μέχρι την ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα, μεταφέροντας έτσι τις ψυχρές αέριες μάζες (T500 < -33οC) από τα Βόρεια στις περιοχές αυτές. Τα γεωδυναμικά ύψη πάνω από την Ελλάδα φτάνουν τα 5350 gpm.

Στον χάρτη της ισοβαρικής επιφάνειας των 300 hPa (Σχήμα 3.35) ο πολικός αεροχειμάρρος έχει κίνηση από τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη της Ευρώπης προς τα μικρά με σχεδόν μεσημβρινό προσανατολισμό πάνω από τα Βαλκάνια και το Ιόνιο πέλαγος και συναντά και ενώνεται με τον υποτροπικό αεροχειμάρρο νότια της Ελλάδας. Σε συνδυασμό οι αεροχειμάρροι κινούνται κυκλωνικά γύρω από την Ελληνική περιοχή με μέγιστη ταχύτητα ανέμου τα 55 m/s στην αρχή της ημέρας που φτάνουν και τα 60 m/s καθώς ο συνδυασμός των αεροχειμάρρων κινείται ελαφρώς ανατολικότερα στην πορεία της ημέρας . Σημαντικό είναι ότι στην αρχή της ημέρας η ανατολική ηπειρωτική χώρα βρίσκεται κάτω από την αριστερή έξοδο του πολικού αεροχειμάρρου σε μια περιοχή που ευνοούνται οι ανοδικές κινήσεις λόγω της δευτερεύουσας αγεωστροφικής κυκλοφορίας του. Οπότε με αυτό τον τρόπο είναι πιθανό ο αεροχειμάρρος να συνέβαλε και αυτός στην εκδήλωση και ένταση των φαινομένων.

Στον χάρτη επιφανείας 2PVU (Σχήμα 3.36) για τις 16/02 το μέγιστο της ανωμαλίας της δυναμικής τροπόπαυσης μετακινείται ανατολικότερα πάνω από το Ανατολικό Αιγαίο και τη δυτική Τουρκία. Τα ύψη της τροπόπαυσης πάνω από την Ελλάδα έχουν ελάχιστες τιμές κάτω από τα 4000 gpm στην ανατολική χώρα.

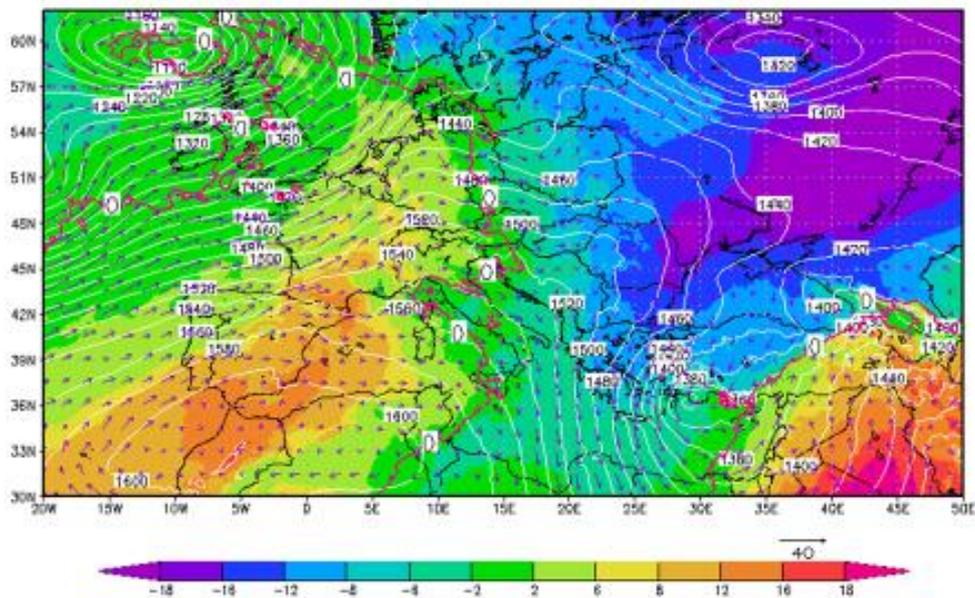
Temp(C), height(m) and Wind(m/s)  
at lev 850hPa at 00Z16FEB2021

(α)



Temp(C), height(m) and Wind(m/s)  
at lev 850hPa at 12Z16FEB2021

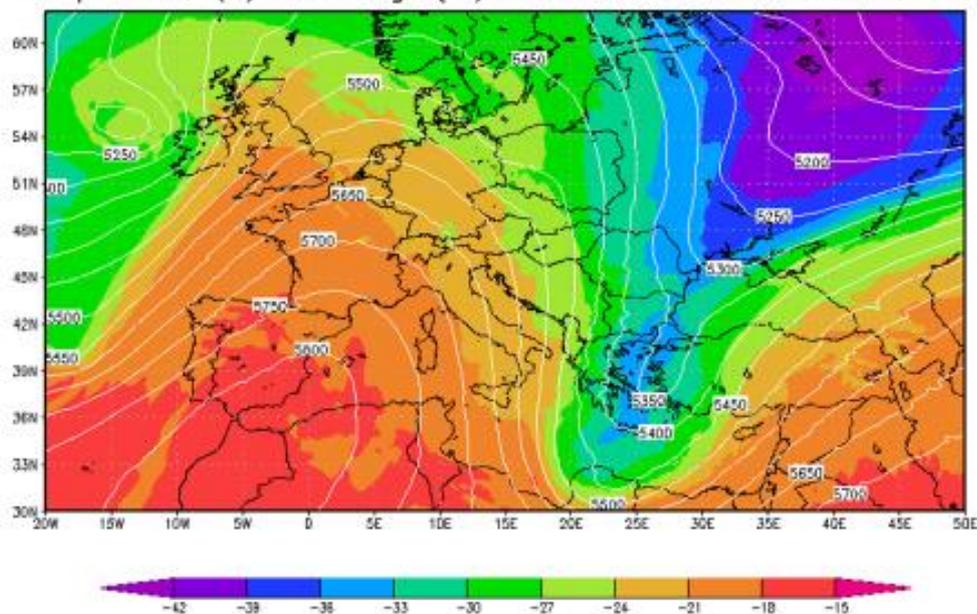
(β)



Σχήμα 3. 33 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa. Οι λευκές γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20grm. Τα βελάκια αντιστοιχούν στον άνεμο και τα χρώματα υποδηλώνουν την θερμοκρασία ανά 4°C. Η κόκκινη γραμμή είναι η ισόθερμος των 0°C. Ημερομηνία: 16/02/2021 (α) 00:00UTC, (β) 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

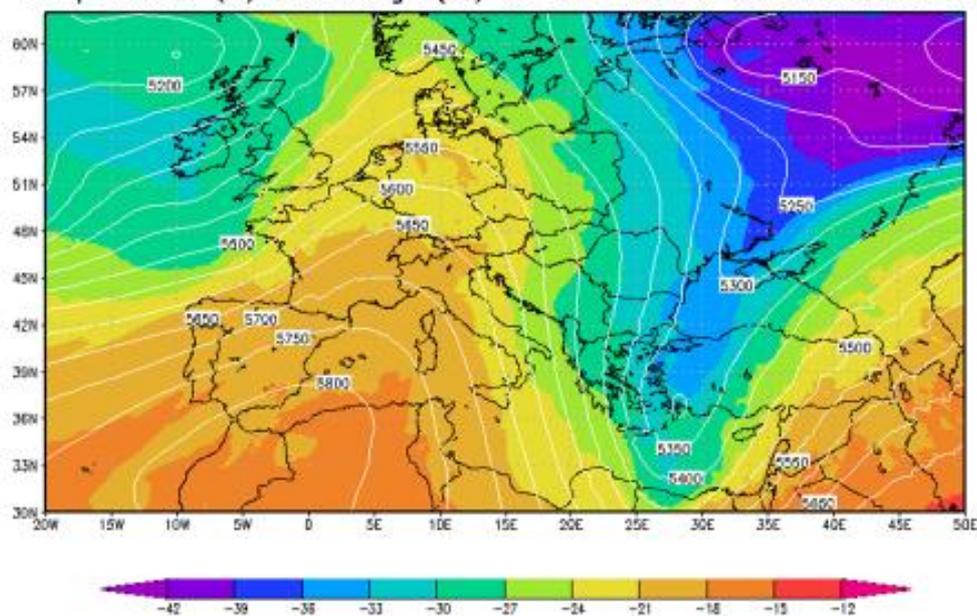
(α)

Temperature (C) and Height(m) at lev 500hPa at 00Z16FEB2021



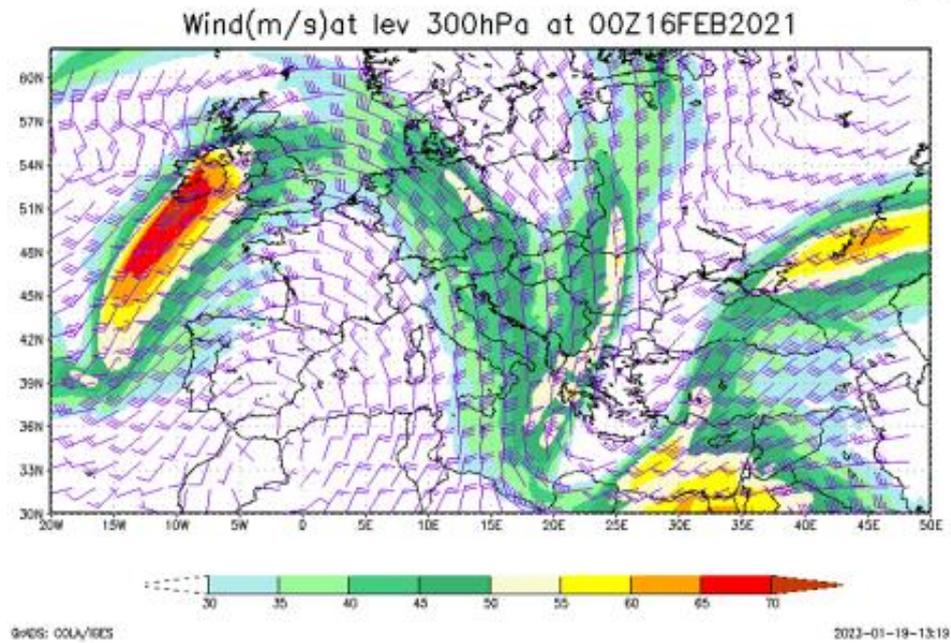
(β)

Temperature (C) and Height(m) at lev 500hPa at 12Z16FEB2021

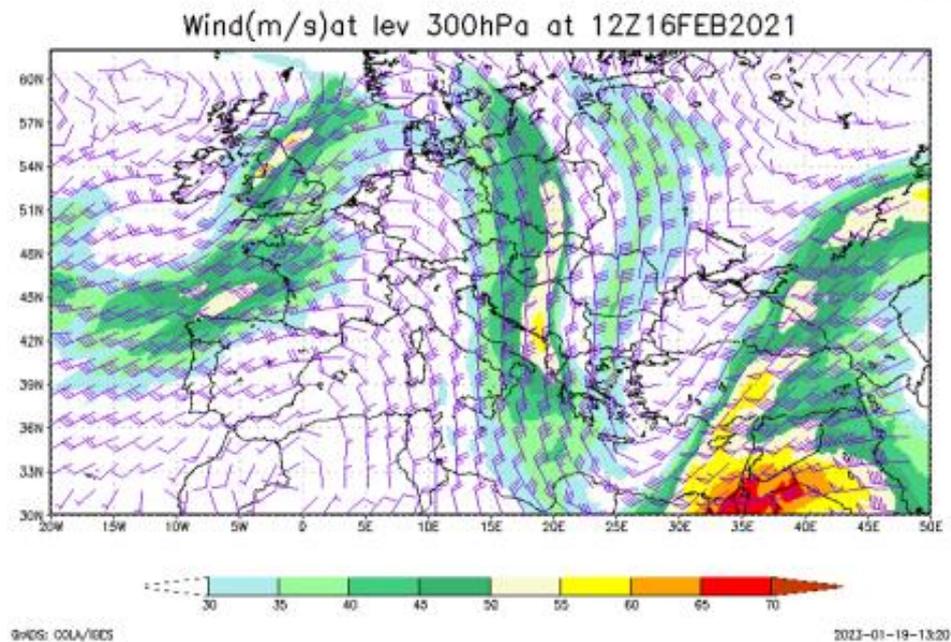


Σχήμα 3. 34 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa. Οι λευκές γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 50grm. Τα χρώματα υποδηλώνουν τη θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου ανά 3°C. Ημερομηνία: 16/02/2021 (α) 00:00UTC, (β) 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

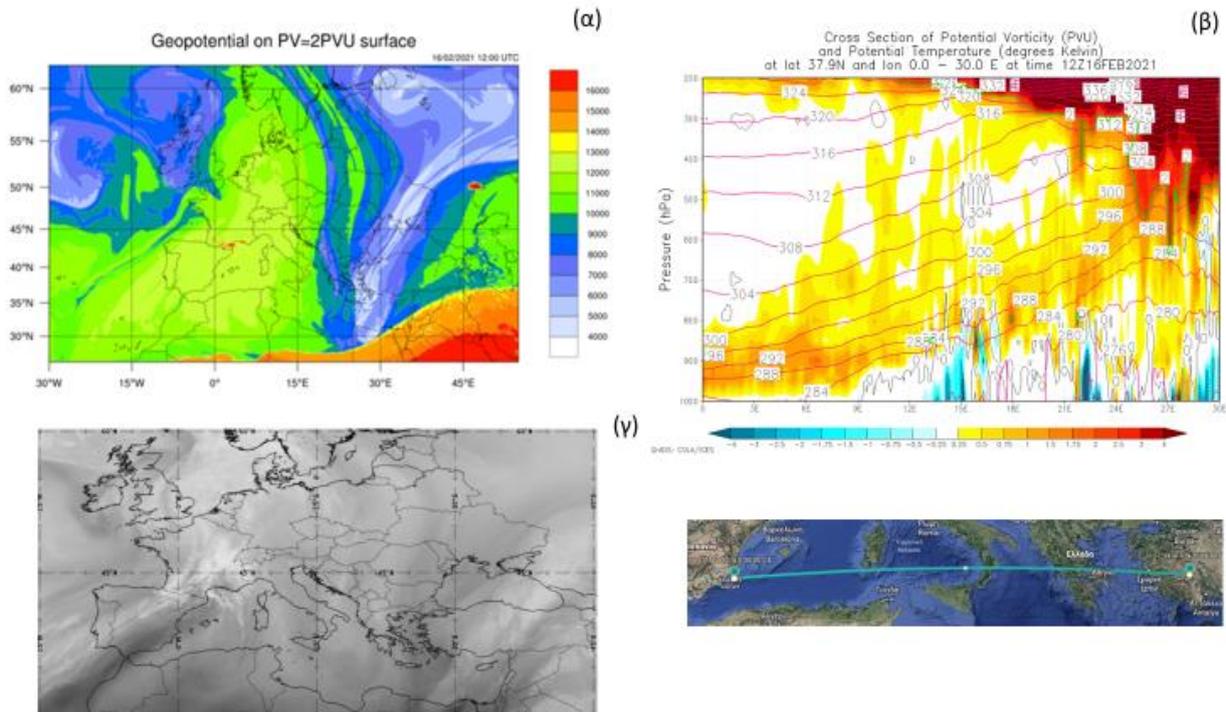
(α)



(β)



Σχήμα 3. 35 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 300hPa. Τα μωβ βέλη (barbs) είναι ο άνεμος με την μία γραμμή να αντιστοιχεί σε 10 m/s. Τα χρώματα αντιστοιχούν στον άνεμο με ταχύτητα μεγαλύτερη των 30 m/s. Ημερομηνία: 16/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

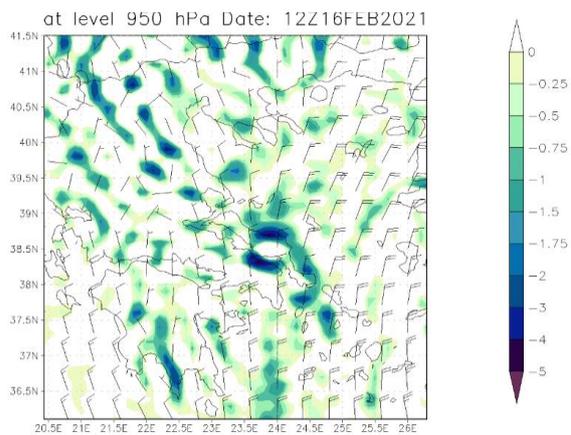
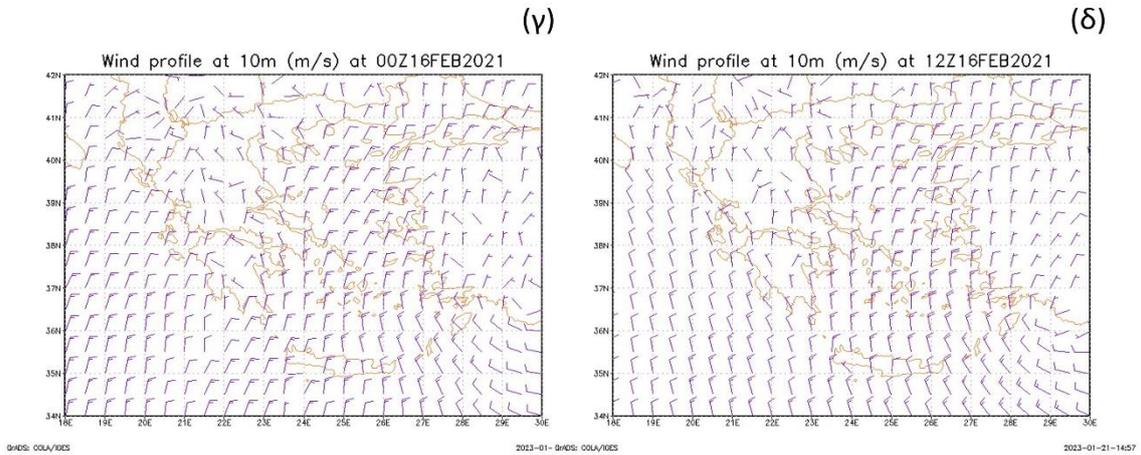
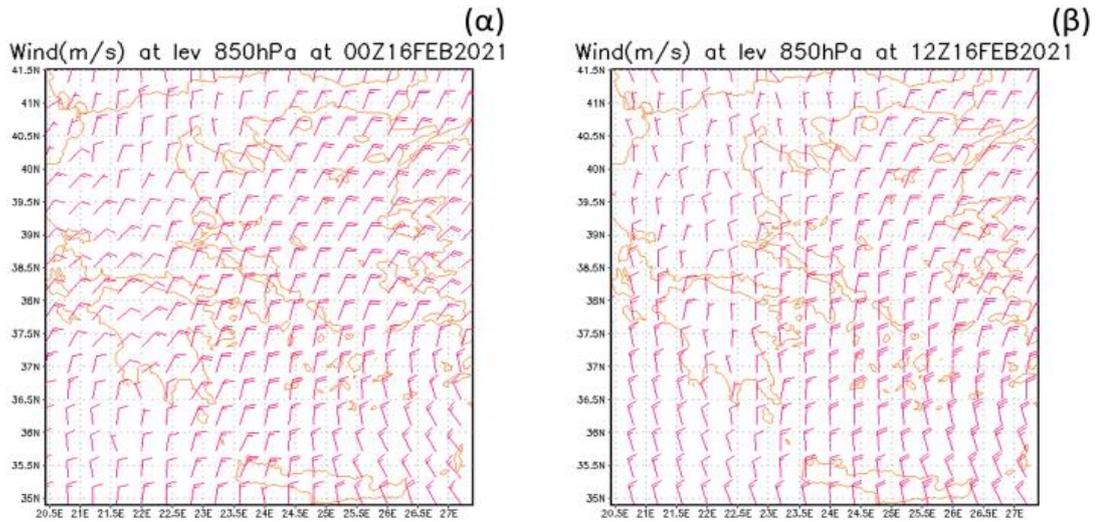


Σχήμα 3. 36 (α)Χάρτης γεωδυναμικού ύψους (gpm) της επιφανείας με δυναμικό στροβιλισμό ίσο με 2PVU (δυναμική τροπόπαυση). (β) Κάθετη τομή δυναμικού στροβιλισμού (PVU) και δυναμικής θερμοκρασίας (°C) για γεωγραφικό πλάτος 38.º N (όπως φαίνεται στον υπεράνω χάρτη) Η έντονη πράσινη γραμμή αντιστοιχεί στη τιμή δυναμικού στροβιλισμού με τιμή PV = 2 PVU Ημερομηνία: 16/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις (γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών MSG WV 6.2 μm Ημερομηνία: 16/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ibl (weather software solutions)

Στο σχήμα 3.36β παρουσιάζεται η κατακόρυφη τομή του δυναμικού στροβιλισμού και της δυναμικής θερμοκρασίας πάνω από την περιοχή της Αττικής και του κεντρικού Αιγαίου. Η επερχόμενη λήξη του φαινομένου γίνεται εμφανής. Σε αντίθεση με την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου το ύψος της τροπόπαυσης αυξάνεται και πάλι από τα δυτικά προς τα ανατολικά όπως είναι εμφανές και από το σχήμα 3.36α. Επίσης στην κατώτερη ατμόσφαιρα οι μεγάλες τιμές ανωμαλίας του δυναμικού στροβιλισμού παύουν να εμφανίζονται πέραν από ένα σημείο πάνω από το κεντρικό Αιγαίο που δικαιολογεί τις έντονες χιονοπτώσεις που καταγράφηκαν από πολίτες και την ΕΜΥ στην περιοχή των Κυκλάδων. Οι τιμές της δυναμικής θερμοκρασίας παραμένουν χαμηλές.

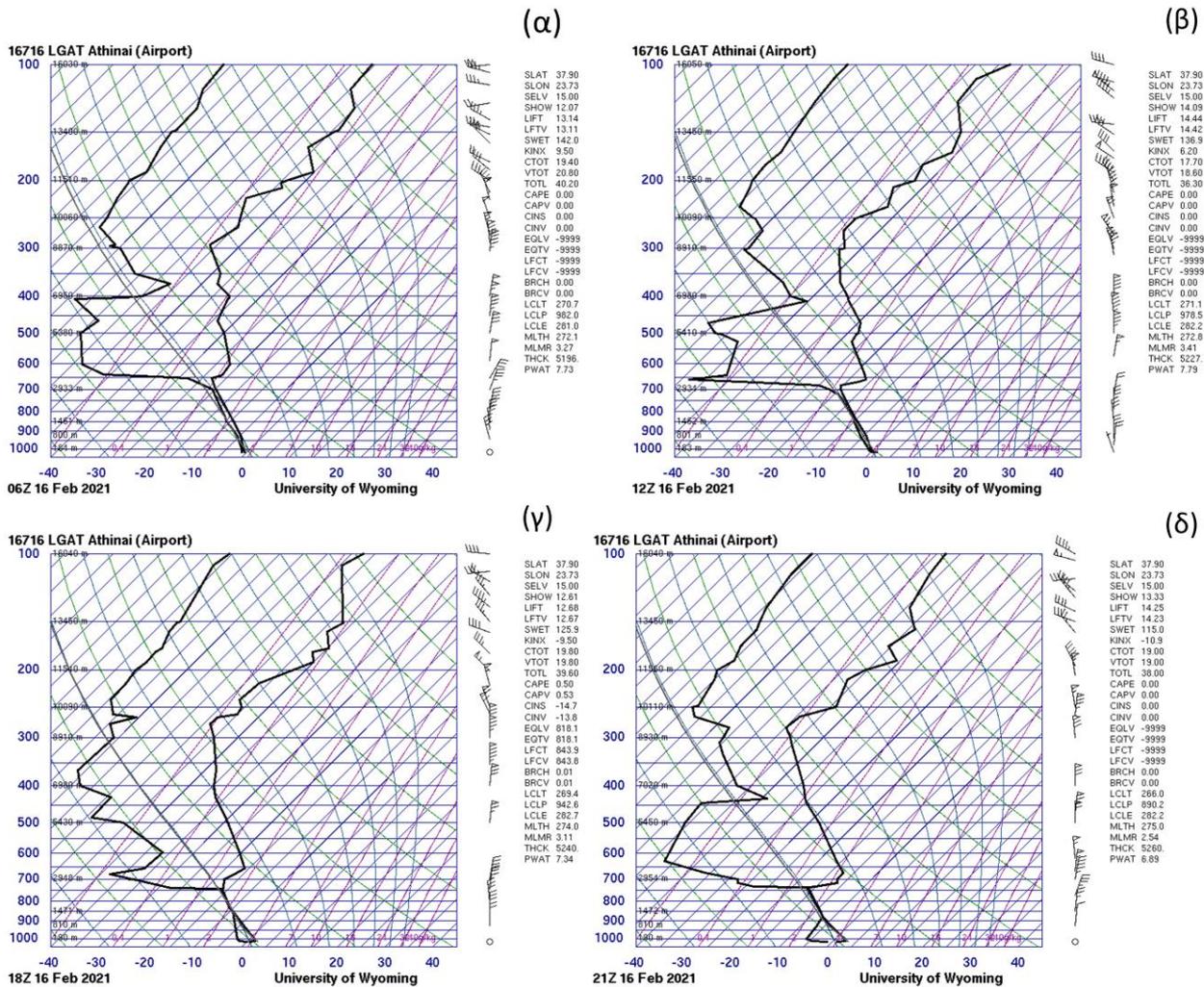
Ο άνεμος στην επιφάνεια των 850 hPa ( *Σχήμα 3.37 (α) & (β)*) είναι βόρειος σε όλη την περιοχή της Ελλάδας τόσο χερσαία όσο και θαλάσσια. Οι τιμές του ανέμου πάνω από το Αιγαίο βρίσκονται στο εύρος των 20 με 25 m/s ενώ στην ηπειρωτική χώρα οι τιμές είναι 5 έως και 10 m/s. Οι τιμές αυτές ορίζουν την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου ως την ημέρα μελέτης με τις υψηλότερες τιμές ανέμου. Κοντά στην επιφάνεια (*Σχήμα 3.37 (γ) & (δ)*) ο άνεμος έχει ελάχιστα ανατολικότερη κατεύθυνση και οι τιμές του ανέμου πάνω από το Αιγαίο πέλαγος κυμαίνονται στα 15 με 20 m/s ενώ στο χερσαίο μέρος της χώρας οι τιμές είναι μικρές και συγκεκριμένα κάτω των 5 m/s.

Για την 16η Φεβρουαρίου του 2021 ο μετεωρολογικός σταθμός αεροδρομίου Αθηνών (LGAT) παρήγαγε τέσσερα διαφορετικά τεφιγράμματα στις 06:00, 12:00, 18:00 και 21:00 UTC καθώς η ημέρα αυτή είναι η ημέρα με τα περισσότερα και εντονότερα φαινόμενα στην περιοχή της Αττικής και μπορεί έτσι να δημιουργηθεί μια αναλυτικότερη εικόνα της κατακόρυφης στήλης αέρα πάνω από την Αττική. Στις 06:00 UTC (*Σχήμα 3.38 (α)*) η θερμοκρασία σε όλη την στήλη είναι κάτω από τους 0°C. Η σχετική υγρασία είναι πολύ κοντά στο 100% από την επιφάνεια και μέχρι τα 700 hPa. Στις 12:00 UTC (*Σχήμα 3.38 (β)*) η θερμοκρασία επιφάνειας αγγίζει τους 0 οC και η υγρασία είναι υψηλή από την επιφάνεια έως τα 750 hPa με συμπύκνωση να παρατηρείται τόσο στην επιφάνεια όσο και στα 850 hPa. Στις 18:00 UTC (*Σχήμα 3.38 (γ)*) παρατηρείται μια μικρή αναστροφή της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια μέχρι περίπου τα 1000 hPa, με θερμοκρασίες να φθάνουν ελάχιστα άνω του μηδενός. Συμπύκνωση παρατηρείται από τα 850 έως και τα 750 hPa. Τέλος στο τεφιγράμμα που αντιστοιχεί στις 21:00 UTC (*Σχήμα 3.38 (δ)*) η αναστροφή θερμοκρασιών χαμηλά γίνεται μεγαλύτερη με τη θερμοκρασία να υπερβαίνει τους 0 οC μόνο κοντά στην επιφάνεια. Η αναστροφή αυτή εκτυλίσσεται από την επιφάνεια έως και τα 1000 hPa. Η συμπύκνωση συμβαίνει από τα 900 hPa και οι νεφώσεις έχουν ύψος έως και τα 750 hPa.



Σχήμα 3. 37 Χάρτες ανέμου στα 850 hPa ( α ) και ( β ) ) και στα 10 m από την επιφάνεια ( γ ) και ( δ ) . Η μια γραμμή στα βελιάκια (barbs) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Ημερομηνία: 16/02/2021 ( α),(γ) 00:00UTC, ( β),(δ)12:00UTC. ( ε ) Χάρτης απόκλισης ανέμου πάνω από την περιοχή της κεντρικής Ελλάδας για τις 12:00 UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

Στο σχήμα 3.37ε η διαφορά από την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου είναι έντονα εμφανής. Τόσο η σύγκλιση όσο και απόκλιση είναι πολύ μικρότερες και αντικατοπτρίζουν την μείωση της αστάθειας που οδηγούν στο τέλος του φαινομένου. Η μέγιστη απόλυτη τιμή δεν ξεπερνά τα  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . Η πιο έντονη απόκλιση παρατηρείται πάνω από την νότια Πελοπόννησο και στην περιοχή ενδιαφέροντος κυριαρχεί σχεδόν ουδέτερη κατάσταση που αντιστοιχεί σε σχετική ευστάθεια στην περιοχή.

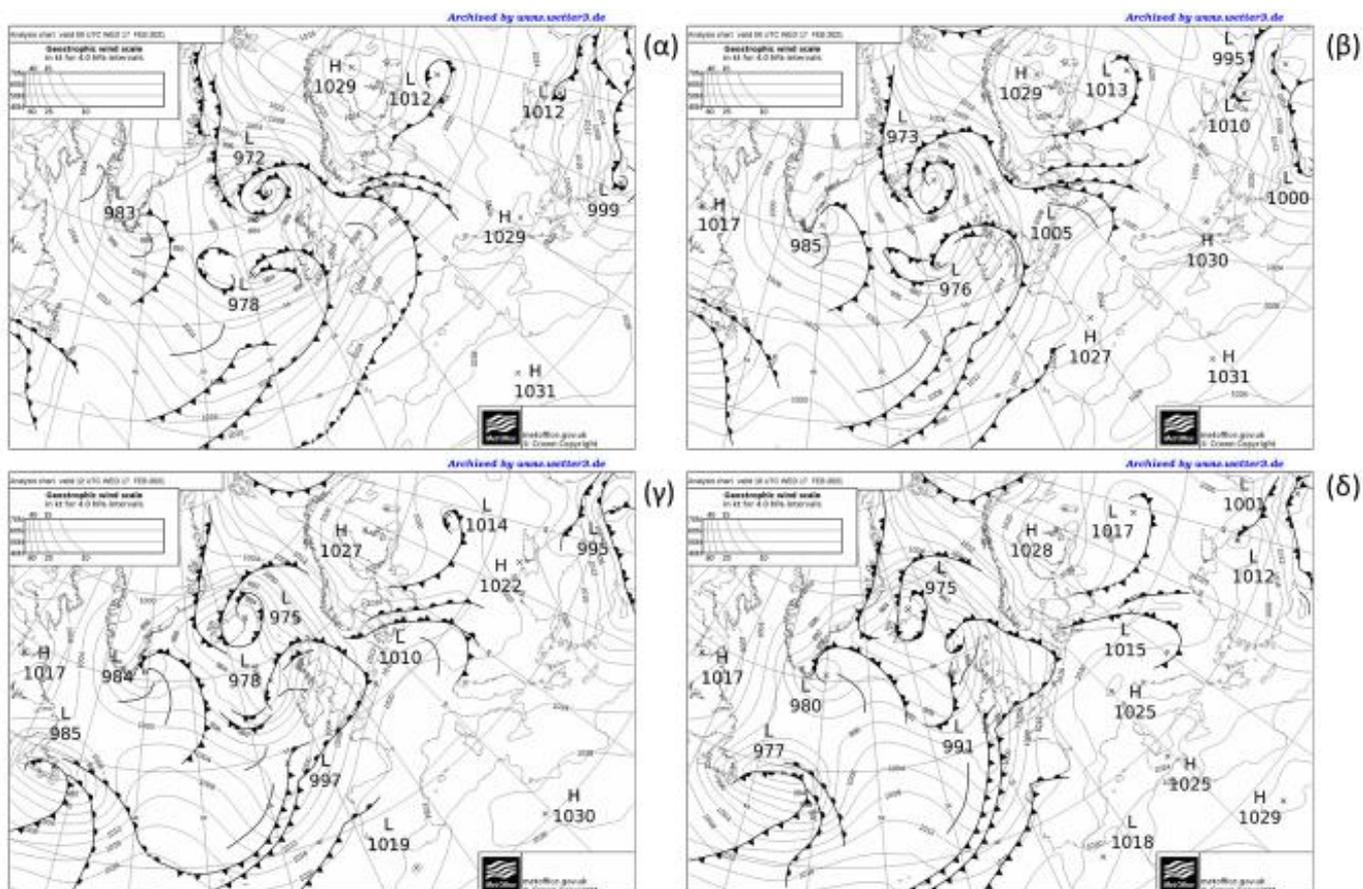


Σχήμα 3. 38 Τεφίγραμμα για τον σταθμό του αεροδρομίου Αθηνών (LGAT). Ημερομηνία: 16/02/2021 (α)00:00UTC, (β) 12:00UTC, (γ)18:00UTC, (δ)21:00UTC . Πηγή: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

3.3.5 17/02/2021

Η 17η Φεβρουαρίου αποτελεί την Τρίτη και τελευταία ημέρα της δεύτερης φάσης του φαινομένου. Η 17η συγκαταλέγεται στη δεύτερη φάση του φαινομένου καθώς η χιονόπτωση συνεχίζει σε κάποιες περιοχές.

Στους χάρτες πίεσης επιφανείας (Σχήμα 3.39) το χαμηλό πάνω από την νοτιοδυτική Τουρκία μετακινείται προς τα ανατολικά και στη διάρκεια της ημέρας τόσο το κέντρο υψηλών πιέσεων όσο και η βορειοανατολική ροή που δημιουργούσε με το χαμηλό στο Αιγαίο διαλύονται, τερματίζοντας έτσι τα φαινόμενα στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας.



Σχήμα 3. 39 Χάρτες πίεσης επιφανείας για τις 17/02/2021. (α) 00:00UTC, (β)06:00UTC, (γ)12:00UTC, (δ)18:00UTC.  
Πηγή: [https://www.wetter3.de/archiv\\_ukmet\\_en.html](https://www.wetter3.de/archiv_ukmet_en.html)



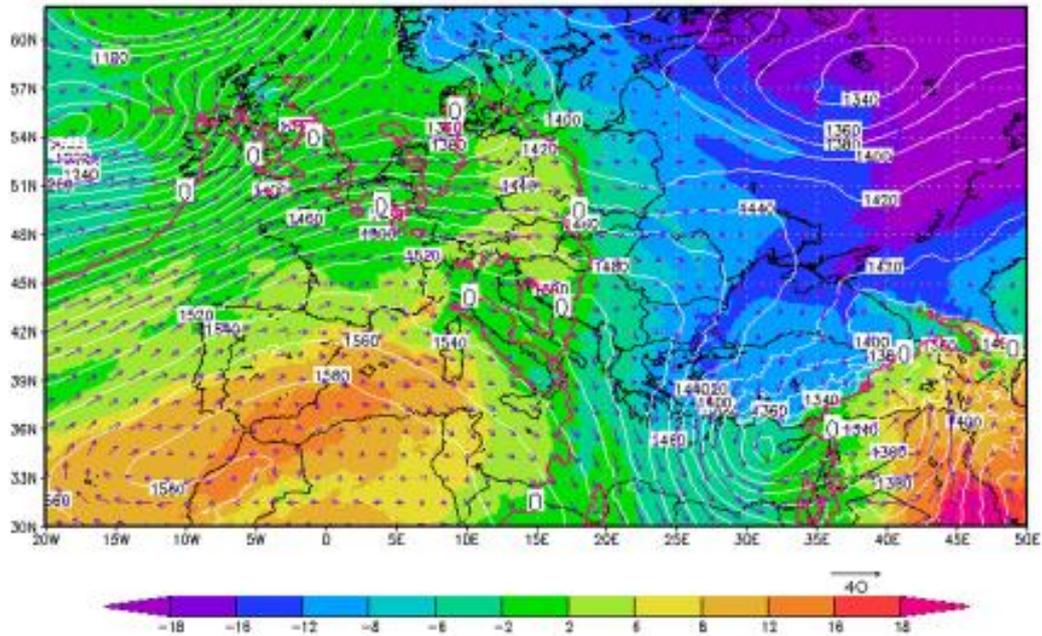
Στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa ( Σχήμα 3.40) οι θερμοκρασίες αυξάνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας πάνω από την Ελλάδα καθώς το χαμηλό των υψών μετακινείται ανατολικότερα. Στην αρχή της ημέρας οι θερμοκρασίες πάνω από την Ελλάδα βρίσκονται στο εύρος των  $-2$  έως  $-10$  °C, ενώ στις 12:00 UTC οι θερμοκρασίες αυξάνονται στο εύρος των  $-6$  έως και  $2$  °C . Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στα δυτικά της χώρας. Η ροή πάνω από την περιοχή της Ελλάδας παραμένει βόρεια αλλά τα γεωδυναμικά ύψη πάνω από την χώρα γίνονται μεγαλύτερα με την πορεία της ημέρας (  $H > 1500$  gpm).

Στον χάρτη των 500 hPa ( Σχήμα 3.41 ) παρατηρείται ότι ο αυλώνας ψυχρού πυρήνα που βρισκόταν πάνω από την Ελληνική περιοχή μετακινείται ανατολικότερα και αποδυναμώνεται στην πορεία της ημέρας. Τη θέση του παίρνει μία ράχη που έρχεται από τα δυτικά μεταφέροντας υψηλότερες θερμοκρασίες στη μέση τροπόσφαιρα (  $T_{500} > -24$  °C).

Στα 300 hPa (Σχήμα 3.42) ο πολικός αεροχειμαρρος μετακινείται προς τα ανατολικά και εξασθενεί. Στις 12:00 UTC έχει αποδυναμωθεί πάνω από την ανατολική Μεσόγειο και οι ταχύτητες του ανέμου φτάνουν μόνο πολύ τοπικά τα 50-60 m/s.

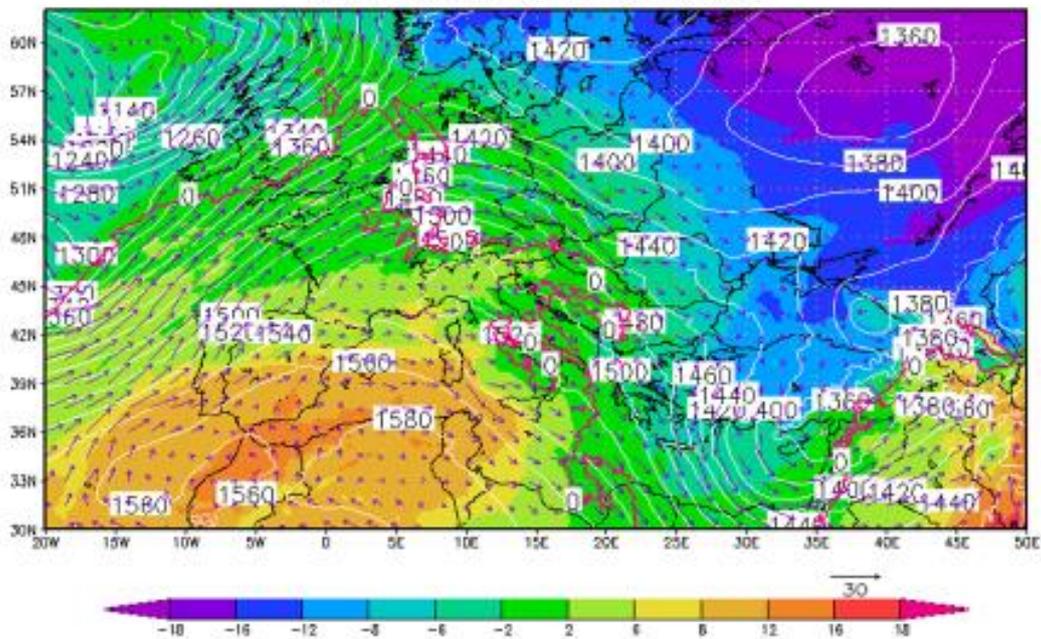
(α)

Temp(C), height(m) and Wind(m/s)  
at lev 850hPa at 00Z17FEB2021



(β)

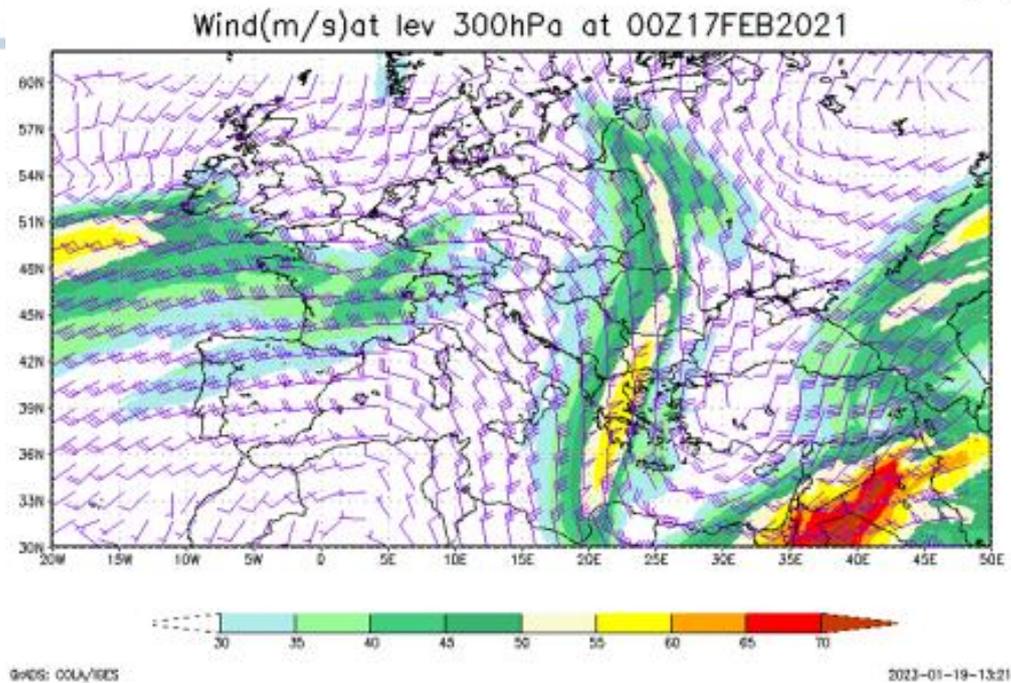
Temp(C), height(m) and Wind(m/s)  
at lev 850hPa at 12Z17FEB2021



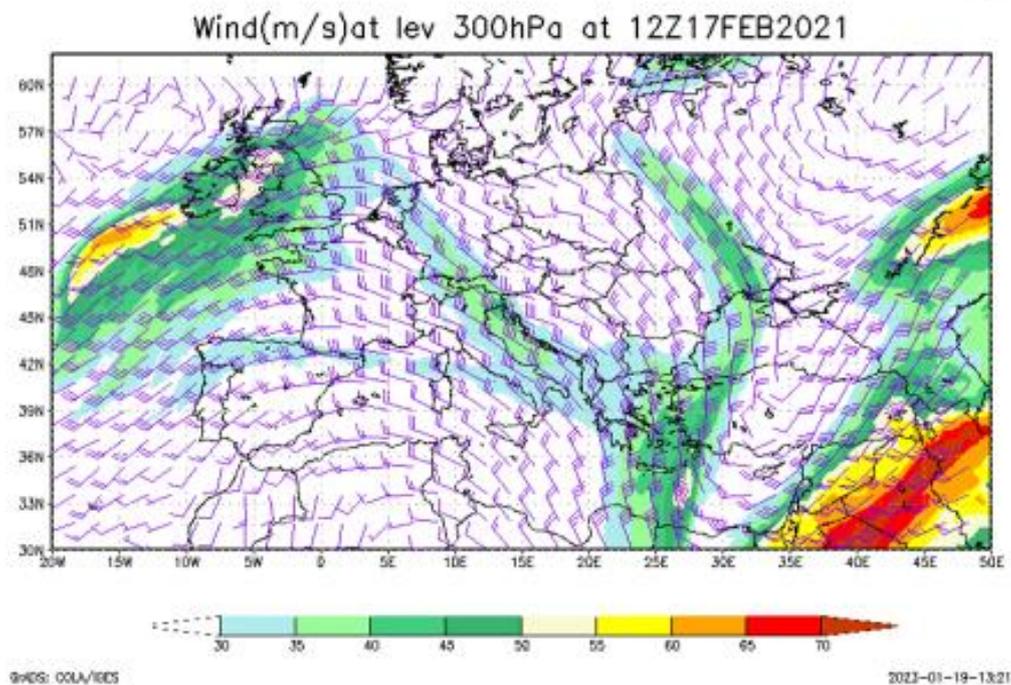
Σχήμα 3. 40 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa. Οι λευκές γραμμές υποδηλώνουν ισούψεις ανά 20gpm. Τα βελάκια αντιστοιχούν στον άνεμο και τα χρώματα υποδηλώνουν την θερμοκρασία ανά 4oC. Η κόκκινη γραμμή είναι η ισόθεμος των 0 oC. Ημερομηνία: 17/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις



(α)



(β)

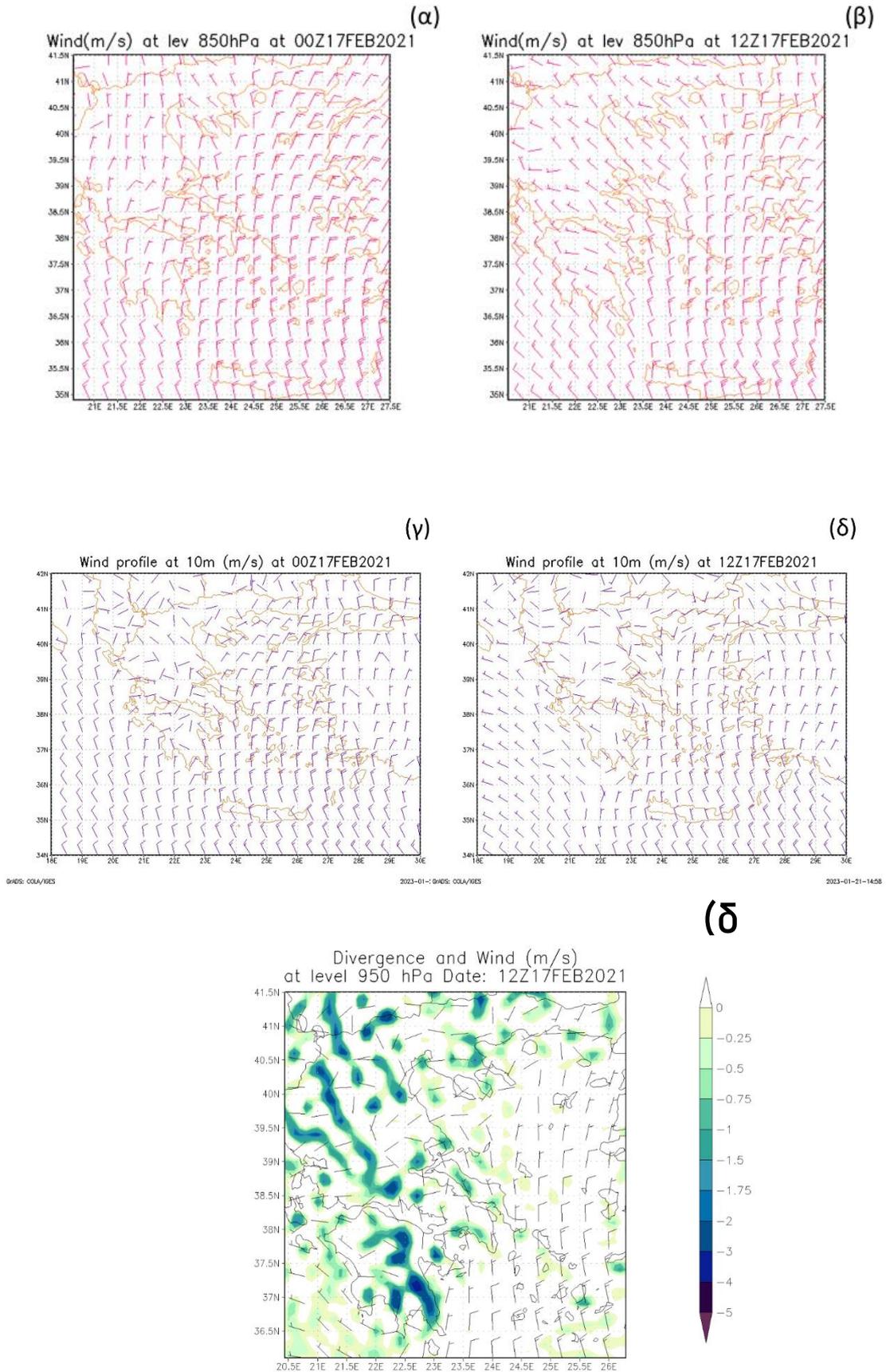


Σχήμα 3. 42 Χάρτες ισοβαρικής επιφάνειας των 300hPa. Τα μωβ βέλη (barbs) είναι ο άνεμος με την μία γραμμή να αντιστοιχεί σε 10 m/s. Τα χρώματα αντιστοιχούν στον άνεμο με ταχύτητα μεγαλύτερη των 30 m/s. Ημερομηνία: 17/02/2021 (α) 00:00UTC, (β)12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

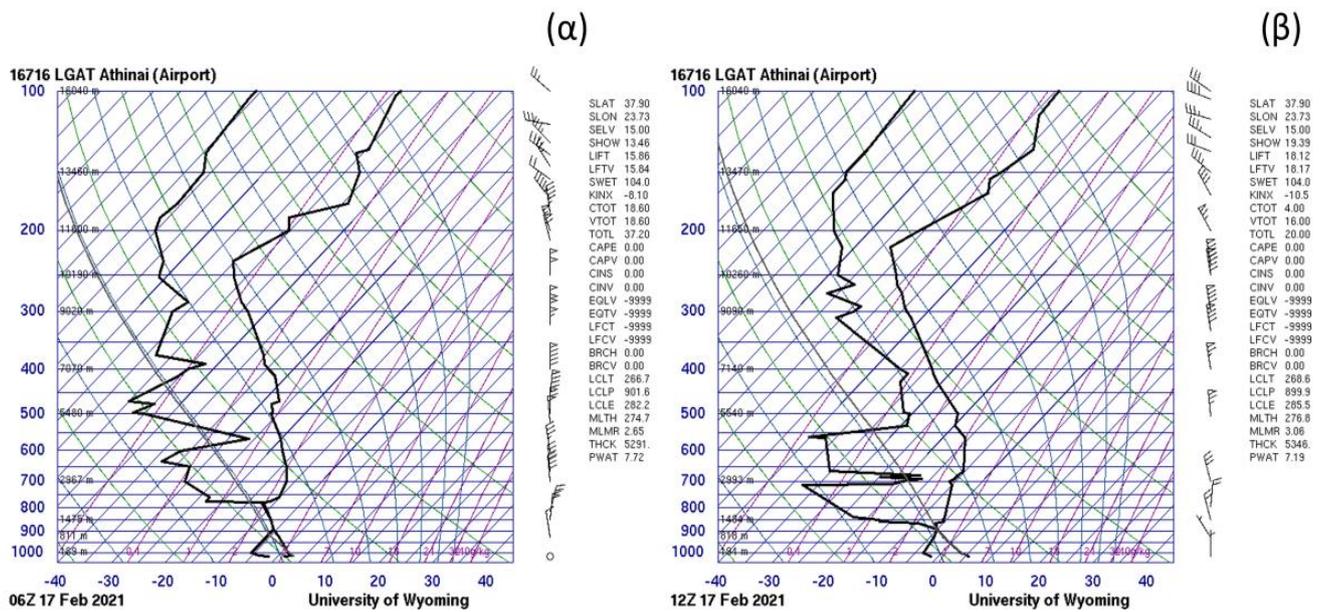
Ο άνεμος στο επίπεδο των 850 hPa (*Σχήμα 3.43 (α) & (β)*) ο άνεμος έχει βόρεια κατεύθυνση πάνω από όλη την χώρα, θάλασσα και Ξηρά. Με ταχύτητες ανέμου πάνω από το Αιγαίο να βρίσκονται στο εύρος των 15-20 m/s ενώ πάνω από την ηπειρωτική χώρα οι ταχύτητες ανέμου είναι 5 m/s ή και μικρότερες. Στην συνέχεια της ημέρας μετά τις 12:00 UTC ο άνεμος στρέφεται και γίνεται βορειοδυτικής κατεύθυνσης στα δυτικά της χώρας, ενώ παραμένει βόρειος πάνω από το ανατολικό Αιγαίο. Οι ταχύτητες του ανέμου φθίνουν στην πορεία της ημέρας φθάνοντας χαμηλότερα και των 5 m/s. Ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια (*Σχήμα 3.43 (γ) & (δ)*) είναι βορειοανατολικός πάνω από το Αιγαίο με ταχύτητες κοντά στα 10 m/s το πρωί που φτάνουν και χαμηλότερα των 5 m/s στην πορεία της ημέρας. Στην ηπειρωτική χώρα επικρατεί σχετική νηνεμία με την κατεύθυνση να μην είναι σταθερή.

Την 17<sup>η</sup> Φεβρουαρίου το φαινόμενο βρίσκεται στην φάση λήξης του και αυτό είναι εμφανές και στον χάρτη απόκλισης του σχήματος 3.43 (ε) όπου η απόλυτη τιμή παραμένει μικρή και στην περιοχή ενδιαφέροντος παρουσιάζεται σχετική ευστάθεια χωρίς ιδιαίτερη σύγκλιση ή απόκλιση.

Στο τεφίγραμμα για τις 17/02/2021 για τον σταθμό του αεροδρομίου Αθηνών ( LGAT ) και ώρα 06:00 UTC (*Σχήμα 3.44 (α)*) κοντά στην επιφάνεια η θερμοκρασία είναι ελαφρώς άνω των 0 °C με μια θερμοκρασιακή αναστροφή από το έδαφος έως και τα 1000 hPa. Η βάση των νεφών βρίσκεται στο επίπεδο των 900 hPa και τα νέφη εκτείνονται έως και το επίπεδο των 775 hPa. Στο επίπεδο των 750 hPa εμφανίζεται η αρχή του οριακού στρώματος. Τόσο στο επίπεδο των 700 hPa όσο και στο επίπεδο των 200 hPa παρατηρείται ένα μικρό "backing" ανέμων που μπορεί να υποδηλώνει αστάθεια και ψυχρή μεταφορά. Στο τεφίγραμμα που αντιστοιχεί στον ίδιο σταθμό για την ίδια ημέρα και ώρα 12:00 UTC (*Σχήμα 3.44 (β)*) η εικόνα της ατμόσφαιρας κατακόρυφα αλλάζει. Με την θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια να είναι κοντά στους 5 °C και την υγρασία να είναι υψηλή μόνο στο επίπεδο των 900 hPa ενώ το οριακό στρώμα ξεκινά στο επίπεδο των 850 hPa.



Σχήμα 3. 43 Χάρτες ανέμου στα 850 hPa ( α ) και ( β ) και στα 10 m από την επιφάνεια ( γ ) και ( δ ) . Η μια γραμμή στα βελιάκια (barbs) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Ημερομηνία: 17/02/2021 ( α ),( γ ) 00:00UTC, ( β ),( δ )12:00UTC. ( ε ) Χάρτης απόκλισης ανέμου πάνω από την περιοχή της κεντρικής Ελλάδας για τις 12:00 UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις



Σχήμα 3. 44 Τεφίγραμμα για (α) τον σταθμό του αεροδρομίου Αθηνών (LGAT). Ημερομηνία: 17/02/2021 06UTC, (β) τον σταθμό του αεροδρομίου Αθηνών (LGAT). Ημερομηνία: 17/02/2021 12UTC. Πηγή: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

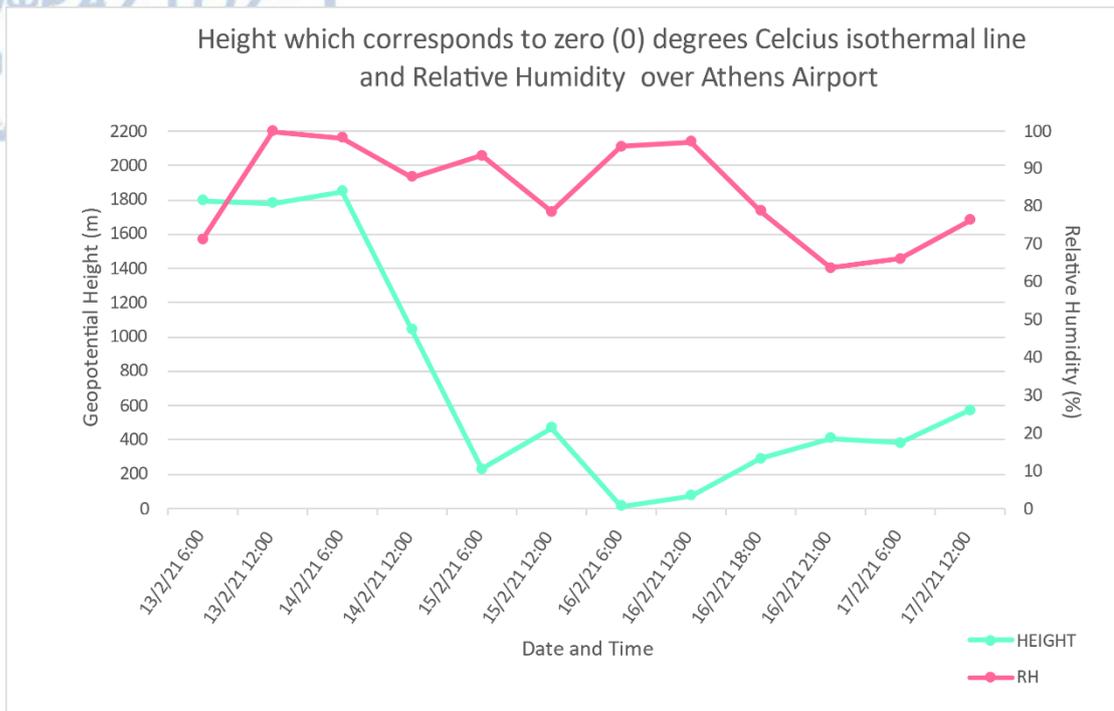
### 3.3.6 Ισόθερμος των 0°C από δεδομένα ραδιοβολίσεων

Από τα δεδομένα των ραδιοβολίσεων παράχθηκαν χρονοσειρές του γεωδυναμικού ύψους της ισοθέρμου των 0°C καθώς και την σχετική υγρασία στο ύψος αυτό στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης (δεν απεικονίζεται), στην Αθήνα ( Σχήμα 3.45 ) και στο αεροδρόμιο του Ηρακλείου στην Κρήτη ( Σχήμα 3.46 )

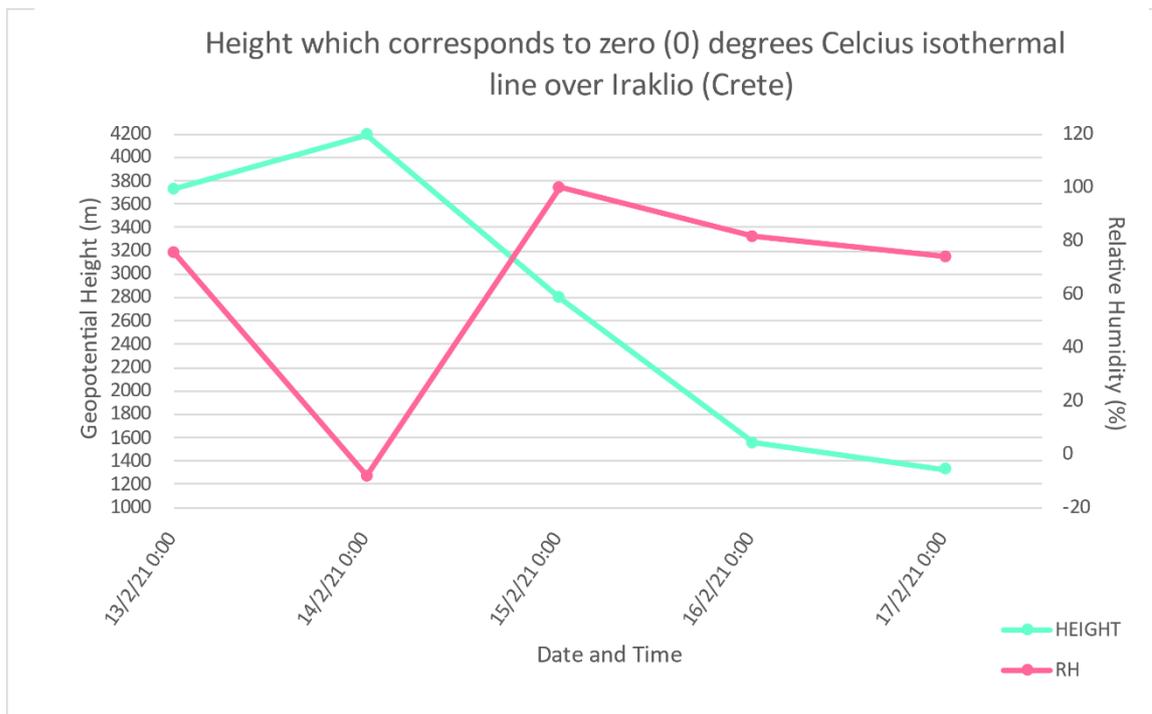
Για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης η χρονοσειρά δεν απεικονίζεται γιατί από τις 14/02/2021 00:00 UTC έως και τις 17/02/2021 00:00 UTC η θερμοκρασία όλης της ατμοσφαιρικής στήλης ήταν κάτω από το μηδέν, με ελάχιστες εξαιρέσεις (μόνο στην επιφάνεια στις 16/02/2021 00:00 UTC και λόγω αναστροφών στις 17/02/2021 00:00 UTC).

Για τον σταθμό της Αθήνας είναι προφανές πως στις 13/02/2021 και μέχρι τις 14/02/2021 το πρωί η ισόθερμος του μηδενός βρίσκεται ψηλά με γεωδυναμικό ύψος μεγαλύτερο των 1800 grm και πίεση μικρότερη των 850 hPa, που μεταφράζεται σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια. Στη συνέχεια η ισόθερμος του μηδενός μετακινείται πιο χαμηλά μέχρι τις 15/02/2021 06:00 UTC, όποτε και φθάνει στα 200 grm και 1000 hPa. Μετά υπάρχει μια μικρή άνοδος, που την στέλνει στα 750 grm και 940 hPa στις 15/02/2021 12:00 UTC, ενώ φτάνει στην επιφάνεια στις 16/02/2021 06:00 UTC. Από τις 16/02/2021 12:00 UTC έως και τις 17/02/2021 12:00 UTC η ισόθερμος ανεβαίνει στην ατμόσφαιρα με μικρό σχετικά ρυθμό φτάνοντας τελικά στα 800 grm και 925 hPa.

Στον σταθμό της Κρήτης τα στοιχεία που είναι διαθέσιμα είναι λιγότερα μιας και παρέχεται μια ραδιοβολίση ανά ημέρα. Η ισόθερμος του μηδενός στην Κρήτη έχει πτωτική πορεία σε όλη τη χρονοσειρά, ξεκινώντας στις 13/02/2021 00:00 UTC στα 3000 grm και 700 hPa ενώ στις 16/02/2021 00:00 UTC και 17/02/2021 00:00 UTC φτάνει στο ελάχιστο των 800 grm και 925 hPa. Η εικόνα που δίνουν οι ραδιοβολίσεις αφήνει να εννοηθεί πως η θερμοκρασία στην Κρήτη δεν κατεβαίνει υπό του μηδενός στην επιφάνεια, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με τα δεδομένα που αναλύθηκαν νωρίτερα . Πρέπει να ληφθεί υπόψιν όμως η τοποθεσία του σταθμού του Ηρακλείου που δεν βρίσκεται σε ορεινό σημείο, όπου και η θερμοκρασία στην επιφάνεια ήταν μικρότερη του μηδενός σε κάποιες περιπτώσεις.



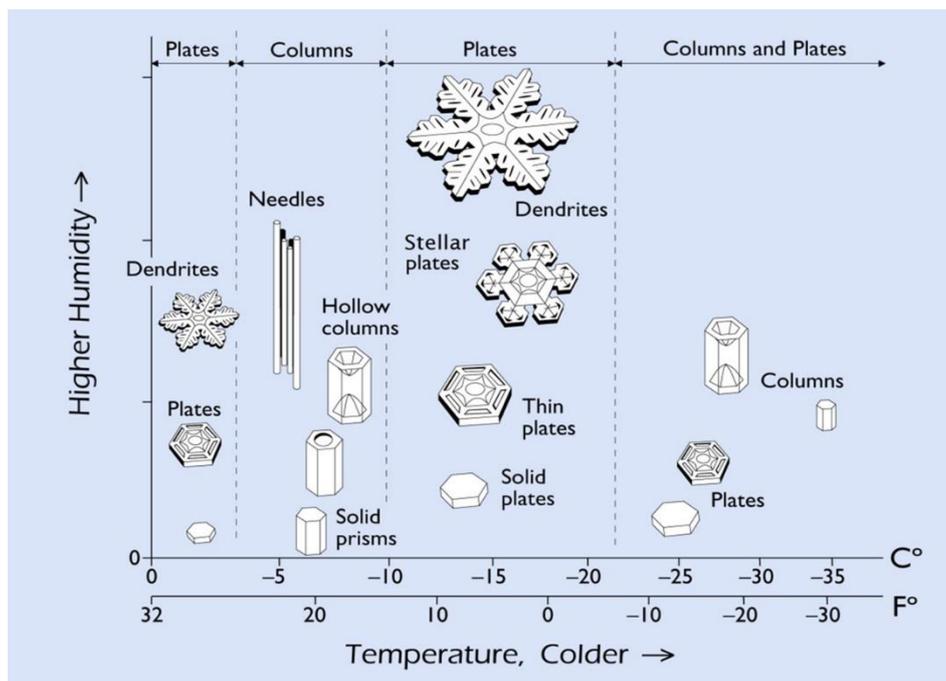
Σχήμα 3.45 Χρονοσειρά γεωδυναμικού ύψους και σχετικής υγρασίας (%) για την ισόθερμο των 0 οC πάνω από τον σταθμό της Αθήνας (LGAT). 13/02/2021 12:00UTC – 17/02/2021 12:00UTC. Πηγή: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>



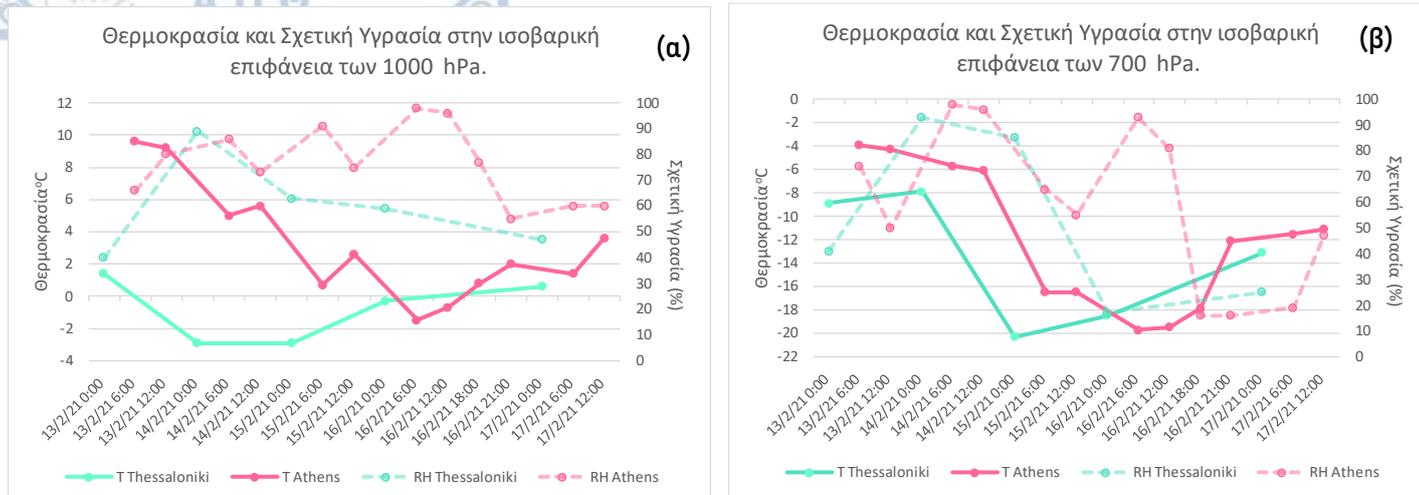
Σχήμα 3.46 Χρονοσειρά γεωδυναμικού ύψους και σχετικής υγρασίας (%) για την ισόθερμο των 0 οC πάνω από τον σταθμό του Ηρακλείου (16754). 13/02/2021 12:00UTC – 17/02/2021 12:00UTC. Πηγή: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

### 3.3.7 Μορφή παγοκρυστάλλων στην Αθήνα και στην Θεσσαλονίκη

Σύμφωνα με τον Καρακώστα (2020) έχει σημασία για τα αποτελέσματα της χιονόπτωσης σε μία περιοχή το θερμοκρασιακό προφίλ καθώς και υγρασία που παρουσιάζεται κατακόρυφα στην ατμόσφαιρα. Συγκεκριμένα έχουν σημασία τα χαρακτηριστικά αυτά σε ύψος περίπου 1 km πάνω από την μέση επιφάνεια θάλασσας ( για την ανάλυση επιλέχθηκε η ισοβαρής επιφάνεια των 700 hPa). Επίσης είναι σημαντικό να μελετηθεί η αντίστοιχη εικόνα κοντά στην επιφάνεια καθώς αυτή επηρεάζει το λιώσιμο ή όχι του χιονιού ( επιλέχθηκε η ισοβαρής επιφάνεια των 1000 hPa). Η επιρροή των παραμέτρων αυτών στο είδος της χιονόπτωσης επαφίεται στον σχηματισμό διάφορων ειδών παγοκρυστάλλων που οδηγούν σε διαφορετικά είδη χιονιού. Στο *σχήμα 3.47* παρουσιάζονται τα διαφορετικά είδη παγοκρυστάλλων ανάλογα με την θερμοκρασία και την υγρασία που υφίσταται.



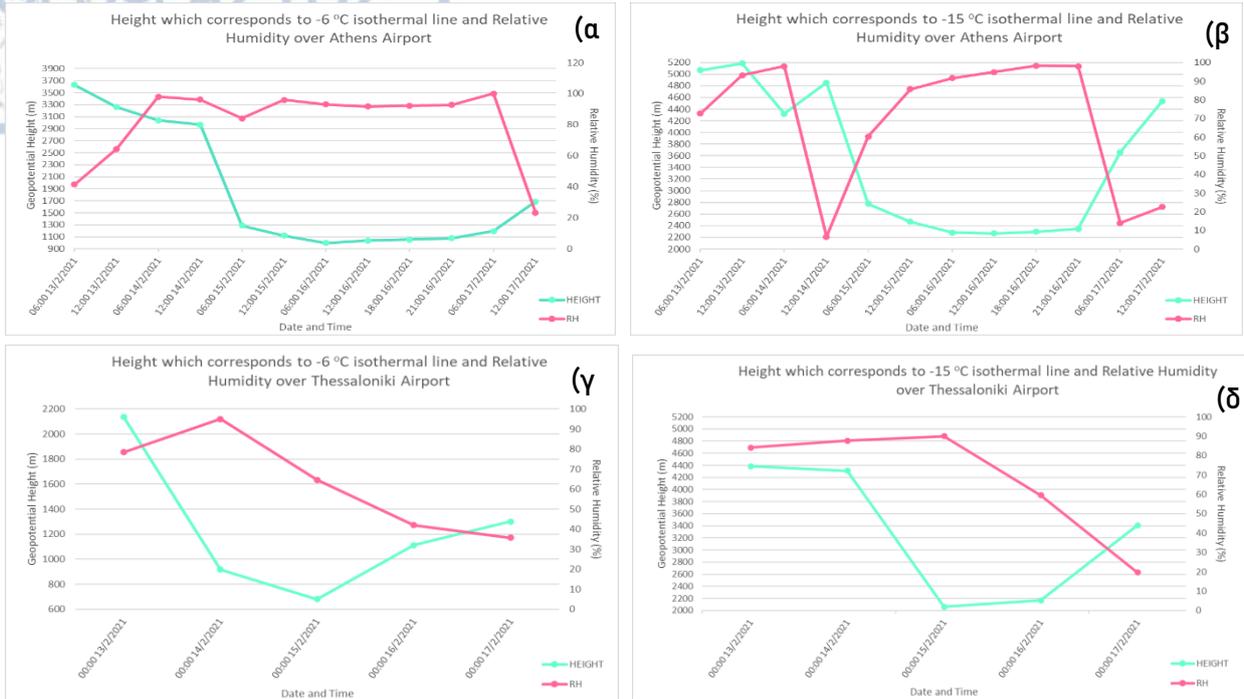
Σχήμα 3.47 Είδη παγοκρυστάλλων σε σχέση με την θερμοκρασία και υγρασία της περιοχής. Πηγή: Καρακώστας (2020)



Σχήμα 3.48 Χρονοσειρές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για την ισοβαρική επιφάνεια των (α) 1000 hPa και των (β) 700 hPa για τους σταθμούς της Αθήνας (Ροζ χρώμα) και της Θεσσαλονίκης (Τιρκουάζ χρώμα)  
Πηγή :<https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Για την μελέτη των παραπάνω δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα του σχήματος 3.48, που απεικονίζουν χρονοσειρά της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στο επίπεδο των 1000 hPa (α) και των 700 hPa (β) για τον σταθμό της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης.

Τα δύο εύρη ενδιαφέροντος είναι αυτό το [-2,-6] και το [-12,-18], καθώς στο πρώτο οι παγοκρύσταλλοι παίρνουν την μορφή βελόνων (needles) που αντιστοιχούν σε αφράτο και ελαφρύτερο χιόνι ενώ στο δεύτερο εύρος παρουσιάζονται αστεροειδής παγοκρύσταλλοι (stellar plates), που αντιστοιχούν σε χιόνι με μεγαλύτερο βάρος και όγκο. Φυσικά και στις δύο περιπτώσεις και ιδιαίτερα στην δεύτερη απαιτείται υψηλή τιμή υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Στο σχήμα 3.49 (α)-(δ) παρουσιάζονται οι χρονοσειρές του ύψους της ισόθερμου των  $-6^{\circ}\text{C}$  (α)+(γ) και των  $-15^{\circ}\text{C}$  (β)+(δ) που επιλέγονται ως αντιπροσωπευτικές των δύο ευρών.



Σχήμα 3. 49 Χρονοσειρές του γεωδυναμικού ύψους και της σχετικής υγρασίας για την ισόθερμο των  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  και των  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  στην Αθήνα (α) + (β) και στην Θεσσαλονίκη (γ)+(δ) αντίστοιχα. Πηγή :<https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το είδος των παγοκρυστάλλων στην Θεσσαλονίκη λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών σε συνδυασμό με την υψηλή σχετική υγρασία μπορεί να ενταχθεί στην κατηγορία των βελόνων και έτσι το χιόνι που έπεσε στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είχε μικρό βάρος και ήταν ιδιαίτερα αφράτο, και οι χαμηλές θερμοκρασίες στα χαμηλά δεν του επέτρεψαν να λιώσει με αποτέλεσμα το χιόνι στην Θεσσαλονίκη να μην είναι τόσο επικίνδυνο για την Ανθρώπινη δραστηριότητα. Αντίθετα για τον σταθμό της Αττικής η ισόθερμος των  $-15$  βρίσκεται χαμηλότερα κατά τις ημέρες του φαινομένου και σε συνδυασμό με την υψηλή υγρασία οδηγεί σε μεγαλύτερου όγκου παγοκρυστάλλους τύπου αστεροειδούς. Οι παγοκρυστάλλοι αυτοί παράγουν βαρύτερο και πιο ογκώδες χιόνι που σε συνδυασμό με την υψηλότερη θερμοκρασία (άνω των  $0^{\circ}\text{C}$ ) κοντά στην επιφάνεια λιώνει και στην συνέχεια της ημέρας με την πτώση της θερμοκρασίας μετατρέπεται σε πάγο. Ο συνδυασμός των παραμέτρων αυτών οδηγεί σε κολλώδες χιόνι που μένει πάνω σε δέντρα και καλώδια, που σε συνδυασμό με το μεγάλο βάρος του μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή αυτών. Επίσης οι δρόμοι γίνονται επικίνδυνοι λόγω του πάγου και γενικά το χιόνι αυτό στην Αθήνα ήταν ιδιαίτερα επικίνδυνο όπως καταγράφηκε και από τα ΜΜΕ.

### 3.3.8 Φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow)

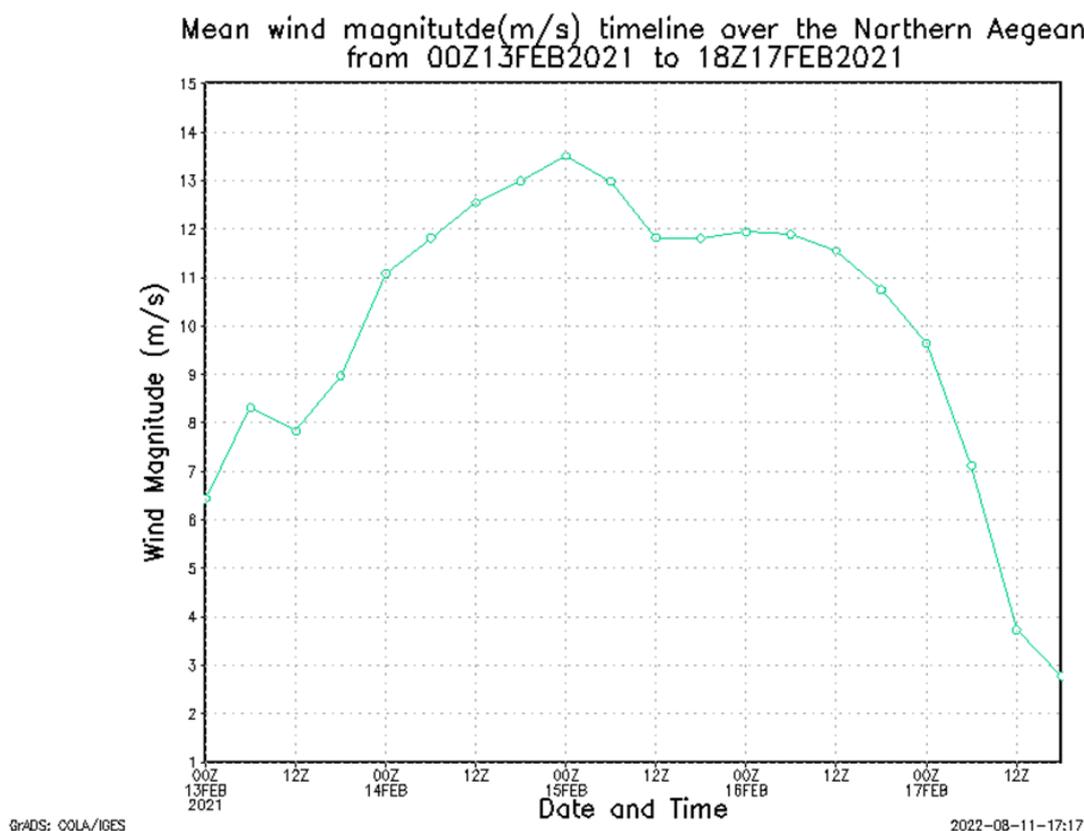
Το φαινόμενο που μελετάται μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα επεισόδιο φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow), όπως αυτό περιεγράφηκε στο κεφάλαιο της Εισαγωγής. Η δομή όπου άνεμος φυσά πάνω από υδάτινη επιφάνεια εμπλουτίζοντας τον υπεράνω ψυχρό αέρα με υδρατμούς που οδηγούν σε έντονες χιονοπτώσεις στην προσήνεμη Ξηρά (Sousounis, 2003) παρατηρείται και στο παρόν φαινόμενο. Στην δεύτερη φάση της Μήδειας ο άνεμος που φυσά πάνω από το βόρειο Αιγαίο μεταφέρει ψυχρές αέριες μάζες που εμπλουτίζονται με υδρατμούς από την θερμότερη επιφάνεια του νερού και τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής εμφανίζονται στις περιοχές της κεντρικής Ελλάδας και κυρίως την Εύβοια, Βοιωτία και Αττική. Για να αποδοθεί ο χαρακτηρισμός του φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) στο φαινόμενο βέβαια πρέπει η συνοπτική κατάσταση να εμπίπτει σε κάποια όρια που έχουν καθοριστεί από προηγουμένως δημοσιευμένη βιβλιογραφία.

Σημειώνεται ότι οι κάθετες τομές για τον υπολογισμό της στροφής του ανέμου από την επιφάνεια στο ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa υπολογίζονται σε γεωγραφικό πλάτος 39.60 Β και γεωγραφικό εύρος γεωγραφικού μήκους 23.00 έως 26.10 Α, όπως φαίνεται στο *Σχήμα 3.49* καθώς η περιοχή αυτή καλύπτει ένα μεγάλο εύρος της περιοχής στην οποία η στροφή του ανέμου είναι σημαντική, δηλαδή το βόρειο Αιγαίο. Στην περίπτωση του φαινομένου «Μήδεια» η αντιστοιχία με το φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) εξετάζεται ανά ημέρα.

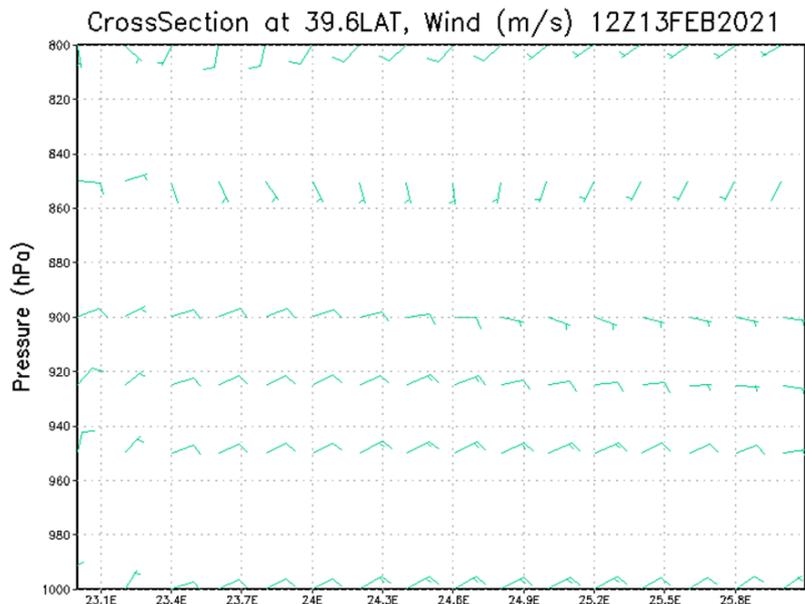


*Σχήμα 3.50* Με κίτρινη γραμμή συμβολίζεται ο τόπος στον οποίο υπολογίζεται η κατακόρυφη τομή για την μελέτη της στροφής του ανέμου. Το γεωγραφικό πλάτος είναι 39.60N και το εύρος των γεωγραφικών μηκών είναι 23.0E – 26.10E. Η απόσταση είναι περίπου 265 χιλιόμετρα.

Στις 13/02/2021 η συνοπτική εικόνα της ατμόσφαιρας δεν αντιστοιχεί με αυτή που περιγράφει ένα φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow), στην συγκεκριμένη ημερομηνία οι χιονοπτώσεις καταγράφονται στην βόρεια Ελλάδα και όπως περιεγράφηκε και στο προηγούμενο υποκεφάλαιο τα αίτια που οδήγησαν στις χιονοπτώσεις αυτές δεν συνδέονται με τον εμπλουτισμό της υπεράνω αέριας μάζας από υδρατμούς προερχόμενους από υδάτινη επιφάνεια. Επίσης όπως φαίνεται και στα *σχήματα 3.11 (α)-(γ)* από το κεφάλαιο 3.3.1, ο άνεμος τόσο στην επιφάνεια όσο και στο επίπεδο των 850 hPa δεν ταιριάζουν με τον ορισμό του φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) καθώς οι ταχύτητα ανέμου στην επιφάνεια είναι μικρότερη των 10 m/s σε ορισμένες περιπτώσεις (*Σχήμα 3.51*) ενώ σε σχέση με τον άνεμο στα 850 hPa παρατηρείται πολύ μεγάλη στροφή ( $ws > 60^\circ$ ) (*Σχήμα 3.52*).



*Σχήμα 3.51 Χρονοσειρά ταχύτητας ανέμου σε m/s πάνω από την περιοχή του Β. Αιγαίου του σχήματος 3.47. 13/02/2021 00:00UTC – 17/02/2021 18:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις*



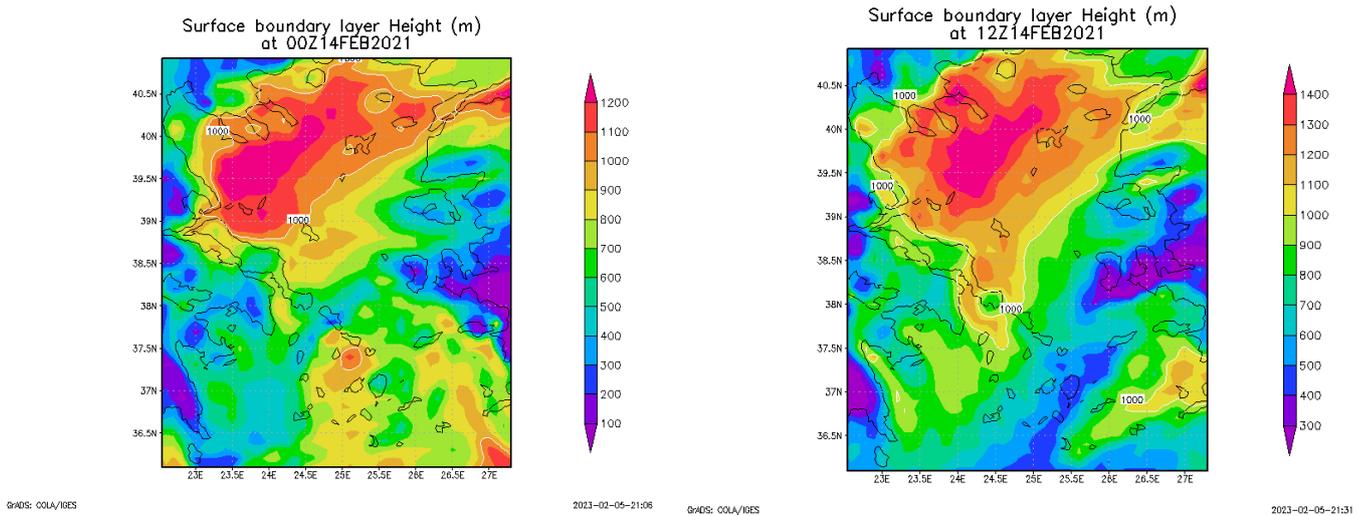
GRADS: COLA/IGES

2022-08-11-17:05

Σχήμα 3. 52 Κατακόρυφη τομή με επίπεδα πιέσεων από την επιφάνεια έως τα 800 hPa με βελάκια (barbs) που αντιστοιχούν στον άνεμο. Μία γραμμή αντιστοιχεί στα 10m/s. Η κατακόρυφη τομή υπολογίζεται στην περιοχή του σχήματος 3.47. Χρόνος: 13/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

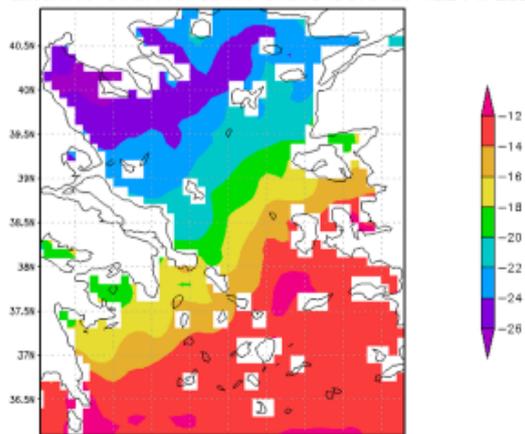
Στις 14/02/2021 η διαφορά της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας από τη θερμοκρασία των 850 hPa έχει μέση τιμή πάνω από το βόρειο Αιγαίο μικρότερη των  $-13$  °C στις 06:00 και 12:00 UTC, ενώ στην συνέχεια της ημέρας η διαφορά αυξάνεται (Σχήμα 3.54). Ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια υπερβαίνει τα 10 m/s για όλη την ημέρα και άρα το κριτήριο αυτό πληρείται (Σχήμα 3.51). Το ύψος του οριακού στρώματος για την ημέρα μπορεί να επιβεβαιωθεί ότι υπερβαίνει το 1 km από την ανάλυση που έγινε στο κεφάλαιο 3.3.2 και το Σχήμα 3.53. Μετά τις 12:00 UTC η στροφή του ανέμου από την επιφάνεια, στο επίπεδο των 850 hPa (Σχήμα 3.55) είναι μικρότερη των  $60^\circ$ , το ίδιο όμως δεν ισχύει για τις προηγούμενες ώρες της ημέρας. Στο κριτήριο για τον λόγο της ταχύτητας ανέμου προς την απόσταση που ο άνεμος καλύπτει πάνω από την υδάτινη επιφάνεια αρχικά υπολογίστηκε η μέση ημερήσια τιμή ανέμου στα 850 hPa για την περιοχή πάνω από το βόρειο Αιγαίο, όπως φαίνεται στο Πίνακα 3.2 και στην συνέχεια επιλέγονται επτά διαφορετικές πιθανές

αποστάσεις, για να καλύπτουν όλες τις πιθανές επιλογές. Οι δύο αποστάσεις αποτελούν ένα απόλυτο μέγιστο και ελάχιστο για την περιοχή και οι υπόλοιπες υπολογίζονται από χάρτες όπως απεικονίζονται στο σχήμα 3.56. Στον πίνακα 3.3 εμφανίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής. Για την 14η Φεβρουαρίου 2021 είναι προφανώς πως το κριτήριο πληρείται με εξαίρεση την απόλυτα ελάχιστη απόσταση, η οποία όμως δεν αντιστοιχεί με την πραγματική εικόνα του ανέμου στα 850 hPa μετά τις 12:00 UTC. Έτσι τα όλα τα κριτήρια πληρούνται για τις 14 Φεβρουαρίου του 2021 αλλά μόνο μετά τις 12:00 UTC.



Σχήμα 3. 53 Χάρτης υψών του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος πάνω από την περιοχή της Ελλάδας. Χρόνος: 14/02/2021 00:00UTC + 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

(α)  
Temperature difference between 850hPa and SSTs at 12Z14FEB2021

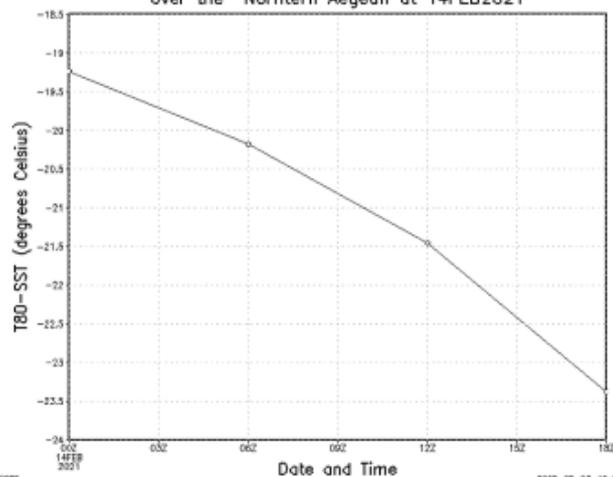


GRADS: OOLA/IGES

2022-07-20-15:12

GRADS: OOLA/IGES

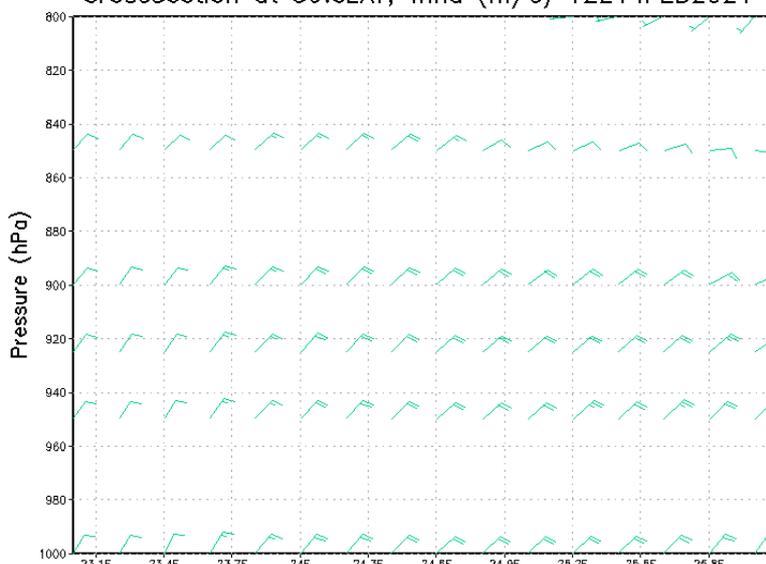
(β)  
Mean Difference of Temp at 850hPa - SST over the Northern Aegean at 14FEB2021



2022-08-03-16:40

Σχήμα 3.54 Διαφορά θερμοκρασίας της επιφανείας θάλασσας (SST) από την θερμοκρασία στα 850 hPa. (α): Τα χρώματα αντιστοιχούν στην διαφορά θερμοκρασίας (850 hPa - SST) ανά 2°C. Χρόνος: 14/02/2021 12:00UTC (β): Χρονοσειρά μέσω των διαφορών θερμοκρασίας (850 hPa - SST) -μεσοποίηση μόνο σε θαλάσσια σημεία. Χρόνος: 14/02/2021 00:00 UTC - 18:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

CrossSection at 39.6LAT, Wind (m/s) 12Z14FEB2021



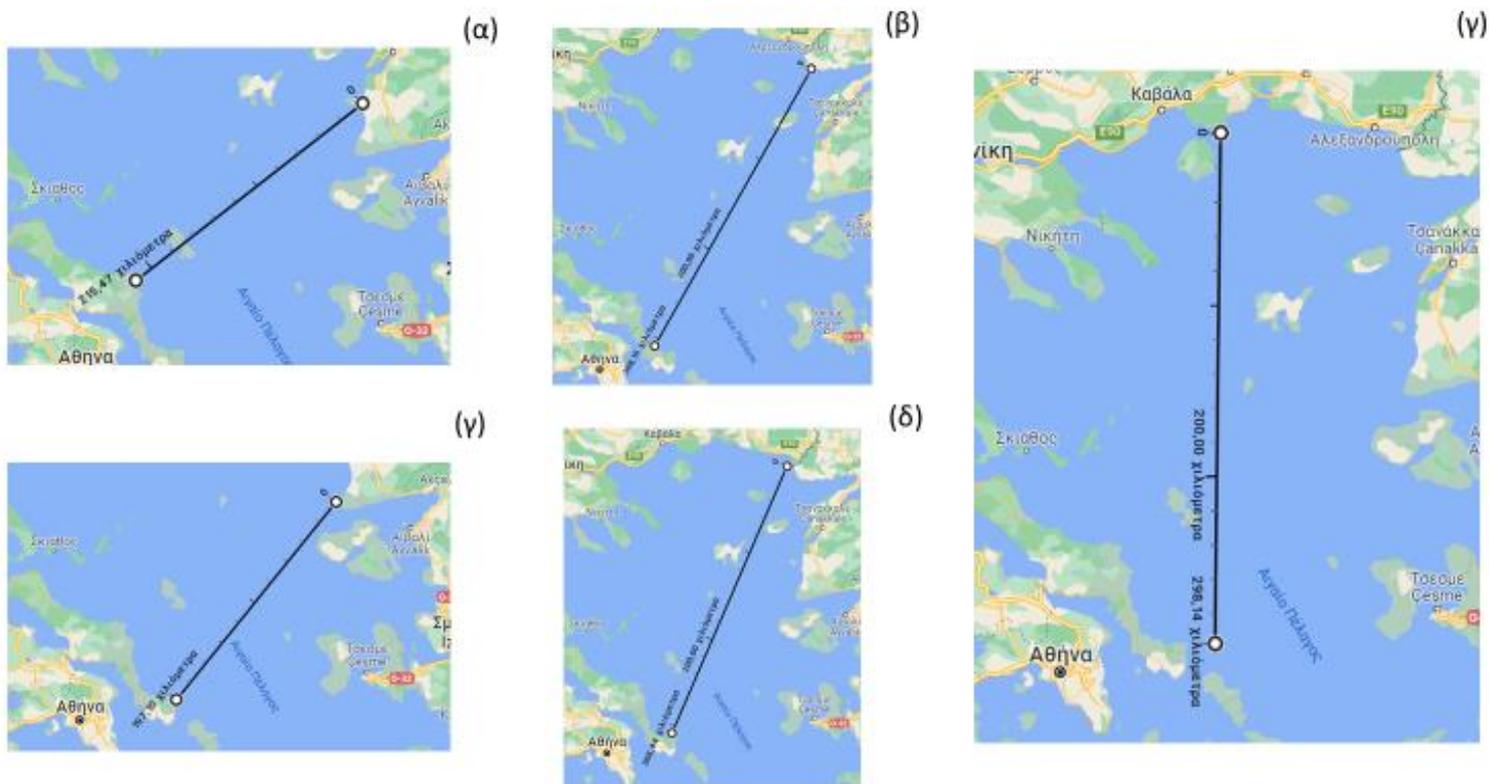
GRADS: OOLA/IGES

2022-08-11-17:05

Σχήμα 3.55 Κατακόρυφη τομή με επίπεδα πιέσεων από την επιφάνεια έως τα 800 hPa με βελόκια (barbs) που αντιστοιχούν στον άνεμο. Μία γραμμή αντιστοιχεί στα 10m/s. Η κατακόρυφη τομή υπολογίζεται στην περιοχή του σχήματος 3.47. Χρόνος: 14/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

Date	Mean Wind Magnitude over Northern Aegean Sea
13/2/2021	3,84
14/2/2021	11,14
15/2/2021	15,50
16/2/2021	15,63
17/2/2021	9,61

Πίνακας 3. 2 Μέση ταχύτητα ανέμου πάνω από την περιοχή του βόρειου Αιγαίου ανά ημέρα του φαινομένου. 13/02/2021 -17/02/2021  
Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

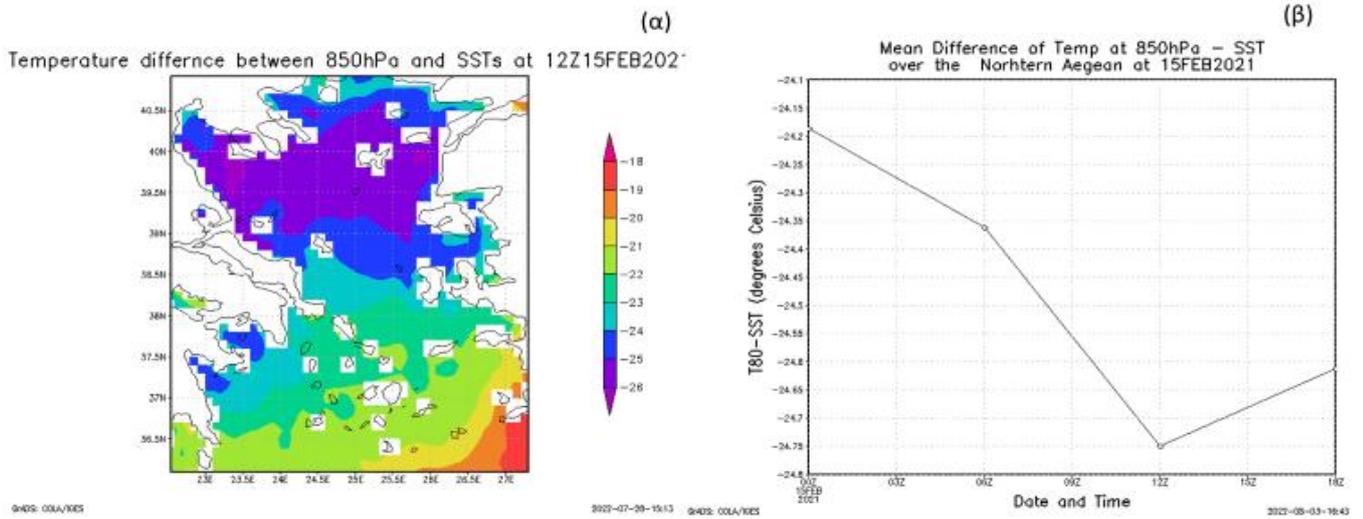


Σχήμα 3.56 Επιλογές αποστάσεων για το πιθανό το μήκος της θαλάσσιας περιοχής που ο άνεμος διέρχεται χωρίς εμπόδια (fetch) (απόσταση που καλύπτει ο άνεμος πάνω από το υγρό στοιχείο) που επιλέχθηκαν για τα τεστ για την ύπαρξη ή μη του Lake(Sea) Effect Snow. (α) 215.5km, (β)308.2km, (γ)197.1km, (δ)258.2, (ε)298.1km

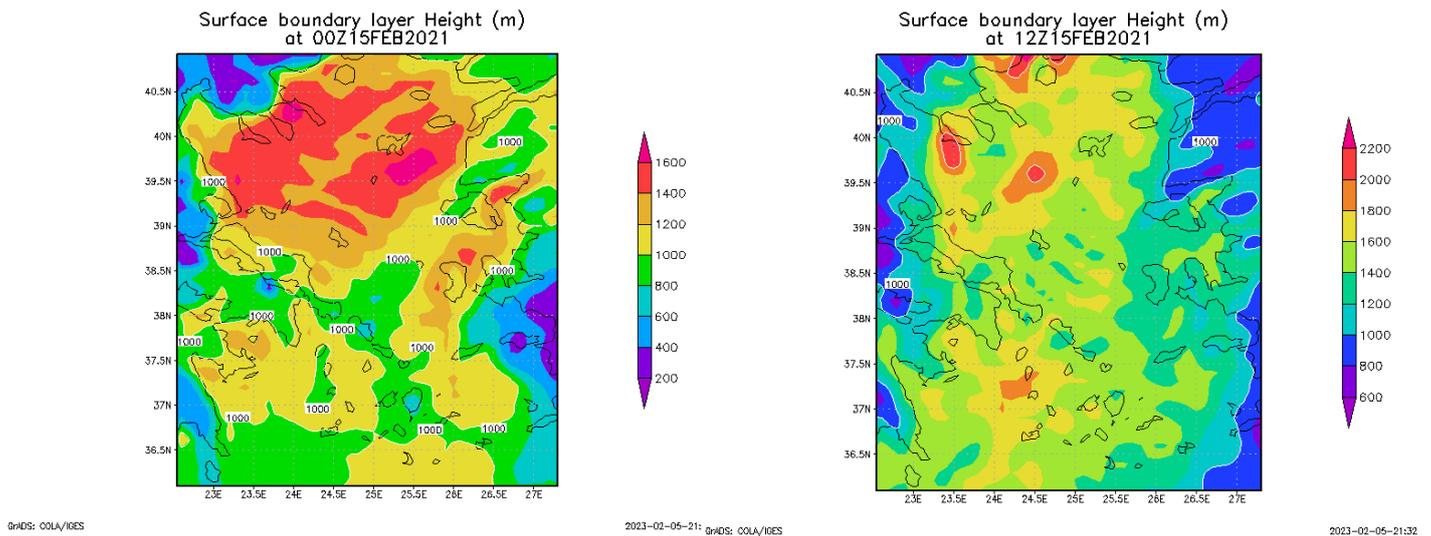
Στις 15 Φεβρουαρίου του 2021 η διαφορά της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας από την θερμοκρασία στα 850 hPa είναι μεγαλύτερη των 13 °C καθ' όλη την ημέρα και μάλιστα μεγαλύτερη των 20 °C (Σχήμα 3.57). Ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια παραμένει δυνατώτερος των 10 m/s σε όλη την διάρκεια της ημέρας (Σχήμα 3.57). Το ύψος του οριακού στρώματος είναι μεγαλύτερο του 1 km όπως έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 3.3.3 και σχήμα 3,58. Η στροφή του ανέμου κατακόρυφα έως το ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa είναι πολύ μικρή (  $\omega s < 60^\circ$  ) (Σχήμα 3.59). Και τέλος, σύμφωνα με τον πίνακα 3.3 την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου το κριτήριο για τον λόγο U/L πληρείται για όλες τις αποστάσεις εκτός από την απόλυτα ελάχιστη η οποία όμως δεν αντιστοιχεί στην εικόνα του ανέμου στα 850 hPa (Σχήμα 3,29 (γ) & (δ)). Και έτσι η 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2021 καλύπτει τα κριτήρια για να θεωρηθεί το φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow).

Πίνακας 3. 3 Υπολογισμός του λόγου της μέσης ταχύτητας ανέμου προς τα πιθανά μήκη της θάλασσας περιοχής που ο άνεμος διέρχεται χωρίς εμπόδια fetch ανά ημέρα του φαινομένου. Η τελευταία σειρά αντιστοιχεί στην μέση τιμή του λόγου ανά ημέρα. 13/02/2021 – 17/02/2021. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

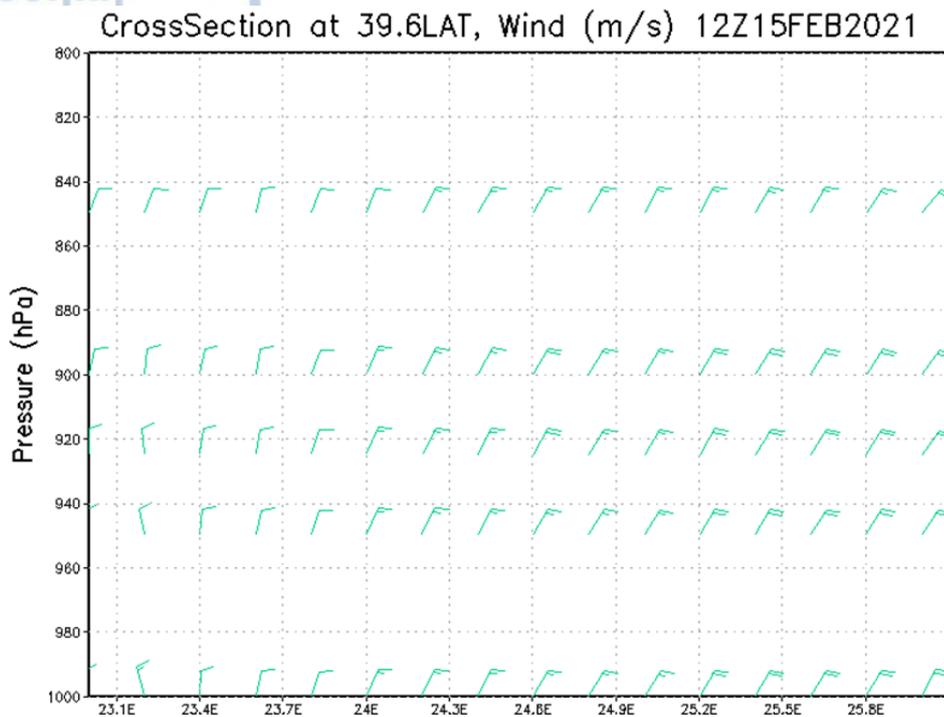
U/L		Ημερομηνία				
		13/2/2021	14/2/2021	15/2/2021	16/2/2021	17/2/2021
ΕΠΙΛΟΓΕΣ Fetch ( km)	150	0,026	0,074	0,103	0,104	0,064
	197,1	0,019	0,056	0,079	0,079	0,049
	215,5	0,018	0,052	0,072	0,073	0,045
	258,2	0,015	0,043	0,060	0,061	0,037
	298,1	0,013	0,037	0,052	0,052	0,032
	308,2	0,012	0,036	0,050	0,051	0,031
	350	0,011	0,032	0,044	0,045	0,027
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		0,016	0,047	0,066	0,066	0,041



Σχήμα 3.57 Διαφορά θερμοκρασίας της επιφανείας θάλασσας (SST) από την θερμοκρασία στα 850 hPa. (α): Τα χρώματα (contours) αντιστοιχούν στην διαφορά θερμοκρασίας (850 hPa - SST) ανά 2 οC. Χρόνος: 15/02/2021 12:00UTC (β): Χρονοσειρά μέσω των διαφορών θερμοκρασίας (850 hPa - SST)- μεσοποίηση μόνο σε θαλάσσια σημεία. Χρόνος: 15/02/2021 00:00 UTC - 18:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις



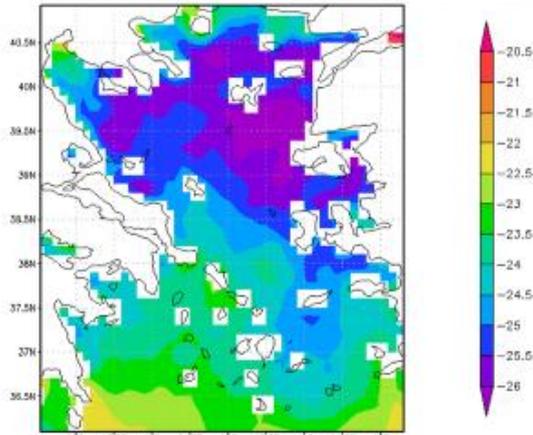
Σχήμα 3.58 Χάρτης υψών του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος πάνω από την περιοχή της Ελλάδας. Χρόνος: 15/02/2021 00:00UTC + 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις



Σχήμα 3.59 Κατακόρυφη τομή με επίπεδα πιέσεων από την επιφάνεια έως τα 800 hPa με βελάκια (barbs) που αντιστοιχούν στον άνεμο. Μία γραμμή αντιστοιχεί στα 10m/s. Η κατακόρυφη τομή υπολογίζεται στην περιοχή του σχήματος 3.47. Χρόνος: 15/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

Στις 16 Φεβρουαρίου 2021 η διαφορά της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας από την θερμοκρασία στα 850 hPa είναι μεγαλύτερη των 13 °C καθ' όλη την ημέρα και μάλιστα μεγαλύτερη των 20 °C (Σχήμα 3.60). Ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια παραμένει δυνατότερος των 10 m/s σε όλη την διάρκεια της ημέρας (Σχήμα 3.5). Το ύψος του οριακού στρώματος είναι μεγαλύτερο του 1 km όπως έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 3.3.4 και σχήμα 3.61. Η στροφή του ανέμου κατακόρυφα έως το ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa είναι πολύ μικρή ( $\omega s < 60^\circ$ ) (Σχήμα 3.62). Τέλος, σύμφωνα με τον Πίνακα 3,3 την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου το κριτήριο για τον λόγο U/L πληρείται για όλες τις αποστάσεις εκτός από την απόλυτα ελάχιστα η οποία όμως δεν αντιστοιχεί στην εικόνα του ανέμου στα 850 hPa (Σχήμα 3,37 (α) & (β)). Συνεπώς η 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2021 καλύπτει τα κριτήρια για να θεωρηθεί το φαινόμενο ως χιονόπτωση με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow).

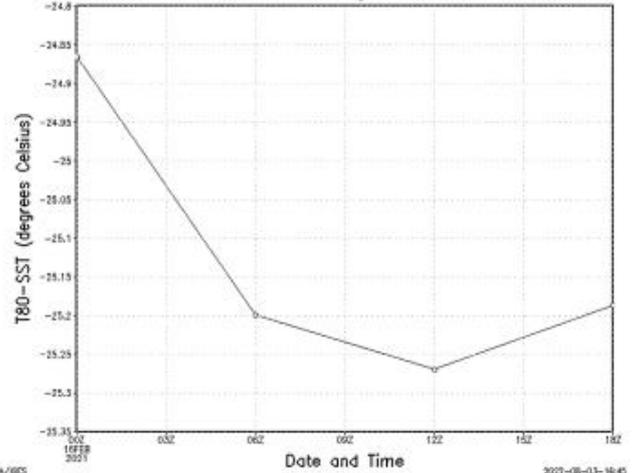
(α)  
Temperature difference between 850hPa and SSTs at 12Z16FEB2021



04DS: OOLA/IGES

2021-02-16-15:16

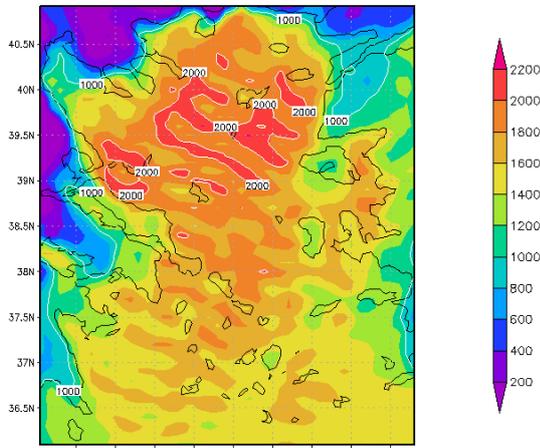
(β)  
Mean Difference of Temp at 850hPa – SST over the Northern Aegean at 16FEB2021



2021-02-16-16:45

Σχήμα 3.60 Διαφορά θερμοκρασίας της επιφανείας θάλασσας (SST) από την θερμοκρασία στα 850 hPa. (α): Τα χρώματα (contours) αντιστοιχούν στην διαφορά θερμοκρασίας (850 hPa – SST) ανά 2 οC. Χρόνος: 16/02/2021 12:00UTC (β): Χρονοσειρά μέσω διαφορών θερμοκρασίας (850 hPa – SST) – μεσοποίηση μόνο σε θαλάσσια σημεία. Χρόνος: 16/02/2021 00:00 UTC – 18:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

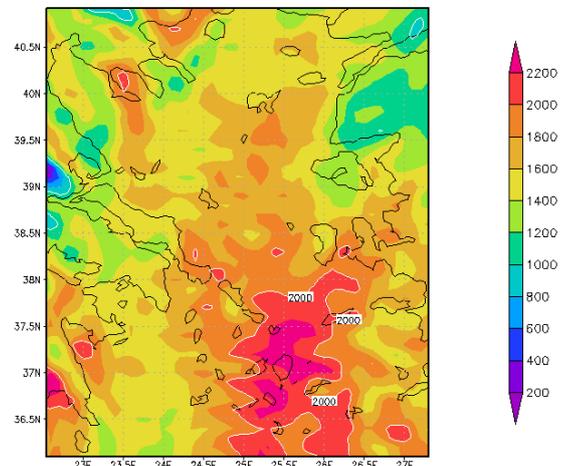
Surface boundary layer Height (m) at 00Z16FEB2021



04DS: OOLA/IGES

2021-02-16-21:06

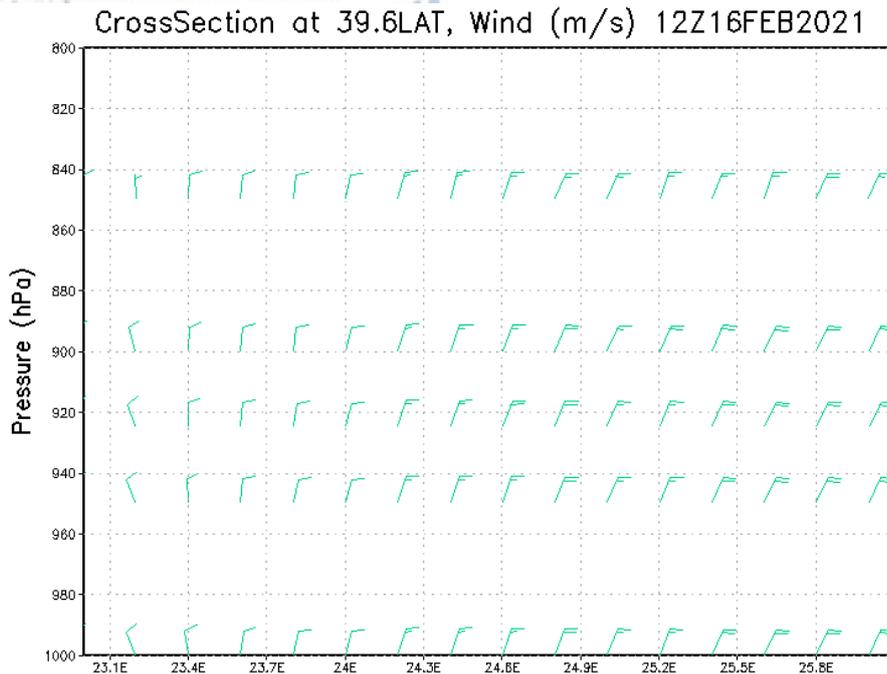
Surface boundary layer Height (m) at 12Z16FEB2021



04DS: OOLA/IGES

2021-02-16-21:33

Σχήμα 3.61 Χάρτης υψών του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος πάνω από την περιοχή της Ελλάδας. Χρόνος: 16/02/2021 00:00UTC + 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις



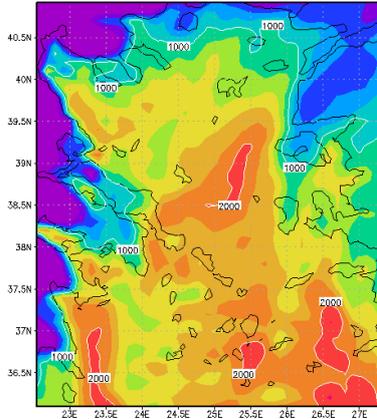
Σχήμα 3. 62 Κατακόρυφη τομή με επίπεδα πιέσεων από την επιφάνεια έως τα 800 hPa με βελάκια (barbs) που αντιστοιχούν στον άνεμο. Μία γραμμή αντιστοιχεί στα 10m/s. Η κατακόρυφη τομή υπολογίζεται στην περιοχή του σχήματος 3.47. Χρόνος: 16/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

GRADS: COLA/IGES

2022-08-11-17:07

Την 17<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2021 η διαφορά θερμοκρασίας στη επιφάνεια της θάλασσας από την θερμοκρασία στα 850 hPa μειώνεται στην πορεία της ημέρας, όμως γίνεται μικρότερη των 13 °C μετά τις 18:00 UTC (Σχήμα 3.64). Ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια είναι μικρότερος των 10 m/s καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας (Σχήμα 3.51). Επίσης το ύψος του οριακού στρώματος μειώνεται σε λιγότερο του 1 km μετά τις 12:00 UTC (Σχήμα 3.63). Η στροφή του ανέμου από τη επιφάνεια στα 850 hPa είναι μεγαλύτερη στο βορειοδυτικό Αιγαίο (Σχήμα 3.65). Τέλος παρότι όπως φαίνεται στον πίνακα 3.3 το τελευταίο κριτήριο πληρείται το φαινόμενο δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) καθώς δεν πληρούνται όλα τα κριτήρια για ολόκληρη την ημέρα.

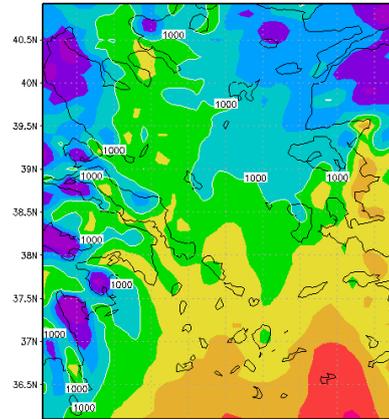
Surface boundary layer Height (m)  
at 00Z17FEB2021



QADS: OLA/IBES

2023-02-05-21:01

Surface boundary layer Height (m)  
at 12Z17FEB2021

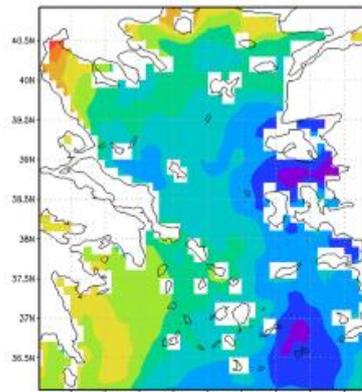


QADS: OLA/IBES

2023-02-05-21:33

Σχήμα 3. 63 Χάρτες υψών του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος πάνω από την περιοχή της Ελλάδας. Χρόνος: 17/02/2021 00:00UTC + 12:00UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

(α)  
Temperature difference between 850hPa and SSTs at 12Z17FEB2021

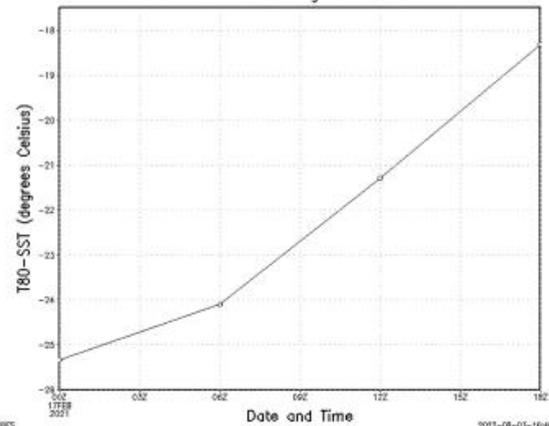


QADS: OLA/IBES

2023-02-05-15:17

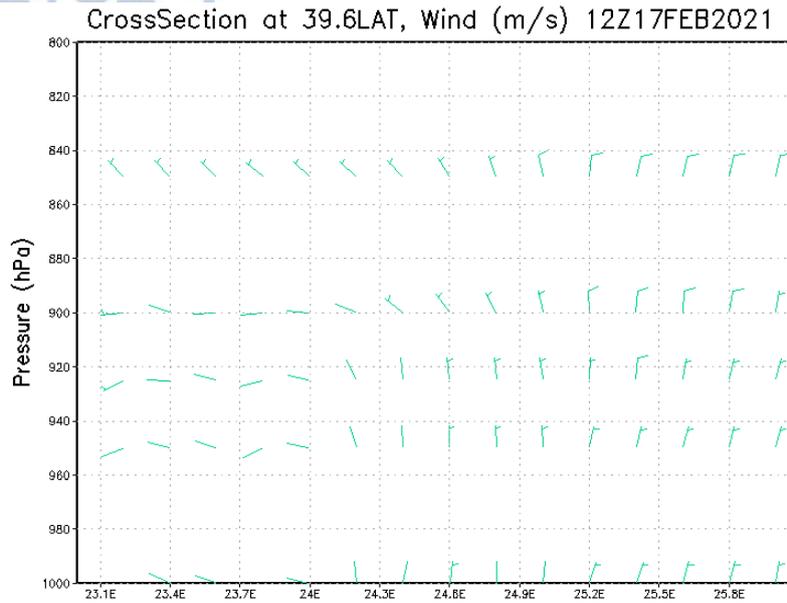
QADS: OLA/IBES

(β)  
Mean Difference of Temp at 850hPa - SST  
over the Northern Aegean at 17FEB2021



2023-02-05-16:46

Σχήμα 3. 64 Διαφορά θερμοκρασίας της επιφανείας θάλασσας (SST) από την θερμοκρασία στα 850 hPa. (α): Τα χρώματα (contours) αντιστοιχούν στην διαφορά θερμοκρασίας (850 hPa - SST) ανά 2 οC. Χρόνος: 17/02/2021 12:00UTC (β): Χρονοσειρά μέσω διαφορών θερμοκρασίας (850 hPa - SST) - μεσοποίηση μόνο σε θαλάσσια σημεία. Χρόνος: 17/02/2021 00 UTC - 18UTC. Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις



GRADS: OOLA/IGES

2022-08-11-17:07

Σχήμα 3. 65 Κατακόρυφη τομή με επίπεδα πιέσεων από την επιφάνεια έως τα 800 hPa με βελάκια (barbs) που αντιστοιχούν στον άνεμο. Μία γραμμή αντιστοιχεί στα 10m/s. Η κατακόρυφη τομή υπολογίζεται στην περιοχή του σχήματος 3.47. Χρόνος: 17/02/2021 12:00UTC Δεδομένα: ECMWF επιχειρησιακές αναλύσεις

## Κεφάλαιο 4 Πειράματα για την επιλογή της βέλτιστης αναπαράστασης του φαινομένου

### 4.1 Εισαγωγή

Τα πειράματα της πρώτης φάσης πειραμάτων αυτής της εργασίας έχουν στόχο την επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού παραμετροποιήσεων ανωμεταφοράς και οριακού στρώματος, στο πλαίσιο του δυνατού, για την προσομοίωση του φαινομένου που μελετάται όπως περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 3. Τα πειράματα αυτά είναι ολοκληρώσεις του αριθμητικού μοντέλου WRF-ARW για τις ημέρες 13/02/2021 έως και 17/02/2021 πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος και συγκεκριμένα στους διαθέσιμους σταθμούς της ΕΜΥ στις περιοχές που επηρεάστηκαν από το φαινόμενο, όπως αναφέρονται στον *πίνακα 3.1*. Ξεχωρίζουν μεταξύ τους λόγω της επιλογής διαφορετικών σχημάτων παραμετροποίησης. Για τα πρώτα τέσσερα πειράματα επιλέγονται διαφορετικά σχήματα παραμετροποίησης ανωμεταφοράς ( με το δεύτερο πείραμα να μην έχει ενεργοποιημένο κανένα σχήμα) και το πέμπτο πείραμα έχει ενεργοποιημένο διαφορετικό σχήμα του πλανητικού οριακού στρώματος. Στον *Πίνακα 4.1* φαίνονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά κάθε ενός από τα πειράματα

*Πίνακας 4.1 Τα πειράματα που διενεργήθηκαν για το κεφάλαιο αυτό με τα χαρακτηριστικά τους.*

Όνομα	Σχήμα Παραμετροποίησης ανωμεταφοράς	Σχήμα Παραμετροποίησης επίδρασης πλανητικού οριακού στρώματος	Θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας	Επιπρόσθετη Ανωμαλία
EXP1 (cu1)	Kain-Fritsch (cu_physics = 1)	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	ΌΧΙ
EXP2 (cu0)	Χωρίς Παραμετροποίηση	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	ΌΧΙ
EXP3 (cu2)	Betts-Miller-Janjic (cu_physics = 2)	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	ΌΧΙ
EXP4 (cu3)	Grell-Freitas (cu_physics = 3)	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	ΌΧΙ
EXP5 (cu0 - bl2)	Χωρίς Παραμετροποίηση	Mellor-Yamada-Janjic (bL_pbl_physics = 2) / (sf_sfclay_physics=2)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	ΌΧΙ

Οι στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή του βέλτιστου πειράματος περιγράφονται αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας. Οι μεταβλητές πάνω στις οποίες βασίστηκε η αξιολόγηση και σύγκριση των πειραμάτων χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες, στις συνεχείς και στις διακριτές μεταβλητές. Οι μεταβλητές παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2. Ο υετός και η εμφάνιση χιονιού τριώρου και εξαώρου μελετιούνται ως διακριτές μεταβλητές. Συγκεκριμένα το χιόνι μελετάται δυαδικά με την λογική του ότι το 0 (μηδέν) αντιστοιχεί σε μέτρηση/πρόγνωση χωρίς χιόνι και 1 (ένα) σε μέτρηση/πρόγνωση με χιόνι. Ο υετός μελετάται σε 8 (οκτώ) κλάσεις που ορίστηκαν κατόπιν μελέτης των πραγματικών δεδομένων ούτως ώστε να παρουσιάζουν μια αναλυτική εικόνα της κατανομής του υετού για τις ημέρες του φαινομένου. Οι κλάσεις που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3. Επίσης για ένα μέρος της ανάλυσης επιλέχθηκαν τέσσερα κατώφλια για τον υετό με λογική παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή των κλάσεων. Τα κατώφλια αυτά είναι τα 0.1mm, το 1mm, τα 2mm και τα 4mm. Οι συνεχείς μεταβλητές επιλέχθηκαν ως οι πιο αντιπροσωπευτικές για την περιγραφή του φαινομένου και άρα σημαντικές για την επιλογή του βέλτιστου πειράματος.

Πίνακας 4. 2 Μεταβλητές των πραγματικών δεδομένων και των αποτελεσμάτων του μοντέλου WRF-ARW που χρησιμοποιούνται για την σύγκριση και την επιλογή του βέλτιστου πειράματος μετά από στατιστική ανάλυση.

Συνεχείς Μεταβλητές	Διακριτές Μεταβλητές
Θερμοκρασία αέρα στα 2μ (°C)	Υετός τριώρου
Πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa)	Υετός εξαώρου
Θερμοκρασία σημείου δρόσου στα 2μ (oC)	Χιόνι εξαώρου
Ταχύτητα ανέμου 10μ (m/s)	Χιόνι τριώρου
Σχετική υγρασία 2μ (%)	

	<b>Κλάσεις Υετού</b>
1 $\eta$	Χωρίς Υετό
2 $\eta$	(0 , 0,1]
3 $\eta$	(0,1 , 1]
4 $\eta$	(1 , 2]
5 $\eta$	(2 , 4]
6 $\eta$	(4 , 6]
7 $\eta$	(6 , 10]
8 $\eta$	>10

*Πίνακας 4. 3 Κλάσεις του υετού που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση κατανομής του τρίωρου υετού για τα πραγματικά δεδομένα και για τα πέντε πειράματα που διενεργήθηκαν με το μοντέλο WRF-ARW. Στην πρώτη στήλη αναφέρεται η σειρά των κλάσεων και με τον τρόπο αυτό θα αναφέρονται και στο κείμενο.*

Στην εργασία τους για τους για την αξιολόγηση του μοντέλου WRF - ARW για μία περίπτωση έντονου υετού στην περιοχή της βόρειας Ελλάδας και με υψηλή ανάλυση 1.667 km × 1.667 km οι Pytharoulis et al. (2016) υπολόγισαν την υπερεκτίμηση της πίεσης επιφάνειας της θάλασσας κατά 0,5 hPa (με MAE 1,4 hPa και RMSE 1,8 hPa) και της θερμοκρασίας 2μ κατά 1 °C (με MAE 1.8 °C και RMSE 2.3 °C), αλλά την υποεκτίμηση της σχετικής υγρασίας κατά 9% (με MAE 12.3% και RMSE 15.4%) και της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου κατά 1.3 °C (με MAE 1.8 °C και RMSE 2.2 °C). Για τον υετό το στατιστικό POD υπολογίστηκε να παίρνει τιμές από 0,67 έως 0,78 ενώ το FAR έλαβε τιμές μεταξύ 0,13 - 0,14.

Οι Pytharoulis et al. (2014) αξιολογούν το επιχειρησιακό μοντέλο WRF - ARW του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης με ανάλυση 5 km × 5 km για την περιοχή της Ελλάδας το 2013. Για την πίεση στη μέση στάθμη θάλασσας το MAE υπολογίστηκε στο εύρος 1,8 έως 2,4 hPa, για την θερμοκρασία 2μ 1,8 έως και 2,4 °C, για την ταχύτητα ανέμου 2,2 έως 2,6 m/s και για την σχετική υγρασία 11 έως 14% για τις πρώτες δύο ημέρες πρόγνωσης. Το μοντέλο υποεκτιμά την μέση πίεση επιφανείας θάλασσας και υπερεκτιμά τις ταχύτητες ανέμου.

Οι Papadopoulos & Katsafados (2009) αξιολογούν το μοντέλο POSEIDON με ανάλυση 0,05 km × 0,05 km στην περιοχή της Μεσογείου για την περίοδο Νοεμβρίου - Οκτωβρίου 2007/2008. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δίνουν RMSE για την μεταβλητή της πίεσης επιφανείας θάλασσας στο εύρος 1,2 έως 1,8 hPa και για την θερμοκρασία 2,3 έως 2,9 °C για τις πρώτες δύο ημέρες πρόγνωσης.

Οι Tymvios et al. (2018) αξιολογούν το μοντέλο WRF-ARW με ανάλυση  $1\text{km} \times 1\text{km}$  για την περιοχή της Κύπρου, σε σχέση με παραμετροποιήσεις του πλανητικού οριακού στρώματος και έδωσε για την θερμοκρασία ME  $0,41\text{ }^\circ\text{C}$  και MAE  $1,39\text{ }^\circ\text{C}$ . Για την ταχύτητα ανέμου το MAE είναι  $1,13\text{ m/s}$  και το RMSE είναι  $2,58\text{ m/s}$ .

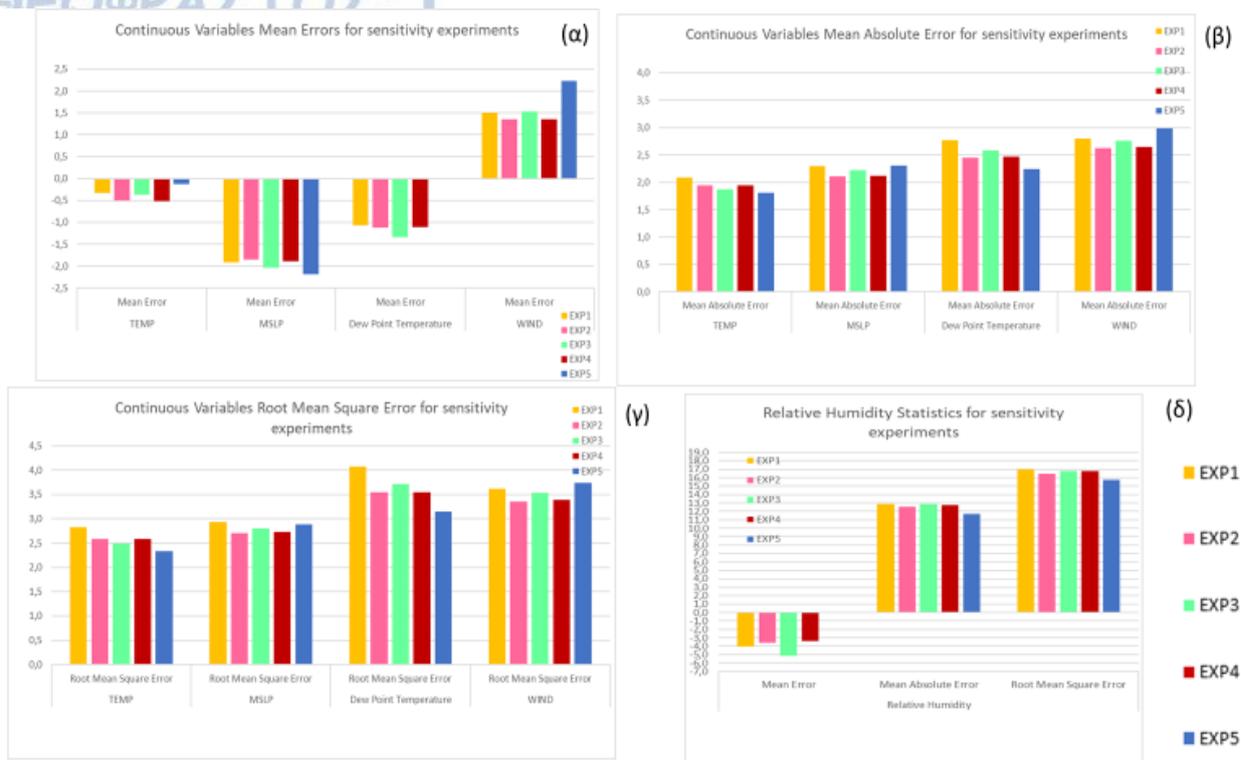
Ο Χατζούδης (2018) αξιολογεί το μοντέλο WRF-ARW με ανάλυση  $1,667\text{km} \times 1,667\text{km}$  σε σχέση με τις παραμετροποιήσεις της ανωμεταφοράς του μοντέλου. Για την θερμοκρασία τα αποτελέσματα για ME είναι στο εύρος  $-0,1$  έως  $0,16\text{ }^\circ\text{C}$ , για MAE  $1,93-1,97\text{ }^\circ\text{C}$  και για RMSE  $2,68-2,80\text{ }^\circ\text{C}$ . Για την θερμοκρασία του σημείο δρόσου, τα αποτελέσματα για ME είναι  $-0,53$  έως  $-0,43\text{ }^\circ\text{C}$ , για MAE  $1,60-1,62\text{ }^\circ\text{C}$  και για RMSE  $2,14 - 2,16\text{ }^\circ\text{C}$ . Για την πίεση στη μέση στάθμη θάλασσας το ME υπολογίζεται ανάμεσα στα  $0,31$  και  $0,4\text{ hPa}$ , το MAE από  $1,42$  έως και  $1,43\text{ hPa}$  ενώ το RMSE είναι ανάμεσα στο  $1,75$  και  $1,78\text{ hPa}$ .

Ο Tegoulis (2020) αξιολογεί το μοντέλο WRF-ARW σε σχέση με καταιγιδόφορο δραστηριότητα, με παραμετροποίηση σχημάτων μικροφυσικής, ανωμεταφοράς και πλανητικού οριακού στρώματος με ανάλυση  $15\text{km} \times 15\text{km}$  στο εξωτερικό πλέγμα,  $5\text{km} \times 5\text{km}$  στο ενδιάμεσο πλέγμα και  $1.67\text{km} \times 1.67\text{km}$  στο εσωτερικό πλέγμα στην περιοχή της Θεσσαλίας. Τα αποτελέσματα για την θερμοκρασία δείχνουν μια μικρή υποεκτίμηση για όλες τις περιπτώσεις, ενώ το RMSE ήταν περίπου  $1,7\text{ }^\circ\text{C}$ . Για την σχετική υγρασία τα αποτελέσματα έδειξαν υπερεκτίμηση κατά περίπου  $12\%$ . Για την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας τα αποτελέσματα έδειξαν υποεκτίμηση με τις τιμές του RMSE να είναι ανάμεσα στα  $1,3$  και  $1,6\text{ hPa}$ . Για τον άνεμο τα αποτελέσματα έδειξαν υπερεκτίμηση από το μοντέλο σε όλες τις περιπτώσεις.

## 4.2 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης

### 4.2.1 Συνεχείς Μεταβλητές

Για τις συνεχείς μεταβλητές αντί χρονοσειρών για την κάθε μεταβλητή μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν τα σφάλματα κάθε πειράματος. Δεν επιλέχθηκε να δημιουργηθούν και να μελετηθούν χρονοσειρές, καθώς το πλέγμα των μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ είναι αραιό, μια μεσοποίηση των μεταβλητών θα οδηγούσε σε πολύ μεγάλα σφάλματα, η μελέτη χρονοσειρών ξεχωριστά για κάθε σταθμό δεν θα προσέφερε ευανάγνωστα αποτελέσματα και θα προκαλούσε σύγχυση στον αναγνώστη. Αντ' αυτού επιλέχθηκε να γίνει η μελέτη του μέσου σφάλματος (ME), του μέσου απολύτου σφάλματος (MAE) και της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE). Τα σκορ υπολογίζονται για όλη την διάρκεια των προσομοιώσεων (96 ώρες) εκτός από τις πρώτες έξι ώρες που θεωρείται χρόνος προσαρμογής.



Σχήμα 4. 1 Ιστογράμματα (α) του μέσου σφάλματος (Mean Error, ME), (β) του μέσου απόλυτου σφάλματος (Mean Absolute Error, MAE) και (γ) της τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Error, RMSE) για τις συνεχείς μεταβλητές της θερμοκρασίας

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.1 για την μεταβλητή της θερμοκρασίας η βέλτιστη επιλογή είναι το EXP5 με την ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας να είναι περίπου 1,2 °C (η μικρότερη υπερεκτίμηση της θερμοκρασίας). Αντίστοιχα αποτελέσματα δίνουν και οι υπολογισμοί των MAE και RMSE, με τιμές 1,8 °C και 2,3 °C, αντίστοιχα, με το EXP5 να έχει τα μικρότερα σφάλματα για την θερμοκρασία και το EXP1 να έχει τα μέγιστα σφάλματα. Για την μεταβλητή της πίεσης στην μέση στάθμη θάλασσας το βέλτιστο πείραμα, με τα μικρότερα σφάλματα είναι το EXP2 (ME -1,8hPa, μικρή υποεκτίμηση της MSLP), με MAE 2,1hPa και RMSE 2,7 hPa. Για την μεταβλητή της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου το βέλτιστο πείραμα είναι το EXP5 με το ME να είναι -0,01 °C (δηλαδή σχεδόν μηδέν), με MAE 2,3 °C και RMSE 3,14 °C. Για την μεταβλητή του ανέμου το πείραμα με τα μικρότερα σφάλματα είναι το EXP2 (ME 1,3m/s (υπερεκτίμηση δηλαδή της ταχύτητας του ανέμου)) καθώς το MAE είναι 2,6 m/s και το RMSE είναι 3,4 m/s. Τέλος για την μεταβλητή της σχετικής υγρασίας το βέλτιστο πείραμα είναι το EXP5 (το ME για αυτή την μεταβλητή είναι -0,06% (πολύ μικρή υποεκτίμηση) καθώς το MAE είναι 11,7 % και το RMSE 15,8%. Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι το πείραμα EXP5 είναι το βέλτιστο, αλλά πρέπει να λάβουμε υπόψιν και το γεγονός πως όταν το βέλτιστο πείραμα είναι το EXP2, το πείραμα EXP5 είναι αρκετά λιγότερα «καλό» (πάνω από 10% διαφορά στα

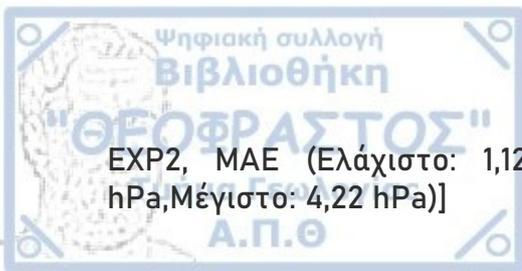
σφάλματα για την ταχύτητα του ανέμου) ενώ όταν το βέλτιστο πείραμα είναι το EXP5 το EXP2 έχει λιγότερη απόσταση από το βέλτιστο (μόνο 7-9%). Τα παραπάνω είναι εμφανή και στον Πίνακα 4.4. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, λοιπόν το EXP2 και το EXP5 μπορούν και τα δύο να επιλεχθούν ως το βέλτιστο πείραμα ( με μικρή υπεροχή του πειράματος EXP5 ) ανάλογα και με τα αποτελέσματα που θα παρατεθούν στην συνέχεια.

Πείραμα/ Βέλτιστο πείραμα, skill score					
	EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5
Θερμοκρασία	15,30%	7,44%	3,31%	7,20%	0,00%
MSLP	8,84%	0,00%	5,55%	0,51%	9,44%
Θερμοκρασία σημείου δρόσου	23,69%	9,35%	15,43%	10,15%	0,00%
Σχετική Υγρασία	10,18%	7,55%	10,23%	9,14%	0,00%
Ταχύτητα ανέμου	6,85%	0,00%	5,22%	0,84%	13,96%

Πίνακας 4. 4 Σύγκριση του κάθε πειράματος με το βέλτιστο πείραμα για κάθε μεταβλητή χρησιμοποιώντας τον τύπο  $\frac{MAE_{EXP_i}}{MAE_{Best\ EXP}} - 1$ , Οι θετικές τιμές για το πείραμα *i* υποδηλώνουν ότι είναι «χειρότερη επιλογή» και η τιμή αντιστοιχεί στην απόσταση που έχει το κάθε πείραμα από το βέλτιστο σε ποσοστό (%). Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται το βέλτιστο πείραμα για κάθε επιλογή. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF

Στα σχήματα 4.2 - 4.6 παρουσιάζονται οι χρονοσειρές των σφαλμάτων ME, MAE και RMSE των προγνώσεων από την 6<sup>η</sup> προγνωστική ώρα (13/02/2021, 18:00 UTC) έως και την 96<sup>η</sup> (17/02/2021, 12:00 UTC).

Για την πίεση στην μέση στάθμη της θάλασσας τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2. Για το ME (Σχήμα 4.2 (α)) το EXP5 είναι αυτό που υποεκτιμά περισσότερο την πραγματική πίεση, με την υποεκτίμηση να μεγαλώνει με το πέρασμα των προγνωστικών ωρών. Αντιθέτως τα πειράματα EXP2 και EXP4 δείχνουν την μικρότερη υποεκτίμηση. Για το MAE (Σχήμα 4.2 (β)), τις πρώτες 24 ώρες τα σφάλματα για όλα τα πειράματα είναι περίπου στα ίδια επίπεδα κοντά στο 1,5 hPa, με μόνο το EXP2 να έχει ελάχιστα μικρότερο σφάλμα, ενώ στις επόμενες ώρες τα πειράματα EXP2 και EXP4 έχουν τα μικρότερα σφάλματα και άρα είναι τα βέλτιστα για την πίεση μέσης επιφανείας της θάλασσας. Αντίστοιχα αποτελέσματα φαίνεται να αναδεικνύονται και από το RMSE (Σχήμα 4.2 (γ)). [Βέλτιστο πείραμα:

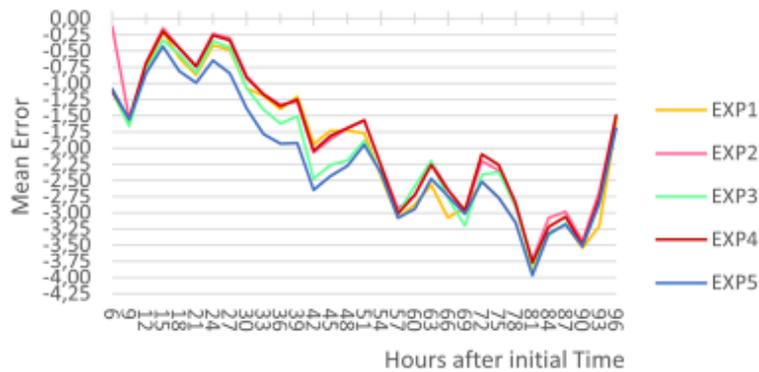


EXP2, MAE (Ελάχιστο: 1,12 hPa ,Μέγιστο: 3,74 hPa), RMSE (Ελάχιστο: 1,66 hPa,Μέγιστο: 4,22 hPa)]

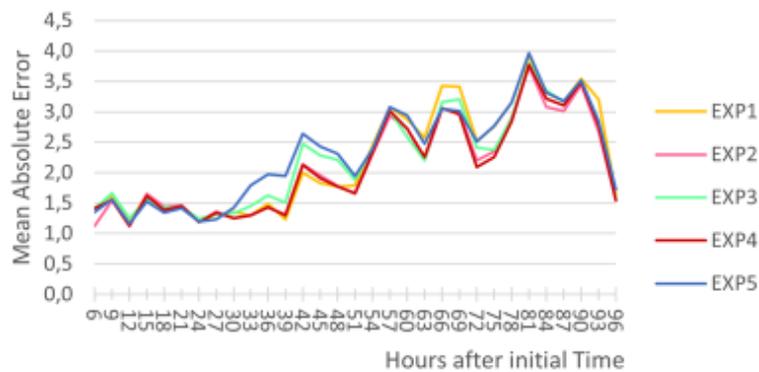
Για την μεταβλητή της θερμοκρασίας η χρονοσειρά των σφαλμάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3. Για το ME από τις πρώτες ώρες της πρόγνωσης έως και τις 33 πρώτες προγνωστικές ώρες, όλα τα πειράματα υπερεκτιμούν την πραγματική θερμοκρασία, με το EXP5 έχει την μεγαλύτερη υπερεκτίμηση. Για τις προγνωστικές ώρες 33 έως και 87 τα πειράματα υποεκτιμούν την θερμοκρασία, και εδώ το EXP5 είναι το βέλτιστο και δείχνει την μικρότερη υποεκτίμηση ενώ το EXP2 έχει την μέγιστη υποεκτίμηση. Για το MAE, το EXP5 είναι η βέλτιστη επιλογή για όλες τις προγνωστικές ώρες μέχρι τις 81 ώρες και στην συνέχεια βέλτιστο γίνεται το EXP3. Το EXP2 είναι σε πολύ μεγάλο μέρος της χρονοσειράς το δεύτερο βέλτιστο πείραμα, με το δεύτερο μικρότερο δηλαδή σφάλμα. Η χρονοσειρά του RMSE δείχνει αντίστοιχα αποτελέσματα με αυτά του MAE. [Βέλτιστο πείραμα: EXP2, MAE (Ελάχιστο: 1,26 °C ,Μέγιστο: 2,59 °C), RMSE (Ελάχιστο: 1,47 °C,Μέγιστο: 3,21 °C)]

Για την μεταβλητή της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο *σχήμα 4.4*. Για το ME τις πρώτες 50 προγνωστικές ώρες το βέλτιστο πείραμα είναι το EXP3 ενώ το EXP2 και το EXP5 έχουν σφάλματα παρόμοιου μεγέθους με την διαφορά ότι το EXP5 υπερεκτιμά την θερμοκρασία του σημείου δρόσου ενώ το EXP2 την υποεκτιμά. Για τις προγνωστικές ώρες που ακολουθούν το EXP5 είναι το βέλτιστο αν και τα σφάλματα αυξάνονται γενικά, το δεύτερο βέλτιστο πείραμα είναι και πάλι το EXP2. Αντίστοιχα αποτελέσματα εμφανίζονται και για τα MAE και RMSE. Είναι εμφανές ότι μετά τις 75 προγνωστικές ώρες τα σφάλματα αυξάνονται με μεγάλο ρυθμό για όλα τα πειράματα. Από όλα τα σφάλματα, το αποτέλεσμα που αναδεικνύεται είναι ότι το βέλτιστο πείραμα για την παραμετροποίηση της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου είναι το EXP5 και το δεύτερο βέλτιστο είναι το EXP2, με το πρώτο να υπερεκτιμά και το δεύτερο να υποεκτιμά στο μεγαλύτερο μέρος της χρονοσειράς. [Βέλτιστο πείραμα: EXP2, MAE (Ελάχιστο: 1,30 °C ,Μέγιστο: 4,27 °C), RMSE (Ελάχιστο: 1,55 °C,Μέγιστο: 6,09 °C)]

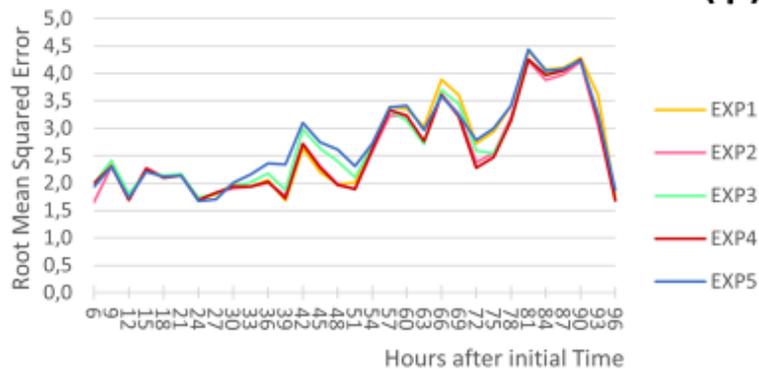
MSLP Mean Error for all Stations for different forecast time (α)



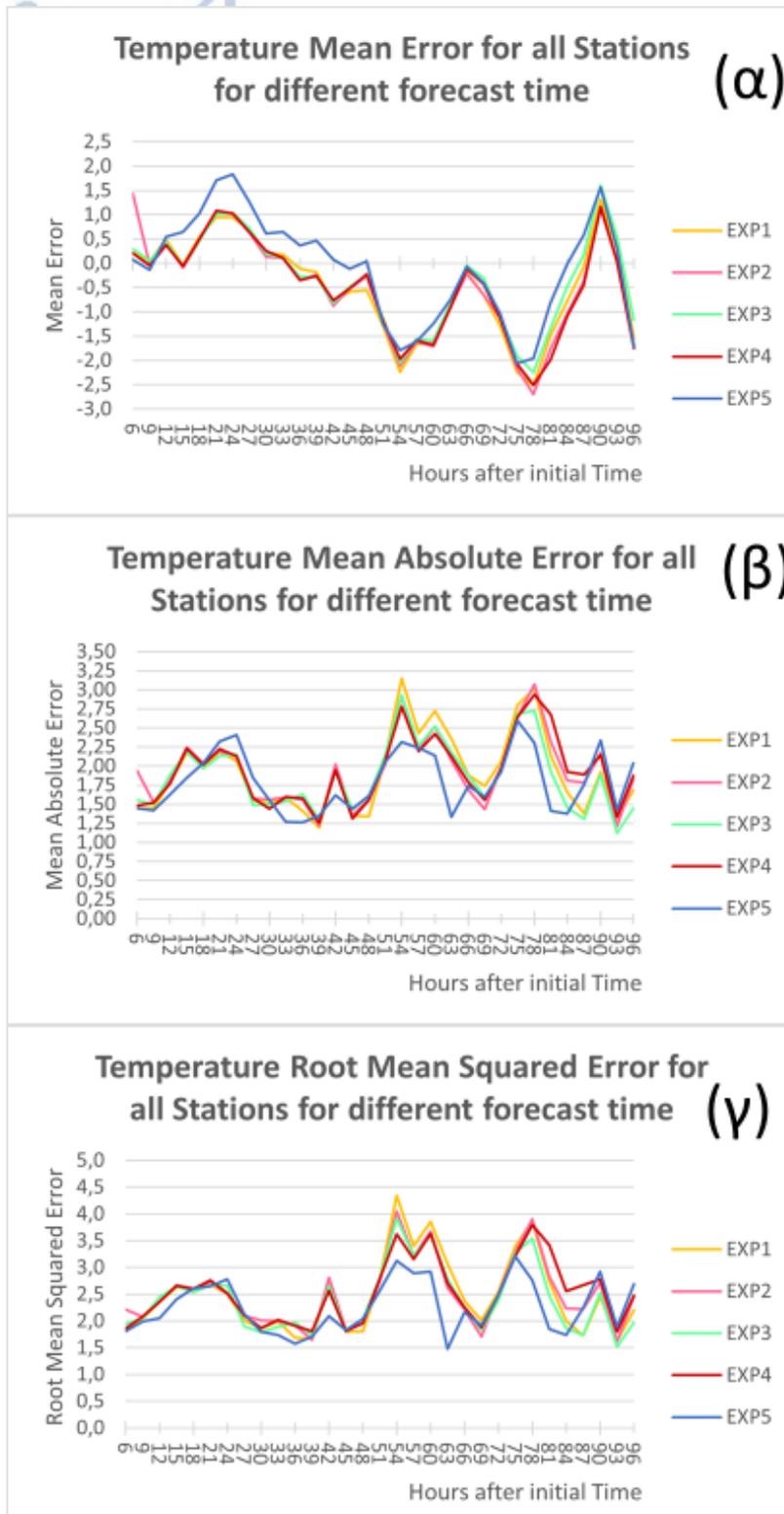
MSLP Mean Absolute Error for all Stations for different forecast time (β)



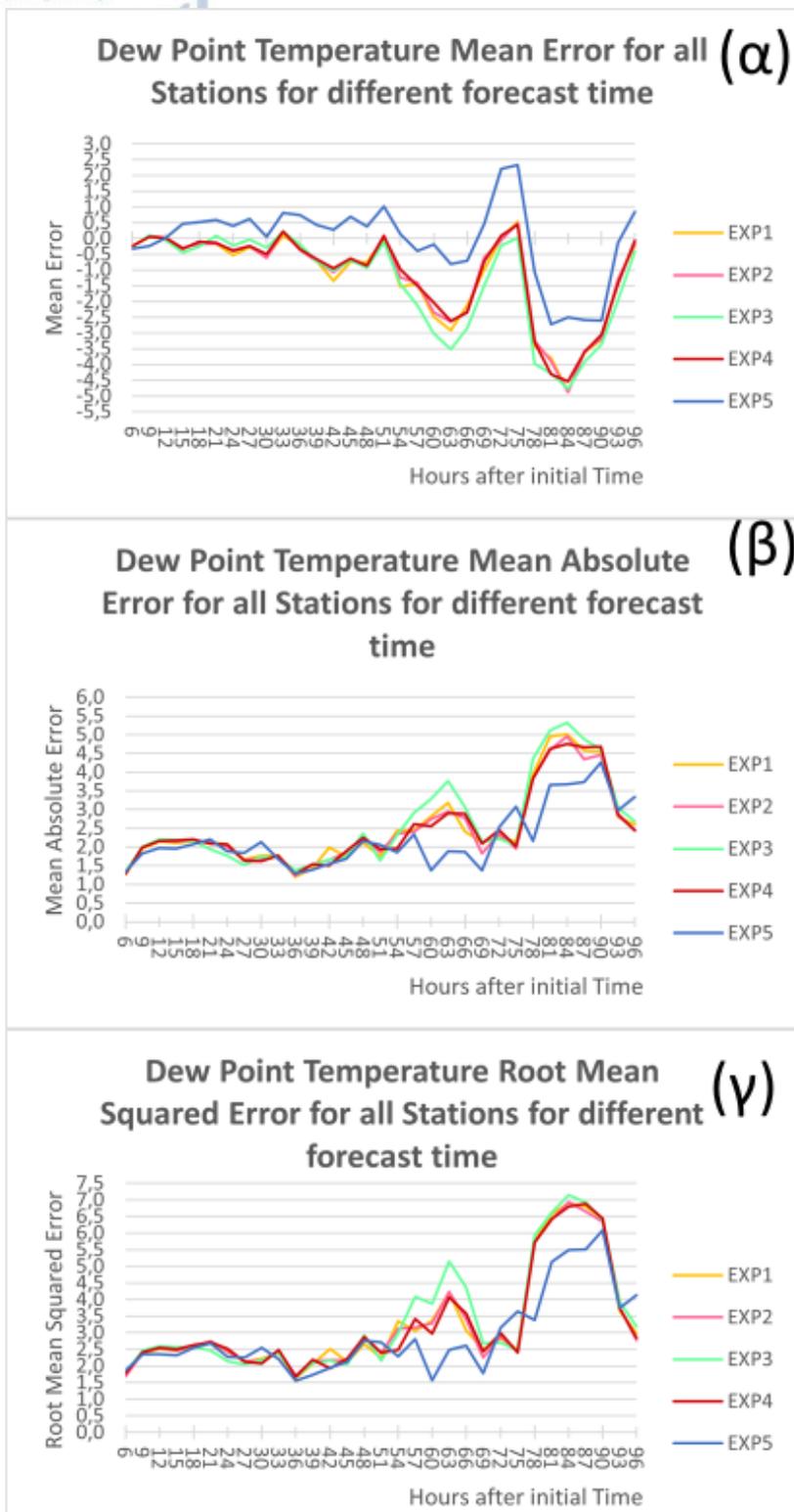
MSLP Root Mean Squared Error for all Stations for different forecast time (γ)



Σχήμα 4. 2 Χρονοσειρές των σφαλμάτων ME (α), MAE (β) και RMSE (γ) για την μεταβλητή της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) για όλα τα πειράματα, τα οποία συμβολίζονται με διαφορετικό χρώμα. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF



Σχήμα 4. 3 Χρονοσειρές των σφαλμάτων ME (α) , MAE (β) και RMSE (γ) για την μεταβλητή της θερμοκρασίας 2μ (°C) για όλα τα πειράματα, τα οποία συμβολίζονται με διαφορετικό χρώμα. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF

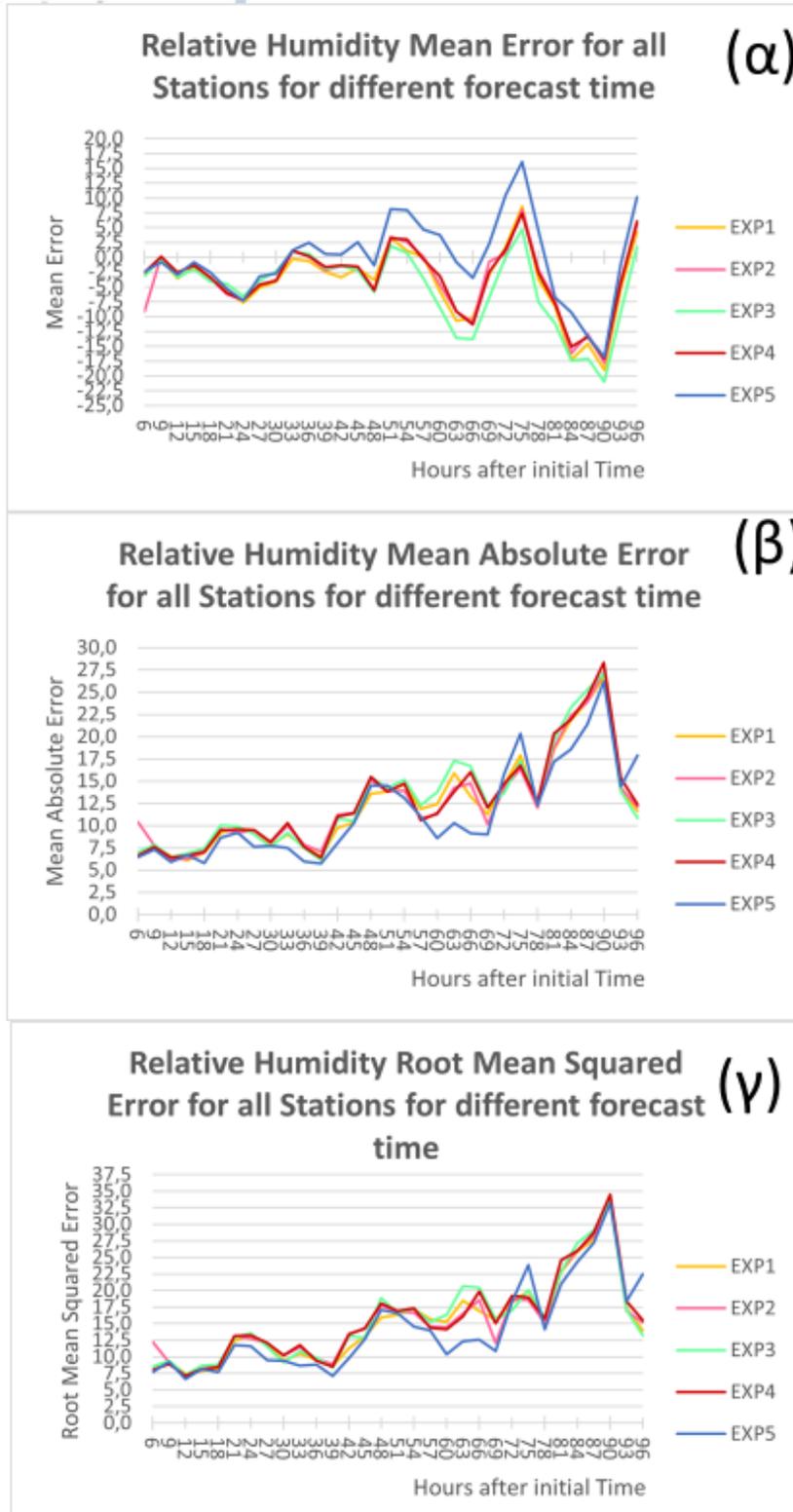


Σχήμα 4. 4 Χρονοσειρές των σφαλμάτων ME (α) , MAE (β) και RMSE (γ) για την μεταβλητή της θερμοκρασίας σημείου δρόσου 2μ (°C) για όλα τα πειράματα, τα οποία συμβολίζονται με διαφορετικό χρώμα. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF

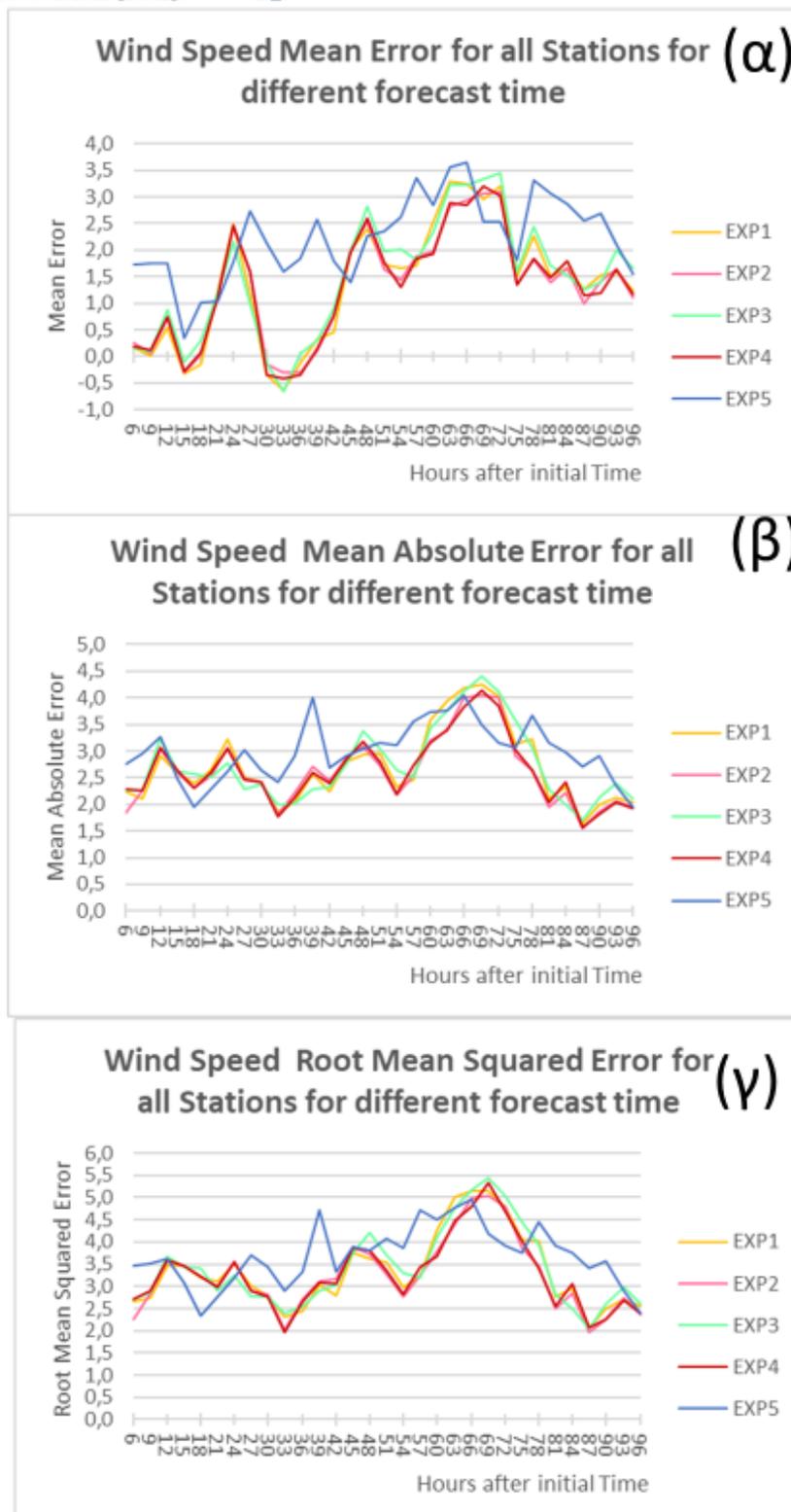
Για την μεταβλητή της σχετικής υγρασίας τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο *σχήμα 4.5*. Τις πρώτες 33 προγνωστικές ώρες όλα τα πειράματα δείχνουν να υποεκτιμούν την σχετική υγρασία σε ίδια περίπου επίπεδα με το βέλτιστο πείραμα να είναι το EXP5 με μικρή όμως διαφορά από τα υπόλοιπα πειράματα. Για τις προγνωστικές ώρες 34 έως 81 το EXP5 υπερεκτιμά κατά κύριο λόγο την σχετική υγρασία, ενώ τα υπόλοιπα πειράματα υποεκτιμούν την σχετική υγρασία με σφάλματα περίπου ίδιου μεγέθους. Από την 82<sup>η</sup> προγνωστική ώρα μέχρι το τέλος της προσομοίωσης όλα τα πειράματα υποεκτιμούν την σχετική υγρασία με το EXP5 να έχει το μικρότερο σφάλμα αλλά με μικρή σχετικά διαφορά από το EXP2. Για το MAE τα αποτελέσματα δείχνουν αύξηση των σφαλμάτων για όλα τα πειράματα με την πάροδο του χρόνου, με το πείραμα EXP5 να παρουσιάζει τα μικρότερα σφάλματα και το EXP2 να έρχεται στην δεύτερη θέση, και με τις θέσεις να αντιστρέφονται σε κάποια σημεία. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται και για το RMSE, με το EXP5 να ξεχωρίζει λίγο περισσότερο ως το βέλτιστο πείραμα, [Βέλτιστο πείραμα: EXP2, MAE (Ελάχιστο: 5,72 %, Μέγιστο: 26,20 %), RMSE (Ελάχιστο: 6,65 %, Μέγιστο: 33,20 %)]

Τέλος για την μεταβλητή της ταχύτητα του ανέμου τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο *σχήμα 4.6*. Για το ME όλα τα πειράματα υπερεκτιμούν την ταχύτητα ανέμου σε όλη την χρονοσειρά με εξαίρεση τις ώρες 15-18 και 30-36 όπου όλα τα πειράματα εκτός από το EXP5 υποεκτιμούν την ταχύτητα ανέμου για λίγα μόνο m/s. Για το MAE το EXP2 φαίνεται να είναι το βέλτιστο πείραμα και το EXP5 αυτό με τα μεγαλύτερα σφάλματα, με διαφορά από τα υπόλοιπα πειράματα. Αντίστοιχη εικόνα δείχνει και το RMSE με το EXP5 να είναι το βέλτιστο πείραμα για τις προγνωστικές ώρες 15-21 και 69-78 αλλά το χειρίστο για όλες τις υπόλοιπες ώρες. [Βέλτιστο πείραμα: EXP2, MAE (Ελάχιστο: 1,54 m/s, Μέγιστο: 4,04 m/s), RMSE (Ελάχιστο: 1,97 m/s, Μέγιστο: 5,05 m/s)]

Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν μπορούν να θεωρηθούν αποδεκτά καθώς είναι συγκρίσιμα με τα αποτελέσματα παλαιότερων εργασιών για παρόμοιες συνθήκες όπως αναφέρθηκαν και νωρίτερα.



Σχήμα 4. 5 Χρονοσειρές των σφαλμάτων ME (α), MAE (β) και RMSE (γ) για την μεταβλητή της σχετικής υγρασίας 2μ (%) για όλα τα πειράματα, τα οποία συμβολίζονται με διαφορετικό χρώμα. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF

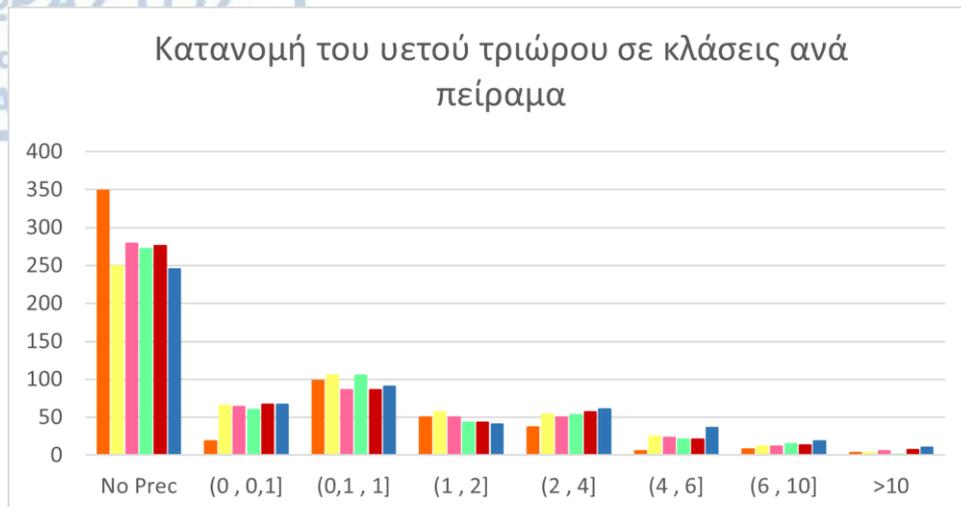


Σχήμα 4. 6 Χρονοσειρές των σφαλμάτων ME (α), MAE (β) και RMSE (γ) για την μεταβλητή της ταχύτητας ανέμου 10μ (m/s) για όλα τα πειράματα, τα οποία συμβολίζονται με διαφορετικό χρώμα. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF

## 4.2.2 Διακριτές Μεταβλητές

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι διακριτές μεταβλητές που μελετιούνται είναι ο υετός και το χιόνι. Για τον υετό γίνεται αρχικά μια στατιστική ανάλυση για την κατανομή του στις 8 κλάσεις του Πίνακα 4.3. Στο σχήμα 4.7 σε μορφή ραβδογράμματος με κάθε χρώμα να αντιστοιχεί σε ένα από τα πειράματα. Στο σχήμα 4.7 εμφανίζεται η κατανομή του υετού από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τους διάφορους σταθμούς της ΕΜΥ. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 570 μετρήσεις στους σταθμούς αυτούς, εκ των οποίων 349 παρατηρήσεις αντιστοιχούν στην έλλειψη υετού ( 61,2% ). Υπάρχουν 221 παρατηρήσεις υετού (38,8%) και συγκεκριμένα 19 μετρήσεις έως 0,1 mm (3,3%) , 98 παρατηρήσεις υετού στην 3<sup>η</sup> κλάση (0,1,1] (17,2%), 50 παρατηρήσεις στην 4<sup>η</sup> κλάση (1,2] (8,8%), 37 παρατηρήσεις στην 5<sup>η</sup> κλάση (2,4] (6,5%), 6 παρατηρήσεις στην 6<sup>η</sup> κλάση (4,6] (1,1%), 8 παρατηρήσεις στην 7<sup>η</sup> κλάση (6,10] (1,4%) και τέλος μόνο τρεις παρατηρήσεις στην 8<sup>η</sup> κλάση, και δηλαδή πάνω από 10mm (0.5%).

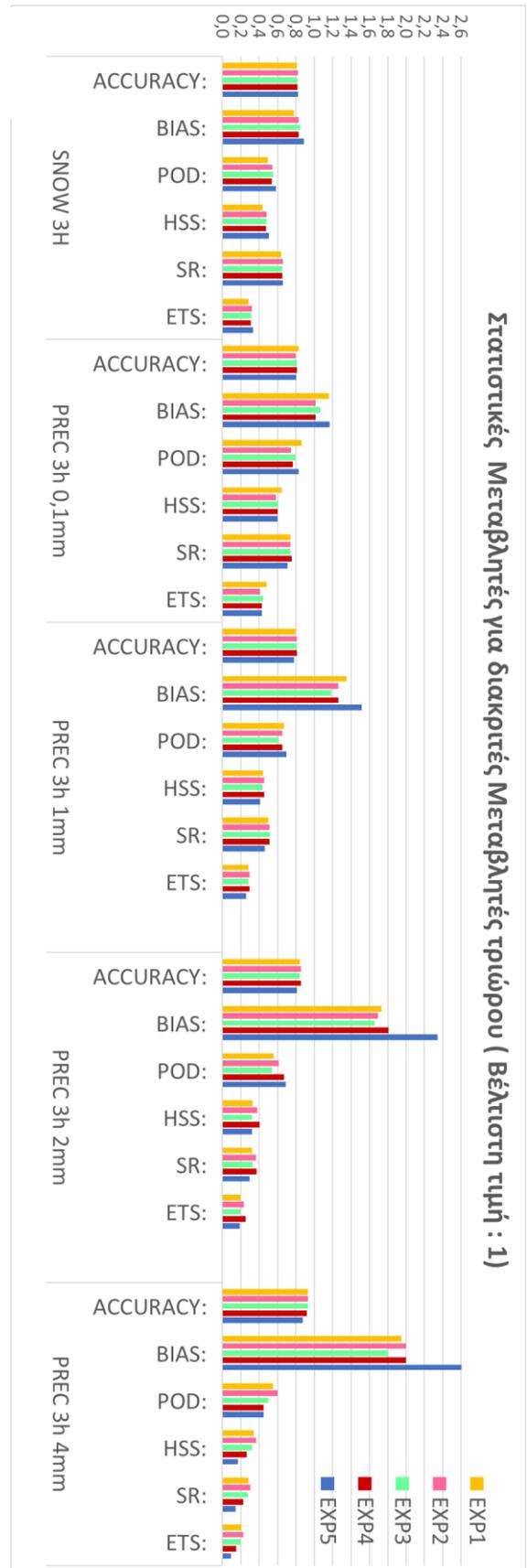
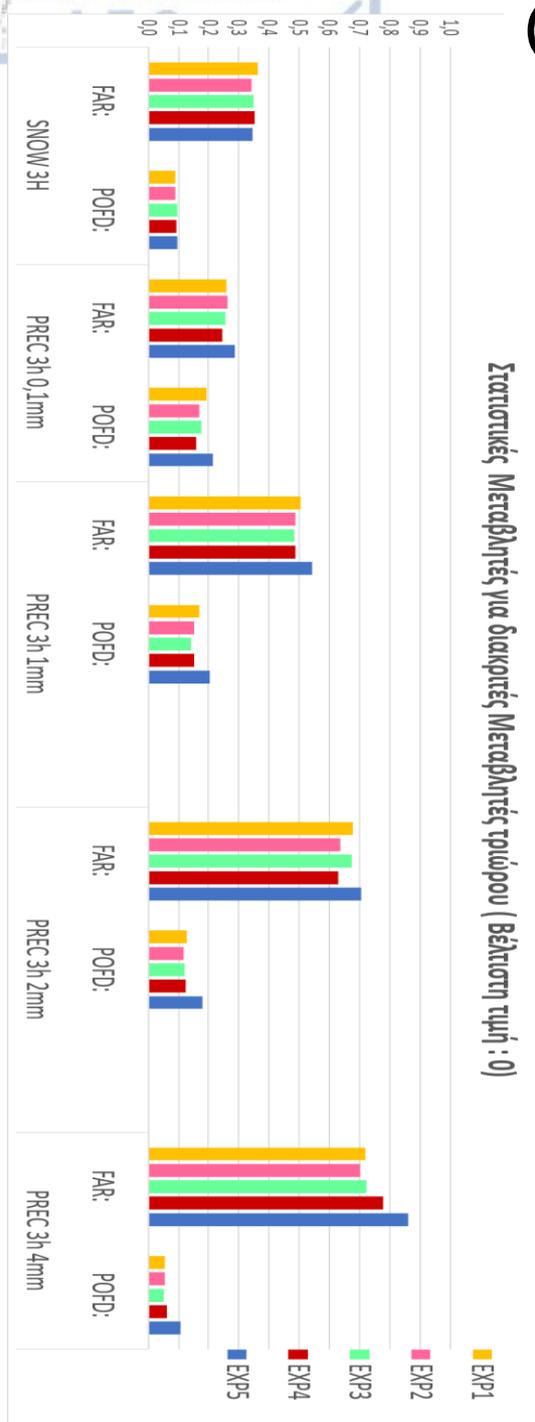
Γενικά το πείραμα που υπολογίζει πιο αξιόπιστα το πλήθος των συνολικών παρατηρήσεων υετού (ανεξάρτητα από την κατανομή τους) είναι το πείραμα EXP2 με 291 παρατηρήσεις μη μηδενικού υετού (51,1%). Όλα τα πειράματα γενικά υπερεκτιμούν τον αριθμό των παρατηρήσεων υετού με το EXP2 να δείχνει την μικρότερη υπερεκτίμηση και το EXP5 την μεγαλύτερη. Για την δεύτερη κλάση του υετού (0, 0.1] το πείραμα που τον υπολογίζει με την καλύτερη προσέγγιση είναι το πείραμα EXP3 (60 παρατηρήσεις – 10,5%) με το EXP2 να έρχεται δεύτερο με πολύ μικρή διαφορά (64 παρατηρήσεις -11,2%). Για την τρίτη κλάση (0,1,1] βέλτιστα πειράματα μπορούν να θεωρηθούν τα EXP1, EXP3 και EXP5, με τα πρώτα δύο να υπερεκτιμούν τον υετό κατά 1,2% και το τρίτο να τον υποεκτιμά κατά το ίδιο ποσοστό. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι και τα άλλα δύο πειράματα υποεκτιμούν τον υετό μόνο κατά 2.1%. Για τη τέταρτη κλάση (1,2] βέλτιστο πείραμα μπορεί να θεωρηθεί το EXP2 με 50 παρατηρήσεις (8,8%). Αντίστοιχα και για την πέμπτη κλάση (2,4] το βέλτιστο πείραμα ήταν το EXP2 με 50 παρατηρήσεις (8,8%). Για την 6<sup>η</sup> κλάση (4,6] τα πειράματα που προσεγγίζουν καλύτερα τον υετό είναι τα EXP3 και EXP4 (21 παρατηρήσεις – 3,7% και για τα δύο), με το EXP2 να απέχει μόνο κατά 0,3%. Για την έβδομη κλάση (6,10] τα βέλτιστα πειράματα είναι τα EXP1 και EXP2 με 12 παρατηρήσεις (2,1%) και για τα δύο. Τέλος για την τελευταία κλάση (>10) το βέλτιστο πείραμα υπολογίζεται να είναι το EXP1 με 3 παρατηρήσεις και 0,5%.



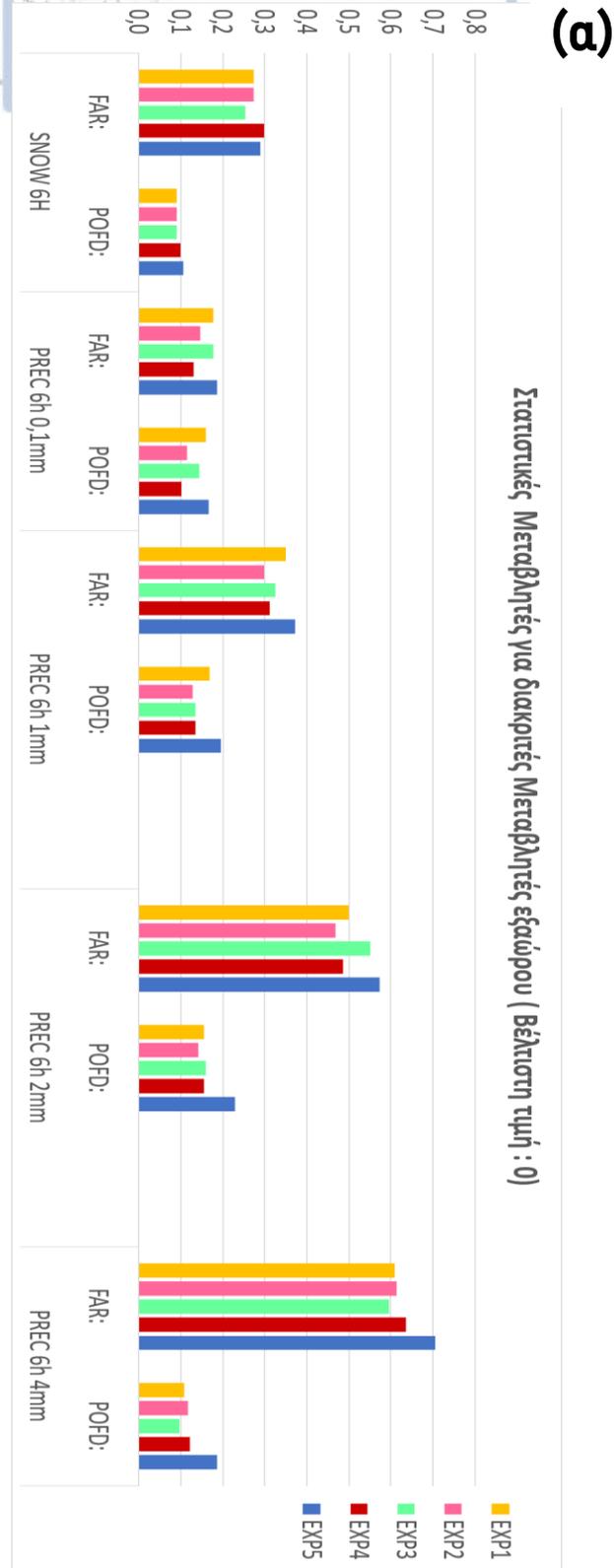
Σχήμα 4. 7 Διαγράμματα πίτας για την κατανομή του υετού τριώρου, σύμφωνα με τις κλάσεις του πίνακα 4.3 για τις παρατηρήσεις των σταθμών της ΕΜΥ, και τα πειράματα του WRF.

Στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι πίνακες συνάφειας για τα τέσσερα κατώφλια του υετού και για το χιόνι, όπως περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 2. Ο πίνακας αυτός υπολογίζεται για τα τέσσερα κατώφλια για κάθε πείραμα για υετό τριώρου και εξαώρου και για το χιόνι τριώρου και εξαώρου που παρουσιάζεται δυαδικά (εμφάνιση/πρόγνωση υετού ή όχι, καθώς δεν είναι διαθέσιμα επίσημα ύψη ή ποσά χιονόπτωσης). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα.

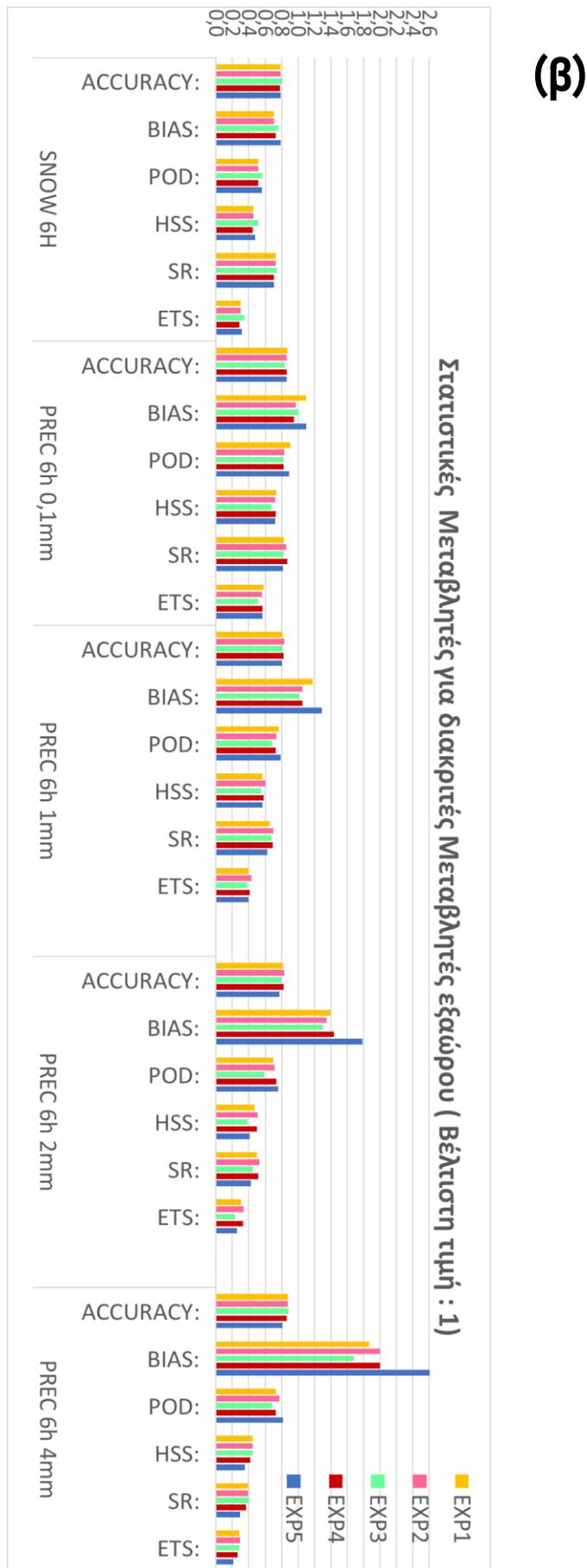
Για τα αποτελέσματα των πινάκων συνάφειας υπολογίζονται στατιστικές παράμετροι που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2. Συγκεκριμένα για κάθε πείραμα και για κάθε διακριτή μεταβλητή για τρίωρο και εξαώρο υπολογίζονται οι παράμετροι ACC, BIAS, POD, FAR, POFD, SR, HSS και ETS. Τα αποτελέσματα για τις παραπάνω στατιστικές παραμέτρου παρουσιάζονται στο *σχήμα 4.8 (α) & (β)* για τρίωρο υετό και τρίωρο χιόνι και στο *σχήμα 4.9 (α) & (β)* για τον εξαώρο υετό και χιόνι. Στα πρώτα μέρη των δύο σχημάτων (α) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις στατιστικές παραμέτρους, για τις οποίες η βέλτιστη τιμή είναι το μηδέν (0) και οι οποίες παίρνουν τιμές από 0 έως και 1. Στα δεύτερα μέρη των σχημάτων (β) παρουσιάζονται για τις υπόλοιπες μεταβλητές, των οποίων η βέλτιστη τιμή είναι το ένα (1). Οι ACC, POD και SR παίρνουν τιμές από μηδέν έως ένα, η BIAS παίρνει τιμές από το 0 έως το άπειρο, η HSS παίρνει τιμές από το -1 έως το 1 και η ETS παίρνει τιμές από το -1/3 έως και το 1. ( Αναλυτικότερα βλ. Κεφάλαιο 2). Ο διαχωρισμός στα σχήματα έγινε για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα.



Σχήμα 4. 8 Ιστογράμματα για τις στατιστικές παραμέτρους των διακριτών μεταβλητών τριώρου. Σχήμα(α): Ιστογράμματα για τις παραμέτρους FAR και POFD (Βέλτιστο αποτέλεσμα το μηδέν (0)). Σχήμα (β) Ιστογράμματα για τις παραμέτρους ACC, BIAS, POD, SR, HSS και ETS (βέλτιστο αποτέλεσμα το ένα (1)) Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF



Σχήμα 4. 9 Όπως σχήμα 4.8 αλλά για διακριτές μεταβλητές εξαώρου. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF



Τα αποτελέσματα για το χιόνι είναι τα εξής για πραγματικές παρατηρήσεις και υπολογισμούς μοντέλου ανά τρίωρο (Σχήμα 4.8 (α) & (β)). Για τις στατιστικές παραμέτρους ACC, BIAS, POD, HSS και ETS βέλτιστο πείραμα μπορεί να θεωρηθεί το EXP5, με δεύτερο να έρχεται το EXP2 με μικρή σχετικά διαφορά. Για το EXP5 οι ACC και BIAS είναι κοντά στο 0.85, οι POD και HSS κοντά στο 0.55 και η ETS κοντά στο 0,35. Οι τιμές για το EXP2 έχουν μικρές μόνο διαφορές. Τα αποτελέσματα αυτά σημαίνουν ότι το μοντέλο υποεκτιμά κατά 15% την πιθανότητα εμφάνισης χιονιού με μόνο το 55% περίπου των καταγραφών χιονόπτωσης του μοντέλου να αντιστοιχούν σε πραγματικές παρατηρήσεις χιονόπτωσης. Η ακρίβεια του μοντέλου σε σχέση με την τυχαία πιθανότητα βρίσκεται και αυτή στο 55% περίπου, ενώ για τα hits του μοντέλου (χιονόπτωση στο μοντέλο και στις παρατηρήσεις) μόνο το 35% δεν αποδίδονται σε τυχαιότητα. Για τις παραμέτρους FAR, POFD και SR βέλτιστο πείραμα θεωρείται το EXP2 (με το EXP5 να έρχεται δεύτερο για τις περισσότερες παραμέτρους). Σύμφωνα με τα παραπάνω για την βέλτιστη περίπτωση το ποσοστό των λάθος συναγερμών είναι περίπου 34%, ενώ το ποσοστό περιπτώσεων που οι πραγματικές παρατηρήσεις που έδειξαν έλλειψη χιονιού υπολογίστηκαν ως χιόνι από το μοντέλο είναι μονάχα 9%, ενώ 66% των παρατηρήσεων χιονιού παρουσιάστηκαν ορθώς από το μοντέλο.

Για το χιόνι εξαώρου τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 4.9 (α) & (β). Για τις στατιστικές παραμέτρους ACC, POD, HSS, FAR, POFD, SR και ETS βέλτιστο πείραμα θεωρείται το EXP3 με τα δεύτερα βέλτιστα πειράματα (διαφορετικά ανά παράμετρο να απέχουν για όλες τις παραμέτρους λιγότερο από 2% από το EXP3). Για την παράμετρο BIAS βέλτιστο πείραμα μπορεί να θεωρηθεί το EXP5. Για το χιόνι εξαώρου τα αποτελέσματα για την βέλτιστη περίπτωση δείχνουν ότι το μοντέλο ήταν κατά 80% ορθό στην πρόγνωση της συχνότητας των παρατηρήσεων χιονιού (BIAS), Το ποσοστό των περιπτώσεων χιονόπτωσης που υπολογίζεται ορθά από το μοντέλο είναι 57% περίπου και η πιθανότητα πρόγνωσης του χιονιού όταν τα πραγματικά δεδομένα αντιστοιχούν σε χιονόπτωση είναι 75% (πείραμα EXP3 και παράμετρος POD). Η ακρίβεια του μοντέλου γενικά σε σχέση με την επιτυχία που θα είχε λόγω τυχαιότητας είναι 51%, ενώ η ακρίβεια σε σχέση με την τυχαιότητα για τις περιπτώσεις με παρατήρηση χιονόπτωσης είναι 35%. Η αποτυχία του μοντέλου να εντοπίσει πραγματικές παρατηρήσεις χιονόπτωσης είναι μόνο 9% και η ανίχνευση χιονόπτωσης από το μοντέλο, όταν στην πραγματικότητα δεν υπήρξε χιονόπτωση είναι 25%.



Πίνακας 4. 5 Βέλτιστο πείραμα για κάθε στατιστική παράμετρο και για κάθε κατώφλι του υετού τριώρου και εξαώρου. Τα ποσοστά αντιστοιχούν στην τιμή που παίρνουν οι παράμετροι για το πείραμα που θεωρείται το βέλτιστο ανά περίπτωση. Το βέλτιστο ποσοστό εμφανίζεται στην τελευταία στήλη. Με πιο σκούρο χρώμα παρουσιάζεται το κατώφλι που έχει το καλύτερο ποσοστό ανά παράμετρο και η κλίμακα συνεχίζεται με τα πιο ανοιχτά χρώματα. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF

PRECIPITATION	3h				6h				Best Score
	0,1 mm	1 mm	2 mm	4 mm	0,1 mm	1 mm	2 mm	4 mm	
ACCURACY:	80% EXP5	81% EXP1	85,7% EXP2	93,2% EXP2	86,9% EXP1	83,3% EXP2	83,3% EXP2	88,5% EXP1	100%
BIAS-1:	+1% EXP2	+18,9% EXP3	+65% EXP3	+80% EXP3	0% EXP1	+1,4% EXP3	+30,4% EXP3	+68,2% EXP3	0%
POD:	86% EXP1	69,8% EXP5	69,2% EXP5	60% EXP2	90,3% EXP1	78,4% EXP5	76,1% EXP5	81,8% EXP5	100%
HSS:	65% EXP1	45,4% EXP2	40,5% EXP4	36,8% EXP2	73,8% EXP1	60,1% EXP2	50,8% EXP2	45,1% EXP2	100%
FAR:	24,6% EXP4	48% EXP3	62,8% EXP4	70% EXP2	13,1% EXP4	29,9% EXP2	46,8% EXP2	59,5% EXP3	0%
POFD:	16% EXP4	14,3% EXP3	11,6% EXP2	5% EXP1	10,1% EXP4	12,8% EXP2	14,1% EXP2	9,6% EXP1	0%
SR:	75,4% EXP4	51,6% EXP3	37% EXP4	30% EXP2	86,9% EXP4	70,1% EXP2	53,2% EXP2	40,5% EXP3	100%
ETS:	47,9% EXP1	29,3% EXP2	25,4% EXP4	22,6% EXP2	58,4% EXP1	43% EXP2	34% EXP2	29,1% EXP2	100%

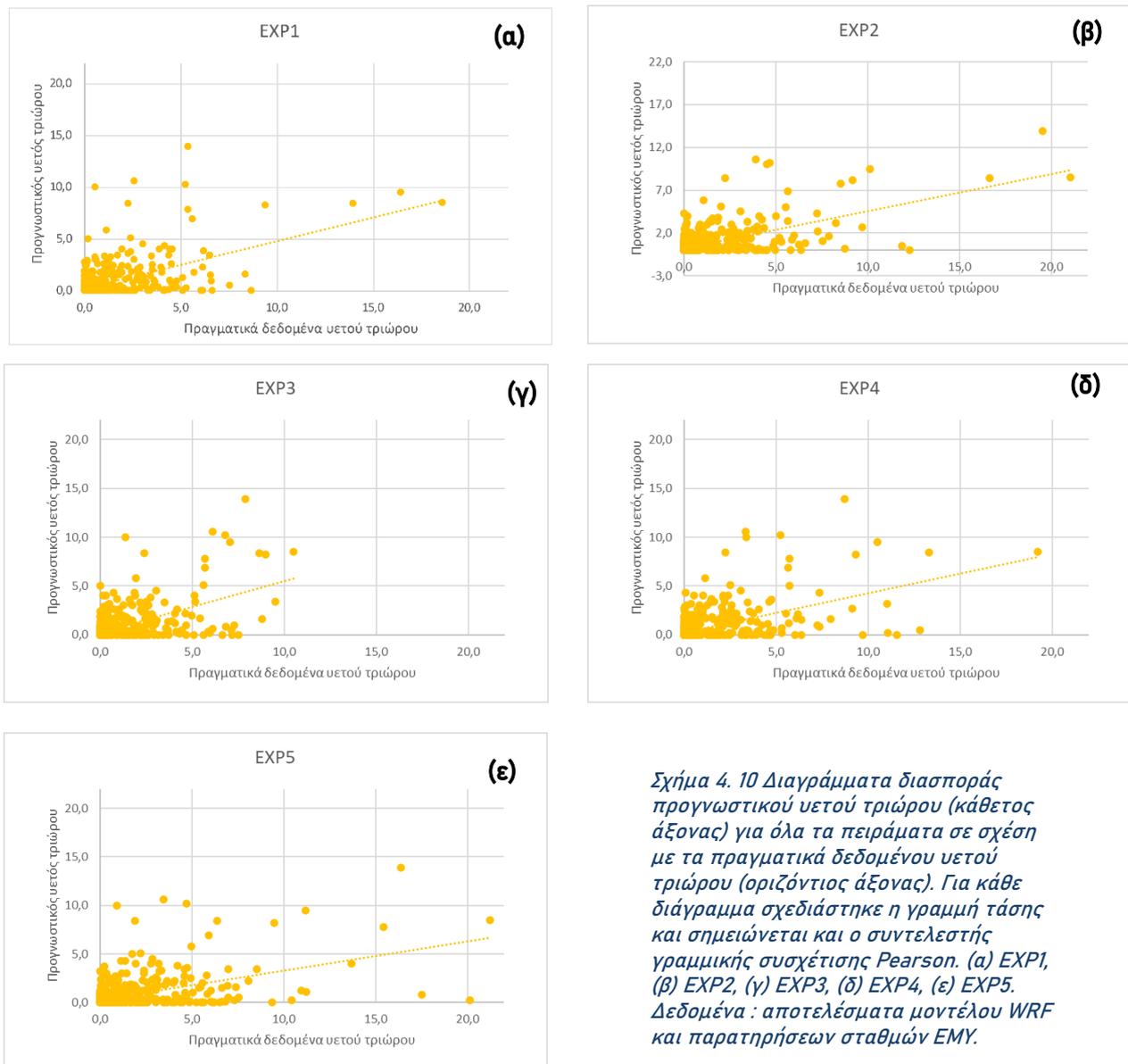
Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα βέλτιστα πειράματα για κάθε στατιστική παράμετρο για τον υετό τριώρου και εξαώρου και για τα τέσσερα κατώφλια του υετού .

Για τον υετό τριώρου τα αποτελέσματα είναι τα εξής : Για το κατώφλι των 0,1mm βέλτιστα πειράματα είναι εξίσου το EXP1 και το EXP4 σύμφωνα σχεδόν με όλες τις μεταβλητές συνδυαστικά, για το κατώφλι του 1mm, των 2mm και των 4mm είναι το πείραμα EXP2, το οποίο είναι και το βέλτιστο πείραμα συνολικά για τον υετό τριώρου ανεξάρτητα κατωφλίου. Γενικά για τον υετό τριώρου, άνω του 80% (ACCURACY) των υπολογισμών του μοντέλου είναι ορθά, με την ακρίβεια να αυξάνεται όσο αυξάνονται και τα κατώφλια. Για όλα τα κατώφλια, η συχνότητα εμφάνισης υετού υπερεκτιμάται, όμως για το κατώφλι των 0,1mm η υπερεκτίμηση είναι μόνο 1% (BIAS) ενώ για το κατώφλι των 4mm υπερεκτιμάται κατά 80% (BIAS). Το ποσοστό των παρατηρήσεων υετού που υπολογίστηκαν σωστά από το μοντέλο είναι μέγιστο στο κατώφλι 0,1mm, και μειώνεται όσο αυξάνεται το κατώφλι. Η πιθανότητα υετού με προϋπόθεση ότι έχει υπολογιστεί υετός και από το μοντέλο είναι μέγιστη (POD) για το κατώφλι το 0,1mm και μειώνεται επίσης καθώς αυξάνεται το κατώφλι. Η ακρίβεια του μοντέλου συγκρινόμενη με την επιτυχία λόγω τυχαίας πιθανότητας είναι 65% (HSS) για το κατώφλι των 0,1mm και μειώνεται με την αύξηση του κατωφλίου φθάνοντας το 36,8% (HSS) για το κατώφλι των 4mm. Αντίστοιχα, η ακρίβεια του μοντέλου στον υπολογισμό των περιπτώσεων υετού σε σχέση με την τυχαία πιθανότητα σωστού υπολογισμού είναι μέγιστη για το κατώφλι των 0,1mm, και συγκεκριμένα 47,9% (ETS) ενώ μειώνεται καθώς αυξάνονται τα κατώφλια, με το κατώφλι των 4mm να έχει ακρίβεια 22,6% (ETS). Τέλος, το ποσοστό των περιπτώσεων που υετός υπολογίστηκε από το μοντέλο αλλά δεν συνέβη στην

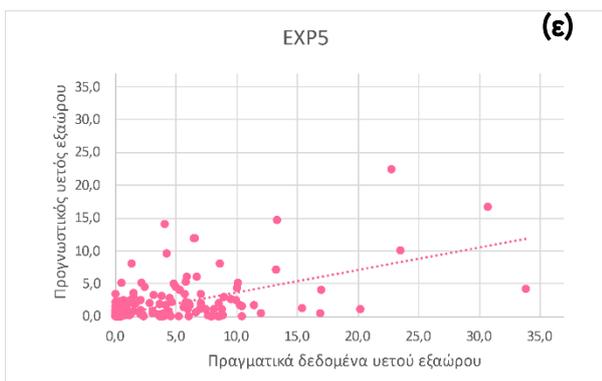
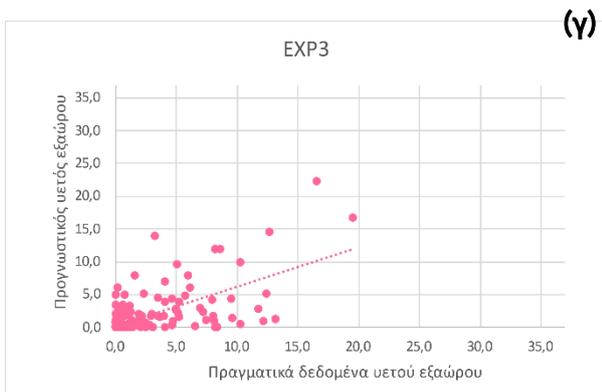
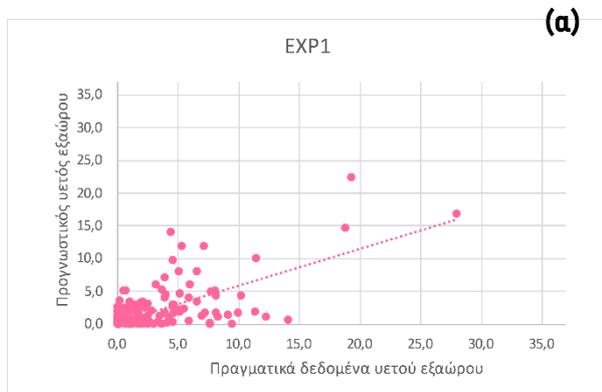
πραγματικότητα (λάθος συναγεροί) (FAR) είναι μέγιστος, με ποσοστό 70%, στο κατώφλι των 4mm και μειώνεται καθώς μειώνεται το κατώφλι φθάνοντας στο 24,6% για το κατώφλι των 0,1mm.

Για τον υετό εξαώρου τα αποτελέσματα είναι τα εξής: Για το κατώφλι των 0,1mm βέλτιστο πείραμα υπολογίζεται να είναι το EXP4 (όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια), για το κατώφλι του 1mm και των 2mm βέλτιστο πείραμα είναι το EXP2 και τέλος για το κατώφλι των 4mm βέλτιστο πείραμα είναι το EXP3. Συνολικά για τον υετό εξαώρου για όλα τα κατώφλια βέλτιστο υπολογίζεται να είναι το πείραμα EXP2 μετά από σύγκριση όλων των στατιστικών παραμέτρων. Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό των ορθών υπολογισμών υετού του μοντέλου είναι γενικά υψηλό πάνω από 80% (ACCURACY) για όλα τα κατώφλια, με το EXP2 να έχει τα υψηλότερα ποσοστά επιτυχίας συνολικά. Στο κατώφλι το 0,1mm το μοντέλο με το πείραμα EXP3 πετυχαίνει την βέλτιστη εκτίμηση της συχνότητας των παρατηρήσεων, όπως και στο κατώφλι του 1mm που υπάρχει μια ελάχιστη υπερεκτίμηση 1,4% (BIAS). Αντίθετα το ίδιο πείραμα αν και βέλτιστο για την περίπτωση υπερεκτιμά τον πραγματικό υετό κατά 30,4% (BIAS) για τα 2mm, και κατά 68,2% (BIAS) για τα 4mm. Μεγάλο είναι επίσης το ποσοστό των παρατηρήσεων υετού που υπολογίζονται ορθά από το μοντέλο και πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κατώφλι το 90,3% υπολογίζεται ορθά από το πείραμα EXP3, ενώ από το πείραμα EXP5 υπολογίζονται ορθά (POD) 78,4%, 76,1% και 81,8% των παρατηρήσεων, στο δεύτερο τρίτο και τέταρτο κατώφλι αντίστοιχα. Η πιθανότητα παρατήρησης υετού, όταν το μοντέλο υπολογίζει την εμφάνιση του υετού είναι πολύ μεγάλη για το πρώτο κατώφλι όπου το πείραμα EXP4 επιτυγχάνει 86,9% (SR) και η επιτυχία αυτή μειώνεται καθώς αυξάνονται τα κατώφλια με το δεύτερο και τρίτο κατώφλι να έχουν ποσοστό επιτυχίας (SR) 70,1% και 53,2% για το πείραμα EXP2, ενώ το τέταρτο κατώφλι έχει μέγιστη επιτυχία 40,5% με το πείραμα EXP3. Η ακρίβεια του μοντέλου σε σχέση με την τυχαία πιθανότητα επιτυχίας (HSS), τόσο γενικά όσο και για τις περιπτώσεις παρατήρησης υετού είναι μέγιστη για το πρώτο κατώφλι και μειώνεται καθώς αυξάνονται τα κατώφλια. Για το πρώτο κατώφλι βέλτιστο πείραμα και για τις δύο περιπτώσεις (υετός τριώρου και εξαώρου) είναι το EXP1, ενώ για τα υπόλοιπα κατώφλια βέλτιστο πείραμα είναι το EXP2. Τέλος, το ποσοστό όπου το μοντέλο ανίχνευσε υετό αλλά στην πραγματικότητα δεν παρουσιάστηκε υετός είναι μεγάλο για τον εξάωρο υετό, με το βέλτιστο πείραμα για το κατώφλι των 0,1mm να είναι το EXP4 με το μικρότερο ποσοστό το 13,1% (FAR), ενώ το ποσοστό αυτό αυξάνεται καθώς αυξάνονται τα κατώφλια. Στο δεύτερο και τρίτο κατώφλι του FAR βέλτιστο πείραμα είναι το EXP2 με (FAR) 29,9% και 46,8% ποσοστό αποτυχίας αντίστοιχα, και στο τελευταίο κατώφλι του βέλτιστου πείραμα EXP3 έχει ποσοστό αποτυχίας (FAR) 59,5%.

Στη συνέχεια γίνεται στατιστική ανάλυση για τη διασπορά των παρατηρήσεων υετού τριώρου και εξαώρου για κάθε πείραμα που μελετάται. Στο *σχήμα 4.10* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή διαγραμμάτων διασποράς του τριώρου που υπολογίζεται από το μοντέλο για κάθε πείραμα σε σχέση με τον υετό τριώρου των πραγματικών παρατηρήσεων. Αντίστοιχα, στο *σχήμα 4.11* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τον υετό εξαώρου.



*Σχήμα 4. 10 Διαγράμματα διασποράς προγνωστικού υετού τριώρου (κάθετος άξονας) για όλα τα πειράματα σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα υετού τριώρου (οριζόντιος άξονας). Για κάθε διάγραμμα σχεδιάστηκε η γραμμή τάσης και σημειώνεται και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης Pearson. (α) EXP1, (β) EXP2, (γ) EXP3, (δ) EXP4, (ε) EXP5. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF και παρατηρήσεων σταθμών EMY.*



Σχήμα 4. 11 Όπως σχήμα 4.10 αλλά για υετό εξαώρου.  
Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF και παρατηρήσεων σταθμών EMY.

Πίνακας 4. 6 Συντελεστής Pearson, Τετράγωνο συντελεστή Pearson, Standard Error και δείκτης σημαντικότητας για τον υετό τριώρου και εξαώρου για κάθε ένα από τα πειράματα. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF

		EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5
3H	Pearson	0,57	0,63	0,57	0,54	0,51
	Standard Error	1,58	1,75	1,38	1,76	2,25
	Significance F	5,8E-50	3,7E-63	1,1E-50	2,7E-45	2,9E-38
6H	Pearson	0,70	0,73	0,66	0,64	0,59
	Standard Error	2,49	2,92	2,34	3,07	3,94
	Significance F	2,7E-39	1,7E-43	9,2E-34	8,9E-31	2,5E-25

Στον πίνακα 4.6 εμφανίζονται αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης της διασποράς και συγκεκριμένα ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης Pearson, το τυπικό σφάλμα (standard error) καθώς και η στάθμη σημαντικότητας. Οι παράμετροι αυτοί αναλύθηκαν εκτενέστερα στο κεφάλαιο 2.

Είναι εμφανές ότι τόσο για τον υετό τριώρου όσο και για τον υετό εξαώρου το πείραμα με τη μέγιστη γραμμική συσχέτιση με τα πραγματικά δεδομένα είναι το EXP2 με τιμή 0.625, αν και αξίζει να σημειωθεί ότι έχει ελαφρώς μεγαλύτερο τυπικό σφάλμα από το EXP3 (που έχει την μικρότερη τιμή). Ο συντελεστής σημαντικότητας για όλα τα πειράματα είναι αρκετά ικανοποιητικός.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι τα βέλτιστα πειράματα για την προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών του φαινομένου που μελετάται είναι το EXP2 και το EXP5. Για να γίνει πιο ξεκάθαρη η επιλογή του βέλτιστου πειράματος χρησιμοποιήθηκε μία μέθοδος με την οποία τα πειράματα βαθμολογούνται από το 1 έως το 5, με το 1 να αντιστοιχίζεται στο βέλτιστο πείραμα και το 5 στο πείραμα με την χειρότερη προσέγγιση των πραγματικών δεδομένων σύμφωνα με το στατιστικό σκορ MAE. Η βαθμολόγηση αυτή γίνεται για κάθε μεταβλητή (συνεχείς και διακριτές) και για κάθε στατιστική παράμετρο που υπολογίζεται για αυτές. Στην συνέχεια οι βαθμολογίες αθροίζονται και έτσι λαμβάνεται ένα γενικό αποτέλεσμα για την επιλογή του βέλτιστου πειράματος. Η μέθοδος αυτή δεν είναι βέβαια απόλυτα σωστή με την έννοια ότι δεν λαμβάνει υπόψιν την σύγκριση των πειραμάτων μεταξύ τους και αν η διαφορά κάθε πειράματος από το άλλο είναι σημαντική ή όχι. Λόγω αυτού υπολογίζονται και τα ποσοστά της διαφοράς μεταξύ των υπόλοιπων πειραμάτων και του πειράματος που

θεωρείται ως βέλτιστο, όπως σημειώθηκε προηγουμένως τα πειράματα EXP2 και EXP5, για κάθε μία από τις μεταβλητές και στατιστικές παραμέτρους. Με την μέθοδο αυτή μπορεί να γίνει πιο εμφανής ποιο πείραμα υπερτερεί των υπολοίπων για την προσομοίωση. Ο *πίνακας 4.7*, ο *πίνακας 4.8* και ο *πίνακας 4.9* εμπεριέχουν τα αποτελέσματα των παραπάνω μεθόδων.

Στον *Πίνακα 4.7* οι βαθμολογίες παράγονται από τον συνδυασμό των βαθμολογιών για κάθε στατιστική παράμετρο που υπολογίσθηκε. Στους *πίνακα 4.8* και *πίνακα 4.9* τα ποσοστά αντιστοιχούν στην «απόσταση» του κάθε πειράματος από το πείραμα με το οποίο συγκρίνονται. Τα αρνητικά ποσοστά αντιστοιχούν σε πειράματα που είναι καλύτερες επιλογές από το συγκρινόμενο πείραμα και η τιμή του ποσοστού αντιστοιχεί στο «πόσο» καλύτερο είναι. Αντίστοιχα τα θετικά ποσοστά αντιστοιχούν σε λιγότερο καλές επιλογές πειραμάτων, ενώ το 0% σημαίνει ότι τα δύο πειράματα είναι εξίσου καλές επιλογές.

Πίνακας 4. 7 Βαθμολογίες από το 1 έως το 5 για κάθε μεταβλητή συνεχή και διακριτή και για κάθε πείραμα που διενεργήθηκε. Τα αποτελέσματα προκύπτουν από το σκορ κάθε στατιστικής παραμέτρου που υπολογίστηκε για κάθε μεταβλητή. Οι τελευταίες τρεις γραμμές είναι αντίστοιχα: Συνολική βαθμολογία για τις διακριτές μεταβλητές, τις συνεχείς μεταβλητές και όλες τις μεταβλητές. Η βαθμολογία 1 (5) αντιστοιχεί στο βέλτιστο (χειρότερο) πείραμα. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF

SKILL SCORE		EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5
Υετός	3H	4	1	2	3	5
	6H	3	1	4	2	5
Χιόνι	3H	5	2	3	4	1
	6H	3	2	1	4	2
Θερμοκρασία		5	4	2	3	1
MSLP		4	1	3	2	5
Θερμοκρασία σημείου δρόσου		5	2	4	3	1
Σχετική Υγρασία		4	2	5	3	1
Ταχύτητα ανέμου		4	1	3	2	5
Διακριτές		4	1	2	3	3
Συνεχείς		4	1	3	2	2
Όλες οι μεταβλητές		4	1	3	2	2

Πίνακας 4. 8 Σύγκριση των μεταβλητών κάθε πειράματος με αυτές του πειράματος EXP2. Οι αρνητικές τιμές σημαίνουν πείραμα καλύτερο του EXP2 και οι θετικές το αντίστροφο. Οι τιμές των ποσοστών αντιστοιχούν στην απόσταση του εκάστοτε πειράματος από το πείραμα EXP2. Οι τελευταίες τρεις γραμμές είναι αντίστοιχα: Ποσοστά για τις διακριτές μεταβλητές σε σχέση με το EXP2, ποσοστά για τις συνεχείς μεταβλητές σε σχέση με το EXP2 και ποσοστά για όλες τις μεταβλητές συνολικά σε σχέση με το EXP2. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF

SKILL SCORE		EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5
Υετός	3H	2,2%	EXP2	3,6%	2,5%	12,2%
	6H	4,3%	EXP2	7,7%	1,5%	11,2%
Χιόνι	3H	5,9%	EXP2	0,7%	1,6%	-1,9%
	6H	2,7%	EXP2	-7,4%	3,5%	-0,7%
Θερμοκρασία		-7,3%	EXP2	3,9%	0,2%	6,9%
MSLP		-8,8%	EXP2	-5,6%	-0,5%	-9,4%
Θερμοκρασία σημείου δρόσου		-13,1%	EXP2	-5,6%	-0,7%	8,5%
Σχετική Υγρασία		-2,4%	EXP2	-2,5%	-1,5%	7,0%
Ταχύτητα ανέμου		-6,8%	EXP2	-5,2%	-0,8%	-14,0%
Διακριτές		3,8%	EXP2	1,1%	2,3%	5,2%
Συνεχείς		-7,7%	EXP2	-3,0%	-0,7%	-0,2%
Όλες οι μεταβλητές		-2,0%	EXP2	-0,9%	0,8%	2,5%

Πίνακας 4. 9 Όπως ο πίνακας 4.8 αλλά σε σχέση με το πείραμα EXP5. Δεδομένα : αποτελέσματα μοντέλου WRF.

SKILL SCORE		EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5
Υετός	3H	-14,8%	-18,2%	-12,9%	-12,2%	EXP5
	6H	-6,8%	-10,5%	-2,9%	-8,8%	EXP5
Χιόνι	3H	7,5%	1,8%	2,4%	3,3%	EXP5
	6H	3,4%	0,8%	-6,1%	4,0%	EXP5
Θερμοκρασία		15,3%	7,4%	3,3%	7,2%	EXP5
MSLP		-0,5%	-8,6%	-3,6%	-8,2%	EXP5
Θερμοκρασία σημείου δρόσου		23,7%	9,3%	15,4%	10,1%	EXP5
Σχετική Υγρασία		10,2%	7,5%	10,2%	9,1%	EXP5
Ταχύτητα ανέμου		-6,2%	-12,2%	-7,7%	-11,5%	EXP5
Διακριτές		-2,7%	-6,5%	-4,9%	-3,4%	EXP5
Συνεχείς		8,5%	0,7%	3,5%	1,4%	EXP5
Όλες οι μεταβλητές		3,4%	-2,6%	-0,3%	-0,8%	EXP5

Στον *πίνακα 4.7* το φουξ χρώμα αντιστοιχεί στο βέλτιστο πείραμα για τη συγκεκριμένη μεταβλητή. Έτσι γίνεται εμφανές ότι για τον υετό η βέλτιστη επιλογή πειράματος είναι το EXP2, τόσο για τον τρίωρο υετό όσο και για τον εξάωρο. Ενώ για το χιόνι η εικόνα είναι διαφορετική, για το τρίωρο χιόνι βέλτιστο πείραμα είναι το EXP5 και για το εξάωρο χιόνι είναι το πείραμα EXP3. Στην περίπτωση των συνεχών μεταβλητών, για την μεταβλητή της θερμοκρασίας βέλτιστο πείραμα είναι το EXP5, για την μεταβλητή της πίεσης της μέσης επιφανείας θάλασσας είναι το EXP2, για την μεταβλητή της θερμοκρασίας σημείου δρόσου και την μεταβλητή της σχετικής υγρασίας είναι το EXP5 και για την μεταβλητή της ταχύτητας ανέμου είναι το EXP2. Συνολικά για όλες τις διακριτές μεταβλητές το EXP2 υπολογίζεται να είναι το βέλτιστο πείραμα ενώ το δεύτερο καλύτερο πείραμα είναι το EXP3. Για τις συνεχείς μεταβλητές βέλτιστο πείραμα υπολογίζεται να είναι το EXP2, ενώ το δεύτερο καλύτερο πείραμα είναι εξίσου το EXP4 και το EXP5. Τέλος συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω, το συμπέρασμα είναι ότι το βέλτιστο πείραμα για την παραμετροποίηση όλων των μεταβλητών που αναλύθηκαν με τα πραγματικά δεδομένα από το μοντέλο είναι το EXP2 και δεύτερο είναι το EXP5. Τα EXP3, EXP4 βρίσκονται εξίσου στην τρίτη θέση και το EXP1 κατατάσσεται ως η χειρότερη επιλογή πειράματος.

Για να επιβεβαιωθεί η επιλογή του EXP2 γίνεται η ανάλυση με τα ποσοστά που αναφέρθηκαν πιο πάνω για όλα τα πειράματα σε σχέση με το EXP2 και το EXP5 που είναι η πρώτη και η δεύτερη επιλογή όπως αναφέρθηκε. Στον *πίνακα 4.8* εμφανίζονται τα αποτελέσματα της σχέσης όλων των υπόλοιπων πειραμάτων με το EXP2. Για τον υετό το EXP2 θεωρείται το βέλτιστο πείραμα και αυτό είναι εμφανές και από τα ποσοστά που είναι όλα θετικά, αντιστοιχώντας σε «λιγότερο καλά» πειράματα. Πιο συγκεκριμένα τόσο για τον τρίωρο όσο και για τον εξάωρο υετό το EXP2 είναι ιδιαίτερα καλύτερη επιλογή πειράματος από το EXP5 καθώς είναι κατά περίπου 12% καλύτερο και για τις δύο μεταβλητές, ενώ τα υπόλοιπα πειράματα έχουν μικρή διαφορά από το EXP2 με ποσοστά μικρότερα του 7,7%. Για την μεταβλητή του χιονιού του τριώρου βέλτιστη επιλογή θεωρήθηκε το EXP5, που είναι όμως μόνο 1,8% καλύτερο από το EXP2. Το EXP2 είναι καλύτερο των υπόλοιπων πειραμάτων με μικρά όμως ποσοστά που δεν υπερβαίνουν το 6%. Για το χιόνι εξάωρου βέλτιστο πείραμα είναι το EXP3, με το EXP2 να έρχεται στην δεύτερη θέση μαζί με το πείραμα EXP5, έχοντας όμως μόνο 6-7% διαφορά από το πείραμα της πρώτης θέσης. Συνολικά για τις διακριτές μεταβλητές βέλτιστο πείραμα θεωρείται το EXP2, με το EXP3 να βρίσκεται στην δεύτερη θέση με διαφορά μόνο 1.1%.

Για την μεταβλητή της θερμοκρασίας βέλτιστο πείραμα θεωρείται το EXP5, με το EXP2 να βρίσκεται στην τρίτη θέση μετά και από το EXP3, παρόλα αυτά απέχει

από την πρώτη επιλογή πειράματος μόνο κατά 8%. Για την μεταβλητή της πίεσης μέσης στάθμης θάλασσας βέλτιστο πείραμα θεωρείται το EXP2, με το πείραμα EXP4 να επιλέγεται στην δεύτερη θέση με 0,58% διαφορά, ενώ τα υπόλοιπα πειράματα απέχουν περισσότερο. Για την μεταβλητή της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου βέλτιστο πείραμα θεωρήθηκε το EXP5, με το EXP2 να βρίσκεται στην δεύτερη θέση με διαφορά 9,8%, ενώ τα υπόλοιπα πειράματα έπονται. Για την μεταβλητή της σχετικής υγρασίας το βέλτιστο πείραμα είναι και πάλι το EXP5 και το δεύτερο καλύτερο πείραμα το EXP2 με διαφορά μονάχα 5,7%, με τα υπόλοιπα πειράματα να θεωρούνται λιγότερο καλές επιλογές. Τέλος για την μεταβλητή της ταχύτητας ανέμου βέλτιστο πείραμα είναι το EXP2, με το πείραμα EXP4 να έρχεται στην δεύτερη θέση με πολύ μικρή διαφορά (0.91%), ενώ το EXP5 έρχεται στην τελευταία θέση με μεγάλη σχετικά διαφορά (12,6%). Συνολικά για τις συνεχείς μεταβλητές το πείραμα που θεωρείται βέλτιστο είναι το EXP5 με πολύ μικρή όμως διαφορά από το EXP2 που είναι το δεύτερο πείραμα στην κατάταξη και απέχει μόνο 0,67% από το πείραμα της πρώτης επιλογής. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτή η υπεροχή του EXP5 συμβαίνει λόγω του υπολογισμού της στατιστικής παραμέτρου RMSE, που έχει ιδιαίτερη ευαισθησία στα ακραία σφάλματα, που σημαίνει ότι το EXP5 είναι ελαφρώς καλύτερο από το EXP2 στο να μην δίνει ακραία σφάλματα για τις συνεχείς μεταβλητές.

Από τον *πίνακα 4.9* που παρουσιάζει την σύγκριση όλων των πειραμάτων με το EXP5 είναι εμφανές πως τα αποτελέσματα συμβαδίζουν με όσα έχουν μέχρι τώρα αναλυθεί. Για τις διακριτές μεταβλητές το πείραμα EXP5 μπορεί να θεωρηθεί ως η χειρότερη επιλογή με διαφορά 3,4 – 6,5% από τα υπόλοιπα πειράματα. Το EXP5 θεωρείται η βέλτιστη επιλογή για τις συνεχείς μεταβλητές, με το EXP2 να παίρνει τη δεύτερη θέση με μικρή διαφορά. Συνολικά από όλες τις μεταβλητές με την σύγκριση όλων των πειραμάτων και με τα δύο πειράματα EXP2 και EXP5, ως βέλτιστο πείραμα θεωρείται το πείραμα EXP2, με τα υπόλοιπα πειράματα εκτός του EXP1 να μην απέχουν περισσότερο από 2% από αυτό.

Συνολικά λοιπόν συμπεραίνουμε πως ως βέλτιστο πείραμα μπορεί να επιλεγθεί το πείραμα EXP2, το οποίο είναι φανερό ότι έχει υπεροχή στις διακριτές μεταβλητές αλλά προσομοιώνει σε καλό βαθμό σε σχέση με τα άλλα πειράματα και τις συνεχείς μεταβλητές.

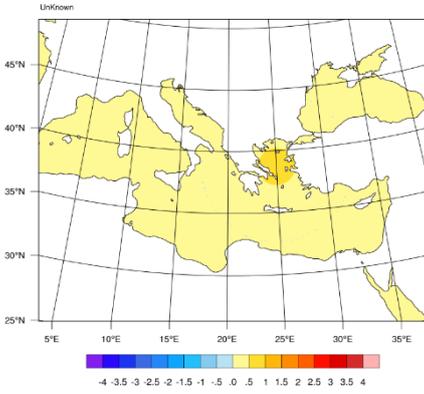
## Κεφάλαιο 5 Πειράματα για την επιρροή των θερμοκρασιών θάλασσας στο φαινόμενο

### 5.1 Εισαγωγή

Όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3, από την συνοπτική ανάλυση του φαινομένου Μήδεια, το φαινόμενο μπορεί να χαρακτηριστεί ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) για τις ημερομηνίες 14/02/2021 έως 16/02/2021. Ο σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η μελέτη της επιρροής των επιφανειακών θερμοκρασιών θάλασσας στην εκδήλωση και ένταση του φαινομένου φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow). Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση αυτή, επιλέχθηκε η βέλτιστη διαμόρφωση του μοντέλου σύμφωνα με το προηγούμενο κεφάλαιο. Το πείραμα που επιλέχθηκε ήταν το EXP2, που στο παρόν κεφάλαιο θα αναφέρεται ως πείραμα CONTROL. Στην συνέχεια έγινε επεξεργασία των δεδομένων θερμοκρασιών επιφανείας θάλασσας ούτως ώστε να προστεθεί μια κανονική ανωμαλία (ανωμαλία Gauss) στο κέντρο του βορείου Αιγαίου που είναι και το κέντρο μελέτης για την παρουσία του φαινομένου χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) φαινομένου. Το κέντρο της ανωμαλίας προτέθηκε σε γεωγραφικό μήκος 25.0E και γεωγραφικό πλάτος 38.7N, όπως παρουσιάζεται και στο *σχήμα 5.1*, καθώς αυτή η τοποθεσία είναι στο κέντρο του Αιγαίου ανάντη της κύριας περιοχής ενδιαφέροντος. Η ανωμαλία που προστίθεται είναι θετική (+1,+2 και +3 βαθμοί κελσίου στο κέντρο της ανωμαλίας) και αρνητική (-1, -2 και -3 βαθμοί κελσίου στο κέντρο της ανωμαλίας) και μειώνεται εκθετικά φτάνοντας στο 1/e της μέγιστης τιμής σε απόσταση 200 km από το κέντρο της, καλύπτοντας όλο το Αιγαίο. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε και μία προσομοίωση με κλιματικά δεδομένα επιφανειακών θερμοκρασιών θάλασσας του Φεβρουαρίου 1971-2000 από το National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Reynolds et al., 2002) με χωρική διακριτοποίηση  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$  (γεωγραφικό μήκος - γεωγραφικό πλάτος). Τα πειράματα που θα αναλυθούν στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά στον *Πίνακα 5.1* με την πρώτη στήλη να καταγράφει τα ονόματα με τα οποία τα πειράματα θα αναφέρονται στην συνέχεια της εργασίας.

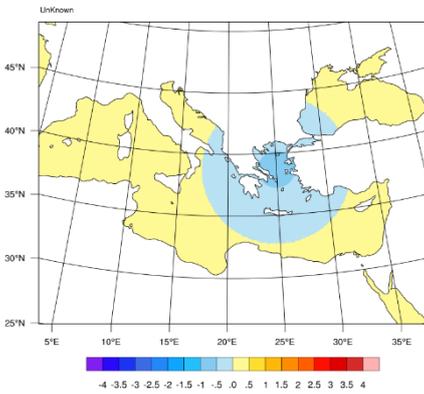
(α)

REAL-TIME WRF  
Int: 2021-02-13\_12:00:00



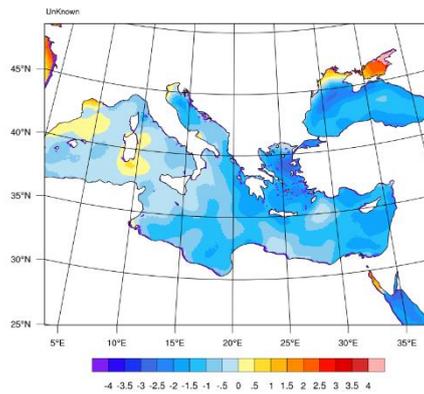
(δ)

REAL-TIME WRF  
Int: 2021-02-13\_12:00:00



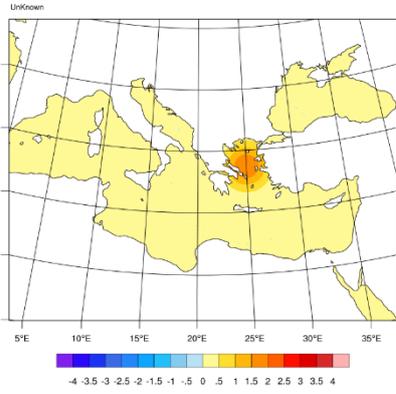
(ζ)

REAL-TIME WRF  
Int: 2021-02-13\_12:00:00



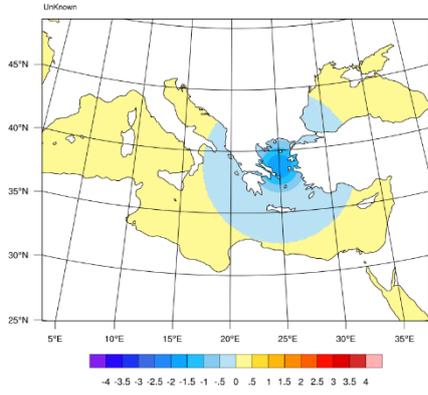
(β)

REAL-TIME WRF  
Int: 2021-02-13\_12:00:00



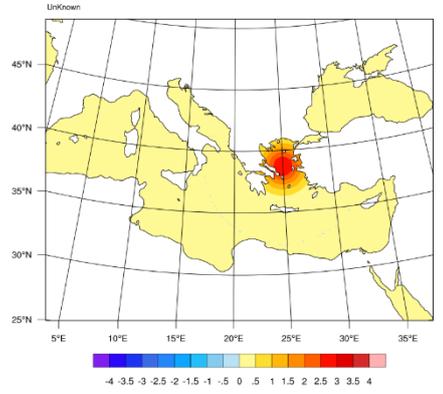
(ε)

REAL-TIME WRF  
Int: 2021-02-13\_12:00:00



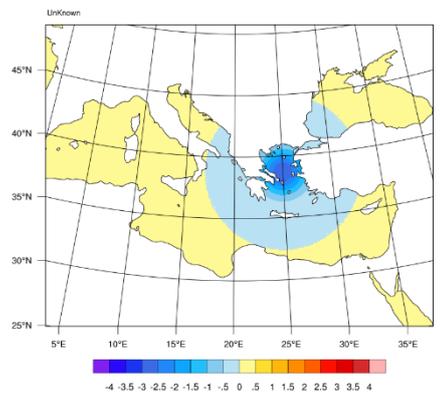
(γ)

REAL-TIME WRF  
Int: 2021-02-13\_12:00:00



(στ)

REAL-TIME WRF  
Int: 2021-02-13\_12:00:00



Σχήμα 5.1 Χάρτες με τις διαφορές της θερμοκρασίας θάλασσας του κάθε πειράματος από το πείραμα CONTROL (α) πείραμα P1, (β) πείραμα P2, (γ) πείραμα P3, (δ) πείραμα M1, (ε) πείραμα M2, (στ) πείραμα M3 (ζ) πείραμα CLIMA Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

Για να γίνει η μελέτη της επιρροής των ανωμαλιών πραγματοποιήθηκε μελέτη σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε συνοπτική ανάλυση με χάρτες καιρού που δημιουργήθηκαν με τα προγράμματα NCL και GRADS με δεδομένα για κάθε ένα από τα πειράματα του πίνακα 5.1. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε για τις ημερομηνίες 14 Φεβρουαρίου έως 16 Φεβρουαρίου του 2021, λόγω του ότι αυτές είναι οι ημέρες που το φαινόμενο χαρακτηρίστηκε ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow). Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση για όλη την διάρκεια του φαινομένου της Μήδεια για όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Η στατιστική ανάλυση συμπεριλαμβάνει την ανάλυση του υετού και του χιονιού για κάθε πείραμα, την διαφορά της θερμοκρασίας επιφανείας της θάλασσας από την θερμοκρασία στα 850hPa (που αποτελεί ένα από τα κύρια κριτήρια για την κατηγοριοποίηση ενός μοντέλου στο φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow)), καθώς και την ροή υγρασίας (Latent Heat Flux) και θερμότητας (Sensible Heat Flux) για κάθε πείραμα.

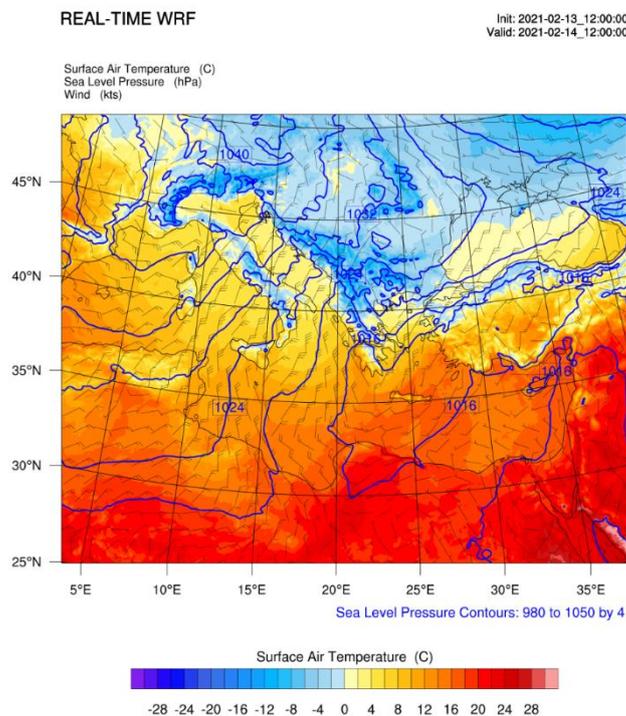
Πίνακας 5. 1 Τα πειράματα που διενεργήθηκαν για το κεφάλαιο αυτό με τα χαρακτηριστικά τους. Στήλη 1: Όνομα πειράματος. Στήλη 2 και Στήλη 3: Σχήματα για την παραμετροποίηση της ανωμαλίας, του οριακού στρώματος και του επιφανειακού στρώματος του μοντέλου WRF-ARW. Στήλη 4: Δεδομένα θερμοκρασιών θάλασσας. Στήλη 5: επιπρόσθετη ανωμαλία στις θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας.

Όνομα	Σχήμα Παραμετροποίησης ανωμαλίας	Σχήμα Παραμετροποίησης επίδρασης πλανητικού οριακού στρώματος	Θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας	Επιπρόσθετη Ανωμαλία
CONTROL	Χωρίς Παραμετροποίηση	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	ΌΧΙ
P1	Χωρίς Παραμετροποίηση	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας του Αιγαίου αυξάνονται με την προσθήκη Γκαουσιανής ανωμαλίας με μέγιστο 1° C
P2	Χωρίς Παραμετροποίηση	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας του Αιγαίου αυξάνονται με την προσθήκη Γκαουσιανής ανωμαλίας με μέγιστο 2° C
P3	Χωρίς Παραμετροποίηση	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας του Αιγαίου αυξάνονται με την προσθήκη Γκαουσιανής ανωμαλίας με μέγιστο 3° C
M1	Χωρίς Παραμετροποίηση	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας του Αιγαίου μειώνονται με την προσθήκη Γκαουσιανής ανωμαλίας με ελάχιστο -1° C
M2	Χωρίς Παραμετροποίηση	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας του Αιγαίου μειώνονται με την προσθήκη Γκαουσιανής ανωμαλίας με ελάχιστο -2° C
M3	Χωρίς Παραμετροποίηση	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	NCEP (ανάλυση 1/12 της μοίρας)	Οι θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας του Αιγαίου μειώνονται με την προσθήκη Γκαουσιανής ανωμαλίας με ελάχιστο -3° C
CLIMA	Χωρίς Παραμετροποίηση	Yonsei University (bL_pbl_physics = 1) / (sf_sfclay_physics=1)	Κλιματολογικά SSTs (ανάλυση 1 μοίρας)	ΌΧΙ

## 5.2 Ανάλυση και περιγραφή της βασικής συνοπτικής κατάστασης που παρουσιάζεται από το πείραμα CONTROL

### 5.2.1 Ανάλυση για 14 Φεβρουαρίου 2021

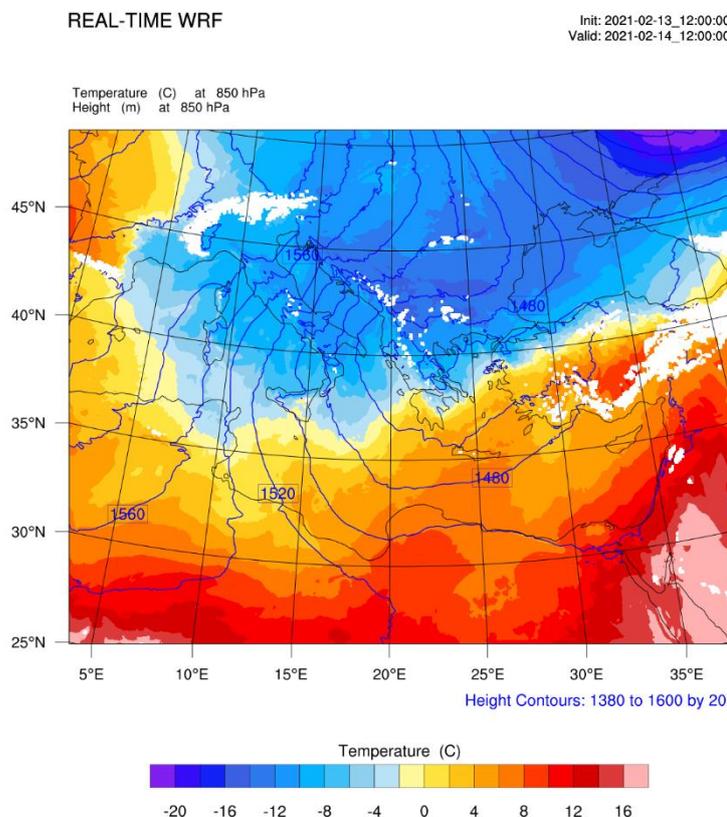
Στο *σχήμα 5.2* παρουσιάζεται ο χάρτης επιφανείας με ισοβαρείς γραμμές για την πίεση στην μέση στάθμη θάλασσας καθώς και την θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια για το πείραμα CONTROL. Για το πείραμα CONTROL παρατηρείται ότι για την 14<sup>η</sup> Φεβρουαρίου του 2021 οι θερμοκρασίες επιφανείας είναι υπό του μηδενός για όλη την χώρα, με την περιοχή της Αττικής, Εύβοιας και Βοιωτίας (όπου εμφανίζονται τα πιο έντονα αποτελέσματα για το φαινόμενο του φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow)) έχουν θερμοκρασίες κοντά στους 0 °C. Οι ισοβαρείς είναι πυκνές πάνω από την Ελλάδα με ροή από τα βορειοανατολικά πάνω από το Αιγαίο. Η συνοπτική εικόνα των πιέσεων, όπως και στην συνοπτική ανάλυση των πραγματικών δεδομένων παρουσιάζει ένα ζεύγος ενός χαμηλού βαρομετρικού στα ανατολικά, με χαμηλές πιέσεις και κέντρο πάνω από την Δυτική Τουρκία και υψηλές πιέσεις πάνω από την κεντρική Ευρώπη που μεταφέρουν ψυχρές αέριες μάζες από τα Βόρεια.



*Σχήμα 5. 2* Χάρτης πίεσης μέσης στάθμης θάλασσας (MSLP). Οι μπλε γραμμές αντιστοιχούν στις ισοβαρείς της επιφανείας θάλασσας ανά 4 hPa και τα χρώματα (contours) υποδηλώνουν την θερμοκρασία σε βαθμούς Celsius ανά 4o

### 5.2.1.1 Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 850hPa

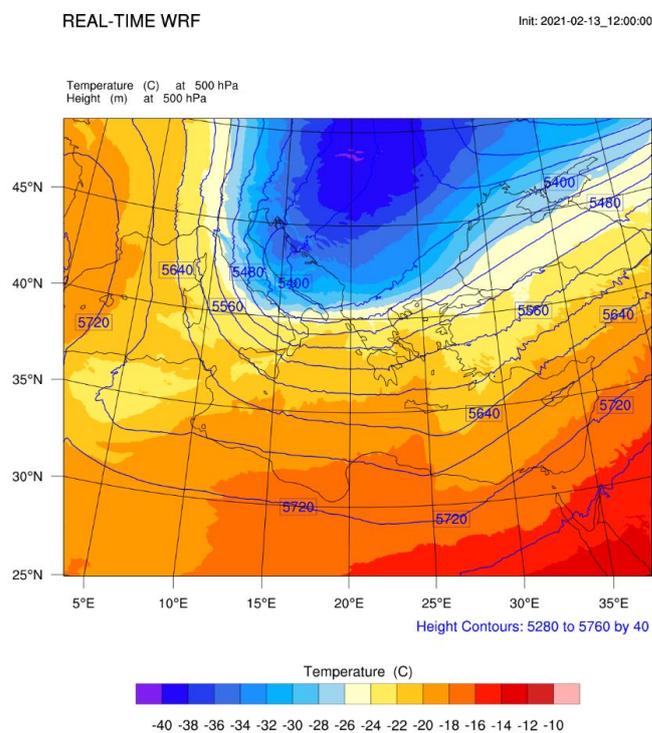
Το πείραμα CONTROL (Σχήμα 5.3) αναδεικνύει κέντρο χαμηλών γεωδυναμικών υψών πάνω από την Ελλάδα στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa, με το κέντρο πάνω από την Ελλάδα να είναι κοντά στα 1440 gpm. Η ροή δυτικά της Ελλάδας είναι βορειοανατολική μεταφέροντας ψυχρές αέριες μάζες νοτιότερα, πάνω από τα Βαλκάνια που επηρεάζουν και τις θερμοκρασίες της Ελλάδας. Η θερμοκρασία πάνω από την Ελλάδα στα 850 hPa βρίσκεται υπό του μηδενός εκτός από την περιοχή της Κρήτης και του νότιου Αιγαίου που έχουν θερμοκρασίες λίγους βαθμούς πάνω από το μηδέν. Πάνω από το βόρειο Αιγαίο η ροή είναι επίσης βορειοανατολική, με τα χαμηλότερα γεωδυναμικά ύψη να παρατηρούνται στην περιοχή.



Σχήμα 5. 3 Χάρτης ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa. Οι μπλε γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20 gpm. Τα χρώματα (contours) υποδηλώνουν την θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου ανά 4oC. Ημερομηνία: 14/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.1.2 Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 500hPa

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.4) η εικόνα της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa παρουσιάζει έναν αυλώνα που εκτείνεται από τα βόρεια κι την νοτιοδυτική Ρωσία, πάνω από τα βαλκάνια και φθάνει πάνω από την μεσόγειο. Ο ψυχρός πυρήνας με θερμοκρασίες χαμηλότερες των  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  μεταφέρεται προς τα νότια και επηρεάζει και την περιοχή ενδιαφέροντος. Οι πυκνές ισοϋψείς πάνω από την Ελλάδα αντιστοιχούν σε καλά δομημένη δυτική-νοτιοδυτική ροή με ύψη 5580 – 5440 gpm πάνω από την Ελλάδα και θερμοκρασίες στο εύρος των  $-20$  έως  $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

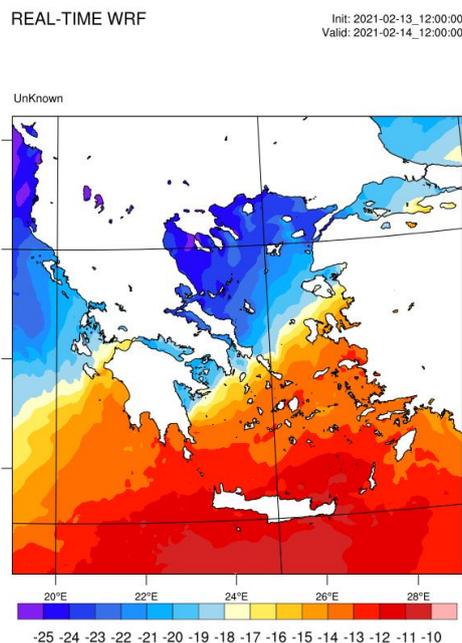


Σχήμα 5. 4 Χάρτης ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa. Οι μπλε γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20 gpm. Τα βελάκια (barbs) αντιστοιχούν στον άνεμο και τα χρώματα (contours) υποδηλώνουν την θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου ανά 4οC Ημερομηνία: 14/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.1.3 Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ 850 hPa και επιφάνειας της θάλασσας

Η μεταβλητή αυτή υπολογίζεται ως ένα από τα κύρια κριτήρια για την κατάταξη ενός φαινομένου ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow). Συγκεκριμένα για να είναι το φαινόμενο σε αυτή την κατηγορία η διαφορά θερμοκρασίας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 13 °C.

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.5) οι διαφορές θερμοκρασίας πάνω από την υδάτινη περιοχή της χώρας από τα βόρεια μέχρι το γεωγραφικό πλάτος των Κυκλάδων είναι μεγαλύτερες των 13 °C, και μάλιστα στο βόρειο Αιγαίο όπου είναι και η περιοχή ενδιαφέροντος οι τιμές των διαφορών θερμοκρασίας είναι σχετικά πολύ μεγάλες, άνω των 18 °C. Είναι σημαντικό εδώ να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη μεταβλητή εξαρτάται τόσο από την θερμοκρασία στα 850 hPa όσο και από τις θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας. Είναι προφανές ότι οι θερμοκρασίες επιφάνειας θάλασσας για τα πειράματα Ρi και Μi θα έχουν σταθερή διαφορά μεταξύ τους ανάλογα με την ανωμαλία που έχει προστεθεί και έτσι οι διαφορές στους χάρτες των πειραμάτων που μελετιούνται εδώ εξαρτούνται κυρίως από τις μεταβολές στις θερμοκρασίες των 850 hPa.



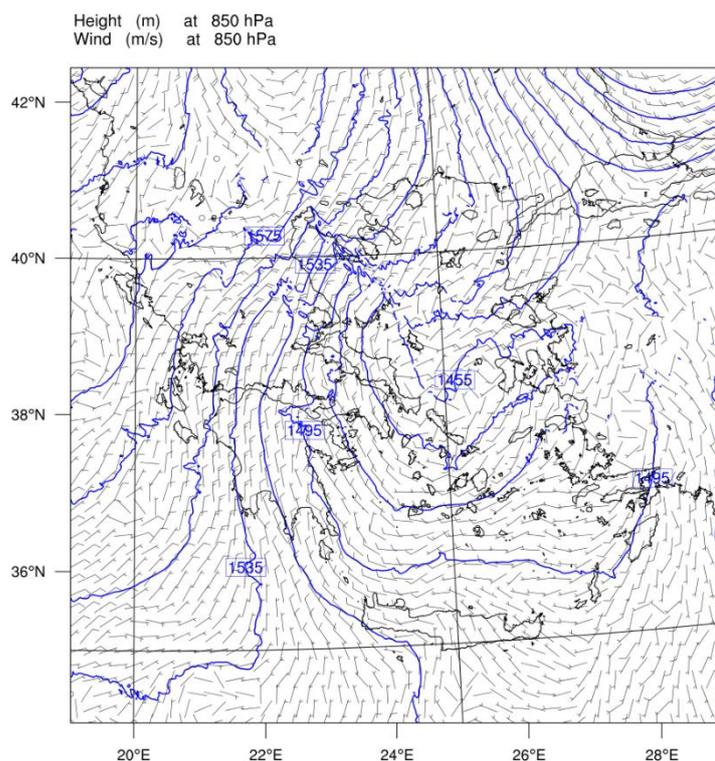
Σχήμα 5. 5 Διαφορά θερμοκρασίας της επιφανείας θάλασσας (SST) από την θερμοκρασία στα 850 hPa. Τα χρώματα (contours) αντιστοιχούν στην διαφορά θερμοκρασίας (850 hPa – SST) ανά 1 οC. Χρόνος: 14/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

#### 5.2.1.4 Άνεμος στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.6), ο άνεμος στα 850 hPa παίρνει σχετικά μικρές τιμές πάνω από ολόκληρη την χώρα με τιμές 5-10 m/s με την κατεύθυνση των ανέμων να επηρεάζεται φυσικά από το χαμηλό και να παρουσιάζεται η εξής εικόνα για τους ανέμους: βόρειοι- βορειοανατολικοί στα βόρεια της χώρας (Βορειοανατολικοί πάνω από το βόρειο Αιγαίο), βόρειοι πάνω από την Δυτική Ελλάδα, Στερεά Ελλάδα και Πελοπόννησο, δυτικοί πάνω από την Κρήτη και νοτιοδυτικοί πάνω από τις Κυκλάδες. Ο άνεμος δείχνει να παίρνει τις μέγιστες ταχύτητες του πάνω από Στερεά Ελλάδα και την Θεσσαλία (έως και 20 m/s). Η μέση τιμή ταχύτητας ανέμου για όλη την Ελλάδα είναι 8,37 m/s ενώ για το βόρειο Αιγαίο, εκεί όπου οι τιμές της ταχύτητας είναι μεγαλύτερες η μέση τιμή είναι 10,36 m/s.

REAL-TIME WRF

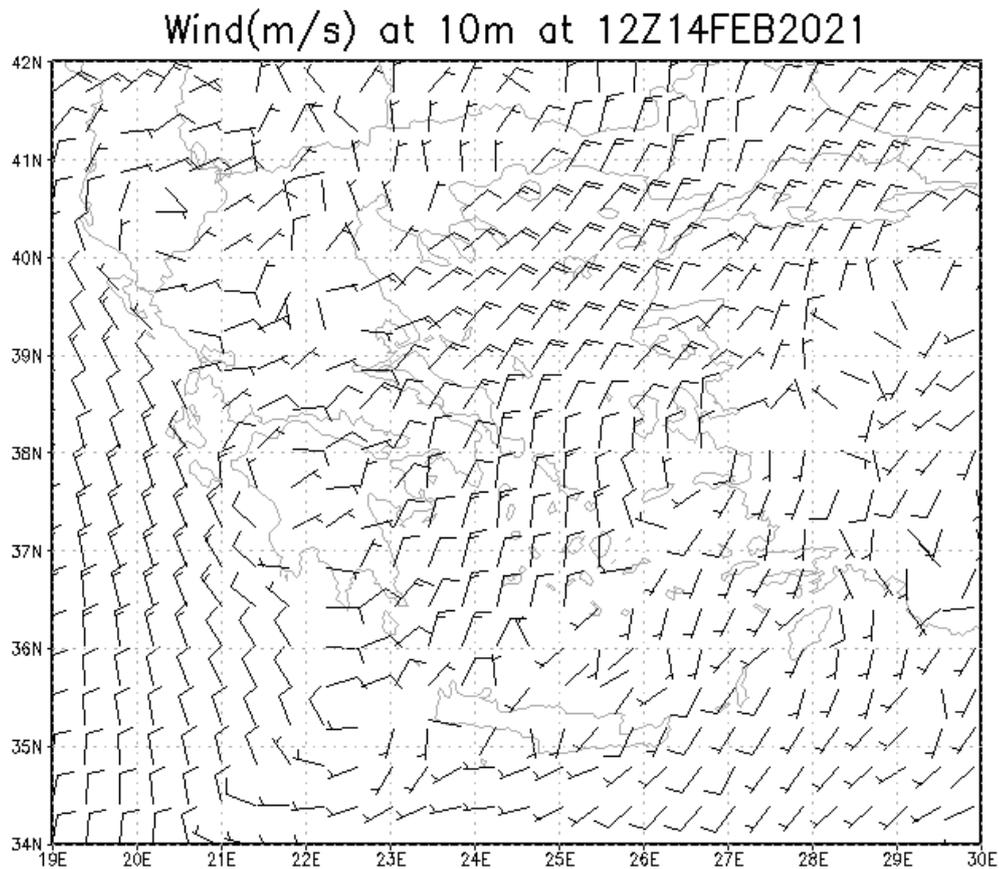
Init: 2021-02-13\_12:00:00  
Valid: 2021-02-14\_12:00:00



Σχήμα 5. 6 Χάρτης ανέμου στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa. Η μια γραμμή στα βελάνια (barbs) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Οι μπλε γραμμές αντιστοιχούν στις ισοϋψείς της ισοβαρικής επιφανείας ανά 20 gpm. Ημερομηνία: 14/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.1.5 Άνεμος στα 10 μέτρα από την επιφάνεια

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.7) ο άνεμος παρατηρείται να έχει μέση τιμή περίπου 15 m/s στην ελληνική περιοχή. Είναι εμφανές πως το κριτήριο του φαινομένου χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) καλύπτεται ενώ πάνω από όλη την Ελλάδα η μέση τιμή της ταχύτητας ανέμου είναι 8,6 m/s, αυτό συμβαίνει λόγω της σχετικής νηνεμίας που παρατηρείται πάνω από την ηπειρωτική Ελλάδα, καθώς και ένα μέρος των Κυκλάδων και της Κρήτης. Πάνω από το Αιγαίο η κατεύθυνση του ανέμου είναι βόρεια -βορειοανατολική (βορειοανατολική στο βόρειο Αιγαίο).



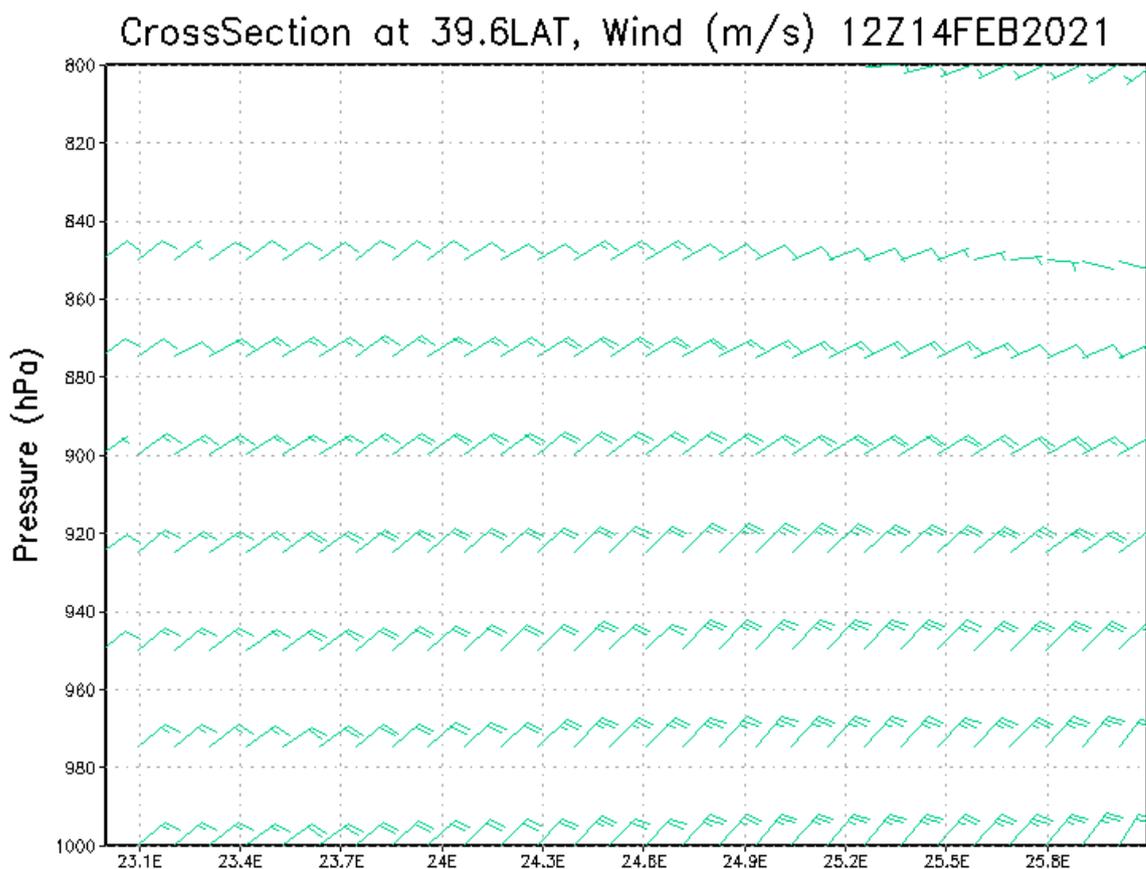
Σχήμα 5. 7 Χάρτης ανέμου στα 10 m από τη επιφάνεια. Η μια γραμμή στα βελάκια (barbs) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Ημερομηνία: 14/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.1.6 Κάθετη τομή με την μεταβλητή του ανέμου

Η κάθετη τομή υπολογίζεται σε γεωγραφικό πλάτος 39,6N και γεωγραφικά μήκη 23,0E έως 26,1.

Η μεταβλητή αυτή ανήκει στα κριτήρια για το φαινόμενο του φαινομένου χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow). Συγκεκριμένα, η στροφή του ανέμου (wind shear) πρέπει να είναι μικρότερη των 60° από την επιφάνεια στα 850 hPa. Τα αποτελέσματα για την μεταβλητή αυτή παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.8*.

Για το πείραμα CONTROL παρατηρείται ότι η κατεύθυνση του ανέμου δεν αλλάζει ιδιαίτερα με το ύψος της ατμόσφαιρας και άρα το φαινόμενα μπορεί εύκολα να κατηγοριοποιηθεί ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) και από τα αποτελέσματα του πειράματος CONTROL.



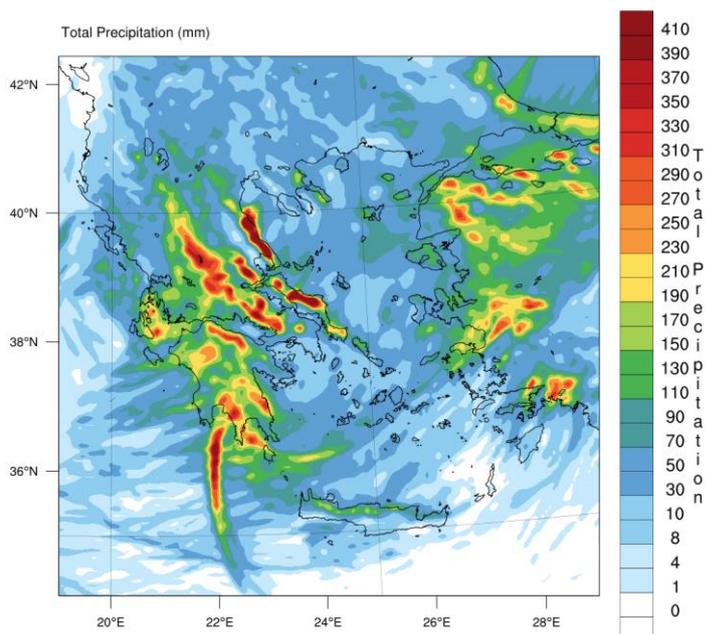
*Σχήμα 5. 8 Κατακόρυφη τομή από τα 1000 έως τα 800 hPa με βελάκια (barbs) που αντιστοιχούν στον άνεμο. Μία γραμμή αντιστοιχεί στα 10m/s. Η κατακόρυφη τομή υπολογίζεται στην περιοχή του σχήματος 3.47. Χρόνος: 14/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF*

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.9) στις 14 Φεβρουαρίου του 2021 ο υετός παρουσιάζει μέση τιμή 13,9 mm για τις περιοχές όπου το φαινόμενο έλαβε χώρα. Τα μέγιστα ποσά ημερήσιου υετού εμφανίζονται στην περιοχή της Εύβοιας, της Στερεάς Ελλάδας γενικότερα και κυρίως της Βοιωτίας αλλά και στην νότια Πελοπόννησο. Παρόλα αυτά υετός εμφανίζεται σε μικρότερα ποσά πάνω από ολόκληρη την χώρα.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του πειράματος CONTROL μπορούν μόνο κατά ένα μικρό μέρος να συγκριθούν με τα δεδομένα των παρατηρήσεων καθώς οι διαθέσιμοι σταθμοί για την καταγραφή υετού είναι πολύ λίγοι. Παρόλα αυτά ο μέσος υετός που καταγράφεται στις περιοχές τις οποίες επηρέασε το φαινόμενο είναι 9,25 mm για τα πραγματικά δεδομένα και 7,5 mm για το πείραμα CONTROL. Επίσης στις περιοχές που καταγράφεται υετός από τα πραγματικά δεδομένα, καταγράφεται υετός και από το μοντέλο.

Zoomed in plot

Init: 2021-02-13 12:00:00  
Valid: 2021-02-15 00:00:00

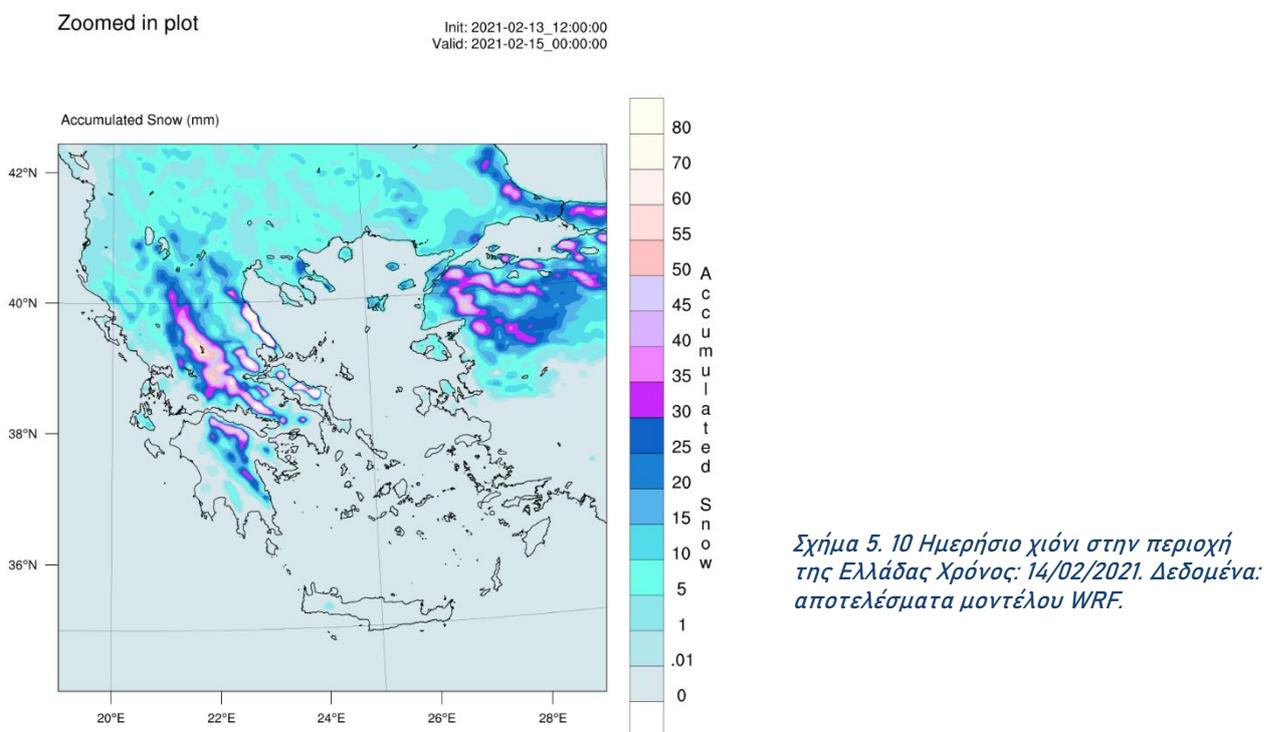


Σχήμα 5. 9 Ημερήσιος υετός στην περιοχή της Ελλάδας Χρόνος: 14/02/2021. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

Για το πείραμα CONTROL τα αποτελέσματα του αθροιστικού χιονιού για την ημέρα παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.10*. Τα μέγιστα ύψη χιονιού παρατηρούνται πάνω από την κεντρική Εύβοια, την Βοιωτία καθώς και την Λάρισα και τον νομό Μαγνησίας. Χιόνι εμφανίζεται σε όλη την Βόρεια Ελλάδα (με μικρότερα σχετικά ύψη από ότι στα νοτιότερα), στην Θεσσαλία, Στερεά Ελλάδα και μέχρι του νομούς Αχαΐας, Κορινθίας και Αργολίδας. Χιόνι επίσης καταγράφεται στα νησιά του βορείου Αιγαίου αλλά όχι σε αυτά του νοτίου και την Κρήτη, επίσης η Δυτική Ελλάδα και τα νησιά του Ιονίου δεν αντιστοιχούν σε περιοχές με παρουσία χιονιού.

Χιόνι όμως παρουσιάζεται και σε όλη την βόρεια Ελλάδα με μικρότερα όμως ύψη. Το ύψος χιονιού για την ημέρα από το μοντέλο είναι 125 mm και το μέσο ύψος του χιονιού είναι 10,3 mm.

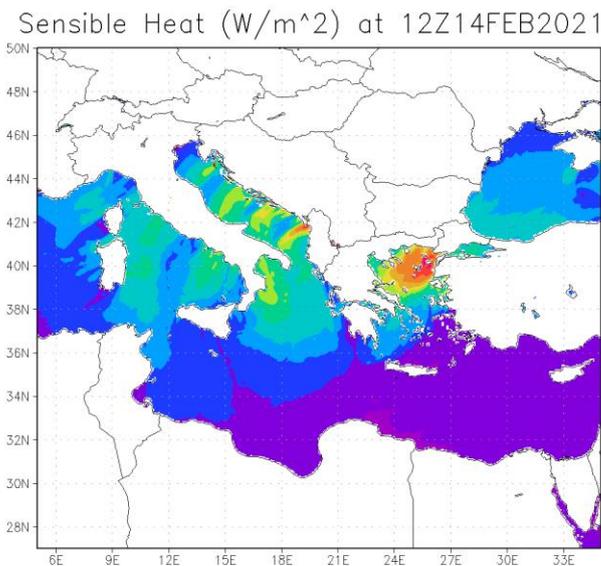
Φυσικά η σύγκριση με τα πραγματικά δεδομένα μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο ποιοτικά καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα ύψους χιονιού από επίσημες πηγές. Για όλους τους σταθμούς που καταγράφεται χιόνι από τα πραγματικά δεδομένα καταγράφεται χιόνι και από το πείραμα CONTROL. Υπάρχουν κάποιοι σταθμοί στα νότια της χώρας (π.χ. Τατόι, Ελευσίνα και Σπάτα) που παρότι δεν καταγράφεται χιόνι στα πραγματικά δεδομένα, τα ημερήσια δεδομένα για το πείραμα CONTROL καταγράφουν πολύ μικρό ποσό χιονιού (μόνο κάποια μm).



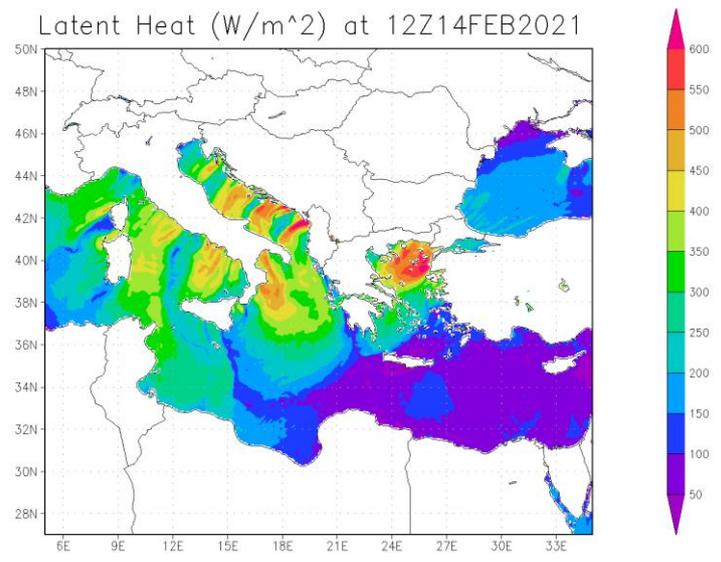
### 5.2.1.9 Ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας

Η μέση τιμή της επιφανειακής ροής λανθάνουσας θερμότητας (Σχήμα 5.11β) για την θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου είναι  $206,39 \text{ W/m}^2$  και η μέση τιμή της επιφανειακής ροής αισθητής θερμότητας (Σχήμα 5.11α) είναι  $88,9 \text{ W/m}^2$ . Οι τιμές αυτές θεωρούνται σχετικά υψηλές και συνάδουν με την έντονη κυκλοφορία και αστάθεια στην περιοχή. Πάνω από τα ύδατα της Ελλάδας και ιδιαίτερα του βόρειου Αιγαίου παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές, με τιμή πάνω από τα  $550 \text{ W/m}^2$  για την ροή λανθάνουσας θερμότητας και πάνω από τα  $450 \text{ W/m}^2$  για την ροή της αισθητής θερμότητας. Οι υψηλές τιμές για τις ροές αυτές της επιφάνειας για την Μεσόγειο έχει επιβεβαιωθεί ότι είναι ανάλογες της αστάθειας και την ενίσχυση των υφέσεων πάνω από την Ελλάδα και συμπληρωματικά του υετού που παρατηρείται στην περιοχή (Lolis et al., 2004).

(α)



(β)

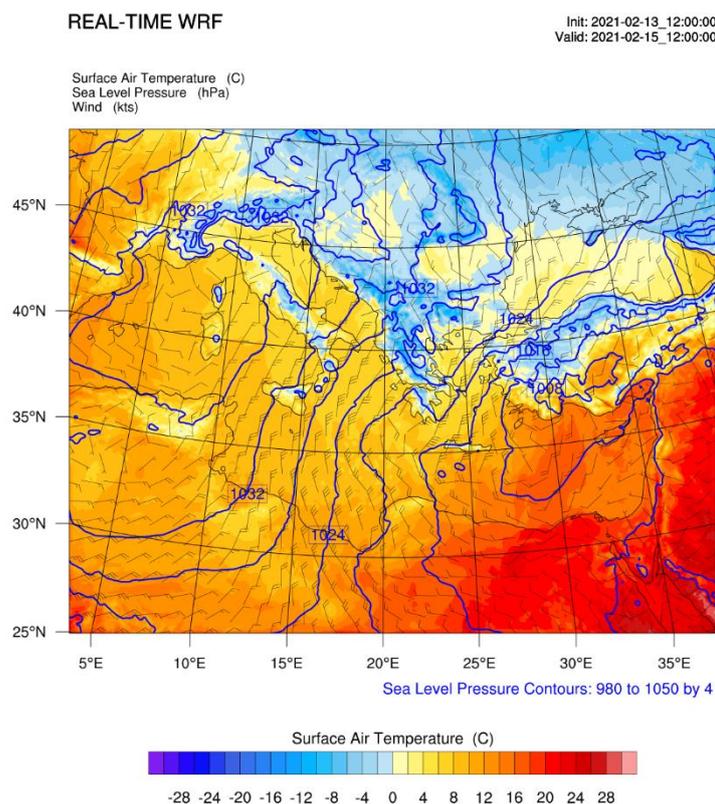


Σχήμα 5. 11 Επιφανειακές ροές αισθητής (α) και λανθάνουσας (β) θερμότητας στην περιοχή της Μεσογείου Μονάδα μέτρησης  $\text{W/m}^2$ . Χρόνος: 14/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

## 5.2.2 Ανάλυση για 15 Φεβρουαρίου 2021

### 5.2.2.1 Πίεση μέσης στάθμης θάλασσας:

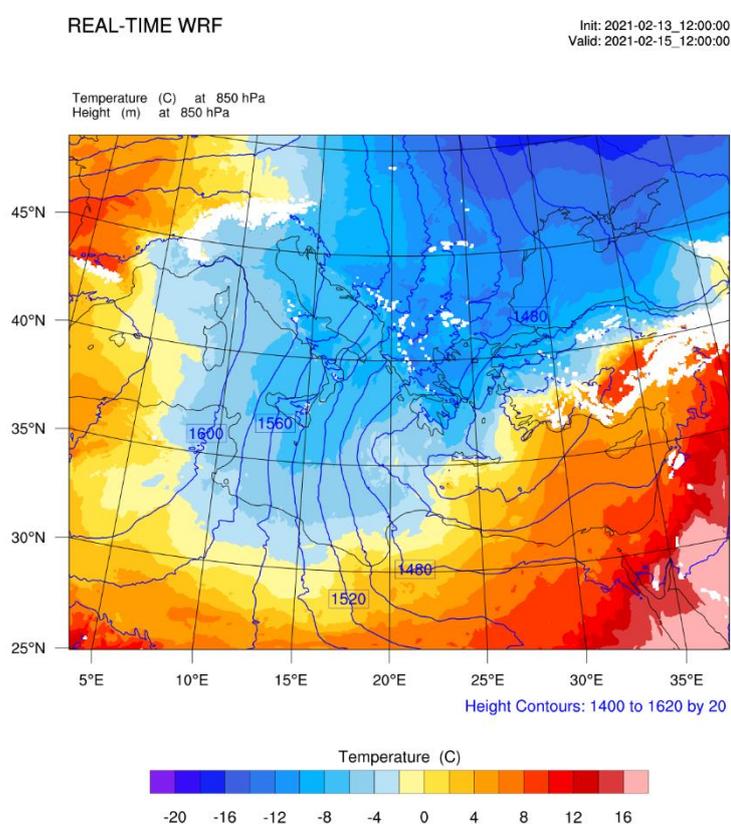
Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.12) το χαμηλό πάνω από την Ελλάδα μετακινείται ανατολικότερα, πάνω από την Ελλάδα οι ισοβαρείς στρέφονται ούτως ώστε να είναι περισσότερο προσανατολισμένες στην διεύθυνση βορρά-νότου και πιο πυκνές πάνω από όλη την Ελληνική περιοχή και ιδιαίτερα πάνω από το Αιγαίο. Οι θερμοκρασίες επιφανείας στην Ελλάδα μειώνονται, και όλη η Ελλάδα με εξαίρεση τα νότια Δωδεκάνησα φαίνεται να βρίσκεται υπό του μηδενός. Η θερμοκρασία στην βόρεια Ελλάδα αυξάνεται σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα ενώ μειώνεται στη νότια χώρα.



Σχήμα 5. 12 Χάρτης πίεσης μέσης επιφανείας θάλασσας (MSLP) . Οι μπλε γραμμές αντιστοιχούν στις ισοβαρείς της επιφανείας θάλασσας ανά 4 hPa και τα χρώματα (contours) υποδηλώνουν την θερμοκρασία ανά 4ο C. Ημερομηνία: 15/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.2.2 Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 850hPa

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.13) η ροή πάνω από την Ελλάδα παρουσιάζεται περισσότερο δομημένη με ξεκάθαρη ροή από τα βορειοανατολικά, που χαράζουν οι πυκνές ισοϋψείς πάνω από την Ελληνική περιοχή. Το μέσο ύψος πάνω από την Ελλάδα είναι 1478 gpm. Οι θερμοκρασίες στα 850 hPa πάνω από την Ελλάδα βρίσκονται στο εύρος των  $-2$  έως  $-12^{\circ}\text{C}$  και επηρεάζονται από τις ψυχρές αέριες μάζες που μετακινούνται από τα βόρεια προς τα νότια λόγω της ροής που δημιουργείται από το ζεύγος χαμηλών πιέσεων στα ανατολικά και την νότια Τουρκία και τις υψηλές πιέσεις πάνω από την κεντρική Ευρώπη.



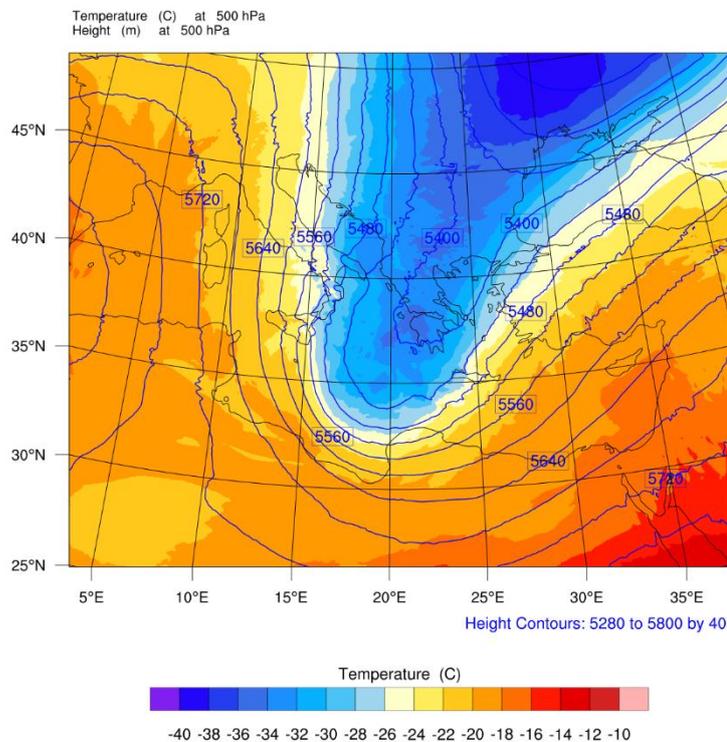
Σχήμα 5. 13 Χάρτης ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa. Οι μπλε γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20 gpm. Τα χρώματα (contours) υποδηλώνουν την θερμοκρασία ανά 4oC Ημερομηνία: 15/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.2.3 Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 500hPa

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.14), ο αυλώνας χαμηλών γεωδυναμικών υψών που παρουσιάζεται στις 14/02/2021 μετακινείται τώρα νοτιότερα και εκτείνεται πάνω από την περιοχή της Ελλάδας μεταφέροντας τις ψυχρές αέριες μάζες που μεταφέρονται από τα βόρεια. Οι θερμοκρασίες πάνω από την Ελλάδα στα 500 hPa έχουν μέση τιμή (στο κουτί 21.0-27.5 B και 35.0-41.5 A) στους  $-32,7^{\circ}\text{C}$ . Το μέσο γεωδυναμικό ύψος πάνω από την Ελλάδα είναι 5413,1 grm.

REAL-TIME WRF

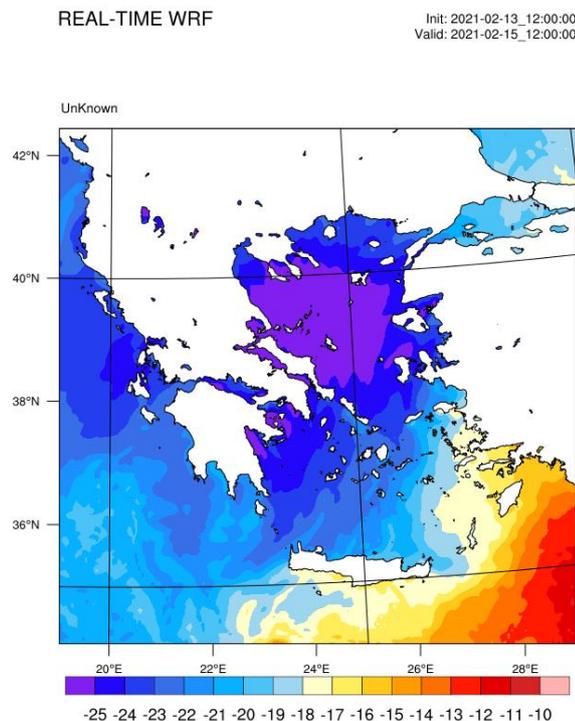
Init: 2021-02-13\_12:00:00



Σχήμα 5.14 Χάρτης ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa. Οι μπλε γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20 grm. Τα χρώματα (contours) υποδηλώνουν την θερμοκρασία ανά 40C Ημερομηνία: 15/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

#### 5.2.2.4 Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ 850 hPa και επιφάνειας της θάλασσας

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.15) η διαφορά θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa σε σχέση με την θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας αυξάνεται σε σχέση με αυτή της 14<sup>ης</sup> Φεβρουαρίου. Η διαφορά είναι μεγαλύτερη των 13°C στις περισσότερες συντεταγμένες της Ελληνικής περιοχής. Πάνω από το βόρειο Αιγαίο, όπου η διαφορά είναι και η πιο σημαντική για την κατηγοριοποίηση του φαινομένου ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow), η διαφορά φαίνεται να είναι μεγαλύτερη των 22°C και έτσι για το πείραμα CONTROL το κριτήριο ικανοποιείται.



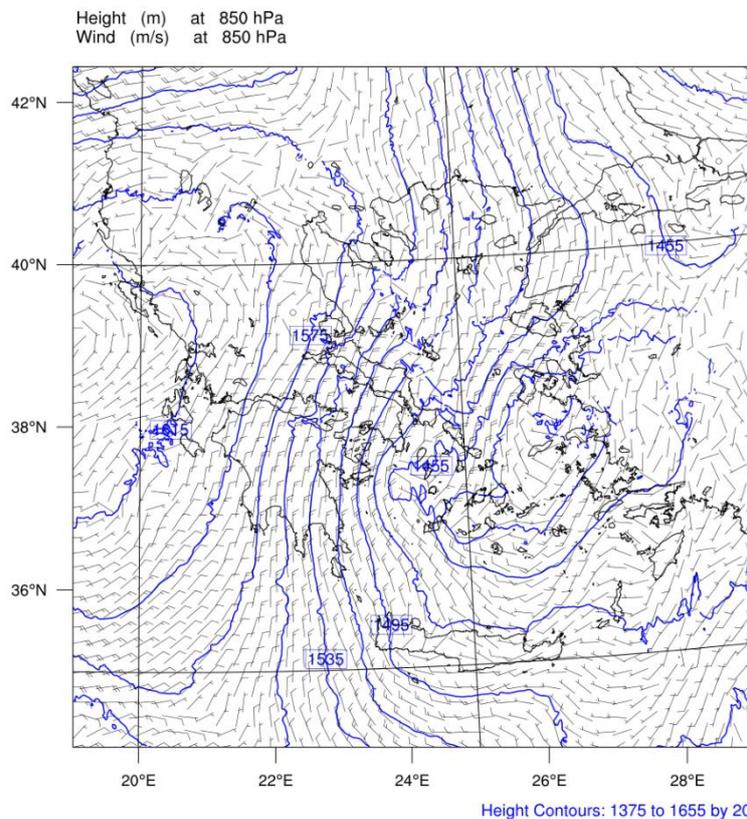
Σχήμα 5. 15 Διαφορά θερμοκρασίας της επιφανείας θάλασσας (SST) από την θερμοκρασία στα 850 hPa. Τα χρώματα (contours) αντιστοιχούν στην διαφορά θερμοκρασίας (850 hPa – SST) ανά 1 οC. Χρόνος: 15/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.2.5 Άνεμος στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa

Τα αποτελέσματα για τον άνεμο των 850 hPa για τις 15/02/2021 παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.16*. Για το πείραμα CONTROL ο άνεμος στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa έχει κατά κύριο λόγο βόρεια - βορειοανατολική κατεύθυνση, που ακολουθεί την μετατόπιση των ισοϋψών προς τα ανατολικά. Η μέση τιμή της ταχύτητας ανέμου πάνω από όλη την Ελλάδα είναι 11,9 m/s ενώ πάνω από το βόρειο Αιγαίο η μέση ταχύτητα ανέμου είναι 17 m/s.

REAL-TIME WRF

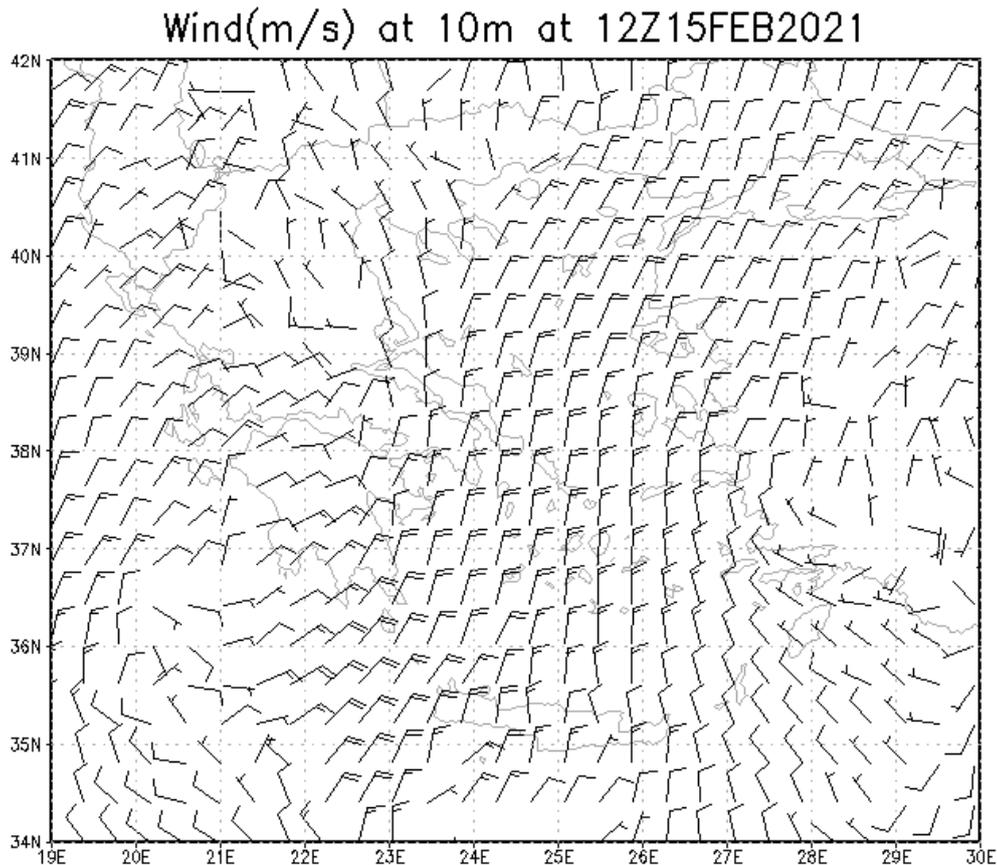
Init: 2021-02-13\_12:00:00  
Valid: 2021-02-15\_12:00:00



*Σχήμα 5. 16* Χάρτες ανέμου στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa . Η μια γραμμή στα βελάκια (*barbs*) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Οι μπλε γραμμές αντιστοιχούν στις ισοϋψείς της ισοβαρικής επιφάνειας ανά 20 gpm. Ημερομηνία: 15/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.2.6 Άνεμος στα 10 μέτρα από την επιφάνεια

Για τον άνεμο στα 10m από την επιφάνεια τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.17*. Για το πείραμα CONTROL, η κατεύθυνση του ανέμου κοντά στην επιφάνεια στην περιοχή ενδιαφέροντος παραμένει βόρεια -βορειοανατολική χωρίς έντονη διαφορά μεταξύ των διευθύνσεων. Η μέση ταχύτητα του ανέμου για το πείραμα CONTROL είναι 10,68 m/s για όλη την Ελλάδα και 14,13 m/s πάνω από το βόρειο Αιγαίο.

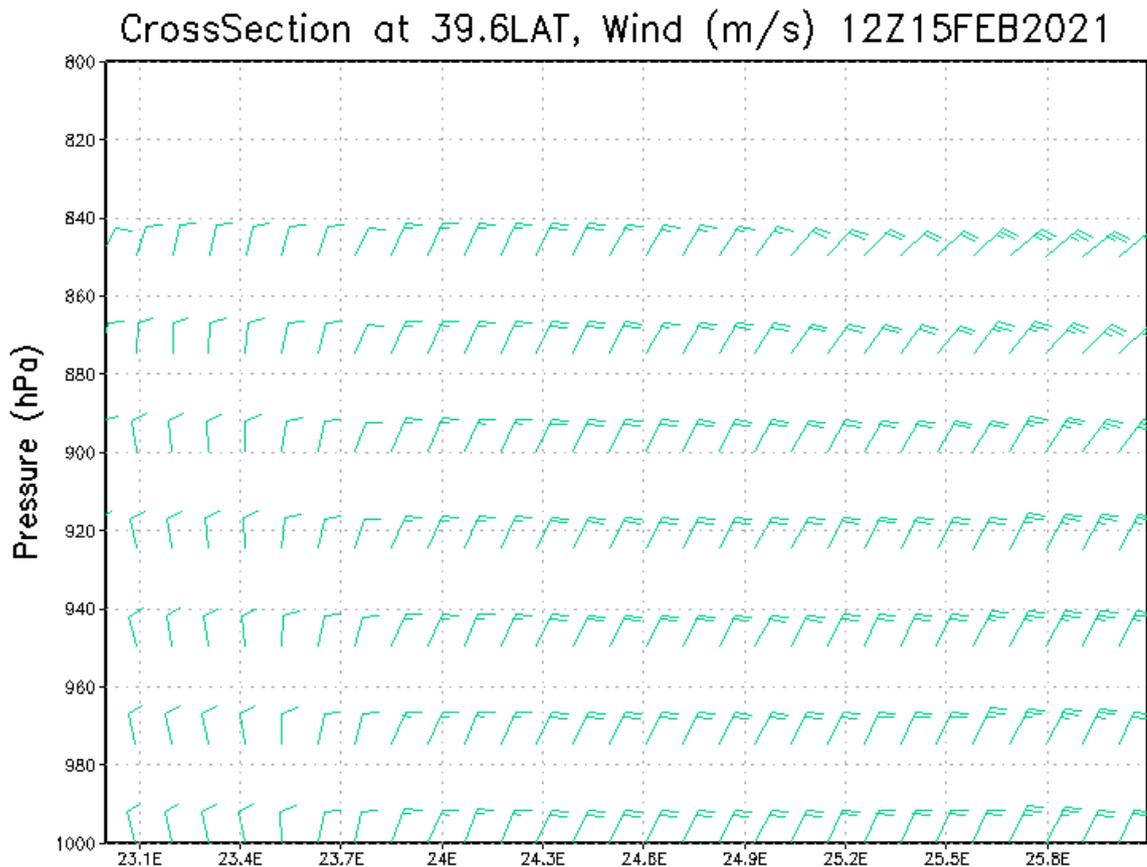


*Σχήμα 5. 17* Χάρτες ανέμου στα 10 m από τη επιφάνεια. Η μια γραμμή στα βελάκια (barbs) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Οι μπλε γραμμές αντιστοιχούν στις ισοψείς της ισοβαρικής επιφανείας ανά 20 gpm. Ημερομηνία: 15/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.2.7 Κάθετη τομή με την μεταβλητή του ανέμου

Η κάθετη τομή υπολογίζεται στο γεωγραφικό πλάτος 39,6N και στα γεωγραφικά μήκη 23,0E έως 26,1E:

Τα αποτελέσματα της μεταβλητής παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.18*. Για το πείραμα CONTROL η στροφή του ανέμου από την επιφάνεια στα 850 hPa είναι μικρότερη τω 60° για όλα τα γεωγραφικά μήκη και έτσι το πείραμα πληροί το κριτήριο.



GrADS: COLA/IGES

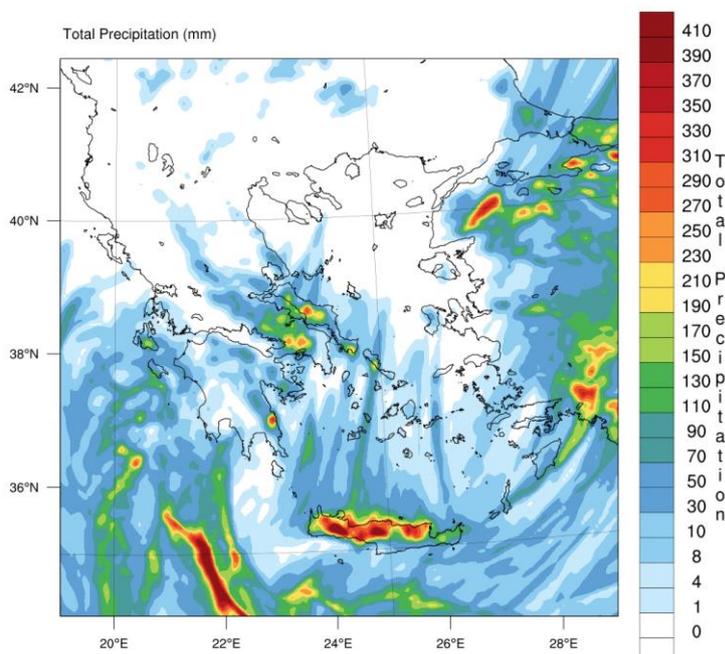
2022-09-07-12:15

*Σχήμα 5. 18 Κατακόρυφη τομή του ανέμου από τα 1000 έως τα 800 hPa με βελάκια (barbs) που αντιστοιχούν στον άνεμο. Μία γραμμή αντιστοιχεί στα 10m/s. Η κατακόρυφη τομή υπολογίζεται στην περιοχή του σχήματος 3.47. Χρόνος: 15/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF*

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.19), υετός καταγράφεται στις περιοχές της Βοιωτίας, της Εύβοιας και της Αττικής, όπως επίσης και στην Αργολίδα και Λακωνία, το νότιο Αιγαίο και την Κρήτη. Το μέσο ύψος υετού για τις 15/02/2021 είναι 6,62 mm στις περιοχές που επηρεάζει το φαινόμενο. Οι περιοχές που καταγράφηκε υετός στα πραγματικά δεδομένα συνάδουν με αυτές που υπολογίστηκαν από το μοντέλο για το πείραμα CONTROL, και το μέσο ύψος ημερήσιου υετού για τα πραγματικά δεδομένα είναι 4,51 mm που διαφέρει μόνο κατά 2,12 mm από το αποτέλεσμα του πειράματος CONTROL. Σημειώνεται ότι για την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου παρατηρείται υπερεκτίμηση του μέσου ημερήσιου υετού από το πείραμα CONTROL, αντίθετα με την 14<sup>η</sup> Φεβρουαρίου για την οποία παρατηρήθηκε μικρή υποεκτίμηση.

Zoomed in plot

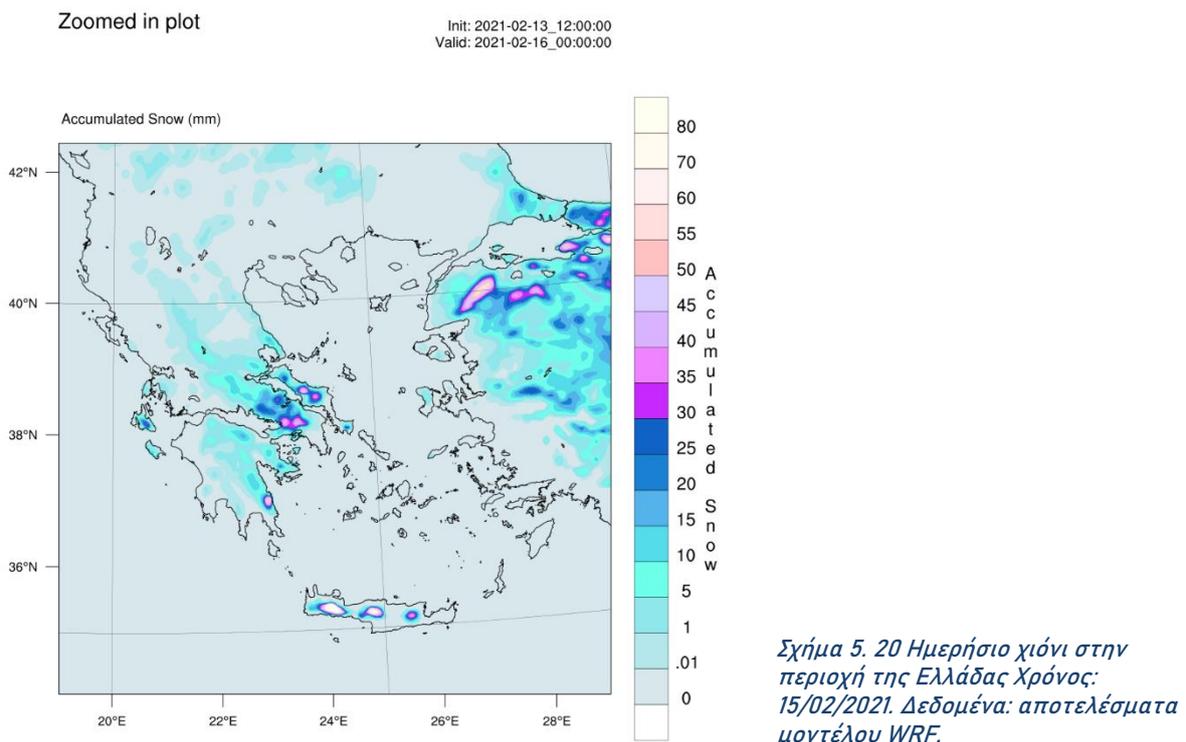
Init: 2021-02-13\_12:00:00  
Valid: 2021-02-16\_00:00:00



Σχήμα 5. 19 Ημερήσιος υετός στην περιοχή της Ελλάδας Χρόνος: 15/02/2021. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

Τα αποτελέσματα για το χιόνι παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.20*. Για το πείραμα CONTROL, χιόνι παρουσιάζεται κυρίως στην βόρεια Αττική, στην Εύβοια, στην Βοιωτία, στην Λακωνία, στις Κυκλάδες, τα νησιά του βόρειου Αιγαίου και στην Κρήτη. Το μέσο ύψος του χιονιού για την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου του πειράματος CONTROL είναι 5,88 mm και το μέγιστο 106 mm.

Όπως και για την 14<sup>η</sup> Φεβρουαρίου οι περιοχές στις οποίες καταγράφηκε χιόνι στα πραγματικά δεδομένα, καταγράφεται χιόνι και από το πείραμα CONTROL, και υπάρχουν κάποιες περιοχές στην νότια Ελλάδα (π.χ. Μύκονος, Σούδα και Καστέλι) στις οποίες δεν καταγράφηκε χιόνι για τα πραγματικά δεδομένα αλλά καταγράφονται κάποια mm χιονιού από το πείραμα CONTROL.

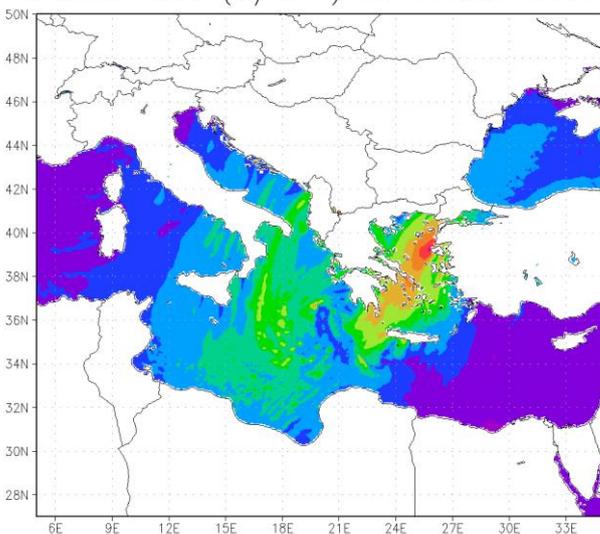


### 5.2.2.10 Ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας

Οι επιφανειακές ροές τόσο της αισθητής όσο και της λανθάνουσας θερμότητας (σχήμα 5.21) αυξάνονται τόσο σε όλη την περιοχή της Μεσογείου όσο και στο Βόρειο Αιγαίο σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα. Η μέση τιμή όλης της Μεσογείου για την ροή λανθάνουσας θερμότητας είναι  $252,9 \text{ W/m}^2$  και η μέση ροή της αισθητής θερμότητας είναι  $104,5 \text{ W/m}^2$ . Συνεπώς υπάρχει 20% περίπου αύξηση και για τα δύο είδη ρών σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα. Στο βόρειο Αιγαίο η επιφανειακή ροή λανθάνουσας θερμότητας φτάνει σε τιμές μεγαλύτερες από  $650 \text{ W/m}^2$  και η ροή αισθητής θερμότητας επίσης αυξάνεται αλλά σε μικρότερες τιμές. Η αύξηση αυτή συνάδει με την αύξηση του υετού αλλά και το φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) που οδηγεί στην αύξηση των υετών στην ατμόσφαιρα.

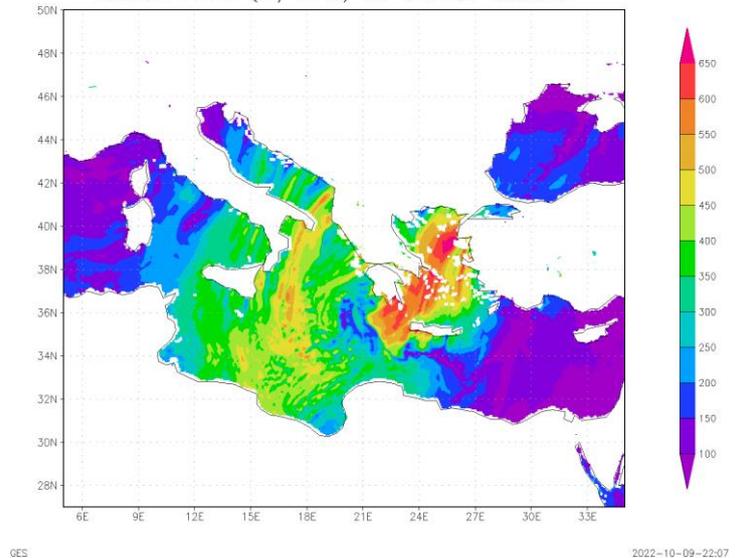
(α)

Sensible Heat ( $\text{W/m}^2$ ) at 12Z15FEB2021



(β)

Latent Heat ( $\text{W/m}^2$ ) at 12Z15FEB2021

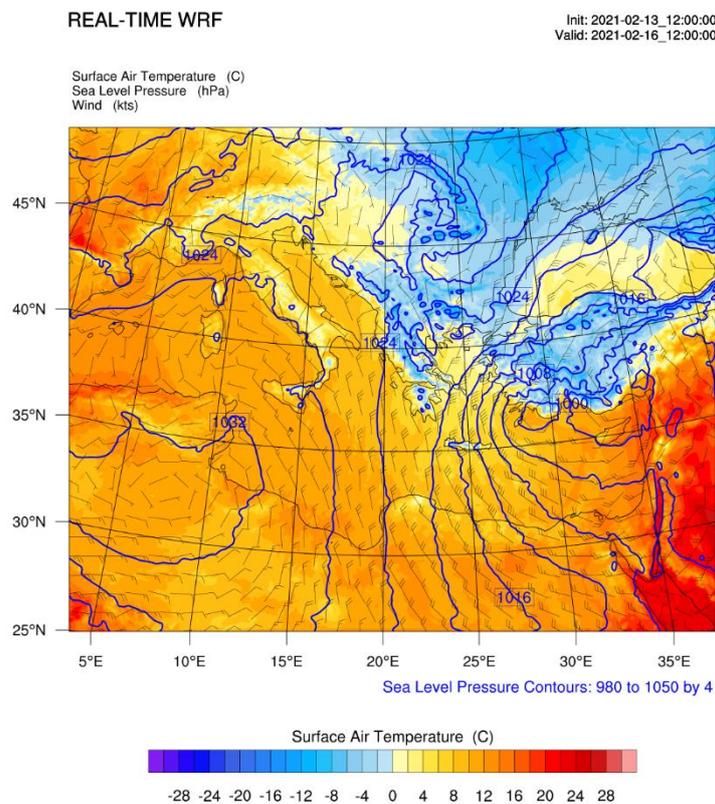


Σχήμα 5. 21 Επιφανειακές ροές αισθητής (α) και λανθάνουσας (β) θερμότητας στην περιοχή της Μεσογείου Μονάδα μέτρησης  $\text{W/m}^2$ . Χρόνος: 15/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

## 5.2.3 Ανάλυση για 16 Φεβρουαρίου 2021

### 5.2.3.1 Πίεση μέσης στάθμης θάλασσας

Στο πείραμα CONTROL (σχήμα 5.22), το κέντρο των χαμηλών πιέσεων μετατοπίζεται προς τα ανατολικά και οι ισοβαρείς πάνω από το βόρειο Αιγαίο γίνονται λιγότερο πυκνές. Η μέση πίεση βρίσκεται στο εύρος 1008 έως 1024 hPa. Η μέση θερμοκρασία στην περιοχή της Ελλάδας είναι 4,13°C, με το Αιγαίο να έχει θετικές θερμοκρασίες 2μ.



Σχήμα 5. 22 Χάρτης πίεσης μέσης επιφανείας θάλασσας (MSLP). Οι μπλε γραμμές αντιστοιχούν στις ισοβαρείς της επιφανείας θάλασσας ανά 4 hPa και τα χρώματα (contours) υποδηλώνουν την θερμοκρασία σε βαθμούς Celsius ανά 4ο C. Ημερομηνία: 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

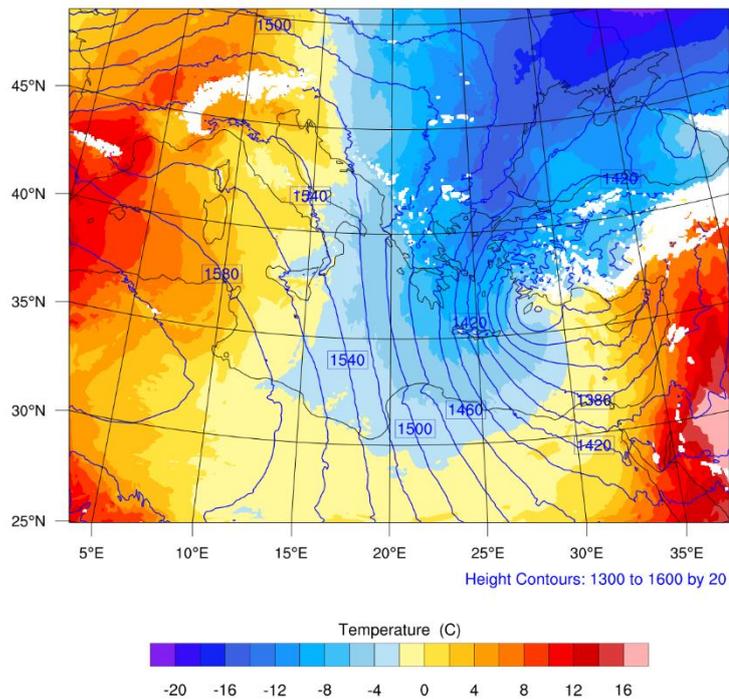
### 5.2.3.2 Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 850hPa

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.23) παρουσιάζεται μετατόπιση προς τα ανατολικά σε σχέση με τις 15/02/2021. Η ροή γίνεται ακόμα πιο δομημένη πάνω από την Ελλάδα με κατεύθυνση από τα βορειοανατολικά προς τα νότια και με πυκνές ισοϋψείς πάνω από το Αιγαίο. Το μέσο γεωδυναμικό ύψος στο ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa πάνω από την Ελλάδα είναι 1436 gpm και η ροή συνεχίζει να μεταφέρει τις ψυχρές αέριες μάζες από τα βόρεια, ψυχραίνοντας την ατμόσφαιρα πάνω από την Ελλάδα και μειώνοντας τη μέση θερμοκρασία στους  $-7^{\circ}\text{C}$ . Ολόκληρη η περιοχή της Ελλάδας έχει θερμοκρασίες μικρότερες των  $-4^{\circ}\text{C}$ .

REAL-TIME WRF

Init: 2021-02-13\_12:00:00  
Valid: 2021-02-16\_12:00:00

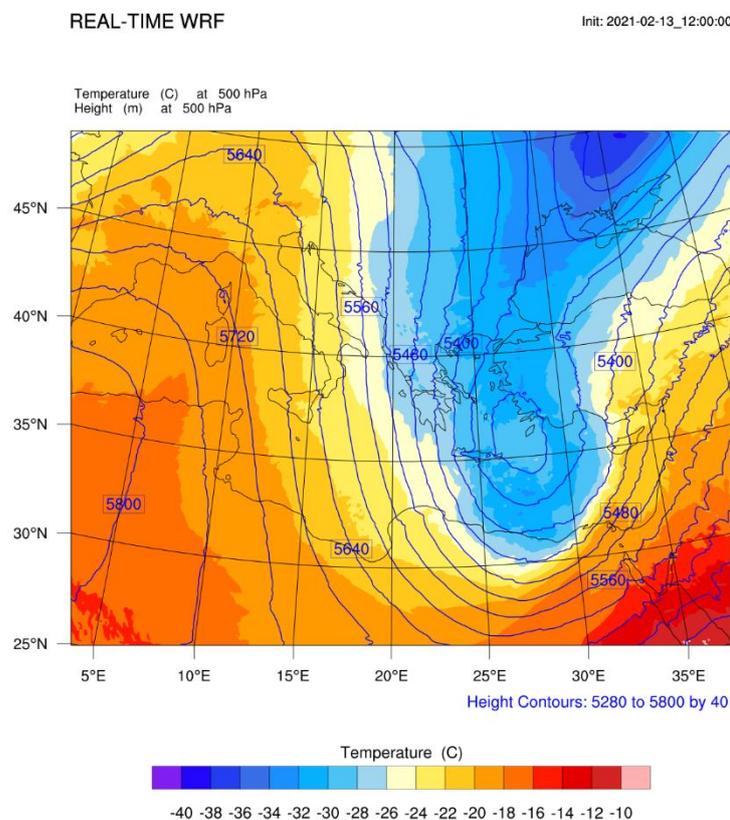
Temperature (C) at 850 hPa  
Height (m) at 850 hPa



Σχήμα 5. 23 Χάρτης ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa. Οι μπλε γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20 gpm. Τα χρώματα (contours) υποδηλώνουν την θερμοκρασία ανά 4oC. Ημερομηνία: 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.3.3 Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 500hPa

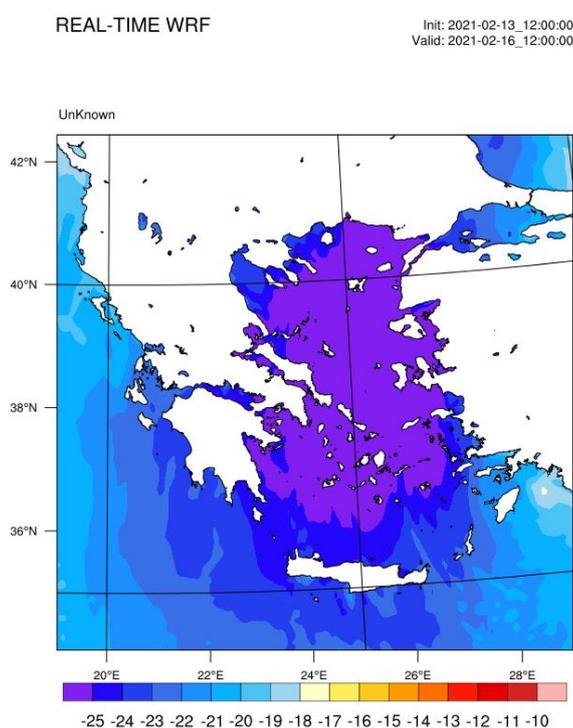
Τα αποτελέσματα για τις 16/02/2021 παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.24*. Για το πείραμα CONTROL παρατηρείται μετατόπιση του κέντρου χαμηλών υψών προς τα ανατολικά σε σχέση με την θέση που είχε την προηγούμενη ημέρα. Το κέντρο των χαμηλών υψών βρίσκεται πάνω από το νότιο Αιγαίο, με κέντρο 5380 gpm και το μέσο γεωδυναμικό ύψος πάνω από την περιοχή της Ελλάδας είναι 5040 gpm. Η θερμοκρασία είναι χαμηλή πάνω από την Ελλάδα λόγω των ψυχρών αερίων μαζών που έχουν κατέβει από τα βόρεια λόγω της κυκλωνικής κυκλοφορίας πάνω από την περιοχή. Η μέση θερμοκρασία για την Ελλάδα στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa είναι  $-28,7^{\circ}\text{C}$ .



*Σχήμα 5. 24 Χάρτης ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa. Οι μπλε γραμμές υποδηλώνουν ισοϋψείς ανά 20 gpm. Τα βελάκια (barbs) αντιστοιχούν στον άνεμο και τα χρώματα (contours) υποδηλώνουν την θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου ανά 4oC Ημερομηνία: 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF*

#### 5.2.3.4 Διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ 850 hPa και επιφάνειας της θάλασσας

Για το πείραμα CONTROL φαίνεται πως οι διαφορές θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερες από ότι τις 15/02/2021 και μάλιστα πολύ μεγαλύτερες των 13°C, συγκεκριμένα η ελάχιστη διαφορά που εμφανίζεται στον Ελληνικό χώρο δεν είναι λιγότερο από 19°C (σχήμα 5.25). Συγκεκριμένα στο βόρειο Αιγαίο οι διαφορές θερμοκρασιών είναι κατά κύριο λόγο μεγαλύτερη των 25°C.



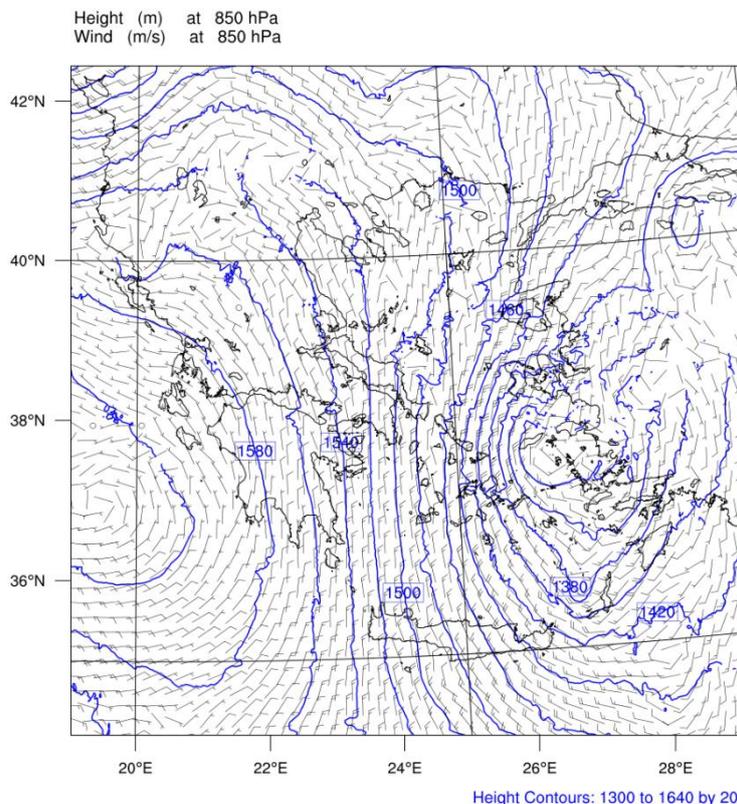
Σχήμα 5. 25 Διαφορά θερμοκρασίας της επιφανείας θάλασσας (SST) από την θερμοκρασία στα 850 hPa. Τα χρώματα (contours) αντιστοιχούν στην διαφορά θερμοκρασίας (850 hPa - SST) ανά 1 οC. Χρόνος: 16/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.3.5 Άνεμος στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa

Τα αποτελέσματα για τον άνεμο των 850 hPa για τις 16/02/2021 παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.26*. Για το πείραμα CONTROL ο άνεμος είναι βόρειος-βορειοανατολικός στο βόρειο Αιγαίο και οι υψηλές ταχύτητες του ανέμου μετατοπίζονται ανατολικά και νότια προς το ανατολικότερο κεντρικό Αιγαίο. Στην βόρεια και βορειοδυτική Ελλάδα επικρατεί σχεδόν νηνεμία. Οι διαφορές και μεταξύ της ταχύτητας ανέμου μεταξύ των πειραμάτων είναι πολύ μικρή σε επίπεδο cm/s. Η μέση ταχύτητα ανέμου είναι 19,8 m/s για το πείραμα CONTROL.

REAL-TIME WRF

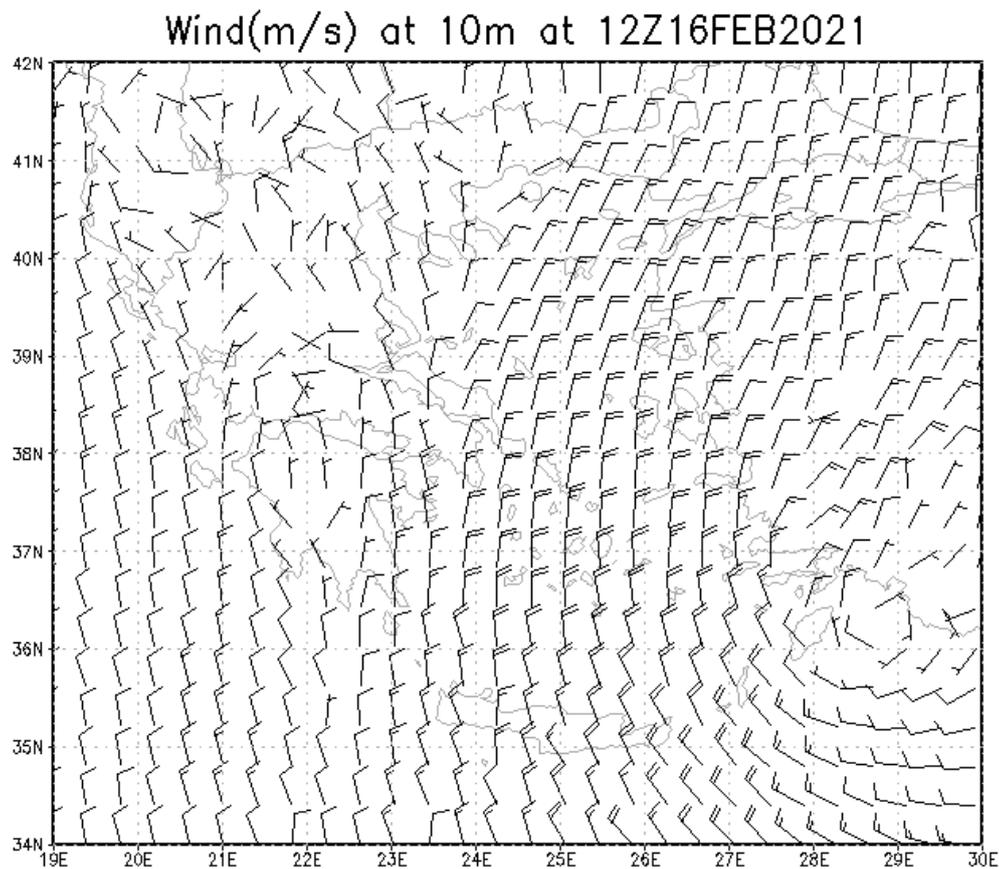
Init: 2021-02-13\_12:00:00  
Valid: 2021-02-16\_09:00:00



*Σχήμα 5. 26* Χάρτες ανέμου στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa . Η μια γραμμή στα βελάκια (*barbs*) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Οι μπλε γραμμές αντιστοιχούν στις ισοϋψείς της ισοβαρικής επιφανείας ανά 20 grm. Ημερομηνία: 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.3.6 Άνεμος στα 10 μέτρα από την επιφάνεια

Για τον άνεμο στα 10m από την επιφάνεια τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.27*. Για το πείραμα CONTROL η κατεύθυνση του ανέμου είναι βόρεια – βορειοανατολική πάνω από το Αιγαίο και σχετική νηνεμία επικρατεί πάνω στην ηπειρωτική Ελλάδα. Για το πείραμα CONTROL η μέση ταχύτητα του ανέμου για το βόρειο Αιγαίο είναι 14,97 m/s.

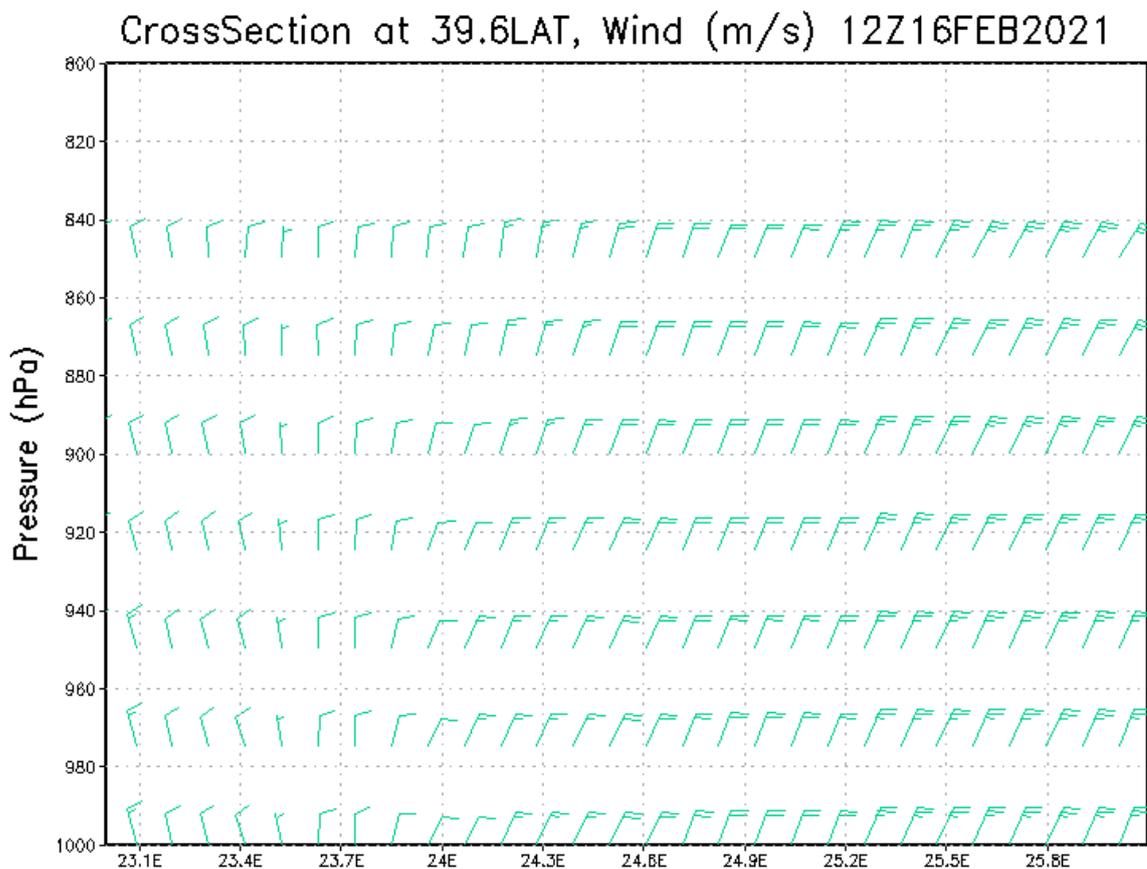


*Σχήμα 5. 27* Χάρτες ανέμου στα 10 m από τη επιφάνεια. Η μια γραμμή στα βελάκια (*barbs*) αντιστοιχεί σε 10 m/s. Οι μπλε γραμμές αντιστοιχούν στις ισοψείς της ισοβαρικής επιφανείας ανά 20 gpm. Ημερομηνία: 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

### 5.2.3.7 Κάθετη τομή με την μεταβλητή του ανέμου

Η τομή υπολογίζεται στην περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 39,6N και γεωγραφικά μήκη 23,0E έως 26,1E.

Για το πείραμα CONTROL (σχήμα 5.28) η στροφή του ανέμου από την επιφάνεια έως την ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa δεν είναι μεγάλη και βέβαια μικρότερη των 60°, που ορίζει το κριτήριο για το φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow).



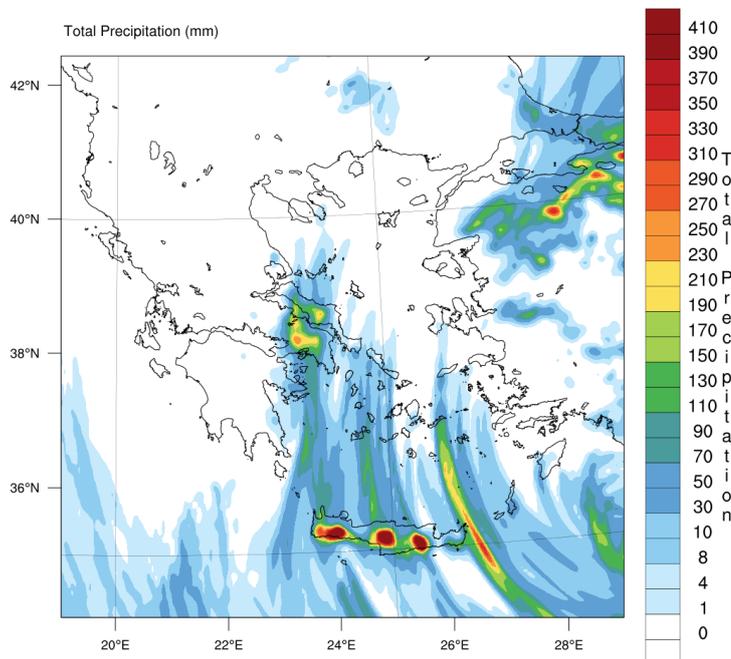
Σχήμα 5. 28 Κατακόρυφη τομή με επίπεδα πιέσεων από την επιφάνεια έως τα 800 hPa με βελάκια (barbs) που αντιστοιχούν στον άνεμο. Μία γραμμή αντιστοιχεί στα 10m/s. Η κατακόρυφη τομή υπολογίζεται στην περιοχή του σχήματος 3.47. Χρόνος: 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

Στο πείραμα CONTROL παρατηρείται μειωμένος υετός σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα (σχήμα 5.29). Συγκεκριμένα υετός καταγράφεται στην Αττική, την Εύβοια, τις νότιες Κυκλάδες και την Κρήτη. Μέση τιμή του ύψους του ημερήσιου υετού για το πείραμα αυτό στις περιοχές ενδιαφέροντος για το φαινόμενο είναι 15,59 mm.

Για τις περιοχές στις οποίες καταγράφεται υετός από τα πραγματικά δεδομένα, καταγράφεται υετός και από το μοντέλο για το πείραμα CONTROL. Η μέση τιμή ημερήσιου υετού από τα πραγματικά δεδομένα είναι 15,3 mm, υπάρχει δηλαδή υπερεκτίμηση μόνο κατά 2% από τα αποτελέσματα του πειράματος CONTROL.

Zoomed in plot

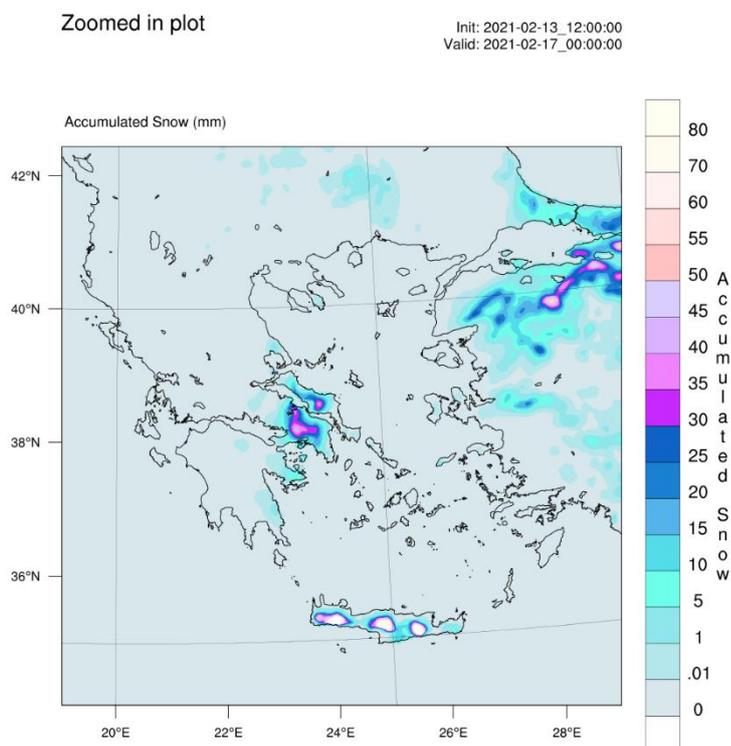
Init: 2021-02-13\_12:00:00  
 Valid: 2021-02-17\_00:00:00



Σχήμα 5. 29 Ημερήσιος υετός στην περιοχή της Ελλάδας Χρόνος: 16/02/2021. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

Για το πείραμα CONTROL παρατηρείται ότι η χιονόπτωση συγκεντρώνεται πάνω από την Αττική, την Εύβοια και την Κρήτη (σχήμα 5.30). Το μέσος ύψους χιονιού για την 16η Φεβρουαρίου είναι 5.53 mm και το μέγιστο είναι 117,5 mm.

Οι περιοχές στις οποίες καταγράφεται χιόνι από τα πραγματικά δεδομένα, παρουσιάζουν και χιόνι και για το πείραμα CONTROL. Οι μόνες διαφορές που μπορούν να καταγραφούν είναι για τους σταθμούς της Σκιάθου και του Καστελιού, όπου το πείραμα CONTROL δίνει κάποια mm υετού τα οποία δεν καταγράφονται στα πραγματικά δεδομένα. Επίσης ο σταθμός της Μυκόνου και της Σούδας παρουσιάζουν κάποια mm χιονιού σύμφωνα με το πείραμα CONTROL, κάτι που δεν καταγράφεται στα πραγματικά δεδομένα.



Σχήμα 5. 30 Ημερήσιο χιόνι στην περιοχή της Ελλάδας Χρόνος: 16/02/2021. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

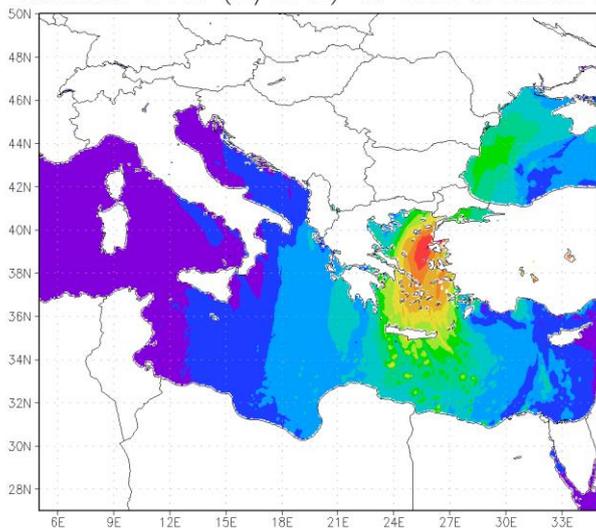
### 5.2.3.10 Ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας

Οι επιφανειακές ροές τόσο της αισθητής όσο και της λανθάνουσας θερμότητας (Σχήμα 5.31) αυξάνονται ακόμη περισσότερο από τις προηγούμενες ημέρες. Πάνω από την περιοχή της μεσογείου και οι δύο τύποι ροών αυξάνονται κατά μέσο όρο κατά περίπου 12%. Για την ροή αισθητής θερμότητας η μέση τιμή πάνω από την Μεσόγειο είναι  $118,3 \text{ W/m}^2$  και η ροή της λανθάνουσας θερμότητας είναι  $281,8 \text{ W/m}^2$ . Η ροή της λανθάνουσας θερμότητας πάνω από το βόρειο Αιγαίο αυξάνεται και φτάνει σε επίπεδα μεγαλύτερα των  $800 \text{ W/m}^2$  και η ροή της αισθητής θερμότητας φτάνει σε επίπεδα μεγαλύτερα των  $550 \text{ W/m}^2$ .

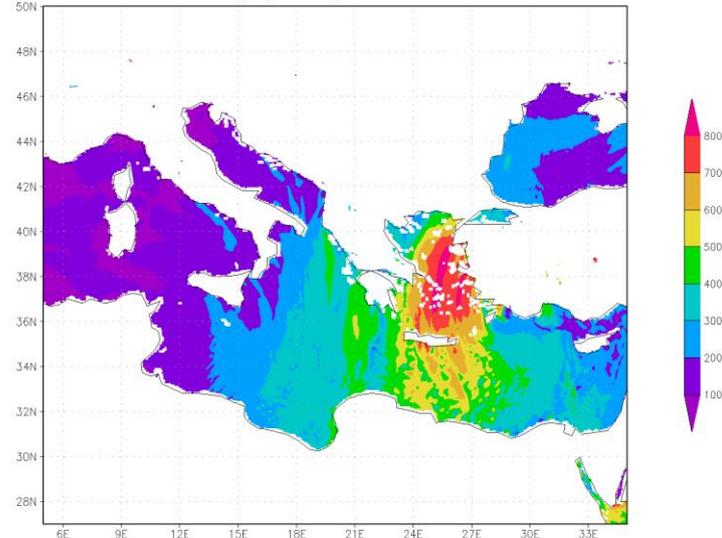
(α)

(β)

Sensible Heat ( $\text{W/m}^2$ ) at 12Z16FEB2021



Latent Heat ( $\text{W/m}^2$ ) at 12Z16FEB2021



Σχήμα 5. 31 Ροές αισθητής (α) και λανθάνουσας (β) θερμότητας στην περιοχή της Μεσογείου Μονάδα μέτρησης  $\text{W/m}^2$ . Χρόνος: 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

### 5.3 Σύγκριση των πειραμάτων με διαφορετικές θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας με το πείραμα CONTROL.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθούν τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν με το μοντέλο WRF με προσθήκη ανωμαλίας στις θερμοκρασίες της επιφανείας θάλασσας στο κεντρικό Αιγαίο και επίσης ένα πείραμα με κλιματικές θερμοκρασίες θάλασσας σε σχέση με τα αποτελέσματα του πειράματος CONTROL.

Τα πειράματα P1, P2 και P3, καθώς και τα M1, M2 και M3 έχουν αύξουσα προσθήκη θετικής (και αρνητικής αντίστοιχα) ανωμαλίας στο κεντρικό Αιγαίο. Είναι εμφανές πως οι διαφορές στις μετεωρολογικές συνθήκες των πειραμάτων σε σχέση με το πείραμα CONTROL θα είναι οι μέγιστες για τις περιπτώσεις με την μέγιστη προσθήκη ανωμαλίας. Για τον λόγο αυτό η σύγκριση του φαινομένου θα παρουσιαστεί για τα πειράματα P3 και M3 καθώς και για το πείραμα CONTROL. Για τα πειράματα P1, P2 και M1, M2 οι διαφορές είναι αντίστοιχες με αυτές των P3 και M3, αλλά με τις διαφορές από το πείραμα CONTROL να είναι λιγότερο εμφανείς.

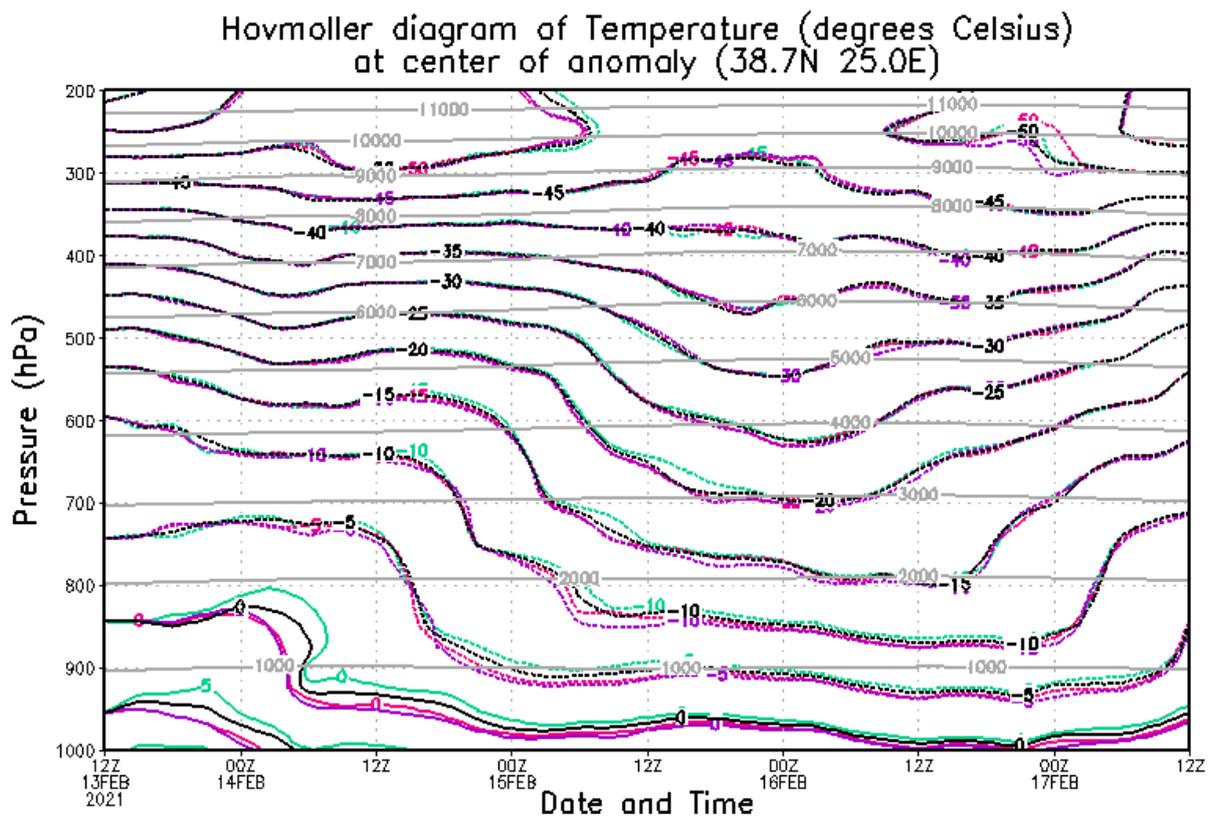
#### 5.3.1 Σύγκριση θερμοκρασιών σε όλο το ύψος της ατμόσφαιρας στο κέντρο προσθήκης της ανωμαλίας καθ' όλη την διάρκεια του φαινομένου.

Η χρονοσειρά της κατακόρυφης κατανομής (διάγραμμα homoller) θερμοκρασιών στο κέντρο της ανωμαλίας στο Κεντρικό Αιγαίο παρουσιάζεται στο *σχήμα 5.32*.

Είναι εμφανές πως οι θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια μειώνονται με την πάροδο του χρόνου με τις ελάχιστες τιμές να εμφανίζονται την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου του 2021. Παρατηρείται πως οι διαφορές μεταξύ των πειραμάτων είναι πολύ μικρές και μειώνονται με την πάροδο του χρόνου. Την 13<sup>η</sup> Φεβρουαρίου τα πειράματα P3 και M3 έχουν διαφορά από το πείραμα CONTROL κατά 1° C στην επιφάνεια αλλά αυτή η διαφορά δεν μεταφέρεται ψηλότερα στην ατμόσφαιρα και οι διαφορές εξαλείφονται πάνω από τα 750 hPa. Τις υπόλοιπες ημέρες του φαινομένου όλα τα πειράματα έχουν κατά μέσο όρο διαφορά θερμοκρασίας μικρότερη του 1° C και υψηλότερα στην ατμόσφαιρα οι θερμοκρασίες τείνουν να ταυτιστούν. Είναι επίσης εμφανές ότι οι διαφορές του πειράματος M3 είναι συγκρίσιμη με την διαφορά του πειράματος CLIMA

από το πείραμα CONTROL, οι θερμοκρασίες του οποίου είναι κατά μέσο όρο ψυχρότερες από αυτές το πειράματος CONTROL.

Οι μικρές διαφορές θερμοκρασίας καθ' ύψος της ατμόσφαιρας παρά την προσθήκη μεγάλης ανωμαλίας στο κέντρο του Αιγαίου (οι μέσες χειμερινές θερμοκρασίες για την περιοχή είναι 9-15° C (Ρούση, 2008)), έως και τριών βαθμών Κελσίου. Οι διαφορές αυτές δείχνουν να οφείλονται στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες υψηλότερα στην ατμόσφαιρα λόγω των ψυχρών αερίων μαζών που μεταφέρονται από την κυκλοφορία πάνω από την περιοχή ψύχοντας σε μεγάλο βαθμό την υπεράνω ατμόσφαιρα. Το γεγονός αυτό επιτρέπει έτσι σε ανωμαλίες της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια να επηρεάσουν την μεταβολή των θερμοκρασιών ακόμα και λίγα μέτρα πάνω από την επιπρόσθετη ανωμαλία. Το γεγονός αυτό γίνεται πιο εμφανές μετά τις 15/02/2021 καθώς οι θερμοκρασίες του ύψους της ατμόσφαιρας μειώνονται έντονα τις ημέρες αυτές.



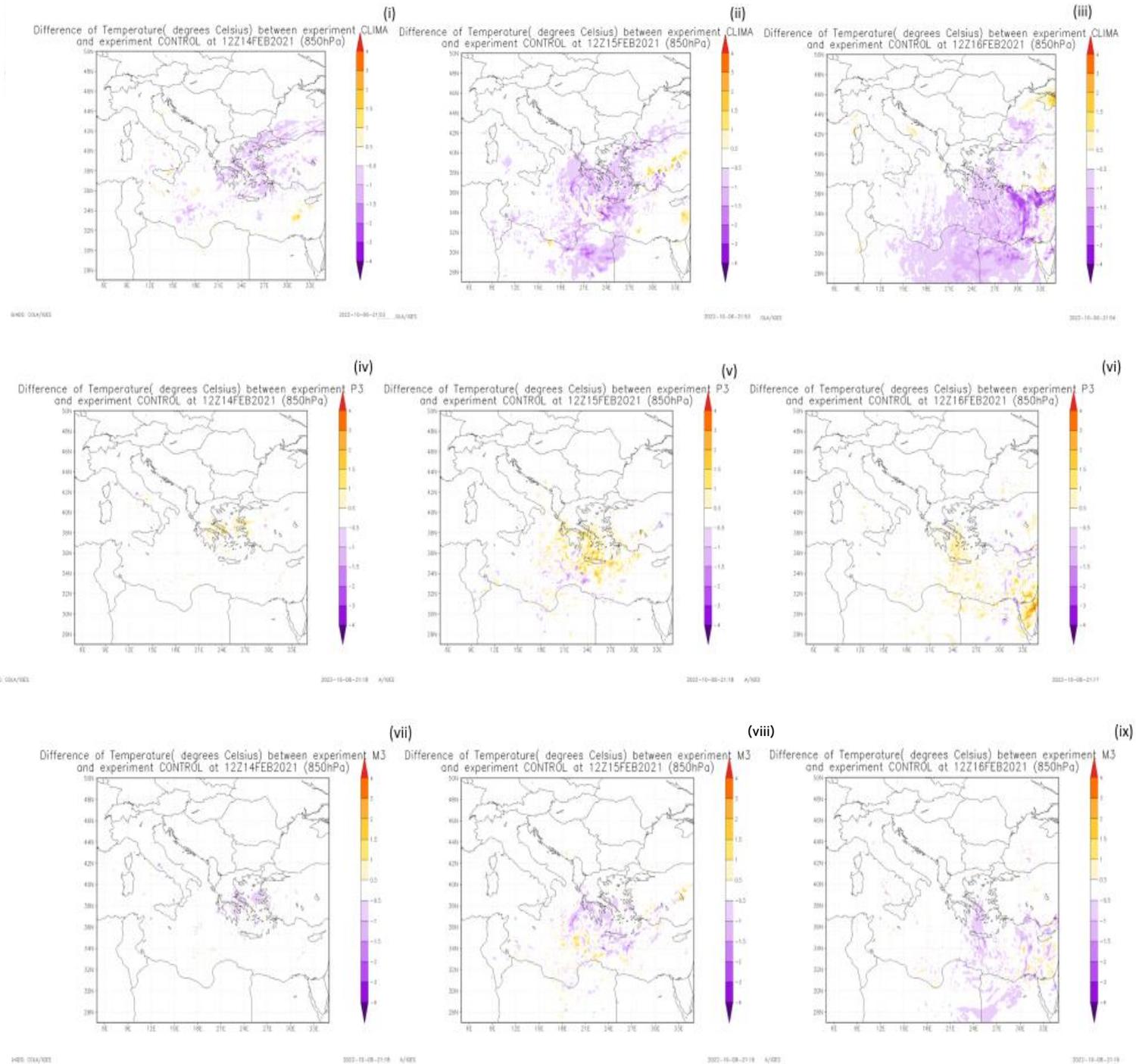
Σχήμα 5. 32 Χρονοσειρά κατακόρυφης κατανομής της θερμοκρασίας για τα πειράματα CONTROL (μαύρη γραμμή), CLIMA (μωβ γραμμή), P3 (πράσινη γραμμή) και M3 (ροζ γραμμή) στο κέντρο της επιπρόσθετης ανωμαλίας θερμοκρασίας θάλασσας (38.7N 25.0E). Χρόνος: 13/02/2021 00:00UTC - 17/02/2021 18:00UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

Στο *σχήμα 5.33* παρουσιάζονται οι διαφορές των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA από το πείραμα CONTROL (Πείραμα -CONTROL) για τη θερμοκρασία στα 850 hPa στις 14, 15 και 16 Φεβρουαρίου.

Για το πείραμα CLIMA (*σχήμα 5.33 i - iii*) οι διαφορές θερμοκρασίας από το πείραμα CONTROL είναι κατά κύριο λόγο αρνητικές και δεν ξεπερνούν τους  $-3^{\circ}\text{C}$ . Οι διαφορές αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου και επικεντρώνονται πάνω από το Αιγαίο και την Νότια Ελλάδα, ενώ βορειότερα οι διαφορές τείνουν στο μηδέν και την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου όλη η περιοχή βόρεια από το κεντρικό Αιγαίο και το γεωγραφικό πλάτος  $38.6\text{N}$  δεν παρουσιάζουν διαφορά θερμοκρασίας στα 850 hPa από το πείραμα CONTROL.

Για τα πειράματα M3 και P3 οι διαφορές της θερμοκρασίας στα 850 hPa από το πείραμα CONTROL είναι ακόμη μικρότερες. Για το πείραμα P3 (*σχήμα 5.33 iv - vi*) οι διαφορές επικεντρώνονται πάνω από το κεντρικό και νότιο Αιγαίο και την νότια Ελλάδα και είναι θετικές όπως είναι αναμενόμενο και δεν ξεπερνούν τους  $2^{\circ}\text{C}$ . Οι μέγιστες διαφορές παρατηρούνται την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου αλλά παραμένουν μικρές και περιορίζονται στο νότιο Αιγαίο.

Τέλος για το πείραμα M3 (*σχήμα 5.33 vii - ix*) οι διαφορές θερμοκρασίας στα 850 hPa από το πείραμα CONTROL είναι κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερες από αυτές του πειράματος P3 αλλά και πάλι παραμένουν μικρές και δεν ξεπερνούν τους  $-2.5^{\circ}\text{C}$ . Οι διαφορές παρατηρούνται και πάλι νότια από το γεωγραφικό πλάτος  $38.6\text{N}$  αλλά καλύπτουν μεγαλύτερη έκταση από αυτή των διαφορών του πειράματος P3. Επίσης την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου οι διαφορές εκτείνονται ακόμα νοτιότερα έως την βόρεια Αφρική αλλά με πολύ μικρές τιμές (μικρότερες των  $-0.5^{\circ}\text{C}$ ).



Σχήμα 5.33 Διαφορά θερμοκρασίας από το πείραμα CONTROL στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa για όλες τις ημέρες του φαινομένου και για τα πειράματα CLIMA, P3 και M3. (i) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (ii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (iii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC, (iv) Πείραμα P3, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (v) Πείραμα P3, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (vi) Πείραμα P3, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC, (vii) Πείραμα M3, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (viii) Πείραμα M3, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (ix) Πείραμα M3, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

### 5.3.2 Σύγκριση πίεσης μέσης επιφανείας θάλασσας όλων των πειραμάτων με το πείραμα CONTROL.

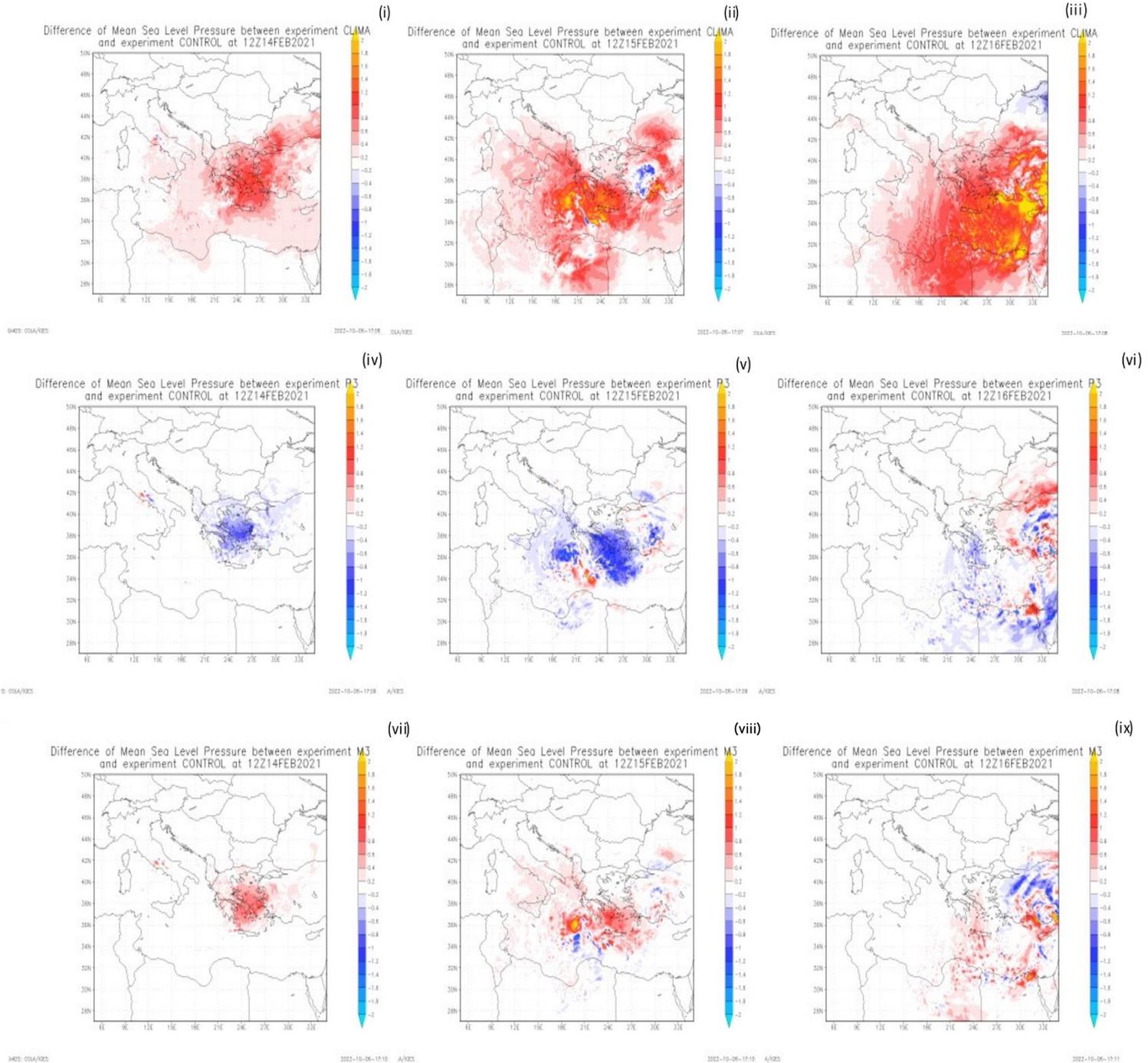
Στο *σχήμα 5.34* παρουσιάζονται οι διαφορές της πίεσης της μέσης στάθμης θάλασσας (MSLP) των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA από το πείραμα CONTROL (Πείραμα – CONTROL).

Για το πείραμα CLIMA (*σχήμα 5.34 i - iii*) οι διαφορές στην πίεση μέσης στάθμης θάλασσας είναι εμφανείς σε όλη την ανατολική μεσόγειο και είναι κατά κύριο λόγο θετικές, με το πείραμα CLIMA να έχει υψηλότερες τιμές πίεσης από το πείραμα CONTROL. Οι διαφορές αυξάνονται με την πορεία του χρόνου και φθάνουν να ξεπερνούν τα 2 hPa πάνω από το Ιόνιο πέλαγος και το νότιο Αιγαίο την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου και την ανατολική Μεσόγειο την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου. Η διαφορά αυτή είναι πιθανόν να εξηγείται λόγω του κέντρου χαμηλών πιέσεων που περνά πάνω από την περιοχή για τα πραγματικά δεδομένα και αφού υπάρχουν θετικές διαφορές, τότε η πίεση στο CLIMA είναι μεγαλύτερη από το CONTROL και συνεπώς το χαμηλό είναι ασθενέστερο στο CLIMA.

Για τα πειράματα P3 και M3 οι διαφορές είναι μικρότερες από αυτές του πειράματος CLIMA όπως είναι αναμενόμενο.

Για το πείραμα P3 (*σχήμα 5.34 iv -vi*) οι διαφορές στην πίεση μέσης επιφανείας θάλασσας αρχικά την 14<sup>η</sup> Φεβρουαρίου περιορίζονται στο κεντρικό Αιγαίο και είναι αρνητικές (το πείραμα P3 έχει χαμηλότερη πίεση από το πείραμα CONTROL) που συμβαίνει λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας που δημιουργεί μια κατάσταση παρόμοια με αυτή του «θερμικού χαμηλού» (*Glossary of Meteorology, 2020*) που η θερμότητα που παρουσιάζεται στα χαμηλά ανυψώνει τις ισοβαρείς επιφάνειες στην ατμόσφαιρα και οδηγεί στην μείωση της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας. Παρόλα αυτά η μείωση αυτή είναι πολύ μικρή και δεν υπερβαίνει το 1 hPa την 14<sup>η</sup> Φεβρουαρίου. Την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου οι διαφορές επεκτείνονται δυτικά και ανατολικά και αυξάνονται κατά 0.2 hPa κατ' απόλυτη τιμή. Ενώ την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου οι διαφορές επεκτείνονται ανατολικά και γίνονται θετικές πάνω από την δυτική μαύρη θάλασσα και πάλι χωρίς να υπερβαίνουν το 1 hPa.

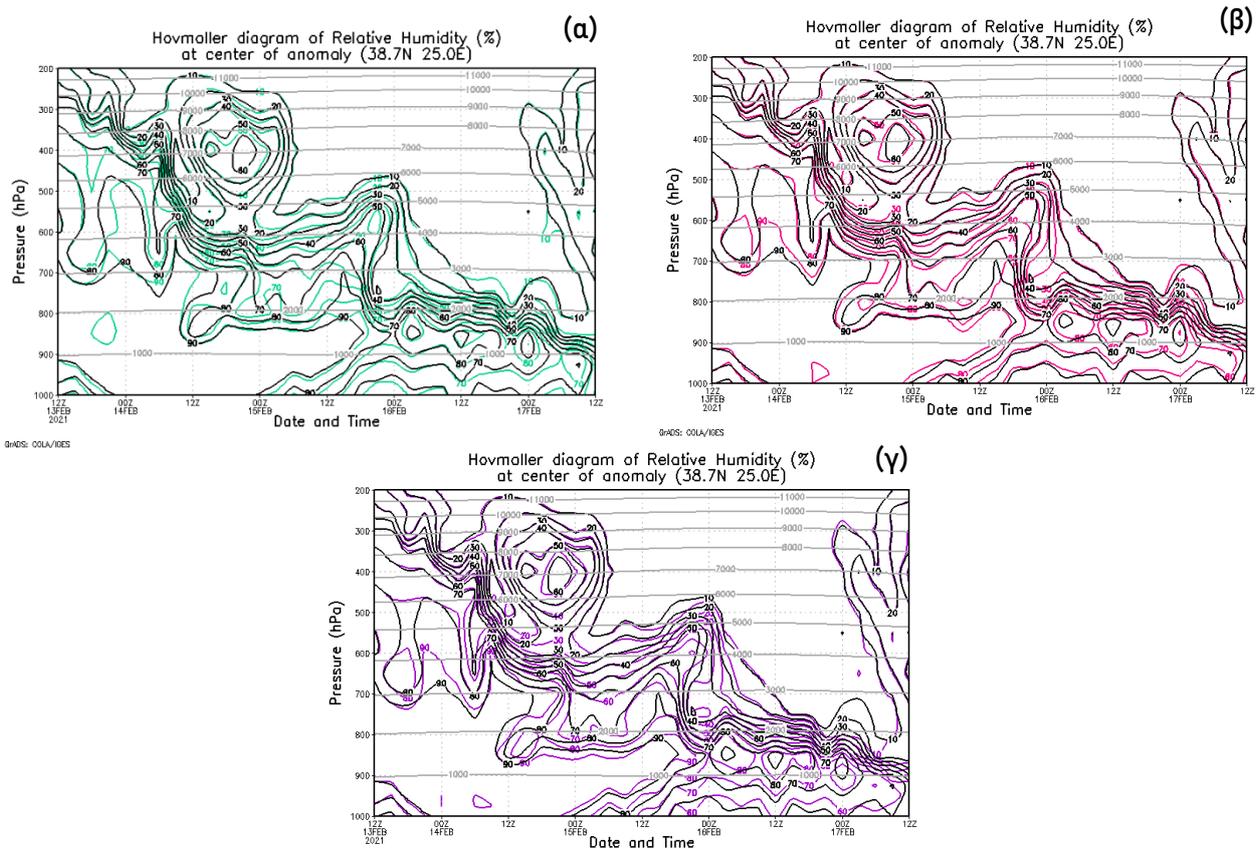
Για το πείραμα M3 (*σχήμα 5.34 vii -ix*) η εικόνα των διαφορών της πίεσης επιφανείας θάλασσας είναι αντίστροφη αυτής του πειράματος P3 με μικρή αύξηση της πίεσης σε σχέση με το πείραμα CONTROL. Την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου η διαφορά γίνεται λίγο μεγαλύτερη, ειδικά δυτικά της Ελλάδας όπου η διαφορά φθάνει να υπερβαίνει τα 2 hPa. Η αύξηση της πίεσης αυτή με την μείωση της θερμοκρασίας θάλασσας ίσως επηρεάσει την ένταση του φαινομένου αλλά αυτό θα εξετασθεί στην συνέχεια.



Σχήμα 5. 34 Διαφορά πίεσης μέσης επιφανείας θάλασσας από το πείραμα CONTROL για όλες τις ημέρες του φαινομένου και για τα πειράματα CLIMA, P3 και M3. (i) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (ii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (iii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC, (iv) Πείραμα P3, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (v) Πείραμα P3, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (vi) Πείραμα P3, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC, (vii) Πείραμα M3, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (viii) Πείραμα M3, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (ix) Πείραμα M3, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

### 5.3.3 Σύγκριση υγρασίας μεταξύ των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA και του πειράματος CONTROL.

Στο σχήμα 5.35 παρουσιάζεται η χρονοσειρά της κατακόρυφης κατανομής της σχετικής υγρασίας στο κέντρο της επιπρόσθετης ανωμαλίας θερμοκρασιών θάλασσας. Στο σχήμα (α) το πείραμα P3 με το πείραμα CONTROL, στο σχήμα (β) το πείραμα M3 μαζί με το πείραμα CONTROL και στο σχήμα (γ) το πείραμα CLIMA με το πείραμα CONTROL.



Σχήμα 5. 35 Χρονοσειρά κατακόρυφης κατανομής της σχετικής υγρασίας για τα πειράματα CONTROL (μαύρη γραμμή), του πειράματος P3 (πράσινη γραμμή - (α)), του πειράματος M3 (ροζ γραμμή- (β)) και του πειράματος CLIMA (μοβ γραμμή- (γ)) στο κέντρο της επιπρόσθετης ανωμαλίας θερμοκρασίας θάλασσας (38.7N 25.0E). Χρόνος: 13/02/2021 00:00UTC - 17/02/2021 18:00UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

Η σχετική υγρασία είναι πολύ υψηλή την 14<sup>η</sup> Φεβρουαρίου κοντά στην επιφάνεια και μέχρι τα 700 hPa και μειώνεται σταδιακά στην πορεία του χρόνου. Και εδώ είναι εμφανές ότι το πείραμα M3 έχει αποτελέσματα που προσεγγίζουν πολύ καλά τα αποτελέσματα του πειράματος CLIMA. Οι διαφορές μεταξύ των πειραμάτων είναι και πάλι πολύ μικρές από το πείραμα CONTROL. Η σχετική υγρασία είναι κατά μικρό ποσοστό αυξημένη ( λιγότερο από 5%) για τα πειράματα M3 και CLIMA και αντίστοιχα ελάχιστα μειωμένη για το πείραμα P3. Η μικρή αυτή αλλαγή στην σχετική

υγρασία είναι απόρροια των μικρών διαφορών της θερμοκρασίας και σχετίζεται και με την ροή υγρασίας (latent heat) που θα αναλυθεί στην συνέχεια.

Στο *σχήμα 5.36* παρουσιάζονται οι κατακόρυφα προφίλ στο κέντρο της ανωμαλίας με την μεταβλητή της θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας σημείου δρόσου. Αυτό δίνει δεδομένα για την υγρασία της ατμόσφαιρας καθ' ύψος στην περιοχή καθώς και το ύψος της βάσης των νεφών και το άκρο του πλανητικού οριακού στρώματος. Το άκρο αυτό είναι σημαντικό να προσδιοριστεί ως μεγαλύτερο του 1 km ως κριτήριο για το φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow).

Για την 14η Φεβρουαρίου (Σχήμα 5.36 (α)) η θερμοκρασία στην επιφάνεια είναι μεγαλύτερη του μηδενός για όλα τα πειράματα και γίνεται αρνητική πάνω από τα 950 hPa. Η καμπύλη της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου είναι κοντά στην καμπύλη της θερμοκρασίας μέχρι το επίπεδο των 900hPa για όλα τα πειράματα που υποδηλώνει κορεσμό της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς. Υπάρχουν έτσι από την επιφάνεια μέχρι την ισοβαρή αυτή επιφάνεια νέφη καθώς και αυξημένη αστάθεια για όλα τα πειράματα. Στο υπεράνω στρώμα της ατμόσφαιρας από τα 900 έως τα 750 hPa η σχετική υγρασία μειώνεται για όλα τα πειράματα καθώς οι δύο καμπύλες απομακρύνονται και η αστάθεια της ατμόσφαιρας μειώνεται και η ατμόσφαιρα γίνεται σχεδόν ευσταθής, δίνοντας έτσι μια σχετική εικόνα για το ύψος του οριακού στρώματος για όλα τα πειράματα, που ικανοποιεί το κριτήριο για το φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow). Η αστάθεια καθώς και η σχετική υγρασία αυξάνονται υψηλότερα των 750 hPa. Οι διαφορές μεταξύ των πειραμάτων είναι πολύ μικρές, με την σχετική υγρασία να είναι ελαφρώς αυξημένη στο εύρος πιέσεων 900-750 hPa για το πείραμα M3 και ελαφρώς μειωμένη για το πείραμα P3. Η διαφορά των θερμοκρασιών στα χαμηλά μεταξύ των πειραμάτων δεν δείχνουν να επηρεάζουν τις θερμοκρασίες για κάθε πείραμα υψηλότερα.

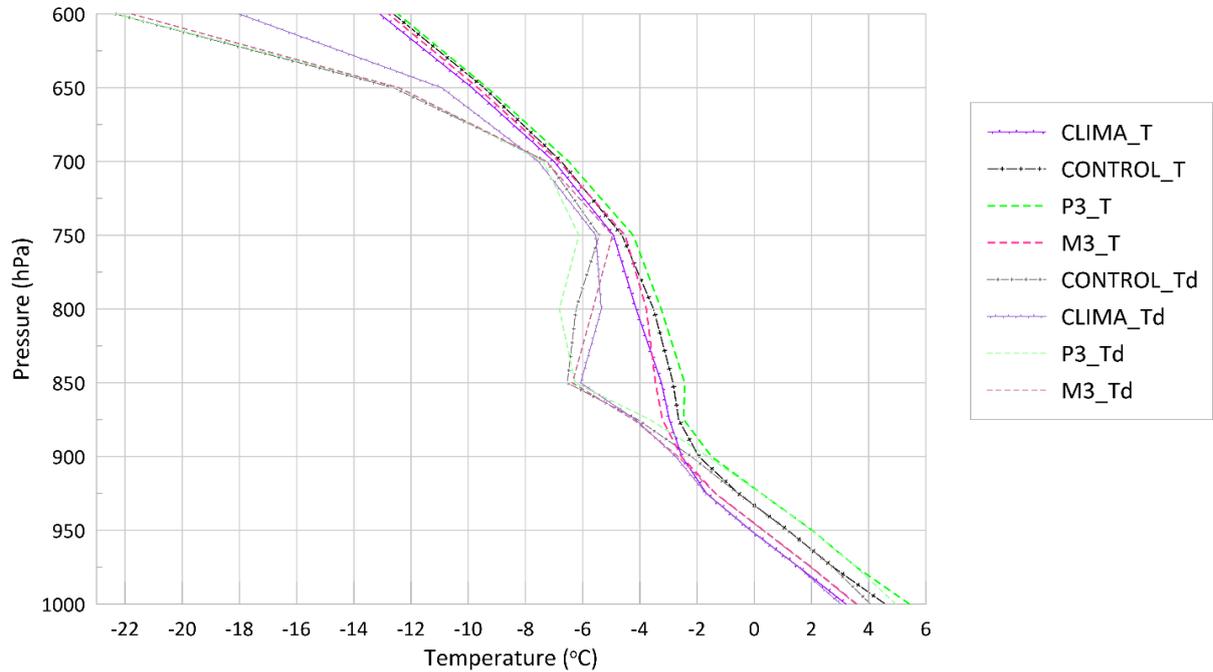
Για την 15η Φεβρουαρίου (Σχήμα 5.36 (β)) η θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια είναι μεγαλύτερη του μηδενός για όλα τα πειράματα και πέφτει υπό του μηδενός στο επίπεδο 975-950 hPa για όλα τα πειράματα. Η ατμόσφαιρα παρουσιάζει αστάθεια σε όλο το ύψος της. Η σχετική υγρασία είναι μικρότερη κοντά στην επιφάνεια σε σχέση με την 14η Φεβρουαρίου για όλα τα πειράματα, με το πείραμα P3 να παρουσιάζει την υψηλότερη σχετική υγρασία από τα υπόλοιπα πειράματα και το πείραμα CLIMA την μικρότερη. Για όλα τα πειράματα ο κορεσμός από υδρατμούς παρουσιάζεται στο επίπεδο 800-875 hPa όπου οι καμπύλες της θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου ταυτίζονται ανά πείραμα. Πάνω από το επίπεδο των 850 hPa η σχετική υγρασία μειώνεται και πάλι για όλα τα πειράματα, με αυτή του πειράματος P3 να μειώνεται με πιο αργό ρυθμό καθ' ύψος. Από το ύψος

των 800 hPa και υψηλότερα η αστάθεια εμφανίζεται μικρότερη και μπορεί έτσι στο σημείο εκείνο να προσδιοριστεί χωρίς μεγάλη ακρίβεια το ύψος του οριακού στρώματος (που καλύπτει και πάλι το κριτήριο του φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) για όλα τα πειράματα).

Για την 16η Φεβρουαρίου (Σχήμα 5.36 (γ)) οι θερμοκρασία της αέριας μάζας είναι υπό του μηδενός από το επίπεδο της επιφάνειας ( εκτός από τα πειράματα CONTROL και P3 που όμως φτάνει σε αρνητικές τιμές σε πολύ χαμηλό ύψος πάνω από την επιφάνεια). Μέχρι τα 875 hPa η σχετική υγρασία στην ατμόσφαιρα είναι μειωμένη σε σχέση με τις προηγούμενες ημέρες του φαινομένου για όλα τα πειράματα και αυξάνεται μόνο στο επίπεδο 875-825 hPa. Πλήρης κορεσμός της ατμόσφαιρας δεν παρατηρείται για κανένα από τα πειράματα αλλά η σχετική υγρασία είναι πιο αυξημένη για το πείραμα P3 και το πείραμα CONTROL, ενώ το πείραμα CLIMA εμφανίζει την μικρότερη σχετική υγρασία. Υψηλότερα του επιπέδου αυτού η σχετική υγρασία μειώνεται για όλα τα πειράματα ( λιγότερο για το πείραμα P3 και περισσότερο για τα πειράματα M3 και CLIMA) και η ευστάθεια της ατμόσφαιρας αυξάνεται, δίνοντας έτσι μια γενική εικόνα για το ύψος του οριακού στρώματος ( το κριτήριο του φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) καλύπτεται).

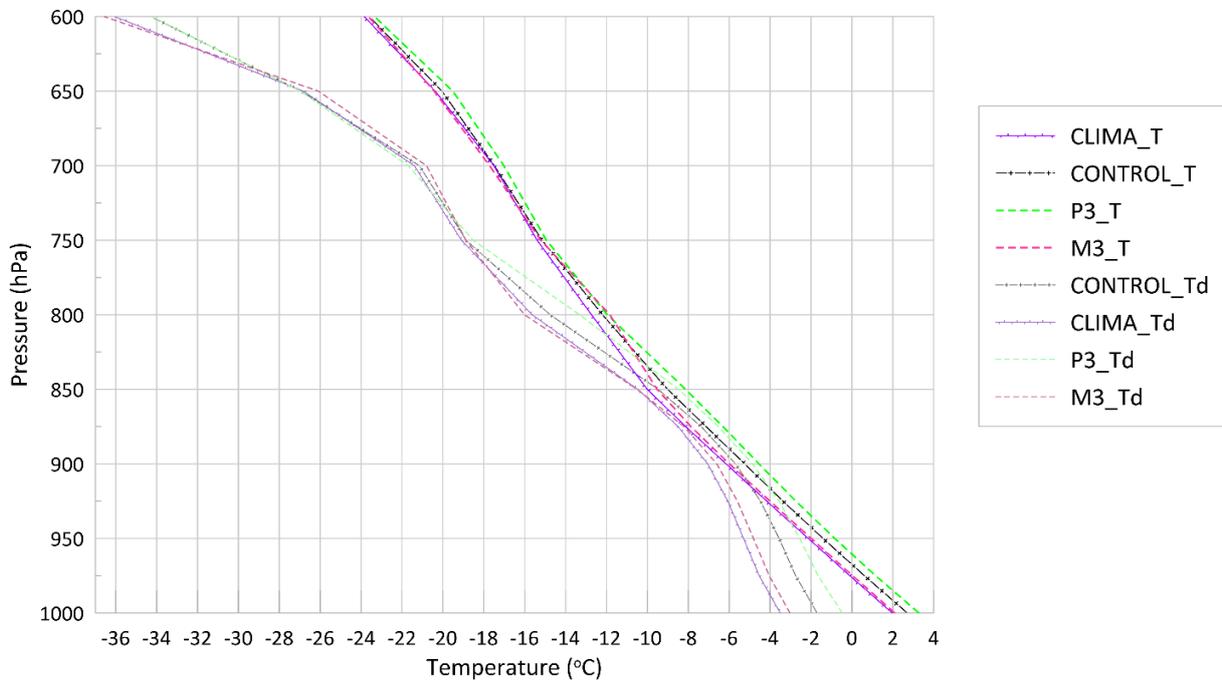
(α)

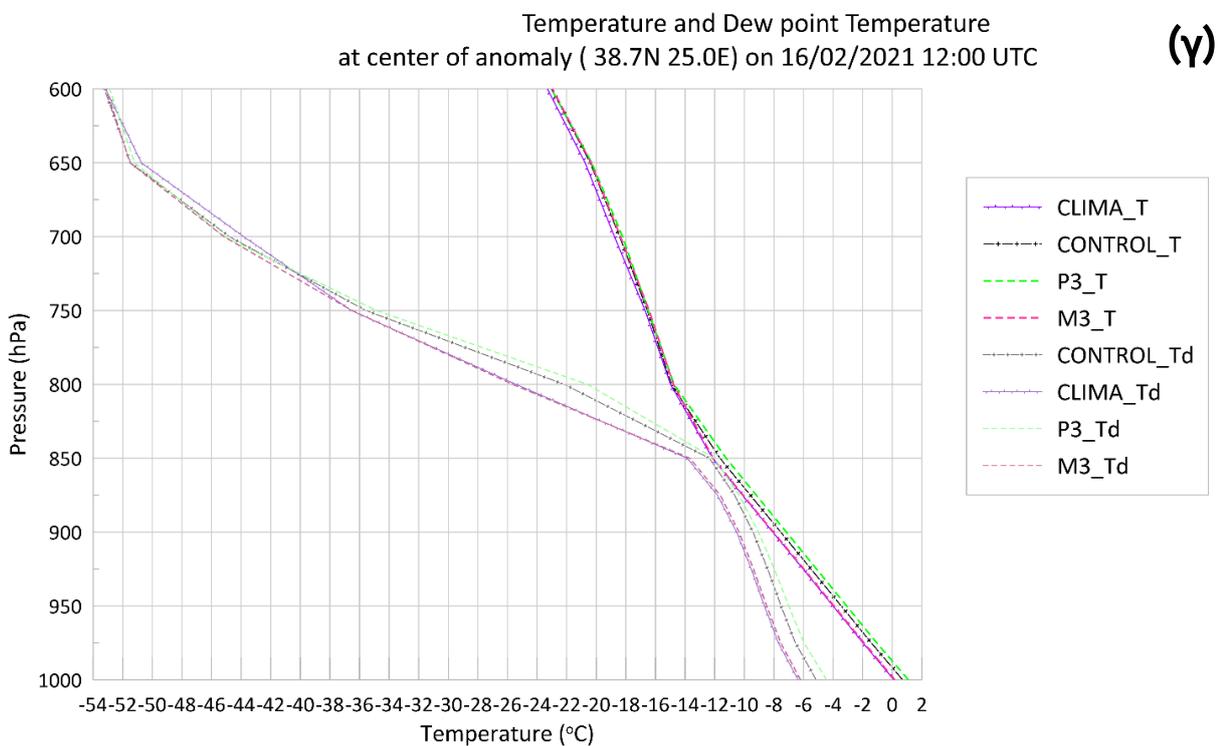
Temperature and Dew point Temperature  
 at center of anomaly ( 38.7N 25.0E) on 14/02/2021 12:00 UTC



(β)

Temperature and Dew point Temperature  
 at center of anomaly ( 38.7N 25.0E) on 15/02/2021 12:00 UTC





Σχήμα 5. 36 Κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας σημείου δρόσου από τα 1000 hPa έως και τα 600 hPa στο κέντρο της επιπρόσθετης ανωμαλίας θερμοκρασίας θάλασσας (38.7N 25.0E) . (α) Χρόνος: 14/02/2021 12:00UTC, (β) Χρόνος: 15/02/2021 12:00UTC, (γ) Χρόνος: 16/02/2021 12:00UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

### 5.3.4 Σύγκριση ανέμου των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA με τον άνεμο του πειράματος CONTROL.

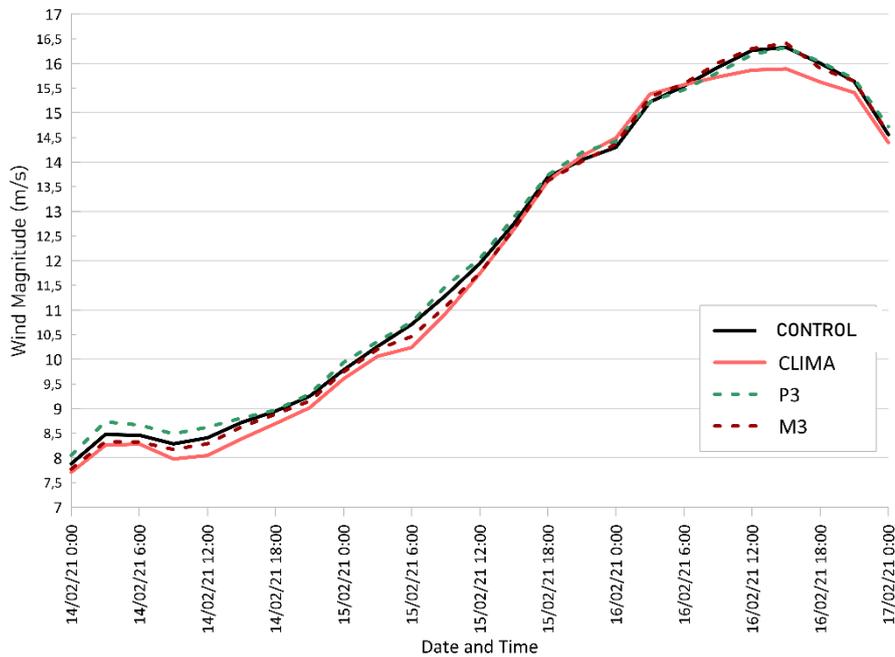
Η κατεύθυνση του ανέμου τόσο στα 10 μέτρα από την επιφάνεια και στο επίπεδο των 850 hPa δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές μεταξύ των πειραμάτων για όλη την διάρκεια του φαινομένου. Για τον λόγο αυτό τα αποτελέσματα για την κατεύθυνση του ανέμου δεν παρουσιάζονται αναλυτικά εδώ. Επίσης δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά στην στροφή του ανέμου με το ύψος μεταξύ των πειραμάτων ( το κριτήριο πληρείται για όλα τα πειράματα) και για τον ίδιο λόγο τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται αναλυτικά.

Στο *σχήμα 5.37* παρουσιάζονται οι χρονοσειρές του μέσου ανέμου στο επίπεδο των 850 hPa στην περιοχή του βορείου Αιγαίου (38.2-40.91 B και 23.5-26.30 A) και ολόκληρης της Ελλάδας (34.0 – 42.0 B και 19.0-30.0 A) για όλα τα πειράματα.

Οι διαφορές στις ταχύτητες ανέμου είναι γενικά μικρές χωρίς σημαντικές διαφορές. Την 14η Φεβρουαρίου πάνω από την περιοχή ολόκληρης της Ελλάδας η μεγαλύτερη διαφορά από το πείραμα CONTROL παρουσιάζεται στο πείραμα CLIMA το οποίο αντιστοιχεί σε άνεμο με μικρότερη ταχύτητα κατά -5,79%. Το πείραμα M3 επίσης αντιστοιχεί σε μειωμένη ταχύτητα ανέμου αλλά μόνο κατά -1,96%. Αντίθετα το πείραμα P3 αντιστοιχεί σε άνεμο με μεγαλύτερη ταχύτητα κατά 3,57%. Για την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου το πείραμα CLIMA αντιστοιχεί σε άνεμο με ταχύτητα μικρότερη από αυτή του πειράματος CONTROL κατά 0,41%. Για το πείραμα P3 ο άνεμος έχει μεγαλύτερες ταχύτητες από όλα τα πειράματα με ταχύτητες 2,4% μεγαλύτερες του πειράματος CONTROL. Τέλος, για την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου η μέση ταχύτητα ανέμου στα 850 hPa είναι μικρότερη του πειράματος CONTROL για όλα τα πειράματά με τα πειράματα P3 και M3 να έχουν άνεμο κατά μέσο όρο -0,42% μικρότερο από αυτόν του CONTROL και του πειράματος CLIMA κατά -1,86%. Για τον άνεμο πάνω από ολόκληρη την Ελλάδα οι διαφορές είναι αντίστοιχες αλλά ακόμα μικρότερες αναλογικά.

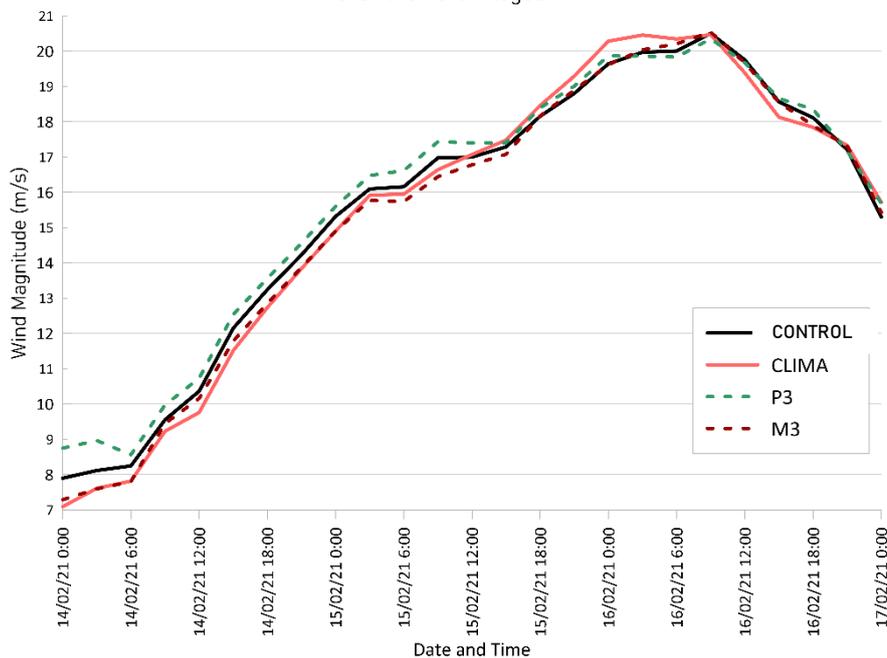
(α)

Mean Wind Timeline at isobaric surface of 850 hPa  
over Greece



(β)

Mean Wind Timeline at isobaric surface of 850 hPa  
over the north Aegean.



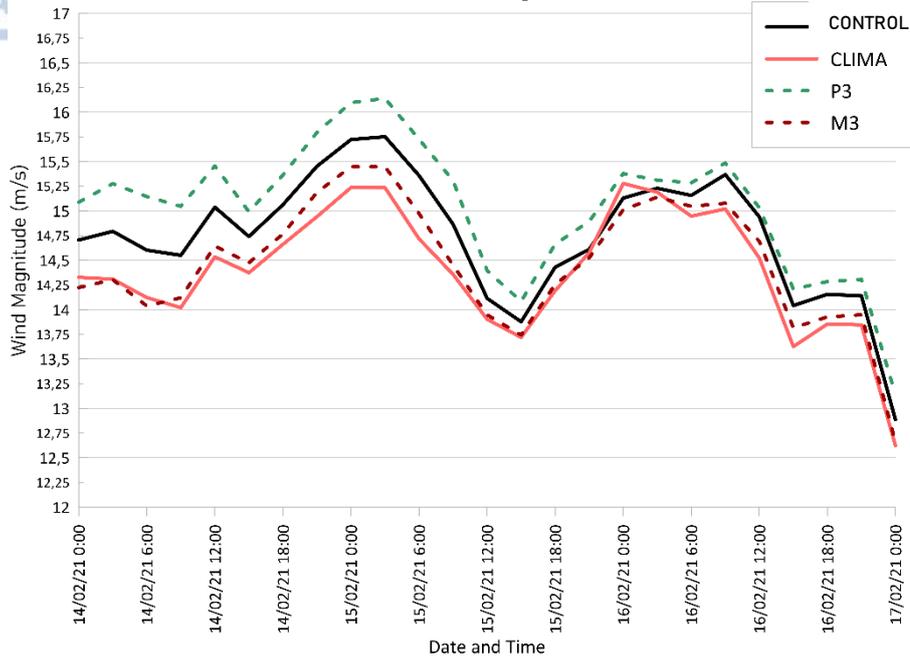
Σχήμα 5. 37 Χρονοσειρά ταχύτητας ανέμου στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa σε m/s (α) πάνω από ολόκληρη την Ελλάδα και (β) πάνω από την περιοχή του Β. Αιγαίου του σχήματος 3.47. 13/02/2021 00UTC - 17/02/2021 18UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

Στο *σχήμα 5.38* παρουσιάζονται οι χρονοσειρές του μέσου ανέμου στο επίπεδο των 10μ πάνω από την επιφάνεια στην περιοχή του βορείου Αιγαίου και ολόκληρης της Ελλάδας για όλα τα πειράματα.

Οι διαφορές είναι και πάλι πολύ μικρές για όλα τα πειράματα σε σχέση με το πείραμα CONTROL. Την 14η Φεβρουαρίου πάνω από την περιοχή του Β. Αιγαίου η μεγαλύτερη διαφορά από το πείραμα CONTROL παρουσιάζεται στο πείραμα CLIMA το οποίο αντιστοιχεί σε άνεμο με μικρότερη ταχύτητα κατά -3.35%. Το πείραμα M3 επίσης αντιστοιχεί σε μειωμένη ταχύτητα ανέμου αλλά μόνο κατά -2.61%. Αντίθετα το πείραμα P3 αντιστοιχεί σε άνεμο με μεγαλύτερη ταχύτητα κατά 2.78%. Για την 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου το πείραμα CLIMA αντιστοιχεί σε άνεμο με ταχύτητα μικρότερη από αυτή του πειράματος CONTROL κατά -1.5% ενώ το πείραμα M3 παρουσιάζει ακόμη μικρότερες τιμές ανέμου 1.17% μικρότερη του πειράματος CONTROL. Για το πείραμα P3 ο άνεμος έχει μεγαλύτερες ταχύτητες από όλα τα πειράματα με ταχύτητες 2.01% μεγαλύτερες του πειράματος CONTROL. Τέλος, για την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου η ταχύτητα του ανέμου για το πείραμα CLIMA είναι κατά -2,77% μικρότερη του πειράματος CONTROL και για το πείραμα M3 -1,66% μικρότερη κατά μέσο όρο. Ενώ για το πείραμα P3 η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα ανέμου του πειράματος CONTROL κατά 0,61%. Για τον άνεμο πάνω από ολόκληρη την Ελλάδα η διαφορά με το πείραμα CONTROL είναι σχεδόν μηδενική.

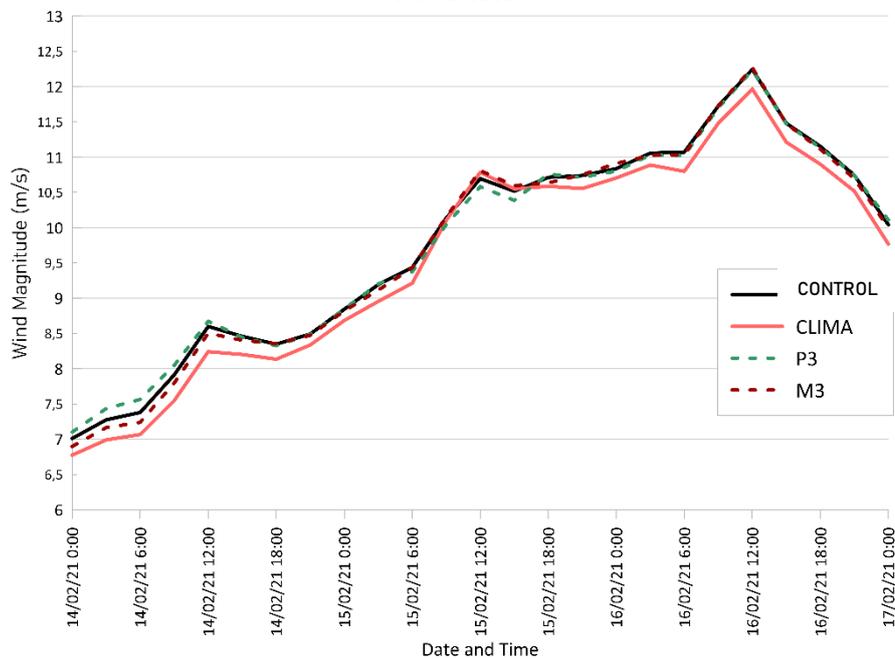
Mean Wind Timeline at height of 10m  
over the north Aegean

(a)



Mean Wind Timeline at height of 10m  
over Greece

(β)



Σχήμα 5. 38 Χρονοσειρά ταχύτητας ανέμου σε m/s στα 10 m από τη επιφάνεια (α) πάνω από την περιοχή του Β. Αιγαίου του σχήματος 3.47 και (β) πάνω από ολόκληρη την Ελλάδα. 13/02/2021 00UTC - 17/02/2021 18UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

Ένα ακόμα κριτήριο για την κατηγοριοποίηση ενός φαινομένου ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) είναι αυτό που ορίζει ότι ο λόγος της ταχύτητας ανέμου προς το μήκος της θαλάσσιας περιοχής που ο άνεμος διέρχεται χωρίς εμπόδια (fetch) του ανέμου (η απόσταση που ο άνεμος καλύπτει πάνω από την υδάτινη επιφάνεια) που πρέπει να παίρνει τιμές από 0.02 έως 0.09  $\text{ms}^{-1}\text{km}^{-1}$ , όπως περιγράφηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια. Το κριτήριο αυτό ελέγχεται από τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν πιο πάνω και για τα μήκη της θαλάσσιας περιοχής που ο άνεμος διέρχεται χωρίς εμπόδια (fetches) που ορίστηκαν στο *σχήμα 3.55*. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον *πίνακα 5.2*. Όπως παρατηρείται για όλα τα μήκη (fetch) οι τιμές για όλα τα πειράματα είναι στο πλαίσιο του αποδεκτού για το φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow). Η μόνη εξαίρεση είναι το μικρότερο μήκος (fetch) των 150 km που όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.3.6 είναι μια απόσταση που λαμβάνεται ως κατώτατο όριο του μήκους (fetch) και είναι αρκετά μικρότερο από την πραγματική απόσταση που καλύπτει ο άνεμος. Στην τελευταία σειρά του *πίνακα 5.2* αναφέρεται μια μέση τιμή του λόγου για όλα τα επιλεγόμενα μήκη (fetch) και αυτή η μέση τιμή είναι σε όλες τις περιπτώσεις μέσα στα αποδεκτά όρια που ορίστηκαν.

Πίνακας 5. 2 Υπολογισμός του λόγου της μέσης ταχύτητας ανέμου προς τα πιθανά το μήκος της θαλάσσιας περιοχής που ο άνεμος διέρχεται χωρίς εμπόδια (fetch) ανά ημέρα (μέση ημερήσια τιμή) του φαινομένου για όλα τα πειράματα που διενεργήθηκαν. Η τελευταία σειρά αντιστοιχεί στην μέση τιμή του λόγου ανά ημέρα. 14/02/2021 – 15/02/2021 – 16/02/2021. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

U/L		14/2/2021							
		CONTROL	CLIMA	P1	P2	P3	M1	M2	M3
ΕΠΙΛΟΓΕΣ Fetch ( km)	150	0,100	0,097	0,101	0,102	0,103	0,099	0,098	0,098
	197,1	0,076	0,074	0,077	0,078	0,078	0,076	0,075	0,074
	215,5	0,070	0,067	0,070	0,071	0,072	0,069	0,069	0,068
	258,2	0,058	0,056	0,059	0,059	0,060	0,058	0,057	0,057
	298,1	0,050	0,049	0,051	0,051	0,052	0,050	0,050	0,049
	308,2	0,049	0,047	0,049	0,050	0,050	0,048	0,048	0,047
	350	0,043	0,042	0,043	0,044	0,044	0,043	0,042	0,042
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		0,064	0,062	0,064	0,065	0,066	0,063	0,063	0,062
U/L		15/2/2021							
		CONTROL	CLIMA	P1	P2	P3	M1	M2	M3
ΕΠΙΛΟΓΕΣ Fetch ( km)	150	0,094	0,093	0,095	0,096	0,096	0,094	0,093	0,093
	197,1	0,072	0,071	0,072	0,073	0,073	0,071	0,071	0,071
	215,5	0,066	0,065	0,066	0,067	0,067	0,065	0,065	0,065
	258,2	0,055	0,054	0,055	0,056	0,056	0,054	0,054	0,054
	298,1	0,047	0,047	0,048	0,048	0,048	0,047	0,047	0,047
	308,2	0,046	0,045	0,046	0,047	0,047	0,046	0,045	0,045
	350	0,040	0,040	0,041	0,041	0,041	0,040	0,040	0,040
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		0,060	0,059	0,060	0,061	0,061	0,060	0,059	0,059
U/L		16/2/2021							
		CONTROL	CLIMA	P1	P2	P3	M1	M2	M3
ΕΠΙΛΟΓΕΣ Fetch ( km)	150	0,100	0,097	0,100	0,100	0,100	0,099	0,098	0,098
	197,1	0,076	0,074	0,076	0,076	0,076	0,075	0,075	0,075
	215,5	0,069	0,068	0,070	0,070	0,070	0,069	0,068	0,068
	258,2	0,058	0,056	0,058	0,058	0,058	0,057	0,057	0,057
	298,1	0,050	0,049	0,050	0,050	0,051	0,050	0,049	0,049
	308,2	0,049	0,047	0,049	0,049	0,049	0,048	0,048	0,048
	350	0,043	0,042	0,043	0,043	0,043	0,042	0,042	0,042
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ		0,064	0,062	0,064	0,064	0,064	0,063	0,062	0,062

### 5.3.5 Σύγκριση ροής θερμότητας και υγρασίας μεταξύ των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA και του πειράματος CONTROL.

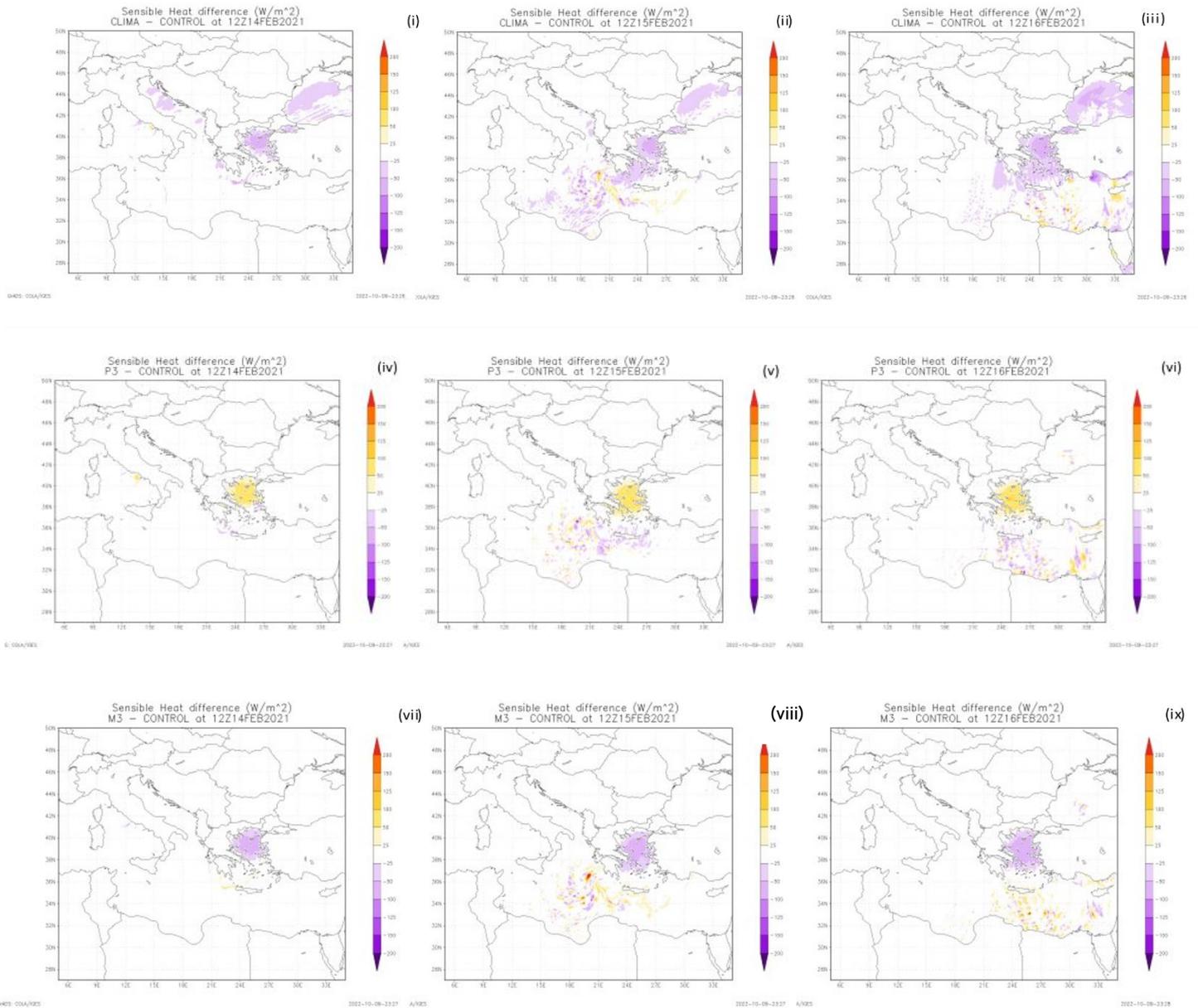
Για τα πειράματα P3, M3 και CLIMA οι διαφορές για την επιφανειακή ροή της αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.39* και στο *σχήμα 5.40* αντίστοιχα.

Στο πείραμα CLIMA η ροή λανθάνουσας θερμότητας είναι ελαφρώς μειωμένη σε σχέση με το πείραμα CONTROL ( διαφορά που δεν ξεπερνά τα  $100 \text{ W/m}^2$ ) εκτός από την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου όπου η διαφορά στο βόρειο Αιγαίο γίνεται λίγο μεγαλύτερη και φθάνει τα  $150 \text{ W/m}^2$ . Αντίστοιχα για την ροή αισθητής θερμότητας οι διαφορές δεν ξεπερνούν τα  $50 \text{ W/m}^2$  για όλες τις ημέρες του φαινομένου για το βόρειο Αιγαίο. Οι διαφορές αυτές αν και μικρές μπορούν να μεταφραστούν ως παροχή μικρότερης ενέργειας για το φαινόμενο με τις κλιματικές θερμοκρασίες θάλασσας και αναμένεται και ελαφρώς μειωμένος υετός.

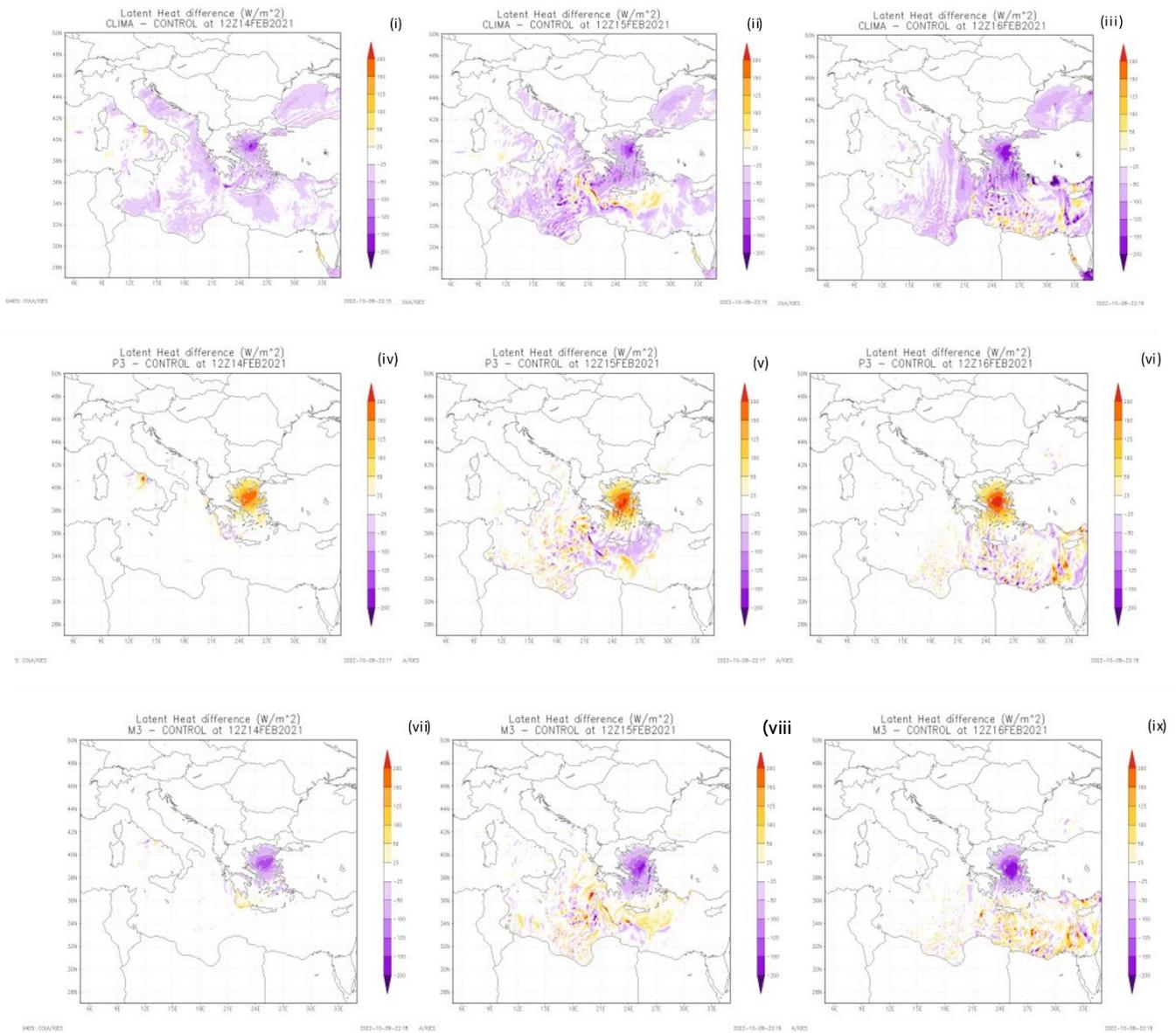
Για το πείραμα M3 τόσο η ροή της λανθάνουσας όσο και της αισθητής θερμότητας είναι μικρότερες σε σχέση με το πείραμα CONTROL, αλλά σε μικρότερη έκταση από τις διαφορές του πειράματος CLIMA. Οι διαφορές επικεντρώνονται στο κεντρικό Αιγαίο πάνω από το κέντρο της επιπρόσθετης ανωμαλίας. Οι διαφορές για την λανθάνουσα θερμότητα είναι μεγαλύτερες από αυτές της ροής αισθητής θερμότητας και αυξάνονται με τον χρόνο. Οι διαφορές για την ροή αισθητής θερμότητας δεν υπερβαίνουν τα  $50 \text{ W/m}^2$ . Οι μικρές αυτές διαφορές του πειράματος M3 με το πείραμα CONTROL σηματοδοτούν μία μικρή αποδυνάμωση του φαινομένου με την μείωση των θερμοκρασιών θάλασσας στο κεντρικό Αιγαίο και αναμένεται μικρή μείωση και του υετού που συνεπάγεται και μείωση του χιονιού.

Αντίθετα, για το πείραμα P3 παρατηρείται μικρή αύξηση των ροών τόσο αισθητής όσο και λανθάνουσας θερμότητας που είναι μεγαλύτερη κατ' απόλυτη τιμή από τις αντίστοιχες διαφορές του πειράματος M3. Και πάλι, όπως είναι αναμενόμενο οι διαφορές επικεντρώνονται πάνω από το κεντρικό Αιγαίο και το κέντρο της επιπρόσθετης ανωμαλίας θερμοκρασιών θάλασσας. Οι ροές αισθητής θερμότητας δεν παρουσιάζουν διαφορά μεγαλύτερη των  $100 \text{ W/m}^2$  για καμία από τις ημέρες του φαινομένου, αλλά η ροή λανθάνουσας θερμότητας παρουσιάζει μεγαλύτερες διαφορές που υπερβαίνουν τα  $200 \text{ W/m}^2$  την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου καθώς αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου. Η αύξηση αυτή συνδέεται λογικά με την αύξηση θερμοκρασιών θάλασσας και άρα με τον αναμενόμενο αυξημένο υετό και επαγωγικά και με την αυξημένη χιονόπτωση. Βέβαια οι υψηλότερες θερμοκρασίες θάλασσας

μπορεί να οδηγήσουν και σε τήξη μέρους του χιονιού μεγαλύτερο από αυτό του πειράματος M3.

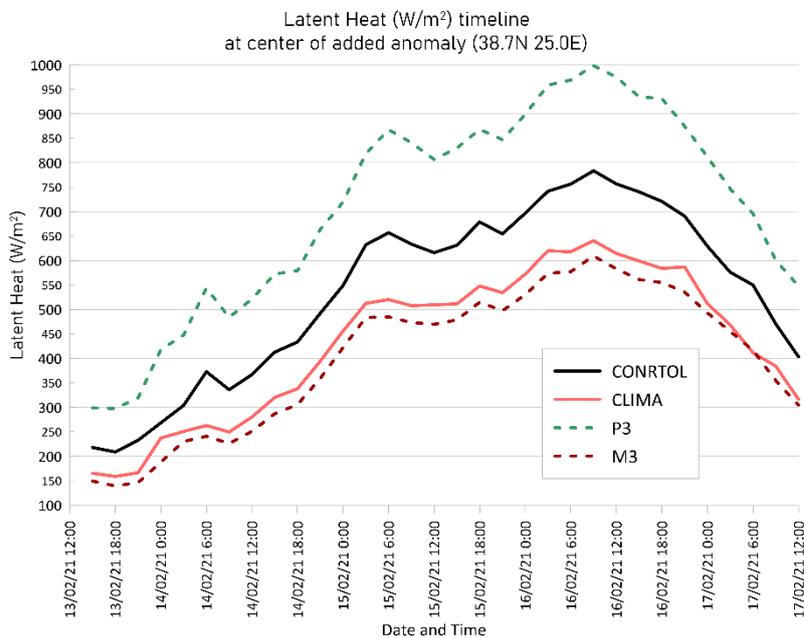
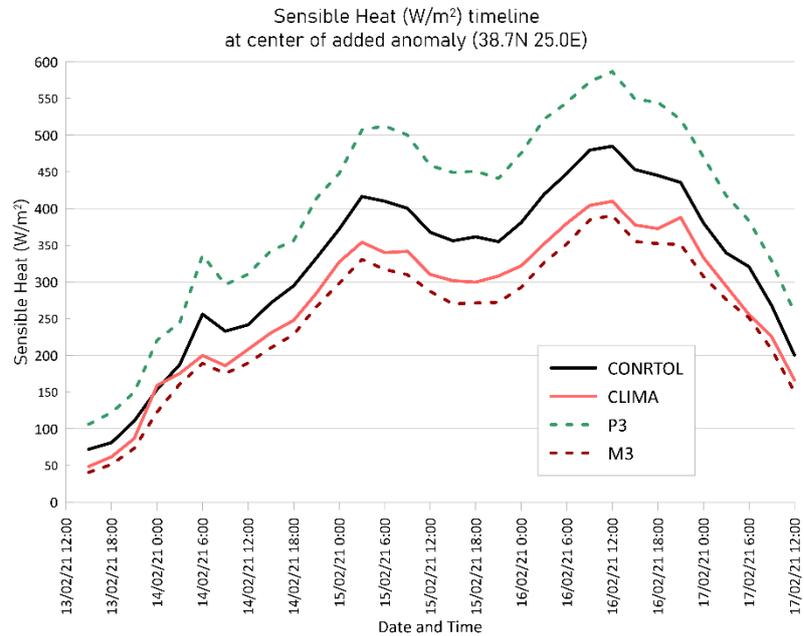


Σχήμα 5. 39 Διαγράμματα διαφοράς ροής αισθητής θερμότητας από το πείραμα CONTROL για όλες τις ημέρες του φαινομένου και για τα πειράματα CLIMA, P3 και M3. (i) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (ii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (iii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC, (iv) Πείραμα P3, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (v) Πείραμα P3, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (vi) Πείραμα P3, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC, (vii) Πείραμα M3, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (viii) Πείραμα M3, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (ix) Πείραμα M3, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.



Σχήμα 5. 40 Διαγράμματα διαφοράς ροής λανθάνουσας θερμότητας από το πείραμα CONTROL για όλες τις ημέρες του φαινομένου και για τα πειράματα CLIMA, P3 και M3. (i) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (ii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (iii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC, (iv) Πείραμα P3, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (v) Πείραμα P3, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (vi) Πείραμα P3, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC, (vii) Πείραμα M3, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (viii) Πείραμα M3, Χρόνος : 15/02/2021 12:00 UTC, (ix) Πείραμα M3, Χρόνος : 16/02/2021 12:00 UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

Τα προηγούμενα γίνονται ακόμα πιο εμφανή με το *σχήμα 5.41*, όπου παρουσιάζονται οι χρονοσειρές των ρών της λανθάνουσας και της αισθητής θερμότητας στο κέντρο της επιπρόσθετης ανωμαλίας.



*Σχήμα 5. 41 Χρονοσειρά της επιφανειακής ροής αισθητής (α) και λανθάνουσας (β) θερμότητας στο κέντρο της επιπρόσθετης ανωμαλίας θερμοκρασίας θάλασσας (38.7N 25.0E). 13/02/2021 00:00UTC - 17/02/2021 18:00UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.*

### 5.3.6 Σύγκριση υετού μεταξύ των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA και του πειράματος CONTROL.

#### 5.3.6.1 14<sup>η</sup> Φεβρουαρίου

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ενδεικτικά για τα πειράματα CONTROL, P3, M3 και CLIMA στο *σχήμα 5.42 (i - iv)*. Οι διαφορές τους με το πείραμα CONTROL παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Για το πείραμα CLIMA ο υετός παρουσιάζεται σε ελαφρώς μικρότερη περιοχή πάνω από την χώρα και ειδικά για τις υψηλές τιμές υετού. Παρατηρείται επίσης μια γενική μετατόπιση του υετού προς τα δυτικά. Για τα πειράματα M1, M2 (δεν δείχνονται) και M3 παρατηρείται μείωση του υετού καθώς η ανωμαλία ενισχύεται καθώς και μείωση του εύρους των μεγάλων υψών υετού. Οι μεγαλύτερες διαφορές του υετού των πειραμάτων  $M_i$  από το CONTROL εμφανίζονται νότια της Πελοποννήσου (Κοντά στην περιοχή των Κυθήρων) καθώς και στο κεντρικό Αιγαίο. Φυσικά, οι διαφορές αυτές αυξάνονται καθώς προστίθεται μεγαλύτερη ανωμαλία στις θερμοκρασίες της επιφανείας της θάλασσας. Παρατηρείται επίσης μικρή μετατόπιση προς τα νότια. Αντίθετα για τα πειράματα P1, P2 (δεν δείχνονται) και P3 παρατηρείται μικρή γενική αύξηση του υετού που είναι μεγαλύτερη όσο πιο μεγάλη είναι η προσθήκη θετικής ανωμαλίας στις θερμοκρασίες επιφανείας θάλασσας. Παρατηρείται επίσης μικρή μετατόπιση του υετού βορειοανατολικότερα. Είναι σημαντικό εδώ να σημειωθεί πως η σχέση του υετού μεταξύ των πειραμάτων θα αναλυθεί περισσότερο στο *κεφάλαιο 5.4* με στατιστικές μεθόδους.

#### 5.3.6.2 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για τα πειράματα P3, M3 και CLIMA στο *σχήμα 5.42 (v - viii)*. Οι διαφορές τους με το πείραμα CONTROL παρουσιάζονται στο παράρτημα.

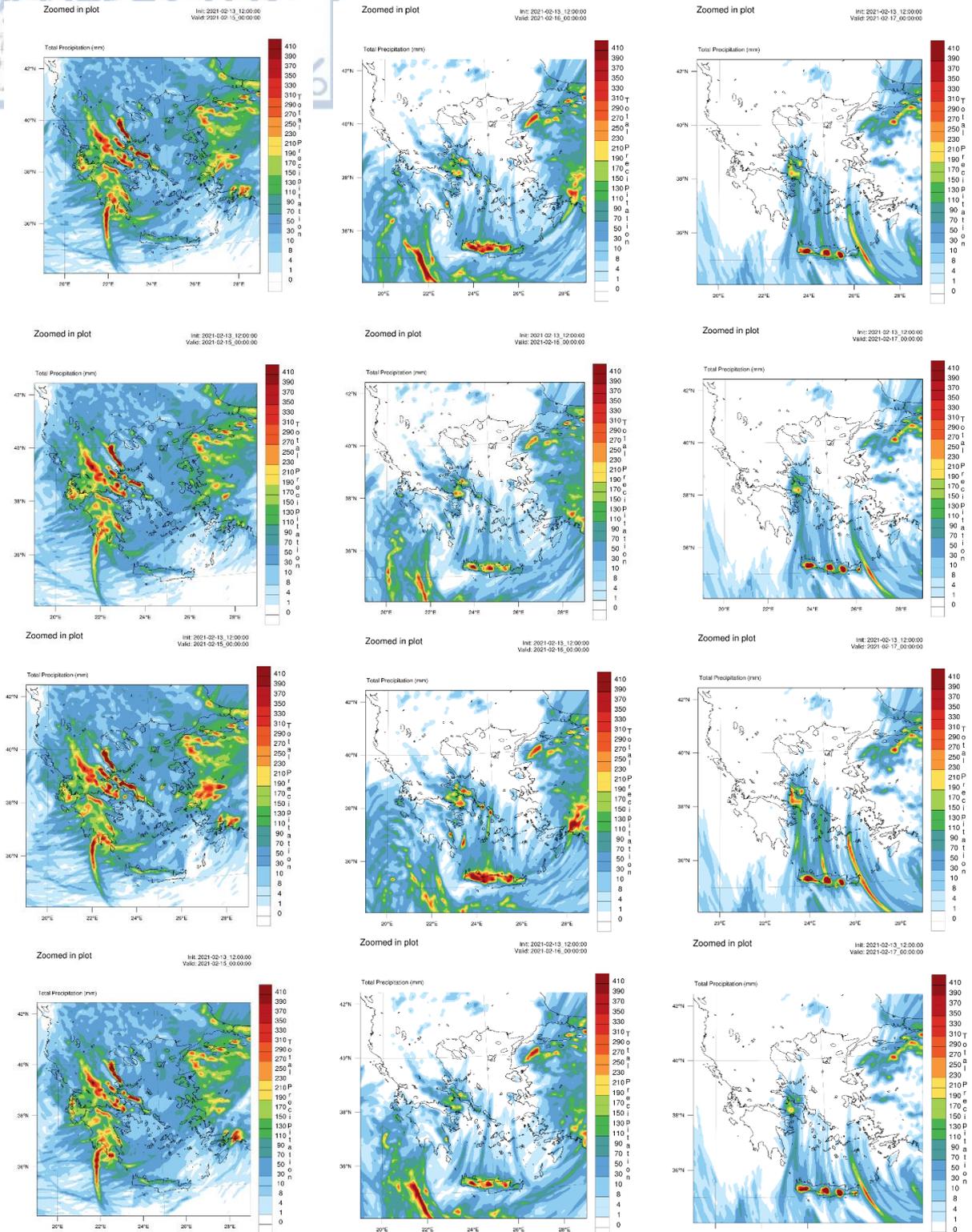
Ο υετός για το πείραμα CLIMA έχει ελάχιστα μικρότερη μέση τιμή ( 0.99 mm) και παρουσιάζει μια μικρή μετατόπιση προς τα ανατολικά σε σχέση με το πείραμα CONTROL. Για τα πειράματα M1, M2 (δεν δείχνονται) και M3 η μέση τιμή υετού είναι μικρότερη από αυτή του πειράματος CONTROL, και μειώνεται καθώς αυξάνεται η αρνητική ανωμαλία. Αντίθετα, για τα πειράματα P1, P2 (δεν δείχνονται) και P3 παρατηρείται μετατόπιση του υετού προς τα δυτικά και το ύψος του υετού για τα πειράματα αυτά είναι μεγαλύτερο από το πείραμα CONTROL, και αυξάνεται όσο αυξάνεται η θετική ανωμαλία που προστίθεται. Το ποσοστά κατά τα οποία τα

πειράματα P1, P2 (δεν δείχνονται), P3 υπερβαίνουν τον υετό του πειράματος CONTROL είναι μεγαλύτερα από τα ποσοστά που ο υετός του πειράματος CONTROL υπερβαίνει τον υετό των πειραμάτων Mi (συγκρίνοντας τον υετό για τα πειράματα με την αντίθετη τιμή ανωμαλίας).

### 5.3.6.3 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για τα πειράματα P3, M3 και CLIMA στο *σχήμα 5.42 (ix - xii)*. Οι διαφορές τους με το πείραμα CONTROL παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Για το πείραμα CLIMA παρουσιάζεται μικρή μετατόπιση προς τα ανατολικά σε σχέση με το πείραμα CONTROL. Η μέση τιμή του ύψους του υετού είναι κατά 14% περίπου, μικρότερο από του CONTROL. Για τα πειράματα M1, M2 (δεν δείχνονται) και M3 παρουσιάζεται μικρή μετατόπιση ανατολικά που αυξάνεται με την αύξηση της αρνητικής ανωμαλίας. Η μέση τιμή του υετού για τα πειράματα μειώνεται σε σχέση με το πείραμα CONTROL. Μεγάλη διαφορά παρουσιάζεται μεταξύ του πειράματος M1 και M3. Ο υετός του πειράματος M1 απέχει από το CONTROL κατά 3,92% ενώ ο υετός του πειράματος M3 είναι κατά 18,7% περισσότερος από αυτόν του CONTROL. Για τα πειράματα P1, P2 και P3 η μετατόπιση που παρατηρείται είναι προς τα ανατολικά και αυξάνεται με την αύξηση της θετικής ανωμαλίας σε σχέση με τον υετό του πειράματος CONTROL. Το μέσο ύψος του υετού των πειραμάτων P1, P2 (δεν δείχνονται), P3 είναι μεγαλύτερο του μέσου υετού του πειράματος CONTROL. Τα ποσοστά με τα οποία τα πειράματα Pi υπερβαίνουν τον υετό του πειράματος CONTROL είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα ποσοστά με τα οποία ο υετός των M1, M2 (δεν δείχνονται), M3 είναι μικρότερος αυτού του πειράματος CONTROL. Ο υετός του πειράματος P1 υπερβαίνει τον υετό του CONTROL κατά 8,4%, του P2 κατά 14,2% και του P3 κατά 23,7%.



Σχήμα 5. 42 Διαγράμματα ύψους νετού για όλες τις ημέρες του φαινομένου και για τα πειράματα CONTROL, CLIMA, P3 και M3. (i) Πείραμα CONTROL, Χρόνος : 14/02/2021 (ii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 14/02/2021 (iii) Πείραμα P3, Χρόνος : 14/02/2021 (iv) Πείραμα M3, Χρόνος : 14/02/2021 (v) Πείραμα CONTROL, Χρόνος : 15/02/2021 (vi) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 15/02/2021, (vii) Πείραμα P3, Χρόνος : 15/02/2021, (viii) Πείραμα M3, Χρόνος : 15/02/2021, (ix) Πείραμα CONTROL, Χρόνος : 16/02/2021, (x) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 16/02/2021, (xi) Πείραμα P3, Χρόνος : 16/02/2021 και (xii) Πείραμα M3, Χρόνος : 16/02/2021 Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

### 5.3.7 Σύγκριση χιονιού μεταξύ των πειραμάτων P3, M3 και CLIMA και του πειράματος CONTROL.

#### 5.3.7.1 14<sup>η</sup> Φεβρουαρίου

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για τα πειράματα P3, M3 και CLIMA στο *σχήμα 5.43 (i - iv)*. Οι διαφορές τους με το πείραμα CONTROL παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Για το πείραμα CLIMA, το χιόνι μετατοπίζεται ελαφρώς δυτικά σε σχέση με το CONTROL και παρουσιάζει λίγο μικρότερες τιμές ύψους. Για τα πειράματα M1, M2 (δεν δείχνονται) και M3 η διαφορά του χιονιού από αυτό του πειράματος CONTROL είναι πολύ μικρή, με την προσθήκη αρνητικής ανωμαλίας να μειώνει ελάχιστα το ύψος χιονιού, με πολύ μικρή μετατόπιση προς τα νότια. Και πάλι εδώ, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις η διαφορά είναι πιο έντονη με την προσθήκη μεγαλύτερης ανωμαλίας. Αντίστοιχα για τα πειράματα P1, P2 και P3 το χιόνι αυξάνεται ελάχιστα σε σχέση με το πείραμα CONTROL, και περισσότερο καθώς προστίθεται μεγαλύτερη ανωμαλία.

#### 5.3.7.2 15<sup>η</sup> Φεβρουαρίου

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για τα πειράματα P3, M3 και CLIMA στο *σχήμα 5.43 (v - viii)*. Οι διαφορές τους με το πείραμα CONTROL παρουσιάζονται στο παράρτημα.

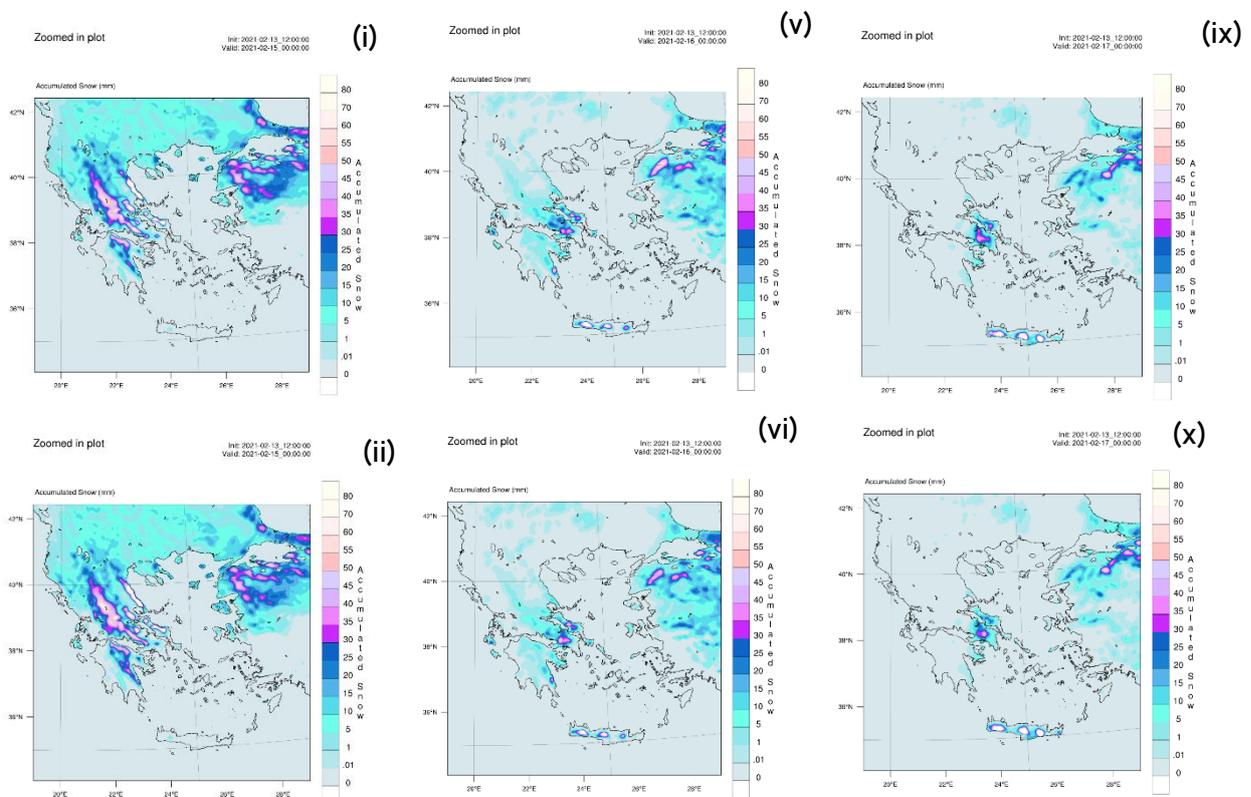
Το πείραμα CLIMA, παρουσιάζει μικρότερο ύψος από αυτό του CONTROL κατά 11,82%. Το χιόνι των πειραμάτων M1, M2 και M3 παρουσιάζουν μια μικρή μετατόπιση προς τα ανατολικά. Τα πειράματα αυτά παρουσιάζουν χιόνι μικρότερου ύψους. Το ύψος μειώνεται με την αύξηση της ανωμαλίας, φτάνοντας να είναι 8,6% μικρότερο το ύψος του χιονιού για το πείραμα M3. Αντίστοιχα για τα πειράματα P1, P2 και P3 παρουσιάζουν μικρή μετατόπιση προς τα δυτικά σε σχέση με το πείραμα CONTROL. Το ύψος του χιονιού αυξάνεται (με μεγαλύτερο ποσοστό από την μείωση στα πειράματα Mi) όσο αυξάνεται η θετική ανωμαλία σε σχέση με το πείραμα CONTROL, φθάνοντας να είναι κατά 9,37% περισσότερο χιόνι για το πείραμα P3 σε σχέση με το πείραμα CONTROL.

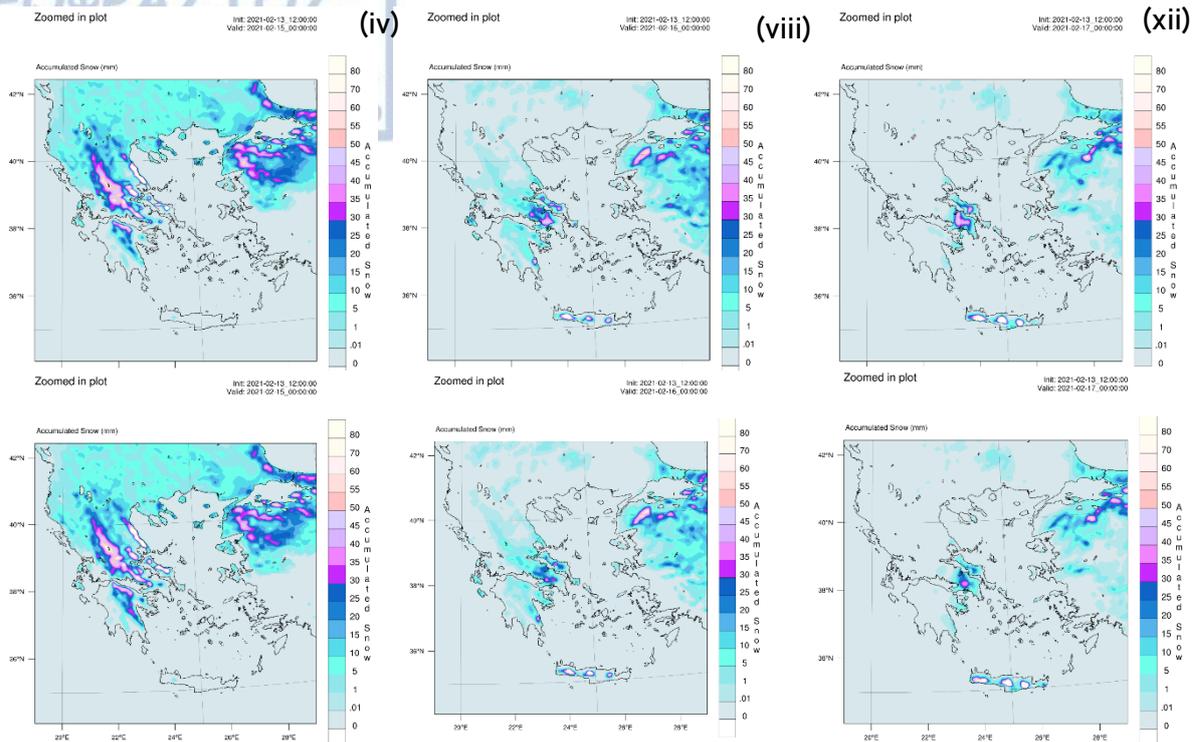
5.3.7.3 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για τα πειράματα P3, M3 και CLIMA στο *σχήμα 5.13 (ix - xii)*. Οι διαφορές τους με το πείραμα CONTROL παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Για το πείραμα CLIMA, συγκρινόμενο με το πείραμα CONTROL παρουσιάζει μείωση κατά 9,9% στις ίδιες περιοχές. Τα πειράματα M1, M2 και M3 παρουσιάζουν μείωση του μέσου ύψος χιονιού με ποσοστό που αυξάνεται όσο αυξάνεται η αρνητική ανωμαλία. Για τα πειράματα αυτά επίσης παρατηρείται ελάχιστα μικρότερη χωρική έκταση των περιοχών με χιονόπτωση σε σχέση με το πείραμα CONTROL ( πείραμα M1 λιγότερο χιόνι κατά 3,22%, πείραμα M2 λιγότερο χιόνι κατά 9,8% και πείραμα M3 λιγότερο χιόνι κατά 13,5%).

Για τα πειράματα P1, P2 και P3 παρατηρείται αύξηση του μέσου ύψους του χιονιού σε σχέση με το πείραμα CONTROL. Το ποσοστό κατά το οποίο το μέσο ύψος χιονιού είναι μεγαλύτερο για τα πειράματα αυτά, αυξάνεται καθώς αυξάνεται και η προσθήκη ανωμαλίας (πείραμα P1 μεγαλύτερο ύψος χιονιού κατά 5,7%, για το πείραμα P2 κατά 11,3% και για το πείραμα P3 κατά 19%). Το μέγιστο ύψος χιονιού εμφανίζεται για το πείραμα P3 με μέγιστο ύψος μεγαλύτερο των 30 mm.



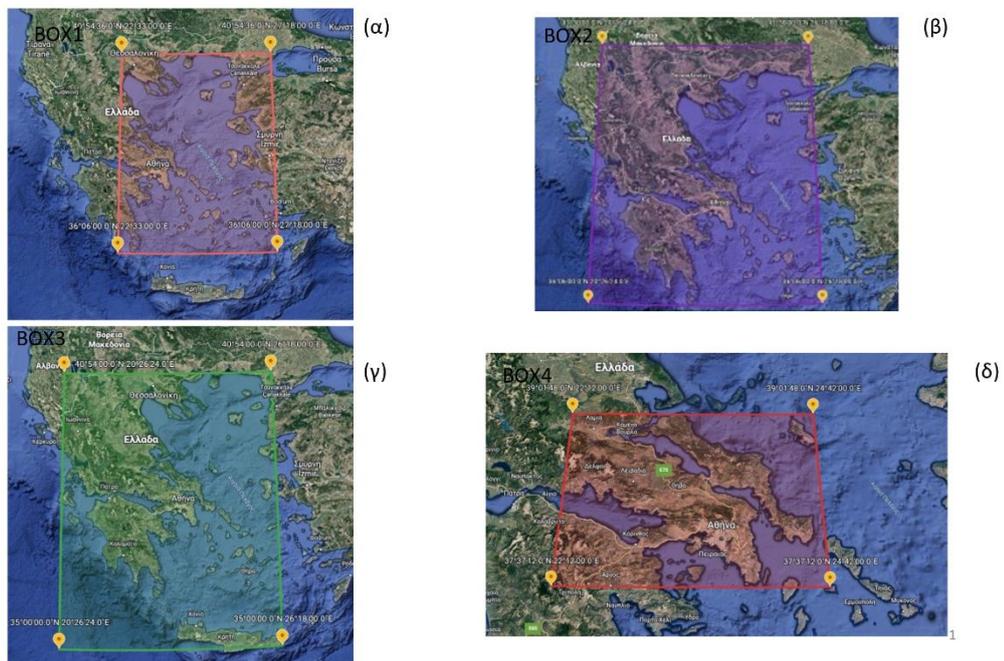


Σχήμα 5. 43 Διαγράμματα ύψους χιονιού για όλες τις ημέρες του φαινομένου και για τα πειράματα CONTROL, CLIMA, P3 και M3. (i) Πείραμα CONTROL, Χρόνος : 14/02/2021 (ii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 14/02/2021, (iii) Πείραμα P3, Χρόνος : 14/02/2021, (iv) Πείραμα M3, Χρόνος : 14/02/2021, (v) Πείραμα CONTROL, Χρόνος : 15/02/2021, (vi) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 15/02/2021, (vii) Πείραμα P3, Χρόνος : 15/02/2021, (viii) Πείραμα M3, Χρόνος : 15/02/2021, (ix) Πείραμα CONTROL, Χρόνος : 16/02/2021 (x) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 16/02/2021, (xi) Πείραμα P3, Χρόνος : 16/02/2021 και (xii) Πείραμα M3, Χρόνος : 16/02/2021 Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

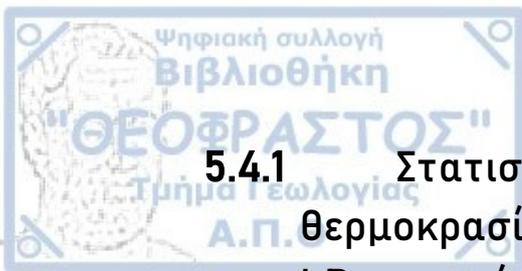
## 5.4 Στατιστική ανάλυση των πειραμάτων

Για τα πειράματα που παρουσιάζονται στον *πίνακα 5.1*, παρουσιάζεται στην συνέχεια στατιστική ανάλυση για κάποιες από τις μεταβλητές που υπολογίζονται για κάθε ένα από τα πειράματα.

Για την στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις περιοχές, ή κουτιά, πάνω από την Ελληνική περιοχή. Τα κουτιά παρουσιάζονται στο *σχήμα 5.44*. Στο *σχήμα 5.44* (α) παρουσιάζεται το πρώτο κουτί (Γεωγραφικό Μήκος: 22.55E έως 27.30E, Γεωγραφικό πλάτος: 36.10N έως 40.91N), που στην συνέχεια θα αναφέρεται BOX1, πάνω από την περιοχή του Αιγαίου, συμπεριλαμβανομένων και των παραλίων γύρω από αυτό. Στο *σχήμα 5.44* (β) εμφανίζεται το δεύτερο κουτί (Γεωγραφικό Μήκος: 20,44E έως 26,30E, Γεωγραφικό πλάτος: 36,10N έως 41,5N), που στην συνέχεια θα αναφέρεται BOX2 και εμπεριέχει όλη την ηπειρωτική Ελλάδα και μέρος του Αιγαίου πελάγους. Στο *σχήμα 5.44* (γ) παρουσιάζεται το τρίτο κουτί (Γεωγραφικό Μήκος: 20,44 E έως 26.30E, Γεωγραφικό πλάτος: 35,00N έως 40.91N) που θα αναφέρεται στην συνέχεια ως BOX3 και καλύπτει την ηπειρωτική Ελλάδα, τις Κυκλάδες και της Κρήτης, Τέλος το *σχήμα 5.44* (δ) αντιστοιχεί στο τέταρτο κουτί (Γεωγραφικό Μήκος: 22,20E έως 34,70E, Γεωγραφικό πλάτος: 37,62N έως 39,03N) που θα αναφέρεται στην συνέχεια BOX4 και αντιστοιχεί στην περιοχή με τα πιο έντονα φαινόμενα, στην Βοιωτία, την Εύβοια και την Αττική.



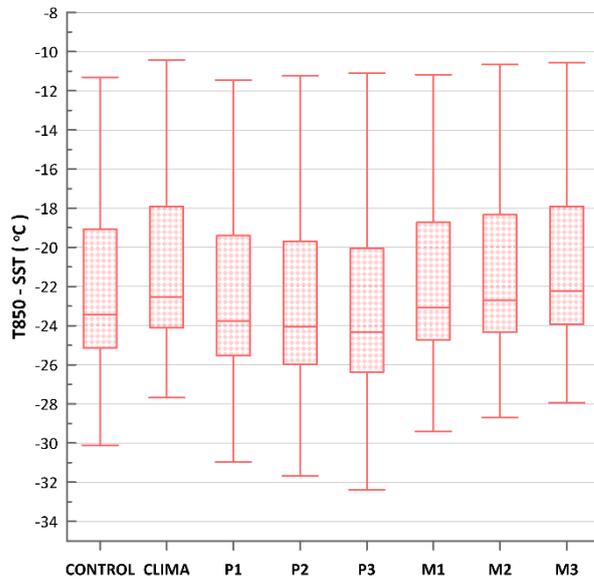
Σχήμα 5. 44 Χάρτες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν ως «κουτιά» για την στατιστική ανάλυση των μεταβλητών αυτού του κεφαλαίου. (α) BOX1 (β) BOX2 (γ) BOX3 και (δ) BOX4



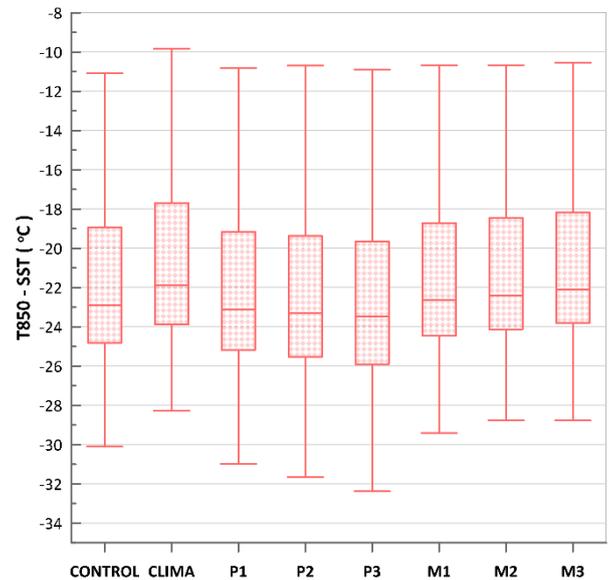
#### 5.4.1 Στατιστική ανάλυση για την διαφορά θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa σε σχέση με την θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας.

Στο σχήμα 5.45 παρουσιάζονται τα θηκογράμματα που δημιουργούνται για κάθε πείραμα και κάθε κουτί για τη διαφορά της θερμοκρασίας επιφάνειας θάλασσας από την θερμοκρασία στα 850 hPa (αγνοώντας τα σημεία ξηράς σε περιοχές με ξηρά). Τα θηκογράμματα χρησιμοποιούνται εδώ με τις βάσεις που είναι παράλληλες με τον οριζόντιο άξονα να αντιστοιχούν στην μέγιστη (άνω βάση) και ελάχιστη (κάτω βάση) τιμή των δεδομένων της μεταβλητής. Η κάτω πλευρά του ορθογώνιου αντιστοιχούν στο 25% δεδομένων και η άνω πλευρά αντιστοιχεί στο 75% των δεδομένων. Η γραμμή που εμφανίζεται μέσα στο ορθογώνιο αντιστοιχεί στην διάμεσο των δεδομένων.

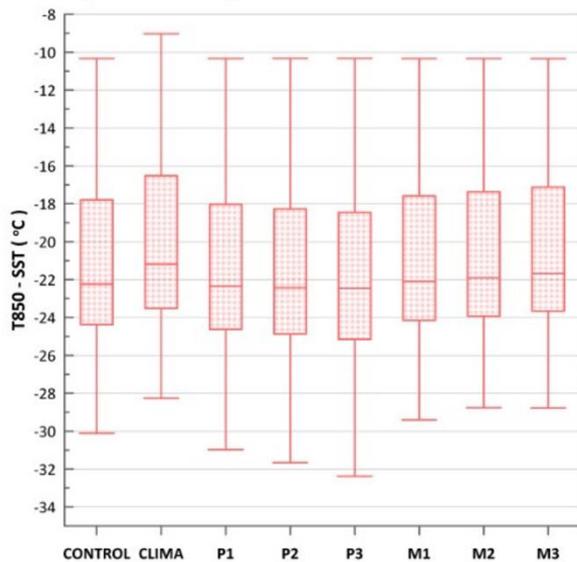
(α) Difference of Temperature at 850hPa and Sea Surface Temperature  
Boxplots for each experiment for the area above Box 1



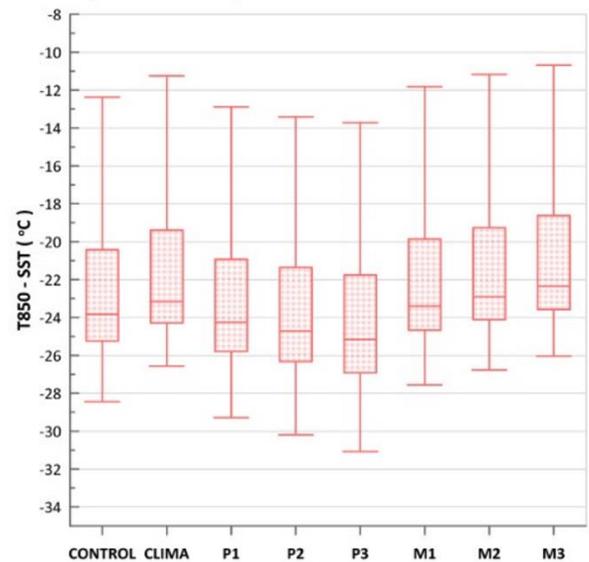
(β) Difference of Temperature at 850hPa and Sea Surface Temperature  
Boxplots for each experiment for the area above Box 2



(γ) Difference of Temperature at 850hPa and Sea Surface Temperature  
Boxplots for each experiment for the area above Box 3



(δ) Difference of Temperature at 850hPa and Sea Surface Temperature  
Boxplots for each experiment for the area above Box 4



Σχήμα 5. 45 Θηκογράμματα της θερμοκρασίας στα 850 hPa μείον της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας, με τα ακραία σημεία να αντιστοιχούν στην μέγιστη και ελάχιστη τιμή και τις βάσεις του ορθογωνίου να αντιστοιχούν στο 1ο και 3ο τεταρτημόριο των δεδομένων και την παράλληλη γραμμή στην μέση του ορθογωνίου να αντιστοιχεί με την διάμεσο των δεδομένων. (α) BOX1, (β) BOX2, (γ) BOX3 και (δ) BOX4. Χρόνος: 13/02/2021 00UTC - 17/02/2021 18UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

Στο *σχήμα 5.45 (α)* που αντιστοιχεί στο BOX1 για το πείραμα CONTROL το 50% των δεδομένων της διαφοράς θερμοκρασίας βρίσκονται στο  $-19$  έως  $-25$  °C (βλ. προηγούμενα κεφάλαια για τα όρια του κριτηρίου), πληρώντας έτσι το κριτήριο για τις περισσότερες περιπτώσεις. Η ακραία τιμή που αντιστοιχεί στην ελάχιστη διαφορά θερμοκρασίας είναι  $-11,5$  °C, 1,5 μόνο βαθμό μεγαλύτερη του ορίου των  $-13$  °C. Στο πείραμα CLIMA, το 50% των διαφορών είναι λίγο μεγαλύτερες από αυτές του πειραμάτων CONTROL, με τόσο την μέγιστη όσο και την ελάχιστη διαφορά να είναι μεγαλύτερες αυτής του πειράματος CONTROL. Για τα πειράματα P1, P2 και P3 το 50% των διαφορών είναι όλο και μικρότερες όσο αυξάνεται η ανωμαλία, το ίδιο και η μέγιστη διαφορά, αντίθετα όμως η ελάχιστη διαφορά αυξάνεται όσο αυξάνεται η προσθήκη της ανωμαλίας. Για τα πειράματα M1, M2 και M3 το 50% των διαφορών όλο και αυξάνεται με την προσθήκη αρνητικής ανωμαλίας, μεγαλύτερη είναι επίσης τόσο η ελάχιστη όσο και μέγιστη διαφορά σε σχέση με το πείραμα CONTROL. Σε κάθε περίπτωση το 50% των δεδομένων για κάθε πείραμα αντιστοιχεί σε διαφορές μικρότερες των  $-13$  °C και οι μέγιστες τιμές των διαφορών είναι πάντα μικρότερη των  $-10$  °C.

Στο *σχήμα 5.45 (β)*, για το BOX2 παρουσιάζεται αντίστοιχη εικόνα με την μόνη διαφορά να είναι ότι τόσο το 50% όσο και η μέγιστη τιμή του πειράματος CLIMA αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες διαφορές. Μάλιστα η μέγιστη τιμή υπερβαίνει τους  $-10$  °C.

Στο *σχήμα 5.45 (γ)*, για το BOX3 η εικόνα είναι αντίστοιχη με αυτή του BOX2 με την διαφορά ότι για τα πειράματα Pi και Mi οι μέγιστες τιμές ( και άρα οι ελάχιστες διαφορές) βρίσκονται ακριβώς στο ίδιο επίπεδο ( $-11,9$  °C) για όλες τις περιπτώσεις.

Τέλος για το *σχήμα 5.45 (δ)* που αντιστοιχεί στο BOX4 και άρα στην πιο περιορισμένη χωρικά επιλογή περιοχής παρατηρούνται ελαφρώς διαφορετικά αποτελέσματα. Για το πείραμα CONTROL το 50% των διαφορών βρίσκονται ανάμεσα στις τιμές  $-21$  έως  $-25$  °C. Η ελάχιστη τιμή (μέγιστη διαφορά) έχει μικρή απόσταση από το 50% των αποτελεσμάτων στους  $-28$  °C, ενώ η ελάχιστη διαφορά είναι  $-12,2$  °C. Το πείραμα CLIMA έχει διαφορές μετατοπισμένες κατά  $2$  °C περίπου μεγαλύτερες από αυτές του CONTROL. Για τα πειράματα P1, P2 και P3 όλες οι διαφορές είναι μικρότερες του CONTROL, με τις διάφορες να μειώνονται καθώς αυξάνεται η προσθήκη θετικής ανωμαλίας. Παρατηρείται μάλιστα ότι για το πείραμα P3 όλες οι διαφορές είναι μικρότερες από το κατώφλι των  $-13$  °C. Από την άλλη τα πειράματα M1, M2 και M3 αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες διαφορές από ότι το πείραμα CONTROL, και πληρούν το κριτήριο σε μικρότερο ποσοστό από αυτό του πειράματος CONTROL.

Στον *πίνακα 5.16* παρουσιάζονται τα ποσοστά των διαφορών θερμοκρασίας για κάθε πείραμα και για κάθε κουτί, τα οποία αντιστοιχούν στα δεδομένα στα οποία οι διαφορές θερμοκρασίας είναι μικρότερες (πιο αρνητικές) από αυτή των  $-13^{\circ}\text{C}$ . Το μεγαλύτερο ποσοστό είναι αυτό του πειράματος CLIMA και από την άλλη πλευρά το ποσοστό για το BOX3. Αυτό σημαίνει πως για τις δύο αυτές επιλογές υπάρχει μικρότερη πιθανότητα να πληρούν το κριτήριο που ζητά την διαφορά αυτή των θερμοκρασιών να είναι μικρότερη των  $-13^{\circ}\text{C}$  και άρα να καταταχθούν στο φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow). Αντίθετα το πείραμα P3 και η περιοχή BOX4 αντιστοιχούν στα ελάχιστα ποσοστά, που αντιστοιχούν στις «καλύτερες» επιλογές για την ένταξη του φαινομένου στην κατηγορία φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow). Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι όσο ψυχρότερες είναι οι θερμοκρασίες θάλασσας τόσο μικρότερη αστάθεια παρατηρείται και έτσι η πιθανότητα εμφάνισης καταιγίδων με χιόνι μειώνεται. Επίσης για το κουτί BOX3 οι διαφορές δεν ικανοποιούν το κριτήριο σε ποσοστό εξίσου μεγάλο με τα υπόλοιπα κουτιά καθώς λαμβάνεται υπόψιν και το νότιο Αιγαίο στο οποίο δεν εμφανίζεται το φαινόμενο.

*Πίνακας 5. 3 Πίνακας ποσοστού των δεδομένων για τα οποία η διαφορά της θερμοκρασίας επιφανείας θάλασσας από την θερμοκρασία της ισοβαρικής επιφανείας των 850 hPa είναι μικρότερη(των  $-13^{\circ}\text{C}$ . Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF Κόκκινο - Μέγιστο ποσοστό, Πράσινο -Ελάχιστο ποσοστό.*

Percentage of Temp_850hPa -STT greater than -13 degrees					
	BOX1	BOX2	BOX3	BOX4	AVERAGE
CONTROL	1,69%	3,07%	6,83%	0,05%	2,91%
CLIMA	12,00%	12,58%	16,70%	7,26%	12,13%
P1	1,18%	2,67%	6,47%	1,05%	2,84%
P2	0,96%	2,32%	6,23%	0,91%	2,60%
P3	0,79%	2,17%	6,13%	0,76%	2,46%
M1	3,14%	4,31%	7,80%	2,41%	4,42%
M2	5,71%	6,29%	9,35%	4,24%	6,40%
M3	8,36%	8,30%	10,90%	6,08%	8,41%
AVERAGE	4,23%	5,21%	8,80%	2,84%	

## 5.4.2 Στατιστική ανάλυση για την μεταβλητή του υετού.

Στο σχήμα 5.46 εμφανίζονται οι χρονοσειρές για τις τιμές του μέσου υετού ανά τρίωρο από τις 13 Φεβρουαρίου 2021 15:00 UTC έως 17 Φεβρουαρίου 2021 12:00 UTC. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των πειραμάτων με το μαύρο χρώμα να αντιστοιχεί στο πείραμα CONTROL, το μοβ χρώμα στο πείραμα CLIMA, το πράσινο χρώμα στα πειράματα P<sub>i</sub> και το κόκκινο χρώμα στα πειράματα M<sub>i</sub>. ( Εμφανίζονται ενδεικτικά μόνο τα πειράματα P3 και M3.)

Στο σχήμα 5.47 παρουσιάζονται με μορφή χρονοσειράς για το ίδιο χρονικό διάστημα, οι διαφορές όλων των υπολοίπων πειραμάτων από το πείραμα CONTROL (ή αλλιώς τα residuals).

Για το BOX1 και για το πείραμα CONTROL, αλλά και για όλα τα υπόλοιπα πειράματα παρατηρείται ένα μέγιστο του μέσου ύψους υετού που φθάνει τα 2,45 mm, στις 14/02/2021 και ώρα 03:00 UTC. Στην συνέχεια ο υετός μειώνεται μέχρι που μηδενίζεται στο τέλος του φαινομένου. Το πείραμα CLIMA παρουσιάζει μέσο ύψος υετού μικρότερο από αυτόν του πειράματος CONTROL, με εξαίρεση την περίοδο 14/02/2021 09:00 UTC έως 14/02/2021 21:00 UTC, όπου το μέσο ύψος του υετού είναι κατά μικρό ποσοστό μεγαλύτερο αυτού του πειράματος CONTROL. Για τα πειράματα M1, M2 και M3 το μέσο ύψος του πειράματος CONTROL υποεκτιμάται με μεγαλύτερο ποσοστό όσο αυξάνεται η προσθήκη αρνητικής ανωμαλίας. Αντίθετα τα πειράματα P1, P2 και P3 υπερεκτιμούν το μέσο ύψος του υετού για όλη την χρονοσειρά, με την υπερεκτίμηση να αυξάνεται, όσο αυξάνεται η επιπρόσθετη θετική ανωμαλία. Από το σχήμα 5.47 (α) παρουσιάζεται ότι οι διαφορές των πειραμάτων M1, M2 και M3 από το πείραμα CONTROL είναι αναλογικά μικρότερες από τις διαφορές των πειραμάτων P1, P2 και P3. Οι διαφορές για το πείραμα CLIMA συσχετίζονται καλύτερα με το πείραμα M3 εκτός από ορισμένες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα την περίοδο 14/02/2021 12:00 UTC έως 14/02/2021 21:00 UTC, όπου τα πειράματα P<sub>i</sub> προσεγγίζουν καλύτερα το πείραμα CLIMA.

Για το BOX2 η εικόνα είναι αντίστοιχη με αυτή του BOX1 με την διαφορά ότι το πείραμα CLIMA δεν αντιστοιχεί σε μέσο ύψος υετού μεγαλύτερο αυτού του πειράματος CONTROL, στην ίδια περίοδο αλλά στην περίοδο 15/02/2021 09:00 UTC έως τις 15/02/2021 18:00 UTC, όπως και για το πείραμα M2 και M3. Για τις διαφορές του μέσου ύψους υετών των πειραμάτων από αυτό του πειράματος CONTROL, το ποσοστό που τα πειράματα P<sub>i</sub> υπερεκτιμούν το μέσο ύψος υετού του πειράματος CONTROL είναι αναλογικά μεγαλύτερο της υποεκτίμησης των πειραμάτων M<sub>i</sub>. Εξαίρεση παρατηρείται για το διάστημα 15/02/2021 09:00 UTC έως 15/02/2021 18:00

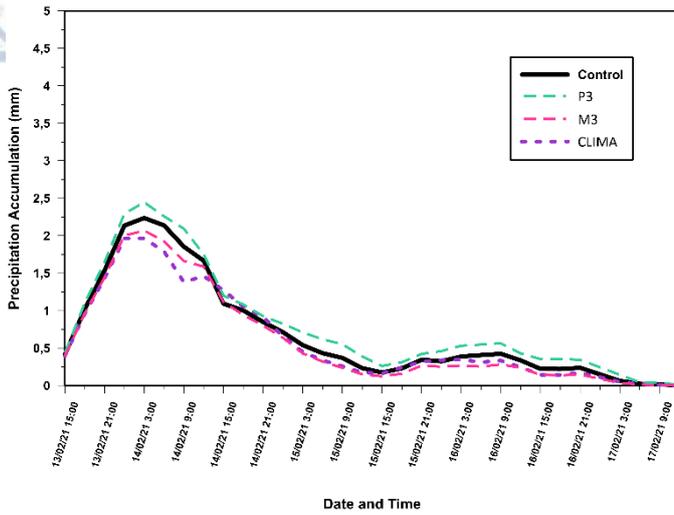
UTC όπου τα πειράματα M2 και M3 υπερεκτιμούν το μέσο ύψος υετού του πειράματος CONTROL, κατά ποσοστό μεγαλύτερο αυτού των πειραμάτων P2 και P3. Το πείραμα CLIMA προσεγγίζεται καλύτερα από το πείραμα M3 κατά μέσο όρο της χρονοσειράς.

Για το BOX3 το πείραμα CLIMA παρουσιάζει μικρότερο μέσο ύψους υετού από αυτόν του πειράματος CONTROL για όλη σχεδόν την διάρκεια της χρονοσειράς. Τα πειράματα P1, P2 και P3 όλα υπερεκτιμούν κατά μικρό ποσοστό τον μέσο υετό του CONTROL. Για τα πειράματα M1, M2 και M3 παρουσιάζεται μέσο ύψος υετού μικρότερο του πειράματος CONTROL για το μεγαλύτερο μέρος της χρονοσειράς εκτός από τις περιόδους 15/02/2021 09:00 UTC έως 16/02/2021 00:00 UTC και 16/02/2021 21:00 UTC έως 17/02/2021 06:00 UTC όπου τα πειράματα Mi υπερεκτιμούν το μέσο ύψος υετού του πειράματος CONTROL σε αναλογία περίπου με τα πειράματα Pi.

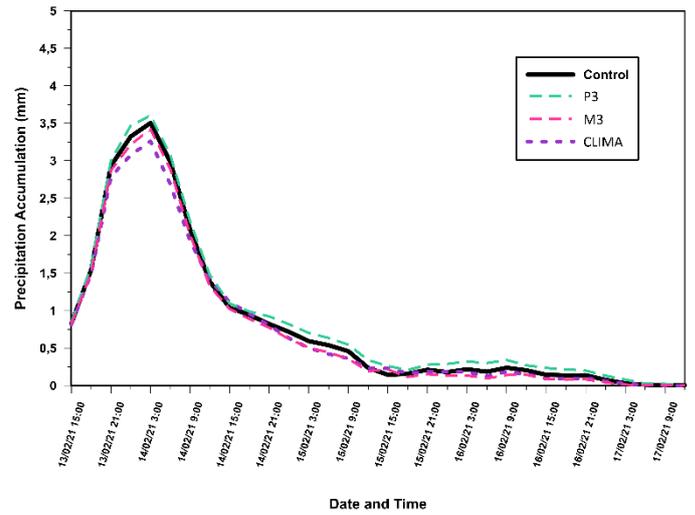
Τέλος, για το BOX4, όλα τα πειράματα Pi υπερεκτιμούν το μέσο ύψος του υετού και όλα τα πειράματα Mi το υποεκτιμούν. Αυτό συμβαίνει με εξαίρεση τα χρονικά διαστήματα 14/02/2021 και 15/02/2021 12:00 -15:00 UTC, όπου το πείραμα CLIMA και M3 υπερεκτιμούν τον υετό του πειράματος CONTROL κατά το πολύ 0,1 mm.

Το κουτί BOX1 αντιστοιχεί στον ελάχιστο υετό σε σχέση με τα υπόλοιπα κουτιά και αυτό είναι κάτι το αναμενόμενο καθώς εμπεριέχει το μικρότερο ποσοστό ξηράς από τα υπόλοιπα κουτιά. Το γεγονός ότι το BOX4 έχει τιμές μέσου υετού συγκρίσιμες με τα υπόλοιπα κουτιά παρότι καλύπτει πολύ μικρότερη περιοχή σημαίνει ότι τα μεγαλύτερα ύψη υετού αντιστοιχούν στην περιοχή εκείνη. Αυτό είναι κάτι το αναμενόμενο και πάλι, καθώς το BOX4 καλύπτει την περιοχή στην οποία εμφανίζεται και η κύρια ένταση του φαινομένου. Το γεγονός ότι το BOX3 παρουσιάζει σχετικά μικρότερα ύψη υετού σημαίνει πως ο υετός μειώνεται στο νότιο Αιγαίο σε σχέση με το βόρειο, κάτι που ταιριάζει και στα πραγματικά δεδομένα που αναλύθηκαν.

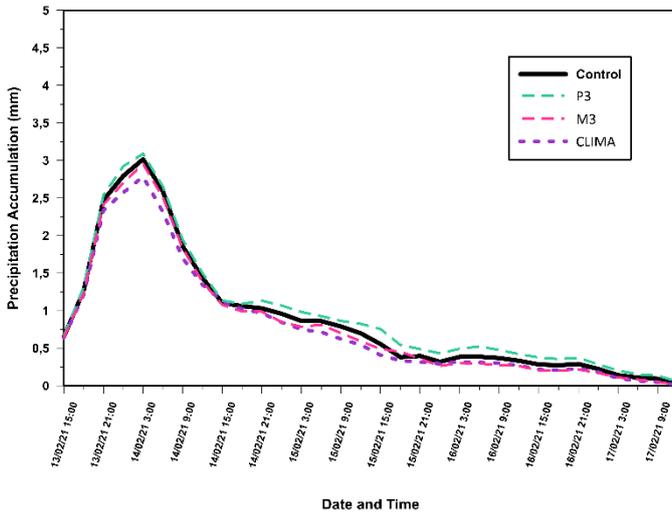
Mean Precipitation Accumulation Timeline per experiment for the area above Box 1



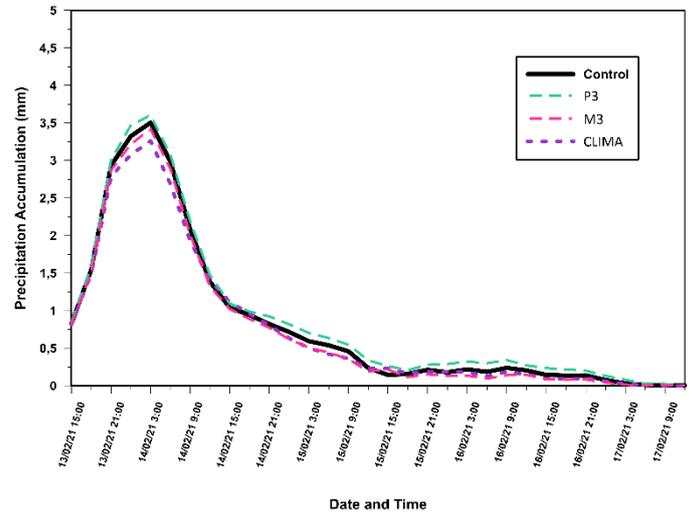
Mean Precipitation Accumulation Timeline per experiment for the area above Box 2



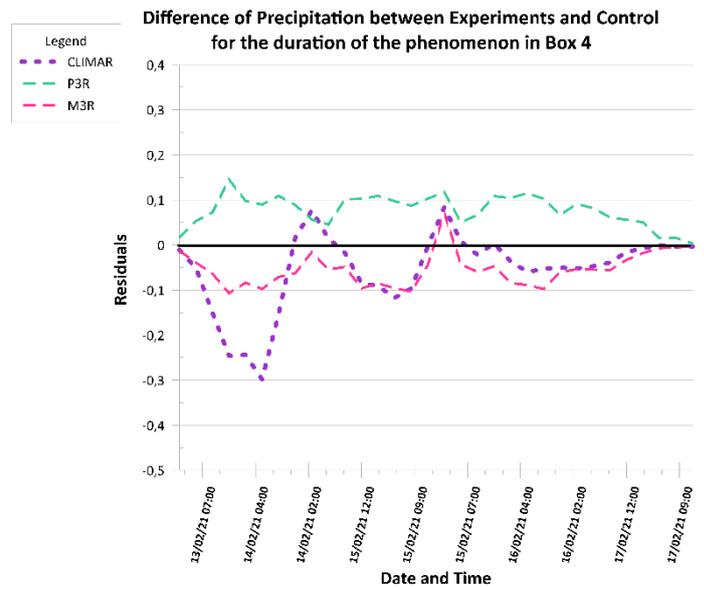
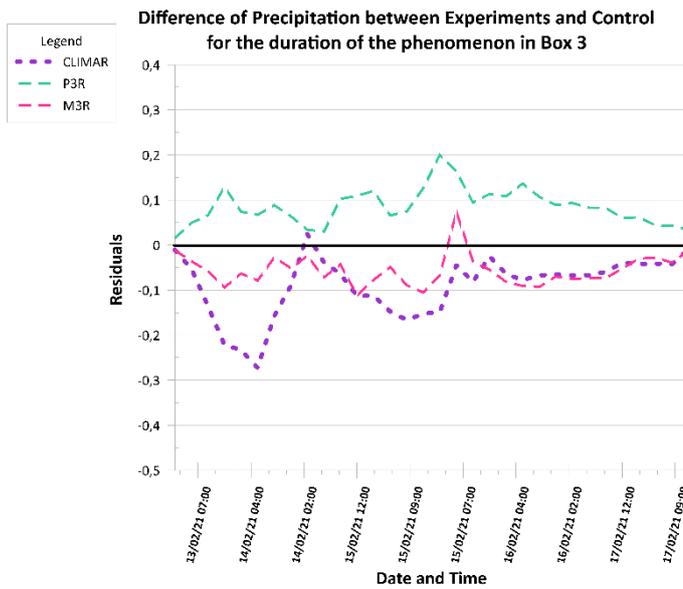
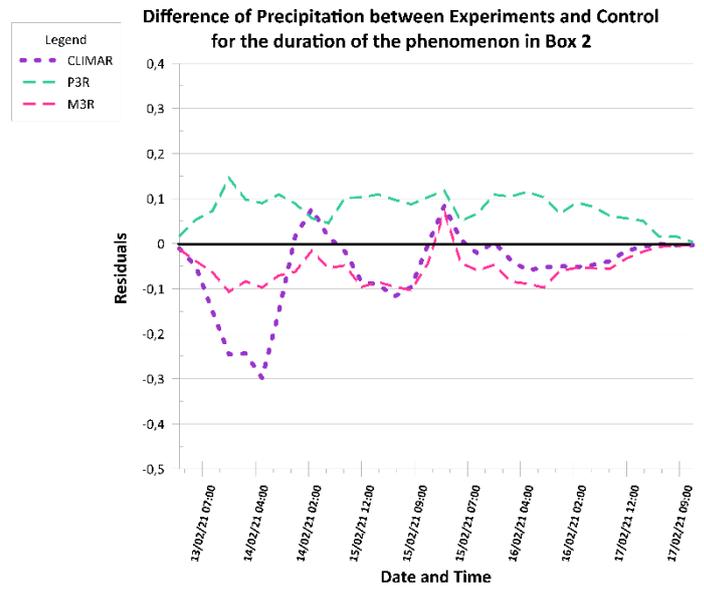
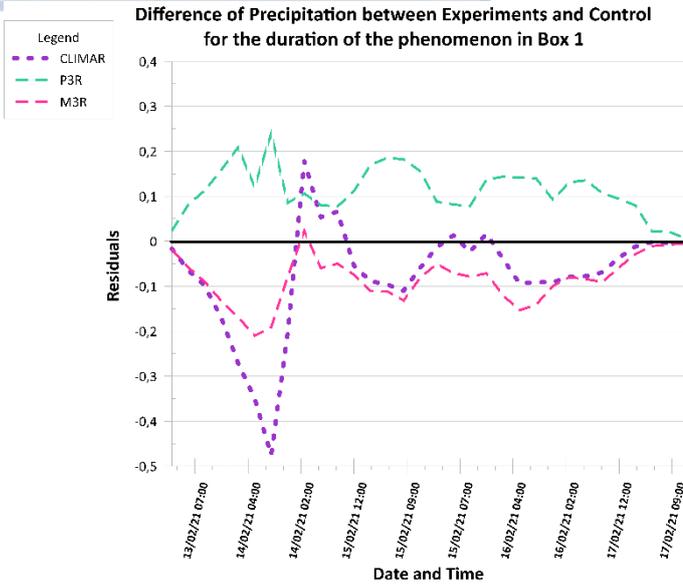
Mean Precipitation Accumulation Timeline per experiment for the area above Box 3



Mean Precipitation Accumulation Timeline per experiment for the area above Box 4



Σχήμα 5. 46 Χρονοσειρά τρίωρου νετού (mm) μεσοποιημένου στα (α) BOX1, (β) BOX2, (γ) BOX3 και (δ) BOX4. Χρόνος: 13/02/2021 00UTC - 17/02/2021 18UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.



Σχήμα 5. 47 Χρονοσειρά μέσου ύψους νετού των πειραμάτων CLIMA, P3 και M3 σε mm. (α) BOX1 (β) BOX2 (γ) BOX3 και (δ) BOX4. Χρόνος: 13/02/2021 00 UTC – 17/02/2021 18 UTC. Δεδομένα : αποτελέσματα του μοντέλου WRF.

### 5.4.3 Στατιστική ανάλυση για την μεταβλητή του χιονιού.

Στο *σχήμα 5.48* εμφανίζονται οι χρονοσειρές για τις τιμές του μέσου ύψους χιονιού ανά τρίωρο από τις 13 Φεβρουαρίου 2021 15:00 UTC έως 17 Φεβρουαρίου 2021 12:00 UTC. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των πειραμάτων με το μαύρο χρώμα να αντιστοιχεί στο πείραμα CONTROL, το μοβ χρώμα στο πείραμα CLIMA, το πράσινο χρώμα στα πειράματα P1 και το κόκκινο χρώμα στα πειράματα M1. (Εμφανίζονται ενδεικτικά μόνο τα αποτελέσματα για τα πειράματα P3 και M3).

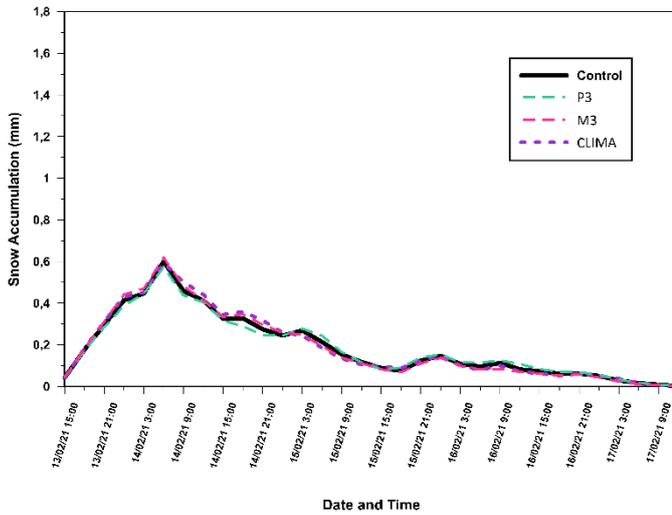
Στο *σχήμα 5.49* παρουσιάζονται με μορφή χρονοσειράς για το ίδιο χρονικό διάστημα, οι διαφορές όλων των υπολοίπων πειραμάτων από το πείραμα CONTROL (ή αλλιώς τα residuals).

Στο BOX1 για το πείραμα CONTROL παρατηρείται αύξηση του μέσου ύψους χιονιού από την αρχή του φαινομένου έως τις 14/02/2021 06:00 UTC όπου εμφανίζεται το μέγιστο μέσο ύψος χιονιού που αντιστοιχεί σε 0,6 mm, στην συνέχεια το μέσο ύψος χιονιού μειώνεται με μικρές διακυμάνσεις φθάνοντας τα 0 mm στο τέλος της χρονοσειράς και του φαινομένου. Από την αρχή της χρονοσειράς μέχρι τις 15/02/2021 12 UTC τα πειράματα CLIMA και M1 υπερεκτιμούν το ύψος χιονιού του πειράματος CONTROL και το πείραμα P3 το υποεκτιμά. Στην συνέχεια παρατηρείται το ακριβώς αντίθετο, με το πείραμα M3 και το πείραμα CLIMA να υποεκτιμούν το ύψος του χιονιού και το πείραμα P3 να το υποεκτιμά. Οι διαφορές είναι σε εύρος μόνο μερικών εκατοστών του mm και μειώνονται στην πορεία της χρονοσειράς.

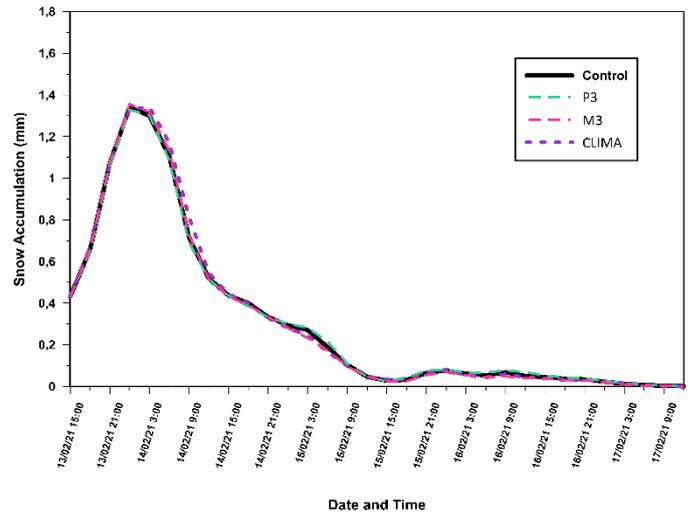
Η εικόνα για τα BOX2, BOX3 και BOX4 αντιστοιχεί με την εικόνα του BOX1. Και στις δύο περιπτώσεις οι διαφορές είναι μικρές. Η μόνη διαφορά που παρατηρείται είναι μια μεγάλη σχετικά υπερεκτίμηση του ύψους χιονιού στις 16/02/2021 06 UTC από το πείραμα CLIMA, που εμφανίζεται και για τα τρία αυτά κουτιά και φθάνει τα 0,1 mm.

Όπως και για τον νετό το κουτί BOX1 αντιστοιχεί σε μικρότερο ύψος χιονιού και αυτό είναι λογικό καθώς περιέχει πολύ μικρό ποσοστό ξηράς. Επίσης για το κουτί BOX4 τα αποτελέσματα για το ύψος του χιονιού είναι συγκρίσιμο με όλα τα υπόλοιπα κουτιά παρά του ότι καλύπτει μικρότερη γεωγραφική περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται εκεί, κάτι που είναι λογικό καθώς αντιστοιχεί στην περιοχή όπου το φαινόμενο είναι πιο έντονο. Η μεγάλη διαφορά από το πείραμα CLIMA που παρουσιάζεται σε όλα τα κουτιά εκτός από το BOX1, μπορεί να εξηγηθεί αν η διαφορά παρατηρείται στην περιοχή της Βοιωτίας, την οποία δεν περιέχει μόνο το κουτί BOX1.

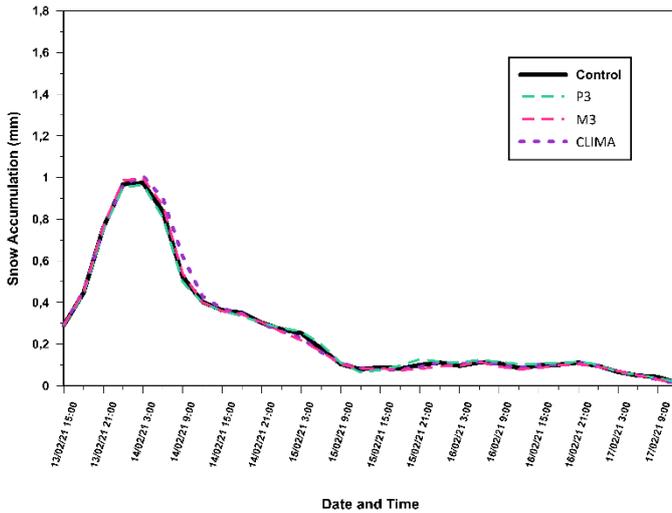
Mean Snow Accumulation Timeline per experiment  
for the area above Box 1



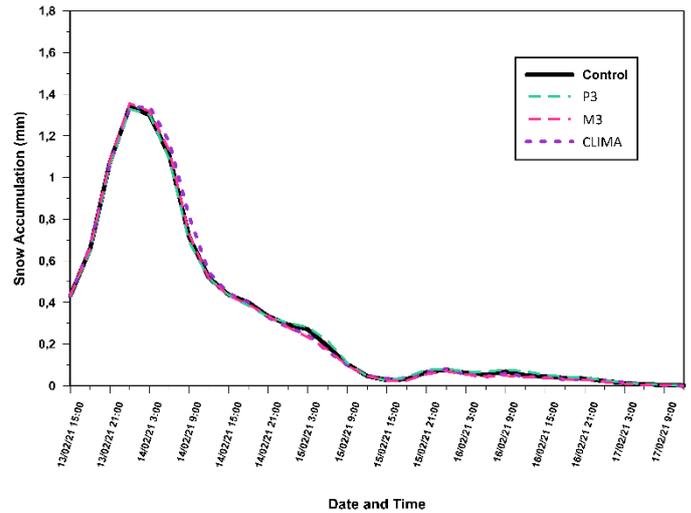
Mean Snow Accumulation Timeline per experiment  
for the area above Box 2



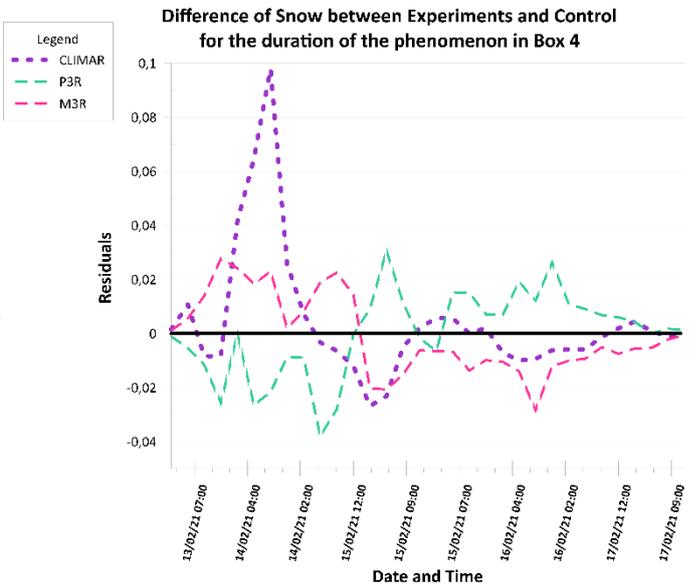
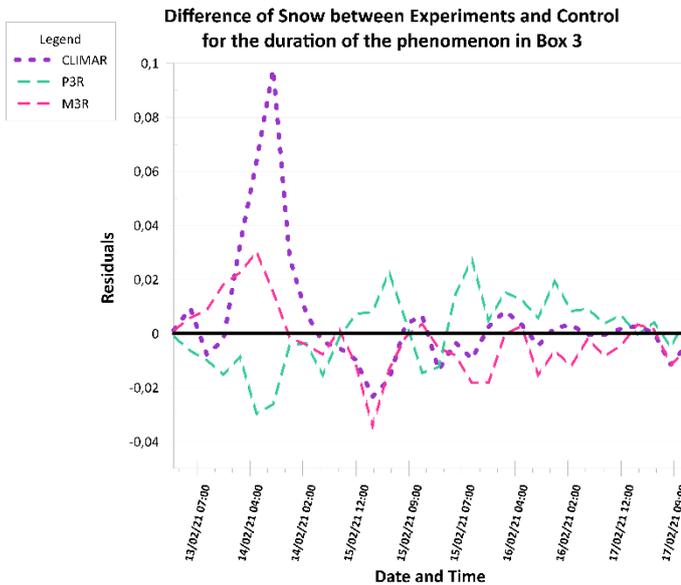
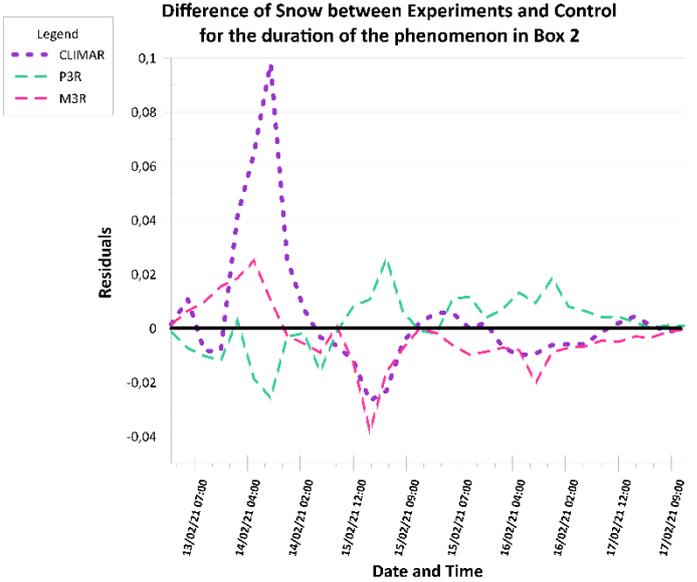
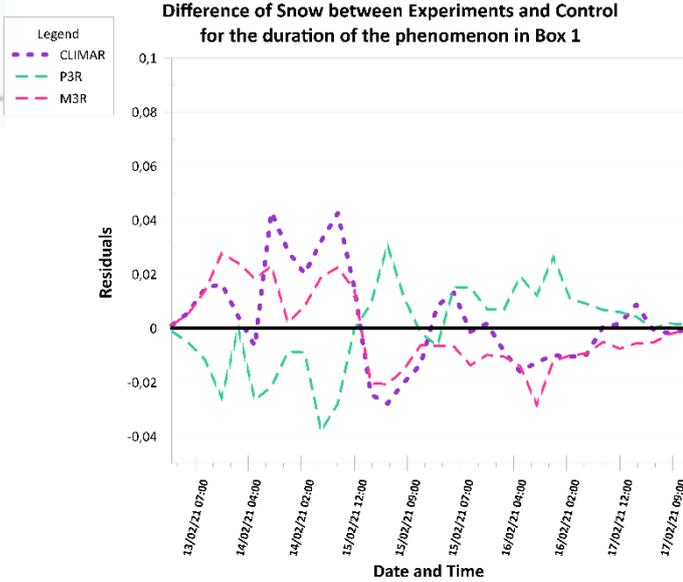
Mean Snow Accumulation Timeline per experiment  
for the area above Box 3



Mean Snow Accumulation Timeline per experiment  
for the area above Box 4



Σχήμα 5. 48 Χρονοσειρά τρίωρου χιονιού (mm) μεσοποιημένου στα (α) BOX1, (β) BOX2, (γ) BOX3 και (δ) BOX4. Χρόνος: 13/02/2021 00UTC – 17/02/2021 18UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.



Σχήμα 5. 49 Χρονοσειρά μέσω ύψους χιονιού των πειραμάτων CLIMA, P3 και M3 σε mm. (α) BOX1 (β) BOX2 (γ) BOX3 και (δ) BOX4. Χρόνος: 13/02/2021 00 UTC - 17/02/2021 18 UTC. Δεδομένα : αποτελέσματα του μοντέλου WRF.

#### 5.4.4 Μέση τιμή υετού και χιονιού για την διάρκεια του φαινομένου και το ποσοστό του υετού που αντιστοιχεί σε χιόνι.

Στους πίνακες 5.4 παρουσιάζονται οι πίνακες (α) έως (δ), ο καθένας τους αντιστοιχεί σε ένα από τα κουτιά που ορίστηκαν σε προηγούμενη ενότητα. Για κάθε κουτί παρουσιάζεται η μέση τιμή του υετού και του χιονιού για όλο το διάστημα του φαινομένου, καθώς και το ποσοστό του υετού που αντιστοιχεί σε χιόνι. Με ανοιχτό πορτοκαλί χρώμα εμφανίζεται το μέγιστο για κάθε στήλη και με ανοιχτό πράσινο το αντίστοιχο ελάχιστο.

Στο σχήμα 5.50 (α) και για το BOX1, μέγιστο μέσο ύψος τόσο χιονιού όσο και υετού δίνει το πείραμα P3. Ενώ ελάχιστο μέσο ύψος υετού δίνει το πείραμα M3 και ελάχιστο μέσο ύψος χιονιού το πείραμα CLIMA. Το ποσοστό του υετού που αντιστοιχεί σε χιόνι βρίσκεται στο εύρος των 93,86% έως 95,13%, με το μεγαλύτερο ποσοστό χιονιού να αντιστοιχεί στο πείραμα CLIMA και το ελάχιστο ποσοστό χιονιού να αντιστοιχεί στο πείραμα P3. Παρατηρείται ότι για τα πειράματα P1, P2 και P3 παρότι τόσο το χιόνι όσο και ο υετός υπερεκτιμάται σε σχέση με το πείραμα CONTROL, το ποσοστό υετού που αντιστοιχεί σε χιόνι είναι μικρότερο όσο αυξάνεται η θετική ανωμαλία. Το αντίθετο συμβαίνει για τα πειράματα M1, M2 και M3.

Στο σχήμα 5.50 (β) και το BOX2, το εύρος των ποσοστών του υετού που αντιστοιχεί σε χιόνι είναι 94,15% έως 95,92%. Όσα ισχύουν για το BOX1 ισχύουν και εδώ με την διαφορά ότι το ελάχιστο μέσο ύψος χιονιού παρουσιάζεται για το πείραμα M3 αντί του πειράματος CLIMA.

Στο σχήμα 5.50 (γ) και το BOX3, το εύρος των ποσοστών του υετού που αντιστοιχεί σε χιόνι είναι 92,14% έως 94,48%. Όσα ισχύουν για το BOX2 ισχύουν και εδώ με την διαφορά ότι το ποσοστό που είναι ελάχιστο για το μέρος του χιονιού που αντιστοιχεί σε χιόνι είναι αυτό που αντιστοιχεί στο πείραμα P2 και όχι στο πείραμα P3.

Στο σχήμα 5.50 (δ) και το BOX4, το εύρος των ποσοστών του υετού που αντιστοιχεί σε χιόνι είναι 90,79% έως 92,84%. Η εικόνα για την περιοχή αυτή είναι αντίστοιχη με την εικόνα του BOX2.

Είναι εμφανές ότι τα ποσοστά είναι τα μεγαλύτερα για το BOX2 και τα μικρότερα για το BOX4, που σημαίνει ότι στη περιοχή ενδιαφέροντος πάνω από την Βοιωτία, Εύβοια και Αττική υπερεκτιμάται η παρουσία βροχής. Γενικότερα όσο αυξάνεται η SST, αυξάνεται ο υετός και το χιόνι (σχεδόν σε όλα τα κουτιά), αλλά μειώνεται το ποσοστό του υετού που είναι χιόνι πιθανώς λόγω τήξης. Δηλαδή η αύξηση του υετού είναι μεγαλύτερη από την αύξηση του χιονιού.

Πίνακας 5. 4 Πίνακες ποσοστών του νετού που αντιστοιχούν σε χιόνι για κάθε ένα από τα πειράματα. Η πρώτη στήλη αντιστοιχεί στο όνομα του πειράματος, η δεύτερη στήλη αντιστοιχεί στο μέσο ύψος νετού για όλες τις ημέρες του φαινομένου, η τρίτη στήλη αντιστοιχεί στο μέσο ύψος χιονιού για όλες τις ημέρες του φαινομένου και η τέταρτη στήλη αντιστοιχεί στο ποσοστό του νετού το οποίο είναι χιόνι. Πορτοκαλί - Μέγιστη τιμή, Πράσινο -Ελάχιστη τιμή. (α) BOX1, (β) BOX2, (γ) BOX3 και (δ) BOX4. Χρόνος: 13/02/2021 12UTC - 17/02/2021 12UTC. . Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

	PREC	SNOW	SNOW Percentage
CONTROL	1,953	1,841	94,30%
CLIMA	1,791	1,704	95,13%
P1	2,012	1,895	94,22%
P2	2,083	1,959	94,03%
P3	2,148	2,016	93,86%
M1	1,905	1,803	94,65%
M2	1,833	1,739	94,88%
M3	1,783	1,696	95,10%

(α)

BOX1

	PREC	SNOW	SNOW Percentage
CONTROL	1,801	1,711	95,04%
CLIMA	1,722	1,652	95,92%
P1	1,867	1,772	94,90%
P2	1,946	1,843	94,70%
P3	2,006	1,888	94,15%
M1	1,748	1,666	95,31%
M2	1,673	1,600	95,66%
M3	1,629	1,560	95,75%

(β)

BOX2

	PREC	SNOW	SNOW Percentage
CONTROL	2,846	2,646	92,95%
CLIMA	2,630	2,484	94,48%
P1	2,992	2,775	92,73%
P2	3,114	2,869	92,14%
P3	3,170	2,922	92,18%
M1	2,789	2,607	93,48%
M2	2,687	2,523	93,87%
M3	2,594	2,445	94,28%

(γ)

BOX3

	PREC	SNOW	SNOW Percentage
CONTROL	2,850	2,610	91,60%
CLIMA	2,636	2,448	92,84%
P1	2,988	2,733	91,46%
P2	3,152	2,880	91,35%
P3	3,275	2,973	90,79%
M1	2,721	2,510	92,25%
M2	2,562	2,361	92,16%
M3	2,468	2,275	92,20%

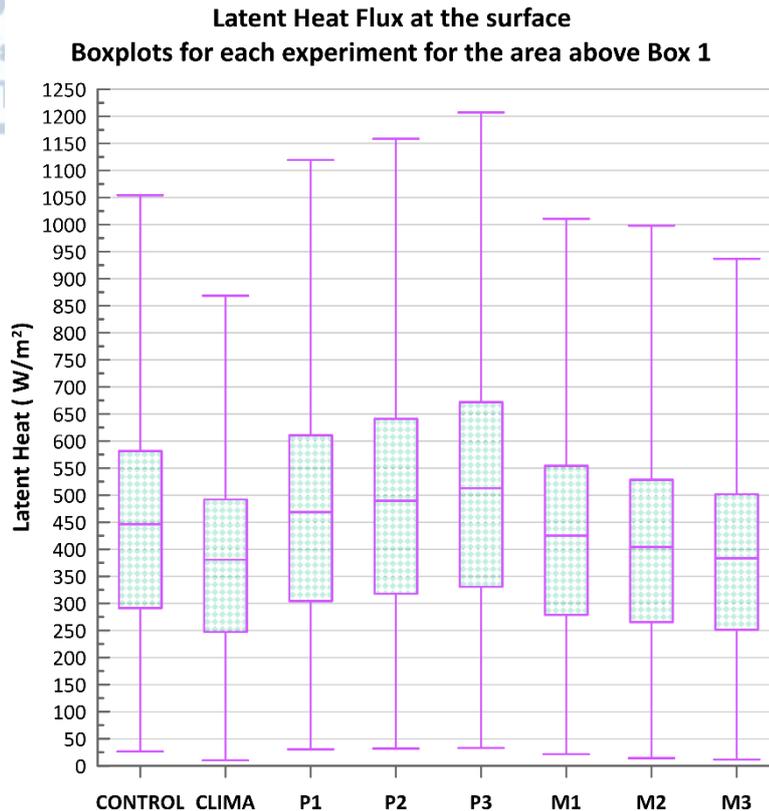
(δ)

BOX4

## 5.4.5 Επιφανειακές ροές Θερμότητας

### 5.4.5.1 Ροή Λανθάνουσας Θερμότητας

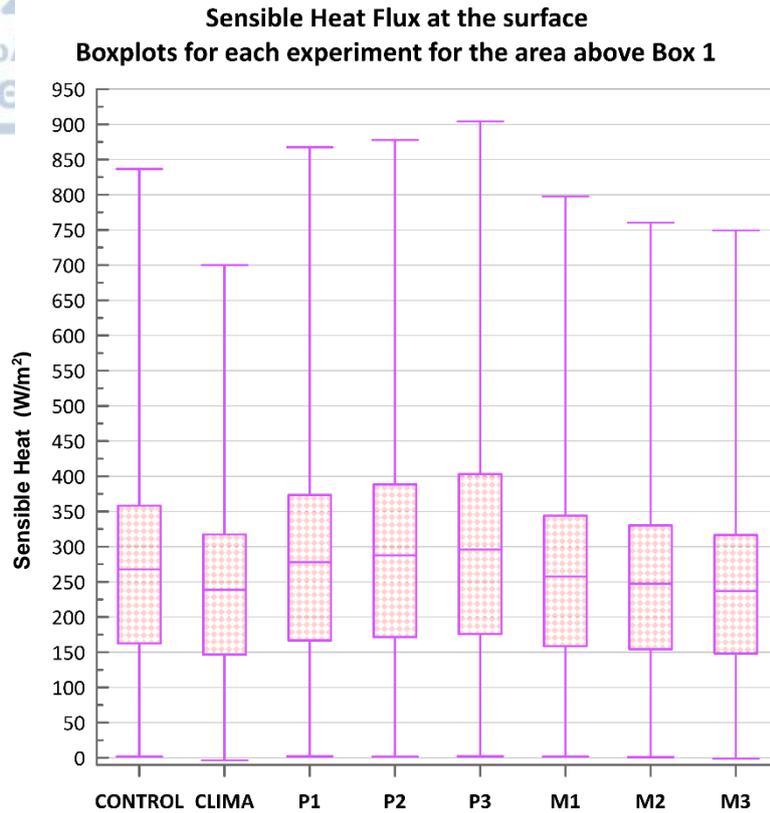
Για το πείραμα CONTROL το 50% των δεδομένων πάνω από το Αιγαίο αντιστοιχούν σε ροή λανθάνουσας θερμότητας από 300 έως 580 W/m<sup>2</sup> (Σχήμα 5.51), με μέγιστη τιμή τα 1050 W/m<sup>2</sup> που όπως έχει δειχθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο αντιστοιχεί στο βορειοανατολικό και κεντρικό Αιγαίο την 16<sup>η</sup> Φεβρουαρίου. Το πείραμα CLIMA εμφανίζει ροή λανθάνουσας θερμότητας μικρότερη του πειράματος CONTROL με το 50% των δεδομένων να παρουσιάζουν λανθάνουσα θερμότητα κατά 15% μικρότερη από αυτή του CONTROL, ενώ η διαφορά της μέγιστης ροής θερμότητάς από αυτή του πειράματος CONTROL είναι ακόμη μεγαλύτερη, και συγκεκριμένα κατά 18% μικρότερη. Το αποτέλεσμα αυτό αντιστοιχεί στην μικρότερη ένταση του φαινομένου για το πείραμα CLIMA, όπως και στις σχετικά μικρότερες τιμές υετού. Για το πείραμα M3 παρουσιάζεται και πάλι μικρότερη ροή λανθάνουσας θερμότητας από αυτή του πειράματος CONTROL, με διαφορά λίγο μικρότερη από αυτή του πειράματος CLIMA (14%), που αντιστοιχεί σε φαινόμενο με πολύ μικρή διαφορά από αυτό που θα εμφανιζόταν λαμβάνοντας τις κλιματικές θερμοκρασίες θάλασσας. Η μέγιστη τιμή της ροής λανθάνουσας θερμότητας όμως έχει μικρότερη διαφορά από αυτή του πειράματος CLIMA με διαφορά 11% από το πείραμα CLIMA, που σηματοδοτεί ότι η μείωση των θερμοκρασιών θάλασσας δεν επηρεάζει τόσο πολύ το κέντρο της αστάθειας και άρα και την «κορύφωση» του φαινομένου. Αντίθετα για το πείραμα P3 παρατηρείται αυξημένη ροή λανθάνουσας θερμότητας σε σχέση με το πείραμα CONTROL κατά 15%. Η διαφορά του 50% των δεδομένων μπορεί να είναι μεγαλύτερη κατ' απόλυτη τιμή από την διαφορά του πειράματος M3 αλλά η μέγιστη τιμή παρουσιάζει μεγαλύτερη διαφορά, και συγκεκριμένα κατά 14% μεγαλύτερη μέγιστη τιμή ροή λανθάνουσας θερμότητας από αυτή του πειράματος CONTROL.



Σχήμα 5. 50 Θηκογράμματα για τη ροή λανθάνουσας θερμότητας από την επιφάνεια, με τα ακραία σημεία να αντιστοιχούν στην μέγιστη και ελάχιστη τιμή και τις βάσεις του ορθογωνίου να αντιστοιχούν στο 1ο και 3ο τεταρτημόριο των δεδομένων και την παράλληλη γραμμή στην μέση του ορθογωνίου να αντιστοιχεί με την διάμεσο των δεδομένων στην περιοχή BOX1. Χρόνος: 13/02/2021 00UTC – 17/02/2021 18UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF

#### 5.4.5.2 Ροή αισθητής θερμότητας

Η εικόνα για τις ροές αισθητής θερμότητας (Σχήμα 5.52) παρουσιάζει ανάλογες διαφορές με αυτές της λανθάνουσας θερμότητας σε σχέση με το πείραμα CONTROL και για τις δύο περιπτώσεις. Οι διαφορές είναι ανάλογες με το πείραμα CLIMA να παρουσιάζει μειωμένη αισθητή θερμότητα στο 50% των παρατηρήσεων και ακόμα μικρότερη για το μέγιστο της ροής αισθητής θερμότητας, ενώ το πείραμα M3 αντιστοιχεί σε μικρότερη διαφορά και πάλι όμως μικρότερη ροή αισθητής θερμότητας από το πείραμα CONTROL. Και πάλι, αντίθετα με τα υπόλοιπα πειράματα το πείραμα P3 παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές ροής αισθητής θερμότητας από αυτές του CONTROL.



Σχήμα 5. 51 Θηκογράμματα για τη ροή αισθητής θερμότητας από την επιφάνεια, με τα ακραία σημεία να αντιστοιχούν στην μέγιστη και ελάχιστη τιμή και τις βάσεις του ορθογωνίου να αντιστοιχούν στο 1ο και 3ο τεταρτημόριο των δεδομένων και την παράλληλη γραμμή στην μέση του ορθογωνίου να αντιστοιχεί με την διάμεσο των δεδομένων στην περιοχή BOX1. Χρόνος: 13/02/2021 00UTC – 17/02/2021 18UTC. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.

## Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα και Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το μετεωρολογικό φαινόμενο «Μήδεια» που αποτέλεσε ένα έντονο φαινόμενο υψηλών επιπέδων χιονόπτωσης, χαμηλών θερμοκρασιών και έντονων ανέμων στις 13 με 17 Φεβρουαρίου του 2021. Το φαινόμενο διαχωρίζεται σε δύο φάσεις: την πρώτη (13-14 Φεβρουαρίου 2021) που επηρέασε κυρίως τα βόρεια της χώρας και τη δεύτερη φάση (14-16/17 Φεβρουαρίου του 2021) που επηρέασε την κεντρική και νότια Ελλάδα. Η δεύτερη φάση έχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον και δείχθηκε ότι αποτελεί περίπτωση του φαινομένου φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) με την υδάτινη επιφάνεια να είναι το κεντρικό Αιγαίο. Η περιοχή που επηρεάζεται από την έντονη χιονόπτωση είναι η κεντρική Ελλάδα και κυρίως η Αττική, η Βοιωτία και η Εύβοια, όπου και παρουσιάζονται τα πιο έντονα φαινόμενα.

Οι στόχοι της παρούσας μελέτης μπορούν να χωριστούν σε τρία επίπεδα:

- a. Συνοπτική και Δυναμική ανάλυση του φαινομένου και έλεγχος κατάταξης του ως φαινόμενο του τύπου φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow).
- b. Προσομοίωση του φαινομένου με την βοήθεια του μοντέλου WRF-ARW. Επιλογή και έλεγχος των βέλτιστων παραμετροποιήσεων του συγκεκριμένου φαινομένου.
- c. Διενέργεια και ανάλυση πειραμάτων για την επιρροή των θερμοκρασιών θάλασσας στο φαινόμενο αυτό και στην υπαγωγή του στην κατηγορία φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow).

Για τον πρώτο στόχο η ανάλυση του φαινομένου έγινε στο Κεφάλαιο 3 και παρουσίασε μία ξεκάθαρη περίπτωση φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) στην δεύτερη φάση του. Για να υπάγεται σε τέτοια κατηγορία ένα φαινόμενο χιονόπτωσης πρέπει να ικανοποιεί μια σειρά κριτηρίων που έχουν ορισθεί από την διεθνή βιβλιογραφία. Πρώτον η διαφορά θερμοκρασίας επιφανείας θάλασσας από την θερμοκρασία στο επίπεδο των 850 hPa στις ίδιες συντεταγμένες να είναι τουλάχιστον 13 °C. Δεύτερον ο άνεμος κοντά στην επιφάνεια να είναι τουλάχιστον 10 m/s. Τρίτον, το ύψος του οριακού στρώματος στην περιοχή να είναι τουλάχιστον 1 km. Τέταρτον, η στροφή του ανέμου από την επιφάνεια στα 850 hPa να είναι μικρότερη των 60°. Και τέλος, ο λόγος της ταχύτητας του ανέμου προς το μήκος της θάλασσας της περιοχής όπου ο άνεμος διέρχεται χωρίς εμπόδια να παίρνει τιμές από 0.02 έως 0.09 ms<sup>-1</sup>km<sup>-1</sup>. Τα κριτήρια αυτά πληρούνται για τις 14-16 Φεβρουαρίου του 2021, και έτσι το φαινόμενο ανήκει σε αυτή την κατηγορία για τις ημερομηνίες αυτές.

Αναλυτικότερα, στην περίπτωση αυτή η ανατολική – βορειοανατολική ροή κινεί την ψυχρή αέρια μάζα ροή πάνω από το βόρειο και κεντρικό Αιγαίο. Οι τιμές ανέμου, που οδηγούν στην μετακίνηση της αέριας μάζας είναι πολύ μεγάλες (Για τις ημέρες του φαινομένου πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος: Μέσος όρος ταχύτητας ανέμου στα 10μ – 12 m/s, στα 850 hPa – 12,4 m/s και στα 300hPa – 32,2 m/s. Μέγιστη ταχύτητα ανέμου στα 10μ – 23,2 m/s, στα 850 hPa – 25,5 m/s και στα 300hPa – 48,2 m/s). Η κίνηση αυτή οφείλεται στον συνδυασμό του κέντρου υψηλών πιέσεων πάνω από την κεντρική Ευρώπη και του κέντρου χαμηλών πιέσεων στην νοτιοδυτική Τουρκία πάνω από το βόρειο και κεντρικό Αιγαίο. Η αέρια μάζα εμπλουτίζεται έτσι με υδρατμούς, καθώς περνάει υπεράνω της υδάτινης επιφάνειας του Αιγαίου πελάγους. Της αποδίδεται έτσι η ικανότητα παραγωγής μεγάλων υψών υετού και χιονιού (λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών) πάνω από την προσήνεμη περιοχή που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι η περιοχή της Αττικής, της Εύβοιας και της Βοιωτίας.

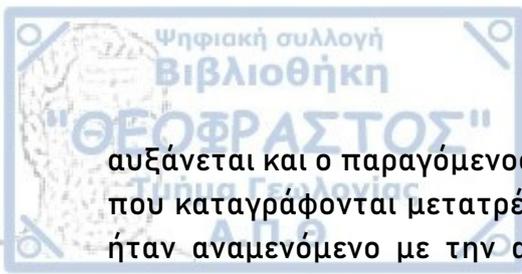
Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις του μοντέλου WRF -ARW με την χρήση διάφορων συνδυασμών σχημάτων παραμετροποίησης ανωμεταφοράς και του πλανητικού οριακού στρώματος. Πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση για την σύγκριση των προσομοιώσεων και επιλέχθηκε ως βέλτιστο το πείραμα EXP2. Το πείραμα αυτό αντιστοιχεί στην προσομοίωση με έλλειψη παραμετροποίησης ανωμεταφοράς και στην χρήση του σχήματος του Yonsei University για την παραμετροποίηση του πλανητικού οριακού στρώματος, καθώς το πείραμα αυτό ανέδειξε τα καλύτερα αποτελέσματα για την βέλτιστη προσέγγιση των πραγματικών δεδομένων. Η παραμετροποίηση αυτή έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψιν την προσέγγιση του για τις περισσότερες από τις κύριες μεταβλητές που χαρακτηρίζουν το φαινόμενο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το πείραμα EXP2 για την εμφάνιση χιονιού ή όχι ήρθε δεύτερο σε κατάταξη μετά το πείραμα EXP5 για το τρίωρο χιόνι, και δεύτερο σε κατάταξη μαζί με το EXP5 μετά το EXP3 για το εξάωρο χιόνι. Η διαφορές από το πείραμα EXP5 για την παρουσία χιονιού όμως είναι κατά πολύ μικρά ποσοστά ( όπως φαίνεται και στους πίνακες 4.8, 4.9). Η προσομοίωση όλων των μεταβλητών μελετάται όμως με αντίστοιχη βαρύτητα και έτσι το πείραμα EXP2 επιλέγεται καθώς δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα για τις υπόλοιπες μεταβλητές σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα.

Μιας και το μοντέλο WRF προσφέρει έναν μεγάλο αριθμό επιλογών παραμετροποίησης των διάφορων φυσικών παραμέτρων της ατμόσφαιρας για την προσομοίωση φαινομένων, με επιλογές για διάφορα φυσικά χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το φαινόμενο, είναι λογικό να αναρωτηθεί κανείς αν ένας άλλος συνδυασμός σχημάτων παραμετροποίησης του μοντέλου θα έδειχνε πιθανώς καλύτερα αποτελέσματα τόσο για τις υπόλοιπες μεταβλητές όσο και για την χιονόπτωση. Η απάντηση στην ερώτηση αυτή προϋποθέτει περισσότερη μελέτη,

που δεν συνάδει με την εκτέλεση της παρούσας εργασίας, αλλά θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί ως επέκταση και επιβεβαίωση αυτής σε μελλοντικό χρόνο.

Τέλος, για τον τρίτο στόχο της εργασίας πραγματοποιήθηκαν αριθμητικά πειράματα, με βάση το βέλτιστο πείραμα. Χρησιμοποιήθηκαν τροποποιημένες επιφανειακές θερμοκρασίες θάλασσας για να υπολογισθεί η επιρροή αυτών στο φαινόμενο. Πραγματοποιήθηκαν έξι επιπλέον πειράματα, το πρώτο εκ των οποίων αναφέρεται ως πείραμα CLIMA και χρησιμοποιεί κλιματικά δεδομένα θερμοκρασιών θάλασσας για την περιοχή μελέτης. Τα κλιματικά δεδομένα παρουσιάζουν γενικά θερμοκρασίες θάλασσας ψυχρότερες από αυτές του πειράματος CONTROL. Συγκεκριμένα το πείραμα CLIMA είναι πλησιέστερα στο πείραμα M3. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν τρία πειράματα με προσθήκη γκαουσιανής ανωμαλίας +1, +2 και +3 °C στο κεντρικό Αιγαίο και αντίστοιχα τρία πειράματα με προσθήκη γκαουσιανής ανωμαλίας -1, -2 και -3 °C. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν την μεγαλύτερη διαφορά για όλες τις μεταβλητές που χαρακτηρίζουν το φαινόμενο για το πείραμα με τις κλιματικές θερμοκρασίες θάλασσας. Η διαφορά αυτή αντιστοιχεί σε ένα φαινόμενο γενικά με μειωμένη ένταση και με μικρότερο ύψος υετού και χιονιού. Το πείραμα που προσομοιάζει καλύτερα το πείραμα CLIMA, είναι το πείραμα M3 με προσθήκη -3 °C. Το πείραμα M3 παρόλα αυτά παρουσιάζει μικρότερες διαφορές από το πείραμα χωρίς προσθήκη ανωμαλίας σε σχέση με το πείραμα CLIMA. Από την άλλη για το πείραμα P3 με προσθήκη ανωμαλίας +3 °C, οι διαφορές δείχνουν προς την αντίθετη κατεύθυνση με ένα φαινόμενο πιο ισχυρό και με μεγαλύτερη παρουσία υετού και χιονιού. Όμως, στο P3 το χιόνι είναι αναλογικά λιγότερο καθώς λιώνει λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας. Γενικότερα αποδεικνύεται πως η αύξηση της θερμοκρασίας επιφανείας θάλασσας επηρεάζει το φαινόμενο σε σχετικά μεγαλύτερο βαθμό από την μείωση αυτής.

Παρά τις διαφορές αυτές που αναλύθηκαν παραπάνω, παρατηρείται ότι η μεταβολή της θερμοκρασίας θάλασσας έως και  $\pm 3$  °C που κλιματολογικά αποτελούν μεγάλη διαφορά δεν ήταν ικανή να επηρεάσει σε πολύ σημαντικό βαθμό το φαινόμενο. Το αποτέλεσμα αυτό αποδίδεται στις πολύ χαμηλές τιμές θερμοκρασίας που επέρχονται πάνω από την Ελληνική περιοχή από τα βόρεια και ψύχουν όλο το ύψος της τροπόσφαιρας. Για τον λόγο αυτό μια διαφορά έως και 3 °C στην επιφάνεια της θάλασσας δεν επηρεάζει τα υψηλότερα ισοβαρικά επίπεδα με τον ίδιο τρόπο που θα τα επηρέαζε αν η υπεράνω αέρια μάζα δεν παρουσίαζε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης θα ήταν αναμενόμενο το χιόνι να μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας θάλασσας αλλά αυτό δεν συμβαίνει. Αντιθέτως το χιόνι αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας θάλασσας. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην αύξηση των επιφανειακών ροών λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας. Οι αυξήσεις αυτές συμβαίνουν λόγω της αύξησης θερμοκρασίας θάλασσας η οποία οδηγεί στην αύξηση της διαθέσιμης υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Έτσι επαγωγικά



αυξάνεται και ο παραγόμενος υετός που λόγω των έντονων χαμηλών θερμοκρασιών που καταγράφονται μετατρέπεται σε χιόνι. Το χιόνι αυτό όμως δεν λιώνει όπως θα ήταν αναμενόμενο με την αύξηση της θερμοκρασίας θάλασσας καθώς η έντονη υπεράνω ψύξη υπερισχύει.

Για να εξαχθούν πιο ακριβή συμπεράσματα για την επιρροή των θερμοκρασιών θάλασσας σε φαινόμενα που κατηγοριοποιούνται ως φαινόμενο χιονόπτωσης με επιρροή της θάλασσας (lake (sea) effect snow) στην περιοχή της Ελλάδας, θα ήταν θεμιτό να πραγματοποιηθεί μελλοντική μελέτη και άλλων περιπτώσεων συνοπτικής και δυναμικής κατάστασης που να ανήκουν στην κατηγορία αυτή. Μια τέτοια μελλοντική μελέτη θα συνεισέφερε στην καλύτερη κατανόηση του φαινομένου στην περιοχή. Η καλύτερη κατανόηση του φαινομένου θα μπορούσε να οδηγήσει στην δυνατότητα πρόγνωσης ανάλογων φαινομένων. Μια τέτοια δυνατότητα πρόγνωσης θα συνέδραμε στην ικανότητα των δημόσιων δομών να είναι καλύτερα προετοιμασμένες για μια τέτοια περίπτωση και με τον τρόπο αυτό να αποφευχθούν μελλοντικά καταστροφικά γεγονότα για τον άνθρωπο και την κοινωνία.



## Κεφάλαιο 7 Βιβλιογραφία

- Arakawa, A., Jung, J.-H., & Wu, C.-M. (2011). Toward unification of the multiscale modeling of the atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *11*(8), 3731–3742.  
<https://doi.org/10.5194/acp-11-3731-2011>
- Arakawa, A., & Lamb, V. R. (1977). Computational Design of the Basic Dynamical Processes of the UCLA General Circulation Model. In J. Chang (Ed.), *Methods in Computational Physics: Advances in Research and Applications* (Vol. 17, pp. 173–265). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-460817-7.50009-4>
- Baldwin, M. E., Kain, J. S., & Kay, M. P. (2002). Properties of the Convection Scheme in NCEP's Eta Model that Affect Forecast Sounding Interpretation. *Weather and Forecasting*, *17*(5), 1063–1079. <https://doi.org/10.1175/1520-0434>
- Betts, A. K. (1986). A new convective adjustment scheme. Part I: Observational and theoretical basis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *112*(473), 677–691. <https://doi.org/10.1002/qj.49711247307>
- Betts, A. K., & Miller, M. J. (1986). A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and arctic air-mass data sets. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *112*(473), 693–709.  
<https://doi.org/10.1002/qj.49711247308>
- Demirtaş, M. (2022). A lake-effect snowstorm over southern Europe with upstream blocking in early January 2017. *Weather*, wea.4192. <https://doi.org/10.1002/wea.4192>
- Doswell, C. A., Davies-Jones, R., & Keller, D. L. (1990). On Summary Measures of Skill in Rare Event Forecasting Based on Contingency Tables. *Weather and Forecasting*, *5*(4), 576–585. <https://doi.org/10.1175/1520-0434>
- Fernández-González, S., Valero, F., Sánchez, J. L., Gascón, E., López, L., García-Ortega, E., & Merino, A. (2015). Numerical simulations of snowfall events: Sensitivity analysis of



physical parameterizations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(19).  
<https://doi.org/10.1002/2015JD023793>

- Freitas, S. R., Grell, G. A., & Li, H. (2021). The Grell–Freitas (GF) convection parameterization: Recent developments, extensions, and applications. *Geoscientific Model Development*, 14(9), 5393–5411. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-5393-2021>
- Fritsch, J. M., & Chappell, C. F. (1980). Numerical Prediction of Convectively Driven Mesoscale Pressure Systems. Part I: Convective Parameterization. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 37(8), 1722–1733. <https://doi.org/10.1175/1520-0469>
- Gandin, L. S., & Murphy, A. H. (1992). Equitable Skill Scores for Categorical Forecasts. *Monthly Weather Review*, 120(2), 361–370. <https://doi.org/10.1175/1520-0493>
- Ghafarian, P., Delju, A. H., Tajbakhsh, S., & Penchah, M. M. (2021). Simulation of the role of Caspian Sea surface temperature and air temperature on precipitation intensity in lake-effect snow. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 225, 105777. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105777>
- Ghafarian, P., Pegahfar, N., & Oulad, E. (2018). Multiscale analysis of lake-effect snow over the southwest coast of the Caspian Sea (31 January–5 February 2014). *Weather*, 73(1), 9–14. <https://doi.org/10.1002/wea.3055>
- Glossary of Meteorology*. (2020, November 2).  
[https://glossary.ametsoc.org/wiki/Thermal\\_low](https://glossary.ametsoc.org/wiki/Thermal_low)
- Grell, G. A., & Dévényi, D. (2002). A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques: PARAMETERIZING CONVECTION COMBINING ENSEMBLE AND DATA ASSIMILATION TECHNIQUES. *Geophysical Research Letters*, 29(14), 38-1-38-4.  
<https://doi.org/10.1029/2002GL015311>



Grell, G. A., & Freitas, S. R. (2014a). A scale and aerosol aware stochastic convective parameterization for weather and air quality modeling. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(10), 5233–5250. <https://doi.org/10.5194/acp-14-5233-2014>

Grell, G., & Freitas, S. (2014b). *Further development and initial evaluations of the aerosol dependence modeled by the Grell and Freitas convective parameterization*. 8807. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2014EGUGA..16.8807G>

Hong, S.-Y., Noh, Y., & Dudhia, J. (2006). A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes. *Monthly Weather Review*, 134(9), 2318–2341. <https://doi.org/10.1175/MWR3199.1>

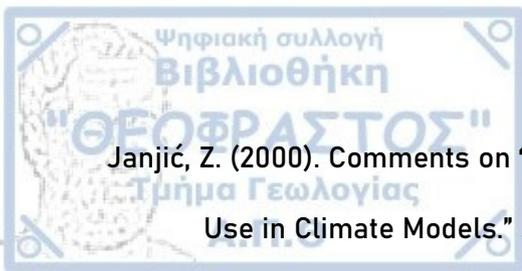
Hong, S.-Y., & Pan, H.-L. (1996). Nonlocal Boundary Layer Vertical Diffusion in a Medium-Range Forecast Model. *Monthly Weather Review*, 124(10), 2322–2339. <https://doi.org/10.1175/1520-0493>

Hoskins, B. J., McIntyre, M. E., & Robertson, A. W. (1985). On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 111(470), 877–946. <https://doi.org/10.1002/qj.49711147002>

Janjić, Z. (1990). The Step-Mountain Coordinate: Physical Package. *Monthly Weather Review*, 118(7), 1429–1443. <https://doi.org/10.1175/1520-0493>

Janjić, Z. (1994). The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes. *Monthly Weather Review*, 122(5), 927–945. <https://doi.org/10.1175/1520-0493>

Janjić, Z. (1996). The surface layer in the NCEP Eta Model. Proceedings of the 11th conference on numerical weather prediction, 19–23 August 1996, Norfolk, VA, 354–355



Janjić, Z. (2000). Comments on "Development and Evaluation of a Convection Scheme for Use in Climate Models." *Journal of the Atmospheric Sciences*, 57(21), 3686–3686.

<https://doi.org/10.1175/1520-0469>

Janjić, Z. (2002). Nonsingular Implementation of the Mellor–Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso Model. *NCEP Office Note*, 436.

Kain, J. S. (2004). The Kain–Fritsch Convective Parameterization: An Update. *Journal of Applied Meteorology*, 43(1), 170–181. <https://doi.org/10.1175/1520-0450>

Kain, J. S., & Fritsch, J. M. (1990). A One-Dimensional Entraining/Detraining Plume Model and Its Application in Convective Parameterization. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 47(23), 2784–2802. <https://doi.org/10.1175/1520-0469>

Kain, J. S., & Fritsch, J. M. (1993). Convective Parameterization for Mesoscale Models: The Kain–Fritsch Scheme. In K. A. Emanuel & D. J. Raymond (Eds.), *The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models* (pp. 165–170). American Meteorological Society. [https://doi.org/10.1007/978-1-935704-13-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-935704-13-3_16)

Katsafados, P., Mavromatidis, E., Papadopoulos, A., & Pytharoulis, I. (2011). Numerical simulation of a deep Mediterranean storm and its sensitivity on sea surface temperature. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(5), 1233–1246. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1233-2011>

Kindap, T. (2010). A severe sea-effect snow episode over the city of Istanbul. *Natural Hazards*, 54(3), 707–723. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9496-7>

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen–Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>

Laird, N. F., Walsh, J. E., & Kristovich, D. A. R. (2003). Model Simulations Examining the Relationship of Lake-Effect Morphology to Lake Shape, Wind Direction, and Wind Speed. *Monthly Weather Review*, 131(9), 2102–2111. <https://doi.org/10.1175/1520-0493>

Lolis, C. J., Bartzokas, A., & Katsoulis, B. D. (2004). Relation between sensible and latent heat fluxes in the Mediterranean and precipitation in the Greek area during winter. *International Journal of Climatology*, 24(14), 1803–1816. <https://doi.org/10.1002/joc.1112>

Matzarakis, A., Karatarakis, N., & Sarantopoulos, A. (2005). Tourism climatology and tourism potential for. *Annalen Der Meteorologie*, 616–619.

Mazarakis, N. (2010). *Παρατηρησιακή και αριθμητική μελέτη των δυναμικών και φυσικών διεργασιών που συνδέονται με τη θερινή καταιγιδόφορο δραστηριότητα στον ελλαδικό χώρο* [Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής, Τομέας Εφαρμοσμένης Φυσικής, Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας]. <https://doi.org/10.12681/eadd/27984>

Mesinger, F., Veljovic, K., Chou, S. C., & Lyra, J. G., and A. (2016). The Eta Model: Design, Use, and Added Value. In *Topics in Climate Modeling*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/64956>

Miglietta, M. M., Moscatello, A., Conte, D., Mannarini, G., Lacorata, G., & Rotunno, R. (2011). Numerical analysis of a Mediterranean 'hurricane' over south-eastern Italy: Sensitivity experiments to sea surface temperature. *Atmospheric Research*, 101(1), 412–426. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.04.006>

Niziol, T. A. (1987). Operational Forecasting of Lake Effect Snowfall in Western and Central New York. *Weather and Forecasting*, 2(4), 310–321. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1987\)002<0310:OFOLES>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1987)002<0310:OFOLES>2.0.CO;2)

Noh, Y., Cheon, W. G., Hong, S. Y., & Raasch, S. (2003). Improvement of the K-profile Model for the Planetary Boundary Layer based on Large Eddy Simulation Data. *Boundary-Layer Meteorology*, 107(2), 401–427. <https://doi.org/10.1023/A:1022146015946>

Norris, J., Vaughan, G., & Schultz, D. M. (2013). Snowbands over the English Channel and Irish Sea during cold-air outbreaks: English Channel and Irish Sea Snowbands. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 139(676), 1747–1761. <https://doi.org/10.1002/qj.2079>

Nurmi, P. (2003). Recommendations on the verification of local weather forecasts. ECMWF technical memorandum, No. 430. <https://doi.org/10.21957/Y1Z1THG5L>

γPapadopoulos, A., & Katsafados, P. (2009). Verification of operational weather forecasts from the POSEIDON system across the Eastern Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(4), 1299–1306. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1299-2009>

Prezerakos, N. G., & Angouridakis, V. E. (1984). Synoptic consideration of snowfall in Athens. *Journal of Climatology*, 4(3), 269–285. <https://doi.org/10.1002/joc.3370040305>

Pytharoulis, I. (2018). Analysis of a Mediterranean tropical-like cyclone and its sensitivity to the sea surface temperatures. *Atmospheric Research*, 208, 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.08.009>

Pytharoulis, I., Kotsopoulos, S., Tegoulis, I., Kartsios, S., Bampzelis, D., & Karacostas, T. (2016). Numerical modeling of an intense precipitation event and its associated lightning activity over northern Greece. *Atmospheric Research*, 169, 523–538. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.06.019>

Pytharoulis, I., Tegoulis, I., Kotsopoulos, S., Bampzelis, D., Karacostas, T., & Katragkou, E. (2014). Evaluation of the operational numerical weather predictions of the WaveForUs project. Proceedings of the 12th international conference on



Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP2014), 28-31 May, Heraklion, Crete, Greece, Vol. 3, 96-101.

Reynolds, R. W., Rayner, N. A., Smith, T. M., Stokes, D. C., & Wang, W. (2002). An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate. *Journal of Climate*, 15(13), 1609-1625.

[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1609:AISAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1609:AISAS>2.0.CO;2)

Sakalli, A. (2017). *Sea surface temperature change in the mediterranean sea under climate change: A linear model for simulation of the sea surface temperature up to 2100.*

[https://doi.org/10.15666/aeer/1501\\_707716](https://doi.org/10.15666/aeer/1501_707716)

Savijärvi, H. (2015). Cold air outbreaks along a non-frozen sea channel: Effects of wind on snow bands. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 127(4), 383-391.

<https://doi.org/10.1007/s00703-015-0370-8>

Schmidlin, T. (1989). Climatic Summary of Snowfall and Snow Depth in the Ohio Snowbelt at Chardon 1. *The Ohio Journal of Science*, 89(4), 101-108.

Senatore, A., Mendicino, G., Knoche, H. R., & Kunstmann, H. (2014). Sensitivity of Modeled Precipitation to Sea Surface Temperature in Regions with Complex Topography and Coastlines: A Case Study for the Mediterranean. *Journal of Hydrometeorology*, 15(6), 2370-2396.

<https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-089.1>

Shi, Q., & Xue, P. (2019). Impact of Lake Surface Temperature Variations on Lake Effect Snow Over the Great Lakes Region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*,

124(23), 12553-12567. <https://doi.org/10.1029/2019JD031261>

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J.

G., Duda, M. G., Barker, D. M., & Huang, X.-Y. (2019). *A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4.* UCAR/NCAR. <https://doi.org/10.5065/1DFH-6P97>

Skamarock, W., Klemp, J., Dudhia, J., Gill, D., Barker, D., Wang, W., Huang, X.-Y., & Duda, M. (2008). *A Description of the Advanced Research WRF Version 3* (p. 1002 KB)

[Application/pdf]. UCAR/NCAR. <https://doi.org/10.5065/D68S4MVH>

Sousounis, P. J. (2003). LAKE-EFFECT STORMS. In *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (pp. 1104–1115). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227090-8/00195-0>

Tegoulas, I. (2020). *Implementation of an innovative methodology for the evaluation and optimization of the WRF model for the study of convective activity in Thessaly*

[Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας].

<https://doi.org/10.12681/eadd/47350>

Theeuwes, N. E., Steeneveld, G. J., Krieken, F., & Holtslag, A. a. M. (2010). Mesoscale modeling of lake effect snow over Lake Erie – sensitivity to convection, microphysics and the water temperature. *Advances in Science and Research*, 4(1), 15–22. <https://doi.org/10.5194/asr-4-15-2010>

*Topics in Lake Effect Snow Forecasting*. (n.d.). Retrieved September 24, 2022, from [https://www.meted.ucar.edu/norlat/snow/lake\\_effect/navmenu.php](https://www.meted.ucar.edu/norlat/snow/lake_effect/navmenu.php)

Tymvios, F., Charalambous, D., Michaelides, S., & Lelieveld, J. (2018). Intercomparison of boundary layer parameterizations for summer conditions in the eastern Mediterranean island of Cyprus using the WRF - ARW model. *Atmospheric Research*, 208, 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.09.011>

Vogelezang, D. H. P., & Holtslag, A. A. M. (1996). Evaluation and model impacts of alternative boundary-layer height formulations. *Boundary-Layer Meteorology*, 81(3–4), 245–269. <https://doi.org/10.1007/BF02430331>



Welle (www.dw.com), D. (n.d.). *Greece: Rare snowstorm leaves 3 dead | DW | 16.02.2021.*

DW.COM. Retrieved July 24, 2022, from <https://www.dw.com/en/greece-rare-snowstorm-leaves-3-dead/a-56592957>

Wilks, D. S. (2019). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (4th ed). Elsevier.

*WRF Users' Guide*. (2020).

[https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user\\_guide\\_v4/v4.2/contents.html](https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_v4/v4.2/contents.html)

*WWRP/WGNE Joint Working Group on Forecast Verification Research*. (2015, January 26).

[https://www.cawcr.gov.au/projects/verification/#Contributors\\_to\\_this\\_site](https://www.cawcr.gov.au/projects/verification/#Contributors_to_this_site)

Yavuz, V., Deniz, A., Özdemir, E. T., Kolay, O., & Karan, H. (2021). Classification and analysis of

sea-effect snowbands for Danube Sea area in Black Sea. *International Journal of Climatology*, 41(5), 3139–3152. <https://doi.org/10.1002/joc.7010>

Zhang, M., & Song, H. (2006). Evidence of deceleration of atmospheric vertical overturning circulation over the tropical Pacific. *Geophysical Research Letters*, 33(12).

<https://doi.org/10.1029/2006GL025942>

Αθανασίου, Φ. Α. (2019). *Βελτιστοποίηση της αναπαράστασης των διεργασιών του οριακού στρώματος σε αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού.*

<https://doi.org/10.26262/HEAL.AUTH.IR.307206>

Ευσταθίου, Γ. (2013). *Μελέτη των παραμετροποιήσεων του ατμοσφαιρικού οριακού*

*στρώματος και της μικροφυσικής στην προσομοίωση ισχυρών βροχοπτώσεων*

[Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής, Τομέας Αστρογεωφυσικής, Εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας].

<https://doi.org/10.12681/eadd/36971>

Ζιακόπουλος, Δ. (2009). *Καιρός, ο γιός της Γης και του Ήλιου.: Vol. Τόμος 2ος*. Ιδιωτική Έκδοση.

Ζιακόπουλος, Δ., & Φραγκούλη, Π. (2015). 7.1 Θερμικός Άνεμος. In *ΤΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΤΟΥ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΟΥ - ΠΡΟΓΝΩΣΤΗ* (pp. 117–126). ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ.

Καραγιαννίδης, Α., & Λαγουβάρδος, Κ. (2021). *Κακοκαιρία «Μήδεια»: Στους -20 βαθμούς Κελσίου η ελάχιστη θερμοκρασία - Ριπή ανέμου κοντά στα 120 χλμ/ώρα*. meteo.gr - Προγνώσεις καιρού για όλη την Ελλάδα.  
<https://www.meteo.gr/www.meteo.gr?entryID=1639>

Καρακώστας, Θ. (2020). *Σημειώσεις Δυναμικής Μετεωρολογίας. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην "Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον."* Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας

Κολυβά - Μαχαίρα, Φ., & Μπόρα - Σέντα, Ε. (2014). *Στατιστική. Θεωρία και Εφαρμογές*. Εκδόσεις Ζήτη.

Παπαπέτρου, Α., & Καραταράκης, Ν. (2021). Χιονοπτώσεις Στην Αττική 15-17 Φεβρουαρίου 2021- Κλιματικά Στοιχεία. *Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ)*, 5.

Πυθαρούλης, Ι. (2020α). *Σημειώσεις Αριθμητικής Πρόγνωσης Καιρού. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην "Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον."* Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας

Πυθαρούλης, Ι. (2020β). *Σημειώσεις Συνοπτικής Μετεωρολογίας. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην "Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον."* Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας

Ρούση, Ε. Μ. (2008). *Συμβολή στη μελέτη της θερμοκρασίας της Μεσογείου με τη χρήση στοιχείων περιοχικών μοντέλων κυκλοφορίας*. Μεταπτυχιακή Διατριβή Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα



Χατζούδης, Χ. Γ. (2018). *Μελέτη της ευαισθησίας ενός αριθμητικού μοντέλου πρόγνωσης καιρού στην παραμετροποίηση της ανοδικής μεταφοράς. Μεταπτυχιακή Διατριβή Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας*

<https://doi.org/10.26262/HEAL.AUTH.IR.302237>

## Κεφάλαιο 8 Παράρτημα και Συμπληρωματικό Υλικό

Location	LAT	LON	
Αμπελάκια ( Ορεσιτιάδας)	41,48	26,40	
Δράμα	41,15	24,15	
Ξάνθη	41,14	24,88	
Κομοτηνή	41,12	25,41	
Σέρρες	41,09	23,55	
Πάικο	40,95	22,34	
Καβάλα	40,94	24,39	
Αλεξανδρούπολη	40,84	25,88	
Ξηροχώρι (Θεσσαλονίκης)	40,80	22,78	
Γιαννιτσά	40,79	22,41	
Φλώρινα	40,78	21,41	
Θραϊόκαστρο (Θεσσαλονίκη)	40,73	22,92	
Διαβατά (Θεσσαλονίκης)	40,69	22,86	
Τρα/Αγ. Παύλος (Θεσσαλονί)	40,64	22,95	
Αλεξάνδρεια	40,63	22,44	
Χορτιάτης (Θεσσαλονίκης)	40,61	23,10	
Πανόραμα (Θεσσαλονίκης)	40,59	23,02	
Βέροια	40,52	22,21	
Πτολεμαίδα (Κοζάνη)	40,51	21,68	
Πλαγιάρι	40,47	22,96	
Σιάτιστα (Κοζάνη)	40,26	21,55	
Γρεβενά	40,08	21,43	
Ελασσόνα	39,89	22,19	
Μέτσοβο	39,77	21,18	
Ανήλιο	39,76	21,19	
Τύρναβος	39,74	22,29	
Μετέωρα	39,72	21,63	
Καλαμπάκα (Τρίκαλα)	39,71	21,63	Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης
Δ.Πύλης (Θεσσαλία)	39,46	21,62	Ειδήσεις σε ΜΜΕ
Λαμία	38,89	22,43	Πρωτοσέλιδα Εφημερίδων

Πίνακας 8. 1 Πίνακας με περιοχές όπου καταγράφηκε χιονόπτωση για την 13<sup>η</sup> Φεβρουαρίου του 20

Location	LAT	LON
Αμπελάκια(Ορεστιάδας)	41,48	26,40
Δράμα	41,15	24,15
Ξάνθη	41,14	24,88
Κομοτηνή	41,12	25,41
Σέρρες	41,09	23,55
Πάικο	40,95	22,34
Καβάλα	40,94	24,39
Μακροχώρι (Ημαθίας)	40,92	22,42
Αλεξανδρούπολη	40,84	25,88
Ξηροχώρι (Θεσσαλονίκη)	40,80	22,78
Γιαννιτσά	40,79	22,41
Φλώρινα	40,78	21,41
Λιμένας (Θάσσου)	40,77	24,71
Ωραιόκαστρο(Θεσσαλονίκη)	40,73	22,92
Διαβατά	40,69	22,86
Διαβατά (Θεσσαλονίκη)	40,69	22,86
Κάστρα/Αγ. Παύλος(Θεσσαλονίκη)	40,64	22,95
Αλεξάνδρεια	40,63	22,44
Νάουσα (Ημαθία)	40,63	22,07
Χορτιάτης(Θεσσαλονίκη)	40,61	23,10
Πανόραμα(Θεσσαλονίκη)	40,59	23,02
Βέροια	40,52	22,21
Πτολεμαίδα (Κοζάνη)	40,51	21,68
Πλαγιάρι	40,47	22,96
Άγιος Πρόδρομος(Χαλκιδική)	40,46	23,38
Άγιος Ιωάννης(Πιερία)	40,39	22,50
Κατερίνη(Πιερία)	40,27	22,51
Σιάτιστα(Κοζάνη)	40,26	21,55
Νέα Μουδανιά	40,24	23,28
Δροσοπηγή(Κονιτσά)	40,21	20,91
Γρεβενά	40,08	21,43
Αιγάνη(Λάρισα)	39,95	22,61
Ελασσόνα	39,89	22,19
Ελασσόνα	39,89	22,19
Μέτσοβο	39,77	21,18
Τύρναβος	39,74	22,29
Μετέωρα	39,72	21,63
Καλαμπάκα(Τρίκαλα)	39,71	21,63
Νεραδοχώρι(Πετρούλι)	39,54	21,47
Παραμυθία(Θεσπρωτία)	39,47	20,52
Αγιοκαμπος	39,41	22,52
Βόλος(Θεσσαλία)	39,37	22,95
Καρδίτσα	39,36	21,92
Λίμνη Πλαστήρα	39,30	21,72
Φάρσαλα	39,29	22,38
Λαμία	38,89	22,43
Λίμνη(Εύβοια)	38,77	23,32
Πήλιο	38,75	23,58
Ακραίφνιο(Βοιωτία)	38,46	23,22
Θήβα	38,32	23,32
Κουλάδα των Μουσών	38,31	23,06
		Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης
		Ειδήσεις σε ΜΜΕ
		Πρωτοσέλιδα Εφημερίδων

Πίνακας 8. 2 Όμοιος με πίνακα 8.1 αλλά για τις 14 Φεβρουαρίου του 2021

Location	LAT	LON	
Δράμα	41,15	24,15	
Ροδόπη	41,08	25,48	
Κιλκίς	40,99	22,88	
Μακροχώρι (Ημαθία)	40,92	22,42	
Ακροχώρι (Ημαθία)	40,59	22,07	
Πτολεμαίδα (Κοζάνη)	40,51	21,68	
Κοζάνη	40,29	21,79	
Σιάτιστα (Κοζάνη)	40,26	21,55	
Γρεβενά	40,08	21,43	
Καλλιτεύκη(Τέμπη)	39,97	22,46	
Τύρναβος	39,74	22,29	
Καστράκι(Τρίκαλα)	39,72	21,62	
Καλαμπάκα(Τρίκαλα)	39,71	21,63	
Βόλος(Θεσσαλία)	39,37	22,95	
Καρδίτσα	39,36	21,92	
Φάρσαλα	39,29	22,38	
Ιστιαία (Εύβοια)	38,95	23,15	
Κερασιά(Εύβοια)	38,91	23,32	
Κανάλια Μακρακώμης(Φθιώτιδα)	38,87	21,97	
Αγία Άννα(Εύβοια)	38,86	23,39	
Λίμνη(Εύβοια)	38,77	23,32	
Πήλιο	38,75	23,58	
Χαλκίδα	38,47	23,63	
Θήβα	38,32	23,32	
Πάτρα	38,22	21,76	
Βίλια(Αττική)	38,17	23,34	
Σταμάτα(Αττική)	38,13	23,88	
Εκάλη(Αττική)	38,11	23,84	
Διόνυσος(Αττική)	38,10	23,88	
Ν.Ερυθραία(Αττική)	38,09	23,82	
Κηφισιά(Αττική)	38,08	23,81	
Μάνδρα(Αττική)	38,08	23,49	
Ελευσίνα(Αττική)	38,05	23,54	
Μαρούσι(Αττική)	38,03	23,79	
Κολωνάκι(Αττική)	37,98	23,75	
Παγκράτι(Αττική)	37,97	23,75	
Λαγονήσι(Αττική)	37,78	23,89	
Γαργαλιάνοι(Αττική)	37,07	21,64	
Σκάλα(Λακωνία)	36,85	22,68	
Χανιά	35,50	24,02	Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης
Μαλεβίζι	35,29	24,97	Ειδήσεις σε ΜΜΕ
Λασιθι(Κρήτη)	35,16	25,48	Πρωτοσέλιδα Εφημερίδων

Πίνακας 8. 3 Όμοια με πίνακα 8.1 αλλά για την 15η Φεβρουαρίου 2021



Location	LAT	LON	
Κερασιά(Εύβοια)	38,91	23,32	
Αγία Άννα(Εύβοια)	38,86	23,39	
Αλμυροπόταμος(Εύβοια)	38,27	24,19	
Καπανδρίτι(Αττική)	38,22	23,88	
Βίλια(Αττική)	38,17	23,34	
Αγ.Στέφανος(Αττική)	38,15	23,86	
Σταμάτα(Αττική)	38,13	23,88	
Διόνυσος(Αττική)	38,10	23,88	
Κηφισιά(Αττική)	38,08	23,81	
Καματερό(Αττική)	38,05	23,71	
Ν.Ηράκλειο(Αττική)	38,04	23,77	
Μαρούσι(Αττική)	38,03	23,79	
Γέρακας(Αττική)	38,02	23,86	
Κολωνάκι(Αττική)	37,98	23,75	
Σαλαμίνα	37,97	23,49	
Παγκράτι(Αττική)	37,97	23,75	
Μοναστηράκι(Αττική)	37,97	23,73	
Πειραιάς(Αττική)	37,94	23,65	
Π.Φάληρο(Αττική)	37,93	23,71	
Λαγονήσι	37,78	23,89	
Κως	36,86	27,26	Μέσα Κοινωνικής Δικτύωσης
Ψίνθος (Ρόδος)	36,31	28,10	Ειδήσεις σε ΜΜΕ
Λασιθι(Κρήτη)	35,16	25,48	Πρωτοσέλιδα Εφημερίδων

Πίνακας 8. 4 Όμοια με το πίνακα 8.1 αλλά για την 16η Φεβρουαρίου του 2021

		EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5		EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5
Precipitation	R <sup>2</sup>											
	3H	0,32	0,39	0,33	0,30	0,26						
	6H	0,49	0,53	0,44	0,41	0,35						
	12H	0,64	0,62	0,69	0,56	0,44						
	R											
	3H	0,57	0,63	0,57	0,54	0,51						
	6H	0,70	0,73	0,66	0,64	0,59						
	12H	0,80	0,79	0,83	0,75	0,66						
	Skill Score						Skill Score /Exp 2					
	3H	81	70	76	78	128	3H	2,2%	0,0%	3,6%	2,5%	12,2%
6H	29	21	9	31	21	6H	4,3%	0,0%	7,7%	1,5%	11,2%	
12H	90	57	83	69	90	12H						
SNOW	Skill Score						Skill Score /Exp 2					
	3H	35	14	23	29	13	3H	-4,3%	0,0%	1,2%	-0,3%	3,9%
	6H	21	21	9	29	18	6H	2,7%	0,0%	-7,4%	3,5%	-0,7%
	12H	16	16	8	23	27	12H					
TEMP	Mean Error	-0,33385	-0,49862	-0,37068	-0,51688	-0,12439						
	Mean Absolute Error	2,087003	1,94475	1,869875	1,9404	1,809997	Skill Score /Exp 2	-7,3%	0,0%	3,9%	0,2%	6,9%
	Root Mean Square Error	2,827982	2,58265	2,484206	2,590484	2,327417						
MSLP	Mean Error	-1,91718	-1,8453	-2,03606	-1,88953	-2,18015						
	Mean Absolute Error	2,29707	2,110468	2,22763	2,121322	2,30969	Skill Score /Exp 2	-8,8%	0,0%	-5,6%	-0,5%	-9,4%
	Root Mean Square Error	2,936788	2,705724	2,800448	2,723119	2,884823						
Dew Point Temper	Mean Error	-1,06833	-1,12913	-1,33785	-1,10529	-0,00917						
	Mean Absolute Error	2,771161	2,449926	2,586173	2,467887	2,240481	Skill Score /Exp 2	-13,1%	0,0%	-5,6%	-0,7%	8,5%
	Root Mean Square Error	4,075007	3,543709	3,713648	3,545745	3,145907						
Relative Humidity	Mean Error	-4,03079	-3,61218	-5,13105	-3,3668	-0,0694						
	Mean Absolute Error	12,85589	12,5491	12,86165	12,73462	11,6682	Skill Score /Exp 2	-2,4%	0,0%	-2,5%	-1,5%	7,0%
	Root Mean Square Error	16,96997	16,49197	16,8198	16,80727	15,76878						
WIND	Mean Error	1,497904	1,359368	1,526019	1,354231	2,233413						
	Mean Absolute Error	2,802936	2,623346	2,760323	2,645331	2,989441	Skill Score /Exp 2	-6,8%	0,0%	-5,2%	-0,8%	-14,0%
	Root Mean Square Error	3,62041	3,358716	3,53221	3,391715	3,736799						

Πίνακας 8. 5 Βαθμοί ποινής για όλες τις μεταβλητές

Πίνακας 8. 6 Αναλυτικά αποτελέσματα για τους πίνακες συνάφειας των διακριτών μεταβλητών τριώρου και εξαώρου του πειράματος EXP1

SNOW 3h		PREC 3h 0,1mm			PREC 3h 1mm			PREC 3h 2mm			PREC 3h 4mm												
SNOW	70	NO SNOW	40	TOTAL	110	0,36	More than 0,1mm of Prec	179	63	242	More than 1mm of Prec	71	72	143	More than 2mm of Prec	29	61	90	More than 4mm of Prec	11	28	39	
NO SNOW	71	NO SNOW	402	TOTAL	473	0,09	Less than 0,1mm of Prec	29	262	291	Less than 1 of Prec	35	355	390	Less than 2mm of Prec	23	420	443	Less than 4mm of Prec	9	485	494	
TOTAL	141	TOTAL	442	TOTAL	583	0,28	TOTAL	208	325	533	TOTAL	106	427	533	TOTAL	52	481	533	TOTAL	20	513	533	
ACCURACY:	0,81	FAR:	0,36	ACCURACY:	0,83	FAR:	0,26	ACCURACY:	0,80	FAR:	0,50	ACCURACY:	0,84	FAR:	0,68	ACCURACY:	0,93	FAR:	0,72	ACCURACY:	0,93	FAR:	0,72
BIAS:	0,78	POFD:	0,09	BIAS:	1,16	POFD:	0,19	BIAS:	1,35	POFD:	0,17	BIAS:	1,73	POFD:	0,13	BIAS:	1,95	POFD:	0,05	BIAS:	1,95	POFD:	0,05
POD:	0,50	SR:	0,64	POD:	0,86	SR:	0,74	POD:	0,67	SR:	0,50	POD:	0,56	SR:	0,32	POD:	0,55	SR:	0,28	POD:	0,55	SR:	0,28
HSS:	0,44	ETS:	0,28	HSS:	0,65	ETS:	0,48	HSS:	0,44	ETS:	0,28	HSS:	0,32	ETS:	0,19	HSS:	0,34	ETS:	0,20	HSS:	0,34	ETS:	0,20
SNOW 6h		PREC 6h 0,1mm			PREC 6h 1mm			PREC 6h 2mm			PREC 6h 4mm												
SNOW	42	NO SNOW	16	TOTAL	58	0,28	More than 0,1mm of Prec	102	22	124	More than 1mm of Prec	56	30	86	More than 2mm of Prec	32	32	64	More than 4mm of Prec	16	25	41	
NO SNOW	46	NO SNOW	175	TOTAL	221	0,08	Less than 0,1mm of Prec	11	117	128	Less than 1 of Prec	17	149	166	Less than 2mm of Prec	14	174	188	Less than 4mm of Prec	6	205	211	
TOTAL	88	TOTAL	191	TOTAL	279	0,28	TOTAL	113	139	252	TOTAL	73	179	252	TOTAL	46	206	252	TOTAL	22	230	252	
ACCURACY:	0,78	FAR:	0,28	ACCURACY:	0,87	FAR:	0,18	ACCURACY:	0,81	FAR:	0,35	ACCURACY:	0,82	FAR:	0,50	ACCURACY:	0,82	FAR:	0,61	ACCURACY:	0,88	FAR:	0,61
BIAS:	0,66	POFD:	0,08	BIAS:	1,10	POFD:	0,16	BIAS:	1,18	POFD:	0,17	BIAS:	1,39	POFD:	0,16	BIAS:	1,39	POFD:	0,11	BIAS:	1,86	POFD:	0,11
POD:	0,48	SR:	0,72	POD:	0,90	SR:	0,82	POD:	0,77	SR:	0,65	POD:	0,70	SR:	0,50	POD:	0,70	SR:	0,39	POD:	0,73	SR:	0,39
HSS:	0,43	ETS:	0,28	HSS:	0,74	ETS:	0,58	HSS:	0,57	ETS:	0,40	HSS:	0,47	ETS:	0,31	HSS:	0,47	ETS:	0,31	HSS:	0,44	ETS:	0,29



Πίνακας 8. 8 Όμοια με το πίνακα 8.6 αλλά για το πείραμα EXP3

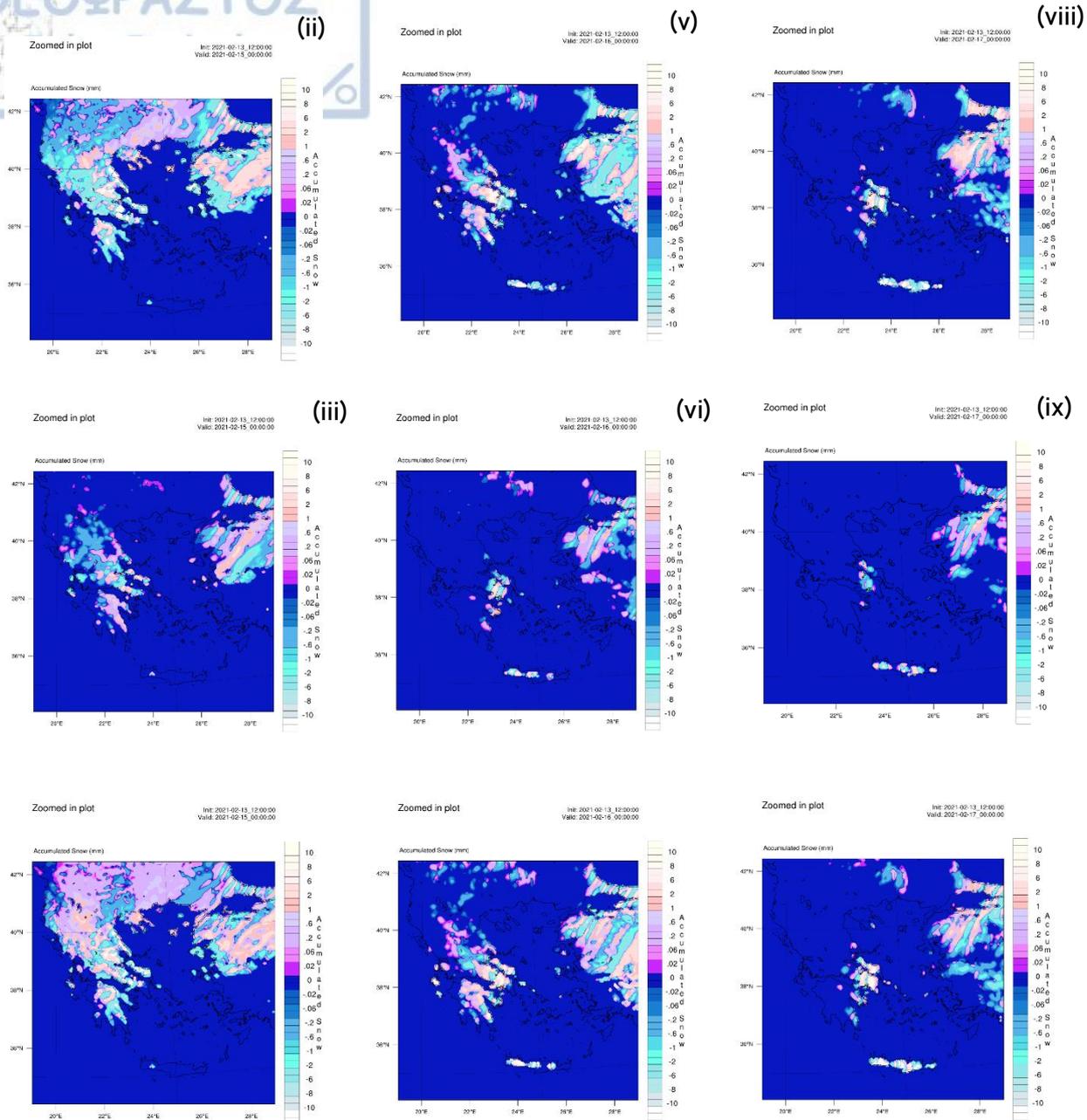
SNOW 3h		PREC 3h 0,1mm				PREC 3h 1mm				PREC 3h 2mm				PREC 3h 4mm			
REAL DATA	WRF MODEL	More than 0,1mm of Prec	Less than 0,1mm of Prec	Prec	TOTAL	More than 1mm of Prec	Less than 1mm of Prec	Prec	TOTAL	More than 2mm of Prec	Less than 2mm of Prec	Prec	TOTAL	More than 4mm of Prec	Less than 4mm of Prec	Prec	TOTAL
SNOW	77	40	117			69	65	134		32	56	88		12	28	40	
NO SNOW	64	402	466			37	362	399		20	425	445		8	485	493	
TOTAL	141	442	583			106	427	533		52	481	533		20	513	533	
ACCURACY:	0,82	FAR:	0,34			ACCURACY:	0,81	FAR:	0,49	ACCURACY:	0,86	FAR:	0,64	ACCURACY:	0,93	FAR:	0,70
BIAS:	0,83	POFD:	0,09			BIAS:	1,26	POFD:	0,15	BIAS:	1,69	POFD:	0,12	BIAS:	2,00	POFD:	0,05
POD:	0,55	SR:	0,66			POD:	0,65	SR:	0,36	POD:	0,62	SR:	0,36	POD:	0,60	SR:	0,30
HSS:	0,48	ETS:	0,32			HSS:	0,45	ETS:	0,29	HSS:	0,38	ETS:	0,24	HSS:	0,37	ETS:	0,23
SNOW 6h		PREC 6h 0,1mm				PREC 6h 1mm				PREC 6h 2mm				PREC 6h 4mm			
REAL DATA	WRF MODEL	More than 0,1mm of Prec	Less than 0,1mm of Prec	Prec	TOTAL	More than 1mm of Prec	Less than 1mm of Prec	Prec	TOTAL	More than 2mm of Prec	Less than 2mm of Prec	Prec	TOTAL	More than 4mm of Prec	Less than 4mm of Prec	Prec	TOTAL
SNOW	45	17	62			54	23	77		33	29	62		17	27	44	
NO SNOW	43	174	217			19	156	175		13	177	190		5	203	208	
TOTAL	88	191	279			73	179	252		46	206	252		22	230	252	
ACCURACY:	0,78	FAR:	0,27			ACCURACY:	0,83	FAR:	0,30	ACCURACY:	0,83	FAR:	0,47	ACCURACY:	0,87	FAR:	0,61
BIAS:	0,70	POFD:	0,09			BIAS:	1,05	POFD:	0,13	BIAS:	1,35	POFD:	0,14	BIAS:	2,00	POFD:	0,12
POD:	0,51	SR:	0,73			POD:	0,74	SR:	0,70	POD:	0,72	SR:	0,53	POD:	0,77	SR:	0,39
HSS:	0,46	ETS:	0,30			HSS:	0,60	ETS:	0,43	HSS:	0,51	ETS:	0,34	HSS:	0,45	ETS:	0,29

Πίνακας 8. 9 Όμοια με το πίνακα 8.6 αλλά για το πείραμα EXP4

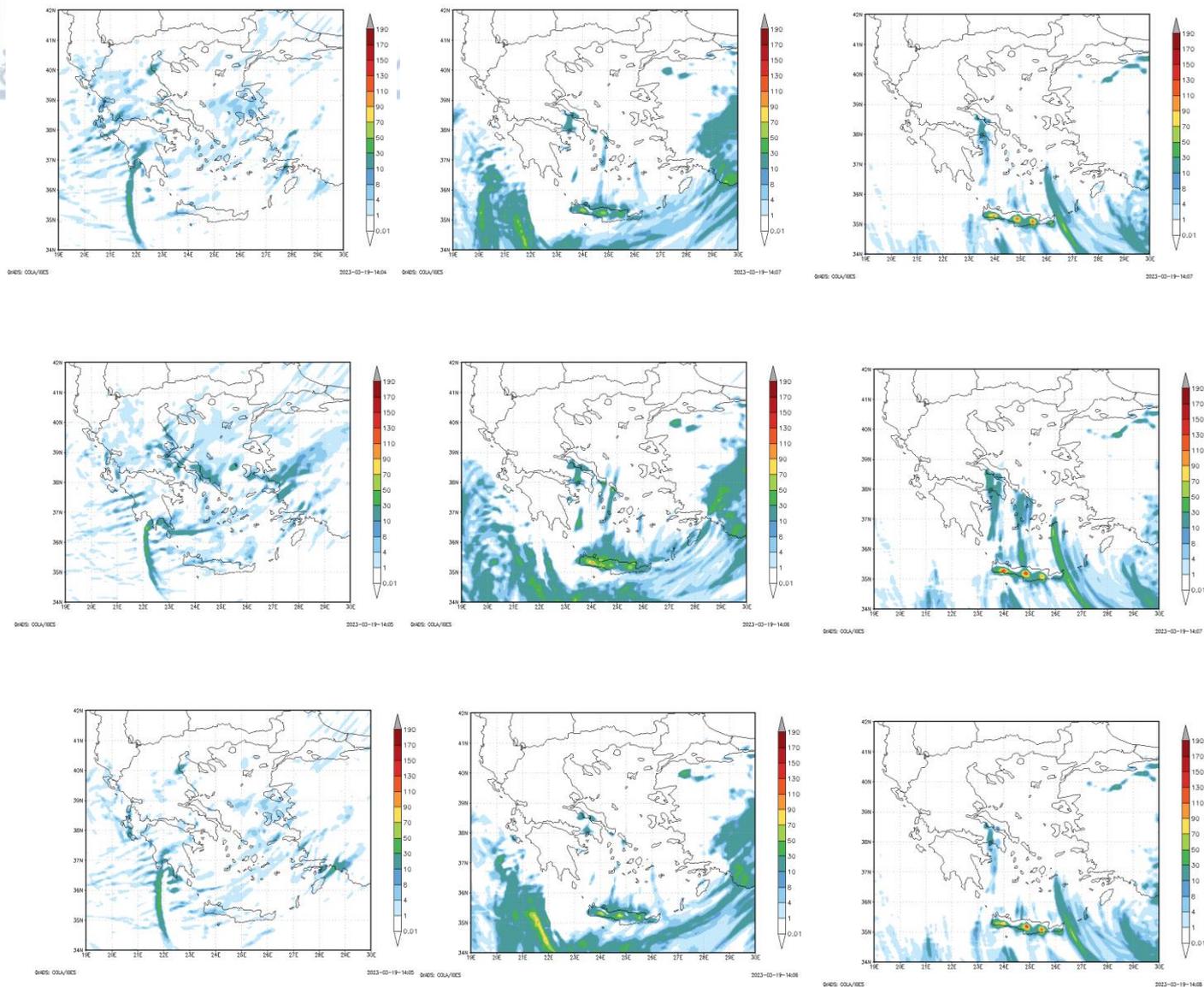
SNOW 3h		PREC 3h 0,1mm			PREC 3h 1mm			PREC 3h 2mm			PREC 3h 4mm				
REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL		
SNOW	NO SNOW	TOTAL	More than 0,1mm of Prec	Less than 0,1mm of Prec	TOTAL	More than 1mm of Prec	Less than 1mm of Prec	TOTAL	More than 2mm of Prec	Less than 2mm of Prec	TOTAL	More than 4mm of Prec	Less than 4mm of Prec	TOTAL	
76	41	117	159	52	211	69	65	134	35	59	94	9	31	40	
NO SNOW	NO SNOW	NO SNOW	49	273	322	37	362	399	17	422	439	11	482	493	
TOTAL	TOTAL	TOTAL	208	325	533	106	427	533	52	481	533	20	513	533	
ACCURACY: <u>0,82</u>	FAR: <u>0,35</u>	ACCURACY: <u>0,81</u>	FAR: <u>0,25</u>	ACCURACY: <u>0,81</u>	FAR: <u>0,49</u>	ACCURACY: <u>0,81</u>	FAR: <u>0,15</u>	ACCURACY: <u>0,86</u>	FAR: <u>0,63</u>	ACCURACY: <u>0,86</u>	FAR: <u>0,63</u>	ACCURACY: <u>0,92</u>	FAR: <u>0,78</u>	ACCURACY: <u>0,92</u>	FAR: <u>0,78</u>
BIAS: <u>0,83</u>	POFD: <u>0,09</u>	BIAS: <u>1,01</u>	POFD: <u>0,16</u>	BIAS: <u>1,26</u>	POFD: <u>0,15</u>	BIAS: <u>1,26</u>	POFD: <u>0,15</u>	BIAS: <u>1,81</u>	POFD: <u>0,12</u>	BIAS: <u>1,81</u>	POFD: <u>0,12</u>	BIAS: <u>2,00</u>	POFD: <u>0,06</u>	BIAS: <u>2,00</u>	POFD: <u>0,06</u>
POD: <u>0,54</u>	SR: <u>0,65</u>	POD: <u>0,76</u>	SR: <u>0,75</u>	POD: <u>0,65</u>	SR: <u>0,51</u>	POD: <u>0,65</u>	SR: <u>0,51</u>	POD: <u>0,67</u>	SR: <u>0,37</u>	POD: <u>0,67</u>	SR: <u>0,37</u>	POD: <u>0,45</u>	SR: <u>0,23</u>	POD: <u>0,45</u>	SR: <u>0,23</u>
HSS: <u>0,47</u>	ETS: <u>0,31</u>	HSS: <u>0,60</u>	ETS: <u>0,43</u>	HSS: <u>0,45</u>	ETS: <u>0,29</u>	HSS: <u>0,45</u>	ETS: <u>0,29</u>	HSS: <u>0,40</u>	ETS: <u>0,25</u>	HSS: <u>0,40</u>	ETS: <u>0,25</u>	HSS: <u>0,26</u>	ETS: <u>0,15</u>	HSS: <u>0,26</u>	ETS: <u>0,15</u>
SNOW 6h		PREC 6h 0,1mm			PREC 6h 1mm			PREC 6h 2mm			PREC 6h 4mm				
REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL	REAL DATA	WRF MODEL		
SNOW	NO SNOW	TOTAL	More than 0,1mm of Prec	Less than 0,1mm of Prec	TOTAL	More than 1mm of Prec	Less than 1mm of Prec	TOTAL	More than 2mm of Prec	Less than 2mm of Prec	TOTAL	More than 4mm of Prec	Less than 4mm of Prec	TOTAL	
45	19	64	93	14	107	53	24	77	34	32	66	16	28	44	
NO SNOW	NO SNOW	NO SNOW	20	125	145	20	155	175	12	174	186	6	202	208	
TOTAL	TOTAL	TOTAL	113	139	252	73	179	252	46	206	252	22	230	252	
ACCURACY: <u>0,78</u>	FAR: <u>0,30</u>	ACCURACY: <u>0,87</u>	FAR: <u>0,13</u>	ACCURACY: <u>0,83</u>	FAR: <u>0,31</u>	ACCURACY: <u>0,83</u>	FAR: <u>0,48</u>	ACCURACY: <u>0,83</u>	FAR: <u>0,48</u>	ACCURACY: <u>0,83</u>	FAR: <u>0,48</u>	ACCURACY: <u>0,87</u>	FAR: <u>0,64</u>	ACCURACY: <u>0,87</u>	FAR: <u>0,64</u>
BIAS: <u>0,73</u>	POFD: <u>0,10</u>	BIAS: <u>0,95</u>	POFD: <u>0,10</u>	BIAS: <u>1,05</u>	POFD: <u>0,13</u>	BIAS: <u>1,05</u>	POFD: <u>0,13</u>	BIAS: <u>1,43</u>	POFD: <u>0,16</u>	BIAS: <u>1,43</u>	POFD: <u>0,16</u>	BIAS: <u>2,00</u>	POFD: <u>0,12</u>	BIAS: <u>2,00</u>	POFD: <u>0,12</u>
POD: <u>0,51</u>	SR: <u>0,70</u>	POD: <u>0,82</u>	SR: <u>0,87</u>	POD: <u>0,73</u>	SR: <u>0,69</u>	POD: <u>0,73</u>	SR: <u>0,69</u>	POD: <u>0,74</u>	SR: <u>0,52</u>	POD: <u>0,74</u>	SR: <u>0,52</u>	POD: <u>0,73</u>	SR: <u>0,36</u>	POD: <u>0,73</u>	SR: <u>0,36</u>
HSS: <u>0,44</u>	ETS: <u>0,29</u>	HSS: <u>0,73</u>	ETS: <u>0,57</u>	HSS: <u>0,58</u>	ETS: <u>0,41</u>	HSS: <u>0,58</u>	ETS: <u>0,41</u>	HSS: <u>0,50</u>	ETS: <u>0,33</u>	HSS: <u>0,50</u>	ETS: <u>0,33</u>	HSS: <u>0,42</u>	ETS: <u>0,26</u>	HSS: <u>0,42</u>	ETS: <u>0,26</u>

Πίνακας 8. 10 Όμοια με το πίνακα 8.6 αλλά για το πείραμα EXP5

SNOW 3h				PREC 3h 0,1mm				PREC 3h 1mm				PREC 3h 2mm				PREC 3h 4mm					
REAL DATA		WRF MODEL		REAL DATA		WRF MODEL		REAL DATA		WRF MODEL		REAL DATA		WRF MODEL		REAL DATA		WRF MODEL			
SNOW	NO SNOW	TOTAL	More than 0,1mm of Prec	Less than 0,1mm of Prec	TOTAL	More than 1mm of Prec	Less than 1mm of Prec	TOTAL	More than 2mm of Prec	Less than 2mm of Prec	TOTAL	More than 4mm of Prec	Less than 4mm of Prec	TOTAL	More than 4mm of Prec	Less than 4mm of Prec	TOTAL	More than 4mm of Prec	Less than 4mm of Prec	TOTAL	
82	43	125	173	70	243	74	87	161	36	86	122	9	55	64	36	86	122	9	55	64	
59	399	458	35	255	290	32	340	372	16	395	411	11	458	469	16	395	411	11	458	469	
TOTAL	141	442	208	325	533	106	427	533	52	481	533	20	513	533	52	481	533	20	513	533	
ACCURACY:	0,83	FAR:	0,80	FAR:	0,29	ACCURACY:	0,78	FAR:	0,81	FAR:	0,70	ACCURACY:	0,88	FAR:	0,81	FAR:	0,70	ACCURACY:	0,88	FAR:	0,86
BIAS:	0,89	POFD:	1,17	POFD:	0,22	BIAS:	1,52	POFD:	2,35	POFD:	0,18	BIAS:	3,20	POFD:	0,11	BIAS:	0,11	BIAS:	3,20	POFD:	0,11
POD:	0,58	SR:	0,83	SR:	0,71	POD:	0,70	SR:	0,69	SR:	0,30	POD:	0,45	SR:	0,14	POD:	0,30	POD:	0,45	SR:	0,14
HSS:	0,50	ETS:	0,60	ETS:	0,43	HSS:	0,41	ETS:	0,32	ETS:	0,19	HSS:	0,17	ETS:	0,09	HSS:	0,19	HSS:	0,17	ETS:	0,09
SNOW 6h				PREC 6h 0,1mm				PREC 6h 1mm				PREC 6h 2mm				PREC 6h 4mm					
REAL DATA		WRF MODEL		REAL DATA		WRF MODEL		REAL DATA		WRF MODEL		REAL DATA		WRF MODEL		REAL DATA		WRF MODEL			
SNOW	NO SNOW	TOTAL	More than 0,1mm of Prec	Less than 0,1mm of Prec	TOTAL	More than 1mm of Prec	Less than 1mm of Prec	TOTAL	More than 2mm of Prec	Less than 2mm of Prec	TOTAL	More than 4mm of Prec	Less than 4mm of Prec	TOTAL	More than 2mm of Prec	Less than 2mm of Prec	TOTAL	More than 4mm of Prec	Less than 4mm of Prec	TOTAL	
49	20	69	101	23	124	59	35	94	35	47	82	18	43	61	35	47	82	18	43	61	
39	171	210	12	116	128	14	144	158	11	159	170	4	187	191	11	159	170	4	187	191	
TOTAL	88	191	113	139	252	73	179	252	46	206	252	22	230	252	46	206	252	22	230	252	
ACCURACY:	0,79	FAR:	0,86	FAR:	0,19	ACCURACY:	0,81	FAR:	0,77	FAR:	0,57	ACCURACY:	0,81	FAR:	0,77	FAR:	0,57	ACCURACY:	0,81	FAR:	0,70
BIAS:	0,78	POFD:	1,10	POFD:	0,17	BIAS:	1,29	POFD:	1,78	POFD:	0,23	BIAS:	2,77	POFD:	0,19	BIAS:	0,23	BIAS:	2,77	POFD:	0,19
POD:	0,56	SR:	0,89	SR:	0,81	POD:	0,81	SR:	0,76	SR:	0,43	POD:	0,82	SR:	0,30	POD:	0,43	POD:	0,82	SR:	0,30
HSS:	0,48	ETS:	0,48	ETS:	0,56	HSS:	0,56	ETS:	0,41	ETS:	0,26	HSS:	0,35	ETS:	0,21	HSS:	0,26	HSS:	0,35	ETS:	0,21



Σχήμα 8.1 Διαγράμματα διαφοράς ύψους χιονιού για όλες τις ημέρες του φαινομένου και για τα πειράματα CLIMA, P3 και M3 σε σχέση με το πείραμα CONTROL. (i) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 14/02/2021, (ii) Πείραμα P3, Χρόνος : 14/02/2021, (iii) Πείραμα M3, Χρόνος : 14/02/2021, (iv) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 15/02/2021, (v) Πείραμα P3, Χρόνος : 15/02/2021, (vi) Πείραμα M3, Χρόνος : 15/02/2021, (vii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 16/02/2021, (viii) Πείραμα P3, Χρόνος : 16/02/2021 και (ix) Πείραμα M3, Χρόνος : 16/02/2021 Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.



Σχήμα 8.2 Διαγράμματα διαφοράς ύψους υετού για όλες τις ημέρες του φαινομένου και για τα πειράματα CLIMA, P3 και M3 σε σχέση με το πείραμα CONTROL. (i) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 14/02/2021 12:00 UTC, (ii) Πείραμα P3, Χρόνος : 14/02/2021, (iii) Πείραμα M3, Χρόνος : 14/02/2021, (iv) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 15/02/2021, (v) Πείραμα P3, Χρόνος : 15/02/2021, (vi) Πείραμα M3, Χρόνος : 15/02/2021, (vii) Πείραμα CLIMA, Χρόνος : 16/02/2021, (viii) Πείραμα P3, Χρόνος : 16/02/2021 και (ix) Πείραμα M3, Χρόνος : 16/02/2021 Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF. Δεδομένα: αποτελέσματα μοντέλου WRF.