Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΦΩΤΕΙΝΗ Α. ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ
Πτυχιούχος Φυσικός

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
'ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2019

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΦΩΤΕΙΝΗ Α. ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ
Πτυχιούχος Φυσικός

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, στο πλαίσιο
του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον»

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 17/07/2019

Επιβλέπων Καθηγητής (έως 31/8/2018): Θεόδωρος Καρακώστας, Ομότιμος Καθηγητής

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Πυθαρούλης Ιωάννης,	Αναπληρωτής Καθηγητής, Επιβλέπων
Ζάνης Πρόδρομος,	Καθηγητής, Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής
Κατράγκου Ελένη,	Επίκουρη Καθηγήτρια, Μέλος Εξεταστικής Επιτροπής

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

© Φωτεινή Α. Αθανασίου, Φυσικός, 2019
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ– *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Foteini A. Athanasiou, Geologist, 2019
All rights reserved.
OPTIMIZATION OF ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER'S PROCESSES REPRESENTATION IN NUMERICAL WEATHER FORECASTING MODEL – *Master of Science Thesis*

Citation:
Αθανασίου Φ. Α., 2019. – Βελτιστοποίηση της αναπαράστασης των διεργασιών του Οριακού Στρώματος σε αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 109 σελ.
Athanasiou F. A., 2019. – Optimization of Atmospheric Boundary Layer's processes representation in Numerical weather forecasting model. Master of Science Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 109 pp.

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 Α.Π.Θ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Διατριβής με τίτλο «Βελτιστοποίηση της αναπαράστασης των διεργασιών του Οριακού Στρώματος σε αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού» εντάσσεται στα πλαίσια της περάτωσης των Μεταπτυχιακών μου Σπουδών στον Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Τον καταλυτικό ρόλο, τόσο στην επιλογή, όσο και στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής είχε ο κύριος Θεόδωρος Καρακώστας, επιβλέπων καθηγητής των μεταπτυχιακών μου σπουδών, τον οποίο και ευχαριστώ εκ βαθέων για την πολύτιμη συνεισφορά και βοήθεια που μου παρείχε. Η εμπιστοσύνη στις δυνατότητές μου, η στήριξη στις αναπόφευκτες δυσκολίες, η συμπαράσταση καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και η παροχή ουσιαστικής γνώσης κατά το απαιτητικό αυτό πόνημα, ήταν οι αξίες που ο κύριος Καρακώστας μου μετέδωσε από την αρχή της κοινής μας πορείας και αποτελούν για μένα ανεξάντλητα εφόδια, τόσο για την ακαδημαϊκή, όσο και για την προσωπική μου ζωή.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Πυθαρούλη, Αναπληρωτή Καθηγητή, που ανέλαβε την επίβλεψη της Μεταπτυχιακής μου Διπλωματικής Εργασίας από την 1η Σεπτεμβρίου 2018 και μετά, για τις γνώσεις και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε, καθώς και για την αμέριστη εμπιστοσύνη και συμπαράσταση που έδειξε στο πρόσωπό μου.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στα άλλα δύο μέλη της παρούσας Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής και αναφέρομαι στο Διευθυντή του Τομέα, Καθηγητή κ. Πρόδρομο Ζάνη, και την κυρία Ελένη Κατράγκου, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τομέα. Η πολύτιμη συνεπικουρία τους στην περαίωση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Διατριβής, τόσο σε γνωσιακό, όσο και σε υποστηρικτικό επίπεδο, ήταν αξιοπρόσεκτη και σίγουρα ανεκτίμητη.

Δεν θα μπορούσα να μην αναφέρω τον κύριο Στέργιο Κάρτσιο, υποψήφιο διδάκτορα του Τομέα, ο οποίος με την εργατικότητα και την διαθεσιμότητα που επέδειξε προς το πρόσωπό μου όλα αυτά τα χρόνια, παρείχε αγόγγυστα την σημαντικότατη βοήθειά του. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία τροποποίησης καιρού «3Δ» για την χορήγηση των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και πάρθηκαν από το ραντάρ του Φιλύρου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω, μέσα από την καρδιά μου, την οικογένεια μου, που όλα αυτά τα χρόνια με στηρίζει αμέριστα, με ενθαρρύνει να συνεχίζω τον

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

καθημερινό μου αγώνα και να οδεύω με θάρρος προς νέες και σημαντικότερες κατακτήσεις. Η υλική, ηθική, μα πάνω απ' όλα, συναισθηματική τους υποστήριξη, είναι ανεκτίμητες. Ένα ιδιαίτερο «ευχαριστώ» οφείλω στον αγαπημένο μου αδερφό Αντώνη, ο οποίος με βοηθάει πάντα να ανταπεξέρχομαι στις δυσκολίες και στην φίλη Αυγούστη Μαρία για την έγνοια της.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής ειδίκευσης έχει ως σκοπό τη μελέτη της επίδρασης των παραμετροποιήσεων του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος σε μια προσομοίωση ενός επεισοδίου έντονης βροχόπτωσης στις 21 Μαϊου 2016, με εφαρμογή του σύγχρονου περιοχικού, μη υδροστατικού ατμοσφαιρικού μοντέλου WRF – ARW. Για τα πειράματα ευαισθησίας επιλέκτηκαν τρία σχήματα που περιγράφουν το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε είναι αυτή των νομών Ημαθίας και Πέλλας, στη κεντρική Μακεδονία, εξαιτίας των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της ως προς το ανάγλυφο και τη γεωγραφία. Χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά σχήματα του Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος (ΑΟΣ). Πραγματοποιήθηκαν τρεις αντίστοιχες προσομοιώσεις στις οποίες το σχήμα YSU (Yonsei University scheme) θεωρήθηκε ως προσομοίωση αναφοράς (control experiment), ενώ τα άλλα δύο σχήματα του ΑΟΣ, MYJ (Mellor – Yamada – Janjic) και MYNN2 (Mellor Yamada Nakanishi Niino επιπεδου 2,5), χρησιμοποιήθηκαν ως προσομοιώσεις ευαισθησίας (sensitivity experiments). Στη συνέχεια, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων ευαισθησίας και του πειράματος αναφοράς ως προς τη βροχόπτωση. Στο τέλος της έρευνας σχολιάζονται τα αποτελέσματα και εξάγονται συμπεράσματα για την επίδραση που έχει η επιλογή διαφορετικού σχήματος ΑΟΣ στην προσομοίωση ενός έντονου επεισοδίου βροχόπτωσης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ABSTRACT

The purpose of this master thesis is to study the effect of boundary layer parameters on a simulation of a severe precipitation event on May 21, 2016, with the application of the regional, non-hydrostatic WRF-ARW model. Three schemes describing the boundary layer were selected for sensitivity experiments. The chosen study area is that of the prefectures of Imathia and Pella, in central Macedonia, due to its distinct features in relief and geography. Three different schemes of the Boundary Layer (BL) were used. Three simulations were performed in which the Yonsei University scheme (YUS) was considered the control experiment, while the other two schemes of BL, MYJ (Mellor - Yamada - Janjic) and MYNN2 (Mellor Yamada Nakanishi Niino level 2,5), were used as sensitivity experiments. The results of the sensitivity experiments and the reference experiment with regard to precipitation are then compared. At the end of the survey, the results are commented and conclusions are drawn on the effect of choosing a different BL pattern in simulating a severe precipitation incident.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ

1.1 Εισαγωγή 13

1.2 Διεργασίες στο Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα και στο WRF 16

1.3 Παραμετροποιήσεις των διεργασιών στο Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα..... 21

1.4 Σχήματα Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος 25

1.4.1 Σχήμα Yonsei University – YSU..... 25

1.4.2 Σχήμα Mellor – Yamada – Janjic (ETA – MYJ)..... 25

1.4.3 Σχήμα NCEP Global Forecast System Scheme (GFS NCEP) 26

1.4.4 Σχήμα Quasi–normal Scale Elimination (QNSE) 27

1.4.5 Σχήμα Mellor – Yamada – Nakanishi – Niino Επιπεδου 2,5-3 (MYNN level 2,5-3) 28

1.4.6 Σχήμα Asymmetric Convection Model 2 Scheme (ACM2)..... 29

1.4.7 Σχήμα Bougeault–Lacarrere Scheme (BouLac) 30

1.4.8 Σχήμα University of Washington (TKE) Boundary Layer (UW)..... 31

1.4.9 Σχήμα Total Energy-Mass Flux Boundary Layer (TEMF)..... 32

1.5 Βιβλιογραφική ενημέρωση και σκοπός της εργασίας..... 33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WRF ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Εισαγωγή στο αριθμητικό μοντέλο Weather Research and Forecasting (WRF)..... 37

2.2 Τμήματα του συστήματος WRF 40

2.2.1 Σύστημα προ επεξεργασίας δεδομένων (WPS)..... 41

2.2.2 Τρισδιάστατο πλέγμα και Δυναμικός Πυρήνας ARW solver 43

2.2.3 Σύστημα Οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του WRF 47

2.3 Πειραματικός σχεδιασμός 48

2.4 Αναλυτική περιγραφή του σχήματος Yonsei University YSU 53

2.5 Αναλυτική περιγραφή του σχήματος Mellor Yamada Janjic (ETA-MYJ)..... 55

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

2.6 Αναλυτική περιγραφή του σχήματος Mellor Yamada Nakanishi Niino επιπέδου 2,5 (MYNN2 level 2,5) 57

2.7 Σύγκριση Σχημάτων Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος MYJ, YSU, MYNN2 61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

3 Συνοπτικές Συνθήκες 64

3.1 Ανάλυση χαρτών των Ισοϋψών και Θερμοκρασίας στην επιφάνεια των 500hPa ... 66

3.2 Ανάλυση χαρτών των Ισοϋψών και Θερμοκρασίας στην επιφάνεια των 850hPa ... 68

3.3 Ανάλυση χαρτών των Ισοϋψών και της σχετικής υγρασίας στα 700hPa 70

3.4 Ανάλυση χαρτών θερμοκρασίας και πίεσης στην επιφάνεια 72

3.5 Ανάλυση χαρτών ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας 74

3.6 Ανάλυση χαρτών Σχετικού Στροβιλισμού και ισοϋψών στα 500hPa 77

3.7 Ανάλυση χαρτών ανέμου επιφανείας (10 m) 79

3.8 Κατακόρυφη θερμοδυναμική δομή της ατμόσφαιρας 81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή 85

4.2 Σύγκριση συνοπτικής κατάστασης για τα Διαφορετικά σχήματα ΑΟΣ 86

4.3 Αθροιστική Βροχόπτωση 24ώρου και συγκρίσεις 96

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Συμπεράσματα 101

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 105

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 1ο

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αριθμητικά μοντέλα είναι συστήματα διαφορικών εξισώσεων, με μερικές παραγώγους μετεωρολογικών μεταβλητών ως προς το χρόνο, τα οποία προβλέπουν την κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα στη βάση των αρχών διατήρησης της ορμής, της μάζας και της ενέργειας (Πυθαρούλης, 2014). Με χρήση αριθμητικών μοντέλων γίνεται η αριθμητική πρόγνωση του καιρού (Numerical Weather Prediction). Πρώτος ο V. Bjerknes, το 1904, αντιλήφθηκε τη δυνατότητα αριθμητικής πρόγνωσης του καιρού ως ένα αριθμητικό πρόβλημα που περιγράφεται από συγκεκριμένες εξισώσεις με μετεωρολογικές μεταβλητές σε συνάρτηση με το χρόνο. Στη συνέχεια, το 1922, ο Lewis Fry Richardson προσπάθησε να προβλέψει μια μελλοντική κατάσταση της ατμόσφαιρας χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες αρχικές συνθήκες σε

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

εξισώσεις της υδροδυναμικής χρησιμοποιώντας αριθμητικές μεθόδους. Με αυτό τον τρόπο, έθεσε τις βάσεις της σύγχρονης αριθμητικής πρόγνωσης καιρού. Το 1949, οι J. Charney, R. Fjortft και J. Neumann πραγματοποίησαν την πρώτη επιτυχημένη 48-ωρη αριθμητική πρόγνωση καιρού με χρήση ενός βαροτροπικού μοντέλου στον πρώτο ηλεκτρονικό υπολογιστή (ENIAC). Στα επόμενα τέσσερα χρόνια σχηματίστηκε στις ΗΠΑ η πρώτη ομάδα αριθμητικής πρόγνωση και σταδιακά η επιστημονική κοινότητα αρχίζει να αποδέχεται τη χρησιμότητα των αριθμητικών μοντέλων (Πυθαρούλης, 2014).

Η ραγδαία αύξηση της υπολογιστικής ικανότητας των ηλεκτρονικών υπολογιστών τις τελευταίες δεκαετίες και η καλύτερη κατανόηση των ατμοσφαιρικών φυσικών διεργασιών οδήγησαν στην ανάπτυξη διαφόρων παγκόσμιων μοντέλων πρόγνωσης καιρού για επιχειρησιακή χρήση. Τέτοια μοντέλα είναι το ECMWF (European Center for Mesoscale Weather Forecasts), που χρησιμοποιείται και απο την Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) και το GFS (Global Forecasting System). Επίσης, διάφορες μετεωρολογικές υπηρεσίες και ερευνητικές ομάδες ανα τον κόσμο ανέπτυξαν περιοχικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού μέσης κλίμακας για επιχειρησιακή αλλά και ερευνητική χρήση, όπως το ETA και το WRF.

Οι φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, όπως ο υετός, είναι σημαντικό για την πρόγνωση να αναπαριστώνται επαρκώς από το εκάστοτε μοντέλο. Για αυτό, το μοντέλο θα πρέπει να έχει υψηλή χωρική ανάλυση διότι η αναπαράσταση τους θα γίνεται μέσω παραμετροποιήσεων. Συνεπώς, σημαντικός παράγοντας στην πρόγνωση καιρού είναι οι παραμετροποιήσεις των φυσικών διεργασιών που περιγράφουν τα διάφορα ατμοσφαιρικά φαινόμενα. Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο συμπεριφέρονται αυτές οι προσομοιώσεις μπορεί να συμβάλει τόσο στον εντοπισμό των κατάλληλων σχημάτων για κάθε περίπτωση αλλά και στην βελτιστοποίηση των ίδιων των παραμετροποιήσεων ιδιαίτερα όταν περιγράφουν έντονα καιρικά φαινόμενα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Τα τελευταία χρόνια τα επεισόδια έντονων βροχοπτώσεων στην περιοχή της Μεσογείου και ειδικότερα στον Ελλαδικό χώρο έχουν αυξηθεί (IPCC, 2007). Η επαρκής προσομοίωση αυτών των φαινομένων απο τα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού αποτελεί πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα καθώς παρόλες τις βελτιώσεις των αντίστοιχων σχημάτων η προσομοίωση τους περιέχει σφάλματα.

Ο υετός είναι μια φυσική διαδικασία με δυσκολία στην παραμετροποίηση του διότι ο σχηματισμός του εξαρτάται από πολλές διεργασίες που συμβαίνουν σε μεγάλο εύρος κλίμακας τόσο ως προς το χρόνο όσο και προς το χώρο. Πιο αναλυτικά, οι χρονικές κλίμακες στις οποίες σχηματίζονται τα νέφη κυμαίνονται από μερικά λεπτά έως και εβδομάδες (Καρακώστας, 2005). Επίσης, ο σχηματισμός και η ανάπτυξη των νεφών εκτείνονται από δεκάδες έως και εκατοντάδες χιλιόμετρα ενώ οι αντίστοιχες κλίμακες για τις νεφοσταγόνες μπορεί να είναι μερικά μικρόμετρα. Γίνεται φανερό, λοιπόν, ότι η προσομοίωση των βροχοπτώσεων από τα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού είναι δύσκολη.

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό τη μελέτη της επίδρασης των παραμετροποιήσεων του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος σε μια προσομοίωση ενός επεισοδίου έντονης βροχόπτωσης σε περιοχή των νομών Ημαθίας και Πέλλας στις 21 Μαΐου 2016, με εφαρμογή του σύγχρονου περιοχικού, μη υδροστατικού ατμοσφαιρικού μοντέλου WRF – ARW.

Η παρουσίαση της επίδρασης των παραμετροποιήσεων του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος στη προσομοίωση του επεισοδίου της 21^{ης} Μαΐου 2016 σε περιοχή των νομών Ημαθίας και Πέλλας πραγματοποιείται σε πέντε επιμέρους κεφάλαια. Στο παρόν κεφάλαιο (Κεφάλαιο 1) δίνονται κάποιες εισαγωγικές έννοιες για τις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο Ατμοσφαιρικό Οριακό στρώμα και πως αυτές παραμετροποιούνται από το αριθμητικό μοντέλο WRF – ARW. Επίσης, γίνεται αναφορά στα σχήματα του Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος που μπορούν να

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

επιλεγούν το WRF. Τέλος, γίνεται βιβλιογραφική ενημέρωση και περιγράφεται ο σκοπός της παρούσας διατριβής ειδίκευσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού WRF, ορίζεται η περιοχή ολοκλήρωσης και αναφέρεται το σύστημα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του WRF. Επίσης, γίνεται αναλυτική περιγραφή των τριών διαφορετικών σχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τη προσομοίωση του υπό μελέτη επεισοδίου.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική ανάλυση του έντονου επεισοδίου βροχόπτωσης που μελετάται στην παρούσα εργασία με δεδομένα που εισήχθησαν από τις αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων – ECMWF.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση της συνοπτικής κατάστασης που προκύπτει για τα τρία διαφορετικά σχήματα του Ατμοσφαιρικού Οριακού στρώματος, καθώς και για την αθροιστική βροχόπτωση 24ώρου.

Τέλος, στο κεφάλαιο πέντε συνοψίζονται τα συμπεράσματα.

1.2 ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΟΡΙΑΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΚΑΙ ΣΤΟ WRF

Το WRF-ARW περιλαμβάνει μια πληθώρα προσεγγιστικών παραμετροποιήσεων των διεργασιών του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Το Ατμοσφαιρικό Οριακό στρώμα (ΑΟΣ) είναι το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας μέσα στο οποίο επιδρούν αισθητά οι ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας, δηλαδή, είναι το χαμηλότερο τμήμα της τροπόσφαιρας που επηρεάζεται άμεσα από την κατάσταση της επιφάνειας. Συνήθως, περιορίζεται σε ένα στρώμα πάχους 1-2 km (αναλόγως με την περιοχή και την εποχή) (Ζάνης, 2014). Η μεταφορά της ορμής και της θερμότητας στο σύνολο του ΑΟΣ γίνεται μέσω στροβιλωδών κινήσεων η ένταση των οποίων μεταβάλλεται χρονικά και γεωγραφικά.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

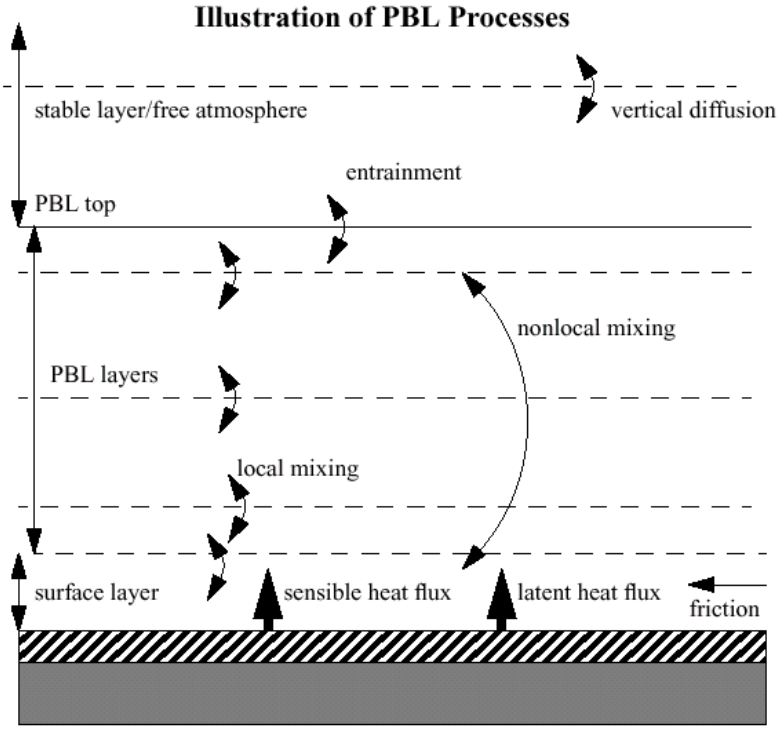
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Η τυπική δομή του ΑΟΣ μια καλοκαιρινή μέρα φαίνεται στα Σχήματα 1.1 και 1.2 και αποτελείται από (Ζάνης, 2014):

- Το στρώμα επιφανείας (surface layer) το οποίο βρίσκεται από την άμεση επίδραση της επιφανείας και οι κατακόρυφες βαθμίδες του ανέμου, της θερμοκρασίας και της υγρασίας είναι μεγάλες.
- Το στρώμα ανάμιξης (mixed-layer) που καταλαμβάνει περίπου το 75% του ασταθούς οριακού στρώματος. Σε αυτό το στρώμα κυριαρχούν οι μεγάλοι τυρβώδεις στρόβιλοι, τα θερμικά. Λόγω μεγάλης έντασης των τυρβώδων στροβίλων η μίξη του στρώματος είναι ισχυρή με αποτέλεσμα να έχει περίπου ομοιόμορφη κατανομή δυναμικής θερμοκρασίας, ανέμου και υγρασίας.
- Το στρώμα εισροής (entrainment layer) στο οποίο γίνεται η εισροή αέρα από την ελεύθερη ατμόσφαιρα. Αυτό το στρώμα έχει ευσταθή στρωμάτωση και συχνά εμφανίζει αναστροφή θερμοκρασίας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχήμα 1.1: Κατακόρυφη τομή των διεργασιών του ΑΟΣ. (ΠΗΓΗ: Wallace and Hobbs, 2006).

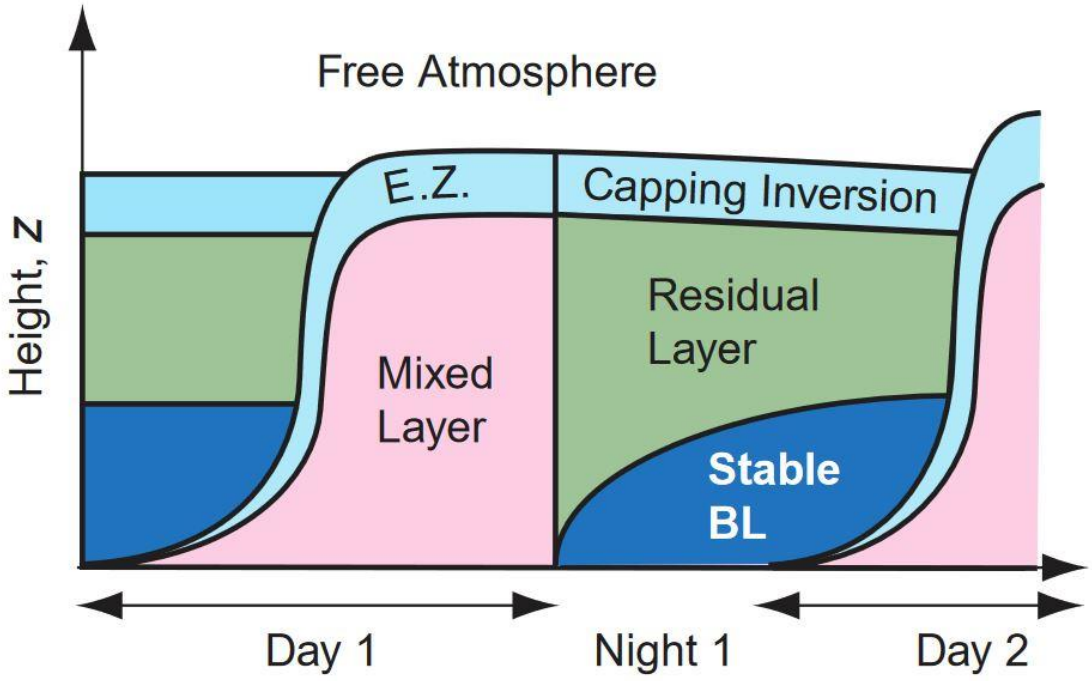
Κοντά στη δύση του ηλίου η ηλιακή ακτινοβολία δεν επαρκεί για να διατηρήσει την ανοδική ροή θερμότητας που παρέχει ενέργεια για τη δημιουργία του ασταθούς ΑΟΣ, με συνέπεια, το ασταθές ΑΟΣ να καταρρεύσει και οι τυρβώδες κινήσεις μικρής κλίμακας (που προέρχονται από τη διάτμιση του ανέμου) να περιορίζονται μέσα σε ένα ρηχό ευσταθές στρώμα (Σχήμα 1.2).

Γίνεται φανερό ότι οι τυρβώδες κινήσεις στο ΑΟΣ είναι πολύ σημαντικές διότι βοηθούν στην κατακόρυφη μεταφορά της δυνητικής θερμοκρασίας η οποία κατά 60% προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία και απορροφάται από τη Γη (Kiehl and Trenberth, 1977) και συνεπώς επηρεάζει τις περισσότερες διεργασίες που συμβαίνουν μέσα σε αυτό. Η ανωμεταφορά θερμότητας και υγρασίας μέσα στο ΑΟΣ κάποιες φορές πυροδοτεί το σχηματισμό νεφών cumulus τα οποία μεταφέρουν με

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

τη σειρά τους τη θερμότητα και την υγρασία στην τροπόσφαιρα και επηρεάζουν τη βασική δομή της ατμόσφαιρας.

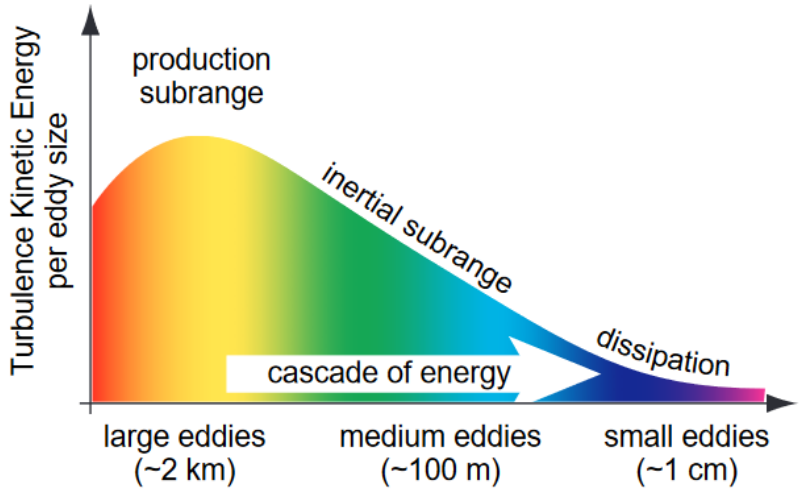


Σχήμα 1.2: Κατακόρυφη τομή της εξέλιξης της δομής του ΑΟΣ μια τυπική καλοκαιρινή ημέρα χωρίς νεφοκάλυψη. (ΠΗΓΗ: Wallace and Hobbs, 2006).

Η εξίσωση η οποία υπολογίζει την ενέργεια των διεργασιών του ΑΟΣ είναι αυτή της Τυρβώδους Κινητικής Ενέργειας (ΤΚΕ). Η ΤΚΕ δεν είναι σταθερή, συνεχώς μεταβάλλεται διότι αποτελεί άθροισμα τόσο των τυρβώδων στροβίλων διαφόρων μεγεθών αλλά και του μοριακού μοριακού ιξώδους των μορίων. Γίνεται αντιληπτό ότι η ΤΚΕ αλλάζει έντονα κατα τη διάρκεια του 24ώρου και κάποιες φορές οι τυρβώδες στρώβιλοι που συνεισφέρουν στο μέγεθός της ξεπερνούν τις διαστάσεις του ΑΟΣ (Σχήμα 1.3).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 1.3: Το φάσμα της Τυρβώδους Κινητικής Ενέργειας (ΤΚΕ). Η ολική ΤΚΕ δίνεται από την περιοχή κάτω από την καμπύλη. Το μέγεθος της ΤΚΕ πέφτει από τους μεσαίους στροβίλους μέχρι το μοριακό ιξώδες. (ΠΗΓΗ: Wallace and Hobbs, 2006)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

1.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΟΡΙΑΚΟ ΣΤΡΩΜΑ

Οι φυσικές διεργασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα μπορούν να προσομοιωθούν από τα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού με τη χρήση συναρτήσεων βασικών παραμέτρων. Το σύνολο αυτών των παραμετροποιήσεων ονομάζονται παραμετροποιήσεις των φυσικών διεργασιών. Συγκεκριμένα, στο μοντέλο WRF-ARW υπάρχει η δυνατότητα επιλογής από πληθώρα παραμετροποιήσεων φυσικών διεργασιών, οι οποίες όταν εκφράζονται με τη μορφή αλγορίθμων χαρακτηρίζονται ως σχήματα του μοντέλου.

Το WRF, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι ένα αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού το οποίο χρησιμοποιείται τόσο για επιχειρησιακή όσο και για ερευνητική χρήση. Κάποια απο τα σχήματα φυσικών παραμετροποιήσεων που προσφέρει το WRF είναι σχήματα του ατμοσφαιρικού οριακού στρώτος, σχήματα του μικρού και μεγάλου μήκους κύματος της ακτινοβολίας, του επιφανειακού στρώματος, της μικροφυσικής των νεφών κ.α.. Στην παρούσα εργασία μελετώνται τρία σχήματα παραμετροποίησης των διεργασιών του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος.

Τα σχήματα που είναι υπεύθυνα για τις διεργασίες του Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος (ΑΟΣ), παραμετροποιούν τις κατακόρυφες ροές (θερμότητας, ορμής, υγρασίας κ.α.) μικρής κλίμακας (sub-grid-scale fluxes) που οφείλονται στις τυρβώδες κινήσεις σε όλη την ατμόσφαιρα, όχι μόνο στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (Skamarock et al., 2008). Συνεπώς, όταν χρησιμοποιείται ένα σχήμα του ΑΟΣ, η κατακόρυφη διάχυση με άμεσο τρόπο (explicit) απενεργοποιείται με την υπόθεση ότι αυτή η διαδικασία προσομοιώνεται πλέον απο το σχήμα του ΑΟΣ. Οι επιφανειακές ροές προσομοιώνονται από τα σχήματα του επιφανειακού στρώματος και αυτά που περιγράφουν την επιφάνεια. Άρα στο WRF μερικά από το σχήματα παραμετροποίησης του ΑΟΣ εξαρτώνται από την επιλογή σχήματος παραμετροποίησης του επιφανειακού στρώματος και αντίστροφα. Αυτό που καθορίζουν τα σχήματα του ΑΟΣ είναι οι ροές μέσα στο καλά αναμεμιγμένο οριακό στρώμα και το στρώμα ευστάθειας, διαμέσου αυτών παρέχουν τις ατμοσφαιρικές

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

τάσεις της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ορμής σε ολόκληρη την ατμόσφαιρα. Τα περισσότερα από τα σχήματα του ΑΟΣ υπολογίζουν ξηρή ανάμιξη, αλλά κάποιες φορές περιλαμβάνουν τις επιδράσεις του κορεσμού τις ατμόσφαιρας στην ευστάθεια η οποία καθορίζει την ανάμιξη. Τα σχήματα αυτά ειναι μιας διάστασης και υποθέτουν ότι υπάρχει ξεκάθαρη διαφοροποίηση ανάμεσα στις ροές μικρής κλίμακας και τους μεγαλύτερης κλίμακας τυρβώδους στρόβιλους. Ωστόσο, όταν η χωρική διακριτοποίηση είναι μικρότερη από μερικά εκατοντάδες μέτρα τότε οι τυρβώδεις στόβιλοι δεν μπορούν να «αναλυθούν» από το εκάστοτε σχήμα και λαμβάνονται υπόψη μέσω προγνωστικών μεταβλητών (C, u, v, θ, q), στις εξισώσεις της κατακόρυφης διάχυσης:

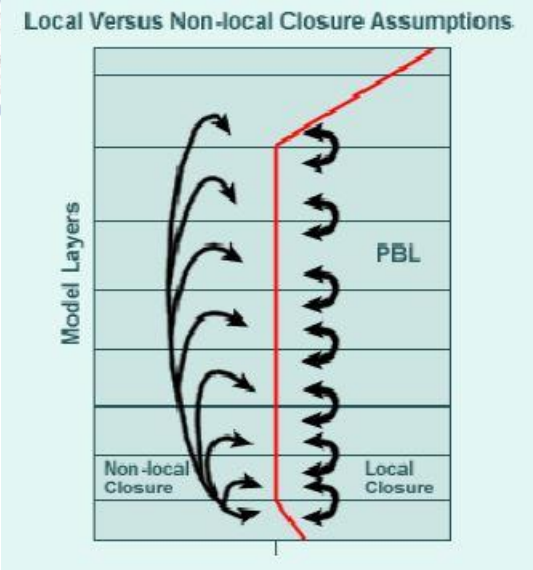
$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}\overline{w'c'} = \frac{\partial}{\partial z}\left[K_C\left(\frac{\partial C}{\partial z}\right)\right],$$

Όπου Kc ο συντελεστής διάχυσης για την εκάστοτε μεταβλητή C.

Για τις παραμετροποιήσεις των διεργασιών του ΑΟΣ υπάρχουν δύο προσεγγίσεις, η τοπική προσέγγιση (Local closure) και η μη τοπική προσέγγιση (Non local closure) (Σχήμα 1.4). Πιο συγκεκριμένα, στην τοπική προσέγγιση (Local closure) η εκτίμηση των τυρβώδων ροών (turbulent fluxes) γίνεται σε κάθε σημείο πλέγματος από τις μέσες τιμές των μεταβλητών (π.χ θερμοκρασίας) ή/και τις βαθμίδες (gradients) αυτών και στην κατακόρυφη συνιστώσα λαμβάνεται υπόψη μόνο η διαβάθμιση ανάμεσα στα γειτονικά σημεία πλέγματος. Ενώ, στη μη τοπική προσέγγιση (Non local closure) η εκτίμηση των τυρβώδων ροών σε κάθε σημείο πλέγματος γίνεται και με την εισαγωγή και των γειτονικών σημείων πλέγματος. Επίσης στη μη τοπική προσέγγιση (Non local closure) στην κατακόρυφη συνιστώσα λαμβάνονται υπόψη όχι μόνο τα γειτονικά σημεία πλέγματος αλλά η πλήρης δομή του ΑΟΣ η οποία περιλαμβάνει ολόκληρους τους οργανωμένους στοβίλους μεγάλης κλίμακας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 1.4: Απεικόνιση της μη τοπικης (non local) και της τοπικής (local) προσέγγισης στο ΑΟΣ. (ΠΗΓΗ: COMET, 2019).

Μια άλλη κατηγοριοποίηση των σχημάτων του ΑΟΣ πραγματοποιείται ανά επίπεδο (level) ή ανά τάξη (order). Για παράδειγμα, η 1ης τάξης (1st order) σημαίνει ότι υπολογίζεται μόνο η μέση τιμή της εκάστοτε μεταβλητής ενώ οι συνδιασπορές παραμετροποιούνται. Στη 2η τάξη υπολογίζονται τόσο η μέση τιμή της εκάστοτε μεταβλητής όσο και η συνδιασπορά αυτής. Στη 3η τάξη παραμετροποιούνται και η μέση τιμή της μεταβλητής και η συνδιασπορά της (Tymvios et al.2018).

Αναλυτικά, τα σχήματα του ΑΟΣ και οι κατηγορίες αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1

Τα τελευταία χρόνια, σημειώνεται μεγάλη πρόοδος στην πρόγνωση της αστάθειας της ατμόσφαιρας, ωστόσο, η παραμετροποίηση του ΑΟΣ παραμένει ένας από τους πιο αστάθμητους παράγοντες (Misenis and Zhang, 2010; Yerramilli et al., 2010).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: Σχήματα του Ατμοσφαιρικό Οριακού Στρώματος που χρησιμοποιούνται στο WRF – ARW.

Σχήμα*	**Επιλογή WRF**	**Προσέγγιση**	**Τάξη παραμετροποίησης**
YSU	1	Μη τοπική	1ης τάξης
MYJ	2	Τοπική	1,5ης τάξης
NCEP	3	Μη τοπική	1ης τάξης
QNSE	4	Τοπική	1,5ης τάξης
MYNN2	5	Τοπική	1,5ης τάξης
MYNN3	6	Τοπική	2ης τάξης
ACM2	7	Μη τοπική (προς τα πάνω μεταφορά) Τοπική (προς τα κάτω ανάμιξη)	1ης τάξης
BouLac	8	Τοπική	1,5ης τάξης
UW	9	Μη τοπική	1,5ης τάξης
TEMP	10	Μη τοπική	1,5ης τάξης

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1.4 ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

1.4.1 Σχήμα Yonsei University – YSU

Το σχήμα YSU (Hong et al., 2006) του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος αποτελεί μια αναθεωρημένη έκδοση του σχήματος Πρόγνωσης Μέσης Τάξης των Hong και Pan (Medium Range Forecast –MRF HP96). Όπως και το σχήμα στο οποίο βασίζεται, το YSU έχει μη τοπική (non-local) προσέγγιση των τυρβωδών ροών και επίσης χρησιμοποιεί αντίστροφες ροές (counter-gradient fluxes) που σχετίζονται με τους υδρατμούς και την υγρασία. Πρέπει να αναφερθεί ότι οι αντίστροφες ροές μπορεί φαινομενικά να παραβιάζουν τη θερμοδυναμική αλλά έχει βρεθεί ότι αυτό δεν συμβαίνει σε μη τοπικές (non-local) προσεγγίσεις. Επίσης, το εν λόγω σχήμα συγκαταλέγεται στα σχήματα παραμετροποίησης 1ης τάξης (1st order closure scheme).

Η κύρια προσθήκη που έγινε στο Medium Range Forecast – MRF HP96 προς τη δημιουργία του YSU ήταν η ανάλυση των διαδικασιών διείσδυσης του αέρα από την ελεύθερη ατμόσφαιρα προς το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (entrainment) με άμεσο τρόπο (explicitly).

1.4.2 Σχήμα Mellor – Yamada – Janjic (ETA – MYJ)

Το σχήμα Σχήμα Mellor – Yamada – Janjic (ETA – MYJ) (Janjic et al., 1990,1996, 2002) περιγράφει τις αναταράξεις στου ΑΟΣ, καθώς και στην ελεύθερη ατμόσφαιρα, διαμέσου παραμετροποιήσεων που προτεινει το μοντέλο Mellor – Yamada Level 2.5 turbulence closure model (Mellor and Yamada, 1982). Το σχήμα MYJ ανήκει στα σχήματα με τοπική (local) προσέγγιση των τυρβώδων ροών, χρησιμοποιεί την προγνωστική εξίσωση της Τυρβώδους Κινητικής Ενέργειας (ΤΚΕ), ώστε να υπολογίσει το συντελεστή διάχυσης K_c και για αυτό το λόγω ονομάζεται $1,5^{ης}$ τάξης TKE closure scheme ($1,5^{st}$ order closure scheme). Η παραγωγή/διάχυση της ΤΚΕ περιγράφεται από μια διαφορική εξίσωση η οποία λύνεται επαναληπτικά σε κάθε χρονικό βήμα,

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

βέβαια δύο επαναλήψεις θεωρούνται αρκετές ώστε να υπάρχει ικανοποιητική ακρίβεια με μικρό υπολογιστικό κόστος.

Κάποιες από τις προϋποθέσεις που απαιτούνται ώστε να αποδώσει ικανοποιητικά το σχήμα MYJ είναι οτι πρέπει να τεθεί ένα ανώτερο όριο στο κύριο μήκος κλίμακας l (master length scale), αυτό το ανώτερο όριο εξαρτάται από την ΤΚΕ, την άνωση (buoyancy) και τη διάτμιση της κύριας ροής (shear of the driving flow) . Επίσης, μια ακόμα προυπόθεση ειναι τόσο η ΤΚΕ όσο και το προαναφερθέν κύριο μήκος κλίμακας πρέπει να είναι θετικά.

1.4.3 Σχήμα NCEP Global Forecast System Scheme (GFS NCEP)

Το σχήμα GFS NCEP βασίζεται στο σχήμα των Troen-Mahrt και σχετίζεται στενά με το σχήμα του NCEP Medium – Range Forecast (MRF) (Song and Pan, 1996). Είναι ένα σχήμα με μικρό υπολογιστικό κόστος. Όπως τα προγενέστερά του, το GFS NCEP είναι 1ης τάξης (1st order). Επίσης, ακολουθεί μη τοπική (non-local) προσέγγιση για τον υπολογισμό των τυρβωδών ροών βασισμένη στην Κ-θεωρία η οποία υποθέτει ότι οι τυρβώδεις ροές αποτελούνται μόνο από μικρούς στροβίλους που προκαλούν ανάμιξη των αερίων μαζών στο ΑΟΣ μέσω διάχυσης. Γενικά, η Κ-θεωρία αποτελεί μια παραμετροποίηση για την ορμή των στροβίλων και λειτουργεί αρκετά καλά για μικρούς στροβίλους ροών αλλά δεν μπορεί να περιγράψει σωστά τις δομές των μεγάλων στροβίλων θερμικών ροών μέσα στο στρώμα ανάμιξης.

Προκειμένου ο υπολογισμός των τυρβωδών ροών μέσα στο ΑΟΣ να είναι πιο ακριβής, οι Troen and Mahrt (1986) υπολόγισαν τον συντελεστή τυρβώδους διάχυσης K_C ως συνάρτηση του ύψους του οριακού στρώματος και του μήκους ανάμιξης. Συνεπώς, οι συναρτήσεις τυρβώδους διάχυσης για τις προγνωστικές μεταβλητές (C, u, υ, θ, q) μπορούν να περιγραφούν από τη σχέση:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[K_c\left(\frac{\partial C}{\partial z} - \gamma_c\right)\right] \qquad (1.1)$$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Όπου Κc ο συντελεστής τυρβώδους διάχυσης, γc ο όρος προσαρμογής (αντιπροσωπεύει τη συνεισφορά των μεγάλων στροβίλων στη ροή).

1.4.4 Σχήμα Quasi–normal Scale Elimination (QNSE)

Το σχήμα Quasi-normal Scale Elimination (QNSE) δημιουργήθηκε από τους Sukoriansky and Galperin το 2004 για να παραμετροποιήσει τις μεταβλητές που καθορίζουν τη μορφή του ΑΟΣ σε συνθήκες ευστάθειας. Ακολουθεί τοπική (local) προσέγγιση για τον υπολογισμό των τυρβώδων ροών και είναι 1,5^{ης} τάξης (1,5st order) και επιπέδου 2,5 (level 2,5).

Η κύρια προγνωστική εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κάθετης ανάμιξης είναι της ΤΚΕ. Η συνεισφορά των τυρβωδών ροών (turbulence) και των τοπικών διακυμάνσεων (internal waves) υπολογίζεται με αναλυτικό (explicity) τρόπο (Sukoriansky and Galperin, 2005) και στη συνέχεια ανάγεται και σε μεγαλύτερες κλίμακες του συστήματος. Συνεπώς, το σχήμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τη μελέτη της σχέσης των τοπικών διακυμάνσεων και των τυρβώδων ροών (turbulence).

Σε περίπτωση ευστάθειας η δυνητική θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η διάτμηση του αέρα και το ύψος του ΑΟΣ που υπολογίζονται από το σχήμα συμφωνούν αρκετά με τα μεγέθη που προκύπτουν από τις προσομοιώσεις των μεγάλων στροβίλων (LES). Ωστόσο, στην περίπτωση έντονης ευστάθειας στο ΑΟΣ, η δυνητική θερμοκρασία που υπολογίζεται από το σχήμα QNSE φαίνεται να διαφέρει από αυτή που προκύπτει από τις προσομοιώσεις LES.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1.4.5 Σχήμα Mellor – Yamada – Nakanishi – Niino Επιπεδου 2,5-3 (MYNN level 2,5-3)

Μετά από βελτιώσεις στο σχήμα των Mellor–Yamada (Mellor and Yamada, 1982) για το ΑΟΣ, δημιουργήθηκε το σχήμα Mellor–Yamada–Nakanishi–Niino (MYNN) (Nakanishi and Niino, 2009). Όπως και το σχήμα των MY έτσι και το MYNN βασίζεται στην εξίσωση της Τυρβώδους Κινητικής Ενέργειας (TKE) και η εκτίμηση των τυρβώδων ροών (turbulent fluxes) σε κάθε σημείο πλέγματος γίνεται από τις μέσες τιμές των μεταβλητών σε αυτό, δηλαδή ακολουθεί τοπική (local) προσέγγιση.

Οι κύριες βελτιώσεις που περιλαμβάνει το MYNN έναντι του MY είναι ότι λαμβάνει υπόψη την επίδραση της άνωσης στη διακύμανση της βαροβαθμίδας και την προσαρμογή του μήκους ανάμιξης, l, ανάλογα με τις συνθήκες ευστάθειας. Επίσης, οι σταθερές (closure on stants) προσαρμόζονται με βάση προγενέστερες μελέτες και καθορίζονται από τα δεδομένα προσομοιώσεων των μεγάλων στροβίλων (large eddy simulation–LES) (Nakanishi and Niino, 2009). Αυτό βοήθησε να ξεπεραστεί η υποεκτίμηση της TKE και του μήκους ανάμιξης l (length scale) από το MY.

Οι θερμοδυναμικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο βελτιωμένο σχήμα MYNN είναι η δυνητική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου (liquid water potential temperature) και το περιεχόμενο ύδωρ, οι οποίες δίνονται από τις εξισώσεις (Nakanishi and Niino, 2009):

$$\theta \equiv \left(\theta - \frac{\theta}{T}\right)\left(\frac{L_\upsilon}{c_p}\right) q_l \qquad (1.2)$$

$$q_w \equiv (q_\upsilon + q_l) \qquad (1.3)$$

Όπου θ είναι η δυνητική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου, T είναι η απόλυτη θερμοκρασία, L_υ είναι η λανθάνουσα θερμοκρασία της εξάτμισης, c_P είναι η ειδική θερμότητα του ξηρού αέρα σε σταθερή πίεση, q_l είναι το περιεχόμενο ύδωρ και q_υ η ειδική υγρασία.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Για το MYNN αναπτύχθηκαν δύο εκδόσεις, μια επιπέδου 2,5 (level 2,5) και τάξης 1,5 (1,5 order) προγνωστικών εξισώσεων, γνωστή και ως MYNN2 και μια επιπέδου 3 (level 3) και τάξης 2ης (2nd order) προγνωστικών εξισώσεων με το ακρωνύμιο MYNN3. Η κύρια διαφορά ανάμεσα στις δύο εκδοσεις είναι οτι στη MYNN2 οι όροι της διάχυσης και της εξάρτησης από το χρόνο δεν λαμβάνονται υπόψη στις αντίστοιχες εξισώσεις των μέσων τιμών της δυνητικής θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου και του περιεχόμενο ύδατος. Συνεπώς, αυτοί οι όροι υπολογίζονται διαγνωστικά. Με αυτό το τρόπο το MYNN2 έχει μικρότερο υπολογιστικό κόστος υπολογισμού των τυρβώδων κινήσεων (turbulence) κατά 40%.

1.4.6 Σχήμα Asymmetric Convection Model 2 Scheme (ACM2)

Το σχήμα Asymmetric Convective Model 2 (ACM2) ανήκει στα σχήματα παραμετροποίησης 1ης τάξης και είναι η βελτιστοποιημένη έκδοση του αρχικού ACM προκειμένου να προσομοιώνει καλύτερα το ΑΟΣ σε συνθήκες ελεύθερης ανωμεταφοράς (αστάθειας) (Convective Boundary Layer) (Pleim, 2007).

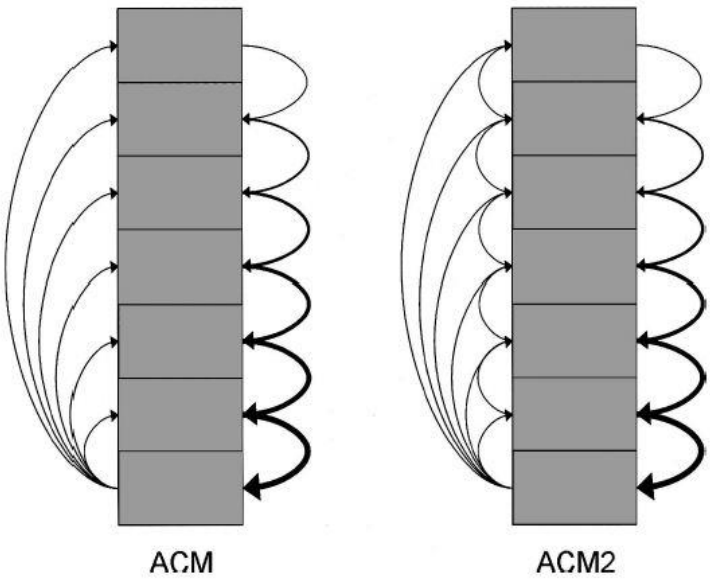
Η δομή του ACM2 αποτελείται από τη σύνθεση δύο σχημάτων, του ACM2 και ενός σχήματος διάχυσης των στροβίλων (eddy diffusion). Συνεπώς, το νέο σχήμα χρησιμοποιεί μη τοπική προσέγγιση (non-local) προς τα πάνω (upward) για τον υπολογισμό των ροών ενέργειας και τοπική προσέγγιση (local) προς τα κάτω (downward) για την ανάμιξη (mixing) των ροών. Η προσθήκη του σχήματος διάχυσης των στροβίλων (eddy diffusion) συμβάλει στην καλύτερη αναπαράσταση της κάθετης διαβάθμισης των μεταβλητών. Η σύνθεση των δύο σχημάτων γίνεται στο ύψος του χαμηλότερου επίπεδου όπου μοιράζεται ο ρυθμός ανάμιξης (mixing ratio) ανάμεσα στα δύο σχήματα, ώστε η ροή (flux) που προκύπτει σε αυτό το ύψος να είναι ίδια με αυτή που θα έδινε ξεχωριστά το κάθε ένα από τα δύο σχήματα.

Σαν αποτέλεσμα, το ACM2 είναι ικανό να προσομοιώσει ρεαλιστικά το ύψος του ΑΟΣ, τη μεταβολή της θερμοκρασίας (temperature profiles) και τις ροές θερμότητας από την επιφάνεια. Επιπρόσθετα, το παρόν σχήμα προσφέρει μια απλή λύση στο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

πρόβλημα της σύγχρονης προσομοίωσης, τόσο της μικρής (subgrid) όσο και της μεγάλης κλίμακας μεταφοράς στροβιλισμού, μέσα στο ΑΟΣ σε συνθήκες ελεύθερης ανωμεταφοράς (αστάθειας) (Convective Boundary Layer).



***Σχήμα 2.3**: Σχηματική αναπαράσταση του υπολογισμού των διαφόρων μεταβλητών ανάμεσα στα δύο σχήματα ACM1 και ACM2 (Pleim, 2007).*

1.4.7 Σχήμα Bougeault–Lacarrere Scheme (BouLac)

Ο Bougeault και ο Lacarrere αντιλήφθηκαν την ανάγκη ύπαρξης ενός σχήματος για το ΑΟΣ το οποίο θα λαμβάνει υπόψη την έντονη ορογραφία κάποιων περιοχών και θα προσομοιώνει κατάλληλα τις τυρβώδεις ροές μέσα στο οριακό στρώμα. Έτσι, δημιούργησαν το σχήμα BouLac το οποίο είναι 1,5^{ης} τάξης (1,5st order, level 2,5) και μπορεί να προσομοιώνει με τοπική (local) προσέγγιση αρκετά καλά τον έντονο στροβιλισμό (turbulence) που δημιουργείται από το «σπάσιμο» στροβίλων από βουνά ή άλλα φυσικά ή μη εμπόδια, τα οποία μπορεί να εκτείνονται μέχρι και σε ολόκληρη τη τροπόσφαιρα. Η προγνωστική εξίσωση που χρησιμοποιεί το σχήμα BouLac είναι αυτή της ΤΚΕ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

1.4.8 Σχήμα University of Washington (TKE) Boundary Layer (UW)

Το σχήμα University of Washington (TKE) Boundary Layer Scheme (UW) (Bretherton and Park, 2008) προέρχεται από τροποποίηση του σχήματος των Grenier και Bretherton (2001), GB01. Οι τροποποιήσεις που εφαρμόστηκαν, έγιναν με κατεύθυνση να βελτιστοποιηθεί η αριθμητική σταθερότητα (numerical stability) και αποτελεσματικότητα του σχήματος, με τη χρήση των μεγάλων χρονικών βημάτων που χρησιμοποιούνται στα κλιματικά μοντέλα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του σχήματος είναι η ανάλυση των διαδικασιών διείσδυσης του αέρα από την ελεύθερη ατμόσφαιρα στο ΑΟΣ (entrainment) με άμεσο τρόπο (explicitly), η αποτελεσματικότερη νέα σύνθεση της μεταφοράς στροβιλισμού και η όμοια αντιμετώπιση όλων των επιπέδων στροβιλισμού για κάθε μια ατμοσφαιρική στήλη, είτε σε αυτά επικρατούν συνθήκες ευστάθειας είτε αστάθειας. Η προγνωστική εξίσωση που χρησιμοποιεί είναι αυτή της TKE.

Κύριος σκοπός του σχήματος UW είναι να παρέχει παραμετροποιήσεις στροβιλισμού κατάλληλες για το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα πάνω από τη θάλασσα, του οποίου η κορυφή καλύπτεται από στρωματοσωρείτες (marine stratocumulus topped boundary layer). Όπως το GB01, έτσι και το UW χρησιμοποιεί μη τοπική (non local) προσέγγιση για την εκτίμηση των τυρβωδών ροών και ανήκει στα σχήματα παραμετροποίησης 1,5^{ης} τάξης (1,5st order – 2,5 level). Γενικά, το UW είναι ένα σχήμα κατάλληλο για μετεωρολογικές - κλιματικές εφαρμογές καθότι το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα πάνω από τη θάλασσα παίζει σημαντικό ρόλο, όχι μόνο στις επιφανειακές ροές αλλά τόσο στην παγκόσμια νεφοκάλυψη όσο και στο ισοζύγιο ακτινοβολίας της γης (earth radiation balance).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

1.4.9 Σχήμα Total Energy-Mass Flux Boundary Layer (TEMF)

Το σχήμα Total Energy-Mass Flux Boundary Layer (TEMF) όπως δηλώνει και το όνομά του στα αγγλικά, ανήκει σε μια κατηγορία σχημάτων τα οποία περιγράφουν τη μάζα των ροών (Mass Flux) και τη διάχυση των στροβίλων (Eddy Diffusivity) μέσα στο οριακό στρώμα χωρίς νέφη αλλά με αβαθή cumulus (Eddy Diffusivity-Mass Flux - EDMF). Με αυτό το σχήμα παρέχεται μια φυσική σύνδεση μεταξύ των ξηρών θερμικών ροών και των νεφών cumulus (Angevin et. al., 2011).

Όπως αναφέρθηκε, η κατακόρυφη ανάμιξη σε αυτό το σχήμα γίνεται με δύο τρόπους, αφ' ενός με τη διάχυση των στροβίλων και αφ' ετέρου με τη μάζα των ροών. Η διάχυση των στροβίλων υπολογίζεται από την ολική ενέργεια στροβιλισμού (Total Turbulent Energy – TE) και το μήκος ανάμιξης (length scale).

Το TEMF είναι 1,5^{ης} τάξης και επιπέδου 2,5 (1,5st order – 2,5 level), μη τοπικής (non-local) προσέγγισης και χρησιμοποιεί ως κύρια προγνωστική εξίσωση την ολική ενέργεια στροβιλισμού (Total Turbulent Energy – TE). Η προγνωστική εξίσωση TE αποτελείται από το άθροισμα της Τυρβώδους Κινητικής Ενέργειας και της δυνητικής ενέργειας στροβιλισμού (turbulent potential energy). Σε ουδέτερες συνθήκες ευστάθειας η TE ισούται με την TKE.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η επίδραση των παραμετροποιήσεων των φυσικών διεργασιών που διέπουν την ατμόσφαιρα και πιο συγκεκριμένα το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, έχουν μελετηθεί από αρκετές ομάδες επιστημόνων. Οι Xie et al. (2012) έκαναν μια μελέτη αξιολόγησης κάποιων σχημάτων του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (ΑΟΣ) που χρησιμοποιεί το WRF για την περιοχή του Δέλτα του ποταμού Pearl στο Χονγκ Κονγκ. Πιο συγκεκριμένα μελέτησαν τα σχήματα μη τοπικής προσέγγισης YSU και ACM2 και τα σχήματα τοπικής προσέγγισης MYJ και Boulac. Τα αποτέλεσματα έδειξαν ότι τα σχήματα τοπικής προσέγγισης έδιναν μικρότερο ύψος για το ΑΟΣ από ότι τα σχήματα μη τοπικής προσέγγισης. Επίσης, βρέθηκε ότι τα σχήματα μη τοπικής προσέγγισης προσέγγιζαν καλύτερα τις πραγματικές τιμές της θερμοκρασίας στα 2 μέτρα και της ταχύτητας του ανέμου στα 10 μέτρα.

Το 2014 οι Efstathiou et al. μελέτησαν την ευαισθησία των σχημάτων του ΑΟΣ στη προσομοίωση ενός έντονου φαινομένου βροχόπτωσης στην περιοχή της Χαλκιδικής με χρήση διαφορετικών σχημάτων μικροφυσικής. Στα συμπεράσματα της μελέτης αυτής ήταν ότι τα ποσά υετού που φτάνουν στο έδαφος επηρεάζονται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από την επιλογή του σχήματος του ΑΟΣ παρά από την επιλογή σχήματος μικροφυσικής. Επιπλέον, κατέληξαν ότι το σχήμα YSU αναπαριστά καλύτερα την έντονη βροχόπτωση, ενώ το MYJ την υποεκτιμά. Αντίθετα, το MYJ προσομοιώνει καλύτερα την μικρή και μεσαία βροχόπτωση, ενώ το YSU την υπερεκτιμά. Ακόμη, βρέθηκε ότι το MYJ δίνει μεγαλύτερα ποσά σχετικής υγρασίας στα χαμηλά επίπεδα της ατμόσφαιρας σε σχέση με το YSU, αντίθετα, το τελευταίο δίνει μεγαλύτερη σχετική υγρασία στα ψηλότερα επίπεδα της ατμόσφαιρας.

Στις συγκρίσεις σχημάτων του ΑΟΣ που έκαναν οι Tymvios et al. (2018) για την περιοχή της Κύπρου βρέθηκε ότι το σχήμα YSU προσομοιώνει πολύ καλά τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου σε σύγκριση με τις παρατηρήσεις, όμως δεν προσομοιώνει εξίσου καλά τη διεύθυνση του ανέμου. Επίσης, οι Tymvios et al.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

(2018) κατέληξαν ότι το MYNN3 αδυνατεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την θερμοκρασία.

Για την εκπόνηση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης εξετάστηκαν διάφορες περιπτώσεις επεισοδίων έντονων καιρικών φαινομένων (case studies), ώστε να αξιολογηθούν τα τρία σχήματα οριακού στρώματος που επιλέχθηκαν. Οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι:

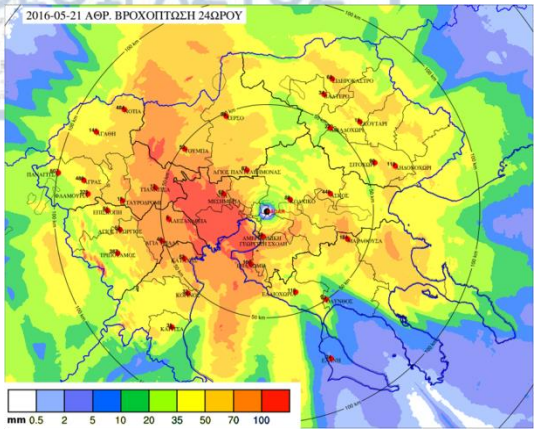
- Η 13^{η} Μαρτίου 2016 και η 21 Μαΐου 2016 στις οποίες υπήρχε ένα βαρομετρικό χαμηλό στα 500hPa
- Η 5^{η} Ιουνίου 2016 όπου η συνοπτική κατάσταση στα 500hPa περιγραφόταν από τη συνύπαρξη ενός χαμηλού πλάτους αυλώνα στα βόρεια και μιας χαμηλού πλάτους ράχης στα νότια της περιοχής ενδιαφέροντος.

Το επεισόδιο που επιλέχθηκε για την παρούσα εργασία είναι στις 21 Μαΐου 2016 ως πιο αντιπροσωπευτικό διότι υπήρχαν υψηλά ποσά υετού στην περιοχή των νομών Ημαθίας – Πέλλας. Το σχήμα 1.6 απεικονίζεται η αθροιστική βροχόπτωση 24ώρου όπως δόθηκε από τα δεδομένα του ραντάρ TITAN της 3Δ για την 21^{η} Μαΐου 2016. Τα ύψη υετού στην περιοχή ενδιαφέροντος είναι πάνω από 70mm και στα ανατολικά των νομών Ημαθίας – Πέλλας εμφανίζονται ύψη μέχρι και 100mm.

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό τη μελέτη της επίδρασης των παραμετροποιήσεων του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος σε μια προσομοίωση ενός επεισοδίου έντονης βροχόπτωσης σε περιοχή των νομών Ημαθίας και Πέλλας στις 21 Μαΐου 2016, με εφαρμογή του σύγχρονου περιοχικού, μη υδροστατικού ατμοσφαιρικού μοντέλου WRF – ARW. Για τα πειράματα ευαισθησίας επιλέχτηκαν τρία σχήματα που περιγράφουν το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Στη συνέχεια, γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων ως προς διάφορες φυσικές παραμέτρους όπως η βροχόπτωση, η ανακλαστικότητα και η σχετική υγρασία στα 700 hPa.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 1.6: *Χάρτης βροχόπτωσης 24ώρου (σε mm) την 21η Μαΐου 2016 (από τις 00UTC 21/05/2016 μέχρι τις 00UTC 22/05/2016) όπως υπολογίστηκε από το ρανταρ TITAN. (πηγή: TITAN, 3Δ).*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 2ο

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WRF ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WEATHER RESEARCH AND FORECASTING (WRF)

Το Weather Research and Forecasting (WRF) είναι ένα αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού το οποίο σχεδιάστηκε τόσο για ερευνητικούς όσο και για επιχειρησιακούς σκοπούς. Η ανάπτυξη του ήταν αποτέλεσμα συνεργασίας διαφόρων οργανισμών κάποιοι εκ των οποίων είναι το Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικής Έρευνας των Η.Π.Α (National Center for Atmospheric Research - NCAR), το Τμήμα Μέσης και Μικρής κλίμακας Μετεωρολογίας (Mesoscale and Microscale Meteorology Division – MMM), η Εθνική Διοίκηση Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των Η.Π.Α (National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA),

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

το Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικών Προγνώσεων των Η.Π.Α. (National Centers for Environmental Prediction – NCEP) η Μετεωρολογική Υπηρεσία της Πολεμικής Αεροπορίας των Η.Π.Α (Department of Defence's AirForce Weather Agency - AFWA) και το Εργαστήριο Έρευνας του Πολεμικού Ναυτικού των Η.Π.Α (Naval Research Laboratory - NRL) (Skamarock et al., (2008)).

Η ανάπτυξη του WRF έγινε με σκοπό τη δημιουργία ενός μέσης κλίμακας, ευέλικτου, προηγμένης τεχνολογίας, μη-υδροστατικού αριθμητικού συστήματος πρόγνωσης καιρού το οποίο δίνει τη δυνατότητα για εφαρμογές από παγκόσμια κλίμακα μέχρι περιοχική. Κάποιες, από το εύρος των εφαρμογών που προσφέρει είναι οι παρακάτω (Wang et al., (2012)):

- Βελτιστοποίηση της πρόγνωσης μέσω προγνώσεων σε πραγματικό χρόνο.
- Σύζευξη με άλλα μοντέλα όπως με το SFIRE για τη μελέτη δασικών πυρκαγιών (Kartsios et al., 2014) και με το COBEL για την πρόγνωση της ομίχλης (Stolaki et al., 2012).
- Αφομοίωση δεδομένων για καλύτερη μελέτη αυτών από το μοντέλο.
- Έρευνα παραμετροποιήσεων φυσικών διαδικασιών.
- Μελέτη ιδεατών προσομοιώσεων φαινομένων και διεργασιών στην ατμόσφαιρα.
- Έρευνα ποιότητας αέρα.
- Περιοχικές κλιματολογικές προσομοιώσεις.

Το WRF είναι ένα μη-υδροστατικό μοντέλο, συνεπώς είναι αποτελεσματικό σε εφαρμογές αριθμητικών προγνώσεων και σε προσομοιώσεις υψηλής χωρικής ανάλυσης, όμως περισσότερο χρόνο ολοκλήρωσης σε σχέση με ένα υδροστατικό και καλύπτει σχετικά περιορισμένες περιοχές (Πυθαρούλης, 2014). Το σύστημα των διαφορικών εξισώσεων πάνω στις οποίες βασίζεται το WRF είναι συγκεκριμένες παράγωγοι μετεωρολογικών μεταβλητών ως προς το χρόνο και βασίζονται στις αρχές διατήρησης της ορμής, της μάζας και της ενέργειας (Skamarock et al., (2008), Πυθαρούλης, (2014)).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Υπάρχουν δύο ξεχωριστοί δυναμικοί πυρήνες – solvers στο WRF: ο Advanced Research WRF (ARW) (ο οποίος αρχικά αναφερόταν ως δυναμικός πυρήνας μάζας Euler) που αναπτύχθηκε από το Εθνικό Κέντρο Έρευνας της Ατμόσφαιρας των Η.Π.Α (National Center for Atmospheric Research - NCAR) και ο Non-hydrostatic Mesoscale Model (NMM) ο οποίος εξελίχθηκε από το Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικών Προγνώσεων των Η.Π.Α (National Center for Environmental Prediction - NCEP) (Skamarock et al., 2008).

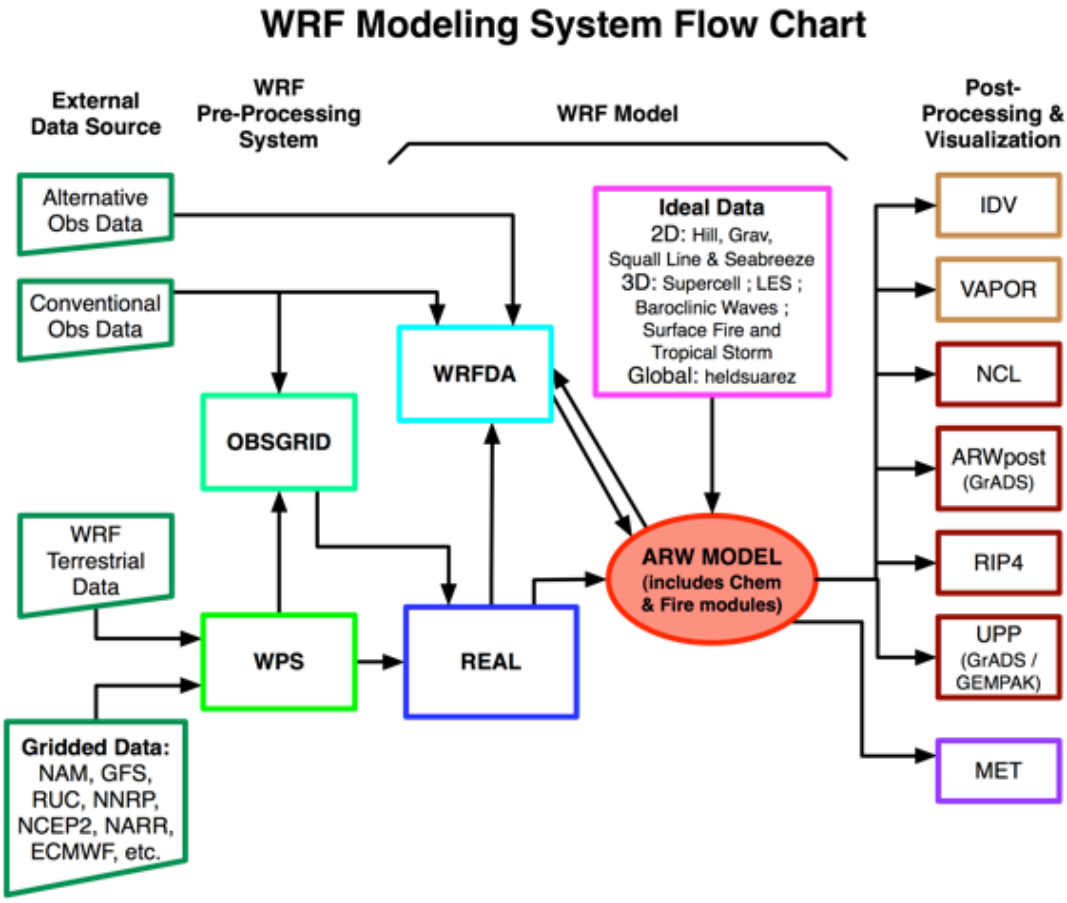
Ο Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης λειτουργεί επιχειρησιακά σε καθημερινή βάση το WRF-ARW (http://meteo.geo.auth.gr).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2.2 ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ WRF

Το σύστημα του WRF (έκδοση 3.5.1) αποτελείται από τρία κυρίως προγράμματα, το σύστημα προ επεξεργασίας δεδομένων εισόδου (WPS), το δυναμικό πυρήνα ARW solver, ο οποίος αποτελεί το δομικό στοιχείο του μοντέλου και τέλος το σύστημα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Η σχηματική απεικόνιση της δομής του WRF όπως παρουσιάστηκε απο τους Wang et al., (2008) φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1. *Δομή του συστήματος WRF (από Wang et al., 2008).*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

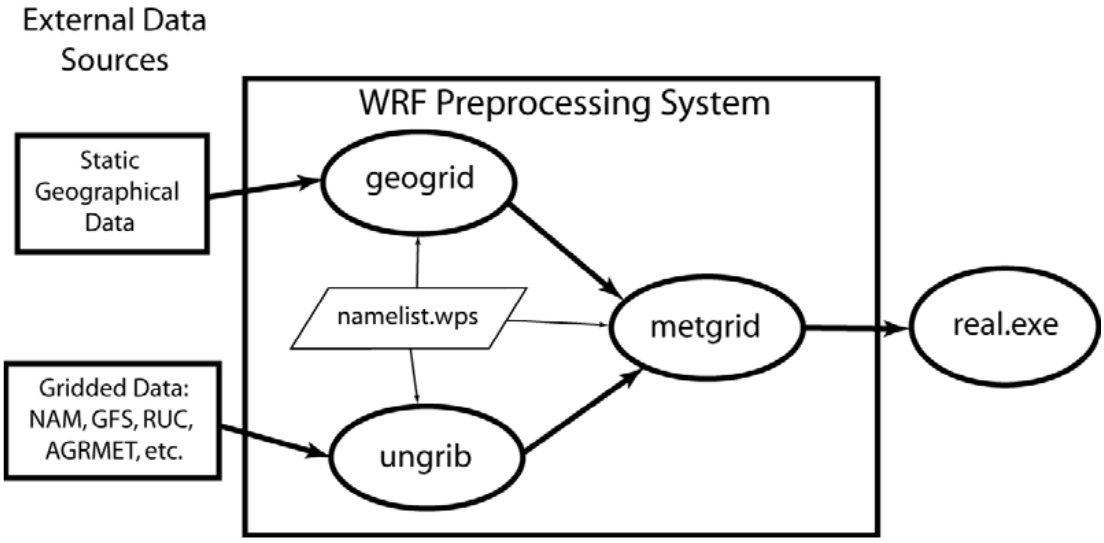
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2.2.1 Σύστημα προ επεξεργασίας δεδομένων (WPS)

Το WPS είναι ένα σύνολο συστημάτων, ανεξάρτητο από τον πυρήνα ARW, στο οποίο εισάγονται τα εδαφικά και τα μετεωρολογικά δεδομένα (συνήθως σε GriB μορφή) και μετατρέπονται κατάλληλα για να επεξεργαστούν από τον πυρήνα του ARW.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2, το σύστημα προ επεξεργασίας WPS αποτελείται από τρία διαφορετικά μέρη (προγράμματα):

- το geogrid,
- το ungrib
- το metgrid



Σχήμα 2.2*. Δομή διαδικασιών εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων από το WPS (Wang et al., 2016)*

Τα στατικά δεδομένα (static data) που εισάγονται στο σύστημα είναι γεωγραφικά δεδομένα της περιοχής στην οποία πρόκειται να γίνει η προσομοίωση και είναι δισδιάστατα. Αυτά παρέχονται από παγκόσμιες βάσεις δεδομένων και αφορούν στο γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής, την ορογραφία, το υψόμετρο, το είδος και ποσό της φυτοκάλυψης (vegetation), το είδος του εδάφους (soil texture), το

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

μέτρο της ανακλαστικότητας του εδάφους (albedo) και την αναλογία ξηράς/θάλασσας σε κάθε πλέγμα grid (land/seamask). Η ανάλυση των παραπάνω μεταβλητών καθορίζεται από το εκάστοτε πρόβλημα.

Επιπλέον, χρησιμοποιούνται όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες θερμοκρασιών πάνω από τις υδάτινες επιφάνειες (θάλασσες, λίμνες, ποτάμια) (Sea Surface Temperatures, SST) στην περιοχή ολοκλήρωσης του WRF.

Αρχικά, εφαρμόζεται το geogrid, το πρώτο τμήμα του WPS. Αυτό είναι το υποσύστημα στο οποίο καθορίζονται οι περιοχές ολοκλήρωσης του μοντέλου (domains), δηλαδή οι περιοχές της γης στις οποίες θα γίνουν οι αριθμητικές προγνώσεις, ο τύπος προβολής, η περιοχή της Γης που θα καλύπτεται από το μοντέλο, ο αριθμός των σημείων πλέγματος (grid points) και η θέση των εμφωλευμένων περιοχών (nest locations). Επίσης, μέσω του geogrid καθορίζονται οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων πλέγματος της ίδιας μεταβλητής (grid distances), γνωστές και ως χωρική διακριτοποίηση. Επιπλέον, το geogrid παρεμβάλει τα στατικά γεωγραφικά δεδομένα στα σημεία πλέγματος του μοντέλου (grids) στην περιοχή ολοκλήρωσης και στην ανάλυση που επιλέχθηκε.

Στο πρόγραμμα ungrid εισάγονται δεδομένα σε μορφή GRIB και μετατρέπονται σε κατάλληλη μορφή ώστε να μπορούν να εισαχθούν στο WRF. Τα δεδομένα GRIB περιγράφουν χρονοεξαρτημένες μετεωρολογικές μεταβλητές και προέρχονται απο αναλύσεις και προγνώσεις άλλων περιοχικών ή παγκόσμιων αριθμητικών μοντέλων όπως το North American Mesoscale (NAM) ή το Global Forecast System (GFS). Σύμφωνα με τους Skamarock et al., (2008), τα δεδομένα των χρονοεξαρτημένων μετεωρολογικών μεταβλητών είναι η επιφανειακή πίεση και η πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (Pa), η θερμοκρασία (K) και η υγρασία (kg/kg) στην επιφάνεια του εδάφους και σε διάφορα βάθη, το ύψος χιονιού (m), η επιφανειακή θερμοκρασία (K), οι συνιστώσες της ταχύτητας του ανέμου (u, v), η θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας (K) και ένας δείκτης (flag) ο οποίος δείχνει αν υπάρχει πάγος στη θάλασσα και άλλα. Συνήθως, τα δεδομένα GRIB έχουν περισσότερα πεδία

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

από αυτά που χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν για τις αρχικές συνθήκες του μοντέλου WRF. Έτσι, το σύστημα ungrid χρησιμοποιεί κάποιους πίνακες (V-tables) οι οποίοι αναγνωρίζουν ποιες μεταβλητές των αρχείων GRIB θα χρησιμοποιηθούν ώστε να δημιουργηθούν τα ενδιάμεσα αρχεία.

Το τελευταίο πρόγραμμα του συστήματος προ επεξεργασίας είναι το metgrid. Αφού οριστεί η περιοχή ολοκλήρωσης (domain) από το geogrid και δημιουργηθούν τα ενδιάμεσα αρχεία από το ungrid, το metgrid παρεμβάλει οριζόντια τα ενδιάμεσα αρχεία των μετεωρολογικών μεταβλητών στην διακριτοποιημένη περιοχή ολοκλήρωσης (domain) ώστε να χρησιμοποιηθούν στην αριθμητική πρόγνωση καιρού. Επειδή τα μετεωρολογικά δεδομένα είναι συνάρτηση του χρόνου, σε κάθε προσομοίωση του μοντέλου το πρόγραμμα metgrid πρέπει να επαναλαμβάνεται.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2, υπάρχει ένα αρχείο με το όνομα namelist που περιέχει στοιχεία που δηλώνει ο χρήστης και μοιράζονται τα τρία προγράμματα του συστήματος WPS αλλά και ξεχωριστά στοιχεία για κάθε ένα από τα τρία προγράμματα.

2.2.2 Τρισδιάστατο πλέγμα και Δυναμικός Πυρήνας ARW solver

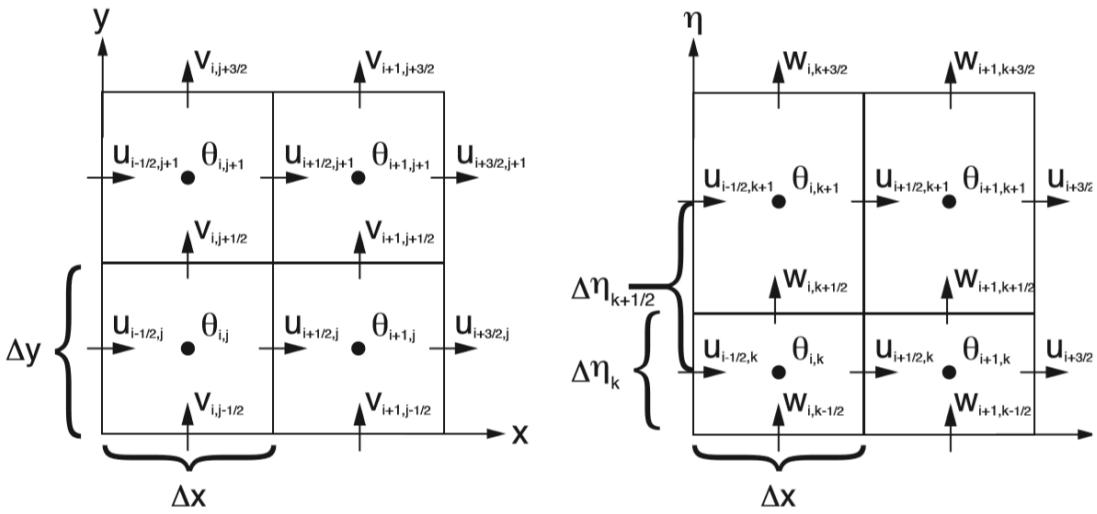
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1 πριν την εισαγωγή των δεδομένων στο δυναμικό πυρήνα ARW για την έναρξη των προσομοιώσεων, εκτελείται το πρόγραμμα real το οποίο σύμφωνα με τους Wang et al. (2008):

- Διαβάζει τα δεδομένα που περιέχονται στο αρχείο namelist.
- Προετοιμάζει τα τοπογραφικά δεδομένα για χρήση από το WRF.
- Εξάγει τις πλευρικές οριακές συνθήκες τόσο για τις περιοχικές όσο και για τις μέσης κλίμακας προγνώσεις.
- Παρεμβάλει τα τρισδιάστατα οριακά δεδομένα (οριζόντιες συνιστώσες της ταχύτητας, δυναμική θερμοκρασία, αναλογία αναμεμιγμένης υγρασίας και γεωδυναμικό ύψος) με την κατακόρυφη στήλη της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Το πρόγραμμα real περιέχει δεδομένα τα οποία περιγράφουν μια ολοκληρωμένη κατάσταση της ατμόσφαιρας σε τρισδιάστατη μορφή, σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές στο επιλεγμένο οριζόντιο πλέγμα του μοντέλου. Όπως αναφερουν οι Skamarock et al., (2008) τα δεδομένα που εισάγονται στον αναλυτικό πυρήνα ARW είναι τρισδιάστατα πεδία της θερμοκρασίας σε ^{o}K, της σχετικής υγρασίας και των οριζόντιων συνιστωσών της ροής της σε ms^{-1}.



Σχήμα 2.3*: Διάταξη μεταβλητών στο πλέγμα Arakawa τύπου C. Αριστερά το οριζόντια δομή και δεξιά η κατακόρυφη (Skamarock et al. 2008).*

Η χωρική διακριτοποίηση στο ARW γίνεται με χρήση πλέγματος Arakawa τύπου C grid (Σχήμα 2.3). Με αυτό τον τρόπο το WRF-ARW παρεμβάλει τις μεταβλητές στο χώρο. Πιο αναλυτικά, η δυναμική θερμοκρασία, η πίεση και οι αναλογίες μίγματος των υδρατμών και των υδρομετεώρων (θ, p, q) υπολογίζονται στο κέντρο της κυψελίδας. Ενώ, ο υπολογισμός των τριών συνιστωσών του ανέμου (u, υ, w) γίνεται στα άκρα της κυψελίδας και αναπαρίσταται με τη μέση τιμή των αντίστοιχων συνιστωσών ανάμεσα στο κέντρο του κελιού υπολογισμού και του επόμενου. Το μήκος και πλάτος των κελιών στο επίπεδο είναι σταθερό (Δx και Δy), αλλά το μήκος του κατακόρυφου άξονα μπορεί να διαφοροποιείται (Δz) (Πυθαρούλης, 2014).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Το WRF-ARW χρησιμοποιεί μια εξίσωση που ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους και περιγράφεται με συντεταγμένες της κατακόρυφης υδροστατικής πίεσης. Αυτή η συντεταγμένη n και ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$n = (p_h - p_{ht}) / \mu \qquad (1.1)$$

όπου:

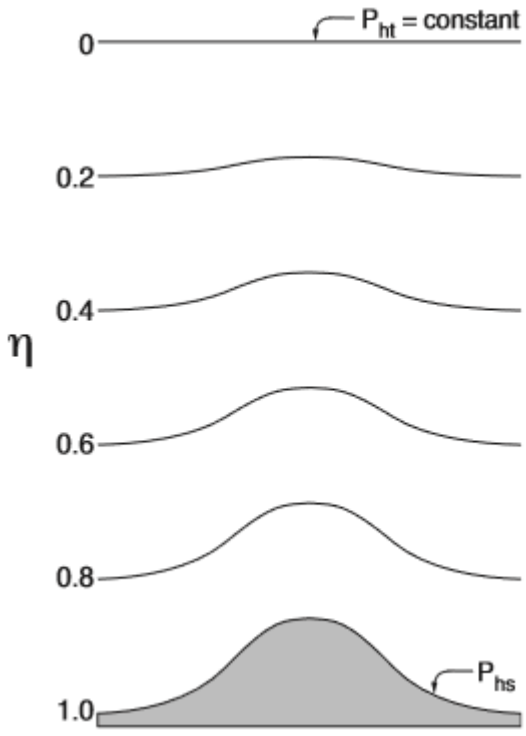
μ = phs - pht

p_h η υδροστατική πίεση στο επίπεδο Eta-n

p_{ht} η πίεση στην κορυφή του πλέγματος του μοντέλου

p_{hs} η πίεση στην επιφάνεια

Οι τιμές της n κυμαίνονται από την τιμή 0 στο άνω όριο του μοντέλου μέχρι τη τιμή 1 στην επιφάνεια στην μέση στάθμη της θάλασσας, δηλαδή μεταβάλλονται ανάλογα με τη τοπογραφία (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4. *Η κατακόρυφη συνταγμένη στο WRF-ARW (Skamarock et al., 2008).*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Το σύστημα του WRF, ARW solver περιλαμβάνει ένα σύστημα από τις μη υδροστατικές μερικές διαφορικές εξισώσεις του Euler. Οι τιμές των μεταβλητών και οι ως προς το χώρο ή το χρόνο παράγωγοί τους, υπολογίζονται σε συγκεκριμένα σταθερά σημεία της γης. Οι προγνωστικές εξισώσεις της ατμόσφαιρας περιγράφονται από εξισώσεις ροής (flux form equations). Διευκρινίζεται ότι ονομάζονται προγνωστικές διότι περιέχουν μερικές παραγώγους ως προς το χρόνο. Αυτές είναι της μορφής (Skamarock et al., 2008):

$$\Phi(t)=R(\Phi), \qquad (2.1)$$

Όπου R είναι οι εξισώσεις μεταφοράς
το Φ είναι η εκάστοτε μεταβλητή U, V, W, Θ, ϕ΄, μ΄ και Q_m. Πιο συγκεκριμένα, αυτές είναι:

- Οι U και V περιγράφονται από τις σχέσεις: U = μu και V = μv. Όπου u = u (x, y, η) και v = (x, y, η) είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας του ανέμου σε καρτεσιανές συντεταγμένες στους άξονες χ και y αντίστοιχα.
- Η W περιγράφεται από τη σχέση W=μw, όπου w= w (x, y, η), η κατακόρυφη ταχύτητα του ανέμου στον άξονα z.
- Η Θ περιγράφεται από τη σχέση Θ = μθ, είναι διαταραχή της δυνητικής θερμοκρασίας και όπου θ = θ (x, y, η).
- Η ϕ’ είναι το γεωδυναμικό ύψος, ϕ = ϕ (x, y, η).
- Η μ’ είναι η επιφανειακή πίεση του ξηρού αέρα, μ=μ(x,y).
- Η Q_m περιγράφεται από τη σχέση Qm = μq_m. Όπου q_m είναι η αναλογία μίγματος του υγρού στοιχείου (υδρατμοί, υδροσταγονίδια πάγου κ.τ.λ.).

Με αυτές τις προγνωστικές εξισώσεις (που περιέχουν διαφορικές εξισώσεις ως προς το χρόνο) είναι δυνατή η πρόγνωση της κατάστασης σε μία συγκεκριμένη μελλοντική στιγμή.

Το ARW solver χρησιμοποιεί ένα σχήμα 3^{ης} τάξης για τη χρονική διακριτοποίηση των μετεωρολογικών εξισώσεων με άμεσο τρόπο (explicit). Αυτό το σχήμα ονομάζεται

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Runge-Kutta (RK3) και ολοκληρώνει ως προς το χρόνο τις μεταβλητές (1.2) από Φ(t) σε Φ(t+Δt) με τρία βασικά βήματα (Wicker and Skamarock, 2002) (εξισώσεις 2.2):

$$\Phi^{*} = \Phi^{t} + \frac{\Delta t}{3} R(\Phi^{t})$$

$$\Phi^{**} = \Phi^{t} + \frac{\Delta t}{2} R(\Phi^{*})$$

$$\Phi^{t+\Delta t} = \Phi^{t} + \Delta t R(\Phi^{**}) \,, \qquad (2.2)$$

όπου, Δt είναι το χρονικό βήμα του μοντέλου.

Στην πραγματικότητα, το σχήμα Runge-Kutta 3^{ης} τάξης δεν είναι επακριβώς η εν λόγω μέθοδος διότι παρόλο που είναι 3^{ης} τάξης για τις γραμμικές εξισώσεις, είναι 2^{ης} τάξης για τις μη γραμμικές εξισώσεις.

Επιπλέον, στην επίλυση των διαφορικών εξισώσεων κίνησης λαμβάνεται υπόψη η καμπυλότητα της γης και η περιστροφή της και συνεπώς η επίδραση της δύναμης Coriolis. Επίσης, σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί το φίλτρο Fourier για να αποφευχθεί η παραμόρφωση των μετεωρολογικών δεδομένων.

Τέλος, οι προσομοιώσεις πραγματοποιούνται είτε σε μια περιοχή ολοκλήρωσης (domain), είτε σε εμφωλευμένες περιοχές.

2.2.3 Σύστημα Οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του WRF

Υπάρχουν πολλά μέσα για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων του WRF-ARW (Wang et al.2008). Τα αποτελέσματα του μοντέλου που είναι σε μορφή netCDF μπορούν να οπτικοποιηθούν με τη χρήση οποιουδήποτε αντίστοιχου εργαλείου. Αυτή τη στιγμή υποστηρίζονται τα λογισμικά: NCL, RIP4, ARWpost ο οποίος είναι μετατροπέας σε GrADS και Vis5D, WPP και VAPOR. Πιο συγκεκριμένα, τα NCL, RIP4 και VAPOR μπορούν να διαβάσουν μόνο δεδομένα σε μορφή netCDF, ο κώδικας ARWpost

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

μπορεί να διαβάσει μορφή δεδομένων netCDF και GRIB1 και ο WPP διαβάζει δεδομένα μορφής netCDF και δυαδικής μορφής.

Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων του WRF είναι η NCL (NCAR Command Language).

Σύμφωνα με το NCAR (National Center for Atmospheric Research) (https://www.ncl.ucar.edu/), η NCL είναι μια γλώσσα προγραμματισμού σχεδιασμένη για την ανάλυση επιστημονικών δεδομένων και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων τους με τη δημιουργία υψηλής ποιότητας γραφικών.
Η NCL επιλέχθηκε σε αυτή την εργασία για τους παρακάτω λόγους:

1. Είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα (opensource).
2. Είναι ελεύθερο στη χρήση του.
3. Η χρήση του είναι εύκολη.
4. Μπορεί να συνδυάσει δεδομένα με άλλες σύγχρονες γλώσσες προγραμματισμού.
5. Τα γραφήματα που παρέχει είναι υψηλής ανάλυσης.

2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Για τις αριθμητικές προσομοιώσεις του φαινομένου που μελετάται στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το αριθμητικό μοντέλο WRF με δυναμικό πυρήνα ARW (έκδοση 3.5.1). Το WRF δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει μέσα από ένα πλήθος παραμετροποιήσεων και φυσικών διεργασιών ανάλογα με τις ανάγκες του πειράματος. Ο σχεδιασμός των πλεγμάτων που επιλέχθηκαν για τα πειράματα είναι αυτός που χρησιμοποιείται από το επιχειρησιακό προγνωστικό σύστημα του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης (Pytharoulis et al., 2014 a, b, 2015). Αναλυτικότερα, για τις προσομοιώσεις καθορίστηκαν τρία επάλληλα εμφωλευμένα πλέγματα (one-way nesting) με πλέγμα Arakawa τύπου C. Το πρώτο καλύπτει την Ευρώπη από τη Νότια Σκανδιναβία μέχρι

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

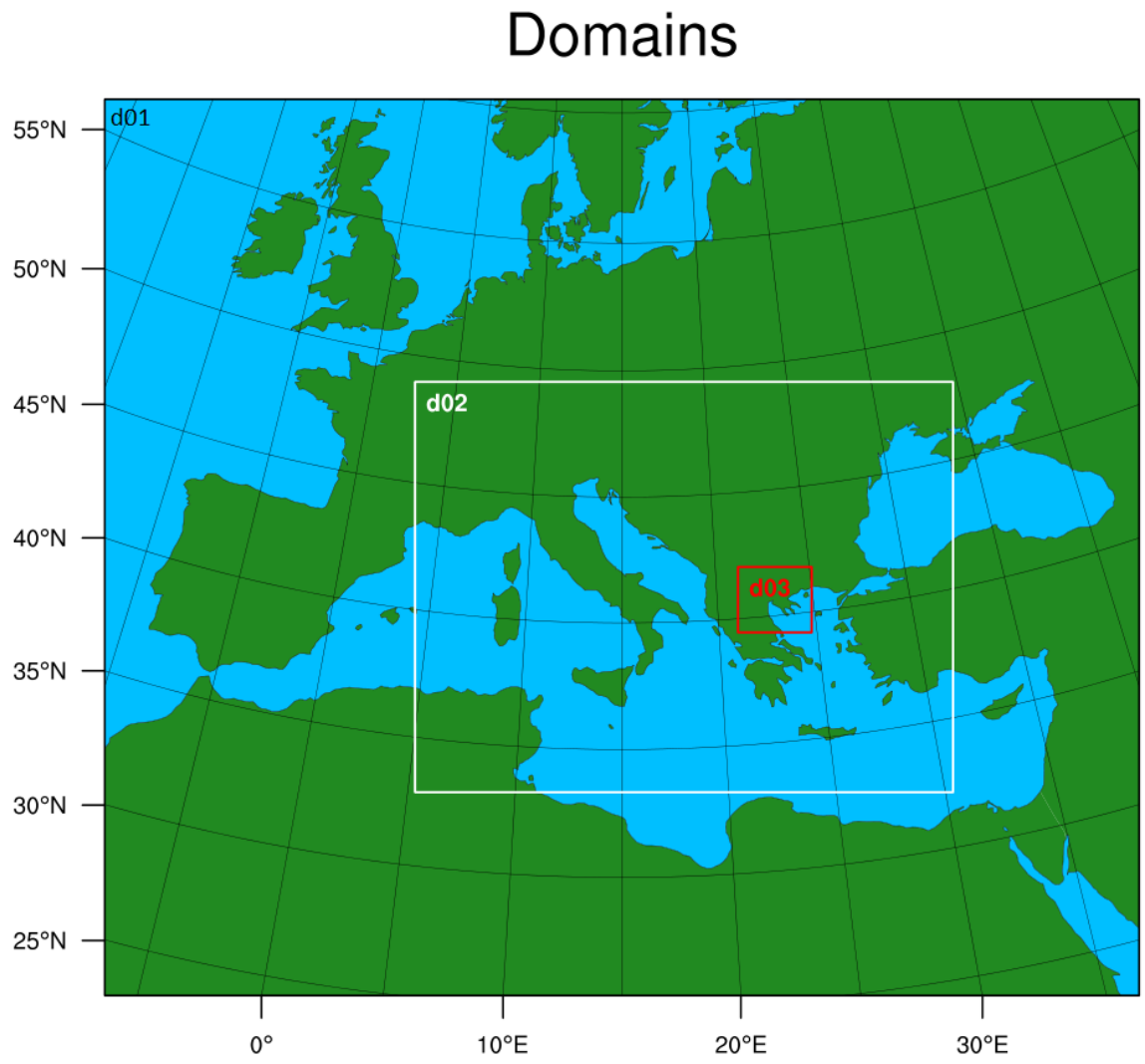
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

τις ακρές τις βόρειας Αφρικής (domain 1 – D01) με χωρική διακριτοποίηση 15km x 15km. Το δεύτερο περιλαμβάνει την κεντρική Μεσόγειο με κέντρο την Αδριατική Θάλασσα (domain 2– D02) με χωρική διακριτοποίηση 5km x 5km. Τέλος,το τρίτο εμπερικλείει τη Θεσσαλία και την κεντρική και ανατολική Μακεδονία (domain 3– D03) με χωρική διακριτοποίηση 1,667 km x 1,667 km. Η ανάλυση της περιοχής D03 είναι υψηλή διότι η περιοχή έχει έντονη τοπογραφία και συνεπώς χρειάζεται μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόγνωση (Pytharoulis et al., 2016), (Mass et al., 2002). Η απεικόνιση των πλεγμάτων δίνεται στο Σχήμα 2.5.

Η περιοχή των νομών Ημαθίας – Πέλλας επιλέχθηκε ως κύρια περιοχή μελέτης διότι παρουσιάζει συχνή και έντονη εκδήλωση φαινομένων και ιδιαίτερα καταιγίδων. Τα ιδιόμορφα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής και το ανάγλυφο της αποτελείται από βουνά όπως ο Όλυμπος (2917 m) αλλά και πεδινές εκτάσεις με σημαντικές για την εθνική οικονομία καλλιέργειες. Αυτή η περιοχή αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες αγροτικές περιοχές της χώρας και συνεπώς, η έγκαιρη πρόγνωση των καταιγίδων είναι σημαντική για τη προστασία των καλλιεργειών και της μετέπειτα παραγωγής. Επίσης, στην περιοχή αυτή εφαρμόζεται το Εθνικό Πρόγραμμα Χαλαζικής Προστασίας των Καλλιεργειών (Karacostas, 1984, Karacostas, 1989), συνεπώς η σωστή και έγκαιρη πρόγνωση καταιγίδας είναι καθοριστική για την καταστολή της.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 2.5*. Τρια επάλληλα εμφωλευμένα πλέγματα προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται απο το WRF.*

Τα δεδομένα που εισήχθησαν στις αρχικές και πλευρικές συνθήκες του μοντέλου πάρθηκαν από δεδομένα ανάλυσης θερμοκρασίων επιφανείας θάλασσας (SST data) του παγκόσμιου αριθμητικού συστήματος NCEP/GFS ανά 6 ώρες. Η έναρξη του προγνωστικού κύκλου ορίστηκε στις 12UTC στις 20 Μαΐου 2016 ώστε τα αποτελέσματα του μοντέλου για την ημερομηνία μελέτης να μην συμπεριλαμβάνουν το spin up του μοντέλου. Η χωρική διακριτοποίηση τους ήταν

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

0,25^{o} x 0,25^{o}. Στο κατακόρυφο επίπεδο και για τις τρείς περιοχές εφαρμόστηκαν 39 σ-επίπεδα από την επιφάνεια έως τα 50 hPa.

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, η ημερομηνία που επιλέχθηκε προς μελέτη στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης είναι η 21^{η} Μαΐου, 2016. Προκειμένου να παραληφθεί το σφάλμα λόγω spinup του WRF, το μοντέλο αρχικοποιήθηκε μια μέρα πριν την εκδήλωση του επεισοδίου, δηλαδή στις 20 Μαΐου, 2016 και το πρώτο 12-ωρο προσομοιώσεων δεν λήφθηκε υπόψιν. Συγκεκριμένα, για το D01 η αρχικοποίηση έγινε στις 12 UTC, ενώ τα D02 και D03 αρχικοποιήθηκαν στις 18 UTC.

Τα σχήματα που επιλέχθηκαν για τις προσομοιώσεις του μοντέλου WRF-ARW φαίνονται στο Πίνακα 2.1. Πιο συγκεκριμένα, για την ακτινοβολία μεγάλου και μικρού κύματος (Radiation SW–LW) επιλέχθηκε το σχήμα RRTMG (Rapid Radiative Transfer Model) (Iacono et al., 2008), για τη μικροφυσική των νεφών (Microphysics) επιλέχθηκε το σχήμα Ferrier (Ferrier et al., 2002) το οποίο είναι κατάλληλο για πλέγματα υψηλής ανάλυσης. Η περιγραφή του επιφανειακού στρώματος (SFC Layer) έγινε με το σχήμα των Monin–Obukhov (Zilitinkevich, 1995). Οι φυσικές διεργασίες της κατακόρυφης μεταφοράς των σωρρειτόμορφων νεφών (Cumulus) προσομοιώθηκαν με το σχήμα BMJ–Betts-Miller-Janjic (Janjic, 1994), μόνο στις D01 kai D02. Τέλος, η παραμετροποιήση των φυσικών διεργασιών του εδάφους (LSM) αναπαρίσταται με το σχήμα NOAH Land Surface Model (NCEP/Oregon State University/Air Force/Hydrologic Research Lab) Unified model (Chen and Dudhia, 2001).

Η παραμετροποίηση των διεργασιών του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος έγινε με τρία διαφορετικά σχήματα που αξιολογούνται στη συνέχεια του κεφαλαίου. Επιλέχθηκαν σχήματα τα οποία προσεγγίζουν τις διεργασίες του ΑΟΣ τόσο με τοπική όσο και με μη τοπική προσέγγιση. Οι διεργασίες του Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος προσομοιώθηκαν με τα σχήματα YSU (Yonsei University Scheme, Hong et al., (2006)), MYJ (Mellor – Yamada – Janjic scheme, Janjic, Zavisa I., (1994)) και MYNN2 (Mellon – Yamada Nakanishi and Niino, Mikio and Niino (2009)). Ως σχήμα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

πειράματος αναφοράς (control experiment) θεωρήθηκε η προσομοίωση που έγινε με το σχήμα YSU. Τα άλλα δύο σχήματα χρησιμοποιήθηκαν για προσομοιώσεις ευαισθησίας (sensitivity experiments) και με τα άλλα δύο σχήματα, MYJ και MYNN, και τα αποτελέσματα αυτών συγκρίθηκαν με την προσομοίωση αναφοράς. Οι τρεις διαφορετικές παράμετροι που συγκρίθηκαν ήταν η υγρασία στα 700 hPa, η ανακλαστικότητα και η βροχόπτωση. Σε κάθε μια από τις τρείς περιπτώσεις τα σχήματα που περιγράφουν τις παραμετροποιήσεις άλλων φυσικών διεργασιών, παρέμειναν ίδια. Αυτή η εργασία μελετάει την επίδραση και αλληλεπίδραση των διεργασιών του Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος στην προσομοίωση ενός επεισοδίου έντονης βροχόπτωσης στις 21 Μαΐου, 2016 στην περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας Ημαθίας – Πέλλας.

Πίνακας 2.1: Σχήματα παραμετροποίησης που χρησιμοποιήθηκαν για τις προσομοιώσεις του WRF.

	CONTROL	1st Sensitivity Experiment	1st Sensitivity Experiment
PBL	YSU	MYJ	MYNN
LSM	NOAH	NOAH	NOAH
SFC Layer	Monin–Obukhov	Monin–Obukhov	Monin–Obukhov
Cumulus	BMJ	BMJ	BMJ
Microphysics	Ferrier	Ferrier	Ferrier
Radiation (SW-LW)	RRTMG	RRTMG	RRTMG

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2.4 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ YONSEI UNIVERSITY – YSU

Το σχήμα YSU (Hong et al., 2006) του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος,όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 1.4.1 αποτελεί μια αναθεωρημένη έκδοση του σχήματος Πρόγνωσης Μέσης Τάξης των Hong και Pan (Medium Range Forecast – MRF HP96) και είναι σχήμα παραμετροποίησης 1ης τάξης (1st order closure scheme).

Στο YSU το ύψος του οριακού στρώματος καθορίζεται από το προφίλ της άνωσης (buoyancy profile), δηλαδή ορίζεται ως το σημείο που η διείσδυση του αέρα από την ελεύθερη ατμόσφαιρα προς το ΑΟΣ (entrainment) είναι το μέγιστο και οι ροές θερμότητας είναι οι ελάχιστες. Με αυτό τον τρόπο διορθώθηκε η υπερεκτίμηση (υποεκτίμηση) της τυρβώδους ανάμιξης (turbulent mixing) στο στάδιο σχηματισμού (καταστροφής) του ΑΟΣ.

Για το στρώμα ανάμιξης, όπου h≤z, η εξίσωση τυρβώδους διάχυσης (turbulence diffusion) για τις προγνωστικές μεταβλητές (C, u, υ, θ, q, q_c, q_i) εκφράζεται από τη σχέση:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[K_c\left(\frac{\partial C}{\partial z} - \gamma_c\right) - \overline{(w'c')_h}\left(\frac{z}{h}\right)^3\right] \quad (2.3)$$

Όπου C η κατά περίπτωση προγνωστική μεταβλητή

K_cη σταθερα των στοβίλων διάχυσης

γ_c είναι ο όρος προσαρμογής (αντιπροσωπεύει τη συνεισφορά των μεγάλων στροβίλων στη ροή).

Όπου $\overline{(w'c')_h}$ είναι η ροή στο στρώμα αναστροφής

Η εξίσωση έχει τη μορφή του προηγούμενου σχήματος (MRFHP96) αλλά περιλαμβάνει και έναν επιπλέον όρο ασυμπτωτικής ροής του αέρα από την ελεύθερη ατμόσφαιρα προς το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (entrainment). Το ύψος h του οριακού στρώματος στο YSU καθορίζεται ως το επίπεδο που υπάρχει η ελάχιστη ροή. Συνεπώς, η κύρια διαφορά του MRFHP96 από το YSU είναι ότι στο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

YSU, η ανάλυση των διαδικασιών διείσδυσης του αέρα από την ελεύθερη ατμόσφαιρα προς το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (entrainment) γίνεται με άμεσο τρόπο (explicitly) (Hong and Noh, 2005). Αυτό, μεταξύ άλλων, βελτιώνει την αναπαράσταση του ΑΟΣ με τέτοιο τρόπο ώστε να αναπαράγει πιο ρεαλιστικά την ανωμεταφορά αερίων μαζών (convection) μπροστά από ψυχρό μέτωπο.

Όπως και το σχήμα MRFHP96 έτσι και το YSU έχει μη τοπική (non-local) προσέγγιση των τυρβωδών ροών και επίσης χρησιμοποιεί αντίστροφες ροές (counter-gradient fluxes) που σχετίζονται με τους υδρατμούς και την υγρασία. Ωστόσο, το μέγεθος της αντίστροφης, μη τοπικής (non-local) ανάμιξης είναι μικρότερο στο YSU και αυτό συντελεί στο να δημιουργείται καλύτερα αναμεμιγμένο ΑΟΣ. Επίσης, το YSU αυξάνει την ανάμιξη στην περίπτωση θερμικής ελεύθερης ανωμεταφοράς (free convection) και μειώνει την ανάμιξη στην περίπτωση της εξαναγκασμένης ανωμεταφοράς αερίων μαζών λόγω μηχανικού αιτίου (τοπογραφία).

Το YSU είναι κατάλληλο τόσο για μοντέλα πρόγνωσης καιρού όσο και για κλιματικά μοντέλα. Με την προσθήκη του στο WRF, έχει χρησιμοποιηθεί συστηματικά στην πρόγνωση καιρού απο το NCAR, συμπεριλαμβανομένων περιπτώσεων πρόβλεψης τυφώνων και έχει αποδείξει ότι έχει ρεαλιστικά αποτελέσματα για ποικιλία περιπτώσεων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

2.5 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ MELLOR – YAMADA – JANJIC (ETA – MYJ)

Το σχήμα Mellor–Yamada–Janjic (ETA – MYJ) (Janjic et. al., 1990, 1996, 2002) είναι ένα σχήμα του ΑΟΣ που περιγράφει τις αναταράξεις, τόσο μέσα σε αυτό όσο και στην ελεύθερη ατμόσφαιρα. Οι παραμετροποιήσεις που εφαρμόζονται, περιγράφονται από το μοντέλο Mellor– Yamada Level 2.5 turbulence closure model (Mellor and Yamada, 1982).

Το σχήμα MYJ ανήκει στα σχήματα με τοπική (local) προσέγγιση των τυρβωδών ροών, χρησιμοποιεί την προγνωστική εξίσωση της Τυρβώδους Κινητικής Ενέργειας (TKE) ώστε να υπολογίσει το συντελεστή διάχυσης K_c και για αυτό το λόγω ονομάζεται 1,5ης τάξης TKE (1,5st order closure scheme). Η παραγωγή/διάχυση της TKE περιγράφεται από μια διαφορική εξίσωση, η οποία λύνεται επαναληπτικά σε κάθε χρονικό βήμα, βέβαια δύο επαναλήψεις θεωρούνται αρκετές ώστε να υπάρχει ικανοποιητική ακρίβεια με μικρό υπολογιστικό κόστος.

Οι κύριες εξισώσεις που περιγράφουν αυτό το σχήμα είναι οι εξής (Mellor and Yamada, 1982):

$$d\left(q^2/2\right)/dt - \left(\partial/\partial z\right)\left[lqS_q\left(\partial/\partial z\right)\left(q^2/2\right)\right] = P_s + P_b - \varepsilon \quad (2.4)$$

$$P_s = -\langle wu\rangle\left(\partial U/\partial z\right) - \langle wu\rangle\left(\partial V/\partial z\right),\ P_b = \beta g\langle w\theta_v\rangle,\ \varepsilon = q^3/(B_l l) \quad (2.5)$$

$$-\langle wu\rangle = K_M\, \partial U/\partial z,\ -\langle wv\rangle = K_M\, \partial V/\partial z, \quad (2.6)$$

$$-\langle w\theta_V\rangle = K_H\, \partial \Theta_V/\partial z,\ -\langle ws\rangle = K_M\, \partial S/\partial z, \quad (2.7)$$

$$K_M = lqS_M.\ K_H = lqS_H, \quad (2.8)$$

$$S_M(6A_1A_2G_M) + S_H(1 - 3A_2B_2G_H - 12A_1A_2G_H) = A_2 \quad , \quad (2.9)$$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

$$S_M\left(1+6{A_1}^2G_M-9A_1A_2G_M\right)+S_H(1-3A_2B_2G_H-12A_1A_2G_H)=A_1(1-3C_1), \quad (2.10)$$

$$G_M=\left({l^2}/{q^2}\right)\left[\left({\partial U}/{\partial z}\right)^2+\left({\partial V}/{\partial z}\right)^2\right],\ \ G_H=-\left({l^2}/{q^2}\right)\beta g\,{\partial\Theta_V}/{\partial z} \quad (2.11)$$

Η ΤΚΕ δίνεται από τον λόγο $\frac{q^2}{2}$, όπου l είναι το κύριο μήκος κλίμακας. Οι μεταβλητές που περιγράφουν κίνηση δηλώνονται με κεφαλαία γράμματα, ενώ με μικρά δηλώνονται οι διακυμάνσεις των αναταράξεων (turbulent fluctuations). Τα K_M και K_H είναι συντελεστές των κατακόρυφων τυρβωδών ροών (turbulent exchange) για την ορμή και τη θερμότητα, αντίστοιχα. Τα P_S και P_b είναι όροι που περιγράφουν την παραγωγή της ΤΚΕ εξαιτίας της διάτμησης και την άνωσης, αντίστοιχα. Οι σταθερές A_1, A_2, B_1, B_2 και C_1 καθορίζονται από τα δεδομένα του εκάστοτε πειράματος (Mellor and Yamada, 1982).Ο δείκτης v δηλώνει την εικονική δυνητική θερμοκρασία (virtual potential temperature). Η διασπορά ορίζεται ως ε. Τέλος, S_q=0,2 και β=1/273.

Κάποιες από τις προϋποθέσεις που απαιτούνται ώστε να αποδώσει ικανοποιητικά το σχήμα MYJ είναι ότι πρέπει να τεθεί ένα ανώτερο όριο στο κύριο μήκος κλίμακας l (master length scale). Αυτό το ανώτερο όριο εξαρτάται από την ΤΚΕ, την άνωση (buoyancy) και τη διάτμηση της κύριας ροής (shear of the driving flow). Επίσης, μια ακόμα προϋπόθεση είναι τόσο η ΤΚΕ όσο και το προαναφερθέν κύριο μήκος κλίμακας να είναι θετικά.

Το κύριο μήκος κλίμακας δίνεται από τη σχέση (Janjic et al., 1994):

$$l=\frac{l_0kz}{kz+l_0},\ \ l_0=a\frac{\int_{p_T}^{p_s}|z|q\,dp}{\int_{p_T}^{p_s}q\,dp},\ \ a=\text{const} \quad (2.11)$$

Όπου p_S και p_T είναι η πίεση στο κατώτερο και ανώτερο όριο της ατμόσφαιρας του μοντέλου, αντίστοιχα, k είναι η σταθερα von Karman και α είναι μια εμπειρική σταθερα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι το l τείναι στο kz για μικρές τιμές z και όταν το z γίνει μεγάλο τείνει ασυμπτωτικά στη τιμή του l_o.

Το ανώτερο όριο που δεν επιτρέπεται να υπερβεί το κύριο μήκος κλίμακας είναι (Jamjic et al., 1994):

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

$$0.53q\left(\beta g\frac{\partial\Theta}{\partial z}\right)^{-1/2}+H \qquad (2.12)$$

Όπου Η είναι μια θετική σταθερα.

Το ανώτερο όριο που προτείνεται, όπως φαίνεται και από τη σχέση (2.4), είναι ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας του διπλάσιου της ΤΚΕ και συνάρτηση της άνωσης και της διάτμησης. Σε ασταθείς συνθήκες του ΑΟΣ ο υπολογισμός του ανώτερου ορίου προϋποθέτει, στην περίπτωση αυξανόμενης αστάθειας, η παραγωγή της ΤΚΕ να είναι non-singular. Ενώ σε ευσταθείς συνθήκες, το ανώτερο όριο του κύριου μήκους κλίμακας προκύπτει από την προϋπόθεση ο λόγος της απόκλισης της κατακόρυφης ταχύτητας και της ΤΚΕ να είναι μικρότερος από τον λόγο που περιγράφεται με τη μείωση της αστάθειας.

Στο σχήμα ΜΥJ το ύψος του οριακού στρώματος, ορίζεται ως το ύψος του χαμηλότερου σημείου στο οποίο η παραγωγή της ΤΚΕ είναι ανίκανη να ισορροπήσει με την διάχυση (dissipation).

2.6 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ MELLOR – YAMADA – NAKANISHI – NIINO ΕΠΙΠΕΔΟΥ 2,5 (MYNN2 LEVEL 2,5)

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.4.5, το σχήμα Mellor–Yamada–Nakanishi–Niino (MYNN) (Nakanishi and Niino, 2009) δημιουργήθηκε μετά από βελτιώσεις στο σχήμα των Mellor-Yamada (Mellor and Yamada, 1982).

Όπως και το σχήμα των ΜΥ έτσι και το MYNN βασίζεται στην εξίσωση της Τυρβώδους Κινητικής Ενέργειας (ΤΚΕ) και η εκτίμηση των τυρβωδών ροών (turbulent fluxes) σε κάθε σημείο του πλέγματος γίνεται από τις μέσες τιμές των μεταβλητών σε αυτό, δηλαδή ακολουθεί τοπική (local) προσέγγιση.

Οι θερμοδυναμικές μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο βελτιωμένο σχήμα MYNN είναι η δυνητική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου (liquid water potential temperature) και το περιεχόμενο ύδωρ, οι οποίες δίνονται από τις εξισώσεις (Nakanishi and Niino, 2009):

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

$$\theta_l \equiv \left(\theta - \frac{\theta}{T}\right)\left(\frac{L_\upsilon}{c_p}\right) q_l \tag{2.13}$$

$$q_\upsilon \equiv (q_\upsilon + q_l) \tag{2.14}$$

Όπου θ είναι η δυνητική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου, T είναι η απόλυτη θερμοκρασία, L_υ είναι η λανθάνουσα θερμοκρασία της εξάτμισης, c_P είναι η ειδική θερμότητα του ξηρού αέρα σε σταθερή πίεση, q_l είναι το περιεχόμενο ύδωρ και q_υ η ειδική υγρασία.

Οι συναρτήσεις για τον υπολογισμό της TKE είναι (Nakanishi and Niino, 2009):

$$\frac{\partial q^2}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}\langle w\left(u^2 + \upsilon^2 + w^2 + {}^{2p}/_{\rho_0}\right)\rangle$$
$$-2\left(\langle uw\rangle\frac{\partial U}{\partial z} + \langle uw\rangle\frac{\partial V}{\partial z}\right) \tag{2.15}$$
$$+2\frac{g}{\Theta_0}\langle w\theta_v\rangle - 2\varepsilon,$$

$$\frac{\partial\langle\theta_l^2\rangle}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}\langle w\theta_l^2\rangle - 2\langle w\theta_l\rangle\frac{\partial\Theta_l}{\partial z} - 2\varepsilon_{\theta l}, \tag{2.16}$$

$$\frac{\partial\langle\theta_l q_w\rangle}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}\langle w\theta_l q_w\rangle - \langle wq_w\rangle\frac{\partial\Theta_l}{\partial z} \tag{2.17}$$
$$-\langle w\theta_l\rangle\frac{\partial Q_w}{\partial z} - 2\varepsilon_{\theta q},$$

$$\frac{\partial\langle q_w^2\rangle}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}\langle wq_w^2\rangle - 2\langle wq_w\rangle\frac{\partial Q_w}{\partial z} - 2\varepsilon_{qw}, \tag{2.18}$$

Η TKE δίνεται από το λόγο $\frac{q^2}{2}$. Οι μεταβλητες με κεφαλαία γράμματα δηλώνουν συνολικές μέσες τιμές και δίνονται από τις σχέσεις (Nakanishi and Niino, 2009):

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}\langle uw\rangle + f\left(V - V_g\right), \tag{2.19}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}\langle \upsilon w\rangle - f\left(U - U_g\right), \tag{2.20}$$

$$\frac{\partial\Theta_l}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}\langle w\theta_l\rangle + \frac{f\Theta_0}{g}\left(V\frac{\partial U_g}{\partial z} - U\frac{\partial V_g}{\partial z}\right), \tag{2.21}$$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

$$\frac{\partial Q_w}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z}\langle w q_w \rangle, \quad (2.22)$$

Όπου (u, v, w) είναι οι συντελεστές της ταχύτητας, οι (U_g, V_g) είναι οι συντελεστές της ταχύτητας για τον γεωστροφικό ανεμο, f είναι η παράμετρος της δυναμης Coriolis, g η επιτάχυνση της βαρύτητας, ο όρος $V\frac{\partial U_g}{\partial Z}$ αναπαρηστά την οριζόντια ροή της μέσης τιμής της δυνητική θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου που σχετίζεται με το θερμικό άνεμο. Επίσης, όπου p είναι η πίεση, π είναι η πυκνότητα του αέρα, $\theta_V \equiv \theta(1 - 0{,}61q_v - q_l)$ η δυνητική θερμοκρασία και τέλος, τα ε, $\varepsilon_{\theta l}$, $\varepsilon_{\theta q}$, ε_{qw} είναι οι διασπορές των $q^2/2$, $\langle\theta_l^2\rangle/2$, $\langle\theta_l\ q_w\rangle/2$, $\langle q_w^2\rangle/2$, αντίστοιχα.

Η παρούσα εργασία συγκρίνει, μεταξύ άλλων, την εκδοση επιπέδου 2,5 (level 2,5) και τάξης 1,5 (1,5 order) προγνωστικών εξισώσεων, γνωστή και ως MYNN2. Συνεπώς, στις εξισώσεις (2.15 – 2.22) οι όροι της διαχυσης και της εξάρτησης από το χρόνο δεν λαμβάνονται υπόψη στις αντίστοιχες εξισώσεις των μέσων τιμών της δυνητικής θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου και του περιεχόμενο ύδατος. Συνεπώς, αυτοί οι όροι υπολογίζοντια διαγνωστικά.

Μια από τις κύριες βελτιώσεις του MYNN2 έναντι του MY είναι ότι η προγνωστική εξίσωση για το μήκος ανάμιξης l, μεταβάλλεται ρεαλιστικά σε σχέση με την ευστάθεια και δίνεται από τη σχέση (Nakanishi and Niino, 2009):

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_S} + \frac{1}{L_T} + \frac{1}{L_B}, \quad (2.23)$$

$$L_S = \begin{cases} kz/3.7\,, & \zeta \geq 1 \\ kz(1 + 2.7\zeta)^{-1}, & 0 \leq \zeta < 1 \\ kz(1 - 100\zeta)^{0.2}, & \zeta < 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

$$L_B = \begin{cases} q/N & \partial\Theta_V/\partial z > 0 \ and \ \zeta \geq 0 \\ \left[1 + 5(q_c/L_T N)^{1/2}\right] q/N & \partial\Theta_V/\partial z > 0 \ and \ \zeta < 0 \\ \infty & \partial\Theta_V/\partial z \leq 0 \end{cases} \quad (2.25)$$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Όπου $\zeta \equiv z/L_M$ είναι το καθαρό ύψος, $L_M \equiv -\Theta_0 u_*^3/kg\langle w\theta_V\rangle_g$ είναι το ύψος Monin-Obukhov το οποίο σχετιζεται με την επίδραση της άνωσης στης τυρβώδες ροές, N είναι η συχνότητα Brunt-Vaisala και ο δείκτης g δείχνει οτι αναφέρεται στην επιφάνεια του εδάφους, q_C είναι η ταχύτητα ανάμιξης (velocity scale), w_* είναι η ταχύτητα ανωμεταφορας (convective velocity). L_S είναι το μήκος ανάμιξης κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και το L_B συνδέεται με το μήκος αναμιξης που σχετίζεται με την άνωση.

Ένα άλλο πλεονέκτημα του MYNN έναντι του MY είναι ότι οι σταθερές (closure constants) προσαρμόζονται με βάση προγενέστερες μελέτες και καθορίζονται από τα δεδομένα προσομοιώσεων των μεγάλων στροβίλων (large-eddy simulation – LES) (Nakanishi and Niino, 2009) αυτό βοήθησε να ξεπεραστεί η υποεκτίμηση της TKE και του μήκους ανάμιξης (l, length scale) από το MY. Επιπλέον, το MYNN2 φαίνεται να αναπαράγει αρκετά καλα τις κατακόρυφες κατανομές των τυρβώδων ροών. Αξίζει να σημειώθεί ότι η έκδοση MYNN2 έχει, επίσης, μικρό υπολογιστικό κόστος.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

2.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ MYJ, YSU ΚΑΙ MYNN2

Τα σχήματα του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος του αριθμητικού μοντέλου πρόγνωσης WRF μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη θερμοδυναμική και τις κινήσεις των αερίων μαζών μεσα σε όλη τη τροπόσφαιρα μέσω την κατακόρυφης διάχυσης της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ορμής (Skamarock et al, 2008). Οι μικρής κλίμακας ροές ενέργειας στο ΑΟΣ επηρεάζουν την προσομοίωση τόσο των χαμηλών νεφών όσο και των νεφών που προκαλούνται από έντονη ανωμεταφορά όπως τα νέφη cumulus και ως αποτέλεσμα να οδηγήσουν σε πρόγνωση υετού. Αυτό συμβαίνει διότι τα σχήματα του WRF που περιγράφουν τη μικροφυσική των νεφών επηρεάζονται απο τη θερμότητα και υγρασία που μεταφέρουν αυτές οι ροές. Επίσης, τα σχήματα παραμετροποίησης του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος μπορούν να επηρεάσουν τις ροές ενέργειας μεγάλης κλίμακας οι οποίες συνδέονται άμεσα με την εξέλιξη της δομής των νεφών.

Γίνεται φανερό, λοιπόν, ότι η επιλογή του σχήματος που περιγράφει το ΑΟΣ είναι σημαντική για τη σωστή απεικόνιση και πρόβλεψη φαινομένων βροχόπτωσης. Το αριθμητικό μοντέλο προγνωσης καιρού WRF – ARW προσφέρει στον χρήστη ένα πλήθος από διαφορετικά σχήματα, τα κυριότερα των οποίων περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

Σε αυτή την εργασία γίνεται προσπάθεια για τη σύγκριση των τριών σχημάτων του ΑΟΣ που επιλέχθηκαν για να ελεγχθούν ως προς την απεικόνιση των φαινομένων της 21 Μαΐου 2016. Τα δύο από τα σχήματα ακολουθούν τοπική (local) προσέγγιση για την εκτίμηση των τυρβώδων ροών (MYJ, MYNN2), ενώ το τρίτο YSU (αυτό που χρησιμοποιείται ως control σχήμα στη συνέχεια) ακολουθεί μή τοπική (non local) προσέγγιση.

Τα σχήματα αυτά είναι:

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

1. Το σχήμα Yonsei University (YSU) (Hong et al., 2006) έχει μη τοπική (non-local) προσέγγιση των τυρβώδων ροών και επίσης χρησιμοποιεί αντίστροφες ροές (countergradient fluxes) που σχετίζονται με τους υδρατμούς και την υγρασία. Επίσης, το YSU συγκαταλέγεται στα σχήματα παραμετροποίησης 1ης τάξης (1st order closure scheme).
2. Το σχήμα Mellor – Yamada – Janjic (ETA – MYJ) (Jamjic et al., 1990,1996, 2002) ανήκει στα σχήματα με τοπική (local) προσέγγιση των τυρβώδων ροών, χρησιμοποιεί την προγνωστική εξίσωση της Τυρβώδους Κινητικής Ενέργειας (ΤΚΕ), ώστε να υπολογίσει το συντελεστή διάχυσης K_c και για αυτό το λόγω ονομάζεται 1,5ης τάξης ΤΚΕ closure scheme (1,5st order closure scheme).
3. Το σχήμα Mellor – Yamada – Nakanishi – Niino (MYNN) (Nakanishi and Niino, 2009) χρησιμοποιεί ως προγνωστική εξίσωση την Τυρβώδους Κινητικής Ενεργειας (ΤΚΕ) και η εκτίμηση των τυρβώδων ροών (turbulent fluxes) σε κάθε σημείο πλέγματος γίνεται με τοπική (local) προσέγγιση. Επιπλέον, ανήκει στα σχήματα παραμετροποίησης 1,5ης τάξης (1,5st order closure scheme).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 3ο

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για την παρακάτω συνοπτική ανάλυση των καιρικών συνθηκών που επικρατούσαν στις 21 Μαΐου, 2016 χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικοί χάρτες που εξήχθησαν με χρήση των αναλύσεων του μετεωρολογικού μοντέλου του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων – ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast). Δηλαδή, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στις αρχικές και πλευρικές συνθήκες του μοντέλου εισήχθησαν από τις αναλύσεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων ECMWF, ανά 6 ώρες. Η χωρική διακριτοποίηση τους ήταν 0,25^{o} x 0,25^{o}. Επίσης, έγινε χρήση χαρτών πίεσης στη μέση στάθμη θάλασσας από τη Βρετανική Μετεωρολογική υπηρεσία (Met Office) και τεφιγραμμάτων ραδιοβολήσεων από το Πανεπιστήμιο της Πολιτείας του Wyoming των Η.Π.Α.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Αργά το μεσημέρι ή τις πρώτες απογευματινές ώρες εμφανίζεται η μεγαλύτερη καταιγιδοφόρος δραστηριότητα στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας (Μπαλαφούτης και Μαχαίρας (1982), Karacostas (1984), Σιούτας (1999)). Τα βασικά αίτια για την ανάπτυξη καταιγίδων είναι τα εξής:

- Μηχανικό αίτιο π.χ. ορογραφία που εξαναγκάζει την ανωμεταφορά αερίων μαζών.
- Θερμικό αίτιο όπου υπάρχει θερμή μεταφορά αερίων μαζών.
- Θερμοδυναμική αστάθεια.
- Υψηλή υγρασία στα χαμηλά και μέσα στρώματα της ατμόσφαιρας

Η αστάθεια από μόνη της δεν αποτελεί επαρκή παράγοντα για την εκδήλωση καταιγίδων αλλά απαιτείται κάποιος μηχανισμός ανοδικής μεταφοράς αερίων μαζών. Ένας από τους πιο συνήθεις τρόπους που έχουν παρατηρηθεί στην περιοχή είναι η σύγκλιση αερίων μαζών διαφορετικών θερμοκρασιών και υγρασίας. Αυτό γίνεται στην περιοχή των νομών Ημαθίας - Πέλλας με μεταφορά υγρών και θερμών αέριων μαζών από το Θερμαϊκό κόλπο μέσω της θαλάσσιας αύρας και ξηρών και ψυχρών αερίων μαζών που διολισθαίνουν στην περιοχή από τους γύρω ορεινούς όγκους (Καρακώστας, 1992). Οι υγρές και θερμές αέριες μάζες παρέχουν ενέργεια για τη δημιουργία της καταιγίδας και οι ξηρές και ψυχρές αέριες μάζες εντείνουν τα ανοδικά ρεύματα με συνέπεια τη δημιουργία ασταθούς περιβάλλοντος (Καρακώστας, 2005).

Η συνοπτική κατάσταση που επηρέασε τις καιρικές συνθήκες στην περιοχή μελέτης ήταν ένα κλειστό χαμηλό. Τα χαρακτηριστικά του κλειστού χαμηλού είναι η παρουσία μιας τουλάχιστον κλειστής ισοϋψούς και ενός αυλώνα πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος, σύμφωνα με τους Καρακώστας κ.α, (1992) και Karacostas (2003). Η συνοπτική κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή ειναι τύπου L-2 (Καρακώστας 1992, Karacostas et al., 2017), δηλαδή πρόκειται για ένα οργανωμένο βαρομετρικό σύστημα, με οργανωμένη βαροκλινική ζώνη και ένα αρκετά βαθύ και έντονο σύστημα χαμηλών πιέσεων στην επιφάνεια.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

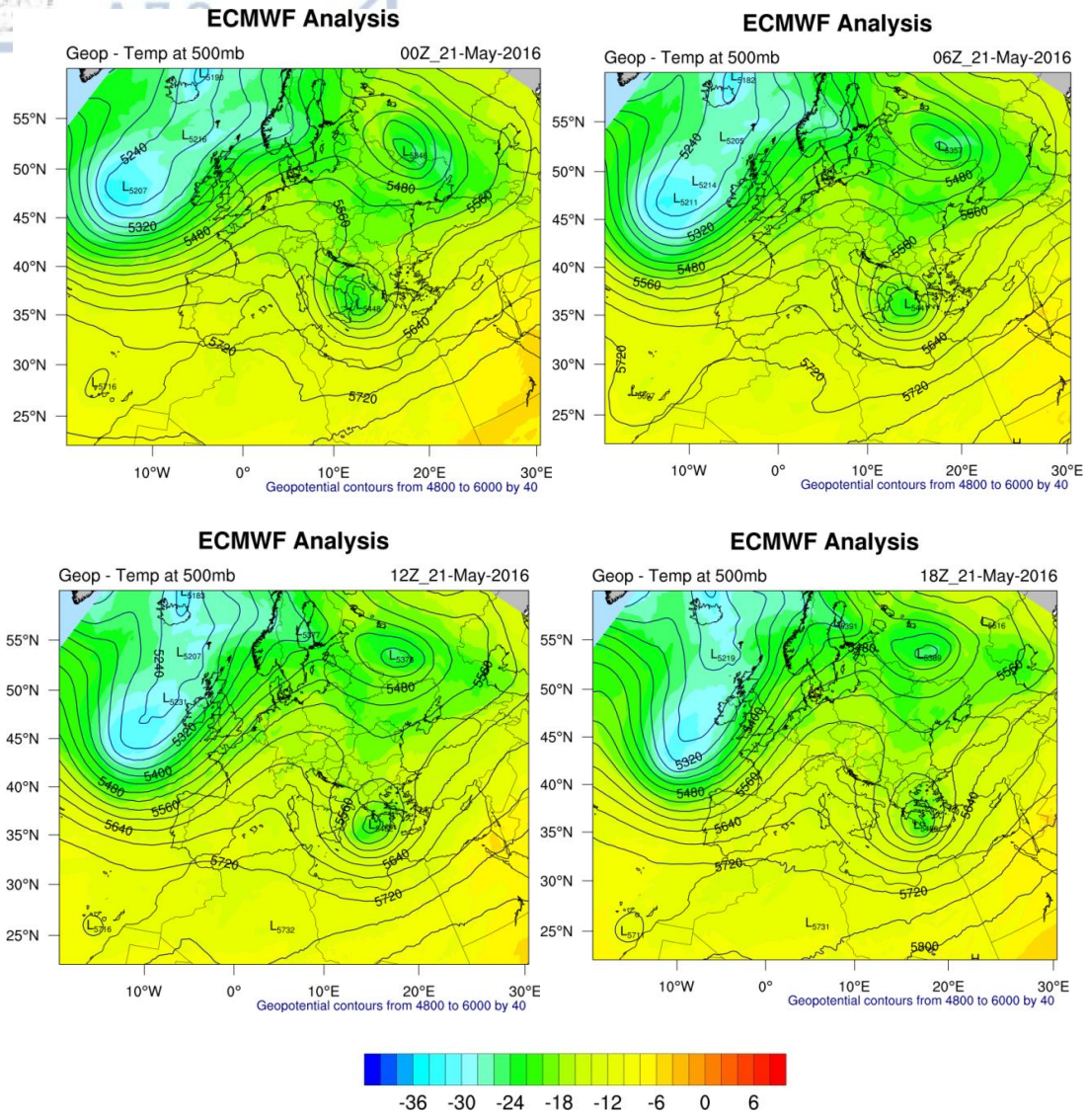
3.1 Ανάλυση Χαρτών των Ισοϋψών και Θερμοκρασίας στην επιφάνεια των 500hPa

Στις 21 Μαΐου 2016, ο καιρός στην περιοχή ενδιαφέροντος επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από ένα κλειστό χαμηλό των γεωδυναμικών υψών στα 500 hPa με γεωδυναμικό ύψος 5448 gpm στις 00UTC (Σχήμα3.1) και κινείται από τη νότια Ιταλία προς την Πελοπόννησο (Σχήμα 3.1). Παράλληλα, υπάρχει μια ισχυρή ράχη στην κέντρο – δυτική Ευρώπη.

Λόγω της θέσης του βαρομετρικού χαμηλού μετακινούνται θερμές και υγρές αέριες μάζες από νοτιότερες περιοχές διαμέσου του Θερμαϊκού κόλπου προς την περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας. Επίσης, η έντονη καμπυλότητα των ισοϋψών δημιούργησε στροβιλισμό που εκτείνεται στα κατώτερα στρώματα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Σχήμα 3.1: *Χάρτης ισοϋψών (ανά 40 gm) και Θερμοκρασίας (°C) στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa, για κάθε 6 ώρες στις 21/05/2016.*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

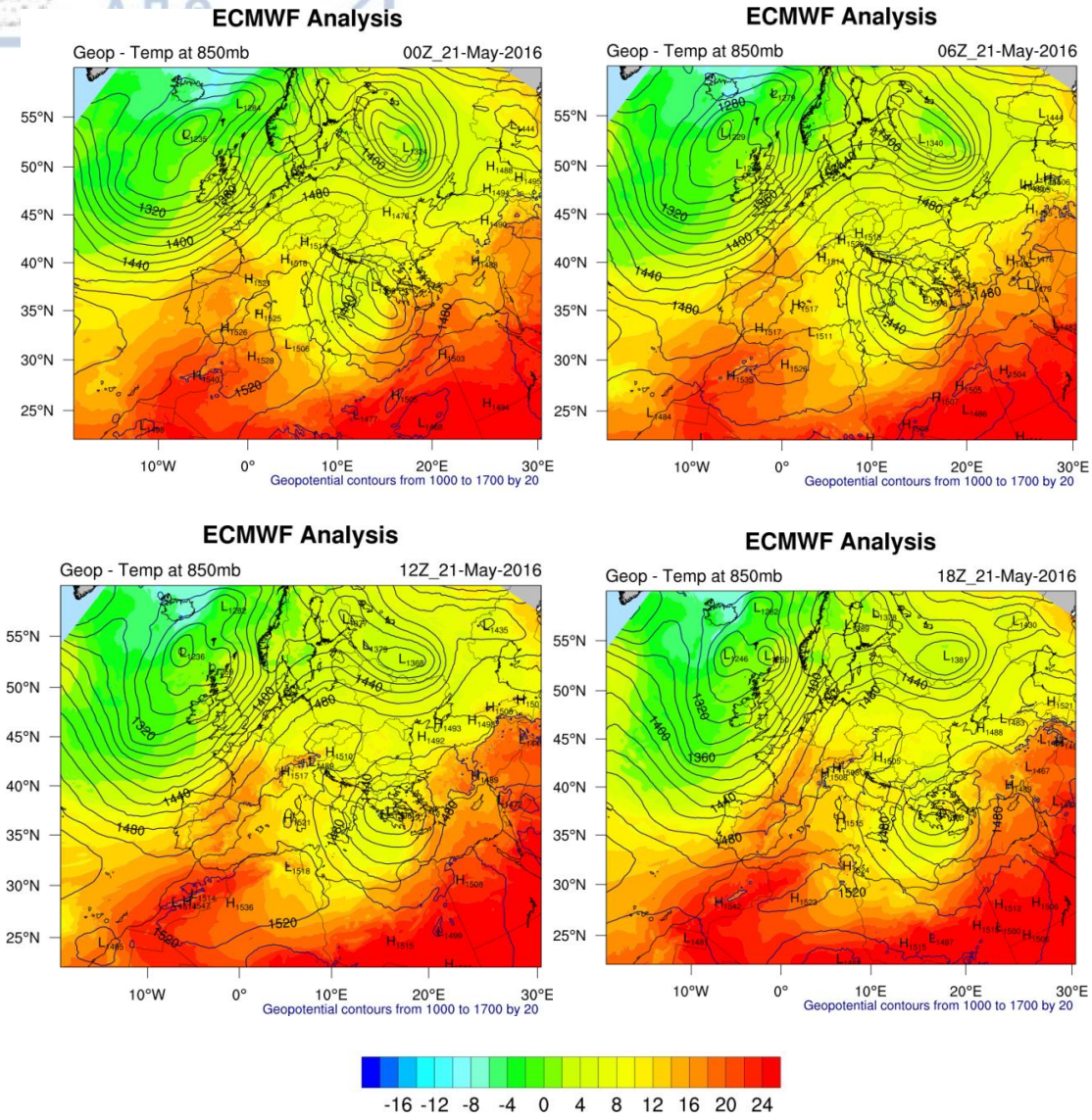
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.2 Ανάλυση Χαρτών των Ισοϋψών και Θερμοκρασίας στην επιφάνεια των 850hPa

Το σύστημα των χαμηλών υψών που παρατηρείται πάνω από το Ιόνιο (Σχήμα 3.2) φέρνει ψυχρές αέριες μάζες πάνω από την ηπειρωτική Ελλάδα και συντελεί στη δημιουργία έντονης βαροκλινικότητας στην περιοχή. Επίσης, σε σύγκριση με τους αντίστοιχους χάρτες στα 500 hPa (Σχήμα 3.1) φαίνεται ότι το σύστημα στις 00UTC βρίσκεται στη φάση ενδυνάμωσης του διότι περνάει πάνω από τον Ελλαδικό χώρο με κλίση προς τα δυτικά καθ' ύψος και στις 18UTC βρίσκεται σε ώριμη φάση (Σχήμα 3.2). Σύμφωνα με τη θεωρία της βαροκλινικής αστάθειας το σύστημα μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια σε κινητική όταν βρίσκεται σε φάση ενδυνάμωσης. Το σύστημα των χαμηλών υψών από τις 00UTC μέχρι τις 12UTC ενδυναμώνεται (Σχήμα 3.2), συνεπώς υπάρχουν έντονες ανοδικές κινήσεις που ευνοούν το σχηματισμό καταιγίδων (Καρακώστας, 2004).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Σχήμα 3.2: *Χάρτης ισοϋψών (ανά 20 gm) και Θερμοκρασίας (°C) στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa, για κάθε 6 ώρες στις 21/05/2016.*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

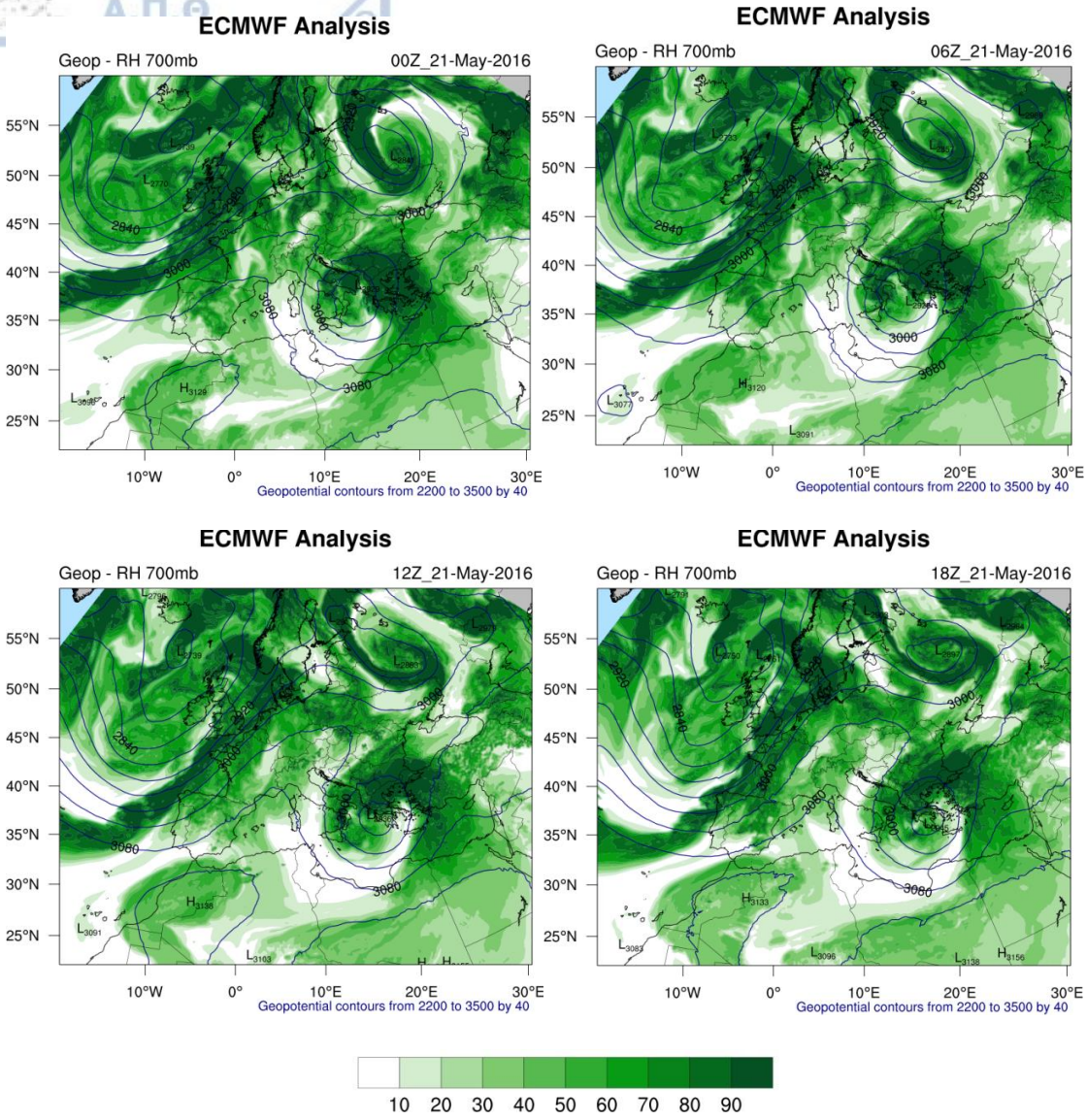
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

3.3 Ανάλυση χαρτών των Ισοϋψών και της σχετικής υγρασίας στα 700hPa

Στο Σχήμα 3.3 απεικονίζεται η σχετική υγρασία σε ποσοστό επί τοις εκατό σε σχέση με το γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική επιφάνεια των 700 hPa. Το σύστημα των χαμηλών υψών που βρίσκεται πάνω από τη δυτική χώρα είχε φέρει πολύ υγρές αέριες μάζες (η σχετική υγρασία ήταν πάνω από 90%) στην περιοχή της Ημαθίας - Πέλλας ήδη από τις 00 UTC (Σχήμα 3.3). Αξιοσημείωτο είναι ότι η σχετική υγρασία παρουσιάζει πολύ μεγάλες τιμές, καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, μπροστά από το κλειστό χαμηλό των υψών διότι στην περιοχή υπάρχουν έντονα ανοδικά ρεύματα λόγω της θετικής μεταφοράς του στροβιλισμού. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3, η υγρασία είναι τόσο αυξημένη στην περιοχή (πάνω από 90%), καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, που φαίνεται ότι στη βόρεια χώρα υπήρχε συμπαγής νέφωση η οποία παρείχε ευνοϊκές συνθήκες για ισχυρές βροχοπτώσεις.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.



Σχήμα 3.3: *Χάρτης ισοϋψών (ανά 40 gm) και υγρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 700hPa, για κάθε 6 ώρες στις 21/05/2016.*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

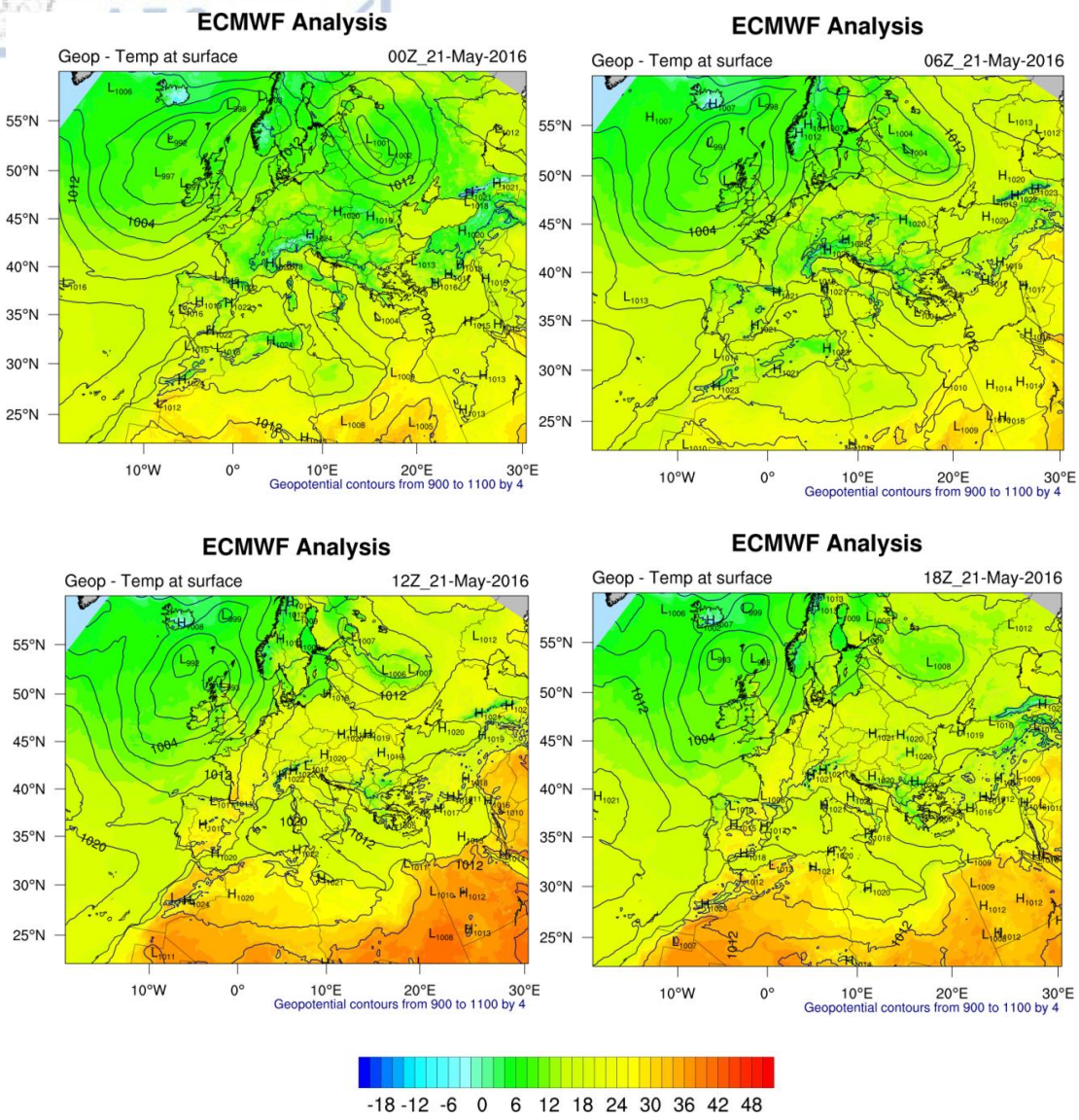
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.4 Ανάλυση χαρτών θερμοκρασίας και πίεσης στην επιφάνεια

Στους παρακάτω χάρτες επιφανείας παρατηρείται ότι η ελάχιστη τιμή της πίεσης του συστήματος ήταν 1004 hPa (Σχήμα 3.4). Στις 12 UTC η θερμοκρασία στην επιφάνεια στην περιοχή ενδιαφέροντος κυμαίνεται από 8 έως 12^{o}C (Σχήμα 3.4). Οι τιμές αυτές είναι σχετικά μικρές για την εποχή, ωστόσο το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς στον Ελλαδικό χώρο επικρατούσαν συνθήκες νεφοκάλυψης και την συγκεκριμένη περίοδο του χρόνου η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται κατά κύριο λόγω από την ηλιοφάνεια (Σχήμα 3.4).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Σχήμα 3.4: *Χάρτης ατμοσφαιρικής πίεσης (hPa) (ισοβαρείς ανά 4hPa) και θερμοκρασίας (°C) στη μέση στάθμη της θάλασσας, για κάθε 6 ώρες στις 21/05/2016.*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

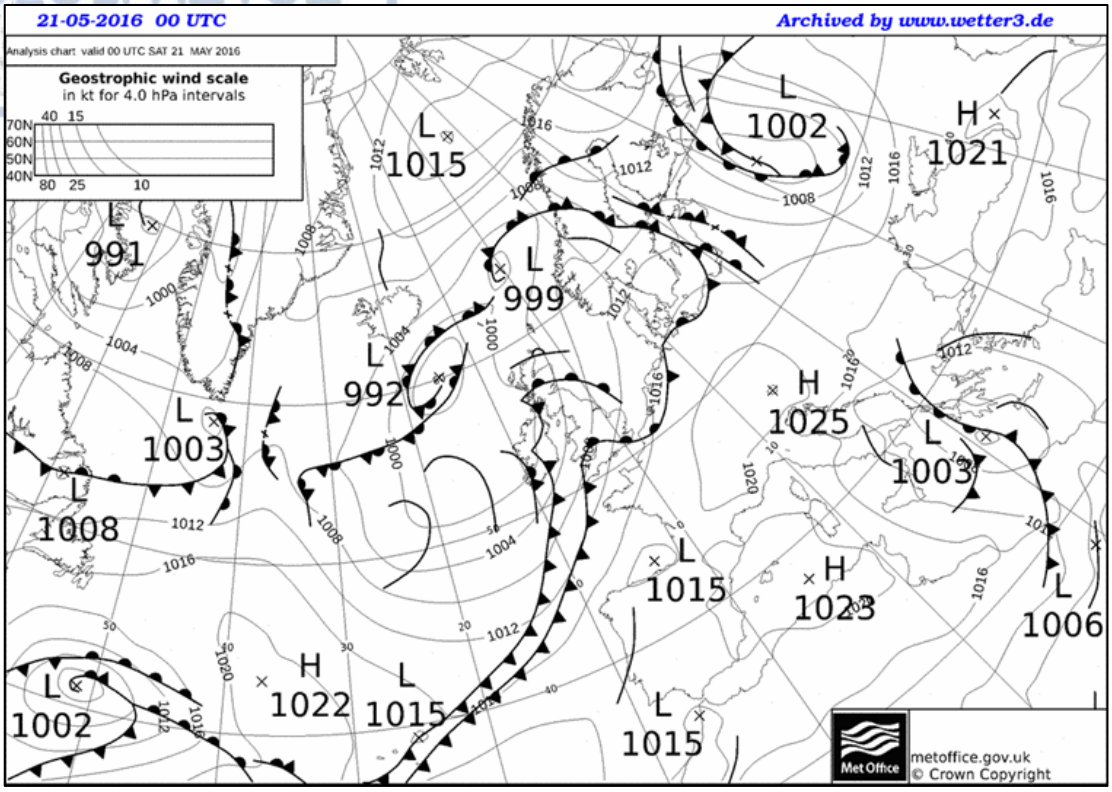
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

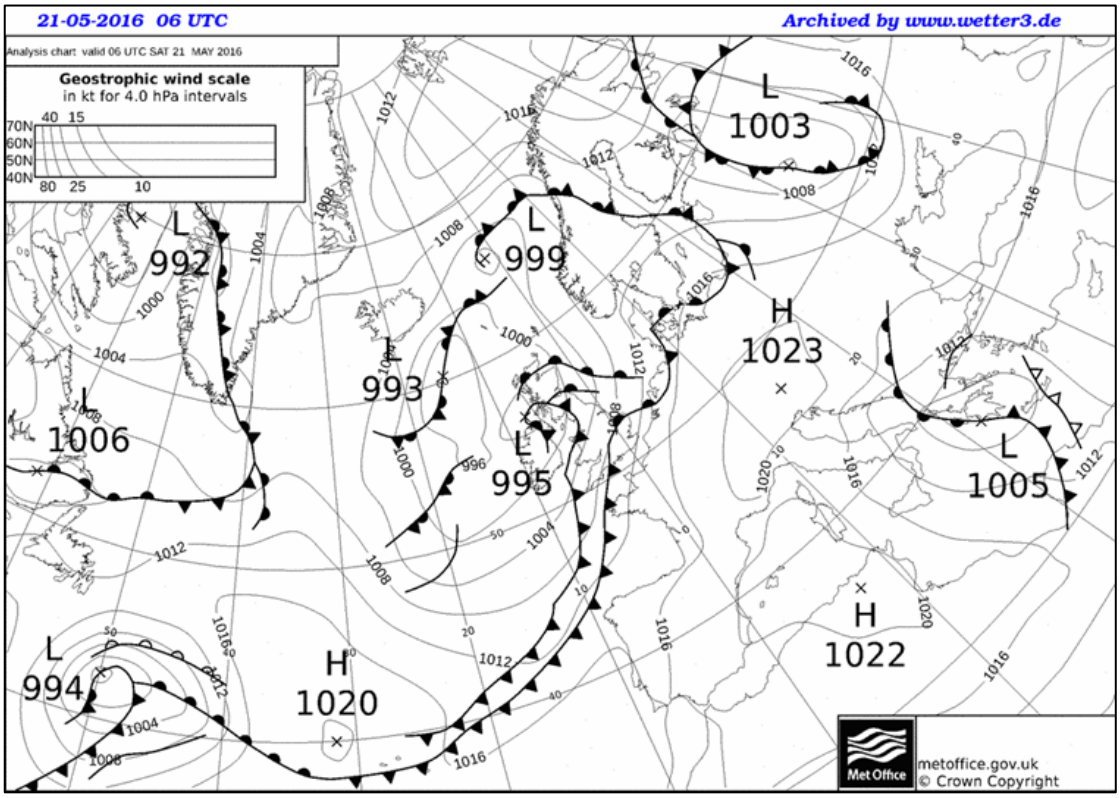
3.5 Ανάλυση χαρτών ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας

Η κύρια εικόνα που επικρατεί στους χάρτες στη μέση στάθμη θάλασσας είναι το κλείστο σύστημα χαμηλών πιέσεων που κατευθύνεται από την νότια Ιταλία προς την νοτιοδυτική ηπειρωτική Ελλάδα. Η ελάχιστη πίεση πάνω από την Ελλάδα ήταν τα 1005 hPa στις 06 UTC και 12 UTC. Από τις 06UTC έως τις 18 UTC, υπάρχει ένας αυλώνας (trough) στην περιοχή ενδιαφέροντος, ο οποίος διασχίζει σχεδόν παράλληλα τις ακτές της Μακεδονίας (Σχήμα 3.5). Συνήθως, στην περιοχή ακριβώς μπροστά από τον αυλώνα (βόρεια σε αυτή την περίπτωση) ευνοούνται οι ανοδικές κινήσεις και η μεταφορά του στροβιλισμού είναι θετική. Τέλος, η ελάχιστη πίεση που παρατηρήθηκε στον Ελλαδικό χώρο ήταν 1005 hPa, κάτι που συμφωνεί με το κλειστό σύστημα χαμηλών πιέσεων που υπάρχει στα νοτιοδυτικά της χώρας στις αναλύσεις του ECMWF όπως φαίνεται στα σχήματα 3.1 και 3.2 (1004 hPa αντίστοιχη ελάχιστη πίεση στους χάρτες θερμοκρασίας και πίεσης στην επιφάνεια, Σχημα 3.4).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

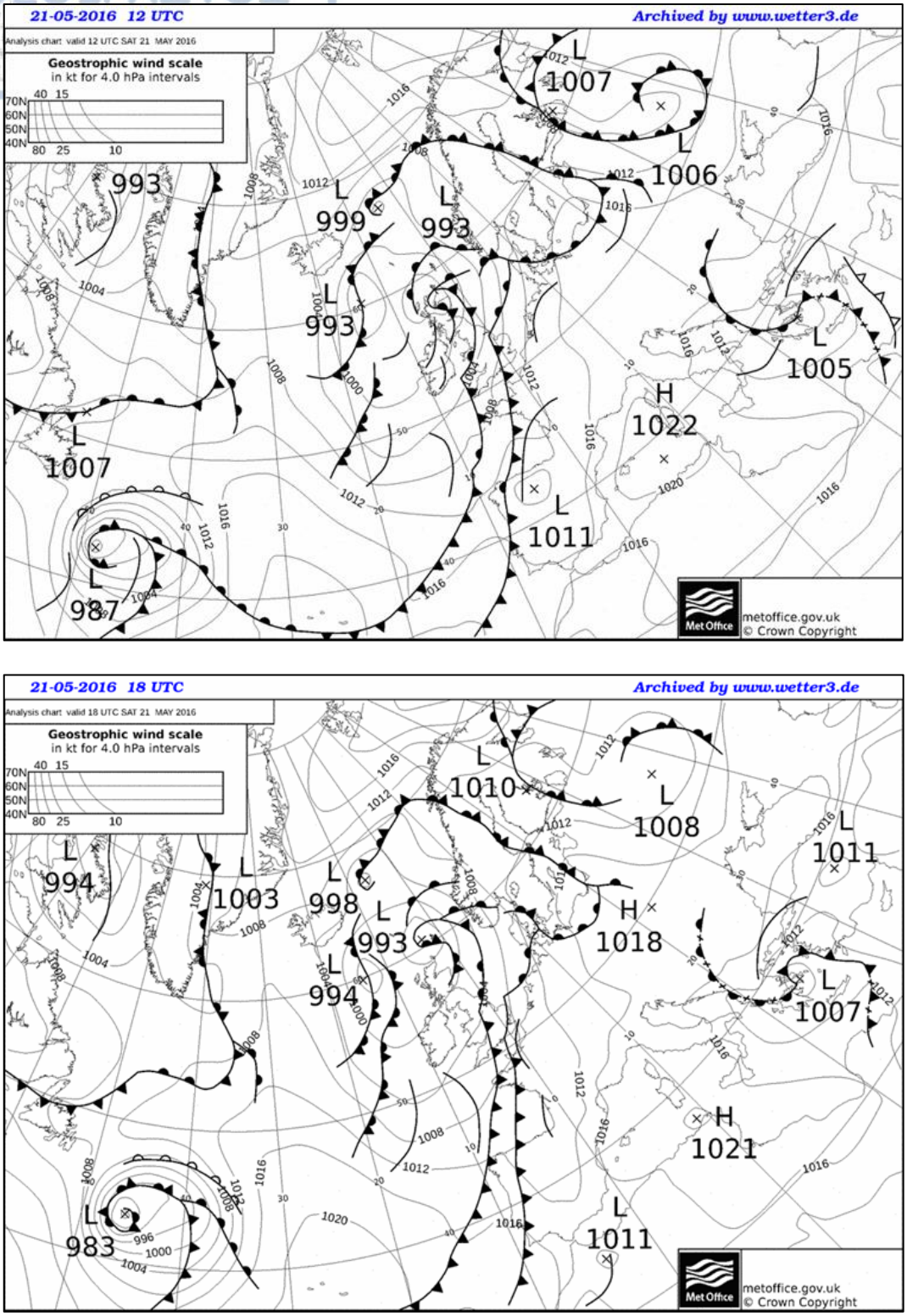
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"





Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 3.5: *Χάρτης πίεσης στη μέση στάθμη θάλασσας (hPa) για κάθε 6 ώρες στις 21/05/2016 (ΠΗΓΗ: UK metoffice).*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

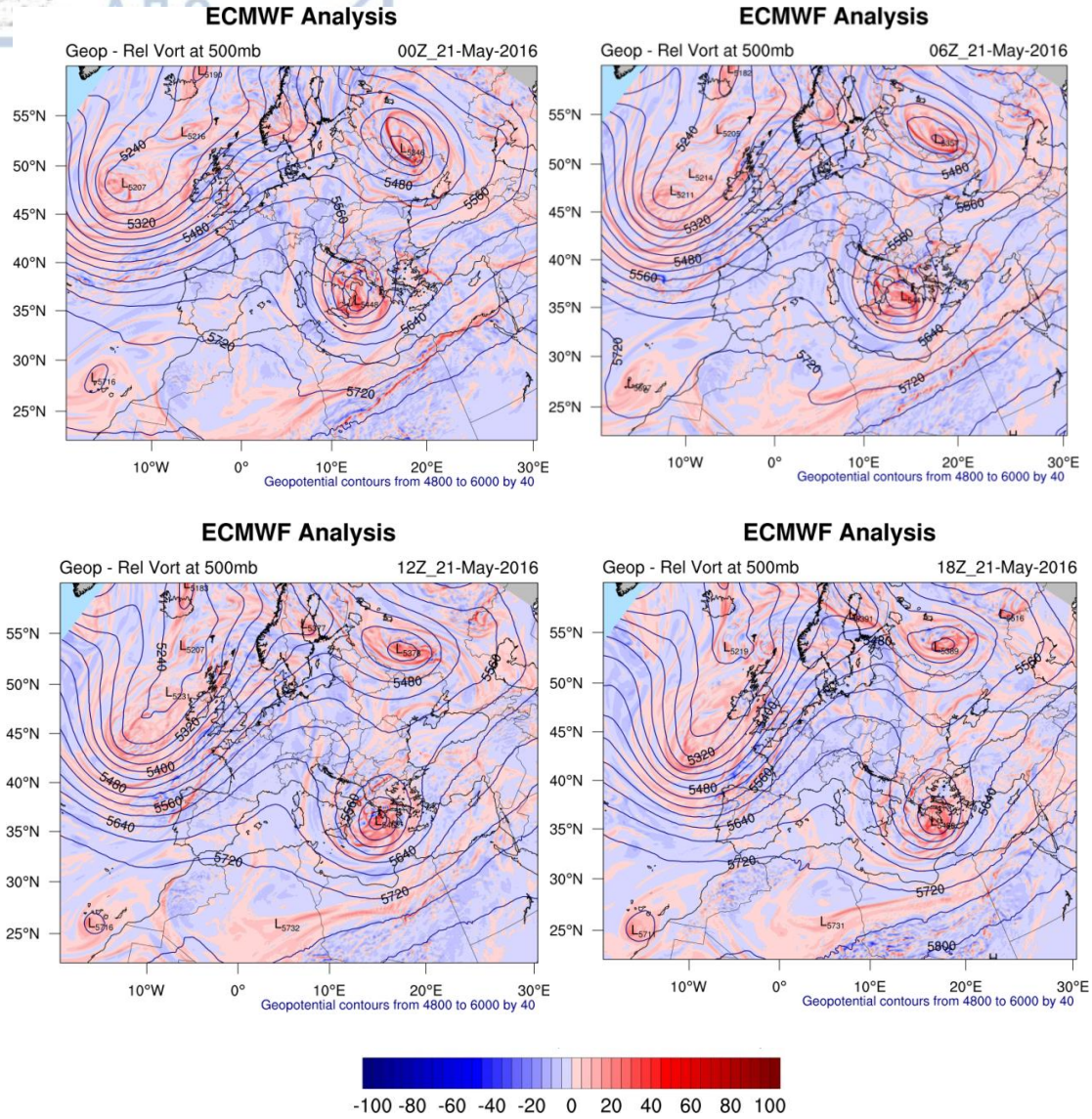
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

3.6 Ανάλυση χαρτών Σχετικού Στροβιλισμού και ισοϋψών στα 500hPa

Όπως φαίνεται στους χάρτες του Σχήματος 3.6, ο σχετικός στροβιλισμός παρουσιάζει θετικές τιμές στο χαμηλό των υψών, στην περιοχή της δυτικής Ελλάδας και στις περιοχές όπου οι ισοϋψείς παρουσιάζουν έντονη καμπύλωση. Στις 06 UTC, ο σχετικός στροβιλισμός έχει μεγάλες θετικές τιμές στην περιοχή της Ημαθίας - Πέλλας ευνοώντας τις ανοδικές κινήσεις και την ενίσχυση των φαινομένων (Σχήμα 3.6). Αυτό οφείλεται σε μια μικρού μήκους κύματος διαταραχή, μια ράχη (trough) που περνάει από την περιοχή της βόρειας Ελλάδας στις 06UTC και στις 12UTC όπως φαίνεται στους χάρτες πίεσης στη μέση στάθμη θάλασσας (Σχήμα 3.5).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Σχήμα 3.6: *Χάρτης ισοϋψών (ανά 40 gm) και σχετικού στροβιλισμού (*10^{-6} K kg^{-1} m^2*) στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa για κάθε 6 ώρες στις 21/05/2016.*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

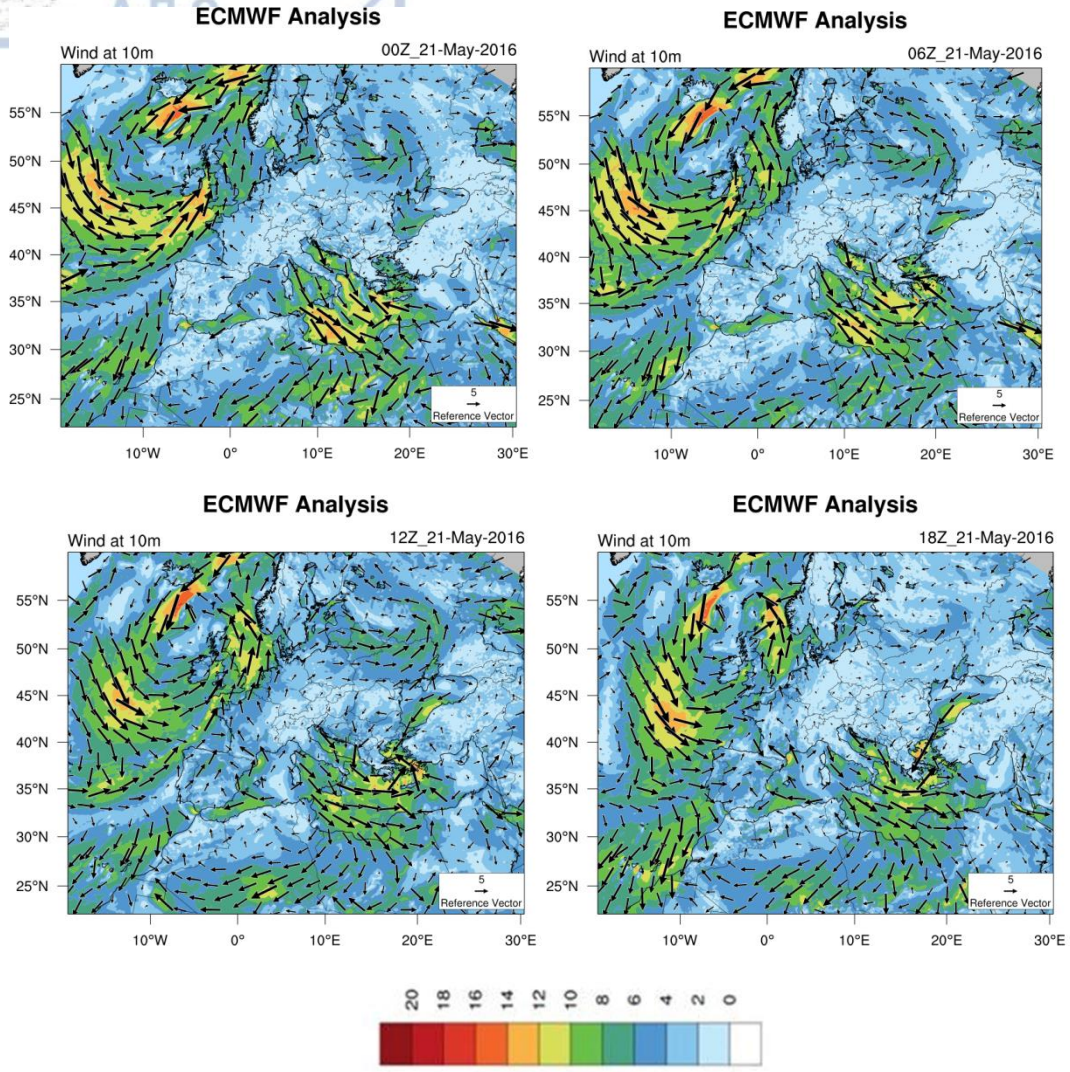
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.7 Ανάλυση χαρτών ανέμου επιφανείας (10 m)

Στο Σχήμα 3.7 αναπαρίστανται η ταχύτητα και η διεύθυνση του οριζόντιου ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια. Σε αντιπαραβολή με το Σχήμα 3.1, φαίνεται ότι όταν το χαμηλό των υψών βρισκόταν ανατολικά της Σικελίας, στις 00 UTC, οι άνεμοι στο Ιόνιο έχουν νότιες διευθύνσεις (Σχήμα 3.7), ενώ στην βόρεια Ελλάδα δεν υπάρχουν άνεμοι ιδιαίτερης έντασης. Από τις 06 UTC, όσο το σύστημα πλησιάζει την Πελοπόννησο, υπάρχει σταδιακή ενίσχυση των ανατολικών ανέμων στο βόρειο Αιγαίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά υγρών και ψυχρών αερίων μαζών στην περιοχή της Ημαθίας – Πέλλας από την περιοχή της Μαύρης Θάλασσας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Σχήμα 3.7: *Χάρτης ταχύτητας (m/s) και διεύθυνσης του ανέμου στα 10 μέτρα για κάθε 6 ώρες στις 21/05/2016.*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

3.8 Κατακόρυφη θερμοδυναμική δομή της ατμόσφαιρας

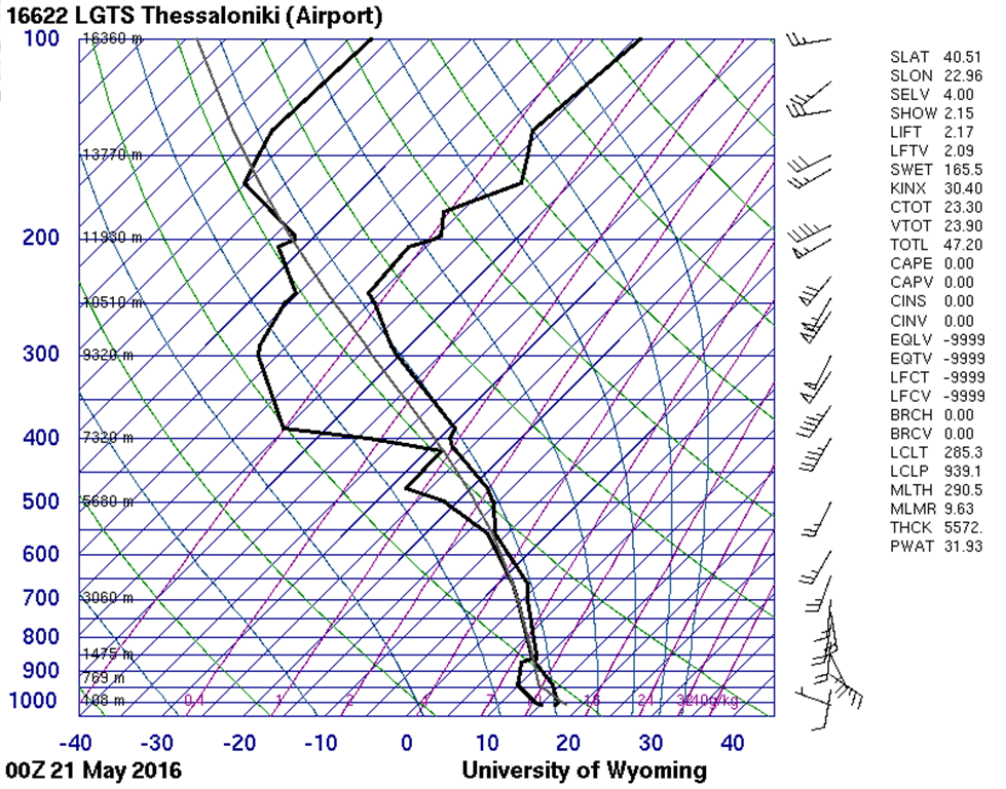
Για να υπάρξουν καιρικά φαινόμενα σε μια περιοχή χρειάζεται η ύπαρξη κάποιου δυναμικού, θερμικού ή μηχανικού αίτιου για τη δημιουργία και εκδήλωση αστάθειας στην ατμόσφαιρα. Όσο πιο μεγάλη είναι η αστάθεια της ατμόσφαιρας τόσο πιο έντονα ανοδικά ρεύματα δημιουργούνται και τόσο πιο έντονα φαινόμενα προκύπτουν ώστε να επανέλθει η ισορροπία της. Στις 21 Μαΐου του 2016 υπήρχε ένα βαρομετρικό χαμηλό στο νότιο Ιόνιο πέλαγος το οποίο συντέλεσε ως κύριο δυναμικό αίτιο στη δημιουργία της αστάθειας.

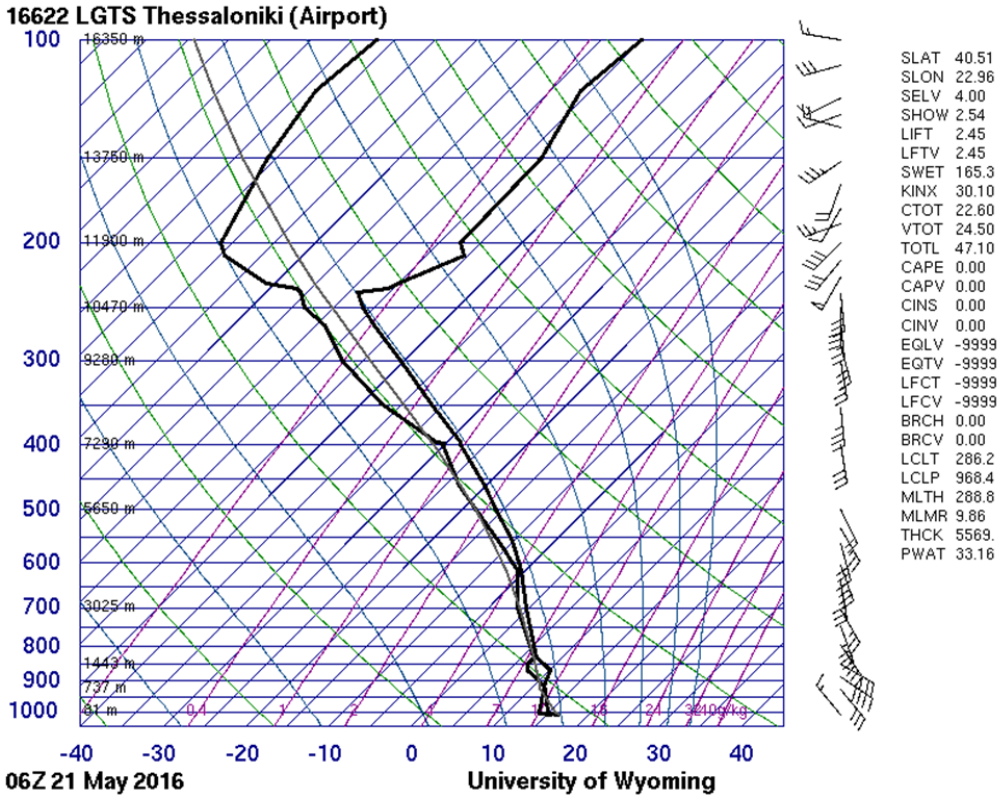
Από τις ραδιοβολίσεις που έγιναν στο αεροδρόμιο «Μακεδονία» της Θεσσαλονίκης, φαίνεται ότι η ατμόσφαιρα είναι κορεσμένη διότι η καμπύλη θερμοκρασίας και η καμπύλη δρόσου πλησιάζουν αρκετά μεταξύ τους από τα 950 μέχρι τα 600 hPa και συνεπώς υπάρχει πλήρης νεφοκάλυψη.

Ήδη από το τεφίγραμμα, στις 00 UTC, φαίνεται από τη διεύθυνση των ανέμων ότι υπάρχουν έντονες συνθήκες αστάθειας διότι στα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας, μέχρι περίπου τα 850hPa, υπάρχει μεταφορά θερμών αερίων μαζών ενώ στα ανώτερα στρώματα (veering), θερμή μεταφορά. Στο τεφίγραμμα στις 06 UTC ο άνεμος στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας (950 hPa – 800 hPa) είναι νοτιοανατολικός και στα 700 hPa μετατρέπεται σε νότιο (veering), συνεπώς υπάρχει μεταφορά θερμών αερίων μαζών και άρα αστάθεια (Καρακώστας, 2005). Πρέπει να σημειωθεί ότι η περιοχή των 700 hPa είναι συνήθως η περιοχή σχηματισμού των νεφών και η μεταφορά θερμών αερίων μαζών από την επιφάνεια έως αυτή την περιοχή υποδηλώνει τουλάχιστον νεφοκάλυψη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"





***Σχήμα 3.8**: Τεφίγραμμα 00 και 06 UTC στις 21 Μαΐου 2016 (ΠΗΓΗ: Wyoming University).*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Στα δεξιά των τεφιγραμμάτων φαίνονται οι θερμοδυναμικοί δείκτες αστάθειας και κάποιοι άλλοι θερμοδυναμικοί δείκτες. Οι δείκτες αστάθειας δείχνουν ότι η ατμόσφαιρα ήταν ασταθής και δίνουν μεγάλη πιθανότητα για μεμονωμένες καταιγίδες και όμβρους (δεξιά στήλες σχήματος 3.8). Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης SHOW (showalter index) είναι 2,15 και 2.54 στις 00 UTC και 06 UTC, αντίστοιχα, και δείχνει πιθανούς όμβρους. Ο δείκτης TOTL (Total Totals index), με τιμές 47,2 και 47,1 στις 00 UTC και 06 UTC, αντίστοιχα, δίνει διάσπαρτες καταιγίδες. Τέλος, ο δείκτης KINX (K index) με τιμές 30,40 και 30,10 στις 00 UTC και 06 UTC, αντίστοιχα, υποδηλώνει διάσπαρτες καταιγίδες (Ζάνης, 2012).

Ο δείκτης LCL ή στάθμη συμπύκνωσης λόγω ανύψωσης, αντιπροσωπεύει το ύψος στο οποίο ένα δείγμα αέρα αρχίζει να συμπυκνώνεται μετά από εξαναγκασμένη ανύψωση. Δηλαδή, είναι η στάθμη στην οποία ένα δείγμα ακόρεστου αέρα ψύχεται όταν ανυψώνεται μηχανικά λόγω σύγκλισης δύο αερίων μαζών. Συνεπώς, το LCL καθορίζει τη βάση των νεφών που δημιουργούνται από δυναμικά αίτια. Η πίεση στο LCL, (δείκτης LCLP), είναι 939,1 hPa και 968,4 hPa, στις 00 UTC και 06 UTC, αντίστοιχα, καθώς με γραμμική παρεμβολή προκύπτει ότι η βάση των σωρειτόμορφων νεφών είναι περίπου στα 765 μέτρα και στα 737 μέτρα, στις 00 UTC και 06 UTC, αντίστοιχα.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 4ο

ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα της επίδρασης των παραμετροποιήσεων των σχημάτων του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος που επιλέχθηκαν σε μετεωρολογικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη βροχόπτωση. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, επιλέχθηκαν τρία σχήματα παραμετροποιήσεων του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, ώστε να ελεγχθεί ποιο προσομοιώνει καλύτερα το υπό μελέτη επεισόδιο έντονης βροχόπτωσης.

Αρχικά, για να μελετηθεί το εκάστοτε σχήμα παραμετροποίησης του ΑΟΣ πραγματοποιήθηκαν απεικονίσεις διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως η ανακλαστικότητα, η αθροιστική ημερήσια βροχόπτωση, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία. Με αυτό τον τρόπο γίνεται μια προσπάθεια να ελεγχθεί η

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

συμπεριφορά του εκάστοτε σχήματος στο ισχυρό επεισόδιου βροχόπτωσης στην περιοχή Ημαθίας – Πέλλας στην Κεντρική Μακεδονία στις 21 Μαΐου 2016.

Στη συνέχεια, γίνονται συγκρίσεις μεταξύ των σχημάτων, ώστε να γίνει μια προσπάθεια αξιολόγησης των τριών σχημάτων ως προς τη βέλτιστη περιγραφή του επεισοδίου έντονης βροχόπτωσης. Ως προσομοίωση αναφοράς (control experiment) θεωρήθηκε το σχήμα YSU, καθώς από τη βιβλιογραφία φαίνεται ότι είναι το σχήμα που προσομοιώνει πιο κοντά στις πραγματικές τιμές (Xie et al., 2013, Balzarini et al., 2015). Για τις προσομοιώσεις ευαισθησίας (sensitivity experiments) χρησιμοποιήθηκαν τα άλλα δύο σχήματα του ΑΟΣ, δηλαδή τα MYJ και MYNN2. Οι συγκρίσεις των σχημάτων του ΑΟΣ γίνονται πάνω στην ικανότητα τους να προσομοιώσουν τη βροχόπτωση του υπό μελέτη επεισοδίου.

4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΟΠΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΑΟΣ

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζονται οι απεικονίσεις που προέκυψαν από την εφαρμογή των τριών διαφορετικών σχημάτων προσωμοιώσεων του ΑΟΣ (YSU, MYJ και MYNN) στο περιοχικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού WRF-ARW, ώστε να εκτιμηθούν οι διαφορές ανάμεσα στα σχήματα. Στην ομάδα σχημάτων 4.1 παρουσιάζεται η σχετική υγρασία στην ισοβαρική επιφάνεια των 700 hPa για την περιοχή της Ημαθίας – Πέλλας (domain 3). Στις επόμενες δύο ομάδες σχημάτων 4.2 και 4.3 απεικονίζονται δύο πολύ βασικές παράμετροι τόσο για τη μελέτη ενός φαινομένου, όσο και για τη πρόγνωση του, τα γεωδυναμικά ύψη στις ισοβαρικές επιφάνειες των 500 και 850 hPa, αντίστοιχα.

Στην ομάδα σχημάτων 4.1 απεικονίζεται η σχετική υγρασία στην ισοβαρική επιφάνεια των 700 hPa για την περιοχή Domain 3 για τις προγνωστικές ώρες 12 UTC και 18 UTC για την 21^{η} Μαΐου 2016 για τα τρία σχήματα του ΑΟΣ (YSU, MYJ και MYNN2). Και τα τρία σχήματα παρουσιάζουν ποσοστά υγρασίας πάνω απο 90% στο

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

μεγαλύτερο μέρος της περιοχής ενδιαφέροντος με το σχήμα MYNN2 να εμφανίζει ελαφρώς πιο υγρό περιβάλλον σε όλες τις προγνωστικές ώρες (Σχήμα 4.1). Αυτό σημαίνει ότι και για τα τρία σχήματα επικρατούν συνθήκες σχεδόν πλήρους νεφοκάλυψης και βροχοπτώσεων. Αξίζει να αναφερθεί ότι στις 18UTC απεικονίζεται ξηρός τομέας στην περιοχή της θάλασσας στα νότια της Χαλκιδικής (Σχήμα 4.1). Πρέπει να σημειωθεί οτι οι προγνωστικές ώρες που παρουσιάζονται επιλέχθηκαν σύμφωνα με την ώρα εμφάνισης των φαινομένων αλλά, επίσης, είναι ώρες κατά τις οποίες το ΑΟΣ εμφανίζει την πλήρη δομή του και συνεπώς τα υπό μελέτη σχήματα παραμετροποιήσεων του ΑΟΣ εμφανίζουν τη μεγαλύτερη επίδρασή τους.

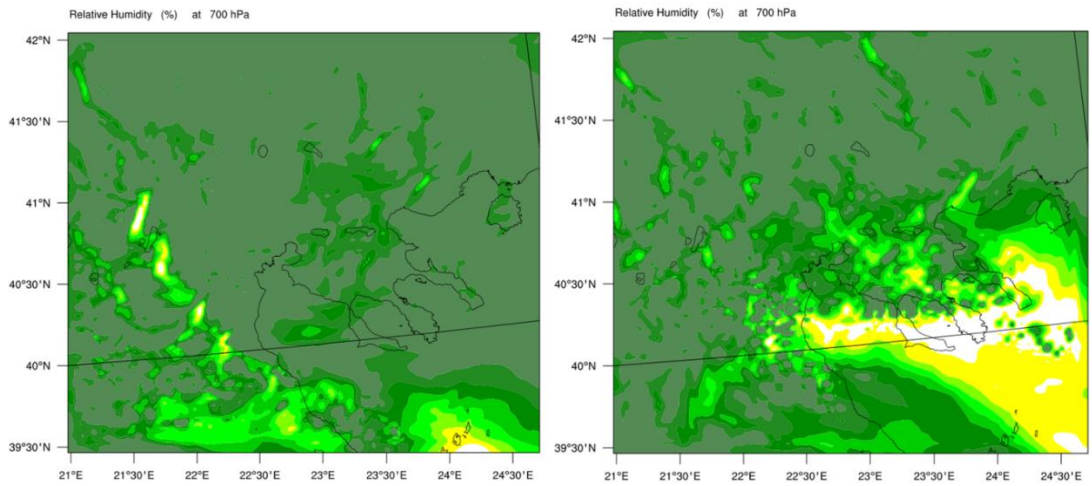
Όλα τα σχήματα, τόσο η προσομοίωση αναφοράς, YSU, όσο και τα σχήματα προσομοιώσεων ευαισθησίας παρουσιάζουν ελάχιστες διαφορές στην προσομοίωση της σχετικής υγρασίας. Τόσο στις 12 UTC που το ΑΟΣ είναι σε πλήρη ανάπτυξη όσο και στις 18 UTC που το ΑΟΣ έχει αρχίσει να καταρρέει.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

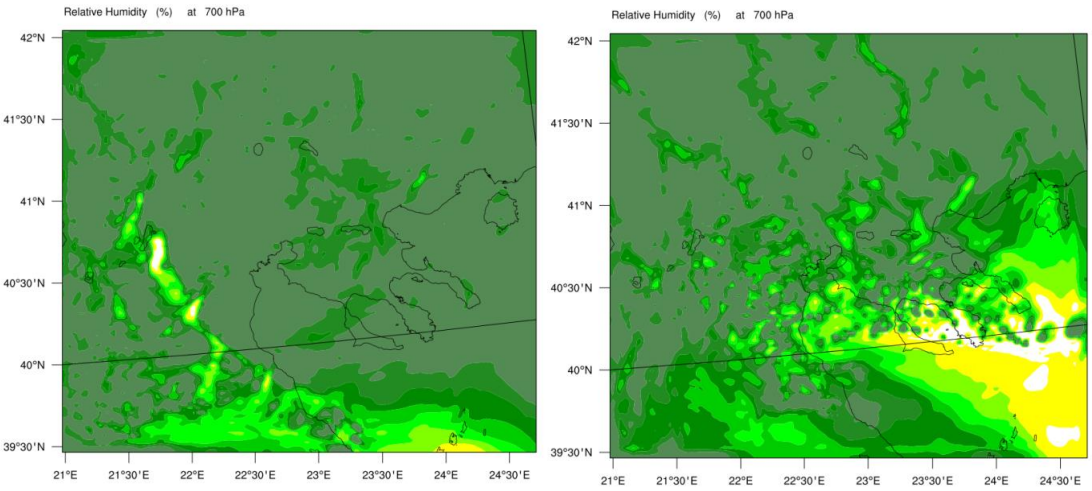
YSU

12UTC 18UTC



MYJ

12UTC 18UTC

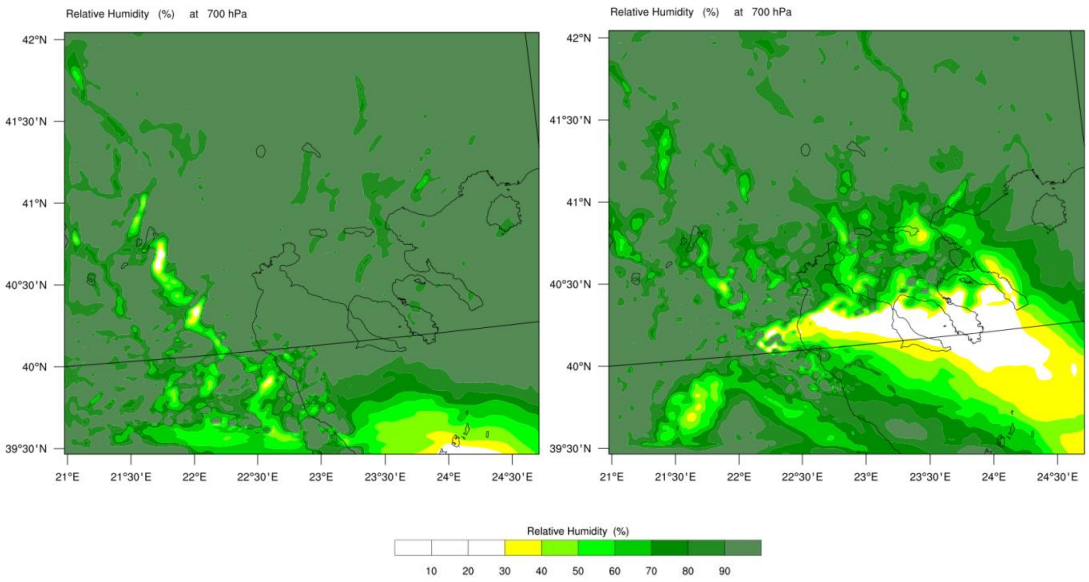


Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

MYNN2

12UTC 18UTC



***Σχήμα 4.1**: Σχετική υγρασία (%) στην ισοβαρική επιφάνεια των 700 hPa. Για τις 12UTC και 18 UTC την 21η Μαΐου 2016, στην περιοχή D03 για τις προσομοιώσεις: α) YSU, β) MYJ και γ) MYNN του WRF-ARW.*

Στις ομάδες σχημάτων που ακολουθούν (Σχήμα 4.2 και 4.3) απεικονίζονται δύο πολύ σημαντικά πεδία για τη μελέτη συνοπτικών συνθηκών, πιο συγκεκριμένα σε αυτές απεικονίζονται το γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa και των 850 hPa, στις 12 UTC και 18 UTC.

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3, στη συνοπτική ανάλυση των πραγματικών δεδομένων, στις 21 Μαΐου 2016, στο επίπεδο των 500hPa και στα τρία σχήματα παραμετροποίησης του ΑΟΣ εμφανίζεται ένα χαμηλό των γεωδυναμικών υψών που κινείται από τη νότια Ιταλία προς την Πελοπόννησο. Παράλληλα, υπάρχει μια ισχυρή ράχη στην κέντρο – δυτική Ευρώπη. Λόγω της θέσης του χαμηλού, και στα τρία σχήματα του ΑΟΣ, φαίνεται ότι μετακινούνται θερμές και υγρές αέριες μάζες από νοτιότερες περιοχές διαμέσου του Θερμαϊκού κόλπου προς την περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας.

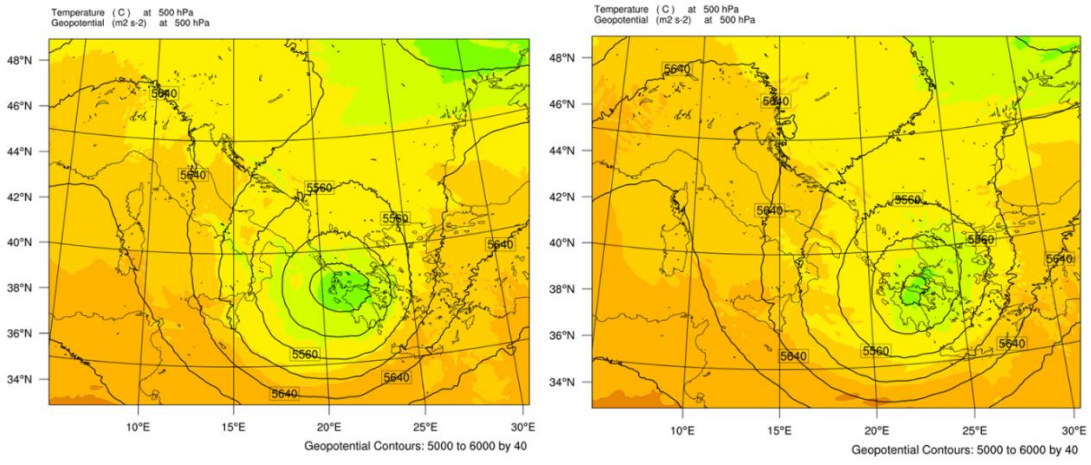
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Στο επίπεδο των 850 hPa και τα τρία σχήματα εμφανίζουν ένα κλειστό σύστημα χαμηλών υψών με κέντρο τη Στερεά Ελλάδα στις 12 UTC. Έξι ώρες αργότερα φαίνεται ότι το κέντρο του συστήματος έχει μετακινηθεί πάνω από την Βοιωτία και στα τρία σχήματα παραμετροποιήσεων του ΑΟΣ. Φαίνεται ότι το σύστημα των χαμηλών υψών φέρνει ψυχρές αέριες μάζες πάνω από την ηπειρωτική Ελλάδα και συντελεί στην ενίσχυση της βαροκλινικότητας. Σε σύγκριση με τους αντίστοιχους χάρτες στα 500 hPa (Σχήμα 4.2) φαίνεται ότι το σύστημα βρίσκεται στην φάση της ανάπτυξής του διότι περνάει πάνω από τον Ελλαδικό χώρο με κλίση προς τα δυτικά καθ' ύψος.

YSU

12UTC 18UTC

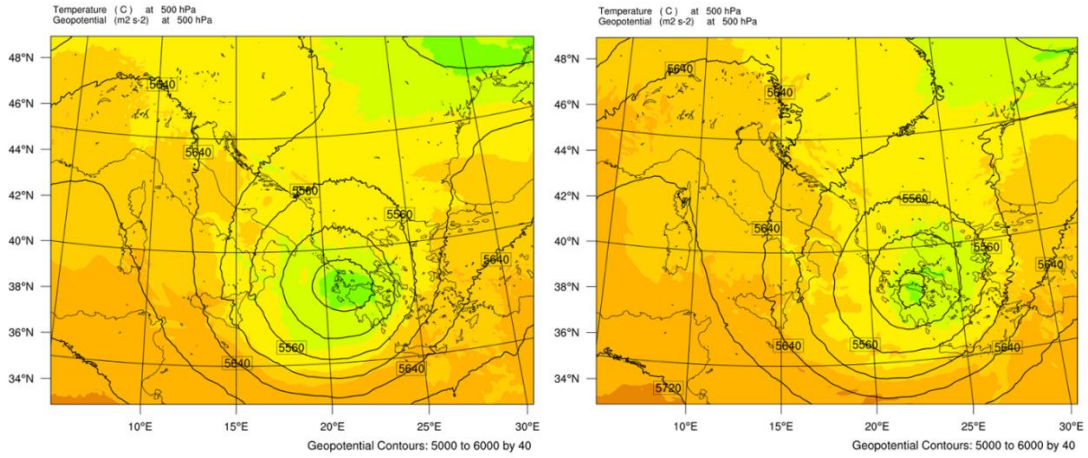


Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

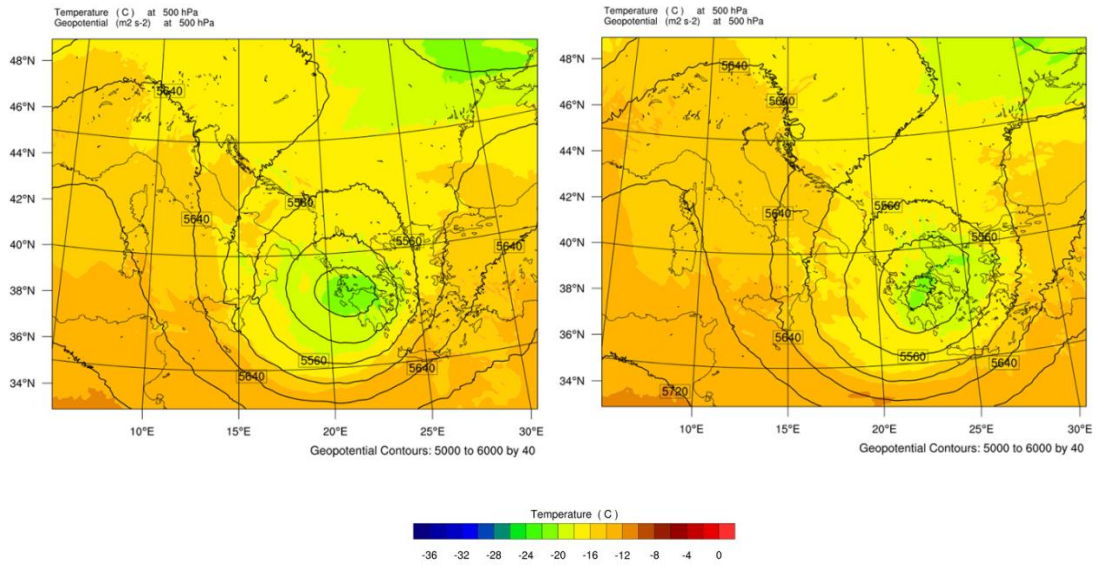
MYJ

12UTC 18UTC



MYNN2

12UTC 18UTC



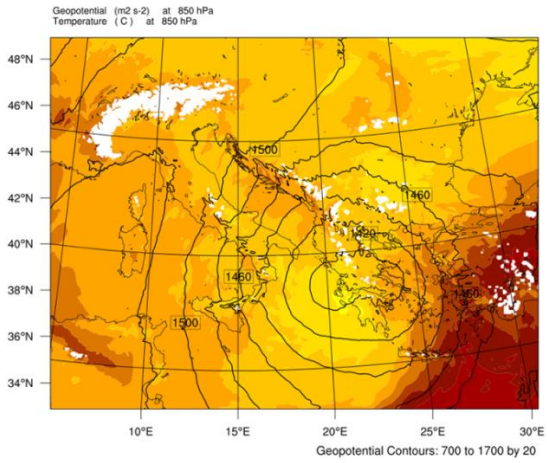
Σχήμα 4.2: *Χάρτες ισοϋψών (ανά 40 gm) και Θερμοκρασίας (°C) στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa, στις 12 και 18 UTC. Για την 21η Μαΐου 2016, στην περιοχή D03 για τις προσομοιώσεις: α) YSU, β) MYJ και γ) MYNN του WRF-ARW.*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

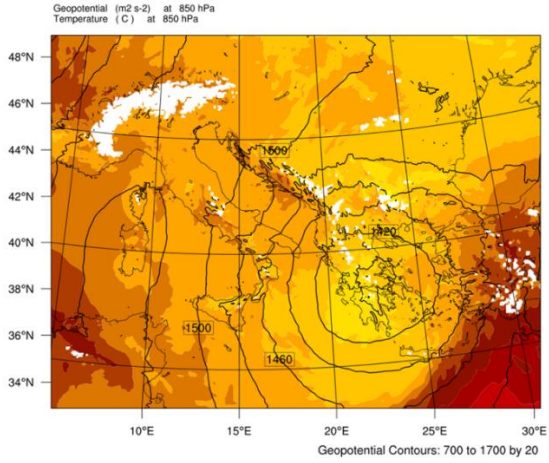
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

YSU

12UTC

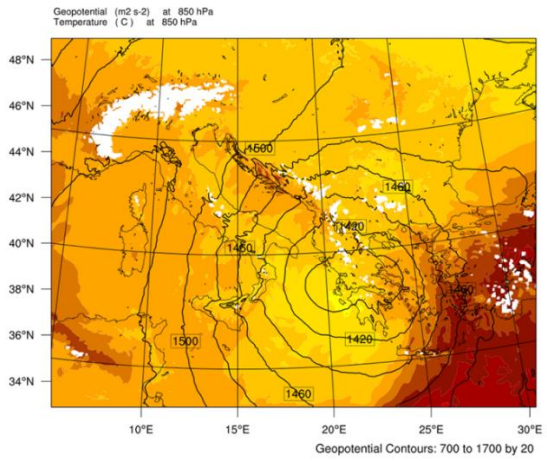


18UTC

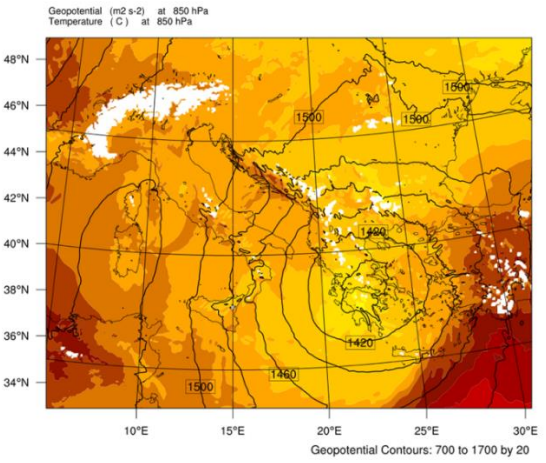


MYJ

12UTC



18UTC

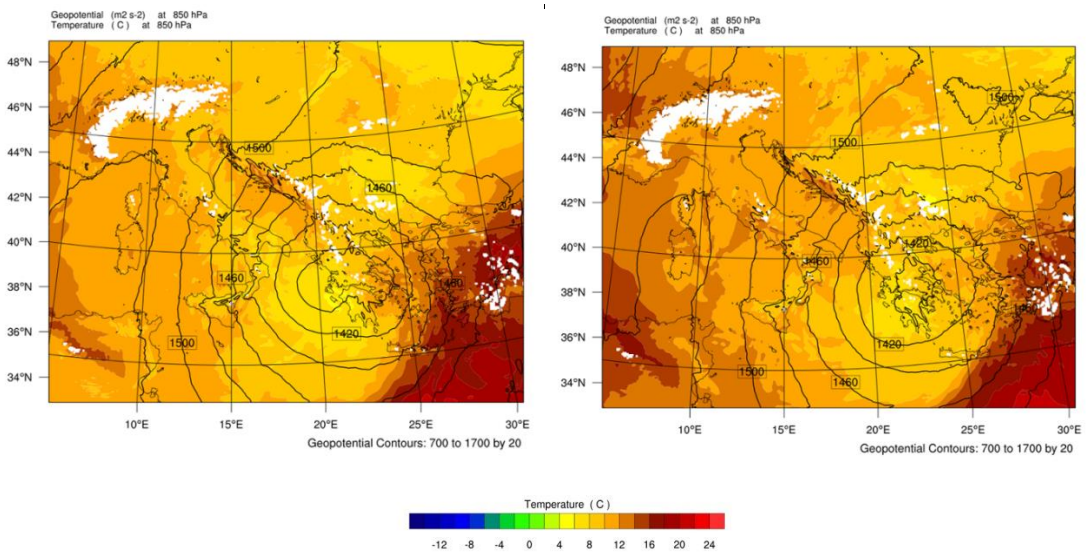


Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

MYNN2

12UTC 18UTC



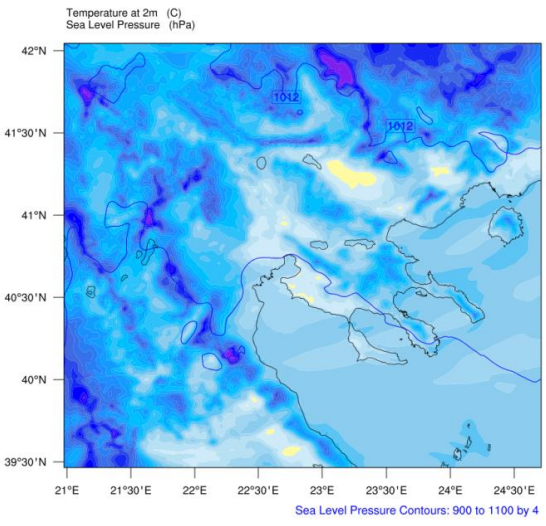
Σχήμα 4.3: *Χάρτες ισοϋψών (ανά 20 gm) και Θερμοκρασίας (°C) στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa, στις 12 και 18 UTC. Για την 21η Μαΐου 2016, στην περιοχή D03 για τις προσομοιώσεις: α) YSU, β) MYJ και γ) MYNN του WRF-ARW.*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

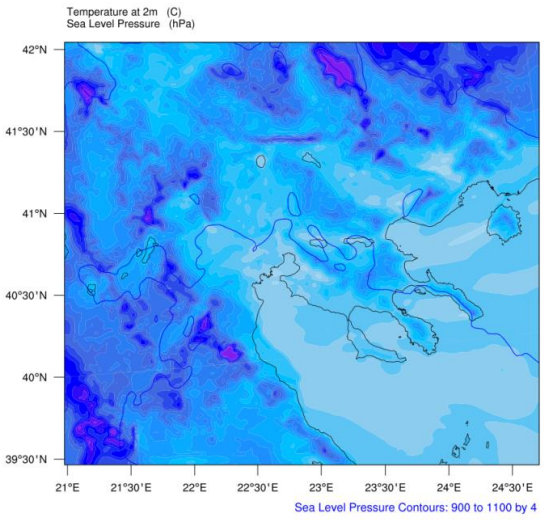
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

YSU

12UTC

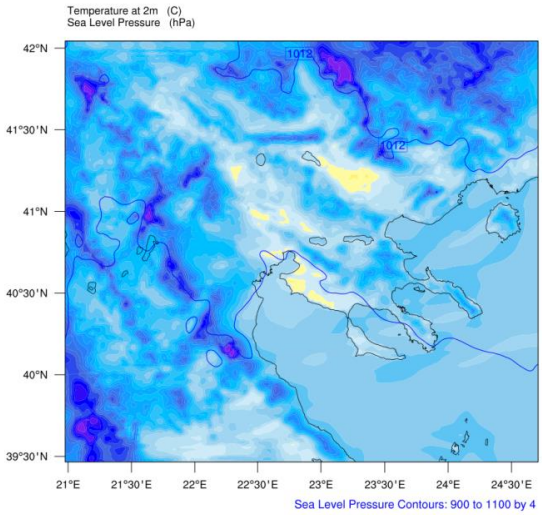


18UTC

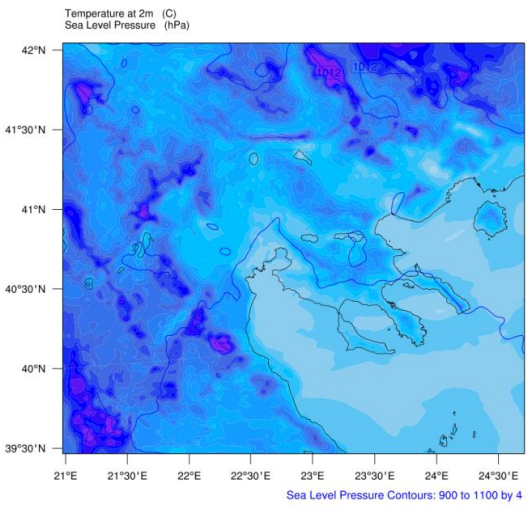


MYJ

12UTC



18UTC

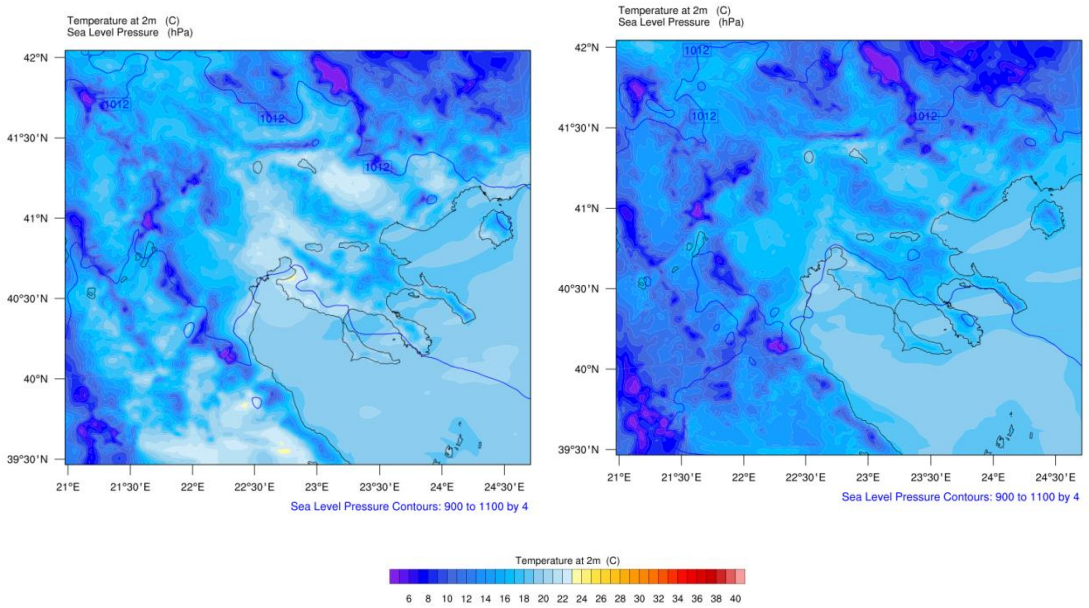


Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

MYNN2

12UTC 18UTC



Σχήμα 4.4: *Χάρτες ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) και θερμοκρασία 2m (°C) στις 12 και 18 UTC. Για την 21η Μαΐου 2016, στην περιοχή D03 για τις προσομοιώσεις: α) YSU, β) MYJ και γ) MYNN του WRF-ARW.*

Σύμφωνα με τους Xie et al. (2012) τα σχήματα του ΑΟΣ που χρησιμοποιούν τοπική (local) προσέγγιση υπολογίζουν μικρότερες τιμές θερμοκρασίας στα 2 μέτρα από ότι τα σχήματα που χρησιμοποιούν μη τοπική (non local) προσέγγιση. Αυτό φαίνεται να ισχύει στην περίπτωση του MYNN2 το οποίο στις 12 UTC, όταν υπάρχουν και τα περισσότερα φαινόμενα (Σχήμα 4.4). Το MYNN2 σε σύγκριση με το σχήμα της προσομοίωσης αναφοράς (control experiment), YSU, υποτιμάει τις θερμοκρασίες στα 2 μέτρα. Η θερμοκρασία στα 2 μέτρα είναι σημαντική διότι μαζί με τις ροές θερμότητας επηρεάζεται άμεσα από την ακτινοβολία ή οποία με τη σειρά της επηρεάζεται από τη νεφοκάλυψη. Η νεφοκάλυψη συνδέεται με τη θερμοκρασία, την υγρασία και τις ροές ενέργειας μικρής κλίμακας που παράγονται απο τις παραγοντοποιήσεις το εκάστοτε σχήματος ΑΟΣ. Ωστόσο, το σχήμα MYJ φαίνεται να

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

μην συμφωνεί με τα συμπεράσματα των Xie et al. (2012) (Σχήμα 4.4) για τα σχήματα με τον υπολογισμό της θερμοκρασίας στα δυο μέτρα από τα σχήματα τοπικής (local) προσέγγισης, μάλιστα παρουσιάζει κατά τόπους μεγαλύτερη θερμοκρασία σε σύγκριση με το YSU, αυτό απεικονίζεται με κίτρινο χρώμα στις περιοχές της δυτικής Χαλκιδικής και στους κάμπους Αξιού και Σερρων στο σχήμα 4.4.

4.3 ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ 24ΩΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

Το επεισόδιο ισχυρής βροχόπτωσης που μελετά η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είχε ώρα έναρξης στις 12 UTC της 21^{ης} Μαΐου 2016. Η ένταση των φαινομένων κράτησε 6 ώρες. Συνεπώς, καθόλη τη διάρκεια του σχηματισμένου ασταθούς ΑΟΣ όπως δίνεται από τη βιβλιογραφία.

Στην ομάδα σχημάτων 4.5 απεικονίζεται η αθροιστική βροχόπτωση για το υπό μελέτη 24ωρο σε mm. Ο υπολογισμός της συνολικής βροχόπτωσης του 24 ώρου εγίνε χωρίς να υπολογιστούν οι 6 πρώτες ώρες του 24ώρου διότι θεωρήθηκαν σφάλμα του WRF λόγω spin up. Η περιοχή που παρουσιάζεται είναι η περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας όπως έχει προσδιοριστεί και χαρακτηριστεί στο κεφάλαιο 1 ως domain 3.

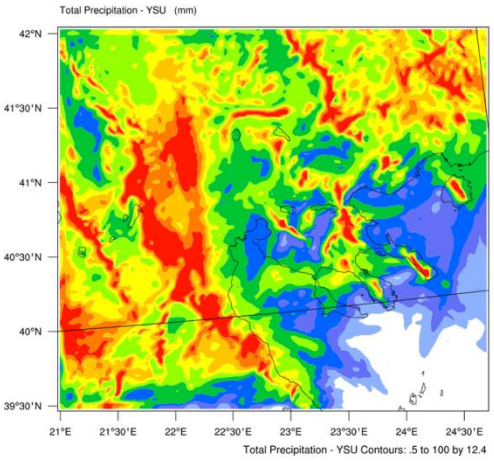
Από τα σχήματα 4.5, φαίνεται ότι τα τρία σχήματα παραμετροποιήσεων του ΑΟΣ εμφανίζουν ελάχιστες διαφορές ως προς την χωρική κατανομή της βροχόπτωσης και της έντασής της. Επιπλέον, με μια ποιοτική σύγκριση των αθροιστικών βροχοπτώσεων 24ώρου του εκάστοτε σχήματος με την εικόνα του ραντάρ του Φιλύρου (Σχήμα 4.6) φαίνεται ότι και τα τρία σχήματα παραμετροποιήσεων του ΑΟΣ προσομοιάζουν χωρικά κοντά στην πραγματική βροχόπτωση με μια μικρή μετατόπιση των μεγίστων στα δυτικά. Επίσης, η περιοχή των μεγίστων στα τρία σχήματα παραμετροποιήσεων του ΑΟΣ έχει κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο, ενώ στο ραντάρ η κατεύθυνση είναι από βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά (Σχήματα 4.5 και 4.6). Το σχήμα του ΑΟΣ MYNN2 εμφανίζει περιοχές με χαμηλή βροχόπτωση

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

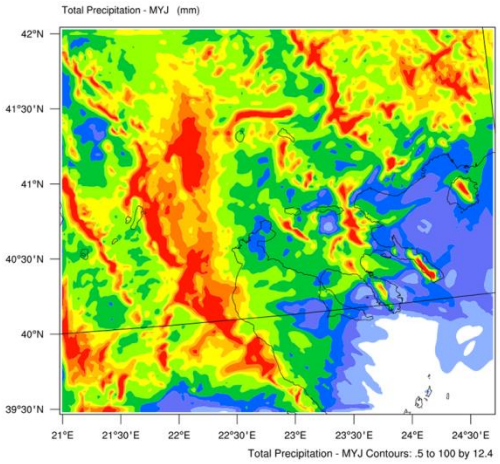
Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

σε σύγκριση με τα άλλα δύο σχήματα (Σχήμα 4.5) το οποίο οφείλεται στο ότι δίνει χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας στα 2 μέτρα σε σχέση με τα άλλα δύο σχήματα (Σχήμα 4.4), όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Ακόμη, το MYNN2 δίνει μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης στα προσήνεμα του Βερμίου και συνεπώς μικρότερα ύψη στα ορεινά σε σύγκριση με τα άλλα δύο σχήματα.

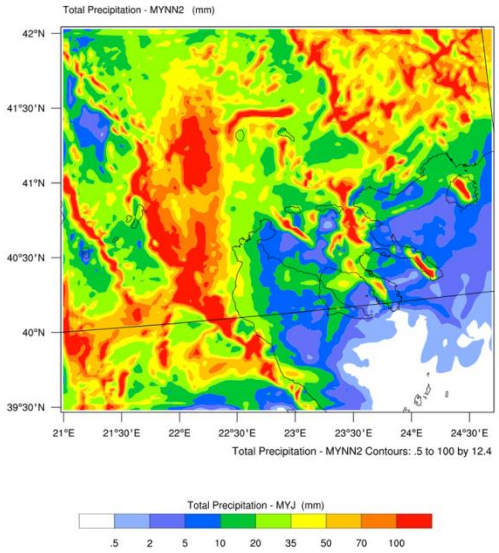
YSU



MYJ



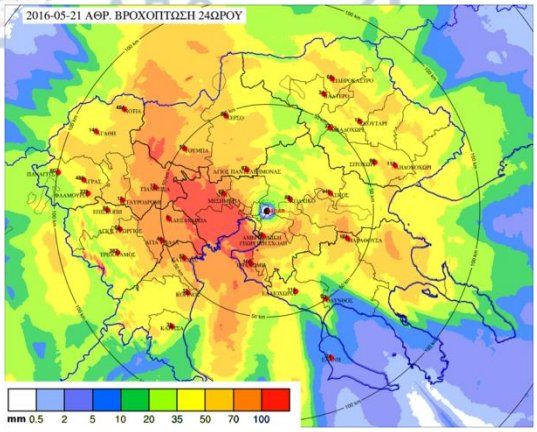
MYNN2



Σχήμα 4.5: *Χάρτες βροχόπτωσης 24ώρου (σε mm) (χωρίς τις πρώτες 6ώρες, δηλαδή από τις 00UTC 21/05/2016 μέχρι τις 00UTC 22/05/2016) την 21η Μαΐου 2016. Στην περιοχή D03 για τις προσομοιώσεις: α) YSU, β) MYJ και γ) MYNN του WRF-ARW.*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



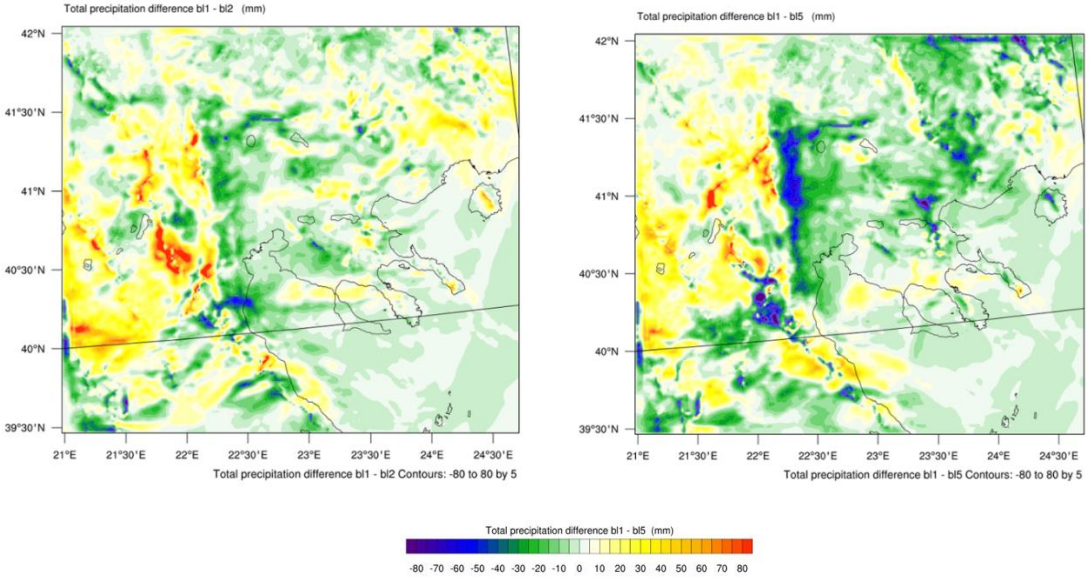
Σχήμα 4.6: *Χάρτης βροχόπτωσης 24ώρου (σε mm) την 21η Μαΐου 2016 (από τις 00UTC 21/05/2016 μέχρι τις 00UTC 22/05/2016) όπως υπολογίστηκε από το ραντάρ ΤΙΤΑΝ. (πηγή: ΤΙΤΑΝ, 3Δ).*

Συγκρίνοντας, τις διαφορές μεταξύ της προσομοίωσης αναφοράς, YSU και της προσομοίωσης ευαισθησίας MYJ, προκύπτει ότι επί των πλείστων δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην ένταση της βροχόπτωσης (Σχήμα 4.7). Ωστόσο, εμφανίζονται κάποιες περιοχές στο όρος Βέρμιο με έντονα θετικά αποκλίσεις υπέρ του YSU. Αυτό σημαίνει, ότι σε ορισμένες περιοχές το MYJ υποεκτιμά τη βροχόπτωση σε σχέση με το YSU. Σύμφωνα με τη τους Xie et al., 2012, το MYJ δίνει χαμηλές δυνητικές θερμοκρασίες και συνεπώς τα θερμικά δεν είναι πάντα επαρκή για να προκαλέσουν ανοδικές κινήσεις των αερίων μαζών.

Η σύγκριση της προσομοίωσης αναφοράς, YSU και της προσομοίωσης ευαισθησίας MYNN2 παρουσιάζει, επίσης, μια γενική ομοιογένοια ως προς τη χωρική κατανομή της βροχόπτωσης και την έντασή της. Παρόλα αυτά υπάρχει μια έντονη αρνητική διαφορά ανάμεσα στα δύο σχήματα (Σχήμα 4.7), διότι το σχήμα MYNN2 παρουσιάζει μετατόπιση των μεγίστων υψών βροχόπτωσης στα προσήνεμα του Βερμίου, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως (Σχήμα 4.5) και συνεπώς δίνει περισσότερη βροχόπτωση στην περιοχή έναντι του σχήματος αναφοράς.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"



Σχήμα 4.7: *Διαφορές αθροιστικής βροχόπτωσης 24ώρου (σε mm) ανάμεσα στα σχήματα ΑΟΣ. Στις 21 Μαΐου για τα σχήματα: YSU – MYJ και YSU – MYNN2.*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 5ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη έντονων καιρικών φαινομένων με τη βοήθεια αριθμητικών προγνωστικών μοντέλων είναι κύριας σημασίας για τη βελτιστοποίηση των τελευταίων και κατά συνέπεια την καλύτερη πρόγνωση του καιρού. Η κατανόηση της συμπεριφοράς των παραμετροποιήσεων των διαφόρων φυσικών διεργασιών μπορεί να οδηγήσει σε επιλογή ή και εύρεση κατάλληλων σχημάτων για τη βέλτιστη περιγραφή των εκάστοτε φαινομένων.

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Διατριβή έχει ως σκοπό τη σύγκριση τριών διαφορετικών σχημάτων παραμετροποιήσεων του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος όταν αυτά εφαρμόζονται σε προσομοίωση ενός έντονου επεισοδίου

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

βροχόπτωσης κατά την εαρινή περίοδο. Πιο συγκεκριμένα, το υπό μελέτη επεισόδιο σημειώθηκε στις 21 Μαΐου 2016 στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας.

Με μελέτη των χαρτών καιρού που περιγράφουν τη συνοπτική κατάσταση εκείνης της 21ης Μαΐου 2016 προκύπτει ότι το έντονο επεισόδιο βροχόπτωσης στην περιοχή της Ημαθίας – Πέλλας δημιουργήθηκε από ένα χαμηλό των υψών το οποίο πέρασε από τη στερεά Ελλάδα. Το χαμηλό των υψών ήταν σε φάση ανάπτυξης και ενίσχυσης με αποτέλεσμα να ενισχύσει τις ανοδικές κινήσεις των αερίων μαζών στην περιοχή και συνεπώς να ευνοηθεί η ανάπτυξη καταιγίδων.

Προκειμένου να διαπιστωθεί ποιο σχήμα παραμετροποιήσεων του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος προσομοιώνει καλύτερα το φαινόμενο της έντονης βροχόπτωσης έγιναν προσομοιώσεις των φυσικών και μετεωρολογικών παραμέτρων για τα τρία σχήματα παραμετροποίησης του ΑΟΣ οι οποίες δε διέφεραν αξιοσημείωτα μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, το σχήμα YSU θεωρήθηκε ως προσομοίωση αναφοράς (control experiment) και τα άλλα δύο σχήματα, MYJ και MYNN2, χρησιμοποιήθηκα ως προσομοιώσεις ευαισθησίας (sensitivity experiments). Με απεικόνιση των διαφορών των αθροιστικών βροχοπτώσεων 24 ώρου φαίνεται ότι οι διαφορές των σχημάτων δεν ήταν αξιοσημείωτες. Υπήρχε κάποια υποεκτίμηση της βροχόπτωσης απο μέρους του MYJ σε σχέση με το YSU, το οποίο σύμφωνα με τους Xie et al., 2012, μπορεί να οφείλεται στο ότι το MYJ δίνει χαμηλές δυνητικές θερμοκρασίες και συνεπώς τα θερμικά δεν είναι πάντα επαρκή για να προκαλέσουν ανοδικές κινήσεις των αερίων μαζών.

Σύμφωνα με τους Xie et al. (2012) τα σχήματα του ΑΟΣ που χρησιμοποιούν τοπική (local) προσέγγιση υπολογίζουν μικρότερες τιμές θερμοκρασίας στα 2 μέτρα από ότι τα σχήματα που χρησιμοποιούν μη τοπική (non local) προσέγγιση. Αυτό φαίνεται να ισχύει στην περίπτωση του MYNN2 το οποίο στις 12 UTC, όταν υπάρχουν και τα περισσότερα φαινόμενα. Το MYNN2 σε σύγκριση με το σχήμα της προσομοίωσης αναφοράς (control experiment), YSU, υποτιμάει τις θερμοκρασίες στα 2 μέτρα. Η θερμοκρασία στα 2 μέτρα είναι σημαντική διότι μαζί με τις ροές θερμότητας

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

επηρεάζεται άμεσα από την ακτινοβολία ή οποία με τη σειρά της επηρεάζεται από τη νεφοκάλυψη. Η νεφοκάλυψη συνδεέται με τη θερμοκρασία, την υγρασία και τις ροές ενέργειας μικρής κλίμακας που παράγονται απο τις παραγοντοποιήσεις το εκάστοτε σχήματος ΑΟΣ. Ωστόσο, το σχήμα MYJ φαίνεται να μην συμφωνεί με τα συμπεράσματα των Xie et al. (2012) για τα σχήματα με τον υπολογισμό της θερμοκρασίας στα δυο μέτρα από τα σχήματα τοπικής (local) προσέγγισης. Μάλιστα, σε σύγκριση με το σχήμα της προσομοίωσης αναφοράς (control experiment), YSU, υπερεκτιμάει τις μέγιστες τιμές θερμοκρασίας στα 2 μέτρα (Σχήμα 4.4). Αντίθετα, το MYNN2 δίνει χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας στα 2 μέτρα σε σχέση με τα άλλα δύο σχήματα (Σχήμα 4.4) και συνεπώς εμφανίζει περιοχές με χαμηλή βροχόπτωση σε σύγκριση με τα άλλα δύο σχήματα (Σχήμα 4.5).

Το σχήμα MYNN2, παρουσιάζει μια μικρή χωρική μετατόπιση στα μέγιστα ποσά της βροχόπτωσης ως προς το σχήμα αναφοράς YSU, δίνοντας μεγαλύτερες τιμές βροχόπτωσης στα πεδινά (Σχήμα 4.7).

Τέλος, και τα τρία σχήματα παραμετροποιήσεων του ΑΟΣ (YSU, MYJ, MYNN2) προσομοιάζουν χωρικά κοντά στην πραγματική βροχόπτωση με μια μικρή μετατόπιση των μεγίστων στα δυτικά (Σχήματα 4.5 και 4.6).

Η αλλαγή και μόνο του σχήματος του Ατμοσφαιρικού Οριακού στρώματος φαίνεται ότι δεν είναι αρκετή για να προκαλέσει μεγάλες διαφορές στη χωρική κατανομή της βροχόπτωσης και την έντασή της. Τα σχήματα του ΑΟΣ συνδέονται άμεσα με τα σχήματα επιφανείας και τα σχήματα επιφανειακού στρώματος. Αυτά καθορίζουν τη μεταφορά λανθάνουσας θερμότητας και συνεπώς δημιουργία θερμικών στροβίλων στο ΑΟΣ.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Angevine, Wayne M., Hongli Jiang, and Thorsten Mauritsen, 2010: Performance of an eddy diffusivity–mass flux scheme for shallow cumulus boundary layers. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 2895–2912.

Bretherton, Christopher S., and Sungsu Park, 2009: A new moist turbulence parameterization in the Community Atmosphere Model. *J. Climate,* **22**, 3422–3448.

Bougeault, P., P. Lacarrere, 1989: Parameterization of Orography–Induced Turbulence in a Mesobeta—Scale Model. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1872–1890.

COMET, 2019: Influence of Model Physics on NWP Forecasts - version 2 (online course). https://www.meted.ucar.edu (accessed on 9 September 2019).

Efstathiou G.A., Zoumakis N.M., Melas D., Lolis C.J., Kassomenos P., 2014: Sensitivity of WRF to boundary layer parameterizations in simulating a heavy rainfall event using different microphysical schemes. Effect on large-scale processes, Atmospheric Research, Volumes 132–133, October–November 2013, Pages 125-143

Hong, S. Y., and H. L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 2322–2339.

Karacostas, T. S. 1984. The design of the Greek national hail suppression program. In Proc. 9th Conf. on Weather Modification, pp. 26-27.

Karacostas, T. S. 1989. The Greek national hail suppression program: design and conduct of the experiment. In Proc. 5th WMO Sci. Conf. on Wea. Mod. And Appl. Cloud Physics, pp. 605-608.

Karacostas, T. S., Flocas, A. A., Flocas, H. A., Kakaliagou, O., & Rizou, C. (1992, May). A study of the synoptic situations over the area of Eastern Mediterranean. In Proceedings, 1st Greek Conf. On Meteorology-Climatology-Physics of the Atmosphere, pp. 21-23.

Kartsios, S., Pytharoulis, I., & Dimitrakopoulos, A. P. (2014). Coupled Weather–Wildland Fire Model for fire behavior interpretation. Proceedings of the 12th on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, 28-31.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Katsafados, P., Papadopoulos, A., Mavromatidis, E., & Gikas, N. (2011). Quantitative verification statistics of WRF predictions over the Mediterranean region. 12th annual WRF users' event, 20-24.

Kiehl and Kevin E. Trenberth, 1996, Earth's Annual Global MeanEnergy Budget, American Meteorological Society

Janjic, Z. I., 1990: The step-mountain coordinate: physical package, Mon. Wea. Rev., 118, 1429–1443.

Janjic, Z. I., 1994: The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes, Mon. Wea. Rev., 122, 927–945.

Janjic, Z. I., 1996: The surface layer in the NCEP Eta Model, Eleventh Conference on Numerical Weather Prediction, Norfolk, VA, 19–23 August; Amer. Meteor. Soc., Boston, MA, 354–355.

Janjic, Z. I., 2002: Nonsingular Implementation of the Mellor–Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model, NCEP Office Note, No. 437, 61 pp.

Mellor, G. L., and T. Yamada, 1982: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. Rev. Geophys. Space Phys., 20, 851–875.

Misenis and Zhang, 2010: An examination of sensitivity of WRF/Chem predictions to physical parameterizations, horizontal grid spacing, and nesting options, Atmospheric Research 97(3):315-334

Nakanishi, M., and H. Niino, 2006: An improved Mellor–Yamada level 3 model: its numerical stability and application to a regional prediction of advecting fog. *Bound. Layer Meteor.* **119**, 397–407.

Nakanishi, M., and H. Niino, 2009: Development of an improved turbulence closure model for the atmospheric boundary layer. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 895–912

Olson, Joseph B., Jaymes S. Kenyon, Wayne M. Angevine, John M. Brown, Mariusz Pagowski, and Kay Sušelj, 2019: A Description of the MYNN-EDMF Scheme and the Coupling to Other Components in WRF–ARW. *NOAA Technical Memorandum OAR GSD*, **61**, pp. 37.

Otkin, J.A., Greenwald, T.J., 2008. Comparison of WRF model-simulated and MODIS-derived cloud data. Mon. Weather Rev. 136, 1957–1970

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Pleim, Jonathan E., 2007: A Combined Local and Nonlocal Closure Model for the Atmospheric Boundary Layer. Part I: Model Description and Testing. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **46**, 1383–1395.

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang and J. G. Powers, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note 475, available at: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw v3.pdf.

Stolaki S., I. Pytharoulis and Th. Karacostas, 2012: A study of fog characteristics using a coupled WRF-COBEL model over Thessaloniki Airport, Greece. Pure Appl. Geophys., 169, 961–981, DOI: 10.1007/s00024-011-0393-0.

Sukoriansky, S., B. Galperin, and V. Perov, 2005: Application of a new spectral model of stratified turbulence to the atmospheric boundary layer over sea ice. *Bound. Layer Meteor.*, **117**, 231–257.

Tymvios Filippos , Demetris Charalambous, Silas Michaelides, Jos Lelieveld, 2018: Intercomparison of boundary layer parameterizations for summer conditions in the eastern Mediterranean island of Cyprus using the WRF - ARW model, (pp 45-59)

Bo Xie, Jimmy C. H. Fung, Allen Chan and Alexis Lau, 2012: Evaluation of nonlocal and local planetary boundary layer schemes in the WRF model, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117.

Wallace John M., Peter V. Hobbs, 2006: Atmospheric Science, Second Edition, 375-401

Wang, W., C. Bruyère, M. Duda, J. Dudhia, D. Gill, H. C. Lin, J. Michalakes, S. Rizvi, X. Zhang, J. D. Beezley, J. L. Coen J. Mandel, H-Y. Chuang, N. Mckee, T. Slovacek and J. Wolff, 2012: ARW Version 3 Modeling System User's Guide, Mesoscale & Miscroscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research, available at: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/ARWUsersGuideV3.pdf.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Ζάνης Π., 2014: Παρουσιάσεις στα πλαίσια του μαθήματος «Οριακό Στρώμα» του Μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ.

Ζάνης Π., 2012: Παρουσιάσεις στα πλαίσια του μαθήματος «Θερμοδυναμική και Στατική της Ατμοσφαιρας» του Μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ.

Καρακώστας, Θ.Σ., 2000: Αξιολόγηση του Εθνικού Προγράμματος Χαλαζικής Προστασίας των Καλλιεργειών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, σελ. 128.

Καρακώστας Θ.Σ., 2005: Σημειώσεις Φυσικής νεφών και τροποποίησης καιρού. Α.Π.Θ., Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Θεσσαλονίκης, σελ. 44.

Καρακώστας, Θ., Α. Φλόκας, Ε.Φλόκα, Ο. Κακαλιάγκου και Χ. Ρίζου, 1992: Μελέτη των Συνοπτικών Καταστάσεων στην Περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας- Κλιματολογίας- Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, ΕΛΛΑΔΑ, 469-477.

Κατσαφάδος, Π., Μαυροματίδης, Η., Γκίκας, Ν., & Παπαδόπουλος, Α. (2010). Το προγνωστικό σύστημα καιρού του Χαροκοπείου πανεπιστημίου: χαρακτηριστικά και προγνωστικά προϊόντα. The weather forecasting system of Harokopio university: characteristics and forecasting products. Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών, 51-58.

Μπαλαφούτης, Χ.Γ. και Π. Μαχαίρας, 1984: Γενική Κλιματολογία με στοιχεία Μετεωρολογίας. University Studio Press, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 338 σελ

Πυθαρούλης Ι., 2014: Παρουσιάσεις στα πλαίσια του μαθήματος «Αριθμητική Πρόγνωση» του Μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ

Πυθαρούλης Ι., 2014: Παρουσιάσεις στα πλαίσια του μαθήματος «Συνοπτική Μετεωρολογία» του Μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος του τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Σιούτας, Μ.Β., 1999: Συμβολή στη μελέτη των χαλαζοκαταιγίδων στο χώρο της Κεντρικής Μακεδονίας. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ, 300 pp.

Διαδικτυακές Πηγές

http://meted.ucar.edu/

http://meted.ucar.edu/nwp/pcu2/etapcp1.htm

http://meteo.geo.auth.gr

http://www.ncl.ucar.edu/

http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/

www.metoffice.gov.uk

http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης