ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΛΕΩΝΙΔΑΣ Δ. ΤΣΟΠΟΥΡΙΔΗΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΕΝΤΟΝΟΥ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ ΒΑΡΔΑΡΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2014

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΛΕΩΝΙΔΑΣ Δ. ΤΣΟΠΟΥΡΙΔΗΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΕΝΤΟΝΟΥ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ ΒΑΡΔΑΡΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος
Σπουδών 'Μετεωρολογία, Κλιματολογία & Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον'
Τομέας Μετεωρολογίας & Κλιματολογίας
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 27/3/2014

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επίκ. Καθηγητής Ιωάννης Πυθαρούλης, Επιβλέπων
Καθηγητής Θεόδωρος Καρακώστας, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Αναπ. Καθηγητής Πρόδρομος Ζάνης, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

© Λεωνίδας Δ. Τσοπουρίδης, 2014
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΕΝΤΟΝΟΥ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ ΒΑΡΔΑΡΗ

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.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ 5

1.1 ΑΝΕΜΟΙ-ΓΕΝΙΚΑ 5

1.2 Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΑΝΕΜΩΝ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ 6

1.3 ΚΑΤΑΒΑΤΙΚΟΙ ΑΝΕΜΟΙ 8

1.4 Ο ΚΑΤΑΒΑΤΗΣ ΒΑΡΔΑΡΗΣ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΤΥΜΟΛΟΓΙΑ 9

1.5 Η ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ 9

1.6 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΒΑΡΔΑΡΗ 11

1.7 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ ΒΑΡΔΑΡΗ 12

1.8 ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ 19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 21

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 21

2.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WRF 22

2.2.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ 22

2.2.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ 24

2.3 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ECMWF 25

2.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ-ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ 26

2.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΣΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ ΒΑΡΔΑΡΗ ΤΗΣ $10^{ΗΣ}$ ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2007 31

3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ 31

3.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ 39

3.2.1 Πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας και ανάλυση χαρτών της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPα 40

3.2.2 Θερμοκρασία στα 850 hPα 45

3.2.3 Ανάλυση αεροχειμάρρου στα 250 hPa 46

3.2.4 Σχετική υγρασία στα 700 hPA 49

3.2.5 Χάρτες διεύθυνσης και ταχύτητας του επιφανειακού ανέμου 50

3.3 Διαγράμματα Hovmöller 52

3.4 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ 61

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

4.1 ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ 63

4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ WRF-ARW 67

4.2.1 ΠΕΔΙΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (ΜΣΘ) 69

4.2.2 ΠΕΔΙΟ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΣΤΗΝ ΙΣΟΒΑΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ 500 mb 74

4.3 ΧΑΡΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ -ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ D2 76

4.4 ΧΑΡΤΕΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΣΤΗ ΜΣΘ -ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ D2 81

4.5 ΧΑΡΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ -ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ D3 85

4.6 ΧΑΡΤΕΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ -ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ D3 90

4.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ 93

4.8 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ D3 95

4.9 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 110

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΤΟΥ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ ΒΑΡΔΑΡΗ 111

5.1 ΧΑΡΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ -ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ D3 111

5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ 115

5.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑΣ 118

5.3.1 ΤΟΜΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ 118

5.3.2 ΤΟΜΗ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ (Π.Γ.Δ.Μ.) 125

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 129

6.1 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗΣ 132

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 134

ABSTRACT 135

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 136

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης με τίτλο «αριθμητική μελέτη ενός έντονου επεισοδίου Βαρδάρη» εκπονήθηκε στα πλαίσια των μεταπτυχιακών μου σπουδών στον Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Στην εργασία αυτή μελετάται ένας τοπικός άνεμος που πνέει στην ευρύτερη περιοχή της κοιλάδας του Αξιού, ο Βαρδάρης. Αυτός ο άνεμος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις καιρικές συνθήκες της εν λόγω περιοχής, καθώς και την τοπική κοινωνία, παρέχοντας έτσι ένα σημαντικό κίνητρο για τη μελέτη των χαρακτηριστικών του. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η συνοπτική και μέσης κλίμακας ανάλυση ενός έντονου επεισοδίου Βαρδάρη που εμφανίστηκε στις 10-11 Νοεμβρίου 2007 και προκάλεσε εκτεταμένα προβλήματα. Είναι η πρώτη φορά που ένα πολύ υψηλής ανάλυσης αριθμητικό μοντέλο, μαζί με κατάλληλες μετρήσεις κατά μήκος του Αξιού, συνδυάζονται για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών του Βαρδάρη. Τέλος, διερευνάται η σημασία των τοπογραφικών χαρακτηριστικών της ευρύτερης περιοχής μελέτης στην ανάπτυξη και εξέλιξη του συγκεκριμένου επεισοδίου μέσω ενός αριθμητικού πειράματος.

Οι άνθρωποι που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών ήταν πολλοί . Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ιωάννη Πυθαρούλη, Επίκουρο καθηγητή του ΑΠΘ και επιβλέποντα της παρούσας διατριβής τόσο για την υποστήριξη και καθοδήγησή του για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής, όσο και για την εμπειρία και τις γνώσεις που μου παρείχε όλα τα χρόνια της παραμονής μου στον Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Ήταν ο πρώτος άνθρωπος που κατάλαβε το πάθος μου για την επιστήμη της Μετεωρολογίας και ειδικότερα για το πεδίο της «Συνοπτικής και Δυναμικής Μετεωρολογίας» και δεν έχω παρά να τον ευχαριστήσω θερμά.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Θεόδωρο Καρακώστα, Καθηγητή του ΑΠΘ, Διευθυντή του τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας και μέλος της Τριμελούς Επιτροπής, όχι μόνο για τις γνώσεις που μου παρείχε ως απόρροια της

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

πολυετούς εμπειρίας του αλλά και γιατί υπήρξε για εμένα Δάσκαλος για την υπόδειξη ενός προτύπου ιδανικής ανθρώπινης συμπεριφοράς και επιστημονικής κατάρτισης.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Πρόδρομο Ζάνη, Αναπληρωτή Καθηγητή του ΑΠΘ και μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής και Εξεταστικής Επιτροπής, για τις γνώσεις και τον πολύτιμο χρόνο που πάντα μου παρείχε, ήδη από τις προπτυχιακές μου σπουδές, την επίλυση της όποιας απορροίας μου δημιουργούταν και τις συζητήσεις και εύστοχες τοποθετήσεις του όχι μόνο στα πλαίσια της παρούσας διατριβής ειδίκευσης αλλά και σε άλλα μετεωρολογικά ή μη θέματα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του διδακτικού και επιστημονικού προσωπικού του Τομέα Μετεωρολογίας- Κλιματολογίας για την βοήθεια που μου παρείχαν όποτε και αν τους την πάνω στην επιστήμη που αγάπησα, αυτήν της Μετεωρολογίας.

Μεγάλη και σημαντική ήταν η συνεισφορά του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και ιδιαίτερα του κ. Κωνσταντίνου Λαγουβάρδου, ερευνητή του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για την χορήγηση των δεδομένων από τέσσερις σταθμούς κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού, χωρίς τη χρήση των οποίων η διατριβή αυτή δε θα ήταν ολοκληρωμένη. Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω το NCAR για την παροχή του πηγαίου κώδικά του μοντέλου WRF και του πακέτου οπτικοποίησης RIP, την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF), το Κέντρο Μετεωρολογικών Εφαρμογών του ΕΛΓΑ, την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, τη Γεωπονική Σχολή του ΑΠΘ και το University of Wyoming για την παροχή μετεωρολογικών παρατηρήσεων και πλεγματικών αναλύσεων. Τέλος, το IGES/COLA για την παροχή του πακέτου οπτικοποίησης GRADS.

Τέλος, θα ήθελα να απονείμω ένα τεράστιο «ευχαριστώ», στους γονείς μου Δημήτριο Τσοπουρίδη και Ευγενία Λιάγκα για την ψυχική και οικονομική υποστήριξη που με απίστευτες προσωπικές τους θυσίες όλα αυτά τα χρόνια μου παρείχαν και δεν έχω παρά να τους υποσχεθώ ότι θα συνεχίσω με την ίδια θέληση και τον ίδιο ζήλο τόσο στα επαγγελματικά όσο και στα προσωπικά μου βήματα και δε θα σταματήσω να τους κάνω περήφανους, όπου και αν βρίσκομαι.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΕΜΟΙ-ΓΕΝΙΚΑ

Ένα από τα σημαντικότερα μετεωρολογικά φαινόμενα είναι ο άνεμος. Η δύναμη βαροβαθμίδας, που προκύπτει από τη διαφορά των τιμών της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ δύο τόπων είναι το κύριο αίτιο δημιουργίας του ανέμου. Η δράση του ανέμου άλλοτε είναι ευεργετική και άλλοτε καταστροφική, επηρεάζοντας έτσι άμεσα τις ανθρώπινες δραστηριότητες και θέτοντας μερικές φορές ακόμα και σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή. Ο άνεμος ενδιέφερε ανέκαθεν τον άνθρωπο. Ήδη από τα ομηρικά έπη συναντάμε τις πρώτες καταγεγραμμένες απόπειρες του ανθρώπου, όχι μόνο να εξηγήσει, αλλά και να τιθασεύσει τον άνεμο. Η θεά Άρτεμις απαιτεί την θυσία της Ιφιγένειας, κόρης του Αγαμέμνονα, για να αφήσει τους ούριους ανέμους να πνεύσουν, ώστε να αποπλεύσει ο στόλος των Ελλήνων για την Τροία. Οι Αρχαίοι Έλληνες προσπαθούσαν πάντα να κατανοήσουν τα φυσικά φαινόμενα μέσα από την παρατήρηση. Σε πινακίδες της Γραμμικής Β' γραφής από την Κνωσό και σε αντίστοιχες από τις Μυκήνες χρονολογούμενες τον 14ο αιώνα π.Χ., γίνεται αναφορά σε «Ανέμων ιέρειες». Η παρατήρηση των μετεωρολογικών φαινομένων σε βάθος χρόνου από τους Αρχαίους Έλληνες εκδήλωνε ως ένα βαθμό την θέλησή τους να υποτάξουν τους ανέμους. Κατέληξε, όμως, και στη διατύπωση των πρώτων επιστημονικών απόψεων (ασχέτως εάν αυτές ήταν ή δεν ήταν σωστές), θεμελιώνοντας έτσι τη σύγχρονη επιστήμη της μετεωρολογίας.

Μία ειδική κατηγορία ανέμων μέσης κλίμακας είναι οι τοπικοί άνεμοι. Η δεδομένη, κάποια χρονική στιγμή, ατμοσφαιρική κυκλοφορία σε συνδυασμό με την τοπογραφία έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία τέτοιων ανέμων, οι οποίοι μάλιστα ορισμένες φορές πνέουν με ιδιαίτερη ένταση και προκαλούν υλικές ζημιές ή καταστροφές σε καλλιέργειες και τεχνικές κατασκευές. Ο Mistral, ο οποίος πνέει κατά μήκος της κοιλάδας του Ροδανού ποταμού μεταξύ των Άλπεων και των όρων Cevennes της Γαλλίας, είναι ένα τέτοιο παράδειγμα ανέμου (Vialar,1948, Guenard,2005). Ανάλογο το παράδειγμα και του Bora (Yoshino, 1971). Όταν μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικές ροές κινούνται παράλληλα με τον επιμήκη άξονα μιας κοιλάδας, οι άνεμοι κοντά στην επιφάνεια καναλίζονται μέσα στην κοιλάδα με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητάς τους. Μία αντίστοιχη βορειοδυτική ροή καταβατικών ανέμων που

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

δημιουργείται στη χώρα μας κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού είναι ο άνεμος Βαρδάρης (Maheras et al,1982).

1.2 Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΑΝΕΜΩΝ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να αναφερθούν κάποιες θεωρίες σχετικά με το πολύπλοκο ζήτημα της κατανομής του ανέμου και το ρόλο που διαδραματίζει η τοπογραφία μίας περιοχής σε αυτήν την κατανομή.

Η μελέτη της ατμοσφαιρικής ροής στηρίζεται κατά βάση στη γενική συμπεριφορά της κίνησης των ρευστών. Πολλές διαταραχές της ατμόσφαιρας εμφανίζονται ως κύματα, τα οποία βάση του μεγέθους τους μπορούν να ταξινομηθούν σε α) μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικά κύματα και β) σε μικρής κλίμακας κύματα, όπως τα βαρυτικά κύματα (gravity waves). Τα βαρυτικά κύματα τα οποία δημιουργούνται από τα βουνά, ονομάζονται ορεογραφικά κύματα (mountain waves) (Durran, 1990). Τα κύματα που δημιουργούνται στις υπήνεμες περιοχές των βουνών, ονομάζονται κύματα υπήνεμης περιοχής (lee wave). Τα ορεογραφικά κύματα μπορούν να συνδεθούν και με τους ισχυρούς επιφανειακούς ανέμους που πνέουν στις υπήνεμες πλαγιές ενός βουνού.

Η ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου σε ένα ορεινό εμπόδιο επηρεάζουν κατά πολύ τη δημιουργία και τη μετέπειτα ανάπτυξη ενός ορεογραφικού κύματος. Τα χαρακτηριστικά αυτού του ορεινού εμποδίου και η γενική μορφολογία του εδάφους (κοιλάδες, κορυφογραμμές) επηρεάζουν τη διεύθυνση ροής του ανέμου. Επίσης, η ταχύτητα και κάποιες φορές και η διεύθυνση της ατμοσφαιρικής ροής επηρεάζεται από την τραχύτητα της επιφάνειας. Όσο πιο τραχεία είναι η επιφάνεια, τόσο πιο μεγάλη αναμένεται να είναι η μείωση της ταχύτητας της ροής. Οι ταχύτητες ανέμου γενικά αυξάνονται όταν οι άνεμοι περνούν από μία τραχεία επιφάνεια (για παράδειγμα μια ορεινή περιοχή έντονου αναγλύφου) σε μια πιο επίπεδη περιοχή (π.χ. μια πεδινή ή παραθαλάσσια περιοχή).

Όταν η τοπογραφία αποτελείται από ένα σύνολο κορυφών που προσανατολίζονται κάθετα στη ροή, τότε μπορεί να συμβεί μια υπέρθεση των κυμάτων, τα οποία δημιουργούνται από τα ορεινά εμπόδια (Scorer, 1967). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

μια ενισχυτική συμβολή των κυμάτων, η οποία ονομάζεται συντονισμός (Whiteman, 2000).

Οι ισχυροί άνεμοι που σημειώνονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από την πολυπλοκότητα του ορεινού αναγλύφου μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: α) τους ανέμους που πνέουν στις υπήνεμες περιοχές ενός ορεινού εμποδίου με διεύθυνση από την κορυφή προς τους πρόποδες και β) τους ανέμους που πνέουν στις εξόδους ενός τοπογραφικού καναλιού και προέρχονται από το εσωτερικό αυτού (Koletsis, 2010). Δασολόγοι μάλιστα επισημαίνουν ότι οι μεγαλύτερες καταστροφές δέντρων δεν εντοπίζονται στην προσήνεμη πλευρά ενός βουνού, αλλά στην υπήνεμη (WMO, 1960).

Οι άνεμοι καναλισμού (gap winds) φαίνεται να είναι η βασική αιτία που εντοπίζονται πολύ υψηλές ταχύτητες ιδιαίτερα μάλιστα στις περιοχές εξόδου του καναλιού. Παλαιότερα, αυτοί οι άνεμοι καναλισμού ερμηνεύονταν βασιζόμενοι στη θεωρία του «φαινομένου της χοάνης». Η θεωρία αυτή, γνωστή και ως φαινόμενο Ventouri, βασίζεται στην ιδέα ότι η ροή του ρευστού αυξάνεται καθώς διέρχεται από ένα κανάλι. Μάλιστα η μεγαλύτερη ένταση της ροής φαίνεται να σημειώνεται στο στενότερο σημείο του καναλιού (Reed, 1931). Σύγχρονες μελέτες ωστόσο, καταρρίπτουν αυτήν την άποψη. Έτσι, μεγαλύτερες εντάσεις παρατηρούνται ως επί των πλείστων στα σημεία εξόδου της ροής (Sharp and Mass, 2002).

Τέλος, η έλλειψη τριβών εξαιτίας της επιφάνειας της θάλασσας, δείχνει να είναι ένας ακόμη λόγος για την ενίσχυση του ανέμου σε παραθαλάσσιες περιοχές.

Καθοριστικός είναι ο ρόλος της τοπογραφίας στη δημιουργία των κυμάτων υπήνεμης πλευράς (lee waves). Τα κύματα υπήνεμης πλευράς δημιουργούνται όταν υπάρχει μια βαθειά ροή αέρα που κατευθύνεται προς το ορεινό εμπόδιο, παρουσιάζοντας μια γωνία περίπου 30^{o} κάθετα στην κορυφογραμμή και εμφανίζοντας μια μικρή αλλαγή στη διεύθυνση του ανέμου καθ' ύψος (Broad,2002). Όταν η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται και η ευστάθεια μειώνεται με το ύψος, τα ορεογραφικά κύματα δε μπορούν να αναπτυχθούν κατακόρυφα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τα κύματα εγκλωβισμού υπήνεμης περιοχής (trapped lee waves) (Queney et al.,1960, Smith 1979, Atkinson 1981, Lilly 1983, Durran 1986, Keller 1994, Wurtele et al.1996). Στηριζόμενος στη γραμμική θεωρία, ο Scorer (1949) απέδειξε ότι τα εγκλωβισμένα

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

κύματα δημιουργούνται από τις κατακόρυφες μεταβολές της ευστάθειας ($N_{(z)}$) και της ταχύτητας του ανέμου ($uo_{(z)}$).

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + l^2 w = 0 \qquad (1.1)\ ,$$

Όπου w είναι η κατακόρυφη ταχύτητα (vertical velocity) και l η παράμετρος Scorer που ορίζεται ως:

$$l^2 = \frac{N^2}{Uo^2} - \frac{1}{uo}\frac{d^2 uo}{dz^2} \qquad (1.2)$$

Όπου N είναι η συχνότητα Brunt–Väisälä, δηλαδή η φυσική συχνότητα της κατακόρυφης ταλάντωσης ενός τμήματος αέρα γύρω από τη θέση ισορροπίας, απουσία της δύναμης τριβής και της δύναμης βαροβαθμίδας (Marquet,2012) και U η ταχύτητα της βασικής ροής.

Απαραίτητα προϋπόθεση για την ύπαρξη των εγκλωβισμένων κυμάτων υπήνεμης περιοχής στο πρόβλημα της ύπαρξης δύο στρωμάτων διαφορετικής ευστάθειας είναι :

$$l_L{}^2 - l_U{}^2 > \frac{\pi^2}{4H^2} \qquad (1.3)$$

Τα σύμβολα l_L και l_U είναι οι παράμετροι Scorer στο κάτω και άνω στρώμα και H το πάχος του κατώτερου στρώματος. Η διαφορά της εξίσωσης 1.3 πρέπει να υπερβαίνει μια τιμή (ένα «κατώφλι») για να συμβεί ο «εγκλωβισμός» των κυμάτων (Durran, 1990, 2003).

1.3 ΚΑΤΑΒΑΤΙΚΟΙ ΑΝΕΜΟΙ

Οι καταβατικοί άνεμοι είναι ροές, οι οποίες δημιουργούνται λόγω της ψύξης του παρακείμενου αέρα σε μια κεκλιμένη επιφάνεια. Η κατακόρυφη δομή της θερμοκρασίας μέσα στο καταβατικό στρώμα χαρακτηρίζεται από αναστροφή κοντά στο έδαφος, η οποία αποτελεί και το μηχανισμό εκκίνησης και τροφοδότησης, με ενέργεια, της καταβατικής ροής. Η ένταση της αναστροφής αυξάνει όσο ο άνεμος κατεβαίνει μία πλαγιά, ενώ το βάθος της αυξάνει όσο μεγαλώνει η κατακόρυφη απόσταση από την κορυφή της πλαγιάς. Η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

χαρακτηρίζεται από ένα μέγιστο περίπου στο μέσο της επιφανειακής αναστροφής. Σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες (Maheras et al.,1982, 1984), αποδείχτηκε ότι το ύψος στο οποίο παρουσιάζεται το μέγιστο της ταχύτητας εξαρτάται από την ένταση της επιφανειακής ψύξης, την εσωτερική στρωμάτωση του αέρα, την επιφανειακή τραχύτητα και την κλίση της επιφάνειας. Ειδικότερα για το ύψος του μεγίστου της ταχύτητας του ανέμου, αυτό είναι μικρότερο σε απότομες πλαγιές, είναι ανάλογο της επιφανειακής ψύξης και της έντασης της επιφανειακής αναστροφής και είναι αντιστρόφως ανάλογο της επιφανειακής τραχύτητας και της εξωτερικής στρωμάτωσης για στατικές συνθήκες.

1.4 Ο ΚΑΤΑΒΑΤΗΣ ΒΑΡΔΑΡΗΣ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΤΥΜΟΛΟΓΙΑ

Ο Αξιός ποταμός, ή αλλιώς Βαρδάρης, αποτελούν τα μοναδικά μορφολογικά ανοίγματα του Ελληνικού γεωγραφικού χώρου προς το Βορρά. Όσον αφορά την ονομασία του ποταμού αυτού, έχουν διατυπωθεί κατά καιρούς ποικίλες ιστορικές απόψεις.

Ο Tafel (1837) συσχετίζει τον ποταμό Βαρδάρη με τα βυζαντινά ονόματα Βαρδάριος και Βάρδας, ενώ ο Άμαντος (1923) πιθανολογεί την ονομασία του ποταμού Βαρδάρη από το λατινικό επίθετο «Veredarius» που σημαίνει ταχύς.

Σήμερα, η επικρατούσα άποψη είναι ότι την ονομασία αυτή την οφείλει στο γεγονός ότι κατά την εποχή του Βυζαντίου είχαν εγκατασταθεί Βαρδαριώτες ή Βαρδάριοι, μια μογγολική φυλή στην περιοχή γύρω από τον ποταμό, που ήρθαν από την Περσία και αφομοιώθηκαν σταδιακά στο ελληνικό στοιχείο.

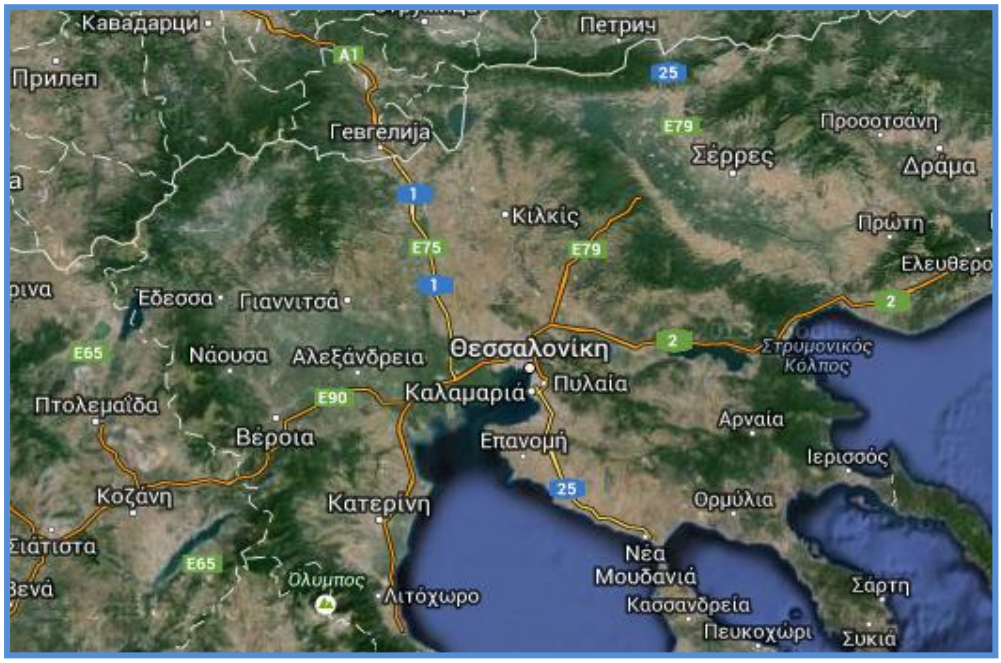
1.5 Η ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ο Αξιός ποταμός, είναι ο μεγαλύτερος ποταμός της Μακεδονίας. Πηγάζει από το όρος Σαρ, στα σύνορα Αλβανίας-Σερβίας-Π.Γ.Δ.Μ.. Ο ποταμός διαγράφει μεγάλο τόξο στην ορεινή περιοχή των Σκοπίων, την οποία και διχοτομεί, ενώ εκατέρωθεν του ποταμού επικρατούν ορεινοί όγκοι το ύψος των οποίων ξεπερνά και τα 2500 μ. Στο Ελληνικό έδαφος εισέρχεται μέσω μιας μικρής πεδιάδας (Γευγελής), μήκους περίπου 5 χιλιομέτρων. Στη συνέχεια ο ποταμός εισέρχεται στα στενά Τσιγγάν, μήκους δέκα

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

περίπου χιλιομέτρων. Από τα στενά Τσιγγάν ο ποταμός εισέρχεται στην πεδιάδα της Καμπανίας την οποία και διαρρέει σε όλο το μήκος της προς την ανατολική πλευρά. Καθώς ρέει ανάμεσα στην Αξιούπολη και το Πολύκαστρο, συνεχίζει νοτιότερα προς την περιοχή του Ευρωπού. Σήμερα τα νερά του ποταμού αυτού, αφού διανύσουν απόσταση μεγαλύτερη των 300 χιλιομέτρων, καταλήγουν στον Θερμαϊκό Κόλπο.

Η γενική μορφολογία της περιοχής στον ελληνικό χώρο παρουσιάζει δύο σειρές ορεινών όγκων εκατέρωθεν και παράλληλα του Αξιού ποταμού. Από τους δυο ορεινούς όγκους, ο δυτικός είναι υψηλότερος και πιο ογκώδης. Αποτελείται στα βόρεια από τους ορεινούς όγκους της Τζένας (2183 μ) - Πάικου (1430 μ) και συνεχίζεται μέχρι τη θάλασσα με τη διαδοχή των ορέων του Βόρρα (2525 μ), του Βερμίου (1900 μ), και τέλος των Πιερίων Ορέων (1878 μ) και του Ολύμπου (2896 μ), τα οποία βρίσκονται νοτιότερα της κοιλάδας του Αξιού. Ανατολικότερα του Αξιού η γεωμορφολογία της περιοχής παρουσιάζει πιο ομαλό ανάγλυφο και αποτελείται από την περιοχή που βρίσκεται ανάμεσα στους ποταμούς Γαλλικό και Αξιό και τα υψώματα που βρίσκονται ανατολικά του Κιλκίς (Κρούσια 1060 μ) και των ορεινών εξάρσεων του Κουρίου (789 μ) και του Χορτιάτη (1204 μ).



Σχήμα 1.1: γεωφυσική εικόνα της Κεντρικής Μακεδονίας (google maps)

Ο άνεμος Βαρδάρης, δημιουργείται κατά μήκος του ποταμού Αξιού, αρχής γενομένης από την Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία Της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ.) Στη συνέχεια, επηρεάζει την Ελλάδα και την Κεντρική Μακεδονία διαμέσου της

κορυφογραμμής Πάϊκου-Κερκίνης και διαμέσου της κοιλάδας του Αξιού εμφανίζεται στην περιοχή της Θεσσαλονίκης ως βόρειος- βορειοδυτικός άνεμος.

1.6 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΒΑΡΔΑΡΗ

Ο Βαρδάρης άνεμος αποτελεί ιδιαίτερο μετεωρολογικό χαρακτηριστικό της ευρύτερης περιοχής του Αξιού και ρυθμιστή της ζωής στην περιοχή λόγω τόσο της συχνότητας εμφάνισής του, όσο και της αξιοσημείωτης κατά καιρούς έντασής του.

Έτσι, ένα από τα αποτελέσματα του Βαρδάρη είναι η εξαιρετική διαύγεια στην ατμόσφαιρα που προκαλεί η πνοή του και κατ' επέκταση η ορατότητα που χαρίζει στις περιοχές στις οποίες πνέει. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο ορεινός όγκος του Ολύμπου, ο οποίος είναι ορατός από την πόλη της Θεσσαλονίκης τις ημέρες πνοής του Βαρδάρη. Ο Βαρδάρης είναι ένας ευεργετικός άνεμος για τη Θεσσαλονίκη «φιλτράροντας» την πόλη με καθαρό ψυχρό ξηρό άνεμο και ο οποίος ανακουφίζει τους κατοίκους της Θεσσαλονίκης ενώ παράλληλα η σχετική υγρασία σημειώνει σημαντική πτώση κατά την πνοή του εν λόγω ανέμου. Μετρήσεις που έγιναν μία τυχαία ημέρα του Δεκεμβρίου στην πλατεία Αγίας Σοφίας -ένα από τα πιο κεντρικά σημεία της Θεσσαλονίκης- έδειξαν ότι στις 9 το πρωί, πριν ξεκινήσει να φυσά ο Βαρδάρης, τα επίπεδα των μικροσωματιδίων PM10, έφταναν τα 71 μικρογραμμάρια ανά κυβικό μέτρο. Αυτό σημαίνει δηλαδή ότι ξεπερνούσαν κατά πολύ το όριο ασφαλείας των 50 $\mu g/m^3$, δηλαδή τη μέγιστη ημερήσια τιμή που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση (Air pollution fact sheet 2013 – EU-27). Μέσα σε μόλις μία ώρα, στις 10 το πρωί, τα μικροσωματίδια είχαν μειωθεί περισσότερο από 50%, φτάνοντας τα 31,08 $\mu g/m^3$, ενώ στις 12 το μεσημέρι, ώρα κατά την οποία συνήθως κορυφώνεται η περιεκτικότητα του επικίνδυνου ρύπου στην ατμόσφαιρα, τα μικροσωματίδια είχαν μειωθεί στο ελάχιστο, στα 8,96 $\mu g/m^3$. Επομένως, επιβεβαιώνεται ότι η ταχύτητα του ανέμου αποτελεί έναν σημαντικό μηχανισμό απομάκρυνσης και αραίωσης των ρύπων (Ζάνης, 2008).

Ωστόσο, η ένταση των ανέμων κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου Βαρδάρη κάποιες φορές- όπως και στην περίπτωση της 10ης Νοεμβρίου 2007 που μελετάται- είναι τόσο μεγάλη (24 m/s με ριπές που άγγιξαν τα 31.9 m/s στην περιοχή του αεροδρομίου) που δύναται να δημιουργήσει προβλήματα στην πόλη της Θεσσαλονίκης και τις γύρω περιοχές δυσχεραίνοντας τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

1.7 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΕΜΟ ΒΑΡΔΑΡΗ

Ο άνεμος Βαρδάρης για την ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, όπως ειπώθηκε και προηγουμένως, καθώς επηρεάζει τόσο τον άνθρωπο όσο και το περιβάλλον γύρω του με θετικές ή αρνητικές συνέπειες. Ωστόσο, οι μελέτες που έχουν γίνει στο παρελθόν είναι λίγες κι αυτό κυρίως λόγω της μέχρι πρότινος έλλειψης αξιόπιστων δεδομένων από σταθμούς επιφανείας. Το πρόβλημα αυτό ξεπεράστηκε στην παρούσα διατριβή με 4 σταθμούς επιφανείας εντός της κοιλάδας του Αξιού.

Ο Μαχαίρας (1982) στη Μονογραφία «Συνοπτικές Καταστάσεις και Πολυδιάστατη Ανάλυση του Καιρού στη Θεσσαλονίκη» κατατάσσει τους συνοπτικούς τύπους καιρού με βάση την ανάλυση των συνθηκών της κυκλοφορίας στην κατώτερη και στη μέση τροπόσφαιρα πάνω από τη Μεσόγειο και τη Νότια Ευρώπη. Από την κατάταξη αυτή, προέκυψαν πέντε αντικυκλωνικοί (A1, A2, A3, A4, A5), έξι υφεσιακοί (W1, W2, NW1, NW2, SW1, SW2), δύο μικτοί (Mt1, Mt2) και τρεις χαρακτηριστικοί (Dsec, Mb, Dor) τύποι κυκλοφορίας.

Οι αντικυκλωνικοί τύποι κυκλοφορίας συμβολίζονται με το αρχικό γράμμα «Α». Αν το κέντρο δράσης βρίσκεται στην Ευρωπαϊκή ήπειρο, οι τύποι διακρίνονται σε αλλογενείς ηπειρωτικούς (A1, A2), αν ειδικότερα βρίσκεται στα Βαλκάνια και στην Ελλάδα σε ενδογενείς ηπειρωτικούς (A3) ενώ τέλος, αν το κέντρο βρίσκεται στη Μεσόγειο σε θαλάσσιους αντικυκλώνες (A4, A5). Οι κυκλωνικοί τύποι κυκλοφορίας επιλέχθηκαν με βάση την τροχιά της ύφεσης και τη θέση του κέντρου δράσης ενώ εξετάστηκαν η ροή των ανέμων στη στάθμη των 500 hPa και η παρουσία μετώπων στην περιοχή. Οι υφέσεις διακρίνονται σε αυτές που έχουν ζωνική (W1, W2) και μεσημβρινή τροχιά (NW1, NW2, SW1, SW2). Ειδικότερα, οι τύποι W1 και W2 αφορούν δυτικούς υφεσιακούς τύπους με βόρεια και νότια τροχιά αντίστοιχα. Οι τύποι NW1, NW2 αφορούν βορειοδυτικούς υφεσιακούς τύπους με δυτική και ανατολική τροχιά αντίστοιχα και τέλος οι SW1 και SW2 νοτιοδυτικούς υφεσιακούς τύπους με δυτική και ανατολική τροχιά αντίστοιχα.

Η παρουσία ενός αντικυκλώνα και μιας ύφεσης χαρακτηρίζουν την συνοπτική κατάσταση των μικτών τύπων κυκλοφορίας Mt1 και Mt2. Η κατάταξη γίνεται με βάση τη θέση των κέντρων δράσης και τη διεύθυνση των ισοβαρών καμπυλών. Ο καιρός στους μικτούς τύπους δεν παρουσιάζεται με σταθερά χαρακτηριστικά αλλά εξαρτάται από τη μορφή της κάθε συνοπτικής κατάστασης Ο πρώτος μικτός τύπος

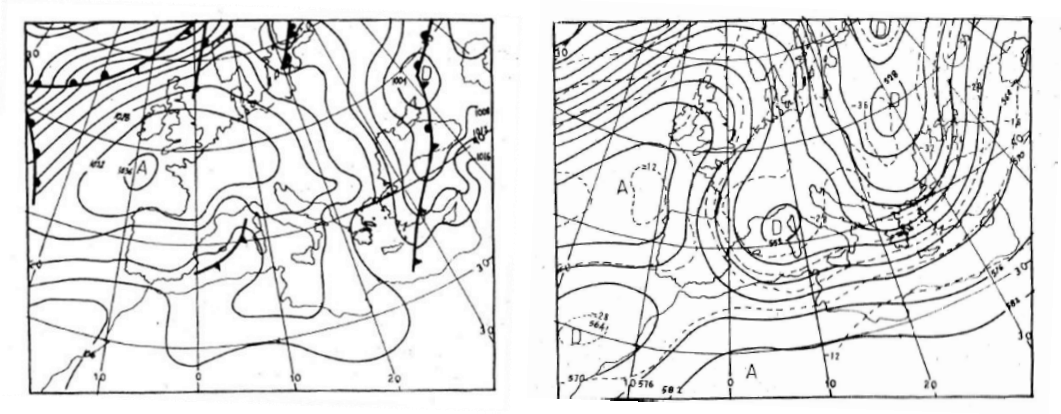
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

καιρού (Mt1) (Σχήμα 1.2) χαρακτηρίζει μια κατάσταση που επικρατεί όταν πνέει στην περιοχή της Θεσσαλονίκης ο άνεμος Βαρδάρης. Κατά τη συνοπτική αυτή κατάσταση, η Ελλάδα βρίσκεται υπό την επίδραση ενός ηπειρωτικού αντικυκλώνα στα δυτικά και των χαμηλών πιέσεων που επεκτείνονται από τη Μαύρη Θάλασσα μέχρι τη Μεσόγειο στα ανατολικά. Η φορά των ισοβαρών στην επιφάνεια είναι καθαρά μεσημβρινή, με αποτέλεσμα να ευνοείται ο καναλισμός των αερίων μαζών κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού. Από τον καναλισμό αυτό δημιουργείται καταβατικός άνεμος τύπου Mistral με κατεύθυνση βόρεια-βορειοδυτική και μεγάλη ένταση.

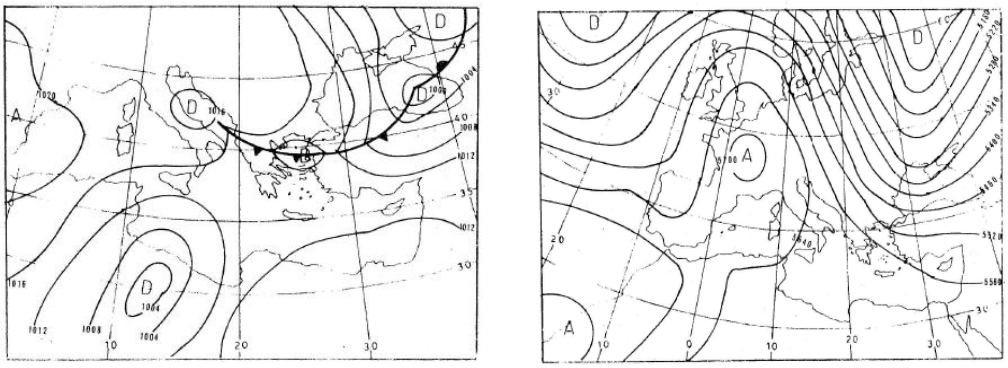
Ο πρώτος μικτός τύπος κυκλοφορίας χαρακτηρίζει μια ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα σε έναν αντικυκλωνικό τύπο και έναν υφεσιακό W1 ή NW2, γι' αυτό και τις περισσότερες φορές η διάρκειά του είναι πολύ περιορισμένη. Για να εμφανιστεί θα πρέπει η ύφεση που απομακρύνεται προς τα ανατολικά να παρουσιάζει ένα στάσιμο χαρακτήρα πάνω από τη Μαύρη Θάλασσα. Αυτό συμβαίνει πιο συχνά κατά τη θερμή περίοδο όπου η συχνότητα εμφάνισης Mt1 είναι η υψηλότερη την εποχή αυτή.

Οι τύποι κυκλοφορίας Mt1 της ψυχρής περιόδου έχουν μικρότερη διάρκεια από εκείνους της θερμής. Οι θερμοκρασίες που επικρατούν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι ιδιαίτερα χαμηλές παρά την ηλιοφάνεια και με έντονη την αίσθηση του ψύχους λόγω των ισχυρών Β-ΒΔ ανέμων. Πρόκειται για τις χαμηλότερες μέσες κι ελάχιστες θερμοκρασίες. Η σχετική υγρασία είναι πάρα πολύ χαμηλή για την εποχή. Οι Β-ΒΔ άνεμοι, ισχυροί με μέση ταχύτητα 16,7 km/h (4.6 m/sec) και μέγιστη που μπορεί να ξεπεράσει τα 90 km/h (25 m/sec) (Μακρογιάννης,2004). Το ποσό βροχής είναι ελάχιστο, όπως και η διάρκεια βροχής λόγω του καναλισμού των αερίων μαζών κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού που προκαλούν νεφοδιάλυση και τον ισχυρό άνεμο Βαρδάρη (Μαχαίρας,1982). Επιπλέον, η ορατότητα και το κλάσμα της ηλιοφάνειας για τον ίδιο προαναφερθέντα λόγο είναι πολύ υψηλά.

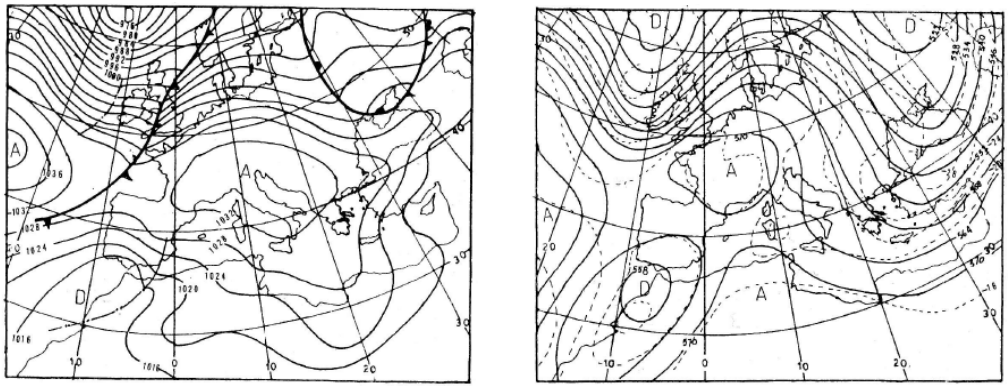
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 1.2 - Χάρτης συνοπτικής κατάστασης του μικτού τύπου κυκλοφορίας (Mt1) της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) (αριστερά) και του γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (gpdm) (δεξιά) (Μαχαίρας, 1982).



Σχήμα 1.3 - Χάρτης συνοπτικής κατάστασης του κυκλωνικού τύπου κυκλοφορίας (Cne) της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) (αριστερά) και του γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (gpdm) (δεξιά) (Μαχαίρας, 1982).



Σχήμα 1.4 - Χάρτης συνοπτικής κατάστασης του αντικυκλωνικού τύπου κυκλοφορίας (A1) της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας(hPa) (αριστερά) και του γεωδυναμικού ύψους στα 500 hPa (gpdm) (δεξιά) (Μαχαίρας, 1982).

Τα χαρακτηριστικά των Mt1 τύπων κυκλοφορίας κατά τη θερμή περίοδο δε διαφέρουν πολύ από εκείνα της ψυχρής, έχουν όμως πολύ μεγαλύτερη διάρκεια. Οι

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

μέσες θερμοκρασίες έχουν έντονες αρνητικές αποχές, ενώ οι μέγιστες κι οι ελάχιστες είναι μέτριες. Η σχετική υγρασία είναι πολύ χαμηλή, όπως επίσης και το ύψος βροχής σχεδόν μηδενικό. Η μέση ταχύτητα του ανέμου Βαρδάρη ανέρχεται στα 18,5 km/h (5.1 m/sec) (Μαχαίρας,1982). Γενικά, πρόκειται για τον τύπο κυκλοφορίας που καθορίζει στην περιοχή της Θεσσαλονίκης τον επικρατούντα καιρό «Βαρδάρη» κατά τη θερμή περίοδο, με έντονους βορειοδυτικούς ανέμους και σημαντική πτώση της θερμοκρασίας.

Το 2000 δημιουργήθηκε το «ημερολόγιο των τύπων κυκλοφορίας», με βάση την αυτόματη κατάταξη από τους Maheras et al.(Maheras et al, 2000). Η κατάταξη αυτή βασίστηκε στη χρησιμοποίηση ημερήσιων στοιχείων γεωδυναμικών υψών της επιφάνειας και των 500 hPa για οκτώ κομβικά σημεία. Μετά από κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων, χρησιμοποιώντας χωρικές μεθόδους γεωμετρίας και τοπολογίας, προέκυψαν 6 αντικυκλωνικοί τύποι που συμβολίζονται με το γράμμα «A» (A1, A2, A3, A4, A5, A6), 8 κυκλωνικοί τύποι (C, Cs, Csw, Cnw, Cne, Cse, Cn, Cw), 2 μικτοί (Mt1, Mt2) και 4 χαρακτηριστικοί τύποι κυκλοφορίας (Dsec, Dor, MB1, MB2).

Εκτός από τον τύπο κυκλοφορίας Mt1, ο οποίος είναι ένας χαρακτηριστικός τύπος κυκλοφορίας που επικρατεί κατά την εκδήλωση ενός επεισοδίου υπάρχει ένα σύνολο από άλλους τύπους εκ των οποίων οι πιο συχνά εμφανιζόμενοι είναι οι Cne και A1 (σχήμα 1.3, 1.4). Αναφορικά, ο Mt1 παρουσιάζει συχνότητα 27,1% , ο Cne 21,2% και ο A1 12,2%, όπως φαίνεται στο σχήματα 1.5 και 1.6 που ακολουθούν (Maheras et.al.,2000).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Πίνακας 1.1: Κατανομή ημερών Βαρδάρη στους τύπους κυκλοφορίας (Maheras et al., 2000)

ΤΥΠΟΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΗΜΕΡΩΝ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ (%)
A1	101	12,2
A2	4	0,4
A3	0	0,0
A4	5	0,6
A5	0	0,0
A6	4	0,4
C	61	7,4
Cs	17	2,1
Csw	0	0,0
Cnw	0	0,0
Cne	175	21,2
Cse	37	4,5
Cn	13	1,6
Cw	3	0,4
Mt1	224	27,1
Mt2	58	7,0
Dsec	46	5,6
MB1	13	1,6
MB2	24	2,9
Dor	41	5,0

Τέλος στην ίδια εργασία (Maheras et al., 2000) εξετάστηκε και η χρονική διάρκεια των διάφορων επεισοδίων Βαρδάρη για τη χρονική περίοδο 1961-1986 και 1996-2002 και βρέθηκε ότι η πλειονότητα των επεισοδίων δεν ξεπερνούσε τις 1-2 ημέρες (σχήμα 1.7), ενώ η συχνότητα σταδιακά μειώνεται όταν η διάρκεια των επεισοδίων σε ημέρες αυξάνει (σχήμα 1.8).

Πίνακας 1.2: Πίνακας κατανομής των επεισοδίων Βαρδάρη ως προς τη διάρκειά τους (Angouridakis et al.,1981)

Διάρκεια ημερών	Αριθμός επεισοδίων	Συχνότητα επεισοδίων (%)
1	189	42,6
2	149	33,6
3	59	13,3
4	29	6,5
5	13	2,9
6	5	1,1

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ο Βαρδάρης και οι άνεμοι βορειοδυτικής κατεύθυνσης που πνέουν στην περιοχή της Θεσσαλονίκης μελετήθηκαν και στατιστικά (Angouridakis et al, 1981). Στη συγκεκριμένη έρευνα παρουσιάζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των μέγιστων ωριαίων τιμών ταχύτητας των ΒΔ ανέμων, η κατανομή των ωρών έναρξης και λήξης αυτών, καθώς επίσης η μέση και η μέγιστη διάρκεια πνοής τους. Λαμβάνονται υπόψη δεδομένα έντασης και διεύθυνσης ανέμου για το χρονικό διάστημα 1957-1977. Από την παραπάνω μελέτη προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα: 1) παρόλο που η βορειοδυτική ροή επικρατεί στην περιοχή της Θεσσαλονίκης καθ' όλη τη χρονιά, οι μέρες με ισχυρό άνεμο(>= 6 BF) είναι πολύ σπάνιες, 2) ο χειμώνας είναι η εποχή όπου πνέουν πιο συχνά άνεμοι ΒΔ κατεύθυνσης για συνεχόμενες ημέρες, σε αντίθεση με το καλοκαίρι όπου η μέση διάρκεια των ανέμων αυτών είναι 1-2 ημέρες, 3) όσον αφορά στην κατανομή των ωρών έναρξης και λήξης των μεγίστων ωριαίων τιμών ταχύτητας των ανέμων ΒΔ κατεύθυνσης προκύπτει αναλογία με τα αντίστοιχα διαγράμματα κατανομής των ανέμων «Mistral» και «Foehn». Επιπλέον, 4) για τη συγκεκριμένη περίοδο μελέτης η μέση ένταση των ανέμων ΒΔ κατεύθυνσης υπολογίσθηκε ίση με 12 km/h (3.3 m/sec), με κατώτερο κατώφλι έντασης στο διάστημα 12-15 km/h και τέλος 5) οι υψηλότερες τιμές έντασης παρατηρούνται πιο συχνά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο άνεμος Βαρδάρης εμφανίζει όμοια χαρακτηριστικά με τους ανέμους Föhn και Mistral. Ειδικότερα, ο άνεμος föhn είναι ένας θερμός ξηρός άνεμος που πνέει στην περιοχή των Άλπεων και κυρίως στις βόρειες πλαγιές (Hann, 1866). Ο μηχανισμός δημιουργίας αυτού του ανέμου είναι η εξαναγκασμένη άνοδος υγρού αέρα εξαιτίας της ορεογραφίας επιτρέποντας τη δημιουργία νεφών και υετού στην προσήνεμη πλευρά. Στη συνέχεια, ο ανερχόμενος αέρας ψύχεται ακολουθώντας την κορεσμένη αδιαβατική θερμοβαθμίδα, εξαιτίας της απελευθέρωσης λανθάνουσας θερμότητας λόγω συμπύκνωσης πάνω από τη βάση των νεφών. Στην υπήνεμη πλευρά, όπου συμβαίνει εξάτμιση των υδροσταγονιδίων των νεφών, ο καθοδικός αέρας θερμαίνεται ακολουθώντας την ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα. Η απομάκρυνση ορισμένου ύδατος από τα νέφη μέσω της βροχόπτωσης είναι υπεύθυνη για το θετικό ενεργειακό ισοζύγιο. Η παραπάνω διαδικασία, έχει ως αποτέλεσμα οι δυνητικές θερμοκρασίες στην υπήνεμη πλευρά να είναι υψηλότερες (Hann, 1866).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ο Mistral είναι ένα παράδειγμα μια βόρειας ροής αέρα. Όταν μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικές ροές κινούνται παράλληλα με τον επιμήκη άξονα μιας κοιλάδας , οι άνεμοι κοντά στην επιφάνεια καναλίζονται μέσα στην κοιλάδα και αυξάνουν σημαντικά την ταχύτητά τους. Ο Mistral πνέει κατά μήκος της κοιλάδας του Ροδανού ποταμού, στα νοτιοανατολικά τμήματα της Γαλλίας και η αιτία για την δημιουργία του είναι μια συνδυασμένη δράση της τοπογραφίας και της κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας (Μπαλαφούτης, 1985).

Τα παραπάνω παραδείγματα πιστοποιούν τη μεγάλη επίδραση του παράγοντα-γεωγραφία της περιοχής στην εμφάνιση τοπικών ανέμων.

Οι Maheras et al (1982) μελέτησαν και την επίδραση του Βαρδάρη στον καιρό της Θεσσαλονίκης. Στη συγκεκριμένη εργασία, τα δεδομένα χωρίσθηκαν σε δυο επιμέρους περιόδους, τη χειμερινή (Οκτώβριος-Απρίλιος) και τη θερινή (Μάϊος-Σεπτέμβριος) και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν ήταν τα εξής: κατά την επικράτηση του ανέμου Βαρδάρη στην περιοχή της Θεσσαλονίκης τη χειμερινή περίοδο, η πτώση της θερμοκρασίας εμφανίζει κάποια υστέρηση (περίπου 2 ώρες) σε σχέση με την ώρα έναρξης του ανέμου και η πτώση αυτή είναι κατά μέσο όρο 3,5°C. Σε αντίθεση με τη θερμοκρασία, η πτώση της σχετικής υγρασίας αρχίζει συγχρόνως με την έναρξη πνοής του Βαρδάρη και είναι περίπου της τάξης του 20%. Κατά τη θερινή περίοδο, η απότομη πτώση της θερμοκρασίας δεν εμφανίζει κάποια υστέρηση και είναι ίση με 5°C, ενώ η αντίστοιχη πτώση της σχετικής υγρασίας φθάνει το 13%. Ο Βαρδάρης όταν πνέει, επιδρά ευνοϊκά στην αύξηση της εξάτμισης του ύδατος και της ηλιοφάνειας. Στην περίπτωση παρουσίας νεφών στην κοιλάδα του Αξιού, ο καναλισμός των ξηρών αερίων μαζών κατά μήκος της κοιλάδας έχει ως αποτέλεσμα τη βίαιη απώθηση των νεφών προς το νότο και τη διάλυσή τους. Μετά ή κατά τη διάρκεια των επεισοδίων Βαρδάρη είναι πιθανή η επικράτηση εξαιρετικής ορατότητας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, που φθάνει τα 80-100 km (Arseni-Papadimitriou et al., 1980).

Οι Arseni-Papadimitriou and Maheras (1985) μελέτησαν την επίδραση του Βαρδάρη στη μεταβολή μετεωρολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου την θερινή περίοδο για την περιοχή της Θεσσαλονίκης. Από την εργασία αυτή προέκυψε ότι οι μέγιστες ταχύτητες ΒΔ ανέμου παρατηρούνται το απόγευμα, η πορεία των ταχυτήτων του ακολουθεί τον κανονικό ημερήσιο κύκλο και είναι σε

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

συμφωνία με την αντίστοιχη των Ετησίων. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία παρουσιάζουν απότομη πτώση ταυτόχρονα με την έναρξη του επεισοδίου κατά τη θερινή περίοδο.

Η δομή της τροπόσφαιρας κατά την επικράτηση του Βαρδάρη εξετάσθηκε από τους Maheras et al. (1984). Σε όλα τα επεισόδια Βαρδάρη της περιόδου 1966-1975, μελετήθηκαν τεφιγράμματα και παρατηρήθηκε αναστροφή θερμοκρασίας που ξεκινά από τη μέση τροπόσφαιρα. Μια επιπλέον αναστροφή παρατηρείται από το έδαφος έως το επίπεδο των 1000 mb. Αυτή ακριβώς η θερμοκρασιακή αναστροφή παίζει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία έντονων επεισοδίων Βαρδάρη, ενισχύοντας την καταβατική ροή αφού παρεμποδίζει την προς τα πάνω κατακόρυφη διάδοση της ενέργειας. Εξάλλου, τα μέγιστα πλάτη ενός ορεογραφικού κύματος έχουν παρατηρηθεί με την ύπαρξη ενός ρηχού στρώματος θερμοκρασιακής αναστροφής στην κατώτερη τροπόσφαιρα , ενώ η ύπαρξή τους δε συνδέεται με μεγάλα σε ύψος ορεινά εμπόδια (Barry, 2008). Τέλος, η σχετική υγρασία αυξάνει από το έδαφος μέχρι το επίπεδο της αναστροφής, και στη συνέχεια μειώνεται καθ'ύψος.

1.8 ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η μελέτη του ανέμου Βαρδάρη και ιδίως των έντονων επεισοδίων αυτού είναι σημαντική όχι μόνο για την επιστημονική κοινότητα αλλά και για το ευρύ κοινό. Η πόλη της Θεσσαλονίκης επηρεάζεται άμεσα και δύναται να δημιουργηθούν προβλήματα από την ένταση των ανέμων στην καθημερινότητα των κατοίκων μίας μεγάλης πόλης σαν τη Θεσσαλονίκη, όπως για παράδειγμα ακυρώσεις αεροπορικών πτήσεων. Από την άλλη, ο Βαρδάρης επηρεάζει τον κάμπο της Θεσσαλονίκης, επομένως και έμμεσα την αγροτική δραστηριότητα.

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το Weather Research and Forecast Modeling (WRF), με δυναμικό πυρήνα ARW (έκδοση WRF-ARW 3.2.0) και δεδομένων από διάφορους σταθμούς επιφανείας στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας. Μάλιστα 4 από αυτούς τους σταθμούς τοποθετήθηκαν κατάλληλα κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού.

Ειδικότερα, στην εργασία αυτή, παρουσιάζεται:

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

α) συνοπτική μελέτη ενός επεισοδίου Βαρδάρη που προκάλεσε εκτεταμένα προβλήματα, αυτό της $10^{ης}$-$11^{ης}$ Νοεμβρίου 2007

β) μέσης κλίμακας ανάλυση για τις βασικότερες μετεωρολογικές παραμέτρους που σχετίζονται με τον άνεμο Βαρδάρη

γ) διερεύνηση της σημασίας της τοπογραφίας της περιοχής μελέτης στο συγκεκριμένο επεισόδιο με τη διεξαγωγή μίας δοκιμής ευαισθησίας

Η παρούσα διατριβή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως καινοτόμος, διότι είναι η πρώτη φορά που ένα πολύ υψηλής ανάλυσης αριθμητικό μοντέλο, μαζί με κατάλληλες μετρήσεις κατά μήκος του Αξιού, συνδυάζονται για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών του Βαρδάρη.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αυτή η εργασία εκπονήθηκε βασιζόμενη σε συνδυασμό διαφόρων μετεωρολογικών δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα αυτά ήταν μετεωρολογικές παρατηρήσεις από σταθμούς επιφανείας, μετεωρολογικές παρατηρήσεις ανώτερης ατμόσφαιρας, πλεγματικά δεδομένα αναλύσεων και κυρίως προσομοιώσεις που προήλθαν από το αριθμητικό μοντέλο WRF. Ειδικότερα για τους σταθμούς επιφανείας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 22 μετεωρολογικούς σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας, ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι 4 από αυτούς τους σταθμούς είναι εγκατεστημένοι κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού, δηλαδή στην «καρδιά» της περιοχής ενδιαφέροντος. Αυτοί οι σταθμοί (Εύζωνοι, Αξιούπολη, Ακροπόταμος, Κύμινα) εγκαταστάθηκαν και παρακολουθήθηκαν από τον Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του ΑΠΘ και το Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. 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, της ενέργειας και της υγρασίας. Ένα μοντέλο περιλαμβάνει την επιλογή να ολοκληρώνεται είτε μη υδροστατικά, είτε χρησιμοποιώντας την υδροστατική προσέγγιση (Janjic et al.,2001). Σε προσομοιώσεις υψηλής χωρικής ανάλυσης το μη υδροστατικό μοντέλο δίνει γενικά καλύτερες και ομαλότερες λύσεις από το υδροστατικό. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το μη-υδροστατικό μοντέλο Weather Research and Forecast Modeling (WRF), με το δυναμικό πυρήνα ARW (έκδοση WRF-ARW 3.2.0). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα μη-υδροστατικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για προσομοιώσεις πολύ υψηλής χωρικής ανάλυσης και αυτός υπήρξε ένας βασικός λόγος επιλογής του μη-υδροστατικού ατμοσφαιρικού μοντέλου WRF.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

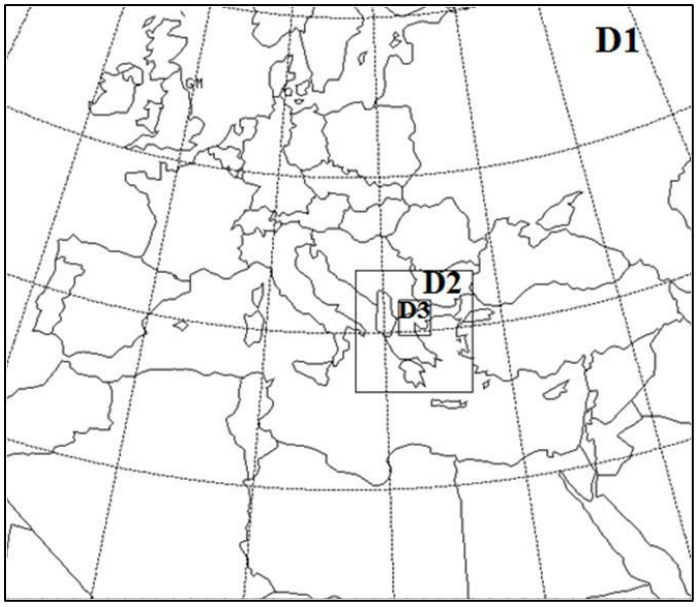
2.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ WRF

Το WRF-ARW είναι ένα τελευταίας γενιάς αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού, σχεδιασμένο να λειτουργεί τόσο ερευνητικά (Skamarock et al., 2008) όσο και επιχειρησιακά (Wang et al., 2010). Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως ιδεατές προσομοιώσεις, έρευνα παραμετροποιήσεων, έρευνα αφομοίωσης δεδομένων και προγνώσεις σε πραγματικό χρόνο σε παγκόσμια και περιοχική κλίμακα. Το μοντέλο αυτό αποτελεί προϊόν συνεργασίας κυρίως μεταξύ του Εθνικού Κέντρου για την Ατμοσφαιρική Έρευνα (NCAR) των ΗΠΑ, της Εθνικής Ωκεάνιας και Ατμοσφαιρικής Διοίκησης (τα εθνικά κέντρα για την περιβαλλοντική πρόβλεψη) (NCEP) και του Εργαστηρίου Συστημάτων πρόβλεψης (FSL), της Μετεωρολογικής Διοίκησης της Πολεμικής Αεροπορίας (AFWA), του Ναυτικού Ερευνητικού Εργαστηρίου, του πανεπιστημίου της Οκλαχόμα, και της Ομοσπονδιακής Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (FAA).

2.2.1 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το μοντέλο ολοκληρώνεται σε τρία πλέγματα, που καλύπτουν την Ευρώπη-Μεσόγειο-Βόρεια Αφρική (περιοχή D1-σχήμα 2.1), τη Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα καθώς και μεγάλο τμήμα της Νότιας Βαλκανικής Χερσονήσου (περιοχή D2-σχήμα 2.1) και την ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας (περιοχή D3-σχήμα 2.1). Η χωρική διακριτοποίηση είναι αντίστοιχα 15km x 15km (περιοχή 1), 5km x 5km (περιοχή 2) και 1 km x 1 km (περιοχή 3), χρησιμοποιώντας εναλλασσόμενο οριζόντιο πλέγμα Arakawa τύπου C.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 2.1: τα τρία πλέγματα που χρησιμοποιήθηκαν από το αριθμητικό μοντέλο WRF-ARW για τις προσομοιώσεις

Για την τοπογραφία και τη χρήση γης του πεδίου ολοκλήρωσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που ελήφθησαν από την Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών (USGS), με οριζόντια ανάλυση 30” x 30”.

Σχετικά με τις αρχικές και πλευρικές οριακές συνθήκες της D1-εξωτερικής περιοχής χρησιμοποιήθηκαν οι επιχειρησιακές αναλύσεις επιφανείας και ανώτερης ατμόσφαιρας του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF). Οι αναλύσεις ανακτήθηκαν ανά 6 ώρες. Στην κατακόρυφη διεύθυνση τα δεδομένα διατέθηκαν στα ισοβαρικά επίπεδα των 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70 και 50 hPa, σε ένα κανονικό πλέγμα διακριτοποίησης 0,25° γεωγραφικού μήκους x 0,25° γεωγραφικού πλάτους. Ως αρχικά δεδομένα για τις προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν αυτά της ανάλυσης της 9^{ης} Νοεμβρίου 2007 για τις 12 UTC, δηλαδή μια ημέρα πριν την εκδήλωση του φαινομένου μελέτης. Στην κατακόρυφο χρησιμοποιήθηκαν 39 επίπεδα σ-συντεταγμένης ως τα 50 hPa, με 10 επίπεδα στο πρώτο χιλιόμετρο. Για τις επιφανειακές θερμοκρασίες της θάλασσας χρησιμοποιούνται τα ημερήσια δεδομένα του Εθνικού Κέντρου Περιβαλλοντικών Προγνώσεων (NCEP) στην πολύ υψηλή οριζόντια ανάλυση των 0,083° x 0,083°.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

2.2.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ

Ως προς τη μικροφυσική χρησιμοποιήθηκε το σχήμα Ferrier (Eta). Το σχήμα αυτό εφαρμόζεται επιτυχώς στο αριθμητικό μοντέλο WRF-ARW που λειτουργεί επιχειρησιακά στον τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Πρόκειται για ένα σχήμα που εκτιμά το περιεχόμενο νερό και τον πάγο ενός νέφους βασιζόμενο στη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία κάθε επιπέδου του μοντέλου και ακολούθως εκτιμά το ρυθμό σχηματισμού βροχής ή χιονιού (Ferrier et al., 2002).

Για τις διεργασίες των καταιγιδοφόρων νεφών και της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε το σχήμα παραμετροποίησης της ανωμεταφοράς των Betts-Miller-Janjic (Janjic et al., 2001). Πρόκειται για ένα σχήμα που περιγράφει την κατακόρυφη αστάθεια των σωρειτόμορφων νεφών και σχετίζεται με ανοδικά και καθοδικά ρεύματα που δημιουργούνται πλησίον και εντός αυτών.

Σχετικά με την παραμετροποίηση της ακτινοβολίας, τα διάφορα σχήματα περιγράφουν τη θέρμανση της ατμόσφαιρας λόγω απόκλισης της ροής ακτινοβολίας και συγκριτικά με την επίδραση που έχει το ισοζύγιο της ακτινοβολίας (μεγάλου και μικρού μήκους κύματος) στο έδαφος. Η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία αντιστοιχεί στην υπέρυθρη ακτινοβολία, ενώ η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία περιλαμβάνει την ορατή ακτινοβολία. Οι υπολογισμοί που αφορούν τη μεταφορά ακτινοβολίας σε μικρά και μεγάλα μήκη κύματος προέρχονται από τον κώδικα RRTMG (Iacono et al., 2008, Milawer et al., 1997). Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί την τεχνική της k-κατανομής για να υπολογίσει την ακτινοβολία και το ρυθμό θέρμανσης, διαθέτοντας δυνατότητα υψηλής ανάλυσης. Για την μικρού μήκους κύματος μεταφορά ακτινοβολίας χωρίζει το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα σε 14 κανάλια μικρού μήκους κύματος που εκτείνονται από τα 0,2μm μέχρι τα 12,2μm. Για την μεγάλου μήκους κύματος μεταφορά ακτινοβολίας το RRTMG χωρίζει το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα σε 16 κανάλια μεγάλου μήκους κύματος που εκτείνονται από τα 3,1μm μέχρι τα 1000μm.

Η φυσική του επιφανειακού στρώματος αναπαρίσταται από τις παραμετροποιήσεις των Monin-Obukhov (Monin-Obukhov, 1954), όπως αυτό χρησιμοποιείται στο μοντέλο Eta. Οι παραμετροποιήσεις αναφέρονται στο τυρβώδες υπόστρωμα, οι

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

επιδράσεις του οποίου πάνω από το έδαφος λαμβάνονται υπόψη μέσα από ένα μήκος τραχύτητας για την θερμοκρασία και την υγρασία.

Για την παραμετροποίηση του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (ΑΟΣ), χρησιμοποιήθηκε το σχήμα Mellor-Yamada-Janjic (Eta). Το σχήμα των Mellor-Yamada-Janjic περιγράφει τις αναταράξεις στο ΑΟΣ. Απαραίτητη προυπόθεση για τη σωστή εφαρμογή του σχήματος είναι η θετική τιμή της τυρβώδους κινητικής ενέργειας.

Τέλος, υπομοντέλο εδάφους είναι το ενοποιημένο NOAH (Chen and Dudhia, 2001). Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί τέσσερεις ζώνες εδάφους, με κριτήριο το βάθος (0-10cm, 10-40cm, 40-100cm, 100-200cm) και λαμβάνει υπόψη όχι μόνο το ριζικό σύστημα που αναπτύσσεται εντός του υπεδάφιου στρώματος αλλά και διάφορες υδρογεωλογικές διεργασίες, όπως την απορροή, την αποστράγγιση και την εξατμισοδιαπνοή. Ακόμη, τροφοδοτεί το σχήμα του ΑΟΣ, εκτιμώντας τις ροές αισθητής θερμότητας και λανθάνουσας.

2.3 ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ECMWF

Το ντετερμινιστικό μοντέλο του ECMWF είναι ένα ατμοσφαιρικό υδροστατικό φασματικό μοντέλο (T799) με πλήρεις φυσικές διεργασίες. Στην κατακόρυφη διεύθυνση χρησιμοποιούνται 91 επίπεδα, έως τα 0.01 hPa. Οι αναλύσεις και οι ντετερμινιστικές προγνώσεις διανεμήθηκαν σε ένα πλέγμα Α με ανάλυση 0.25° x 0.25°, ανά 6 ώρες. Στην κατακόρυφη διεύθυνση τα δεδομένα διατέθηκαν στα ισοβαρικά επίπεδα των 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70 και 50 hPa.

Το αριθμητικό μοντέλο του Ευρωπαϊκού κέντρου κατά την ολοκλήρωσή του χρησιμοποιεί φασματικές μεθόδους για την αναπαράσταση των μετεωρολογικών παραμέτρων στην οριζόντια διεύθυνση, ενώ ένα πλήθος παραμετροποιήσεων χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των διαφόρων φυσικών διεργασιών. Η έκδοση κατά τον Νοέμβριο 2007 είναι η T799L91, δηλαδή χρησιμοποιείται τριγωνική αποκοπή με κυματαριθμό ίσο με 799 (που αντιστοιχεί περίπου σε 0.225º) και 91 κατακόρυφα επίπεδα, όπως προαναφέρθηκε. Είναι εμφανές ότι υπάρχει σημαντικός αριθμός επιπέδων στο οριακό στρώμα, σε άλλα κρίσιμα ύψη της

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

τροπόσφαιρας όπου συναντούμε σημαντικά μετεωρολογικά συστήματα, όπως τους αεροχειμάρρους (~200-300 hPa), καθώς και στο μέσο ύψος της τροπόπαυσης.

Το αριθμητικό μοντέλο του Ευρωπαϊκού κέντρου περιλαμβάνει ένα μεγάλο πλήθος παραμετροποιήσεων (Adcroft et al., 2004) έτσι ώστε να αναπαριστά τις διάφορες φυσικές διεργασίες που συμβαίνουν σε κλίμακες μικρότερες από τη χωρική του ανάλυση. Οι υπολογισμοί των φυσικών διεργασιών γίνονται μόνο στην κατακόρυφη διεύθυνση. Τα δεδομένα εισόδου στα σχήματα παραμετροποίησης είναι οι τιμές των προγνωστικών μεταβλητών (συνιστώσες ανέμου, θερμοκρασία, ειδική υγρασία, νεφοκάλυψη και περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε νερό/πάγο), οι δυναμικές τάσεις αυτών των μεταβλητών και οι τιμές διαφόρων επιφανειακών πεδίων.

Αναφορικά, οι παραμετροποιήσεις του μοντέλου είναι οι:

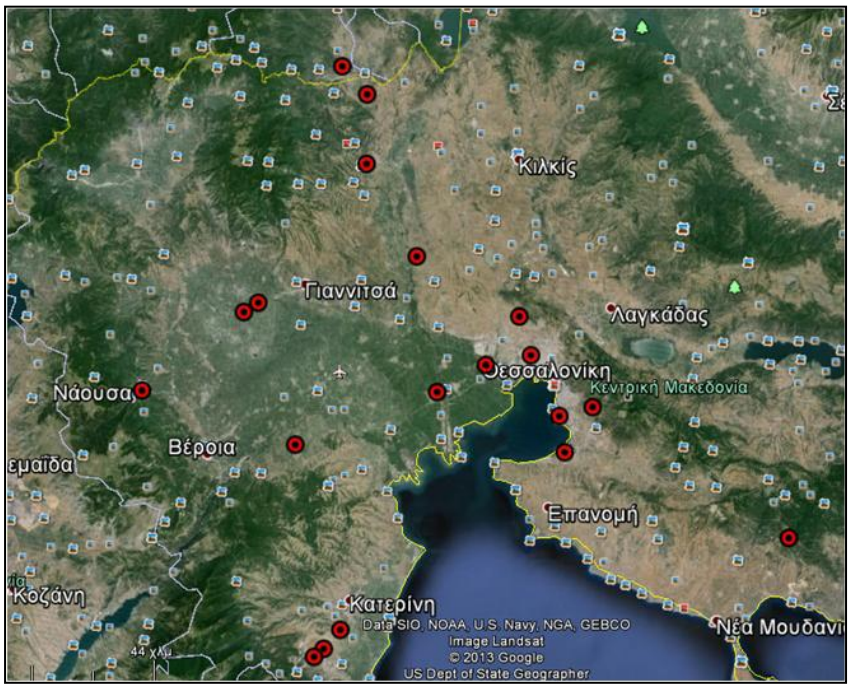
- *Σχήμα ακτινοβολίας*
- *Σχήμα τυρβώδους διάχυσης*
- *Σχήμα ορογραφικού εμποδισμού*
- *Σχήμα ανωμεταφοράς*
- *Σχήμα νεφών και μεγάλης κλίμακας υετού*
- *Σχήμα επιφανειακών και υπεδάφιων διεργασιών*
- *Σχήμα οξείδωσης του μεθανίου*
- *Σχήμα χημείας όζοντος*

2.4 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ-ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΩΝ

Οι παρατηρήσεις προέρχονται από τους διάφορους σταθμούς επιφανείας της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ), του τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, του τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΟΑ), του Ελληνικού Οργανισμού Γεωργικών ασφαλίσεων (ΕΛΓΑ), οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας. Επίσης δεδομένα ελήφθησαν και από τέσσερις μετεωρολογικούς σταθμούς κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού (Εύζωνοι, Αξιούπολη, Ακροπόταμος, Κύμινα), οι οποίοι εγκαταστάθηκαν και παρακολουθήθηκαν από τον τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του ΑΠΘ και το Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Αστεροσκοπείου Αθηνών. Μέσω του Παγκόσμιου Συστήματος Τηλεπικοινωνιών (Global Telecommunication System- GTS) ανακτήθηκαν δεδομένα από τον σταθμό της Γευγελής (Gevgeli) της Πρώην Γιουγκοσλαβικής Δημοκρατίας της Μακεδονίας (ΠΓΔΜ) για την κάλυψη της γεωγραφικά-Βόρειας περιοχής μελέτης του φαινομένου. Παράλληλα με αυτές τις παρατηρήσεις χρησιμοποιήθηκαν αναλύσεις της βαρομετρικής πίεσης στην μέση στάθμη της θάλασσας από την Βρετανική Μετεωρολογική Υπηρεσία (UKMO), καθώς και αναλύσεις ανώτερης ατμόσφαιρας από το επιχειρησιακό μοντέλο πρόγνωσης του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού (ECMWF). Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν χάρτες επιφανείας της Βρετανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (UKMO) καθώς και δεδομένα από 22 σταθμούς επιφανείας που διακρίνονται αναλυτικά στο σχήμα 2.2 και στον πίνακα 2.1 που ακολουθούν



Σχήμα 2.2: οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών επιφανείας, των οποίων τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή

Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.2 οι σταθμοί επιφανείας καλύπτουν την περιοχή όχι μόνο της κοιλάδας του Αξιού αλλά και της ευρύτερης περιοχής της κοιλάδας της Κεντρικής Μακεδονίας, από τις παρυφές του Ολύμπου στα νότια μέχρι την νοτιανατολική FYROM στα βόρεια και από τη Νάουσα στα δυτικά μέχρι τον Πολύγυρο Χαλκιδικής στα ανατολικά.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Η πλειονότητα των σταθμών βρίσκεται σε πεδινές περιοχές και μόνο σε 4 από τους 22 σταθμούς το υψόμετρο ξεπερνούσε τα 300 μέτρα (πίνακας 2.1). Οι φορείς που ήταν υπεύθυνοι για τη λειτουργία και επίβλεψη των σταθμών ήταν διάφοροι και διακρίνονται αναλυτικά στον πίνακα 2.1 που ακολουθεί.

Για τους 4 σταθμούς κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού (Εύζωνοι, Αξιούπολη, Ακροπόταμος, Κύμινα) τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα με χρονικό βήμα πενταλέπτου, αλλά τελικά χρησιμοποιήθηκε το χρονικό βήμα δεκαλέπτου για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα. Τέλος, τα ανεμόμετρα στους διάφορους σταθμούς δεν ήταν όλα στα 10 μέτρα, όπως συνέβη με τους 4 προαναφερθέντες σταθμούς, αλλά αυτό τελικά έγινε εφικτό με τη βοήθεια εξισώσεων που περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4.1

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Πίνακας 2.1: Πίνακας με τους 22 σταθμούς επιφανείας που χρησιμοποιήθηκαν, τον οργανισμό επίβλεψης των σταθμών, τις συντεταγμένες και το υψόμετρο αυτών

ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑ	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΓΕΩΓΡ.ΠΛΑΤΟΣ (°Β)	ΓΕΩΓΡ.ΜΗΚΟΣ (°Α)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
ΑΠΘ-ΕΑΑ	ΑΚΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	40,84	22,66	45
ΑΠΘ-ΕΑΑ	ΑΞΙΟΥΠΟΛΗ	40,99	22,55	34
ΑΠΘ-ΕΑΑ	ΕΥΖΩΝΟΙ	41,11	22,56	70
ΑΠΘ-ΕΑΑ	ΚΥΜΙΝΑ	40,62	22,7	4
ΕΑΑ	ΔΙΟΝ	40,2	22,45	45
ΕΑΑ	ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ	40,66	22,8	35
ΕΑΑ	ΚΙΛΚΙΣ	41	22,5	290
ΕΑΑ	ΝΑΟΥΣΣΑ	40,62	22,06	365
ΕΑΑ	ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ	40,37	23,44	580
ΑΠΘ - ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ	ΜΕΤΕΩΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	40,63	22,95	35
ΑΠΘ - ΓΕΩΠΟΝΙΑ	ΝΕΑ ΕΦΕΣΣΟΣ	40,23	22,48	55
ΑΠΘ - ΓΕΩΠΟΝΙΑ	ΒΡΟΝΤΟΥ	40,19	22,43	120
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΕΛΕΥΘΕΡΙΟ-ΚΟΡΔΕΛΙΟ	40,67	22,9	52
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	40,57	22,96	20
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΝΕΟΧΩΡΟΥΔΑ	40,741	22,876	300
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΠΑΝΟΡΑΜΑ	40,592	23,03	330
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΣΙΝΔΟΣ	40,663	22,803	14
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΤΑΡΑΤΣΑ ΦΥΣΙΚΟΥ	40,63	22,9608	55
ΕΜΥ	ΜΙΚΡΑ-AIRPORT	40,52	22,97	1
ΕΜΥ	ΓΕΥΓΕΛΗ	41,15	22,5	
ΕΛΓΑ	ΓΑΛΑΤΑΔΕΣ	40,75	22,29	15
ΕΛΓΑ	ΜΕΛΙΚΗ	40,54	22,39	29

2.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και την όσο το δυνατόν καλύτερη απεικόνιση της συνοπτικής κατάστασης του έντονου επεισοδίου Βαρδάρη, το Νοέμβριο του 2007, δημιουργήθηκαν χάρτες που απεικονίζουν τις διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους στο χρονικό διάστημα πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη ψυχρή εισβολή. Αυτή η διαδικασία επετεύχθη με βάση το λογισμικό GrADS (Grid Analysis and Display System). Το GrADS (Grid Analysis and Display System) είναι ένα διαδραστικό εργαλείο υπολογιστών που χρησιμοποιείται για την εύκολη πρόσβαση, τον χειρισμό και την απεικόνιση στοιχείων και δεδομένων που σχετίζονται με τις επιστήμες που αφορούν τη γη. Το GrADS χρησιμοποιεί ένα τετραδιάστατο περιβάλλον στοιχείων που περιλαμβάνει το γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος, ισοβαρικό επίπεδο, και το χρόνο. Τα σύνολα των στοιχείων τοποθετούνται μέσα στον τετραδιάστατο χώρο μέσω ενός αρχείου που βοηθάει στην περιγραφή των στοιχείων. Επίσης, ερμηνεύει στοιχεία σταθμών, καθώς επίσης και τα στοιχεία πλέγματος (όπου τα πλέγματα μπορούν να είναι κανονικά, μη-γραμμικά χωρισμένα σε διαστήματα, γκαουσσιανά, ή ποικίλης ανάλυσης). Τα στοιχεία μπορούν να απεικονιστούν γραφικά, με την αντίστοιχη χωρική και χρονική εγγραφή τους. Οι διαδικασίες εκτελούνται με την είσοδο εκφράσεων όπως αυτές της FORTRAN. Τα στοιχεία μπορούν να απεικονιστούν χρησιμοποιώντας διάφορες γραφικές τεχνικές, όπως γραφικές παραστάσεις γραμμών ή στηλών, διαγράμματα διασποράς κα.

Επίσης, για τη δημιουργία εξειδικευμένων μετεωρολογικών χαρτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα RIP. Το RIP, από τα αρχικά Read/Interpolate/Plot (Διαβάζω/Παρεμβάλλω/Πλοτάρω) είναι ένα πρόγραμμα FORTRAN που χρησιμοποιεί τα γραφικά πακέτα του NCAR και είναι κατάλληλο για τη δημιουργία εικόνων κυρίως από αποτελέσματα μοντέλων μέσης κλίμακας. Το RIP μπορεί να παράγει κατακόρυφες τομές βαθμωτών πεδίων (με τη χρήση ισοπληθών) ή διανυσματικών πεδίων (με τη χρήση βελών).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΣΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ ΒΑΡΔΑΡΗ ΤΗΣ 10^{ΗΣ} ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2007

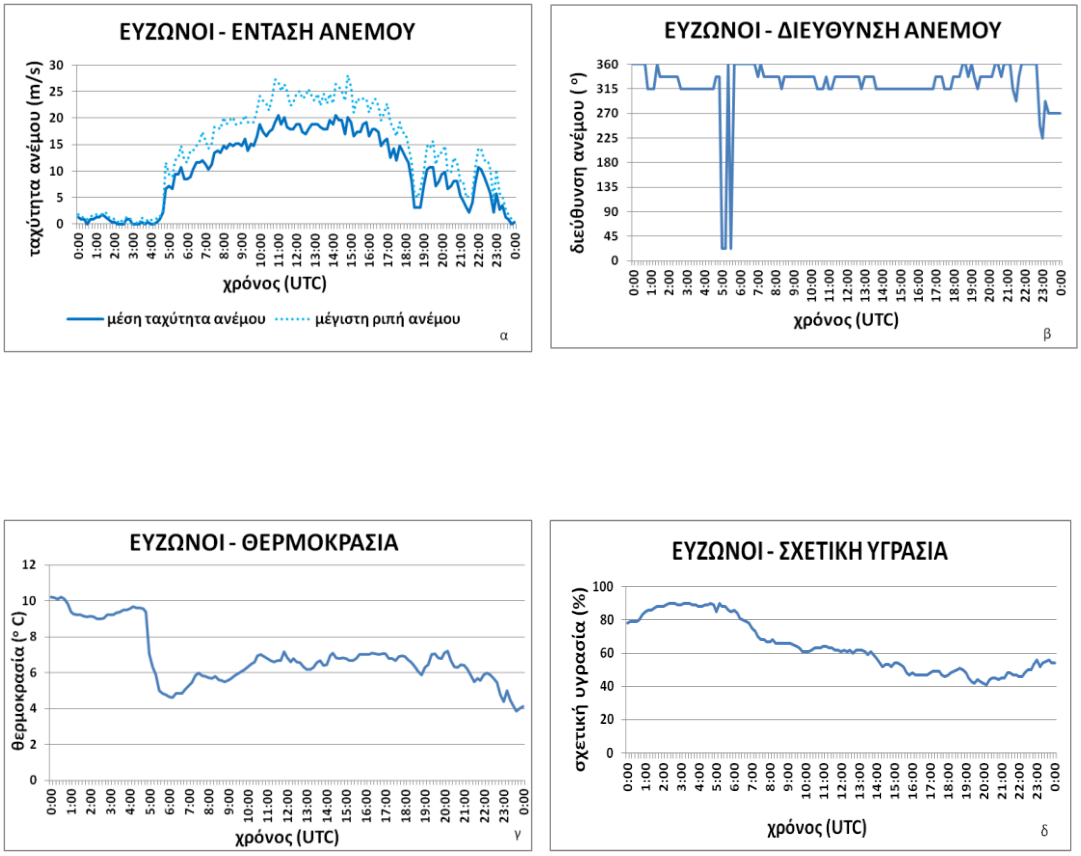
Παρά το γεγονός ότι, ο άνεμος Βαρδάρης είναι ένας τοπικός άνεμος που επηρεάζει μια γεωγραφικά σχετικά μικρή περιοχή της Νοτίου Βαλκανικής, καθορίζεται από τις συνοπτικές συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης. Για το λόγο αυτό έγινε μια προσπάθεια να μελετηθεί και να αναλυθεί η συνοπτική κατάσταση που επικράτησε πριν τις 10 Νοεμβρίου 2007 (και κατά τη διάρκεια αυτής) και οδήγησε στο εν λόγω έντονο επεισόδιο Βαρδάρη.

3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

Αρχικά, αναλύονται τα δεδομένα που ελήφθησαν από τους προαναφερθέντες τέσσερις εγκατεστημένους σταθμούς, κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού (Εύζωνοι, Αξιούπολη, Ακροπόταμος, Κύμινα) καθώς και τα αντίστοιχα δεδομένα που αφορούν τη Θεσσαλονίκη και πιο συγκεκριμένα το σταθμό του αεροδρομίου Μακεδονία στην Μίκρα Θεσσαλονίκης. Ειδικότερα, από τα δεδομένα που ελήφθησαν από τους εν λόγω σταθμούς εξήχθησαν τα διαγράμματα των σχημάτων 3.1 , 3.2 , 3.3, 3.4 και 3.5 .

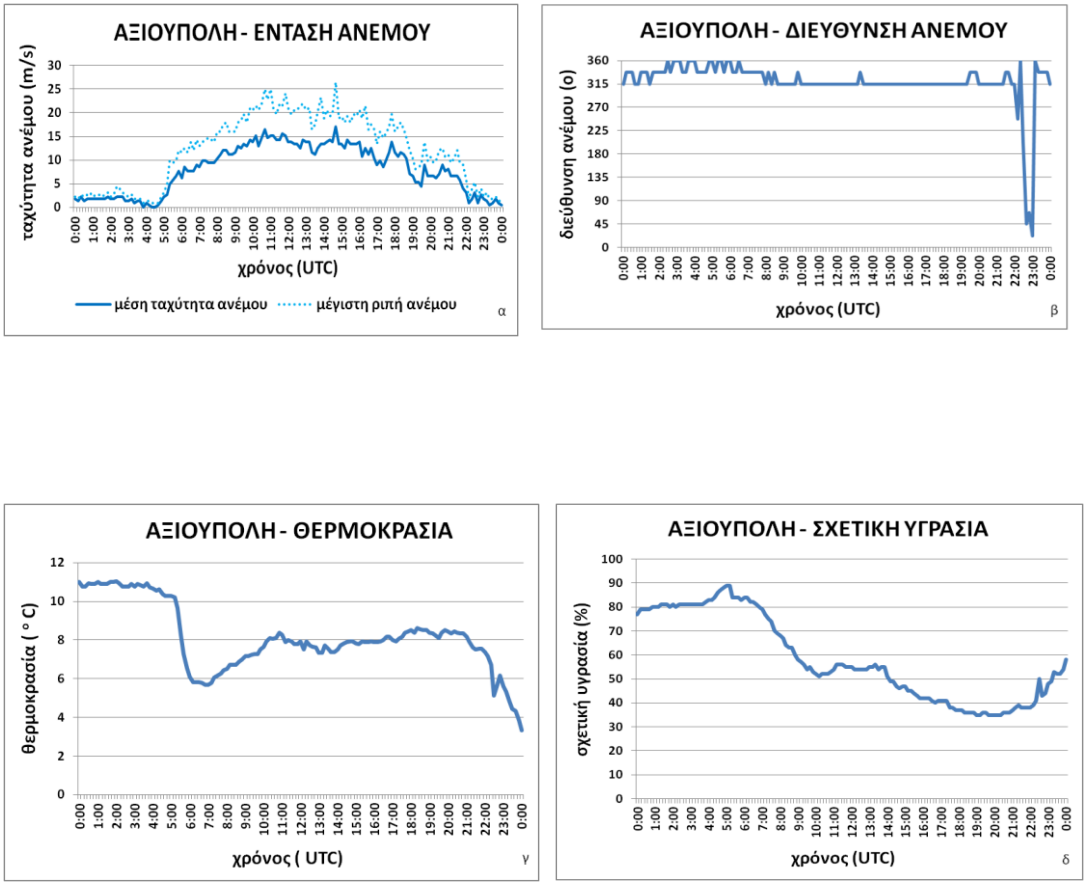
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Εύζωνοι



Σχήμα 3.1 – Διαγράμματα που απεικονίζουν α) τη μέση ταχύτητα και μέγιστη ριπή του ανέμου (σε m/sec) β), τη διεύθυνση του ανέμου (σε μοίρες) , γ) τη θερμοκρασία (^{o} C) και δ) τη σχετική υγρασία (%) στο σταθμό των Ευζώνων από τις 10/11/07 στις 00 UTC μέχρι τις 11/11/07 στις 00 UTC.

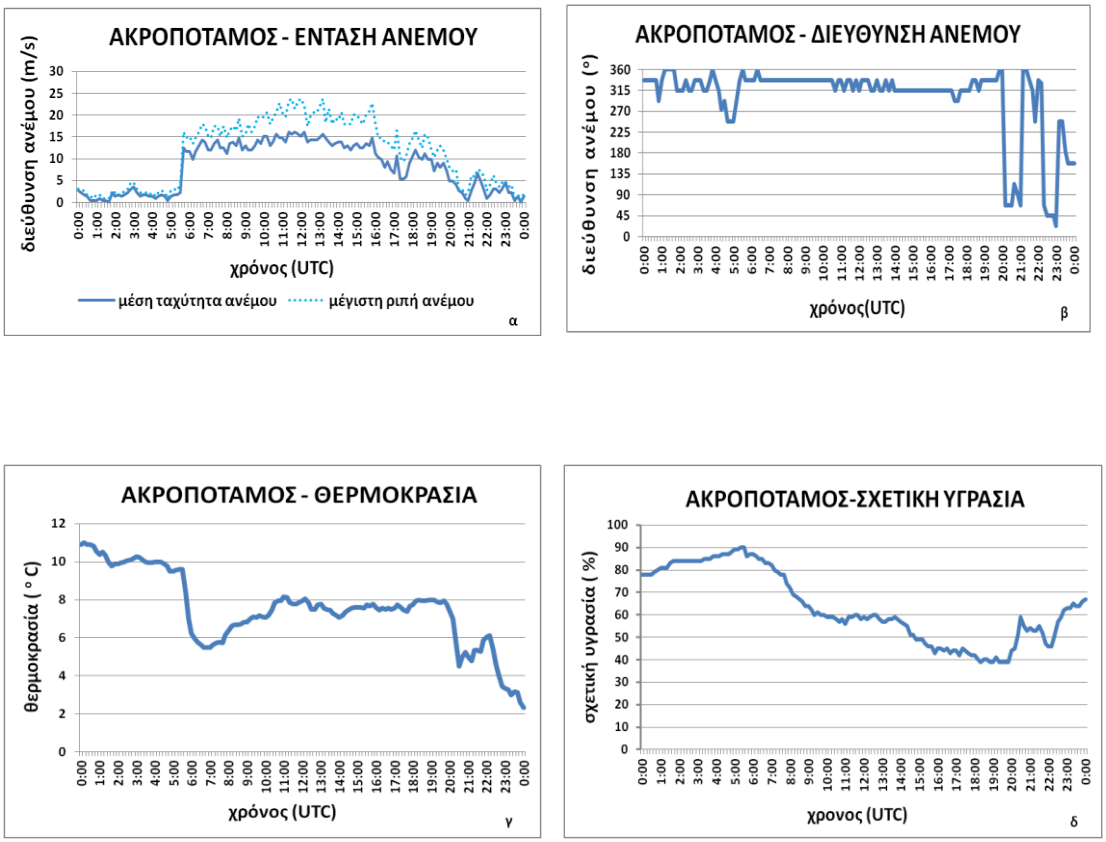
Αξιούπολη



Σχήμα 3.2 – Διαγράμματα που απεικονίζουν α) τη μέση ταχύτητα και μέγιστη ριπή του ανέμου (σε m/sec) β), τη διεύθυνση του ανέμου (σε μοίρες) , γ) τη θερμοκρασία (^{o} C) και δ) τη σχετική υγρασία (%) στο σταθμό της Αξιούπολης από τις 10/11/07 στις 00 UTC μέχρι τις 11/11/07 στις 00 UTC.

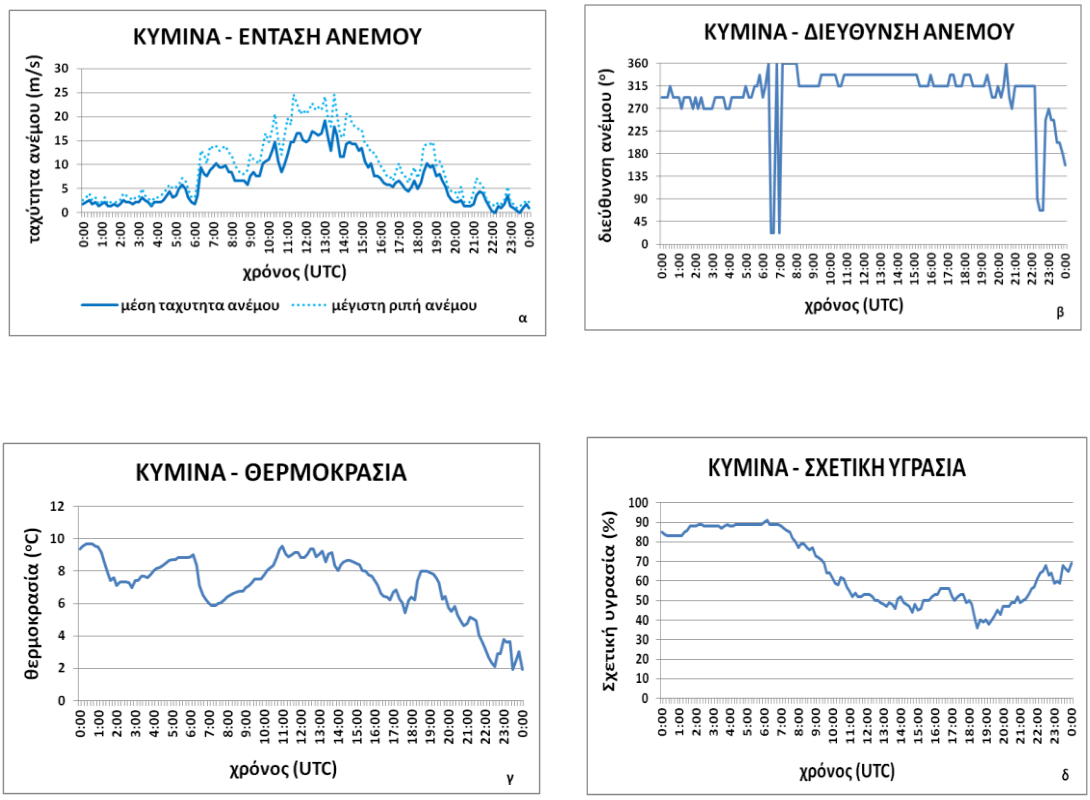
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ακροπόταμος



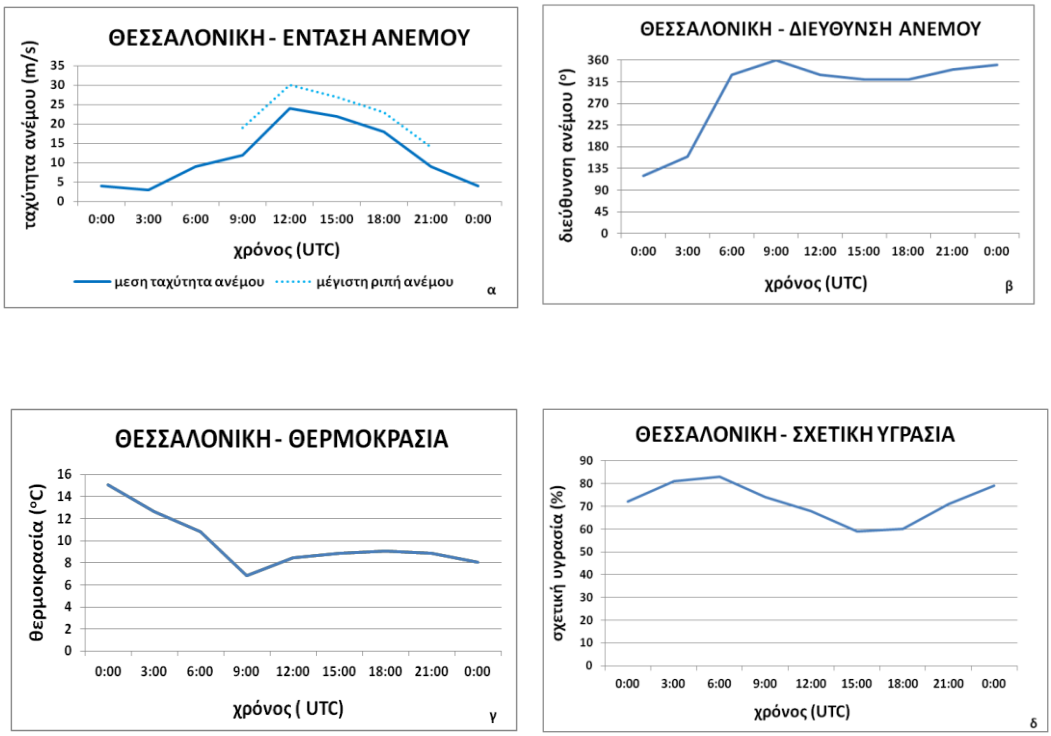
Σχήμα 3.3 – Διαγράμματα που απεικονίζουν α) τη μέση ταχύτητα και μέγιστη ριπή του ανέμου (σε m/sec) β), τη διεύθυνση του ανέμου (σε μοίρες) , γ) τη θερμοκρασία (^{o} C) και δ) τη σχετική υγρασία (%) στο σταθμό του Ακροποτάμου από τις 10/11/07 στις 00 UTC μέχρι τις 11/11/07 στις 00 UTC

Κύμινα



Σχήμα 3.4 – Διαγράμματα που απεικονίζουν α) τη μέση ταχύτητα και μέγιστη ριπή του ανέμου (σε m/sec) β), τη διεύθυνση του ανέμου (σε μοίρες) , γ) τη θερμοκρασία (^{o} C) και δ) τη σχετική υγρασία (%) στο σταθμό των Κυμίνων από τις 10/11/07 στις 00 UTC μέχρι τις 11/11/07 στις 00 UTC

Θεσσαλονίκη



Σχήμα 3.5 – Διαγράμματα που απεικονίζουν α) τη μέση ταχύτητα και μέγιστη ριπή του ανέμου (σε m/sec) β), τη διεύθυνση του ανέμου (σε μοίρες) , γ) τη θερμοκρασία (^{o} C) και δ) τη σχετική υγρασία (%) στο σταθμό της Θεσσαλονίκης από τις 10/11/07 στις 00 UTC μέχρι τις 11/11/07 στις 00 UTC

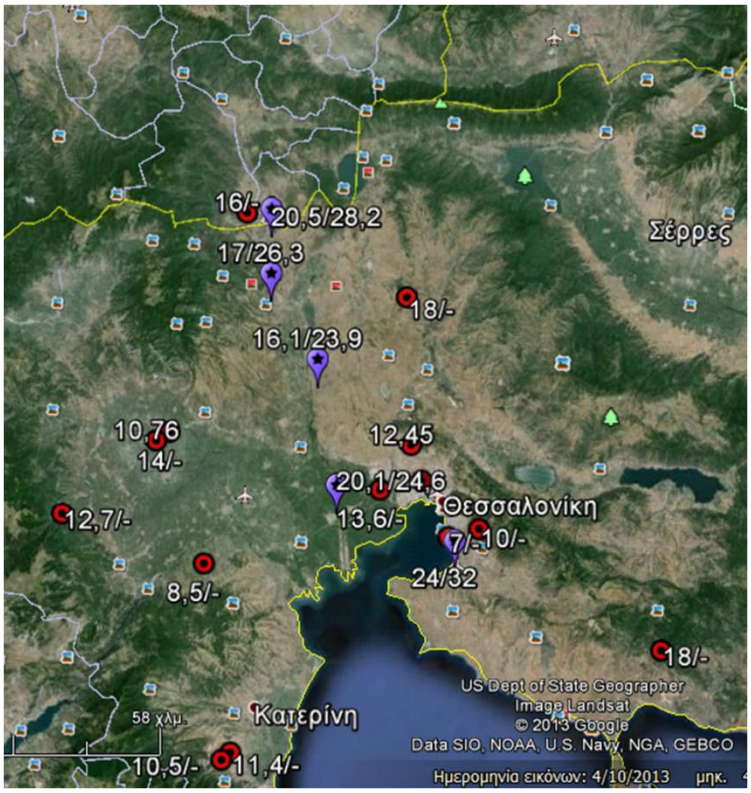
Έπειτα από την μελέτη των σχημάτων 3.1-3.5 μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Όσον αφορά τη χρονική εξέλιξη της ταχύτητας του ανέμου στα 10 μέτρα, η έναρξη του φαινομένου λαμβάνει χώρα στον σταθμό των Ευζώνων, δηλαδή τον βορειότερο σταθμό εντός Ελλάδος, περίπου στις 04:40 UTC (σχήμα 3.1α) και στους σταθμούς των Κυμίνων και της Θεσσαλονίκης γύρω στις 06:00 UTC (σχήματα 3.4α και 3.5α). Επομένως, έχοντας ως κριτήριο τη θέση των σταθμών κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού, παρατηρείται μια σταδιακή ενίσχυση του ανέμου από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά.

Σε όλους τους σταθμούς η ταχύτητα του ανέμου ξεπέρασε τα 15 m/sec, ενώ ξεπέρασε τα 10-11 m/sec (που αντιστοιχεί σε ισχυρούς ανέμους στην κλίμακα Beaufort, ≥ 6 BF- Μακρογιάννης, 2004) για περίπου 12, 10, 10, 5, 10 ώρες στους σταθμούς των Ευζώνων της Αξιούπολης, του Ακροποτάμου, των Κυμίνων και του αεροδρομίου της

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει όχι μόνο την ένταση αλλά και τη διάρκεια του φαινομένου.

Οι υψηλότερες τιμές ταχύτητας του ανέμου εκδηλώθηκαν κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού και ιδίως στον σταθμό των Ευζώνων (20.5 m/s με μέγιστες ριπές που ξεπέρασαν τα 28.2 m/s) καθώς και στον σταθμό της Θεσσαλονίκης (24 m/s με ριπές που άγγιξαν τα 31.9 m/s). (σχήματα 3.1α-3.5α) πιθανόν λόγω της παραθαλάσσιας θέσης του σταθμού και της ύπαρξης μικρότερης τριβής. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί πως από τον Βαρδάρη επηρεάστηκε το σύνολο σχεδόν της περιφέρειας της Κεντρικής Μακεδονίας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.6 που ακολουθεί



Σχήμα 3.6: μέγιστη παρατηρούμενη μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου στα 10 m (σε m/s) και οι αντίστοιχες διαθέσιμες ριπές ανέμου στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας (Google maps) στις 10 Νοεμβρίου 2007. Με την παύλα (-) σημειώνεται η έλλειψη διαθέσιμων στοιχείων για τις ριπές του ανέμου για τους κατά τόπους σταθμούς, ενώ με τον μοβ αστερίσκο επισημαίνεται η θέση των 4 σταθμών κατά μήκος του Αξιού (Εύζωνοι, Αξιούπολη, Ακροπόταμος, Κύμινα) και του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης.

Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές ταχύτητας που σημειώθηκαν σε διάφορους σταθμούς της Κεντρικής Μακεδονίας (πίνακας 2.1). Όπως φαίνεται στον χάρτη στου σχήματος 3.6 οι άνεμοι ξεπέρασαν τα 10m/s στην πλειονότητα των

σταθμών. Ιδιαίτερα ενισχυμένοι άνεμοι παρατηρήθηκαν κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού και στην περιοχή του αεροδρομίου «Μακεδονία» , οι οποίοι σημειώνονται στον χάρτη με τους μοβ αστερίσκους. Μάλιστα οι ριπές του ανέμου στις παραπάνω περιοχές ξεπέρασαν τα 24 περίπου m/s και στο αεροδρόμιο άγγιξαν και τα 32 m/s (11 BF- Μακρογιάννης, 2004).

Σχετικά με τη διεύθυνση του ανέμου μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Στο σύνολο των 4 σταθμών εντός της κοιλάδας του Αξιού ο άνεμος ήδη από τις 10/11/07 00UTC είχε στραφεί σε βορειοδυτικό και παρέμεινε βορειοδυτικός μέχρι το τέλος περίπου της συγκεκριμένης ημέρας (σχήματα 3.1β-3.4β), ενώ στο σταθμό της Θεσσαλονίκης ο άνεμος είχε αρχικά μια νότια διεύθυνση μέχρι περίπου και τις 05 UTC όπου και σε διάστημα μόλις μια ώρας στράφηκε και εδώ σε βορειοδυτικό (σχήμα 3.5 β).

Σχετικά με τη μεταβολή της θερμοκρασίας, σημειώθηκε πτώση αυτής περίπου μισή ώρα μετά την εκδήλωση του ανέμου Βαρδάρη και στους 5 σταθμούς αναφοράς. Η θερμοκρασία σημείωσε πτώση 5 βαθμών στους Εύζωνες (σχήμα 3.1γ), 4 βαθμών στην Αξιούπολη (σχήμα 3.2γ), τον Ακροπόταμο (σχήμα 3.3γ) και την Μίκρα (σχήμα 3.5γ) και 3 βαθμών στο σταθμό των Κυμίνων (σχήμα 3.4γ).

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό της επίδρασης του ψυχρού Βαρδάρη είναι οι πολύ χαμηλές νυχτερινές θερμοκρασίες λόγω της έλλειψης νεφών, αφού ο Βαρδάρης δρα ως νεφοδιαλυτής. Επομένως, η ξαστεριά ευνοεί τη ψύξη του παρεδάφιου στρώματος (ψύξη ακτινοβολίας) και έχει ως επακόλουθο την περαιτέρω πτώση της θερμοκρασίας (Μακρογιάννης, 2004). Όπως παρατηρείται στα σχήματα 3.1γ-3.4γ στις 10/11/07 στις 00 UTC η θερμοκρασία και στους 4 μετεωρολογικούς σταθμούς κατά μήκος της κοιλάδας βρίσκεται πάνω από τους 10 βαθμούς. Ωστόσο, 24 ώρες μετά κυμαίνεται μεταξύ 2-4^{o}C ανά σταθμό. Αντίστοιχα για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης η θερμοκρασία στις 10/11/07 στις 00 UTC έφτανε τους 15 βαθμούς, ενώ στις 11/11/07 στις 00 UTC έπεσε στους 8^{o}C (σχήμα 3.5γ). Η θερμοκρασία αυτή είναι σαφώς υψηλότερη από τους άλλους 4 σταθμούς, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στην παρουσία της θάλασσας πλησίον του σταθμού. Επομένως, η ηπειρωτικότητα των 4 σταθμών του Αξιού ευνοεί την ταχύτερη και εντονότερη ψύξη του παρεδάφιου στρώματος αέρα.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ανάλογη πτωτική τάση παρουσιάζει και η σχετική υγρασία. Όπως είναι γνωστό η σχετική υγρασία αποτελεί το πηλίκο της υπαρκτής μία δεδομένη χρονική στιγμή υγρασίας στην ατμόσφαιρα προς την μέγιστη τιμή που μπορεί να αποκτήσει ώστε η ατμόσφαιρα αυτή να καταστεί κορεσμένη από υδρατμούς (Wallace et al. , 1977). Παράλληλα, η σχετική υγρασία είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας και επομένως αυξάνεται όταν μειώνεται η θερμοκρασία (άρα θα ελαττώνεται και η μέγιστη τιμή κορεσμού) και αντίστροφα.

Επομένως μόνο με δύο τρόπους μπορεί να μειωθεί η σχετική υγρασία στην εκάστοτε περιοχή: α) μειούμενης της ποσότητας των υδρατμών στην ατμόσφαιρα υπό σταθερή θερμοκρασία (όπως συνέβη χαρακτηριστικά και στο εν λόγω επεισόδιο Βαρδάρη) και β) αυξανόμενης της θερμοκρασίας.

Ωστόσο, παρατηρείται μια διαφορά στην περίπτωση της μεταβολής της σχετικής υγρασίας, σε σχέση με τη θερμοκρασία. Η πτώση της σχετικής υγρασίας αρχίζει συγχρόνως με την έναρξη πνοής του Βαρδάρη, το οποίο έχει παρατηρηθεί και σε παλαιότερες μελέτες (Maheras, 1982 and Arseni-Papadimitriou, 1985). Έτσι, η σχετική υγρασία έπεσε κατά μέσο όρο από το 90% στο 40%, δηλαδή μια σημαντική πτώση της τάξης του 50%, γεγονός που επιβεβαιώνει την αίσθηση του Βαρδάρη ως ενός ψυχρού και ξηρού ανέμου. Εξαίρεση αποτέλεσε ο σταθμός του αεροδρομίου της Θεσσαλονίκης, όπου η υγρασία σημείωσε μια πτώση της τάξης του 25% αλλά δεν έπεσε κάτω από το 60% περίπου, πιθανότατα λόγω της επίδρασης του Θερμαϊκού Κόλπου.

3.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

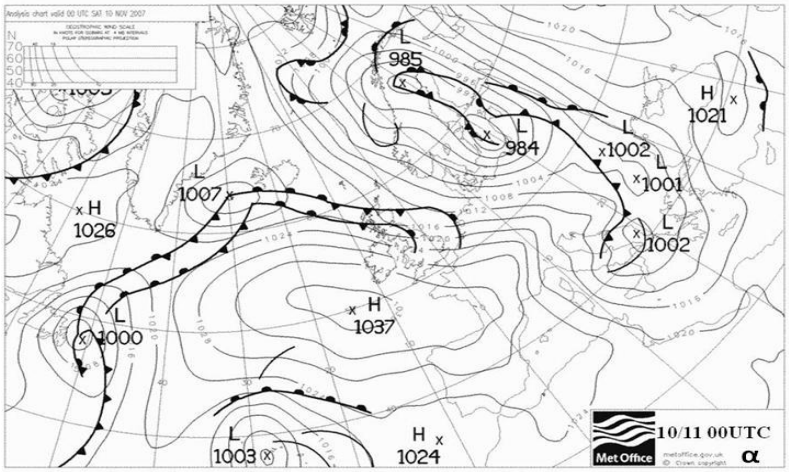
Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή του Κεφαλαίου 3, για να υπάρχει εκδήλωση του ανέμου Βαρδάρη, πρέπει να επικρατεί μία συγκεκριμένη συνοπτική κατάσταση πάνω από την Ευρώπη. Δηλαδή ένας συνδυασμός ενός αντικυκλώνα πάνω από τη Δυτική Ευρώπη και μίας ύφεσης ανατολικά-βορειοανατολικά της Ελλάδας. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός αυλώνα στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 mb και τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την εκδήλωση Βαρδάρη στην επιφάνεια.

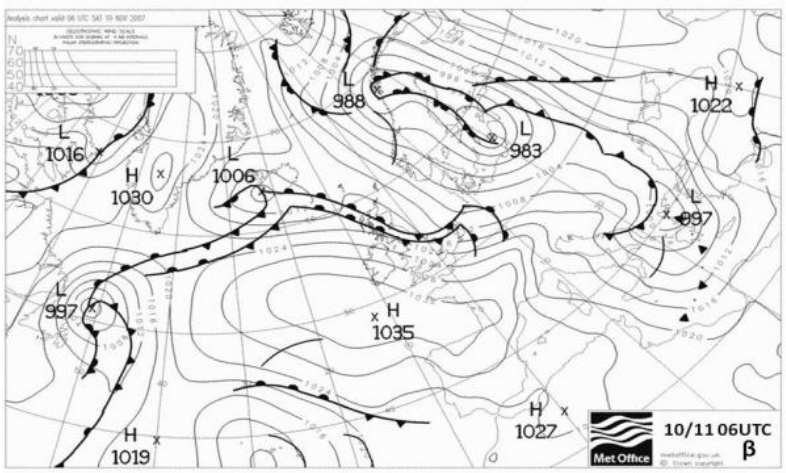
Για αυτόν τον λόγο, κρίνεται αναγκαίο να μελετηθεί και να κατανοηθεί η συνοπτική κατάσταση που επικράτησε στην Ελλάδα και την ευρύτερη περιοχή την 10η

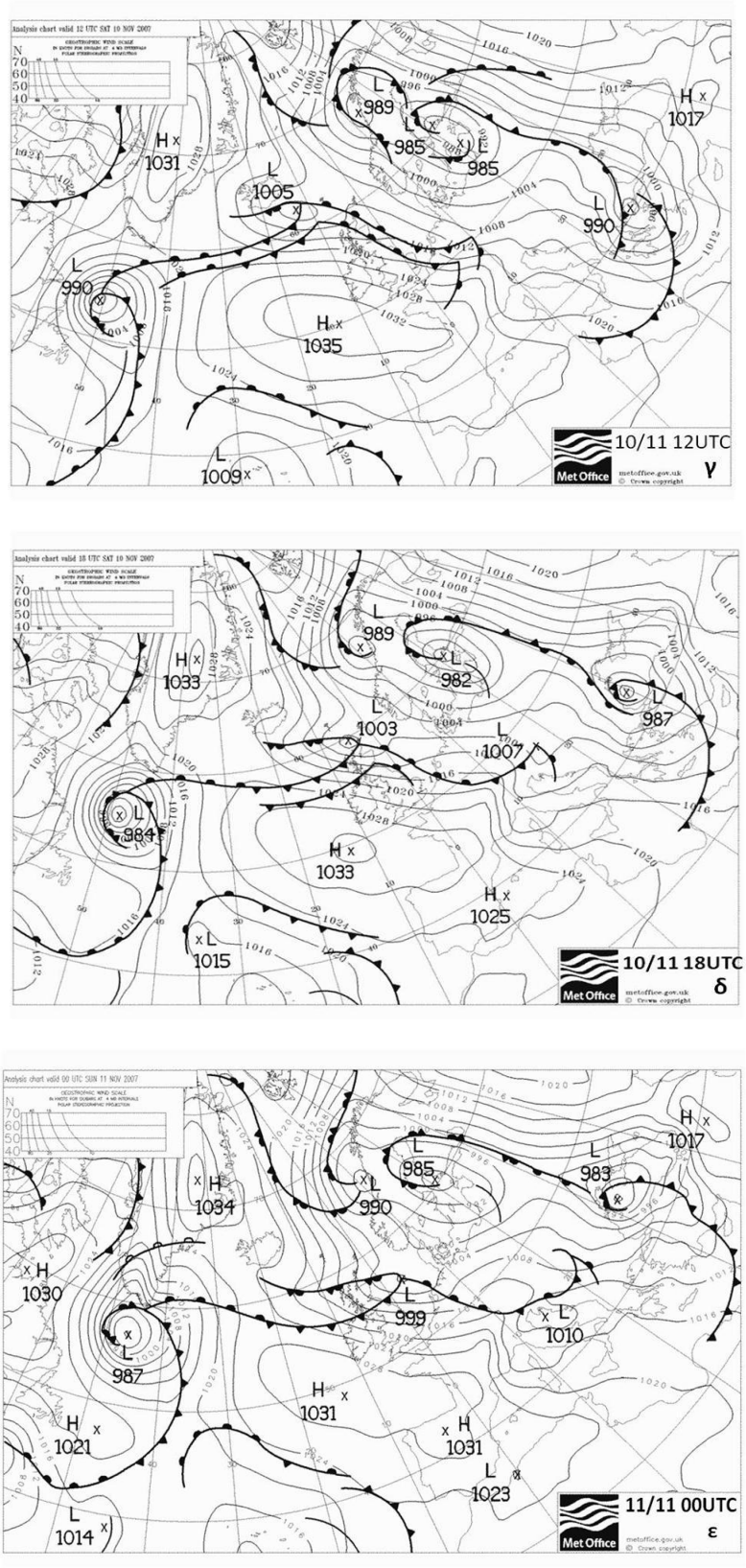
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Νοεμβρίου 2007 που είχε ως απόρροια την εκδήλωση ενός έντονου επεισοδίου Βαρδάρη. Αυτό καθίσταται εφικτό με τη βοήθεια χαρτών που απεικονίζουν την πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (σχήμα 3.7) και το γεωδυναμικό ύψος στα 500 mb(σχήμα 3.8). Προς αυτήν την κατεύθυνση οδηγούν και χάρτες που απεικονίζουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας στα 850mb (σχήμα 3.9) και την εμφάνιση και διαφοροποίηση της μορφής του αεροχειμάρρου στα 250mb (σχήμα 3.10).

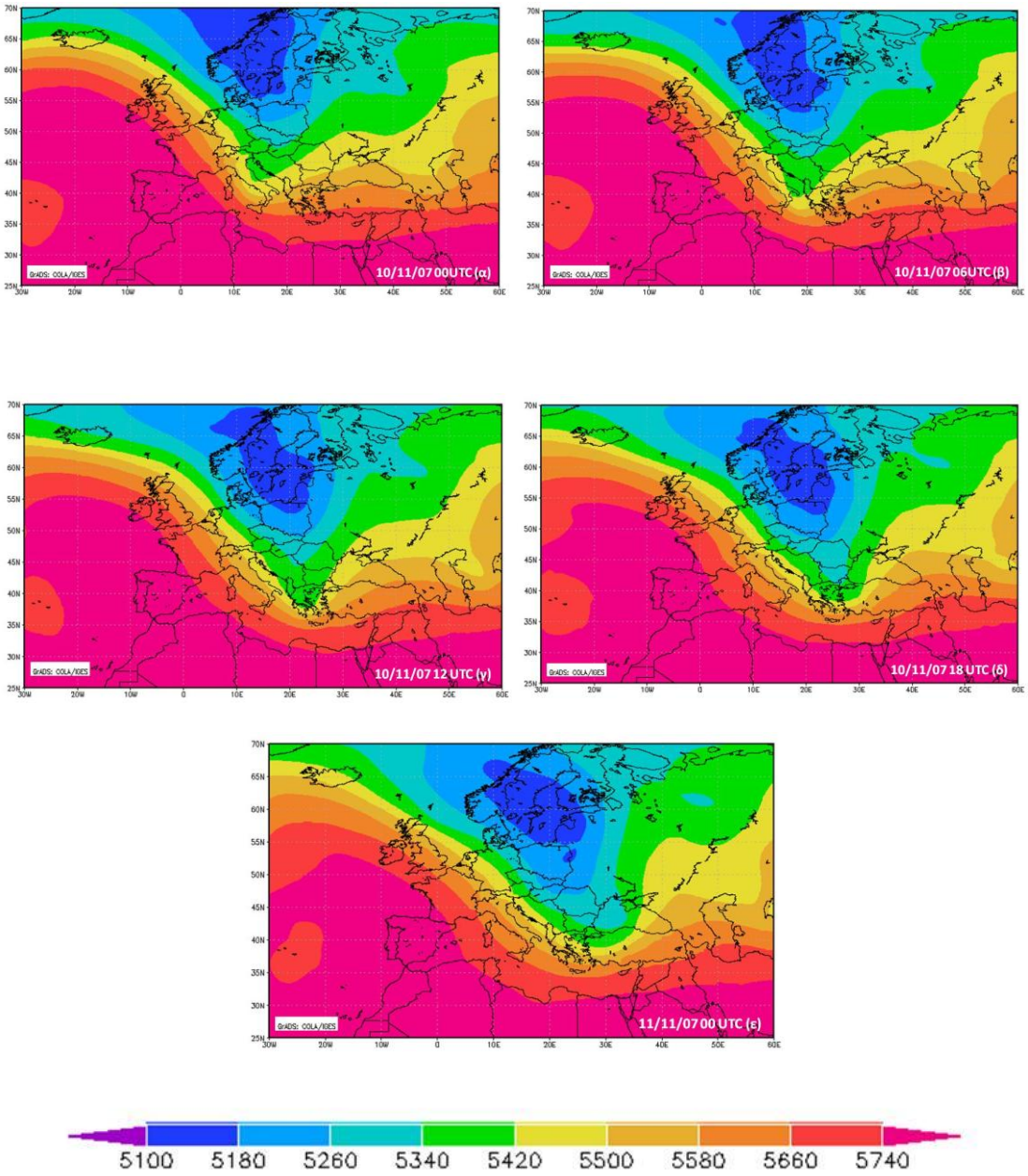
3.2.1 Πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας και ανάλυση χαρτών της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa







Σχήμα 3.7: Χάρτες πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) από τις 10/11/07 00UTC (σχήμα 3.7 α) μέχρι και τις 11/11/07 00 UTC (σχήμα 3.7 ε), ανά 6 ώρες από τη Βρετανική Μετεωρολογική Υπηρεσία (UKMO)



Σχήμα 3.8: Απεικόνιση γεωδυναμικού ύψους (gpm) στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 mb από τις 10/11/07 00UTC (σχήμα 3.8 α) μέχρι και τις 11/11/07 00 UTC (σχήμα 3.8 ε), ανά 6 ώρες

Από την μελέτη των συνοπτικών χαρτών επιφανείας πάνω από την Ευρώπη και την ευρύτερη περιοχή του Βορείου Ατλαντικού, αλλά και των αντίστοιχων χαρτών που απεικονίζουν το γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική στάθμη των 500 hPa μπορεί να ανιχνευτεί το αίτιο που προκάλεσε τον Βαρδάρη στην ευρύτερη περιοχή της κοιλάδας του Αξιού. Ειδικότερα, στις 10/11/07 στις 00 UTC η συνοπτική κατάσταση στην Ευρώπη μπορεί να χαρακτηριστεί σε γενικές γραμμές από την ύπαρξη δύο συστημάτων με εντελώς διαφορετικά θερμουγρομετρικά χαρακτηριστικά, ενός

αντικυκλώνα στα ανοιχτά του Βισκαΐκού Κόλπου στο βόρειο Ατλαντικό και ενός βαρομετρικού χαμηλού πάνω από τη Σκανδιναβία του οποίου η μετωπική δράση επηρεάζει τον καιρό της Ανατολικής Ευρώπης (σχήμα 3.7α). Έξι ώρες μετά, παρατηρείται η μεταφορά ενός αυλώνα πάνω από τα δυτικά Βαλκάνια και την Αδριατική Θάλασσα (σχήμα 3.8β), η οποία έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός κέντρου χαμηλών πιέσεων πάνω από την βόρεια Ελλάδα με κέντρο στον Θερμαϊκό Κόλπο και ελάχιστη πίεση στα 997 hPa (σχήμα 3.7β). Στις 10/11/07 και ώρα 12 UTC, η οποία χρονικά αποτέλεσε και το ζενίθ της εκδήλωσης του εν λόγω επεισοδίου Βαρδάρη στην επιφάνεια (σχήματα 3.1α, 3.2α, 3.3α, 3.4α, 3.5α), διακρίνεται η ύπαρξη ενός βαθύ αυλώνα με γεωδυναμικά ύψη περίπου 5360 gpm, πάνω από τη Βόρεια Ελλάδα (σχήμα 3.8γ).Ο αυλώνας αυτός σχετίζεται άμεσα με την ύπαρξη ενός χαμηλού στην επιφάνεια με κέντρο στο Βόρειο Αιγαίο και το οποίο ευθύνεται για τις άσχημες καιρικές συνθήκες στις περισσότερες περιοχές της χώρας. Ο συνδυασμός του συγκεκριμένου βαρομετρικού χαμηλού με το εκτεταμένο πεδίο υψηλών πιέσεων της Δυτικής Ευρώπης προκάλεσε μεγάλη βαροβαθμίδα πάνω από την Κεντρική Μακεδονία και η οποία είχε ως αποτέλεσμα την εκδήλωση του έντονου επεισοδίου Βαρδάρη της 10^{ης} Νοεμβρίου 2007. Τις επόμενες ώρες το βαρομετρικό χαμηλό και ενώ βάθυνε περαιτέρω (987 hPa), απομακρύνθηκε προς τα ανατολικά-βορειοανατολικά μαζί με το ψυχρό μέτωπο που πλέον είχε σαρώσει όλη τη χώρα (σχήμα 3.7δ) και υψηλότερα γεωδυναμικά ύψη παρατηρήθηκαν πάνω από την Κεντρική Μακεδονία (σχήμα 3.8ε). Η αύξηση στις τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης πάνω από τον ελληνικό χώρο είχε ως συνέπεια την μείωση της βαροβαθμίδας και επομένως την εξασθένιση του ανέμου, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό και από τα σχήματα 3.1α, 3.2α, 3.3α, 3.4α, 3.5α στις 00 UTC στις 11/11/07 σε σύγκριση με την μέση ένταση του ανέμου στις 10/11/07 στις 12 UTC.

Από τη σύγκριση των συνοπτικών χαρτών επιφανείας πάνω από την Ευρώπη και την ευρύτερη περιοχή του Βορείου Ατλαντικού, αλλά και των αντίστοιχων χαρτών που απεικονίζουν το γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική στάθμη των 500 hPa μπορεί να παρατηρηθεί και ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό. Το βαρομετρικό χαμηλό που πέρασε από την Ελλάδα έχει κλίση προς τα δυτικά καθ' ύψος , δηλαδή αντίθετη κλίση καθ' ύψος από τη μέση ροή. Για παράδειγμα στις 12 UTC, το κέντρο του χαμηλού βρίσκεται στο Θρακικό Πέλαγος (σχήμα 3.7γ), ενώ στα 500hPa ο άξονας του αυλώνα είναι κατά μήκος της Κεντρικής Μακεδονίας-Θεσσαλίας (σχήμα 3.8γ).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

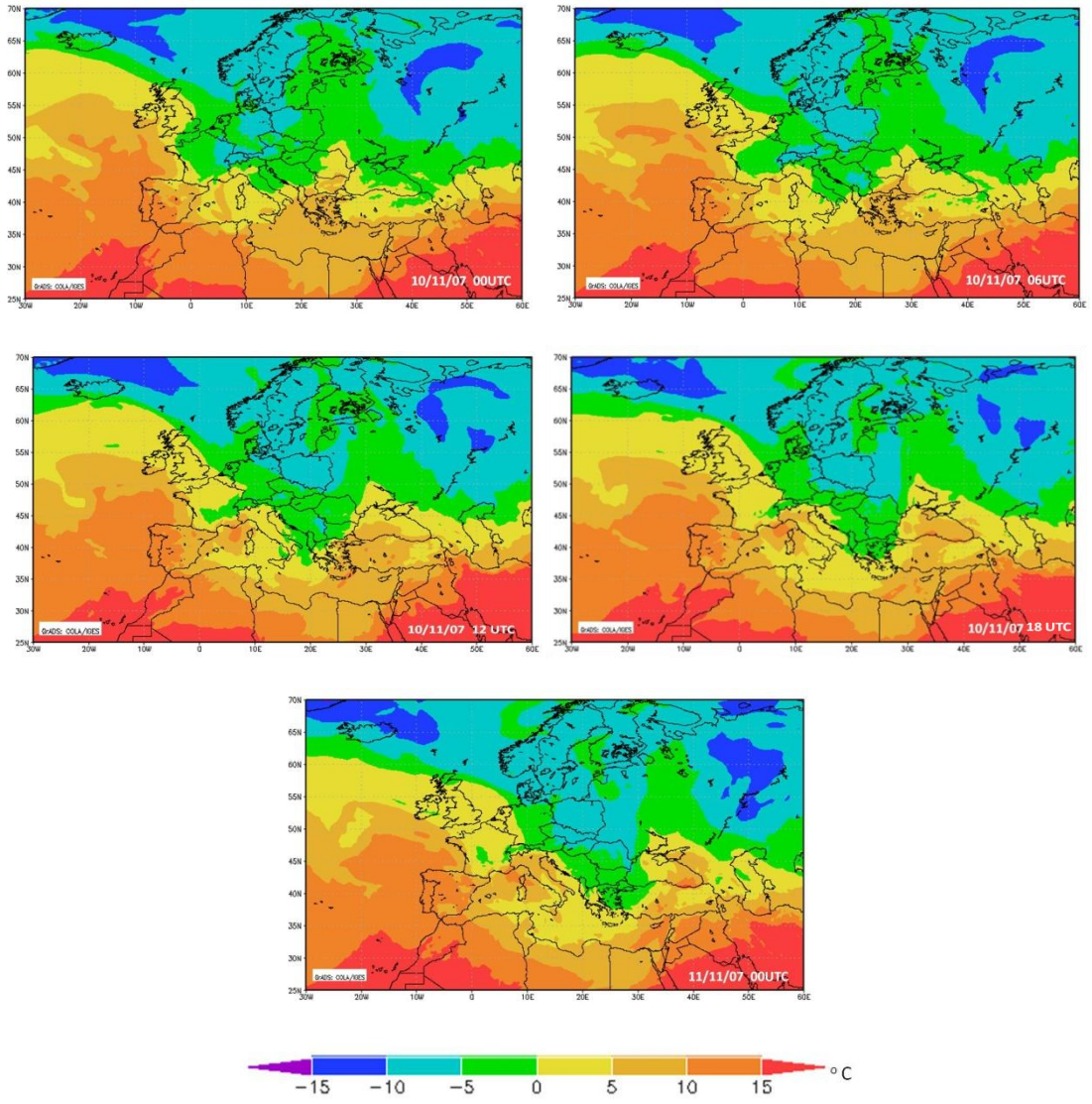
Επομένως, υπάρχει μια μικρή κλίση προς τα Δυτικά με το ύψος. Αν συνδυαστεί αυτό το γεγονός με τη θεωρία της βαροκλινικής αστάθειας, τότε αυτό σημαίνει πως το σύστημα είναι σε φάση ενίσχυσης παίρνοντας ενέργεια. Αυτό, συνηγορείται από τη συνεχιζόμενη βάθυνσή του (σχήμα 3.7δ).

Η παραπάνω συνοπτική κατάσταση που επικράτησε, προσεγγίζει καλύτερα τον υφεσιακό τύπο κυκλοφορίας Cne (Μαχαίρας, 1982). Σύμφωνα με αυτόν (σχήμα 1.3), στον χάρτη επιφανείας, το κέντρο της ύφεσης βρίσκεται βορειοανατολικά της Ελλάδας. Ψυχρό μέτωπο διέρχεται πάνω από την Ελληνική περιοχή, ενώ πεδίο υψηλών πιέσεων εκτείνεται από τη Δυτική Ευρώπη μέχρι τα Κεντρικά αυτής και τα Βαλκάνια. Στο επίπεδο των 500 hPa, ο άξονας του αυλώνα είναι προσανατολισμένος κατά μήκος των μεσημβρινών και εκτείνεται περίπου από την Αίγυπτο έως την Σκανδιναβία. Ο υφεσιακός τύπος κυκλοφορίας Cne είναι ο δεύτερος κατά σειρά τύπος κυκλοφορίας με την υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης, όπως διακρίνεται και στο σχήμα 1.5 (Maheras et al., 2000) που προκαλεί την εμφάνιση του Βαρδάρη.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

3.2.2 Θερμοκρασία στα 850 hPa

Ο αυλώνας, η ύπαρξη του οποίου είναι ολοφάνερη στις επιμέρους εικόνες του σχήματος 3.8 με τις χαμηλές τιμές γεωδυναμικών υψών πάνω από τα Βαλκάνια (~5340 gpm), συνδυάζεται και από μία επακόλουθη και κατά τόπους σημαντική πτώση της θερμοκρασίας στα 850 hPa, περίπου 5^{o}C πάνω από τη Βόρεια Ελλάδα σε διάστημα 6 ωρών, από τις 06UTC έως τις 12UTC στις 10/11/07, όπως αυτή απεικονίζεται στο σχήμα 3.9. Κατά τη διάρκεια της 10^{ης} Νοεμβρίου παρατηρείται μεταφορά ψυχρών αερίων μαζών από την Κεντρική Ευρώπη προς την Βαλκανική Χερσόνησο και την Ελλάδα. Οι ψυχρές αέριες μάζες βρίσκονται πίσω από τον αυλώνα στα 500 hPa όπως φαίνεται χαρακτηριστικά από τα σχήματα 3.8 και 3.9.



Σχήμα 3.9: απεικόνιση της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 mb από τις 10/11/07 00UTC (σχήμα 3.9 α) μέχρι και τις 11/11/07 00 UTC (σχήμα 3.9 ε)

3.2.3 Ανάλυση αεροχειμάρρου στα 250 hPa

Ο αεροχείμαρρος σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) ορίζεται ως ένα ισχυρό λεπτό στρώμα αέρα κατά μήκος σχεδόν οριζόντιου άξονα, στην ανώτερη τροπόσφαιρα ή κατώτερη στρατόσφαιρα, χαρακτηριζόμενο από μεγάλες κατακόρυφες και οριζόντιες βαθμίδες ταχύτητας (wind shears) (Μακρογιάννης, 2004). Στο σχήμα 3.10 παρουσιάζονται οι άνεμοι με ταχύτητα μεγαλύτερη αυτής των 40 m/sec στην ισοβαρική επιφάνεια των 250 mb, η οποία, συχνά χρησιμοποιείται (Blackburn, 2008, Holets, 1994) τις για την εύρεση του αεροχειμάρρου πάνω από μια γεωγραφική περιοχή.

Όπως διακρίνεται από τις εικόνες του σχήματος 3.10 που ακολουθεί, οι μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται πάνω από την Βόρεια Θάλασσα, δηλαδή ανάμεσα στον αντικυκλώνα του Βορειοανατολικού Ατλαντικού με κέντρο 1035 hPa (σχήμα 3.7γ) και στο βαρομετρικό χαμηλό με κέντρο 985 hPa στην Σκανδιναβική Χερσόνησο. Στη συγκεκριμένη περιοχή αναπτύσσονται πολύ μεγάλες τιμές ταχύτητας που ξεπερνούν και τα 70 m/s και ορίζουν τον πολικό αεροχείμαρρο στην εν λόγω περιοχή. Από την περιοχή της Ισλανδίας το βορειοδυτικό αυτό ρεύμα αέρα κινείται νοτιοανατολικά και διαμέσου της Βόρειας Θάλασσας επηρεάζει την Κεντρική Ευρώπη και φτάνει ως βορειοδυτικό ρεύμα μέχρι και τις δυτικές ακτές της Ελλάδας (σχήμα 3.10γ) και στη συνέχεια στρέφεται σε νοτιοδυτικό ρεύμα αέρα κινούμενο προς την Μαύρη Θάλασσα με σαφώς μικρότερες ταχύτητες (60 m/s) σε σχέση με τις αντίστοιχες πάνω από τη Βορειοδυτική Ευρώπη (80 m/s), λόγω της μικρότερης βαθμίδας των υψών. Από την θέση και το σχήμα που σχηματίζει ο πολικός αεροχείμαρρος μπορεί εύκολα να αναγνωριστεί και η παρουσία του αυλώνα που εκτείνεται από την Σκανδιναβική Χερσόνησο μέχρι και την Κεντρική Ελλάδα.

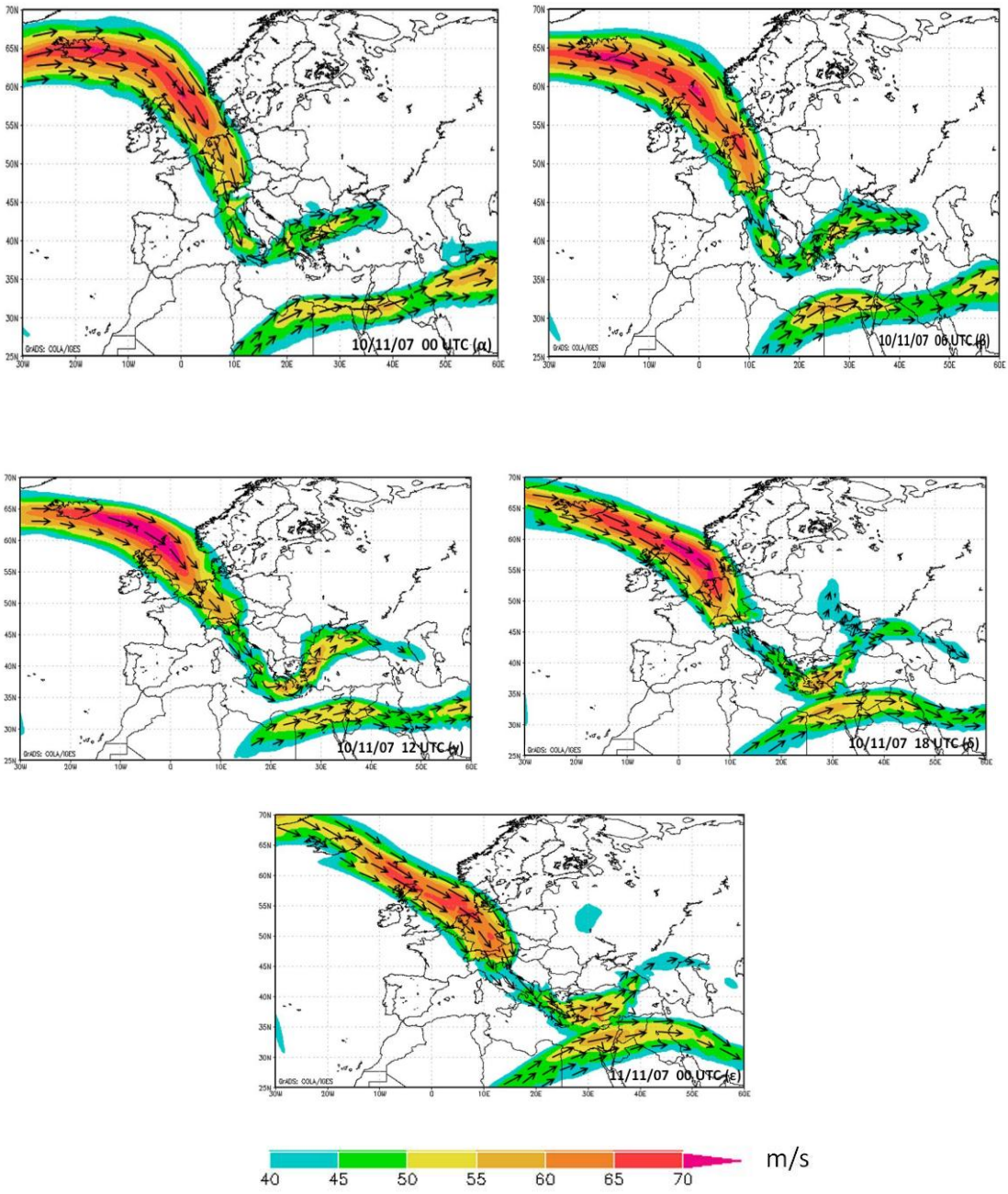
Οι αεροχείμαρροι πνέουν κοντά στην τροπόπαυση, παράλληλα με τις μετωπικές επιφάνειες, με τις ψυχρές (θερμές) αέριες μάζες κάτω από την κυκλωνική (αντικυκλωνική) πλευρά τους. Οι μη γεωστροφικοί άνεμοι σχετίζονται με οριζόντια απόκλιση (σύγκλιση) στο ύψος των αεροχειμάρρων, συμβάλλοντας, έτσι, στις ανοδικές (καθοδικές) κινήσεις στο αποκάτω αέριο στρώμα. Τόσο η καμπυλότητα της τροχιάς κίνησης, όσο και η επιτάχυνση του αέρα μέσα στους αεροχειμάρρους, δίνουν έναυσμα σε μη γεωστροφικά αέρια ρεύματα. Άρα, οι πιο πρόσφορες περιοχές για

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ανάπτυξη ισχυρών κατακόρυφων κινήσεων είναι τα σημεία καμπής των αεροχειμάρρων και οι είσοδοι - έξοδοι των μεγίστων τους.

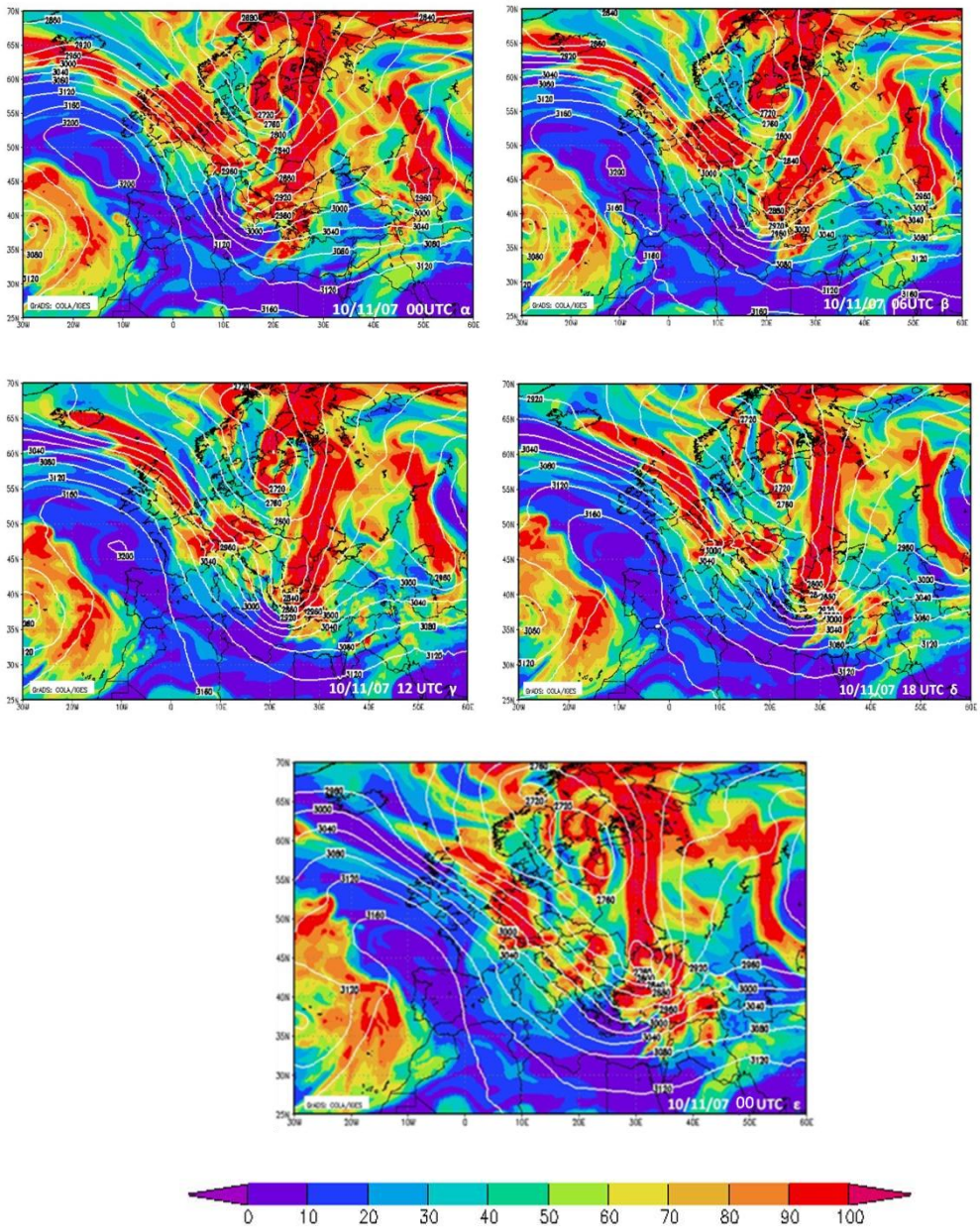
Οι εντονότερες ανοδικές κινήσεις σημειώνονται εμπρός (στα ανατολικά), από το μέγιστο του αεροχειμάρρου και προς την κυκλωνική πλευρά αυτού. Αντίθετα, ισχυρές καθοδικές κινήσεις σημειώνονται στα δυτικά πίσω από το μέγιστο του αεροχειμάρρου. Τα παραπάνω, παρατηρήθηκαν και κατά τη μελέτη της παρούσας διατριβής. Πιο ειδικά, το βαρομετρικό χαμηλό στις 12 UTC βρίσκεται στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου (σχήμα 3.7γ), δηλαδή στα αριστερά της εξόδου του jet streak (σχήμα 3.10γ) , σε μια θέση που όπως σημειώθηκε και προηγουμένως ευνοούνται οι ανοδικές κινήσεις λόγω δευτερεύουσας αγεωστροφικής κυκλοφορίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω βάθυνση του βαρομετρικού χαμηλού, άρα τη δημιουργία μεγαλύτερης βαροβαθμίδας στην επιφάνεια και επομένως την ενίσχυση του ανέμου Βαρδάρη. Μάλιστα, η σύγκλιση της ροής, «ευνοεί» την πύκνωση των ισοθέρμων συμβάλλοντας έτσι σε μετωπογένεση κατά μήκος της ροής. Όταν η συνοπτική ροή προκαλεί μετωπογένεση, τότε δημιουργείται μια θερμικά ορθή, κλειστή, κατακόρυφη μη γεωστροφική κυκλοφορία (Sawyer, 1956). Τέλος, από ενεργειακή άποψη, η ανύψωση θερμού αέρα συνεπάγεται τη μετατροπή της διαθέσιμης δυναμικής του ενέργειας σε κινητική και άρα την ενίσχυση του αεροχειμάρρου (Murray and Daniels, 1953).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 3.10 – απεικόνιση της ταχύτητας (>40 m/s) και της διεύθυνσης του ανέμου στην ισοβαρική επιφάνεια των 250 mb από τις 10/11/07 στις 00 UTC (σχήμα 3.10α) έως τις 11/11/07 στις 00 UTC (σχήμα 3.10ε)

3.2.4 Σχετική υγρασία στα 700 hPA



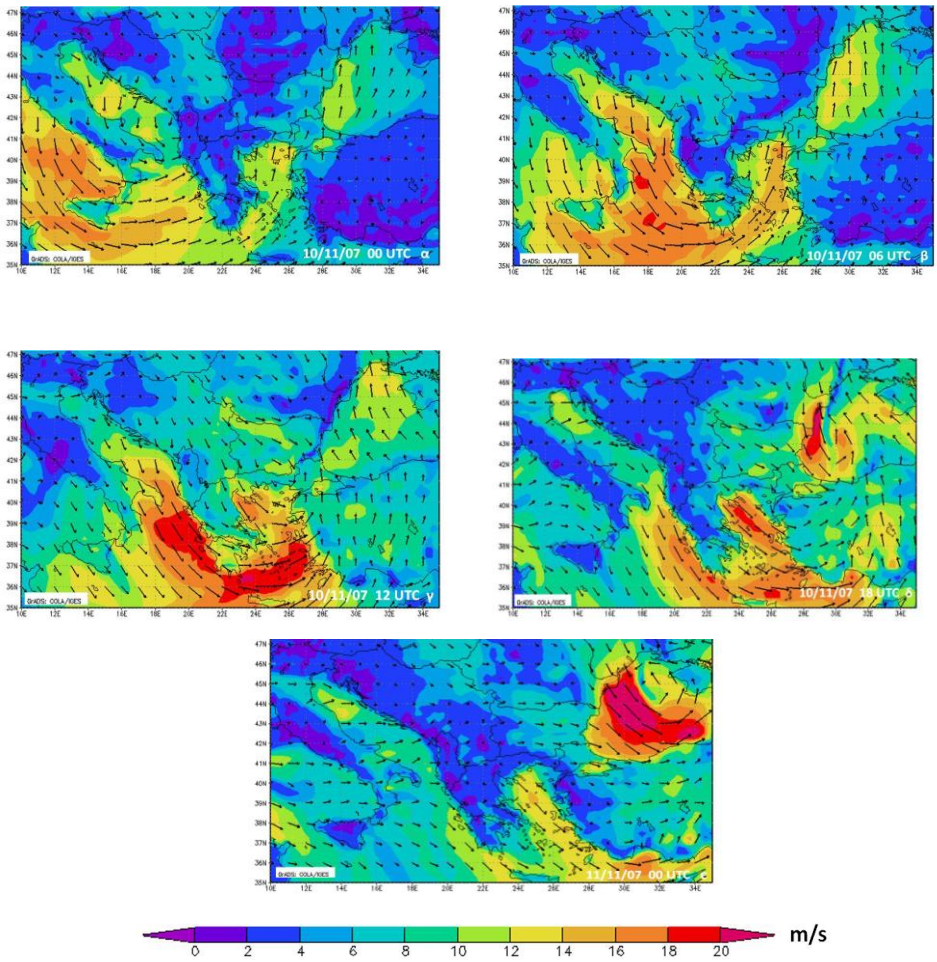
Σχήμα 3.11: απεικόνιση της σχετικής υγρασίας (%) (χρώματα με διαβαθμίσεις στο σχήμα) και των γεωδυναμικών υψών (gpm) στα 700 hPa (λευκές καμπύλες με τιμές) από τις 10/11/07 00UTC (σχήμα 3.12 α) μέχρι και τις 11/11/07 00 UTC (σχήμα 3.12 ε)

Στις εικόνες του σχήματος 3.11 απεικονίζεται η σχετική υγρασία, εκφρασμένη σε ποσοστό επί τοις εκατό (χρώματα με διαβαθμίσεις στο σχήμα) και τα γεωδυναμικά ύψη στα 700 hPa. Όπως φαίνεται από το σχήμα 3.11 η παρουσία χαμηλών γεωδυναμικών υψών στα 700 hPa είναι άμεσα συνδεδεμένη με υψηλά ποσά σχετικής υγρασίας, εκεί όπου υπάρχει θετική μεταφορά στροβιλισμού, δηλαδή στον άξονα του

αυλώνα και μπροστά (ανατολικά) από αυτόν. Από τις 10/11/07 00UTC έως τις τις 10/11/07 12UTC (σχήματα 3.11α-3.11γ) παρατηρούνται πολύ μεγάλα ποσά υγρασίας πάνω από τον Ελλαδικό χώρο, ενώ έξι ώρες μετά, με την απομάκρυνση του αυλώνα πιο ανατολικά (σχήμα 3.8δ και 3.11δ) και την παράλληλη έναρξη πνοής του Βαρδάρη παρατηρείται κατακόρυφη πτώση της υγρασίας, η οποία πάνω από την περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας αγγίζει και το 70%.

3.2.5 Χάρτες διεύθυνσης και ταχύτητας του επιφανειακού ανέμου

Στο σχήμα 3.12 που ακολουθεί απεικονίζονται η διεύθυνση και η ταχύτητα του επιφανειακού ανέμου ως συνισταμένη των δύο συνιστωσών U και V, δηλαδή της οριζόντιας και κατακόρυφης διεύθυνσης του ανέμου, στην Βαλκανική Χερσόνησο και την ευρύτερη περιοχή.



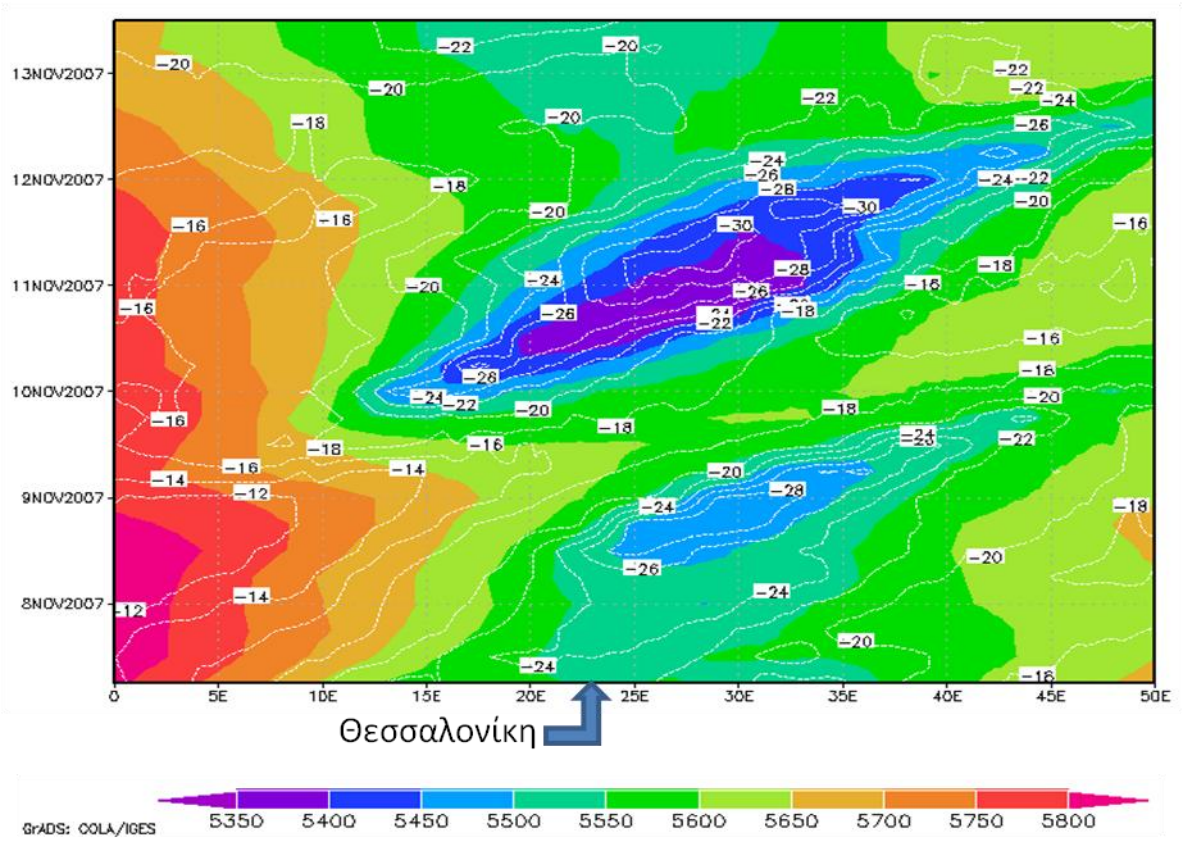
Σχήμα 3.12: απεικόνιση της διεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου στη Βαλκανική Χερσόνησο και την ευρύτερη περιοχή από τις 10/11/07 00UTC (σχήμα 3.13 α) μέχρι και τις 11/11/07 00 UTC (σχήμα 3.13 ε).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Όπως φαίνεται από τα σχήματα 3.12α-3.12ε, όσο το βαρομετρικό χαμηλό βρίσκεται δυτικότερα της Ελλάδας (σχήμα 3.7α) οι άνεμοι πνέουν από νοτιοδυτικές διευθύνσεις στην Ελλάδα (σχήμα 3.12α). Στις 10/11/07 και ώρα 06 UTC το βαρομετρικό χαμηλό έχει κινηθεί ανατολικότερα, βαθαίνοντας (σχήμα 3.7β) με αποτέλεσμα αφενός την ενίσχυση του ανέμου και αφετέρου τη σταδιακή στροφή τους στο Ιόνιο αλλά και στις βορειότερες περιοχές της Κεντρικής Μακεδονίας σε βορειοδυτικούς (σχήμα 3.12β). Έξι ώρες μετά, οι άνεμοι έχουν στραφεί σε όλη σχεδόν τη χώρα σε βορειοδυτικούς και μάλιστα έχουν ενισχυθεί σημαντικά (σχήμα 3.12γ). Σχετικά με την ένταση του ανέμου, οι άνεμοι ξεπερνούν τα 18 m/s σε Ιόνιο και Νότιο Αιγαίο, ενώ γενικά μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές, κυρίως λόγω της έλλειψης τριβής. Ιδιαίτερα ενισχυμένοι βορειοδυτικοί άνεμοι πνέουν και στην περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας, οι οποίοι ξεπερνούν κατά μέσο όρο τα 10-12 m/s. Αυτό διακρίνεται με βάση τις αναλύσεις του ECMWF, η χωρική διακριτοποίηση των οποίων είναι 0.25^{o}X0.25^{o}. Στην πραγματικότητα όμως, όπως θα παρουσιαστεί και στο επόμενο κεφάλαιο λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα υψηλής ανάλυσης, οι μέσες ταχύτητες του ανέμου ξεπέρασαν τοπικά ακόμη και τα 20 m/s. Στις 18 UTC της 10ης Νοεμβρίου, οι βορειοδυτικοί τοπικά θυελλώδεις άνεμοι (>18 m/s) διατηρήθηκαν ιδιαίτερα στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου (σχήμα 3.12δ), ενώ τέλος έξι ώρες μετά παρουσίασαν σημαντική εξασθένιση, μη ξεπερνώντας τα 8 m/s σε καμία ηπειρωτική περιοχή και μόνο στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου διατηρήθηκαν πολύ ισχυροί εξασθενούντες (σχήμα 3.12ε).

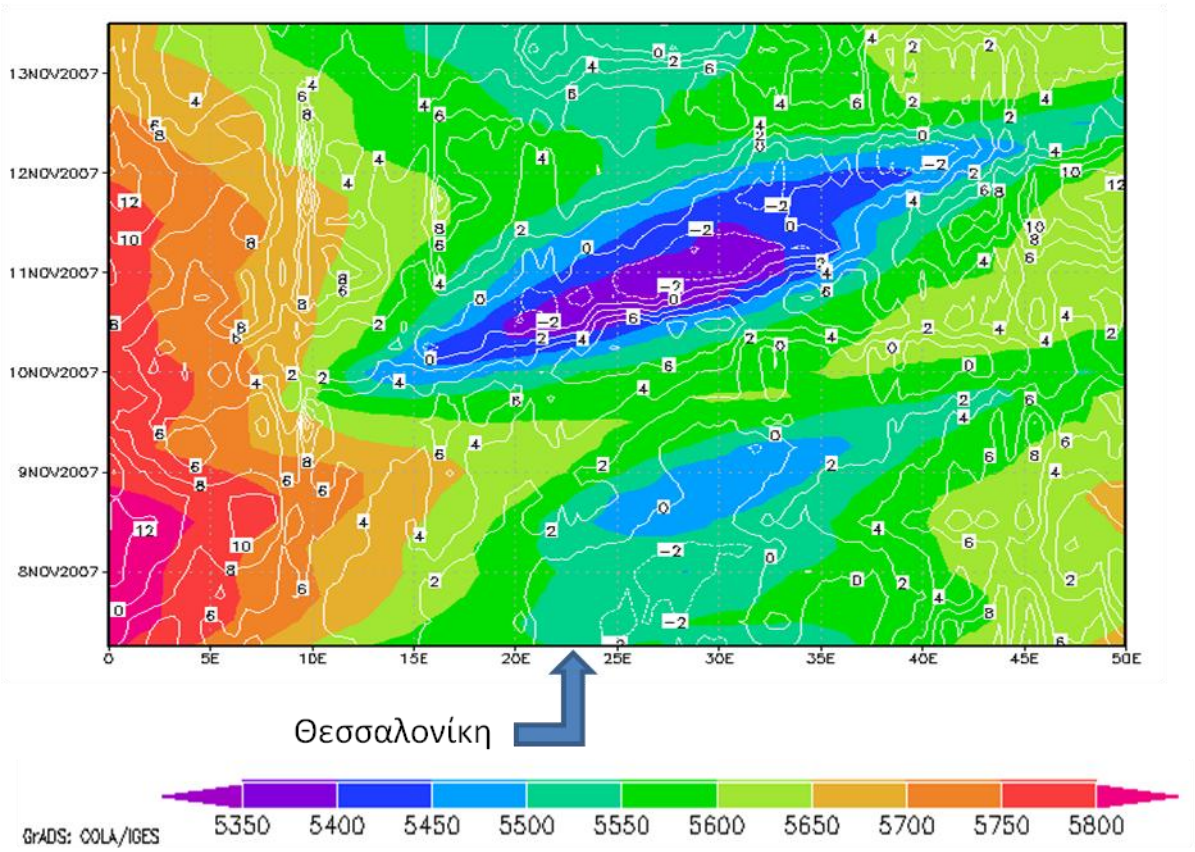
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

3.3 Διαγράμματα Hovmöller



Σχήμα 3.13: διάγραμμα Hovmöller που απεικονίζει τη κατανομή του γεωδυναμικού ύψους και της θερμοκρασίας (^{o}C) στα 500 hPa (ισοπληθείς). Η τομή είναι στις 40,5 ^{o}Β (περιοχή Θεσσαλονίκης) και από 0 έως 50 ^{o}Α. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζεται ο χρόνος (7-14/11/07)

Στο σχήμα 3.13 παρουσιάζεται ο αυλώνας που επηρέασε την πόλη της Θεσσαλονίκης, αλλά και άλλες περιοχές δυτικότερα και ανατολικότερα αυτής πάνω στον 40.5 παράλληλο. Ειδικότερα, στο γεωγραφικό μήκος της Θεσσαλονίκης παρατηρείται μια αξιοσημείωτη πτώση περίπου από τα 5600 gpm στις 09/11/07 σε τιμές και κάτω από τα 5400 gpm στις 10/11/07, μια πτώση δηλαδή κατά μέσο όρο 200 gpm μέσα σε διάστημα μίας ημέρας, γεγονός που πιστοποιεί την έλευση αλλά και ένταση του αυλώνα. Ανάλογη είναι και η εικόνα αναφορικά με την θερμοκρασία στην ισοβαρική στάθμη των 500 hPa, η οποία σημειώνει κατακόρυφη πτώση με την έλευση του αυλώνα από -16^{o}C έως-18^{o}C στις 09/11/07 στους -27 ^{o}C τα ξημερώματα της 11^{ης} Νοεμβρίου.



Σχήμα 3.14: διάγραμμα Hovmöller που απεικονίζει τη κατανομή του γεωδυναμικού ύψους και της θερμοκρασίας (^{o}C) στα 850 hPa (ισοπληθείς). Η τομή είναι στις 40,5 ^{o}B (τέμνοντας την πόλη της Θεσσαλονίκης) και από 0 έως 50 ^{o}A. Στον κατακόρυφο άξονα παρουσιάζεται ο χρόνος (7-14/11/07)

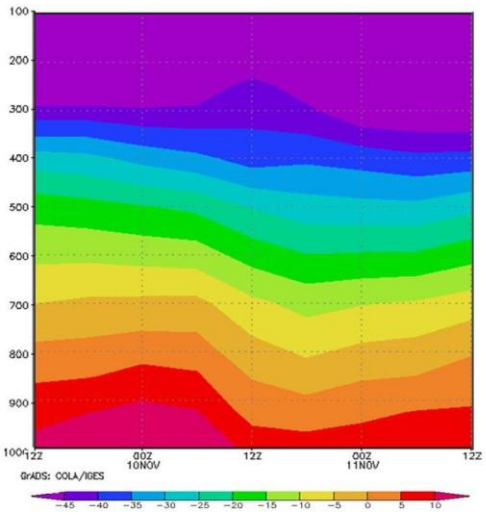
Στο σχήμα 3.14 παρουσιάζονται με τον ίδιο τρόπο όπως στο σχήμα 3.13 το γεωδυναμικό και η θερμοκρασία στα 850 hPa. Για τη μεταβολή των γεωδυναμικών υψών ισχύουν ακριβώς όσα περιγράφηκαν και προηγουμένως, ενώ αναφορικά με τη μεταβολή της θερμοκρασίας παρατηρείται μια αξιόλογη και απότομη πτώση 8 ^{o}C μέσα σε διάστημα λίγων ωρών, από 6^{o}C στους -2 ^{o}C τις πρώτες ώρες της 10^{ης} Νοεμβρίου 2007.

Από τα σχήματα 3.13 και 3.14 μπορούν να εξαχθούν δύο κύρια συμπεράσματα:

- Η μεταβολή της θερμοκρασίας και των γεωδυναμικών υψών ήταν αξιοσημείωτη σε ένταση.
- Η μεταβολή αυτή είχε μικρή χρονική διάρκεια (περίπου μίας ημέρας) και ήταν γεωγραφικά ορισμένη μεταξύ του 15ου και 40ου ανατολικού μεσημβρινού,

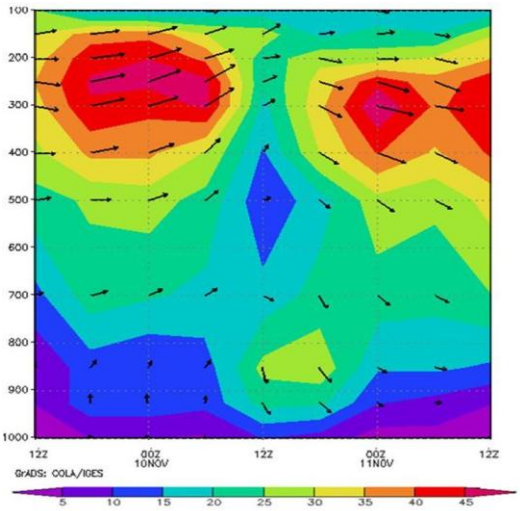
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

δηλαδή μεταξύ Νοτίου Ιταλίας και Βόρειας Τουρκίας (κατά μήκος του 40,6^{o}Β παραλλήλου), άρα περιλαμβάνει την περιοχή ενδιαφέροντος (Ελλάδα).



Σχήμα 3.15: διάγραμμα Hovmöller που απεικονίζει τη μεταβολή της θερμοκρασίας (^{o}C) στα ισοβαρικά επίπεδα 1000-100 mb πάνω από την πόλη της Θεσσαλονίκης από τις 09/11/07 12 UTC έως τις 11/11/07 στις 12 UTC

Στο σχήμα 3.15 παρουσιάζεται καθ' ύψος η πορεία της θερμοκρασίας πάνω από τη Θεσσαλονίκη με την πάροδο του χρόνου. Παρατηρείται μία πτώση της θερμοκρασίας κατά περίπου 5^{o}C στα 850 hPa από την έναρξη του φαινομένου, δηλαδή στις 10/11/07 στις 6 UTC (σχήμα 3.5γ) μέχρι τις 10/11/07 στις 12 UTC. Αυτή η πτώση της θερμοκρασίας δεν επηρέασε μόνο την επιφάνεια αλλά αντίθετα παρατηρούμε μία αντίστοιχη πτώση της θερμοκρασίας μέχρι και την ισοβαρική επιφάνεια των 500 mb περίπου. Από τα 500 mb μέχρι και τα 300 mb, δηλαδή το ύψος στο οποίο συναντάται ο αεροχείμαρρος παρατηρείται επίσης μια πτώση της θερμοκρασίας αλλά όχι τόσο απότομη όσο στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας.



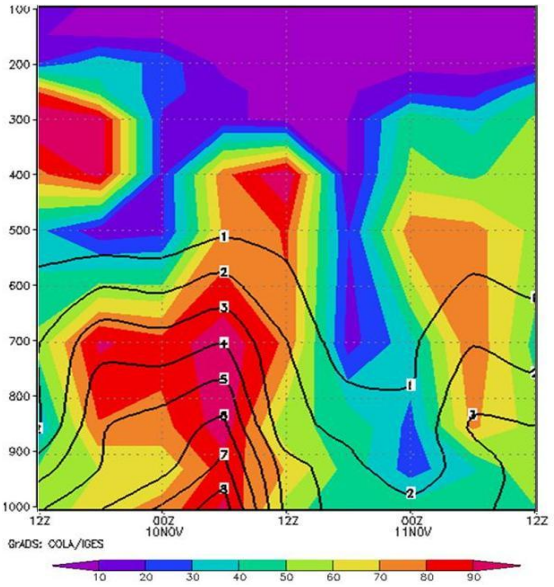
Σχήμα 3.16: διάγραμμα Hovmöller που απεικονίζει τη μεταβολή της οριζόντιας διεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στα ισοβαρικά επίπεδα 1000-100 mb πάνω από την πόλη της Θεσσαλονίκης από τις 09/11/07 12 UTC έως τις 11/11/07 στις 12 UTC

Με βάση το διάγραμμα Hovmöller του σχήματος 3.16 μπορούν να παρατηρηθούν τα εξής. Αρχικά, διακρίνεται μια ζώνη θυελλωδών ανέμων που ξεπερνούν τα 45 m/s στα 250 mb. Πρόκειται ουσιαστικά για τμήμα του πολικού αεροχειμάρρου (Ahrens, 2009). Ως και τις 06 UTC της 10ης Νοεμβρίου 2007 το ρεύμα στην ισοβαρική στάθμη των 300 mb είναι νοτιοδυτικό και οι ταχύτητες στα 250 mb ξεπερνούν ακόμη και τα 45 m/s. Η νοτιοδυτική αυτή διεύθυνση είναι δικαιολογημένη αν σκεφτεί κανείς ότι ο αυλώνας βρίσκεται τη δεδομένη χρονική στιγμή δυτικότερα της Μακεδονίας (σχήματα 3.8α και 3.8β) και βρίσκεται σε απόλυτη συμφωνία με τις αντίστοιχες εικόνες που απεικονίζουν τον αεροχείμαρρο (σχήματα 3.10α και 3.10β). Στις 10/11/07 12 UTC παρατηρείται μια σημαντική ελάττωση στην ένταση του ανέμου κατά περίπου 20 m/s και μια παράλληλη μεταβολή στη διεύθυνση του ανέμου, ο οποίος τώρα έχει μια πιο δυτική συνιστώσα, γεγονότα αναμενόμενα καθώς την εν λόγω χρονική στιγμή ο αυλώνας βρίσκεται πάνω από τη Βόρεια Ελλάδα (σχήματα 3.8γ και 3.10γ). Τέλος από τις βραδινές ώρες της 10ης Νοεμβρίου εκδηλώνεται εκ νέου σημαντική ενίσχυση του βορειοδυτικού πλέον ανέμου στα 300 mb (σχήματα 3.8ε, 3.10ε, 3.16).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή του ανέμου στο ατμοσφαιρικό στρώμα μεταξύ 900-750 mb (σχήμα 3.16), το οποίο και θα αναλυθεί περισσότερο στο επόμενο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, κατά την κορύφωση του επεισοδίου Βαρδάρη στην

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

επιφάνεια, δηλαδή γύρω στις 12 UTC στις 10/11/07 (σχήμα 3.5α) παρατηρούνται στο προαναφερθέν ατμοσφαιρικό στρώμα δύο ενδιαφέρουσες μεταβολές. Από τη μία, μια απότομη στροφή του ανέμου από νοτιοδυτική σε βορειοδυτική διεύθυνση, η οποία και σηματοδοτεί την έναρξη του επεισοδίου και από την άλλη, μια αξιοσημείωτη ενίσχυση του ανέμου από 15 m/s σε περίπου 25-30 m/s μέσα σε λίγες ώρες. Αυτή η ενίσχυση φαίνεται χαρακτηριστικά στο σχήμα 3.16 με τη μορφή ενός φακοειδούς ρεύματος ανέμου (jet streak). Από τις βραδινές ώρες, με την παράλληλη εξασθένιση του Βαρδάρη στην επιφάνεια (σχήμα 3.5α) διαπιστώνεται και μια απότομη εξασθένιση του ανέμου στο ατμοσφαιρικό στρώμα μεταξύ 900-750 mb, και η ένταση του ανέμου επανέρχεται εκ νέου στα 10-15 m/s, δηλαδή στα επίπεδα προ της εκδήλωσης του έντονου επεισοδίου Βαρδάρη.

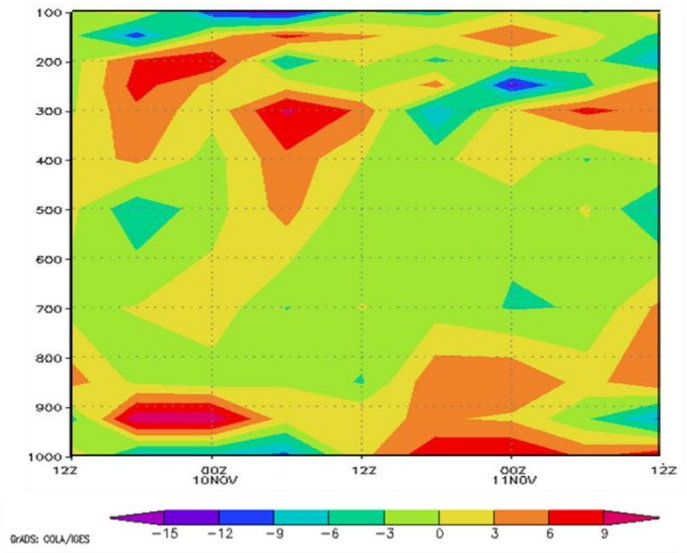


Σχήμα 3.17: διάγραμμα Hovmöller που απεικονίζει τη μεταβολή της σχετικής υγρασίας (%) και ειδικής υγρασίας (gr/kgr) στα ισοβαρικά επίπεδα 1000-100 mb πάνω από την πόλη της Θεσσαλονίκης από τις 09/11/07 12 UTC έως τις 11/11/07 στις 12 UTC

Υπενθυμίζοντας τον ορισμό της σχετικής υγρασίας, αυτή όπως ειπώθηκε ήδη πρόκειται για το λόγο των τιμών των υγρομετρικών παραμέτρων (e,r,q) προς τις τιμές τους που αντιστοιχούν στην κατάσταση κορεσμού (es ,rs, qs) Από την άλλη, ως ειδική υγρασία ορίζεται ως ο λόγος της μάζας των υδρατμών προς τη μάζα του υγρού αέρα που περιέχει τους υδρατμούς και αποτελεί καθαρό αριθμό (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου, 2004).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Όπως διακρίνεται από το διάγραμμα του σχήματος 3.17, τις πρωινές ώρες της 10ης Νοεμβρίου σημειώνεται μια αξιοσημείωτη αύξηση τόσο της σχετικής όσο και της ειδικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα πάνω από το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης, λόγω της έλευσης του βαρομετρικού χαμηλού και του μετώπου κακοκαιρίας (σχήμα 3.7α). Ειδικότερα, περίπου στις 06 UTC, η σχετική υγρασία στην επιφάνεια ξεπερνούσε το 80% και στο ατμοσφαιρικό στρώμα 650-850 mb και το 90% και το ίδιο χρονικό διάστημα η ειδική υγρασία στην επιφάνεια είχε ανέλθει στα 8 gr/kg. Ωστόσο, μέσα σε λίγες ώρες με την απομάκρυνση της ατμοσφαιρικής διαταραχής (σχήματα 3.7α και 3.7β) και την έναρξη πνοής του Βαρδάρη σημειώνεται κατακόρυφη πτώση τόσο της σχετικής όσο και της ειδικής υγρασίας στην επιφάνεια, η οποία ενδεικτικά στις 12 UTC κυμαίνεται στο 50% και στα 4 gr/kg αντίστοιχα, με περαιτέρω πτώση των τιμών ως και τις βραδινές ώρες. Η εν λόγω σημαντικότατη πτώση της υγρασίας είναι ένα από τα πιο χαρακτηριστικά αποτελέσματα του Βαρδάρη, για αυτό και πολύ συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρεται ως «ξηρός άνεμος» (Maheras et al.,1982).

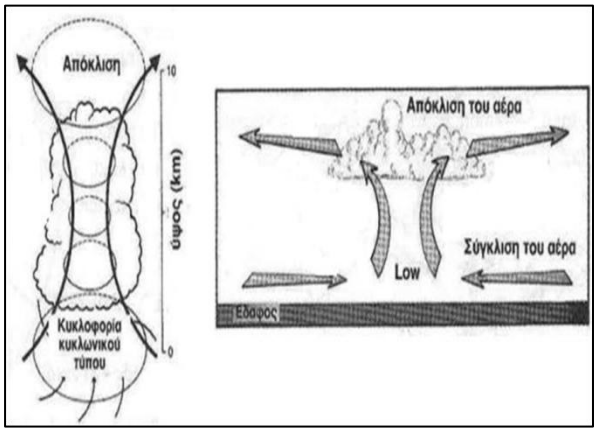


Σχήμα 3.18: διάγραμμα Hovmöller που απεικονίζει την απόκλιση και τη σύγκλιση των αερίων μαζών ($x10^{-5}s^{-1}$) στα ισοβαρικά επίπεδα 1000-100 mb πάνω από την πόλη της Θεσσαλονίκης από τις 09/11/07 12 UTC έως τις 11/11/07 στις 12 UTC

Στο σχήμα 3.18 απεικονίζεται η απόκλιση και η σύγκλιση των αερίων μαζών πάνω από την πόλη της Θεσσαλονίκης. Οι αρνητικές τιμές (πράσινα- μπλε χρώματα) αντιστοιχούν σε σύγκλιση, ενώ οι θετικές τιμές (κίτρινα- κόκκινα χρώματα) σε απόκλιση. Με βάση το διάγραμμα 3.18 τις πρώτες πρωινές ώρες της 10ης Νοεμβρίου

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

παρατηρείται σύγκλιση των αερίων μαζών κοντά στην επιφάνεια και απόκλιση σε ένα αβαθές στρώμα ακριβώς από πάνω του. Κάτι τέτοιο, με βάση το σχήμα 3.19 που ακολουθεί συνεπάγεται κυκλοφορία κυκλωνικού τύπου, γεγονός που πιστοποιείται και με βάση το σχήμα 3.7α.



Σχήμα 3.19: το «είδος της κυκλοφορίας», στην επιφάνεια και καθ' ύψος, κατά την επικράτηση ενός βαρομετρικού χαμηλού (Lutgens and Tarbuck, 1989)

Αυτές οι δυναμικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε κάθε περίπτωση που μια ατμοσφαιρική διαταραχή προσεγγίζει μια περιοχή, όπως συνέβη και στην περίπτωση μελέτης αυτού του επεισοδίου με την έλευση ενός βαθέως βαρομετρικού χαμηλού, γεγονός που επαληθεύεται και από τη μεγάλη διαφορά στις χρωματικές διαβαθμίσεις στο σχήμα 3.18. Ειδικότερα, σε αυτήν την περίπτωση έχουμε και την παρουσία ενός ψυχρού μετώπου (σχήμα 3.7γ), το οποίο έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην εμφάνιση του Βαρδάρη. Η συμβολή των μετώπων στη δημιουργία πολύ ισχυρών ανέμων, ιδιαίτερα σε κοιλάδες ή άλλα ανοίγματα του ελληνικού χώρου, έχει απασχολήσει και στο παρελθόν τους επιστήμονες (Lagouvardos, 1998). Ισχυρές χιονοπτώσεις στην Ελλάδα μάλιστα, οφείλονται πολλές φορές σε τέτοιου είδους ψυχρά μέτωπα, τα οποία μεταφέρουν πολύ ψυχρές αέριες μάζες από την Κεντρική Ευρώπη (Metaxas 1978, Livada-Tselepidaki, 1979, Prezerakos and Angouridakis 1984) . Τα ψυχρά μέτωπα οφείλονται για ανάλογα φαινόμενα (ισχυροι άνεμοι-χιονοπτώσεις) και σε άλλες περιοχές του κόσμου, όπως στα Ιμαλάϊα (Nakamura and Murakami,1983), στις Η.Π.Α (Bell and Bosart, 1988, Colle and Mass, 1995), όπως και στην Κεντρική Αμερική (Schutz et al.1997).

Μετά τις 06 UTC στις 10/11/07, οπότε και ο άνεμος στρέφεται σε βορειοδυτικό (σχήμα 3.5β), δηλαδή μετά το πέρασμα του μετώπου (σχήμα 3.7) η κατάσταση

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

αντιστρέφεται χαρακτηριστικά (σχήμα 3.18). Έτσι, πλέον παρατηρούνται θετικές τιμές κοντά στην επιφάνεια και άρα απόκλιση των αερίων μαζών και σύγκλιση στα ανώτερα στρώματα, δηλαδή καθοδικές κινήσεις.

3.4 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια προσπάθεια να μελετηθεί και να αναλυθεί η συνοπτική κατάσταση που επικράτησε πριν τις 10 Νοεμβρίου 2007 (και κατά τη διάρκεια αυτής) και οδήγησε στο εν λόγω έντονο επεισόδιο Βαρδάρη. Επίσης, αναλύθηκαν δεδομένα που ελήφθησαν από τέσσερις εγκατεστημένους σταθμούς, κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού (Εύζωνοι, Αξιούπολη, Ακροπόταμος, Κύμινα) καθώς και τα αντίστοιχα δεδομένα που αφορούν τη Θεσσαλονίκη και πιο συγκεκριμένα το σταθμό του αεροδρομίου Μακεδονία στην Μίκρα Θεσσαλονίκης. Διάφοροι χάρτες τυπώθηκαν για να εμφανιστεί η χωροχρονική μεταβολή των διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως και εξειδικευμένα διαγράμματα Hovmöller για την καθ'ύψος μεταβολή αυτών των παραμέτρων. Συνοψίζοντας θα μπορούσαν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ✓ το εν λόγω επεισόδιο σχετίζεται με το συνδυασμό στην επιφάνεια μιας βαθιάς ύφεσης που επηρέασε τη Βόρεια Ελλάδα πριν κινηθεί ανατολικά και ενός εκτεταμένου αντικυκλώνα στον Ανατολικό Ατλαντικό και τη Δυτική Ευρώπη, που είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενισχυμένου βορειοδυτικού ρεύματος πάνω από την ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας λόγω μεγάλης βαροβαθμίδας.
- ✓ Οι μέγιστες τιμές ταχύτητας παρατηρήθηκαν κατά μήκος της Κοιλάδας του Αξιού (20.5 m/s με ριπές 28.2 m/s στο σταθμό των Ευζώνων) και στις ακτές του Θερμαϊκού Κόλπου (24 m/s με ριπές 31.9 m/s στην περιοχή του αεροδρομίου, στην Μίκρα Θεσσαλονίκης).
- ✓ Η θέση του αεροχειμάρρου ήταν καθοριστικής σημασίας για τη δημιουργία μετώπου και την ενίσχυση της βαροβαθμίδας στην επιφάνεια (σχήμα 3.10).
- ✓ Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή του ανέμου στο ατμοσφαιρικό στρώμα μεταξύ 900-750 mb (σχήμα 3.16). Συγκεκριμένα, κατά την κορύφωση του επεισοδίου Βαρδάρη στην επιφάνεια, δηλαδή γύρω στις 12 UTC στις 10/11/07 (σχήμα 3.5α) παρατηρούνται στο προαναφερθέν ατμοσφαιρικό στρώμα δύο ενδιαφέρουσες μεταβολές. Από τη μία, μια απότομη στροφή του

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

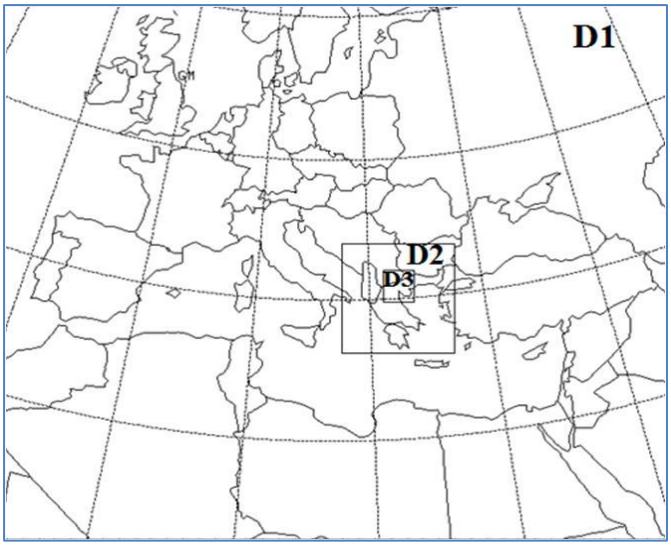
ανέμου από νοτιοδυτική σε βορειοδυτική διεύθυνση, και από την άλλη, μια αξιοσημείωτη ενίσχυση του ανέμου από 15 m/s σε περίπου 25-30 m/s μέσα σε λίγες ώρες με τη μορφή ενός φακοειδούς ρεύματος ανέμου (jet streak).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

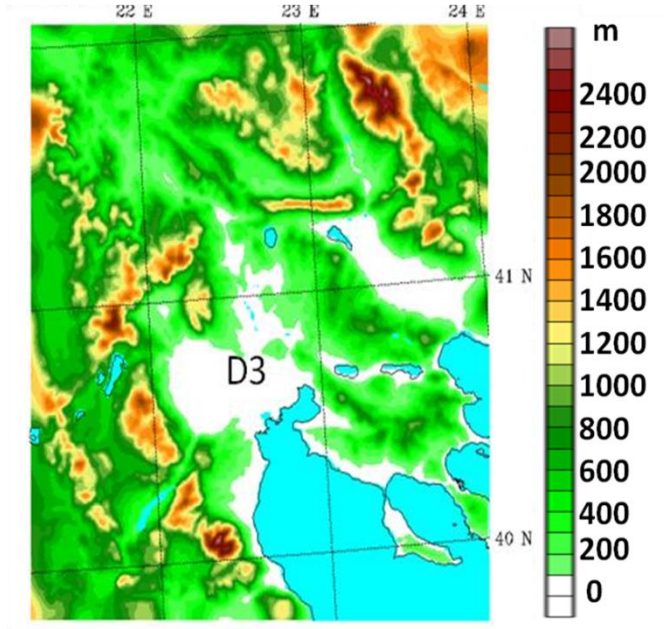
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ

Όπως παρουσιάστηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια το επεισόδιο Βαρδάρη της 10ης Νοεμβρίου ήταν ιδιαίτερα έντονο και οι μέσες τιμές ταχύτητας αλλά και οι ριπές που καταγράφηκαν ήταν σπάνιες για τα δεδομένα της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Επομένως κρίνεται σκόπιμο αν όχι απαραίτητο να εξεταστεί με περισσότερη ακρίβεια το εν λόγω φαινόμενο χρησιμοποιώντας δεδομένα υψηλής ανάλυσης. Η διαθεσιμότητα και χρήση των μη-υδροστατικών μοντέλων συνεισφέρει σημαντικά στη μελέτη και προγνωσιμότητα των επεισοδίων θυελλώδους καταβατικής ροής (Czyzyk and Bell,2007). Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το μη-υδροστατικό μοντέλο Weather Research and Forecast Modeling (WRF), συνδυαστικά με το δυναμικό πυρήνα ARW (έκδοση WRF-ARW 3.2.0), όπως περιγράφτηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2. Είναι η πρώτη φορά που ένα πολύ υψηλής ανάλυσης αριθμητικό μοντέλο, μαζί με κατάλληλες μετρήσεις κατά μήκος του Αξιού, συνδυάζονται για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών του Βαρδάρη. Τρεις απλά (one-way) εμφωλευμένες περιοχές χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις. Πραγματοποιήθηκαν πειράματα ευαισθησίας για την εύρεση της βέλτιστης χωρικής ανάλυσης του μοντέλου, όπως περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.1 που ακολουθεί. Η ανάλυσή τους υποδεικνύει ότι τα αποτελέσματα είναι αρκετά ικανοποιητικά λαμβάνοντας ως χωρική ανάλυση του μοντέλου τα 15 km για την D1 περιοχή , 5 km για την D2 περιοχή και 1 km για την περιοχή D3 (Tsopouridis et al., 2012). Οι τρείς αυτές περιοχές διακρίνονται αναλυτικά στο σχήμα 4.1, ενώ ειδικότερα στο σχήμα 4.2 διακρίνεται η εσωτερική πλεγματική περιοχή D3 με την τοπογραφία της.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 4.1: τα τρία πλέγματα που χρησιμοποιήθηκαν από το αριθμητικό μοντέλο WRF-ARW για τις προσομοιώσεις



Σχήμα 4.2: η τοπογραφία της εσωτερικής περιοχής (D3)

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 το πλέγμα D1 καταλαμβάνει το σύνολο σχεδόν της Ευρώπης (πλην των βορειότερων περιοχών της Σκανδιναβικής Χερσονήσου), συμπεριλαμβανομένης της Μεσογείου και της Βορείου Αφρικής. Επομένως, το πλέγμα αυτό μπορεί να αναπαραστήσει το μεγαλύτερο τμήμα του αντικυκλώνα της Δυτικής Ευρώπης (σχήμα 3.7), το βαρομετρικό χαμηλό που επηρέασε την Ελλάδα και τη δημιουργούμενη βαροβαθμίδα. Το πλέγμα D2 αφορά το μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας (πλην Κρήτης και Δωδεκανήσων) και τις χώρες της Νότιας Βαλκανικής

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Χερσονήσου και τέλος το πλέγμα D3 (σχήματα 4.1 και 4.2) καταλαμβάνει την ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας, τη νοτιοανατολική Π.Γ.Δ.Μ. και τα νοτιοδυτικά τμήματα της Βουλγαρίας. Επομένως, το πλέγμα υψηλής ανάλυσης καλύπτει εξολοκλήρου την περιοχή ενδιαφέροντος της παρούσας διατριβής.

Οι 6-ωρες αναλύσεις του ECMWF με χωρική ανάλυση αυτή των 0,25 × 0,25 χρησιμοποιήθηκαν ως αρχικές και πλευρικές οριακές συνθήκες για το πλέγμα D1. Το μοντέλο αρχικοποιήθηκε στις 12 UTC στις 9 Νοεμβρίου 2007, δηλαδή μία ημέρα πριν από την εκδήλωση του φαινομένου. Τα πλέγματα D2 και D3 αρχικοποιήθηκαν 6 ώρες αργότερα, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση των ασταθειών λόγω αρχικοποίησης (spin up) του μοντέλου. Οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια της θάλασσας προέρχονται από τα καθημερινά αρχεία του NCEP σε πολύ υψηλή οριζόντια ανάλυση 0.083^{o}x0.083^{o} και κρατήθηκαν στις αρχικές τιμές τους κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων. Κατά την κατακόρυφο, χρησιμοποιήθηκαν 39 σίγμα επίπεδα (έως τα 50 hPa) και για τα 3 πλέγματα, με αυξημένη ανάλυση για το οριακό στρώμα. Υψηλής ανάλυσης δεδομένα σχετικά με τη χρήση γης και τη τοπογραφία (30x30 arc sec) χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα ελέγχου, ενώ τέλος τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από το ατμοσφαιρικό μοντέλο WRF και τα οποία αφορούν την D3 περιοχή είχαν χρονικό βήμα 10λέπτου.

4.1 ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως διεξήχθησαν διάφορα πειράματα ευαισθησίας, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη χωρική ανάλυση του μοντέλου καταλήγοντας τελικά σε αυτή των 15 km για την D1 περιοχή (337x289), 5 km για την D2 περιοχή (166x172) και 1 km για την περιοχή D3 (226x251).

Πριν όμως από αυτό, για τη δημιουργία συγκρίσιμων αποτελεσμάτων θα έπρεπε πρώτα τα ανεμόμετρα και των 22 μετεωρολογικών σταθμών αναφοράς (πίνακας 2.1, σχήμα 2.2) να βρίσκονται σε ίδια απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους και όπως προτείνεται σε απόσταση 10 μέτρων από αυτό. Κάτι τέτοιο φυσικά δεν ήταν εφικτό και για τους 22 σταθμούς εξαρχής αλλά επετεύχθη με τη βοήθεια της ακόλουθης εξίσωσης που υπολογίζει την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος για διάφορες κλάσεις ευστάθειας:

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

$$U(Z) = U(Z_a)(Z/Z_a)^P \qquad (4.1)$$ *, όπου*

U(Z): ταχύτητα ανέμου σε ύψος Z

$U(Z_a)$: ταχύτητα ανέμου σε ύψος Za=10 m

P: αδιάστατη παράμετρος που εξαρτάται από τις συνθήκες ευστάθειας, όπως αυτές απεικονίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 4.1: οι κλάσεις ευστάθειας με βάση τη τιμή της αδιάστατης παραμέτρου P (Ζάνης, 2012)

ΚΛΑΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ-ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ-ΑΣΤΑΘΕΙΑΣ	ΤΙΜΗ ΑΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ P
A	ΠΟΛΥ ΑΣΤΑΘΗΣ	0.15
B	ΜΕΤΡΙΑ ΑΣΤΑΘΗΣ	0.15
C	ΕΛΑΦΡΩΣ ΑΣΤΑΘΗΣ	0.20
D	ΟΥΔΕΤΕΡΗ	0.25
E	ΕΛΑΦΡΩΣ ΕΥΣΤΑΘΗΣ	0.40
F	ΜΕΤΡΙΑ ΕΥΣΤΑΘΗΣ	0.60

Όταν οι παρατηρήσεις, προέρχονται από σταθμούς επιφανείας που είναι ανομοιογενώς χωρικά κατανεμημένοι στο πεδίο ολοκλήρωσης, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη κατάλληλης μεθοδολογίας για στατιστική αξιολόγηση των προγνώσεων (Wilks, 1995, Katsafados, 2011). Ειδικότερα, για την ταχύτητα του ανέμου, η οποία είναι μία συνεχής στο χώρο και χρόνο μετεωρολογική παράμετρος, χρησιμοποιήθηκαν οι στατιστικοί δείκτες της τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Error-RMSE), του μέσου απόλυτου σφάλματος (Mean Absolute Error-MAE) και του συστηματικού σφάλματος (BIAS). Οι παραπάνω δείκτες βοηθούν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την ποιότητα των προγνώσεων ενός μοντέλου. Πιο αναλυτικά:

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

- Το συστηματικό σφάλμα (BIAS) δίνεται από τη σχέση

$$\mathbf{BIAS} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Xi-Oi)}{N} \quad (4.2)$$

- Ενώ η εξίσωση με βάση τον οποίο υπολογίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα

$$\mathbf{RMSE}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Xi-Oi)^2} \quad (4.3)$$

Όπου X η προγνωστική τιμή, O η τιμή της παρατήρησης και N το πλήθος των παρατηρήσεων. Σε περίπτωση που το bias <0, το μοντέλο υποεκτιμά το πλήθος των τιμών της μεταβλητής, ενώ αντίθετα όταν το συστηματικό σφάλμα είναι θετικό το μοντέλο εμφανίζει υπερεκτίμηση (Katsafados, 2003).

Σχετικά με τον δείκτη RMSE πρόκειται για έναν ευρέως χρησιμοποιούμενο στατιστικό δείκτη με τιμές [0,+α), με τέλεια προγνωστικά πεδία να προσεγγίζουν το μηδέν (Katsafados,2003).

- Τέλος, το μέσο απόλυτο σφάλμα (MAE), το οποίο δίνει το σφάλμα των προγνώσεων εκφρασμένο ως απόλυτη τιμή της απόκλισης των πραγματικών τιμών από τις προβλεπόμενες τιμές δίνεται από τη σχέση:

$$\boldsymbol{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^{N}|Xi-Oi|}{N} \quad (4.4)$$

Αρχικά υπολογίστηκαν οι παραπάνω στατιστικές παράμετροι και για τους 22 σταθμούς για τα διαφορετικά πειράματα που διεξήχθησαν για την εύρεση της βέλτιστης χωρικής ανάλυσης. Οι τιμές των τριών στατιστικών παραμέτρων για τρία τέτοια πειράματα διακρίνονται στον πίνακα 4.2 που ακολουθεί:

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Πίνακας 4.2: στατιστικές παράμετροι BIAS, MAE και RMSE για 22 μετεωρολογικούς σταθμούς για τρία πειράματα που διεξήχθησαν για την εύρεση της βέλτιστης χωρικής ανάλυση

	ΠΕΙΡΑΜΑ 1 (12KM-4KM-1.33KM)	ΠΕΙΡΑΜΑ 2 (18KM-6KM-1.2KM)	ΠΕΙΡΑΜΑ 3 (15KM-5KM-1KM)
BIAS	1.79	1.49	1.43
MAE	5.65	5.46	5.38
RMSE	7.44	7.07	7.01

Στον πίνακα 4.2 διακρίνονται τα αποτελέσματα των τριών στατιστικών παραμέτρων (BIAS, MAE, RMSE) που εξήχθησαν έπειτα από διεξαγωγή τριών αριθμητικών πειραμάτων με διαφορετική χωρική ανάλυση για τα τρία πλέγματα του σχήματος 4.2. Στο αριθμητικό μοντέλο WRF όταν «τρέχουν» όλα τα πλέγματα μαζί απαιτείται μία συγκεκριμένη αναλογία στα τρία πλέγματα, η οποία είναι 1-3 (με βάση την οποία διεξήχθησαν τα δύο πρώτα πειράματα) ή 1-5(με βάση την οποία διεξήχθη το Πείραμα 3). Στο πρώτο πείραμα(12χλμ-4χλμ-1.33χλμ) παρατηρούνται μεγαλύτερα σφάλματα σε σχέση με το Πείραμα 2(18χλμ-6χλμ-1.2χλμ) και το Πείραμα 3(15χλμ-5χλμ-1χλμ). Μάλιστα, το Πείραμα 3, το οποίο και είχε τη μεγαλύτερη δυνατή χωρική ανάλυση στην περιοχή D3 (σχήμα 4,2) ήταν αυτό που έδωσε και τα καλύτερα αποτελέσματα και ως εκ τούτου επιλέχτηκε στην παρούσα διατριβή.

Έχοντας επιλέξει ως καλύτερη χωρική ανάλυση αυτή του πειράματος 3 (15-5-1 χλμ) υπολογίστηκαν ακολούθως οι άνωθεν στατιστικοί δείκτες μόνο για τους 4 σταθμούς που βρίσκονται εντός της κοιλάδας του Αξιού (Εύζωνοι, Αξιούπολη, Ακροπόταμος, Κύμινα), δηλαδή περιοχές που βρέθηκαν στην «καρδιά» του φαινομένου. Η στατιστική ανάλυση της ταχύτητας του ανέμου στα 10 μέτρα (με βήμα δεκαλέπτου) για τους 4 σταθμούς κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού, ανάμεσα στις 00 UTC της 10ης Νοεμβρίου και στις 00 UTC της 11ης Νοεμβρίου έδειξε ότι οι δείκτες BIAS και RMSE κυμάνθηκαν από -0.25 έως 1.82 m/s και από 3.56 έως 7.28 m/s, αντίστοιχα. Επίσης, το απόλυτο σφάλμα (MAE) κυμάνθηκε μεταξύ 2.80-5.62 m/s. Σε πλήθος παλαιότερων μελετών, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα εμφανίζει τιμές

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

κοντά στα 3.0 m/s (Ohsawa, 2009, Shimada, 2010, Gonzales-Lopez, 2010). Ωστόσο, σε μελέτες που αφορούν περιπτώσεις θυελλωδών ανέμων το RMSE ξεπερνά και τα 4.0 m/s (Kimura, 2004). Αυτές οι υψηλότερες τιμές -αν και σαφέστατα μικρότερες συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες για το σύνολο και των 22 σταθμών αναφοράς- οφείλονται πολύ πιθανόν σε τρείς λόγους:

1) Οι σταθμοί αναφοράς βρίσκονται σε πεδινές περιοχές και έχει παρατηρηθεί σημαντικό σφάλμα, σχετικά με την ένταση του ανέμου και για σταθμούς πεδινούς-ημιορεινούς (Roux et al.2009)

2) Οι μέσες τιμές ταχύτητας που μετρήθηκαν στους κατά τόπους σταθμούς ήταν σημαντικά υψηλότερες (8.0 έως 10.2 m/s) από τις μέσες παρατηρούμενες κλιματολογικές τιμές (5.1 m/s) κατά την πνοή του Βαρδάρη (Μαχαίρας, 1982).

3) Η έστω και μικρή χρονική μετατόπιση στην πρόγνωση, η οποία κατά τα άλλα είναι επιτυχής οδηγεί σε σημαντικά σφάλματα στις στατιστικές παραμέτρους.

4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ WRF-ARW

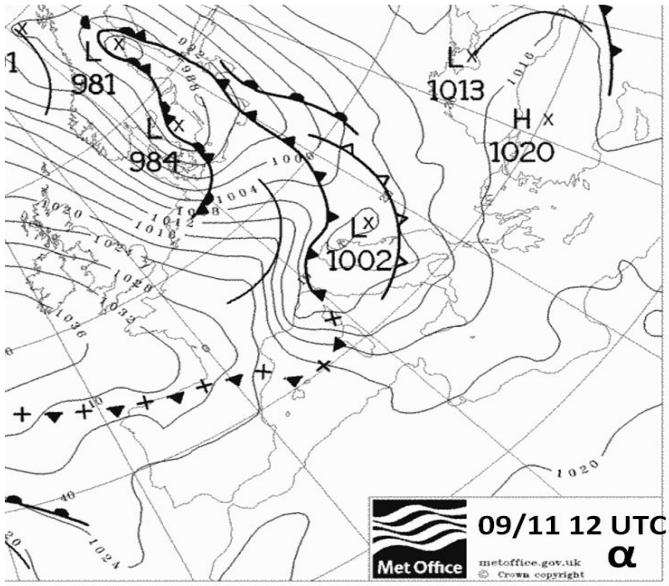
Πριν χρησιμοποιηθεί ένα αριθμητικό μοντέλο υψηλής ανάλυσης για τη μελέτη ενός τοπικού ανέμου με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σαν του Βαρδάρη-ή για άλλο λόγο- θα πρέπει πρώτα να εκτιμηθεί ο βαθμός ρεαλιστικότητας στο πεδίο της συνοπτικής κλίμακας του μοντέλου. Η ακρίβεια της πρόγνωσης στη συνοπτική κλίμακα, παρέχει στο μοντέλο τις σωστές αρχικές συνθήκες και τη σωστή λειτουργία του σε προσομοιώσεις υψηλότερης ανάλυσης. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αξιολόγηση του μη υδροστατικού αριθμητικού μοντέλου WRF-ARW, συγκρίνοντας τις προγνώσεις του μοντέλου με τις αναλύσεις. Στα σχήματα που ακολουθούν γίνεται μία σύγκριση μεταξύ των εικόνων που προέκυψαν από τις αναλύσεις του ECMWF με χωρική ανάλυση 0.25° x 0.25° και των αντίστοιχων που προέκυψαν από το περιοχικό μοντέλο WRF-ARW για δύο πολύ βασικά πεδία, αυτά της ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας και του γεωδυναμικού ύψους στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 mb με στόχο να εκτιμηθεί με μία πρώτη

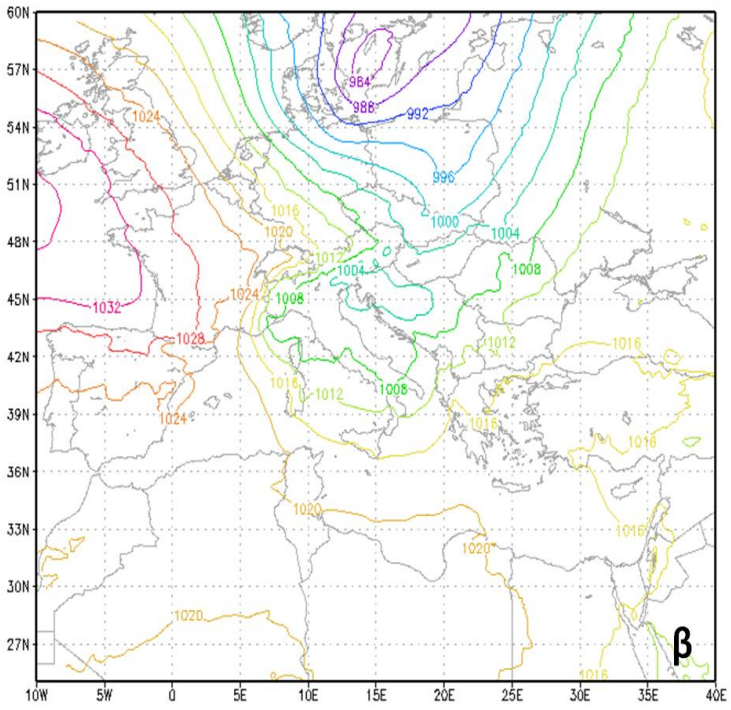
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

γενική εικόνα ο βαθμός στον οποίο το περιοχικό μοντέλο αποτύπωσε τη συνοπτική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας στο εν λόγω έντονο φαινόμενο Βαρδάρη.

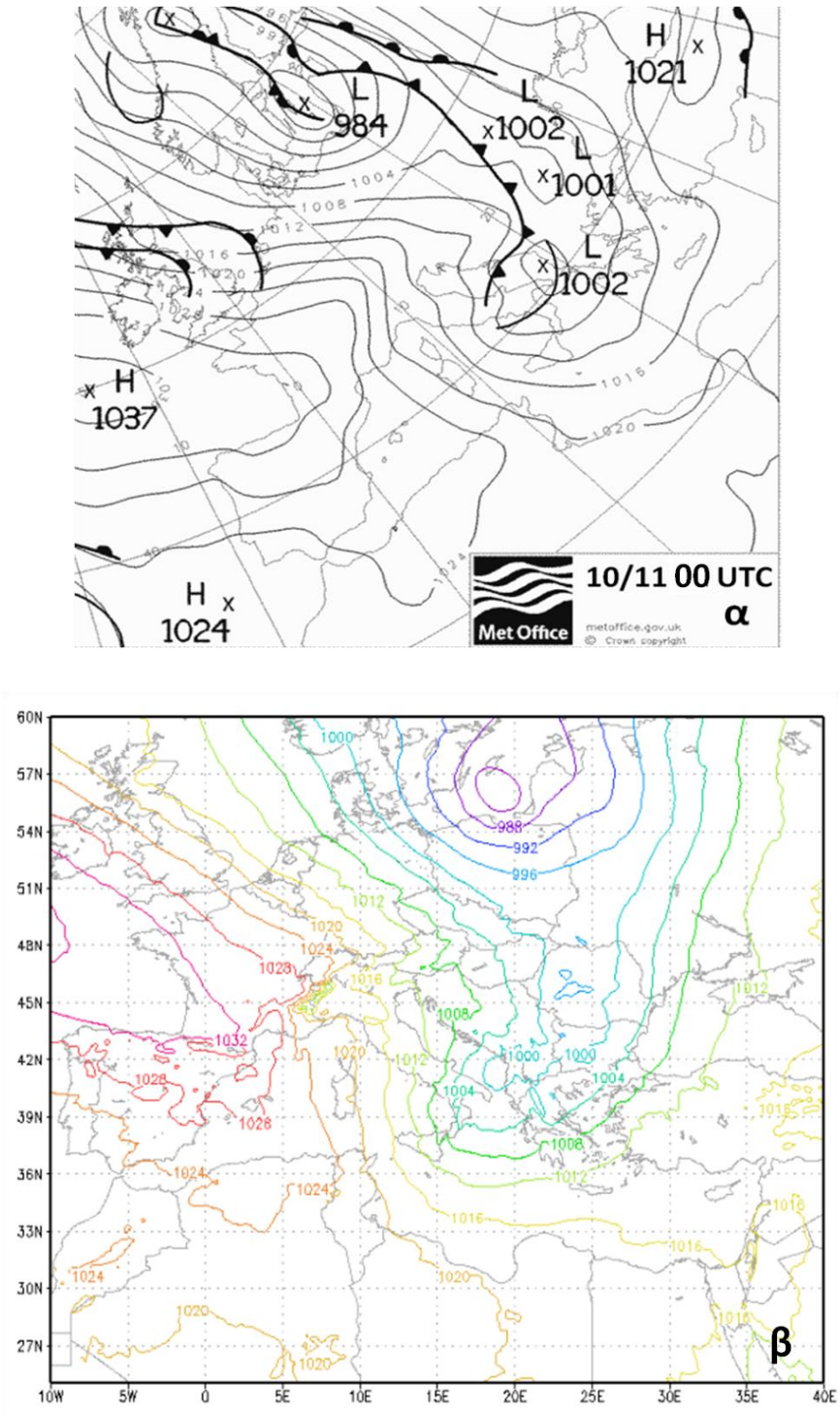
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

4.2.1 ΠΕΔΙΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΣΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (ΜΣΘ)

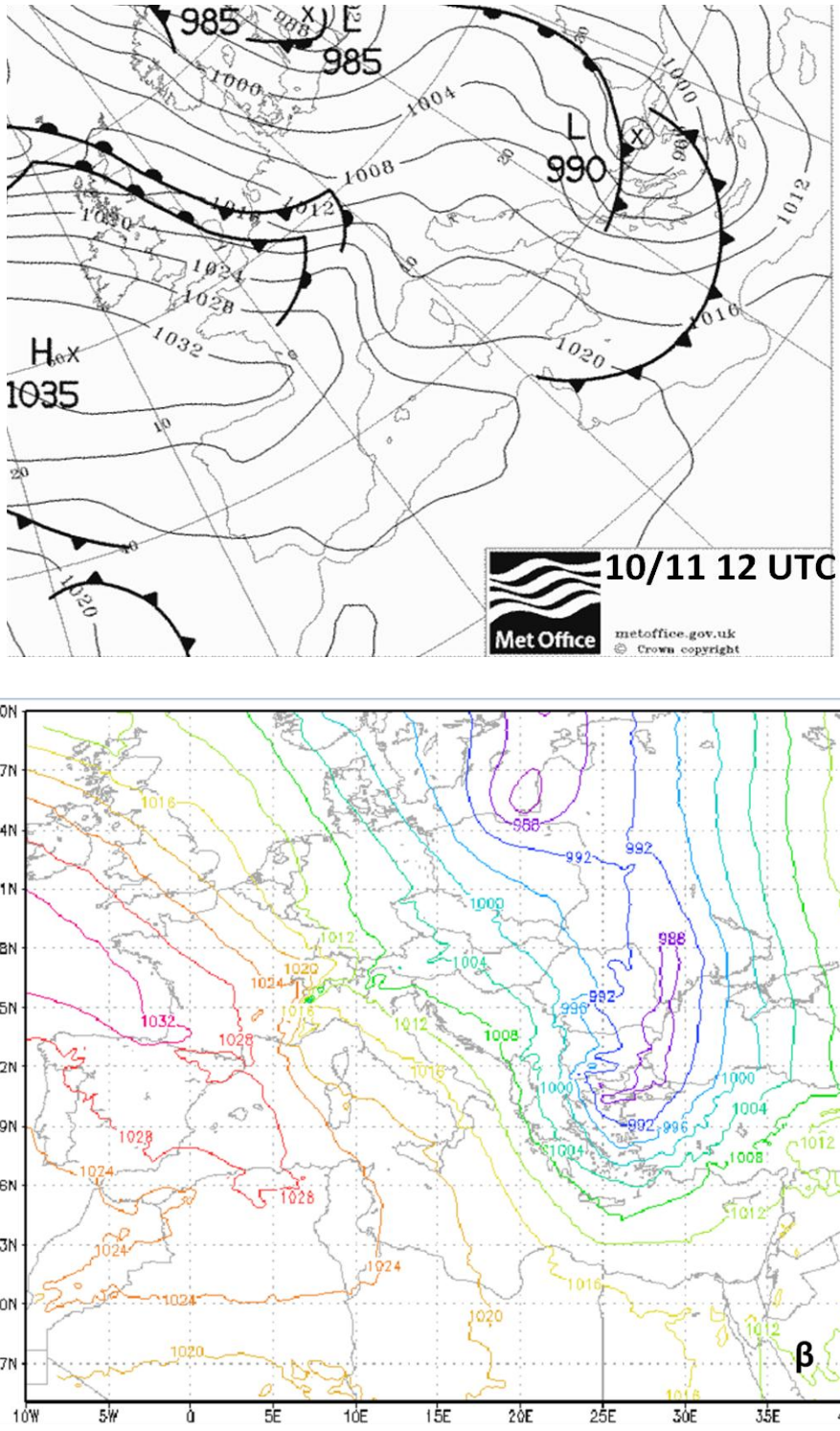




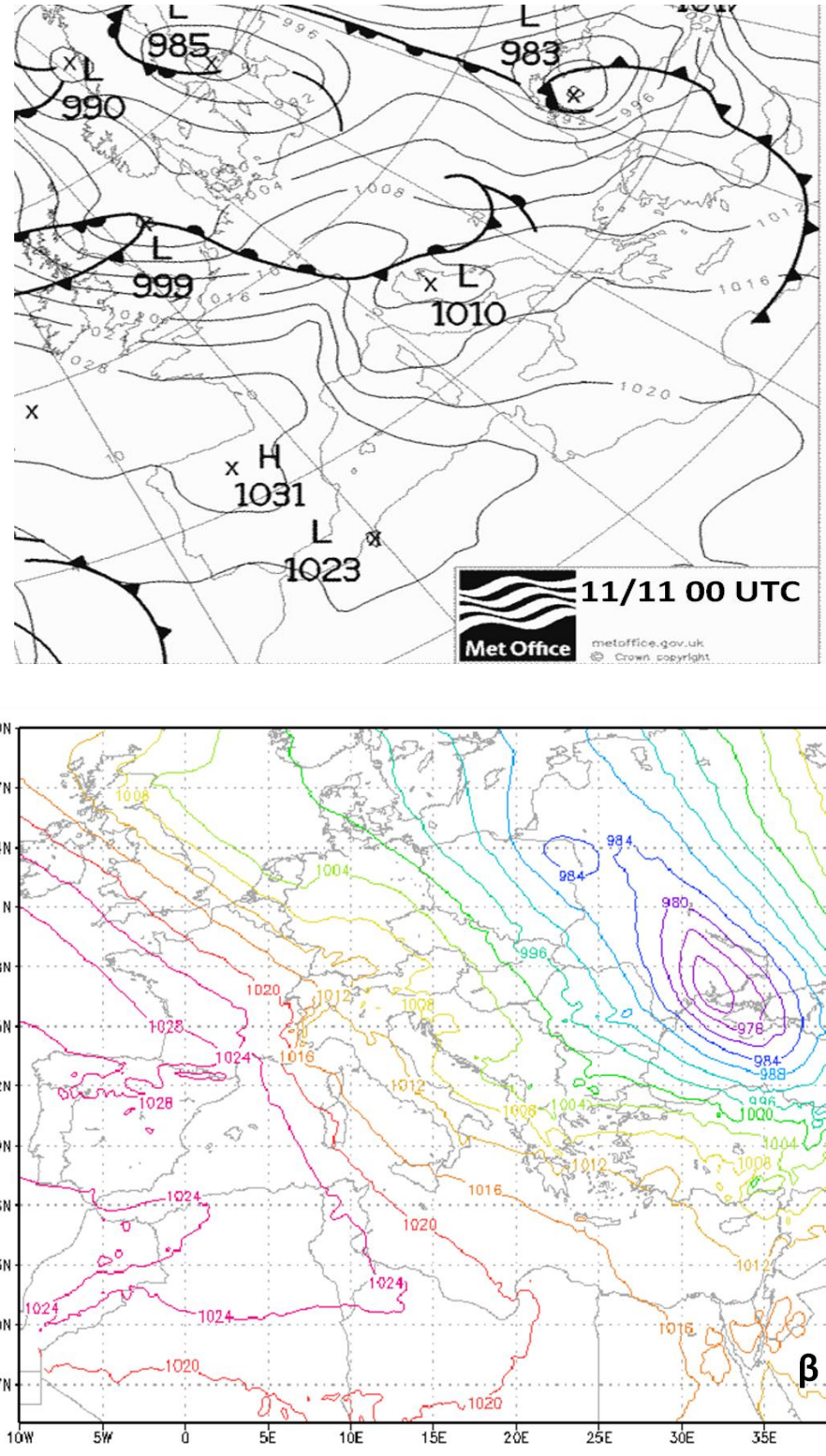
Σχήμα 4.5 : Πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) στις 12 UTC 09/11/07 α) από τις αναλύσεις του UKMO και β) από την προσομοίωση του WRF κατά την αρχικοποίησή του



Σχήμα 4.6 : Πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) στις 00 UTC 10/11/07:α) από τις αναλύσεις του UKMO και β) από την προσομοίωση του WRF κατά την 12η προγνωστική ώρα



Σχήμα: 4.7: Πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) στις 12 UTC 10/11/07:α) από τις αναλύσεις του UKMO και β) από την προσομοίωση του WRF κατά την 24η προγνωστική ώρα



Σχήμα: 4.8: : Πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) στις 00 UTC 11/11/07 από :α) τις αναλύσεις του UKMO και β) από την προσομοίωση του WRF κατά την 36η προγνωστική ώρα

Στις 09/11/07 στις 12 UTC η συνοπτική κατάσταση στην Ευρώπη μπορεί να χαρακτηριστεί σε γενικές γραμμές από την ύπαρξη δύο κύριων συστημάτων, ενός αντικυκλώνα με κέντρο στα δυτικά της Μεγάλης Βρετανίας και ενός βαρομετρικού χαμηλού πάνω από την Σκανδιναβία που με μέτωπα κακοκαιρίας που εκτείνονται ως την Αδριατική θάλασσα επηρεάζει τον καιρό της Ανατολικής Ευρώπης (σχήμα 4.5α). Δώδεκα ώρες μετά, η κίνηση του χαμηλού ανατολικότερα (σχήμα 4.5α και 4.6α), έχει σαν αποτέλεσμα την πτώση της τιμής της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια, στην Ελληνική περιοχή. Ενδεικτικά, στις 10/11/07 00 UTC, η πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι περίπου 1004 hPa (σχήμα 4.6α), δηλαδή κατά 12 hPa μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή στις 09/11/07 12 UTC (σχήμα 4.5α). Στις 10/11/07 12 UTC, το κέντρο του βαρομετρικού χαμηλού βρίσκεται πλέον στην περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης και η πίεση στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι 1000 hPa (σχήμα 4.7α). Τέλος, στις 11/11/07 00 UTC, λόγω της απομάκρυνσης του χαμηλού προς τα βορειοανατολικά, στη Μαύρη Θάλασσα, αρχίζει η αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας (σχήμα 4.8α).

Όπως απεικονίζεται στα σχήματα 4.6, 4.7 και 4.8 το ατμοσφαιρικό μοντέλο WRF προσδιόρισε σε πολύ καλό βαθμό τη θέση των διάφορων βαρομετρικών συστημάτων.

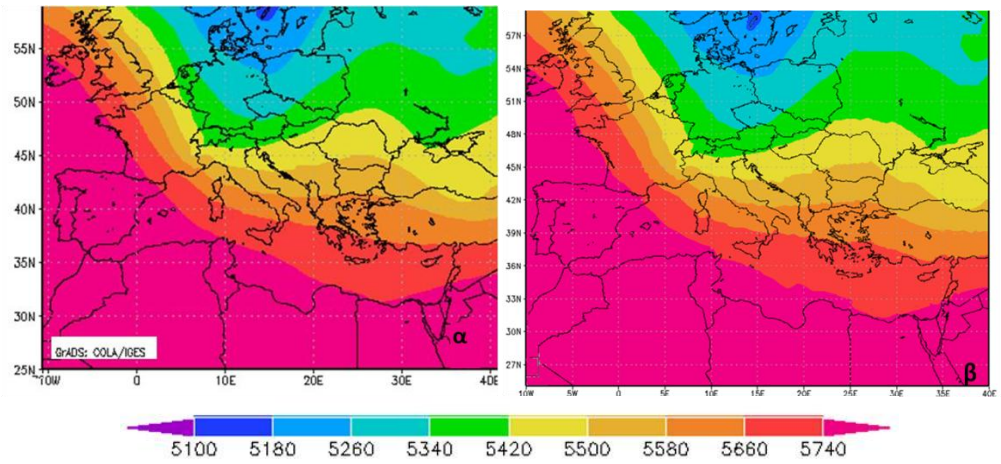
Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6 προσδιορίστηκε σχεδόν με ακρίβεια η θέση των δύο βαρομετρικών χαμηλών στην Σκανδιναβία και στην Ανατολική Μακεδονία-Θράκη, όπως και το εκτεταμένο πεδίο υψηλών πιέσεων στη Δυτική Ευρώπη. Στις 10/11/07 12 UTC, το μοντέλο προέβλεψε σε εξαιρετικό βαθμό τις μεταβολές στο πεδίο της πίεσης, τόσο στην περιοχή ενδιαφέροντος (Θεσσαλονίκη-1000 hPa - σχήματα 4.7α και 4.7β), όσο και στις υπόλοιπες περιοχές της Ευρώπης. Τέλος, στις 11/11/07 00 UTC, προσομοιώθηκε αρκετά καλά η κίνηση του χαμηλού προς τα βορειοανατολικά, αν και υπερεκτιμήθηκε αρκετά η βάθυνση της ύφεσης, με κέντρο στην Ουκρανία κατά 11 hPa (σχήματα 4.5-4.8). Επίσης προσομοιώθηκε σε πολύ καλό βαθμό και η αποδυνάμωση του αντικυκλώνα του Ανατολικού Ατλαντικού προς την Ιβηρική Χερσόνησο (κάτι που προκύπτει από τη πτώση της βαρομετρικής πίεσης στο κέντρο του αντικυκλώνα και την πιο ανατολική θέση των ισοβαρών).

Επομένως, παρά τις όποιες μικροδιαφορές (μεγαλύτερη βάθυνση του χαμηλού και γρηγορότερη έλευσή του στην περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας-σχήμα 4.6),

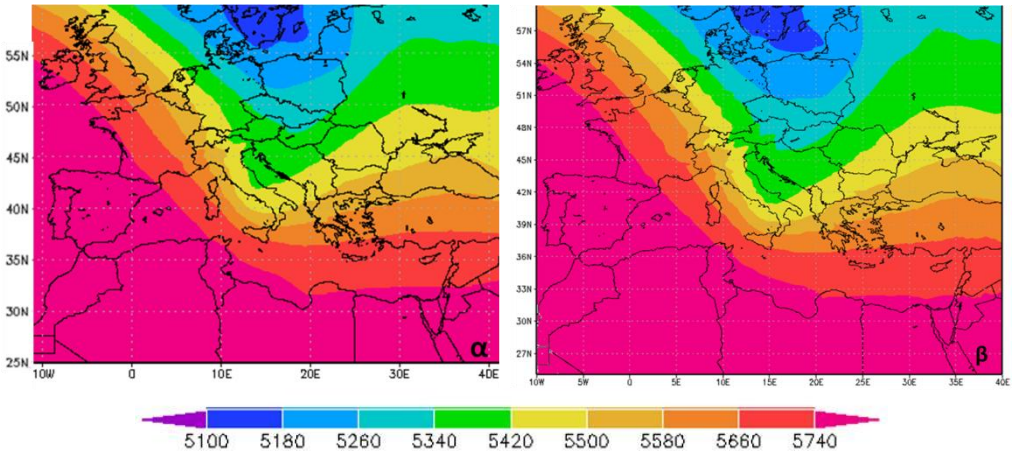
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

προσομοιώθηκε σε πολύ καλό βαθμό η μεταβολή της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας και κυρίως η βαροβαθμίδα, που αποτέλεσε την βασική αιτία για την εκδήλωση του έντονου επεισοδίου Βαρδάρης της 10ης Νοεμβρίου 2007 που μελετάται στην παρούσα διατριβή.

4.2.2 ΠΕΔΙΟ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΣΤΗΝ ΙΣΟΒΑΡΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ 500 mb

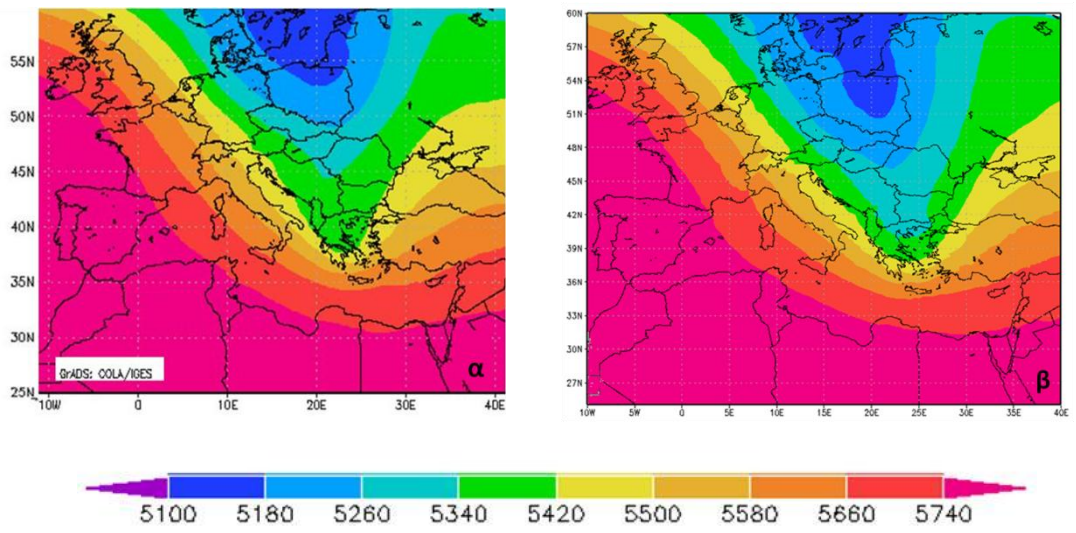


Σχήμα 4.9: γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa (gpm) στις 09/11/07 12 UTC από: α) την επιχειρησιακή ανάλυση του ECMWF και β) από την προσομοίωση του WRF κατά την αρχικοποίησή του

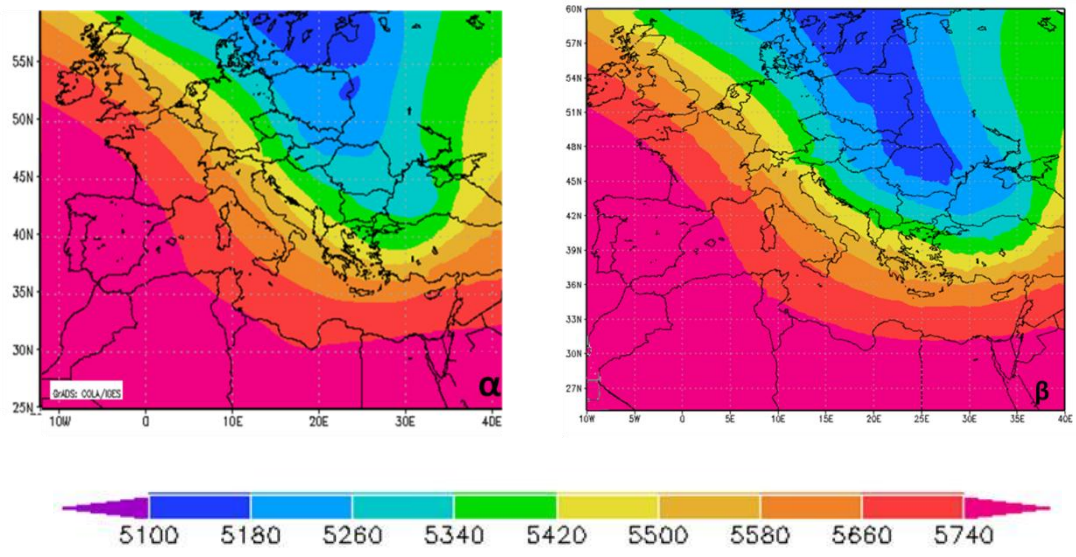


Σχήμα 4.10: γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa (gpm) στις 00 UTC 10/11/07 από: α) την επιχειρησιακή ανάλυση του ECMWF και β) από την προσομοίωση του WRF κατά 12^{η} προγνωστική ώρα

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 4.11: γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa (gpm) στις 12 UTC 10/11/07 από: α) την επιχειρησιακή ανάλυση του ECMWF και β) από την προσομοίωση του WRF κατά την 24η προγνωστική ώρα



Σχήμα 4.12: γεωδυναμικό ύψος στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa (gpm) στις 00 UTC 11/11/07 από: α) την επιχειρησιακή ανάλυση του ECMWF και β) από την προσομοίωση του WRF κατά την 36η προγνωστική ώρα

Στα σχήματα 4.10, 4.11 και 4.12 που αφορούν την κατανομή των γεωδυναμικών υψών στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 mb παρατηρείται η πτώση των γεωδυναμικών υψών πάνω από τα Βαλκάνια από τις 09/11/07 12 UTC (σχήμα 4.9α) έως τις 11/11/07 00 UTC (σχήμα 4.12α). Ειδικότερα, στις 09/11/07 12 UTC πάνω από τη Μακεδονία τα γεωδυναμικά ύψη ξεπερνούν τα 5580 gpm (σχήμα 4.9α), ενώ μία

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ημέρα μετά δεν ξεπερνούν τα 5420 gpm (σχήμα 4.11α). Ουσιαστικά, πρόκειται για έναν αυλώνα, ο άξονας του οποίου εκτείνεται από τα νότια της Σκανδιναβίας μέχρι την Κεντρική Ελλάδα (σχήμα 4.11α).

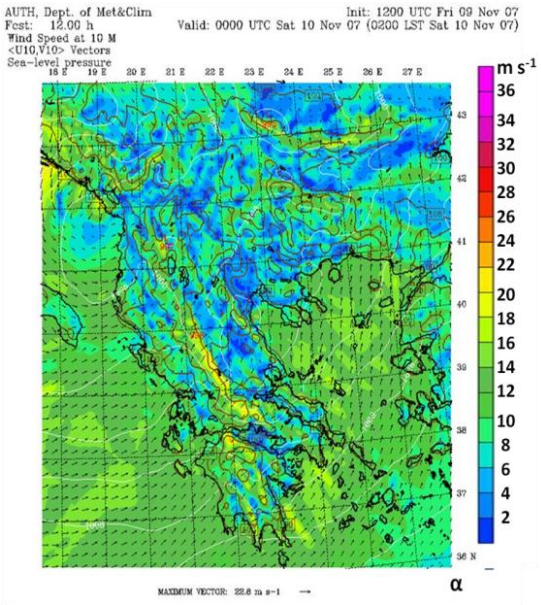
Το ατμοσφαιρικό μοντέλο WRF προσομοίωσε πολύ καλά τόσο τη θέση του αυλώνα, όσο και τη μεταγενέστερη κίνησή του (σχήματα 4.9-4.12).Ως μοναδική «αστοχία» στην πρόγνωση του μοντέλου, μπορεί να θεωρηθούν οι μεγαλύτερες τιμές γεωδυναμικού ύψους που παρατηρήθηκαν πάνω από τη Βόρεια Ελλάδα (σχήμα 4.11α), σε σχέση με αυτές που προβλέφθηκαν από το μοντέλο (σχήμα 4.11β). Εξάλλου αυτός ήταν και ο λόγος που υπερεκτιμήθηκε από το μοντέλο η βάθυνση του χαμηλού στην επιφάνεια στις 10/11/07 00 UTC (σχήμα 4.6β).

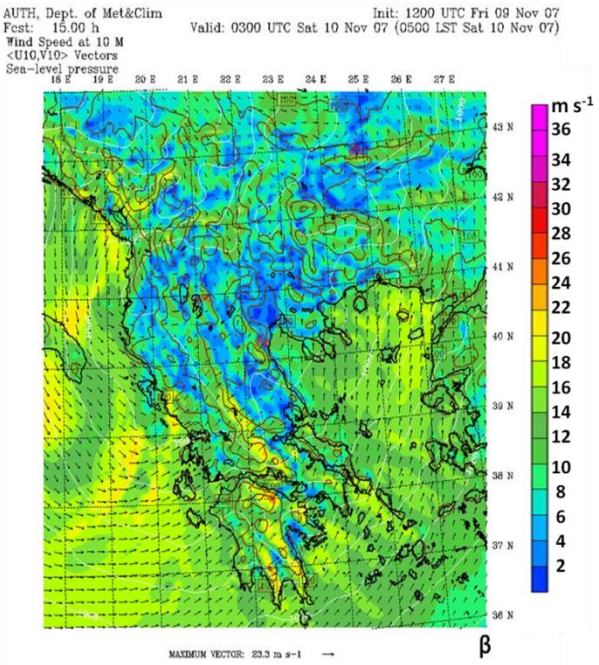
4.3 ΧΑΡΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ -ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ D2

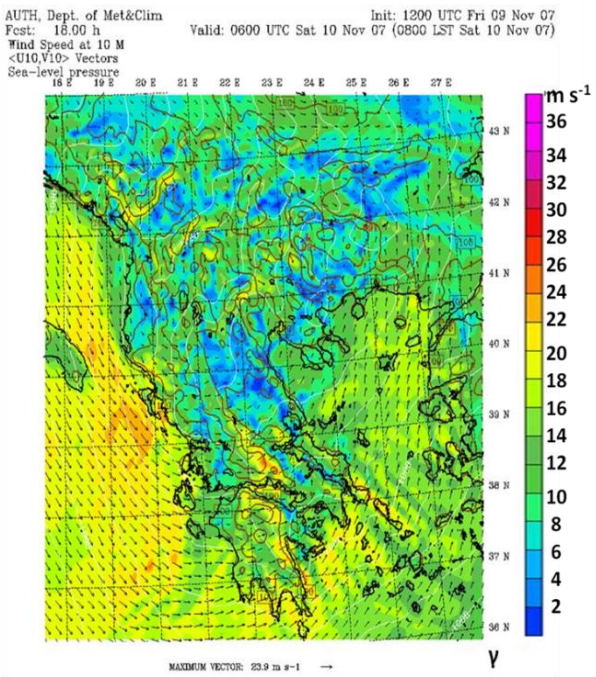
Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, ο Βαρδάρης είναι ένας τοπικός άνεμος. Αυτό σημαίνει ότι αφενός για τη δημιουργία του απαιτείται μια συγκεκριμένη συνοπτική κατάσταση, αφετέρου άλλοι παράγοντες, όπως η τοπογραφία, παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο. Επομένως, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης ενός περιοχικού μετεωρολογικού μοντέλου με σκοπό, από τη μία τη μελέτη έντονων περιπτώσεων, όπως αυτό της 10ης Νοεμβρίου και από την άλλη, τη πρόγνωση ανάλογων φαινομένων μικρότερης-γεωγραφικά-κλίμακας. Λόγω της χαμηλότερης ανάλυσης, τα παγκόσμια μοντέλα δε λαμβάνουν ιδιαίτερα υπόψη τοπικά γεωγραφικά χαρακτηριστικά, όπως ορεινές εξάρσεις ή έναν κόλπο. Αντίθετα, τα περιοχικά μοντέλα το καταφέρνουν, λαμβάνοντας μετεωρολογικά δεδομένα από τα παγκόσμια μοντέλα. Η ιδιαίτερη τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής της Κοιλάδας του Αξιού, επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή την εκδήλωση του Βαρδάρη. Επομένως, είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση ενός περιοχικού μοντέλου που θα συνυπολογίζει τα ιδιαίτερα τοπογραφικά χαρακτηριστικά μίας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής. Όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4.2, το WRF προσομοίωσε με πολύ ικανοποιητική ακρίβεια τη συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας στο εν λόγω έντονο επεισόδιο Βαρδάρη. Αυτός ήταν και ένας βασικός λόγος που επιλέχτηκε για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής. Στους χάρτες του σχήματος 4.13 που ακολουθούν προσομοιάζεται με ανάλυση 5 km (από την περιοχή ολοκλήρωσης D2), η κατανομή και ένταση του ανέμου συνδυαστικά με την έλευση

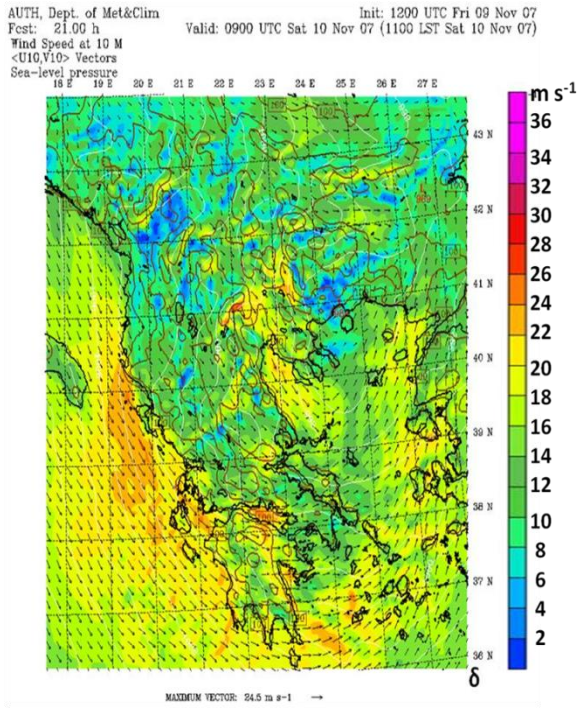
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

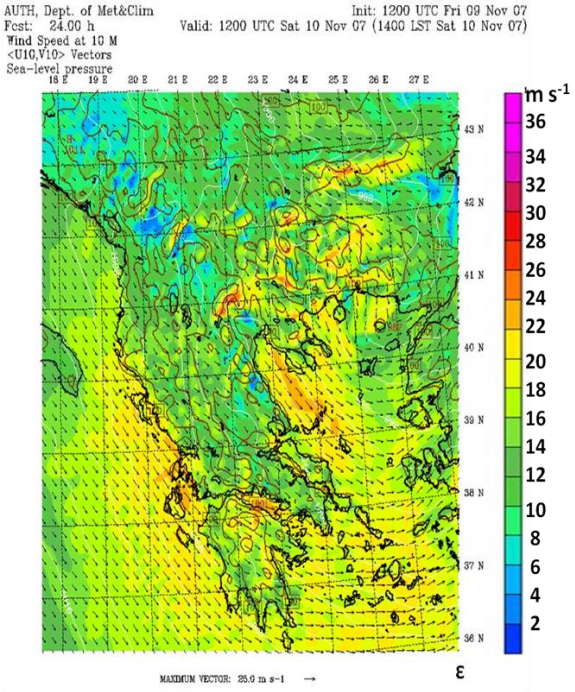
του βαρομετρικού χαμηλού από τα βορειοδυτικά και η παράλληλη στροφή των ανέμων από νοτιοδυτικές σε βορειοδυτικές διευθύνσεις.

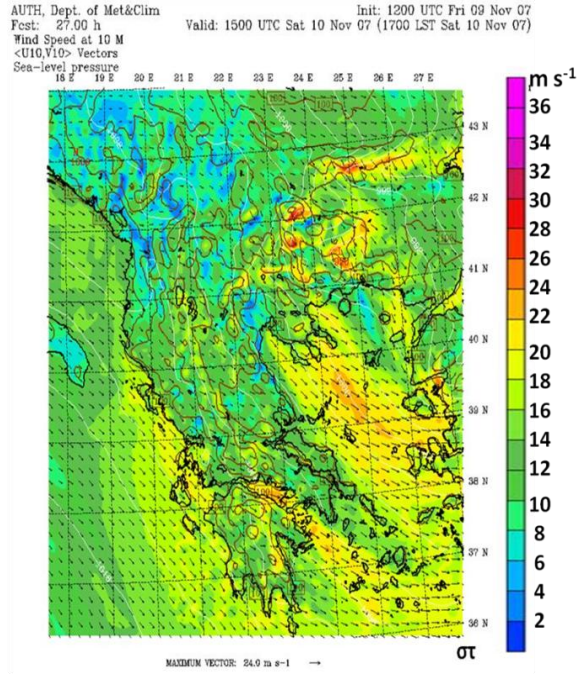


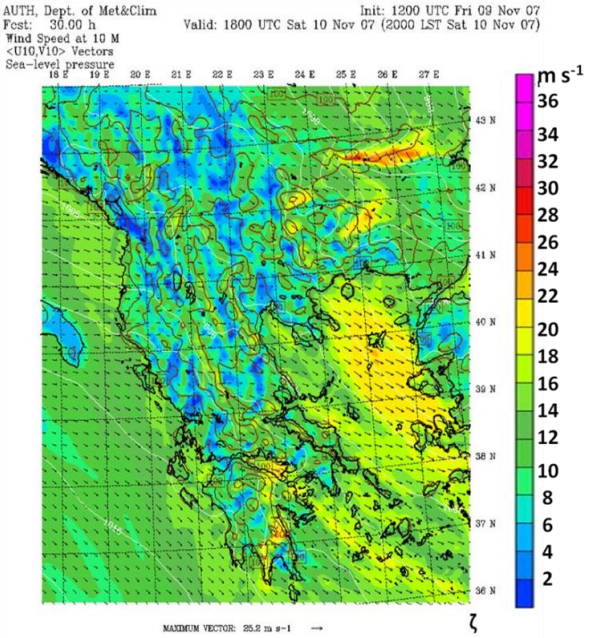


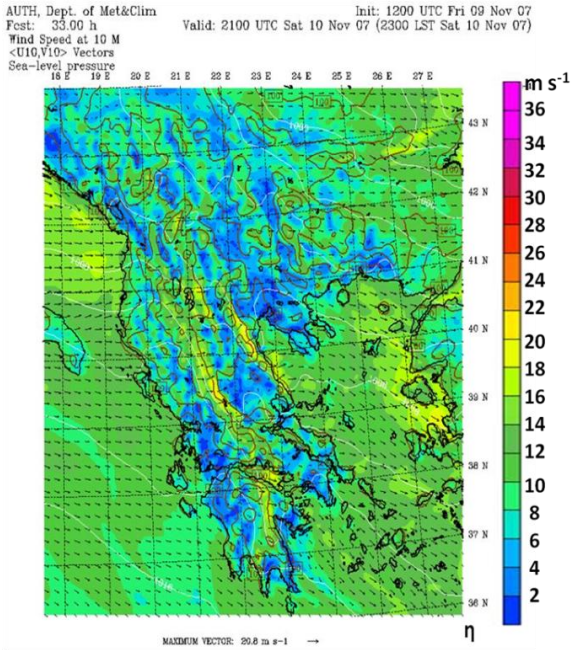


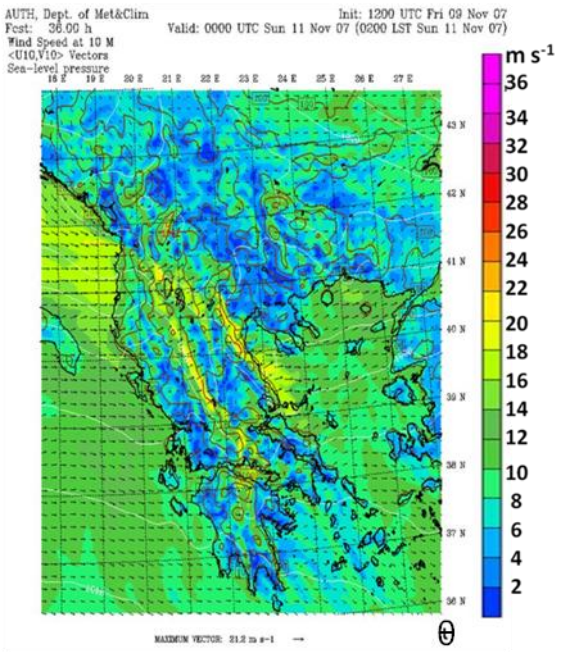

AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 21.00 h
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0900 UTC Sat 10 Nov 07 (1100 LST Sat 10 Nov 07)
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Sea-level pressure
m s-1
δ


AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 24.00 h
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 1200 UTC Sat 10 Nov 07 (1400 LST Sat 10 Nov 07)
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Sea-level pressure
m s-1
ε


AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 27.00 h
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 1500 UTC Sat 10 Nov 07 (1700 LST Sat 10 Nov 07)
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Sea-level pressure
m s-1
στ


AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 30.00 h
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Sea-level pressure
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 1800 UTC Sat 10 Nov 07 (2000 LST Sat 10 Nov 07)
18 E 19 E 20 E 21 E 22 E 23 E 24 E 25 E 26 E 27 E
43 N 42 N 41 N 40 N 39 N 38 N 37 N 36 N
m s-1
36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2
MAXIMUM VECTOR: 25.2 m s-1
ζ


AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 33.00 h
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Sea-level pressure
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 2100 UTC Sat 10 Nov 07 (2300 LST Sat 10 Nov 07)
18 E 19 E 20 E 21 E 22 E 23 E 24 E 25 E 26 E 27 E
43 N 42 N 41 N 40 N 39 N 38 N 37 N 36 N
m s-1
36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2
MAXIMUM VECTOR: 20.8 m s-1
η



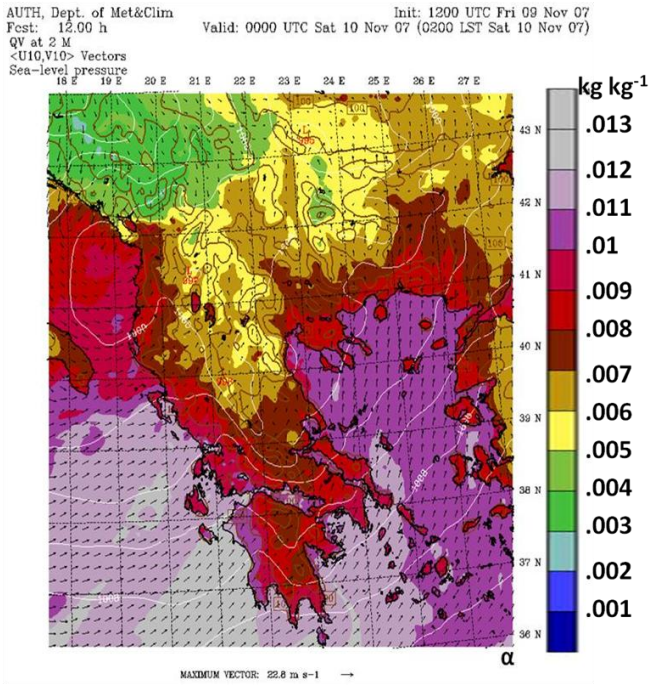
Σχήμα 4.13: απεικόνιση του επιφανειακού ανέμου στα 10 μέτρα στην περιοχή της Ελλάδας και της νοτίου Βαλκανικής, από το πλέγμα D2 του WRF. Η ταχύτητα μετράται σε m/s, η ένταση της διακρίνεται από τις διάφορες χρωματικές διαβαθμίσεις με βάση τη χρωματική κλίμακα στα δεξιά της κάθε εικόνας και τα βέλη δείχνουν την διεύθυνση του ανέμου από τις 00 UTC στις 10/11/07 (σχήμα 4.13α) μέχρι τις 00UTC στις 11/11/07 (σχήμα 4.13θ) ανά 3 προγνωστικές ώρες

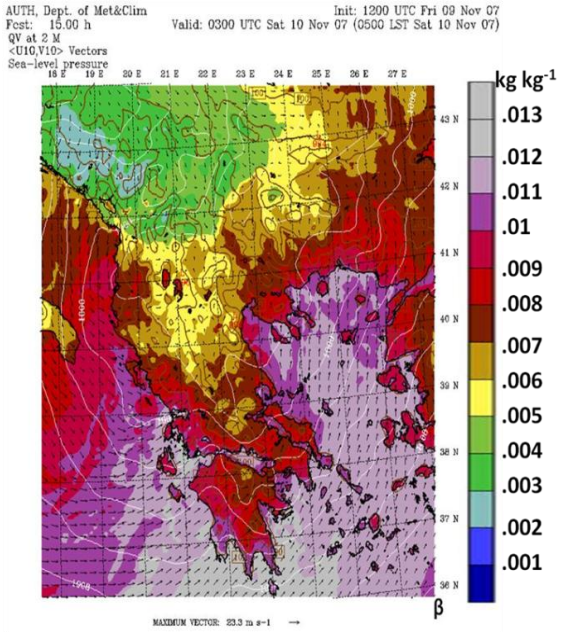
Στις 00 UTC στις 10/11/07, το βαρομετρικό χαμηλό στην Αδριατική θάλασσα έχει αρχίσει να ενισχύει τους νοτιοδυτικούς ανέμους κυρίως πάνω από ορεινές περιοχές της Ηπειρωτικής χώρας (σχήμα 4.13α), ενώ στο επόμενο 6ωρο η κίνηση του βαρομετρικού χαμηλού προς τα νοτιοανατολικά ενισχύει περαιτέρω τους ανέμους, και πάνω από τα 20 m/s (σχήμα 4.13β και 4.13γ). Στις 09 UTC, το κέντρο του βαρομετρικού χαμηλού βρίσκεται στην περιοχή της Χαλκιδικής και έχει σαν αποτέλεσμα τη στροφή των ανέμων σε βορειοδυτικούς σε όλο το Ιόνιο, την κεντρική Μακεδονία και τις βορειότερες αυτής περιοχές (σχήμα 4.13δ). Συγκεκριμένα αυτή είναι και η χρονική στιγμή της μέγιστης έντασης των βορειοδυτικών ανέμων (στην προσομοίωση) στη Δυτική Ελλάδα, οι οποίοι πνέουν τοπικά πολύ θυελλώδεις σε θαλάσσιες περιοχές του Βορείου Ιονίου και σε ηπειρωτικές περιοχές της Κεντρικής Μακεδονίας. Συγκεκριμένα, στις προαναφερθείσες περιοχές ξεπερνούν τα 22 ms^{-1}, δηλαδή τα 9 Bf (Μακρογιάννης, 2004). Μάλιστα στο χρονικό διάστημα μεταξύ 9-10 UTC, σημειώθηκαν και οι υψηλότερες τιμές ταχύτητας στους 4 σταθμούς κατά μήκος

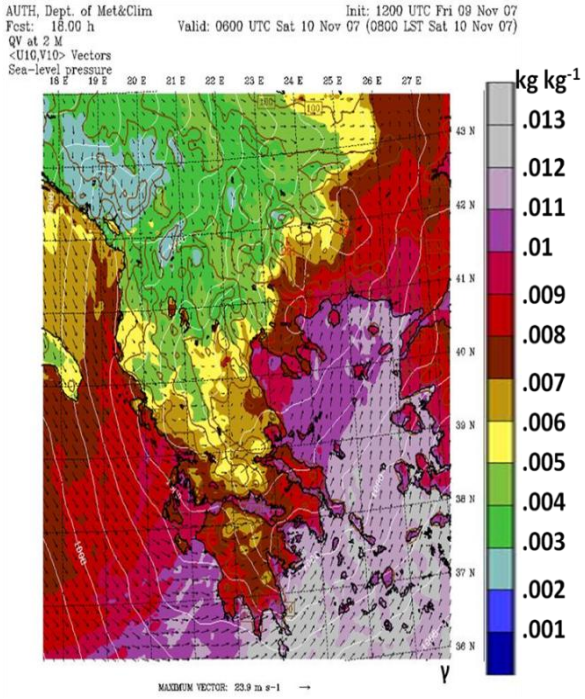
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

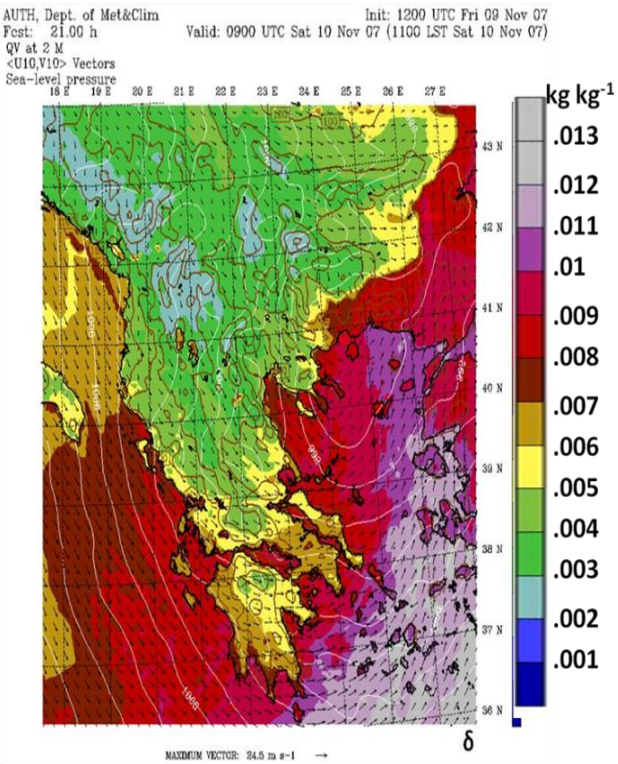
του Αξιού (σχήματα 3.1α-3.4α) Έως και τις 12 UTC (σχήμα 4.13 ε), οι άνεμοι ενισχύονται πλέον και ανατολικότερα της Κεντρικής Μακεδονίας και νοτιότερα στον Θερμαϊκό Κόλπο ξεπερνώντας τοπικά τα 22 ms^{-1} . Τις αμέσως επόμενες ώρες, με την απομάκρυνση του χαμηλού ανατολικότερα παρατηρείται σταδιακή στροφή των ανέμων σε όλες τις περιοχές σε πιο βορειοδυτικούς και με την πάροδο του χρόνου σταδιακή εξασθένιση τους από δυσμάς (σχήματα 4.13στ-4.13ι).

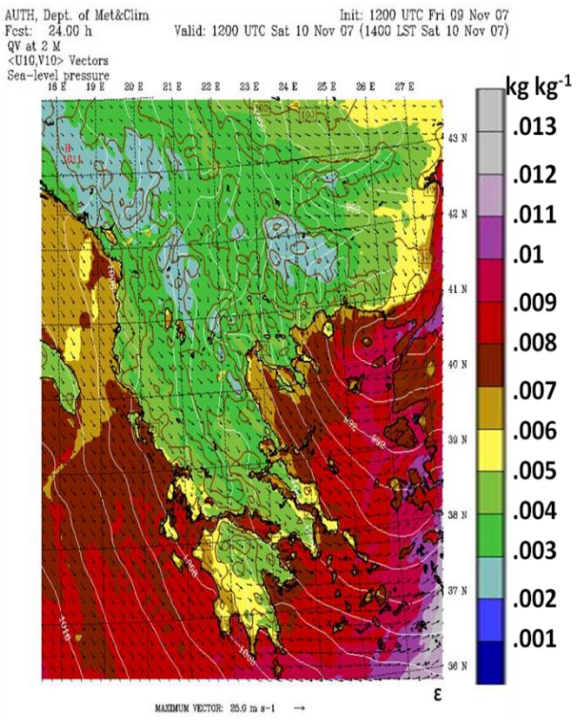
4.4 ΧΑΡΤΕΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΣΤΗ ΜΣΘ -ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ D2

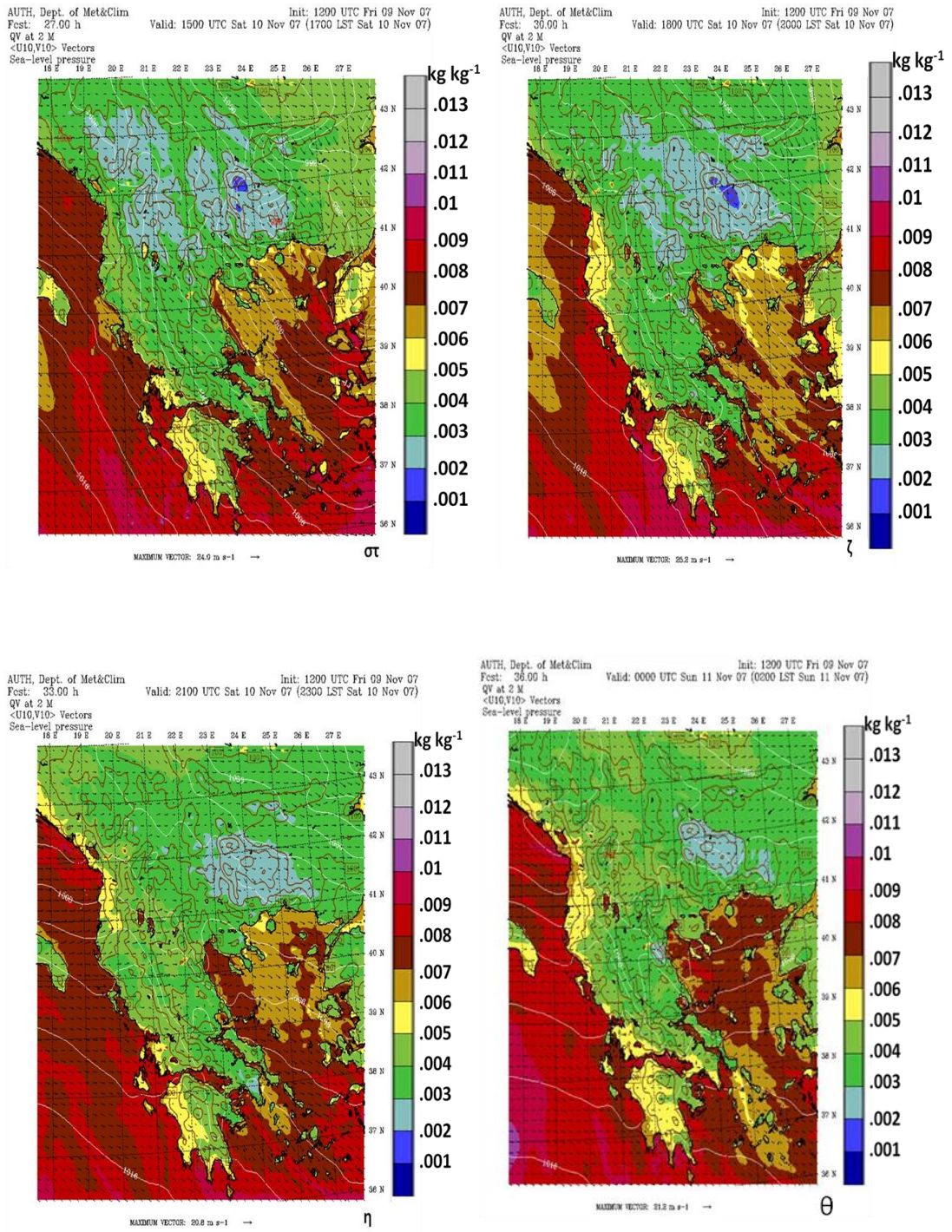





AUTH, Dept. of Met&Clim
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Fcst: 18.00 h
Valid: 0600 UTC Sat 10 Nov 07 (0800 LST Sat 10 Nov 07)
QV at 2 M
<U10,V10> Vectors
Sea-level pressure
kg kg-1
.013
.012
.011
.01
.009
.008
.007
.006
.005
.004
.003
.002
.001
γ


AUTH, Dept. of Met&Clim
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Fcst: 21.00 h
Valid: 0900 UTC Sat 10 Nov 07 (1100 LST Sat 10 Nov 07)
QV at 2 M
<U10,V10> Vectors
Sea-level pressure
kg kg-1
.013
.012
.011
.01
.009
.008
.007
.006
.005
.004
.003
.002
.001
δ


AUTH, Dept. of Met&Clim
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Fcst: 24.00 h
Valid: 1200 UTC Sat 10 Nov 07 (1400 LST Sat 10 Nov 07)
QV at 2 M
<U10,V10> Vectors
Sea-level pressure
kg kg-1
.013
.012
.011
.01
.009
.008
.007
.006
.005
.004
.003
.002
.001
ε



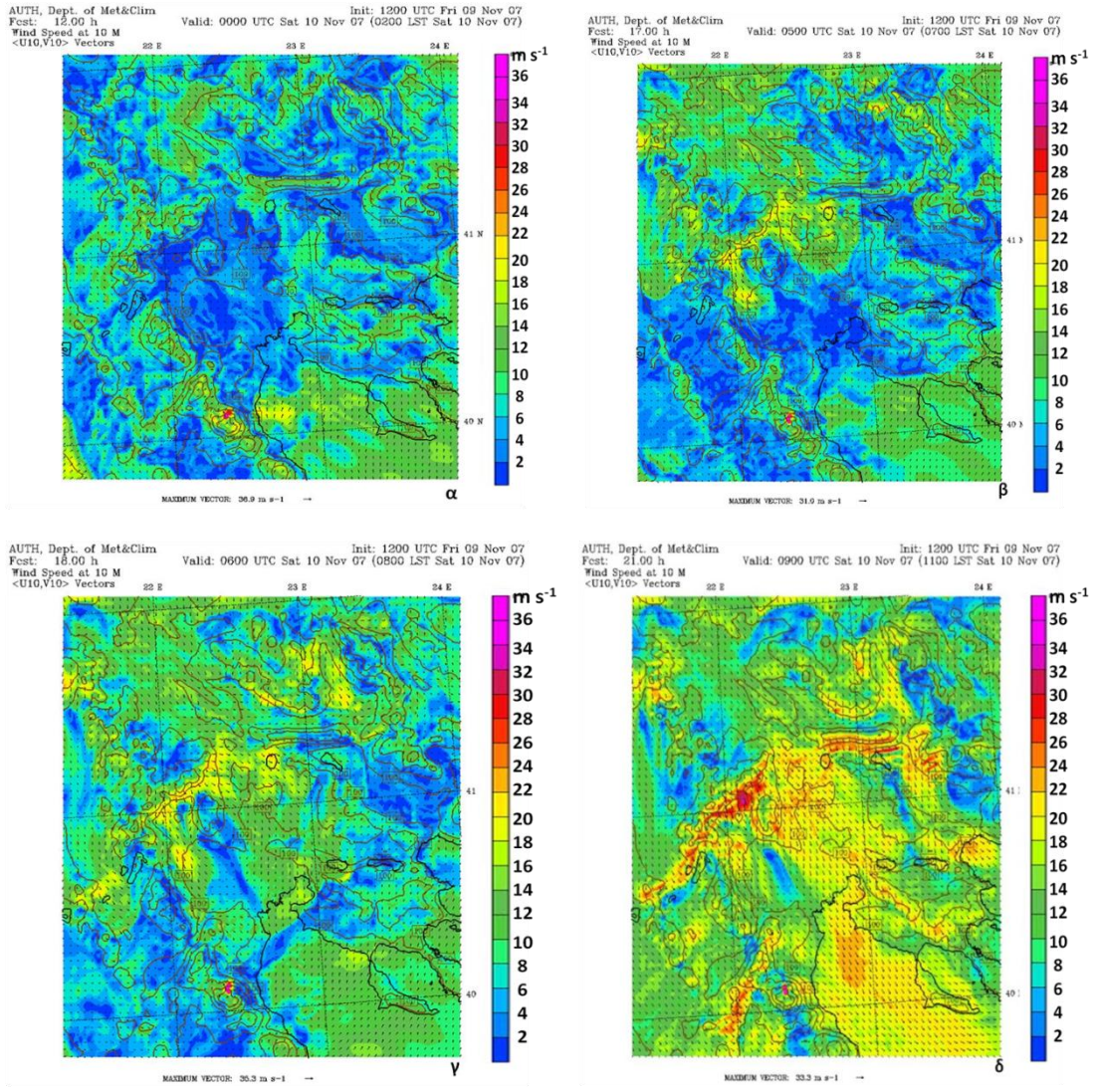
Σχήμα 4.14: απεικόνιση από το πλέγμα D2 του WRF της ειδικής υγρασίας στα 2μ (kg/kg) στην περιοχή της Ελλάδας και της νοτίου Βαλκανικής, της ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) και της διεύθυνσης του ανέμου στα 10 μέτρα από τις 00 UTC στις 10/11/07 (σχήμα 4.14α) μέχρι τις 00UTC στις 11/11/07 (σχήμα 4.14θ) ανά 3 προγνωστικές ώρες.

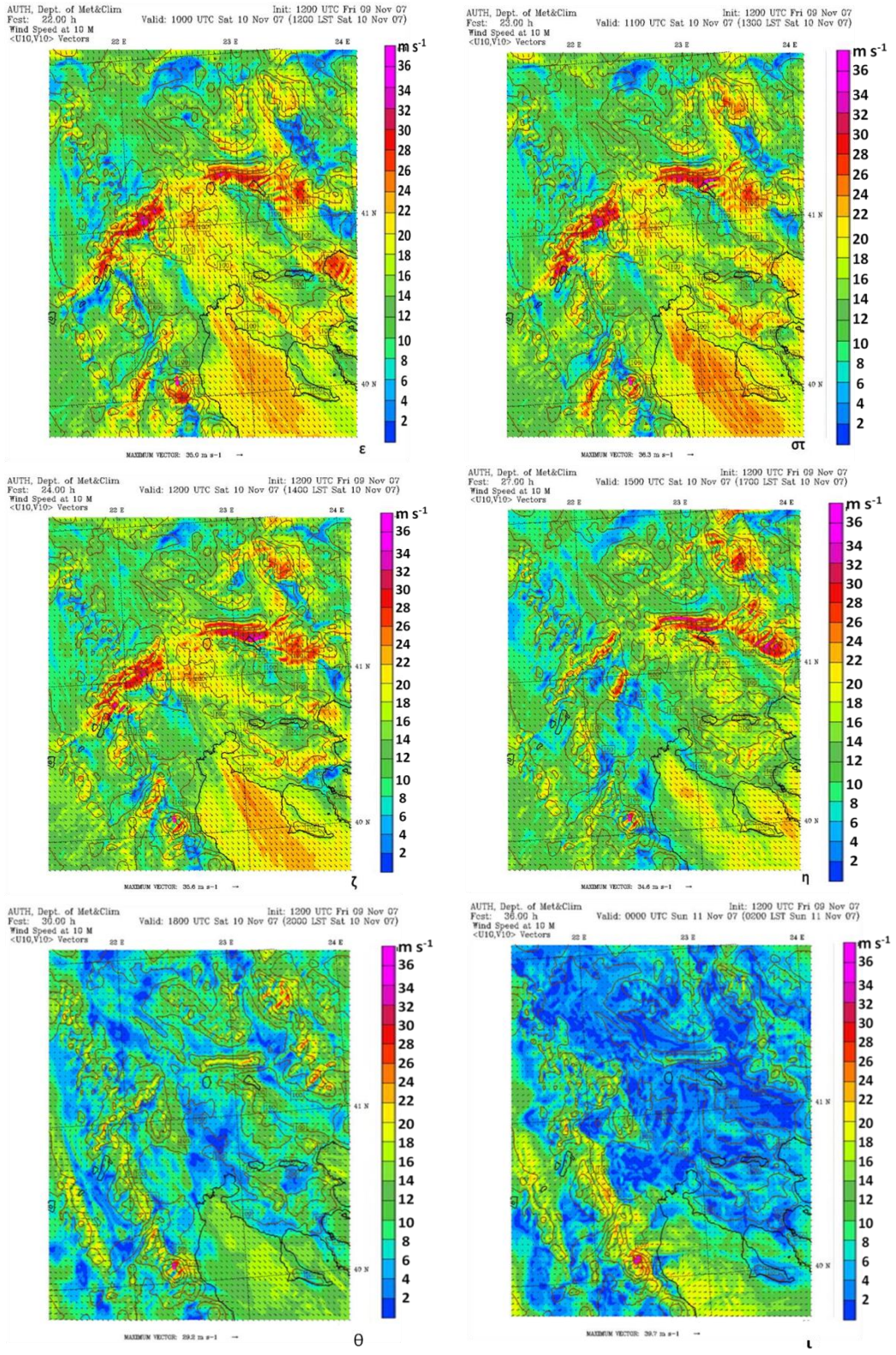
Όπως παρατηρείται στις εικόνες του σχήματος 4.14 με την στροφή του ανέμου σε βορειοδυτικούς σημειώνεται και πτώση στις τιμές της ειδικής υγρασίας, ιδιαίτερα μάλιστα πάνω από την Κεντρική Μακεδονία. Πιο αναλυτικά, στις 00 UTC στις 10/11/07, το βαρομετρικό χαμηλό στην Αδριατική προκαλεί τη μεταφορά υγρών αερίων μαζών από τα νοτιοδυτικά στην επιφάνεια, οι οποίοι έχουν σαν αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση των τιμών της ειδικής υγρασίας. Οι μεγαλύτερες τιμές όπως είναι αναμενόμενο έλαβαν χώρα πάνω από θαλάσσιες περιοχές, ξεπερνώντας ακόμα και τα 10 gr/kgr, ενώ και στην περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας ξεπερνούν τα 0.07 kg kg^{-1} και στα παράκτια τμήματα και τα 8 gr/kgr (σχήμα 4.14α). Τις επόμενες όμως ώρες, καθώς το μέτωπο περνά πάνω από την περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας, η στροφή των ανέμων από νοτιοδυτικούς σε βορειοδυτικούς έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών της ειδικής υγρασίας αρχής γενομένης από τα βορειοδυτικά (σχήματα 4.14β-4.14θ). Ειδικότερα και ενώ στις 03 UTC (σχήμα 4.14β) , η ειδική υγρασία άγγιζε τα 7 gr/kgr , μόλις 3 ώρες μετά κατά μέσο όρο κυμαίνονταν στα 4 gr/kgr στην ευρύτερη περιοχή της κοιλάδας του Αξιού (σχήμα 4.14γ) με μικρή περαιτέρω πτώση τις επόμενες ώρες (σχήμα 4.14δ). Όπως είναι λογικό η πτώση στις τιμές της ειδικής υγρασίας είναι μικρότερη αν και εμφανής πάνω από τα θαλάσσια τμήματα. Τις επόμενες ώρες (σχήματα 4.14ε-4.14θ), ξηρός αέρας με τιμές 3-4 gr/kgr καλύπτει όλη τη Μακεδονία.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

4.5 ΧΑΡΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ -ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ D3

Στους χάρτες του σχήματος 4.15 που ακολουθεί παρουσιάζεται με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια η χωρική και χρονική ανάλυση του επιφανειακού ανέμου στα 10 μέτρα, όπως προσομοιώθηκε από το εσωτερικό πλέγμα του μοντέλου WRF. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να τονιστεί ότι είναι η πρώτη φορά που μελετάται ένα επεισόδιο Βαρδάρη με τόση λεπτομέρεια, συγκεκριμένα με ανάλυση 1 km για την ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας.





Σχήμα 4.15: απεικόνιση από το πλέγμα D3 του WRF του επιφανειακού ανέμου στα 10 μέτρα στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας. Η ταχύτητα μετράται σε m/s, η ένταση της διακρίνεται από τις διάφορες χρωματικές διαβαθμίσεις με βάση τη χρωματική κλίμακα στα δεξιά της κάθε εικόνας και τα βέλη δείχνουν την διεύθυνση του ανέμου από τις 00 UTC στις 10/11/07 (σχήμα 4.15α) μέχρι τις 00UTC στις 11/11/07 (σχήμα 4.15ι). Οι ισοπληθείς (m) δείχνουν την τοπογραφία της περιοχής D3 του WRF

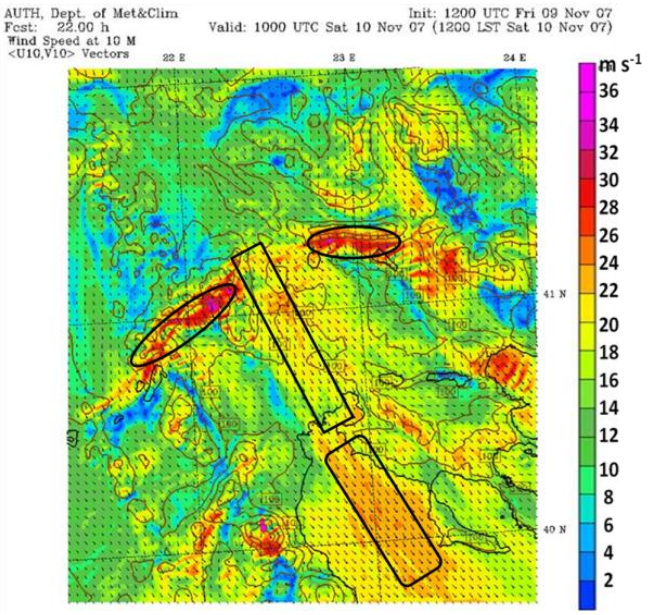
Οι χάρτες του σχήματος 4.15 δίνουν πληθώρα πληροφοριών σχετικά με τη χωρική κατανομή της έντασης του ανέμου, τη χρονική εξέλιξη του φαινομένου αλλά και τη συσχέτιση της κατά τόπους έντασης των ανέμων με τα διάφορα τοπογραφικά χαρακτηριστικά.

Στις 00 UTC της 10ης Νοεμβρίου, παρατηρούνται γενικά ασθενείς άνεμοι νοτίων διευθύνσεων, πιο ενισχυμένοι πάνω από τον Θερμαϊκό Κόλπο και την περιοχή του Ολύμπου (σχήμα 4.15α). Στις 05 UTC φαίνεται να αρχίζει το επεισόδιο Βαρδάρη από τα βορειοδυτικά, κάτι που φαίνεται με την στροφή των ανέμων σε βορειοδυτικούς στην Π.Γ.Δ.Μ. και στα Σύνορα Π.Γ.Δ.Μ.-Ελλάδας και τη σημαντική ενίσχυσή τους (σχήμα 4.15β). Μία ώρα αργότερα, ο Βαρδάρης έχει επηρεάσει πλέον το σύνολο της Κοιλάδας Του Αξιού μέχρι και την πόλη της Θεσσαλονίκης, ενώ στον Θερμαϊκό Κόλπο οι άνεμοι παραμένουν από νότιες διευθύνσεις (σχήμα 4.15γ). Στις 09 UTC, στην προσομοίωση– που συμπίπτει χρονικά με την ώρα μέγιστης έντασης των φαινομένων- οι άνεμοι έχουν στραφεί πλέον σε βορειοδυτικούς στο σύνολο των περιοχών του πλέγματος D3 και ξεπερνούν τα 22 m/s σε περιοχές της Κοιλάδας του Αξιού και τα 32 m/s σε υπήνεμες περιοχές των όρων Βόρρας και Πάϊκου στα σύνορα Ελλάδας-Π.Γ.Δ.Μ.(σχήμα 4.15δ). Επίσης, η τιμή της μέγιστης έντασης (22-24 m/s) στο WRF στην ακτογραμμή της Θεσσαλονίκης (περιοχή αεροδρομίου), ήταν σε συμφωνία με την παρατηρούμενη μέγιστη ένταση του μέσου ανέμου (48 κόμβοι), αλλά με μία δίωρη-τρίωρη χρονική μετατόπιση. Το επόμενο δίωρο, δηλαδή μεταξύ 11-12 UTC (σχήματα 4.15ε-4.15η) το έντονο επεισόδιο Βαρδάρη συνεχίζεται με παράλληλη ενίσχυση της έντασης των ανέμων πάνω από τον Θερμαϊκό Κόλπο, ενώ στη συνέχεια (σχήματα 4.15ι-4.15κ) παρατηρείται αξιοσημείωτη εξασθένιση του ανέμου και η περιοχή της Κοιλάδας του Αξιού επανέρχεται σε κατάσταση πλήρους άπνοιας από κατάσταση θύελλας που επικρατούσε πριν λίγες ώρες.

Όπως διακρίνεται από το σχήμα 4.16 που ακολουθεί, απεικονίζονται η τοπογραφία της περιοχής D3 του WRF και οι περιοχές που επηρεάστηκαν περισσότερο από το εν λόγω επεισόδιο Βαρδάρη (και σημειώνονται με πλαίσια στο σχήμα 4.16), οι οποίες ήταν:

- Οι υπήνεμες περιοχές των ορεινών όγκων Βόρρας, Πάϊκου και Κερκίνης
- Η Κοιλάδα του Αξιού
- Ο Θερμαϊκός Κόλπος

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 4.16: απεικόνιση από το πλέγμα D3 του WRF του επιφανειακού ανέμου στα 10 μέτρα στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας. Η ταχύτητα μετράται σε m/s, η ένταση της διακρίνεται από τις διάφορες χρωματικές διαβαθμίσεις με βάση τη χρωματική κλίμακα στα δεξιά της κάθε εικόνας και τα βέλη δείχνουν την διεύθυνση του ανέμου στις 10/11/07 10UTC. Με τ μαύρα πλαίσια σημειώνονται οι περιοχές που επηρεάστηκαν περισσότερο από τον Βαρδάρη. Οι ισοπληθείς (m) δείχνουν την τοπογραφία της περιοχής D3 του WRF

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να αναλυθούν οι λόγοι, για τους οποίους οι άνεμοι ενισχύθηκαν σημαντικά στις παραπάνω περιοχές.

Όσο πιο τραχεία είναι μία επιφάνεια, τόσο πιο μεγάλη αναμένεται να είναι η μείωση της ταχύτητας της ροής. Οι ταχύτητες ανέμου γενικά αυξάνονται όταν οι άνεμοι περνούν από μία τραχιά επιφάνεια (για παράδειγμα μια ορεινή περιοχή έντονου αναγλύφου) σε μια πιο επίπεδη περιοχή (π.χ. μια πεδινή ή παραθαλάσσια περιοχή). Επομένως, αυτός είναι και ένας από τους λόγους που παρατηρούνται μεγάλες τιμές ταχύτητας στην Κοιλάδα του Αξιού και στον Θερμαϊκό Κόλπο.

Όταν η τοπογραφία αποτελείται από ένα σύνολο κορυφών που προσανατολίζονται κάθετα στη ροή, τότε μπορεί να συμβεί μια υπέρθεση των κυμάτων, τα οποία δημιουργούνται από τα ορεινά εμπόδια (Scorer, 1967). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια ενισχυτική συμβολή των κυμάτων, η οποία ονομάζεται συντονισμός (Whiteman, 2000). Κάτι τέτοιο μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι συμβαίνει και στην περιοχή των

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ορέων Βόρρας, Πάϊκου και Κερκίνης, τα οποία είναι προσανατολισμένα κάθετα στη βορειοδυτική ροή που προκαλείται ως αποτέλεσμα της εκδήλωσης του Βαρδάρη.

Οι ισχυροί άνεμοι που σημειώνονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από την πολυπλοκότητα του ορεινού αναγλύφου, όπως ειπώθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: α) τους ανέμους που πνέουν στις υπήνεμες περιοχές ενός ορεινού εμποδίου με διεύθυνση από την κορυφή προς τους πρόποδες και β) τους ανέμους που πνέουν στις εξόδους ενός τοπογραφικού καναλιού και προέρχονται από το εσωτερικό αυτού (Koletsis, 2010). Έτσι, η πρώτη περίπτωση μπορεί να ειπωθεί ότι αφορά τις υπήνεμες ορεινές περιοχές, όπου και παρατηρήθηκαν οι θυελλώδεις άνεμοι και η δεύτερη περίπτωση περιοχές της Κοιλάδας του Αξιού.

Ειδικότερα για την κοιλάδα του Αξιού, φαίνεται οι άνεμοι καναλισμού (gap winds) να είναι η βασική αιτία που εντοπίζονται πολύ υψηλές ταχύτητας ιδιαίτερα μάλιστα στις περιοχές εξόδου του καναλιού. Παλιότερα οι άνεμοι καναλισμού ερμηνεύονταν βασιζόμενοι στη θεωρία του «φαινομένου της χοάνης», γνωστό και ως φαινόμενο Ventouri, στο οποίο η ροή του ρευστού αυξάνεται καθώς διέρχεται από ένα κανάλι, με τη μεγαλύτερη ένταση της ροής να σημειώνεται στο στενότερο σημείο του καναλιού (Reed, 1931). Σύγχρονες μελέτες ωστόσο, καταδεικνύουν ότι ισχύει το αντίθετο, δηλαδή μεγαλύτερες εντάσεις παρατηρούνται στα σημεία εξόδου της ροής (Sharp and Mass, 2002). Ειδικότερα, έχει παρατηρηθεί ότι μια βαροβαθμίδα μπορεί να ενισχυθεί και από την παρουσία μιας θερμοβαθμίδας μεταξύ εισόδου και εξόδου ενός καναλιού, οδηγώντας σε αύξηση ταχύτητας της εξερχόμενης ροής (Sharp and Mass, 2004). Οι ισορροπίες του πεδίου ορμής μέσα στο κανάλι και στην περιοχή εξόδου του εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις διαστάσεις του μήκους και του πλάτους του καναλιού (Overland, 1984). Οι Colle and Mass (2000) επεσήμαναν ότι τα κανάλια με μικρό πλάτος (όπως της Κοιλάδας του Αξιού), προωθούν την ταχεία μεταβολή στις περιβάλλουσες συνθήκες στην περιοχή εξόδου του καναλιού

Σχετικά με τις πολύ μεγάλες τιμές ταχύτητας που παρατηρήθηκαν στον Θερμαϊκό Κόλπο, ο βασικός λόγος φαίνεται να είναι η έλλειψη τριβών εξαιτίας της επιφάνειας της θάλασσας. Τέλος οι πολύ μεγάλες τιμές ταχύτητας που παρατηρήθηκαν στην περιοχή του αεροδρομίου φαίνεται να οφείλονται στη συνδυασμένη δράση δύο παραγόντων. Αφενός, στο ότι το αεροδρόμιο βρίσκεται στο σημείο εξόδου της ροής

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

της Κοιλάδας του Αξιού (Sharp and Mass, 2002) και αφετέρου είναι μία παραθαλάσσια περιοχή με τη θάλασσα στα βορειοδυτικά, από όπου και πνέει ο Βαρδάρης, επομένως ο άνεμος ενισχύεται περαιτέρω λόγω της έλλειψης τριβών.

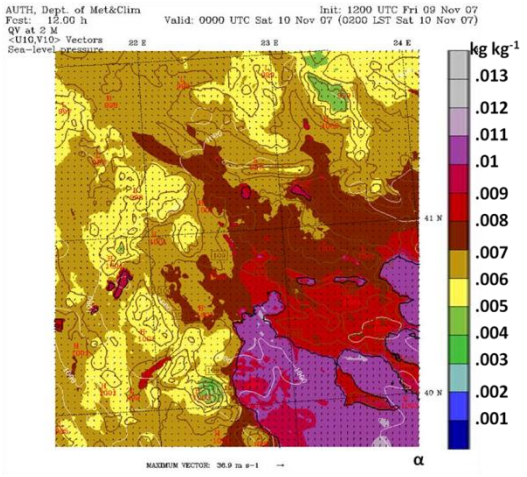
4.6 ΧΑΡΤΕΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ -ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ D3

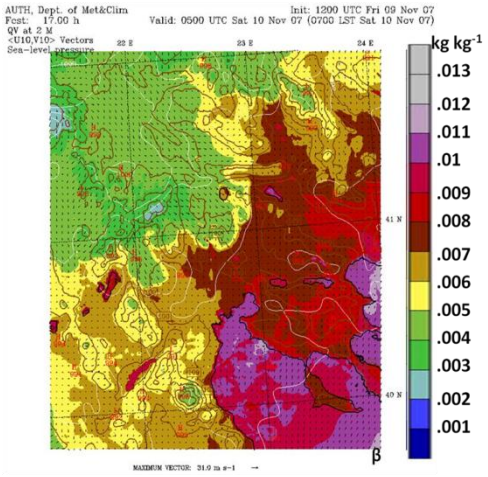
Με βάση τους χάρτες του σχήματος 4.17 μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη μεταβολή της ειδικής υγρασίας στην περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας με την πάροδο του χρόνου. Στις 00 UTC στις 10/11/07 και καθώς χαμηλές πιέσεις επικρατούν στην περιοχή της Πρώην Γιουγκοσλαβικής Δημοκρατίας της Μακεδονίας, καταγράφονται πολύ υψηλές τιμές ειδικής υγρασίας που στα θαλάσσια τμήματα ξεπερνούν τα 10 gr/kgr, ενώ και στην κοιλάδα του Αξιού κυμαίνεται μεταξύ 6-9 gr/kgr (σχήμα 4.17α). Στις 05 UTC και καθώς το βαρομετρικό χαμηλό κινείται νοτιοανατολικότερα παρατηρείται μία αξιοσημείωτη, απότομη πτώση στις τιμές της ειδικής υγρασίας στην Π.Γ.Δ.Μ. και στα πολύ βορειοδυτικά τμήματα της Κεντρικής Μακεδονίας με μια παράλληλη στροφή των ανέμων σε ξηρούς βορειοδυτικούς (σχήμα 4.17β), η οποία πτώση τις αμέσως επόμενες ώρες εξαπλώνεται και στις κατάντη περιοχές (σχήματα 4.17γ-4.17κ). Κατά μέσο όρο η ειδική υγρασία πέφτει από τα 7 gr/kgr σε 3 gr/kgr σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ πάνω από τις υδάτινες επιφάνειες καταγράφονται αρκετά υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα χερσαία τμήματα, που όμως και σε αυτές τις περιοχές είναι πλέον σαφώς μικρότερες μετά την έλευση του Βαρδάρη.

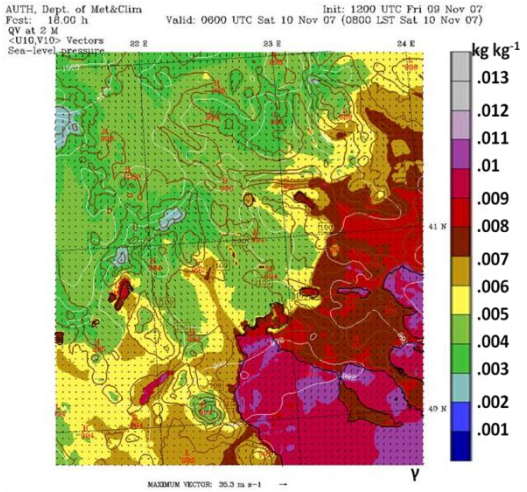
Με βάση την προσομοίωση του μοντέλου και με τη χρήση της πολύ υψηλής ανάλυσης του 1χιλιομέτρου έγινε εφικτή η λεπτομερής μελέτη των χαρακτηριστικών του Βαρδάρη στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας. Για κάτι τέτοιο όπως είναι λογικό δε θα αρκούσε η εικόνα των αναλύσεων του UKMO και του ECMWF. Επίσης, για να αποσαφηνιστούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της μορφολογίας της περιοχής, δεν θα ήταν επαρκής ούτε η ανάλυση των 15χλμ, με την οποία προσομοιώθηκε η περιοχή του πλέγματος D2 (σχήμα 4.1) από το περιοχικό μοντέλο WRF. Αντίθετα, κάτι τέτοιο έγινε πραγματικότητα με το πλέγμα D3 και με ανάλυση 1 χλμ. Επιβεβαιώθηκε ο «ξηρός» χαρακτήρας του Βαρδάρη (πτώση των τιμών της ειδικής υγρασίας κατά 0.004 σε μία ώρα (σχήματα 4.17α και 4.17β) και τονίστηκαν οι περιοχές στις οποίες ο άνεμος είναι πιο ισχυρός. Επομένως, με βάση το περιοχικό μοντέλο WRF επιβεβαιώθηκε εμπράκτως ο ρόλος που παίζει η τοπογραφία

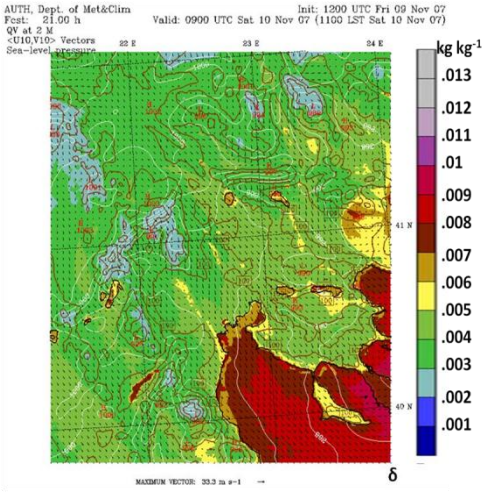
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

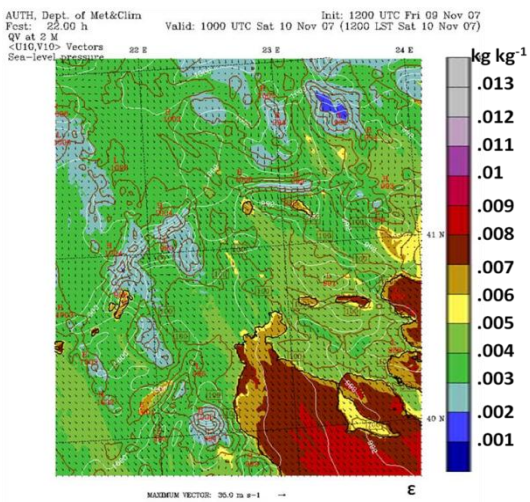
της ευρύτερης περιοχής της Κοιλάδας του Αξιού στο τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή στην εκδήλωση του Βαρδάρη.

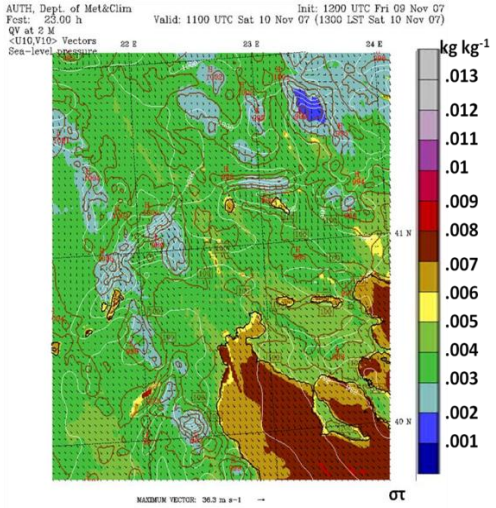


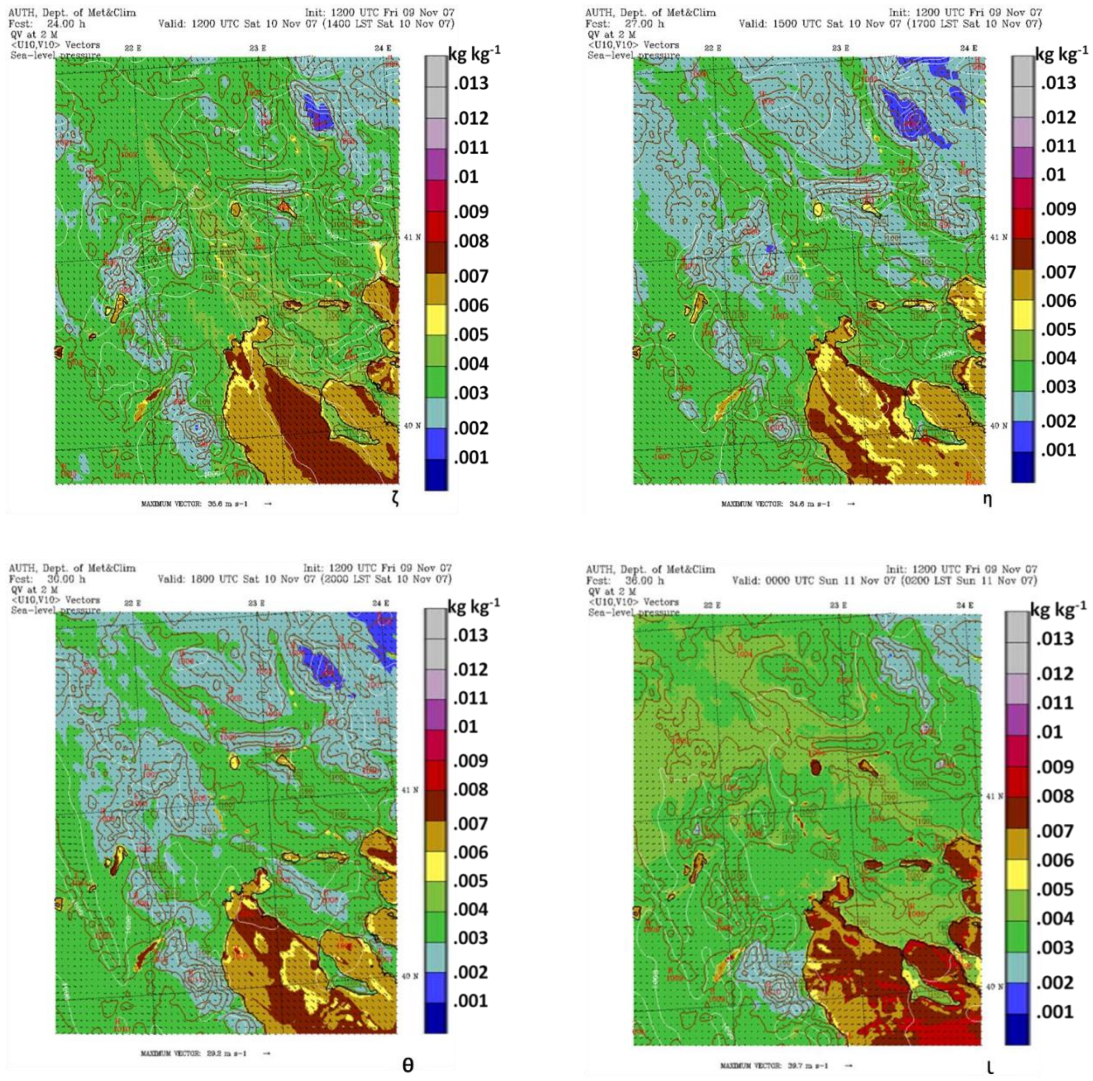






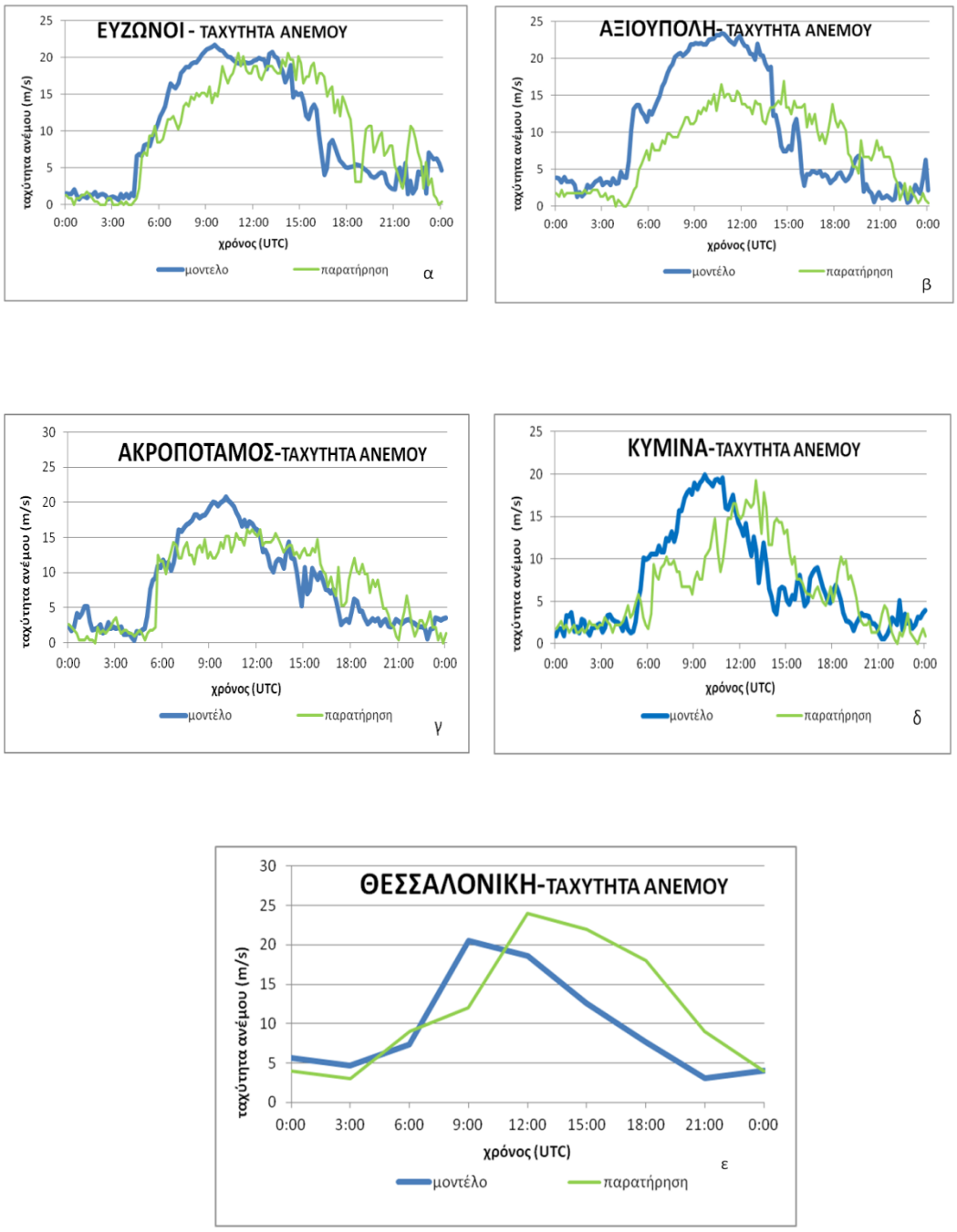






Σχήμα 4.17: απεικόνιση από το πλέγμα D3 του WRF της ειδικής υγρασίας (kg/kg) στα 2 μέτρα στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας, της ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας (hPa) και της διεύθυνσης του μέσου ανέμου στα 10 μέτρα από τις 00 UTC στις 10/11/07 (σχήμα 4.17α) μέχρι τις 00UTC στις 11/11/07 (σχήμα 4.17ι). Οι ισοπληθείς (m) δείχνουν την τοπογραφία της περιοχής D3 του WRF

4.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ



Σχήμα 4.18: Διαγράμματα που απεικονίζουν τη μέση ταχύτητα του ανέμου (σε m/sec) όπως καταγράφηκε στους σταθμούς α) των Ευζώνων, β) της Αξιούπολης, γ) του Ακροποτάμου, δ) των Κυμίνων και ε) της Θεσ/νίκης (πράσινη γραμμή) και όπως προβλέφθηκε από το μοντέλο WRF (μπλέ γραμμή) από τις 10/11/07 στις 00 UTC μέχρι τις 11/11/07 στις 00 UTC

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Το μοντέλο (σχήμα 4.18) προσομοίωσε πολύ καλά, τόσο την εμφάνιση, όσο και την έναρξη του φαινομένου. Ειδικότερα, στο σύνολο σχεδόν των σταθμών παρατηρείται μία περίπου ταυτόχρονη έναρξη του έντονου επεισοδίου Βαρδάρη με βάση τις παρατηρήσεις των σταθμών επιφανείας και της προσομοίωσης του αριθμητικού μοντέλου (σχήμα 4.18). Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός της Αξιούπολης, όπου το μοντέλο προέβλεψε την εκδήλωση του ανέμου περίπου μία ώρα νωρίτερα σε σχέση με τη πραγματικότητα (σχήμα 4.18β). Σε αυτό το σημείο, κρίνεται σημαντικό να τονιστεί ότι οι παρατηρήσεις ελήφθησαν με βήμα 10λέπτου , ενώ στο μοντέλο για την πλεγματική περιοχή D3 με βήμα 5 δευτερολέπτων. Άρα υπάρχει διαφοροποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών των μετρήσεων σε σχέση με το μοντέλο.

Το αριθμητικό μοντέλο, υπερεκτίμησε τη μέγιστη ένταση του άνεμου και στους 4 σταθμούς κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού. Συγκεκριμένα, η υπερεκτίμηση ήταν μικρή στους σταθμούς των Κυμίνων (σχήμα 4.18δ) και των Ευζώνων (σχήμα 4.18α), δηλαδή στα άκρα της κοιλάδας του Αξιού, κατά 1 m/s και 2 m/s αντίστοιχα. Μεγαλύτερη ήταν η υπερεκτίμηση στο σταθμό του Ακροποτάμου (5 m/s-σχήμα 4.18β) και ακόμα περισσότερο στην περιοχή της Αξιούπολης (κατά 7 m/s-σχήμα 4.18γ). Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτοί οι 2 σταθμοί βρίσκονται γεωγραφικά στο μέσο περίπου της Κοιλάδας. Αντίθετα το WRF υποεκτίμησε ελαφρώς την ένταση του ανέμου στην περιοχή του αεροδρομίου της Θεσσαλονίκης, κατά 3 m/s (σχήμα 4.18ε).

Τέλος, το μοντέλο υποεκτίμησε την διάρκεια του φαινομένου κατά τρείς περίπου ώρες. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.18, τόσο στους 4 σταθμούς κατά μήκος της Κοιλάδας του Αξιού, όσο και στον σταθμό της Θεσσαλονίκης παρατηρείται μία υποεκτίμηση της διάρκειας του έντονου επεισοδίου Βαρδάρη της τάξης περίπου των τριών ωρών. Πιο συγκεκριμένα, και στους 4 σταθμούς του Αξιού, στις 18 UTC ο άνεμος ξεπερνούσε τα 10 m/s, ενώ την ίδια ώρα σύμφωνα με την προσομοίωση του μοντέλου, δε θα έπρεπε να ξεπερνά τα 5 m/s. Πιο εμφανής είναι η παραπάνω διαφοροποίηση, στο σταθμό της Θεσσαλονίκης, όπου ο άνεμος την ίδια ώρα υποεκτιμήθηκε κατά περίπου 10 m/s (σχήμα 4.18ε).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

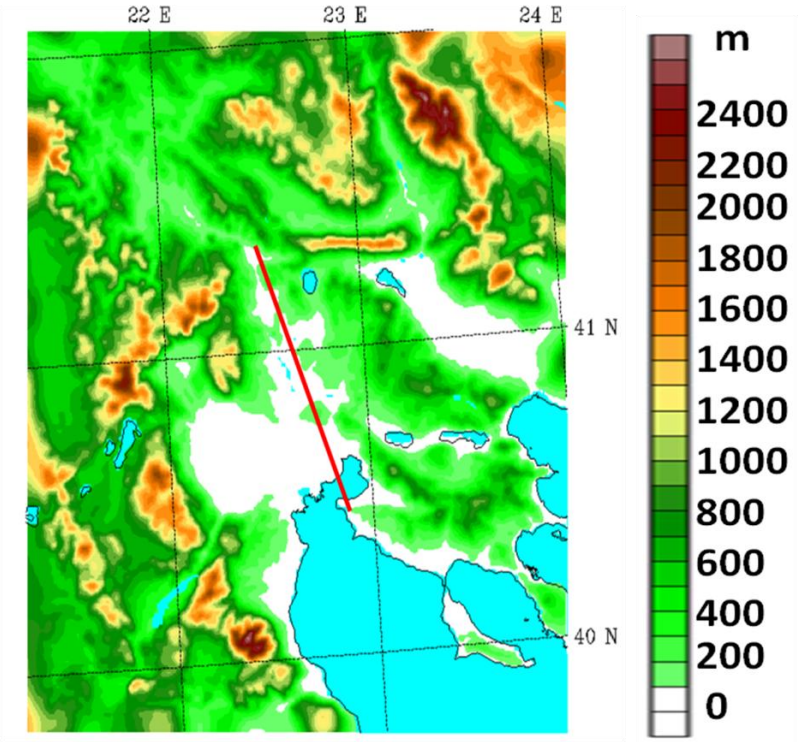
4.8 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ D3

Στα σχήματα που θα ακολουθήσουν καταγράφεται η μεταβολή διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων σε επιλεγμένες περιοχές ενδιαφέροντος εντός της πλεγματικής περιοχής D3 με ανάλυση 1km. Για τη δημιουργία των παρακάτω σχημάτων χρησιμοποιήθηκε το RIP, ένα πρόγραμμα της FORTRAN.Το RIP, από τα αρχικά Read/Interpolate/Plot (Διαβάζω/Παρεμβάλλω/Πλοτάρω) όπως ειπώθηκε και προηγουμένως είναι ένα πρόγραμμα FORTRAN που χρησιμοποιεί τα γραφικά πακέτα του NCAR και είναι κατάλληλο για τη δημιουργία εικόνων κυρίως από αποτελέσματα μοντέλων μέσης κλίμακας (WRF-users page).

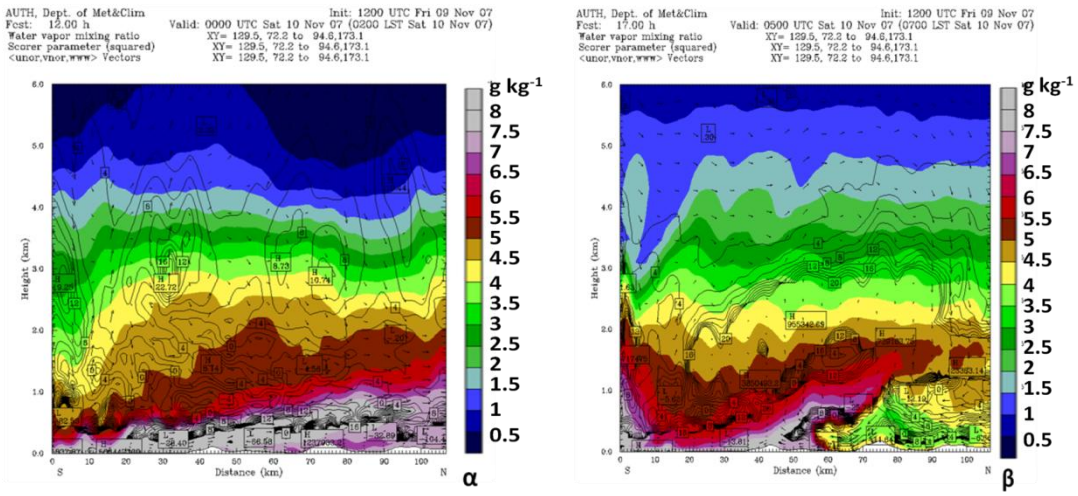
Στο σχήμα 4.19 φαίνεται με την κόκκινη γραμμή η ακριβής περιοχή στην οποία αναφέρονται οι κάθετες τομές στην πλεγματική περιοχή D3. Με τον τρόπο αυτό φαίνεται με ακρίβεια ο ρόλος που παίζει η τοπογραφία, όπως οι διάφορες εδαφικές εξάρσεις (οροσειρές ή μεμονωμένοι ορεινοί όγκοι) ή η θάλασσα στην κατανομή των διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων. Για το λόγο αυτό επιλέχτηκαν τρείς τομές που θα αναδείξουν τον ιδιαίτερο ρόλο που έπαιξε η τοπογραφία στην ένταση του επεισοδίου της 10ης Νοεμβρίου στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας και της όμορης Π.Γ.Δ.Μ..

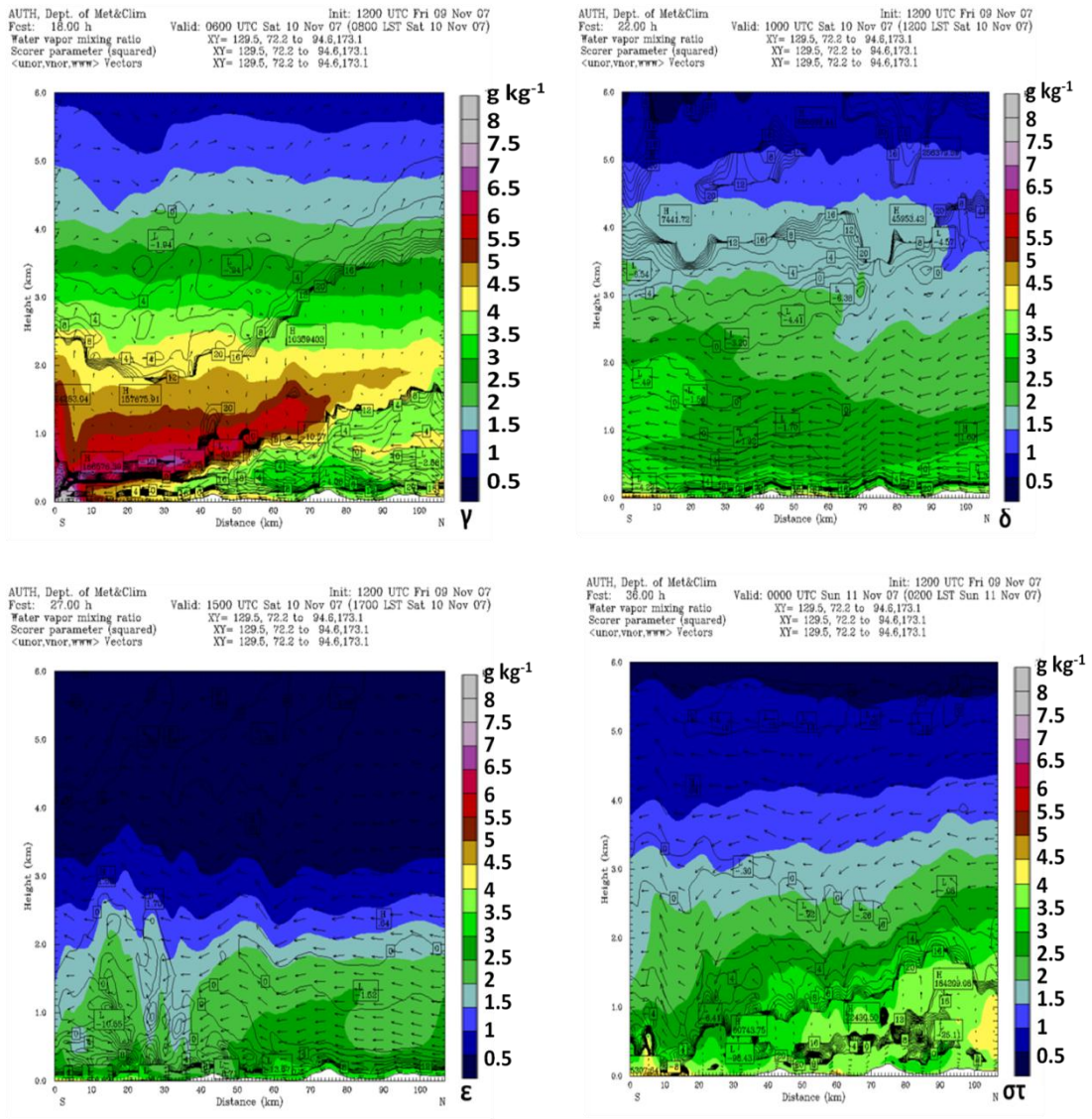
Ειδικότερα, στο σχήμα 4.19, απεικονίζεται η τοπογραφική άποψη του εσωτερικού πλέγματος D3. Στο σχήμα αυτό επιλέχτηκε μία τομή με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, πάνω στην κοιλάδα του Αξιού, από τα σύνορα Ελλάδος- Π.Γ.Δ.Μ. στα βορειοδυτικά, μέχρι το αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης στο νοτιοανατολικό άκρο. Κατά μήκος αυτής της τομής καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας (σχήματα 4.20 και 4.21).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 4.19: τοπογραφική άποψη του εσωτερικού πλέγματος D3 με τη βοήθεια του λογισμικού RIP. Στην δεξιά κλίμακα με τις διάφορες διαβαθμίσεις αντικατοπτρίζεται το υψόμετρο, ενώ με την κόκκινη γραμμή επισημαίνεται η περιοχή στην οποία έγινε η τομή για παραγωγή των χαρτών των σχημάτων 4.20 και 4.21



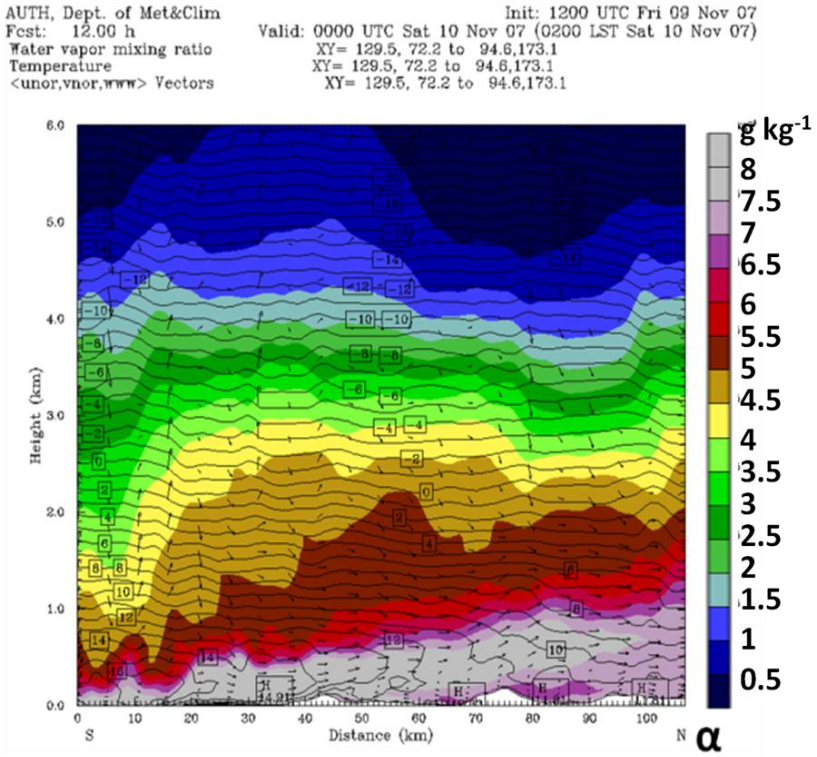


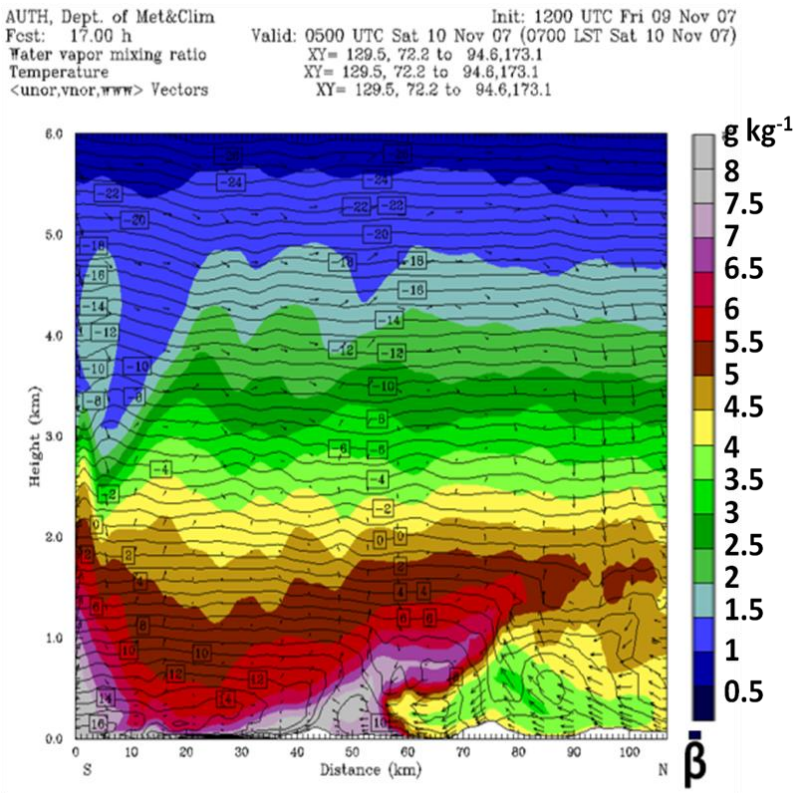
Σχήμα 4.20: κατακόρυφες διατομές με προσανατολισμό από νοτιοανατολικά προς βορειοδυτικά (σχήμα 4.19) σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου στο πλέγμα D3, της αναλογίας μίγματος υδρατμών (με τη χρωματική διαβάθμιση) με βήμα 0.5 gr/kgr και της διεύθυνσης του ανέμου (με τα βέλη) για τις α) 00UTC 10/11/07, β) 05UTC 10/11/07, γ) 06UTC 10/11/07, δ) 10UTC 10/11/07, ε) 15UTC 10/11/07 και τέλος για τις στ) 00UTC 11/11/07. Με τις ισοπληθείς παρουσιάζεται η παράμετρος Scorer για τους παραπάνω χρόνους.

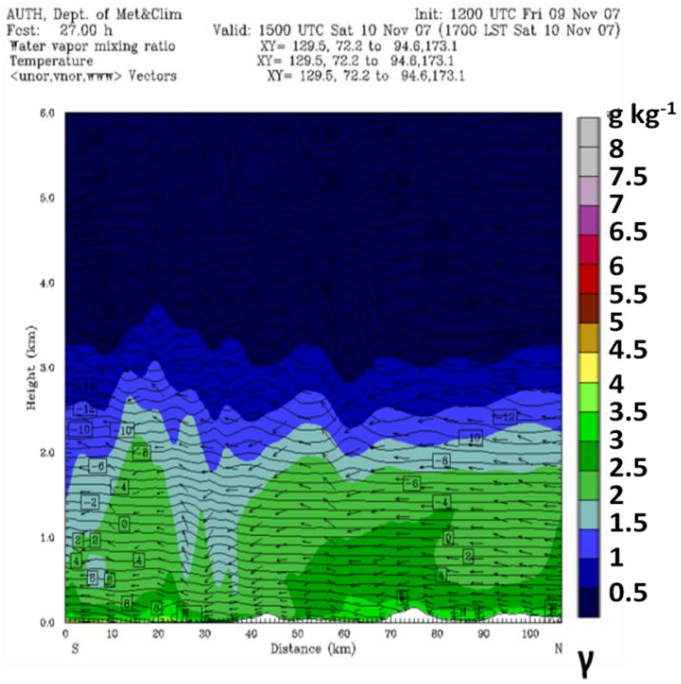
Όπως διακρίνεται στο σχήμα 4.20α στις 00 UTC στις 10/11/07, δηλαδή πριν την έναρξη του φαινομένου, στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας επικρατούν υψηλές τιμές αναλογίας μίγματος, που στο πρώτο χιλιόμετρο από την επιφάνεια του εδάφους ξεπερνούν και τα 7 gr/kgr. Ένα ακόμη στοιχείο που υποδηλώνει την έλευση του βαρομετρικού χαμηλού είναι και η διεύθυνση των ανέμων που τη δεδομένη χρονική στιγμή στην επιφάνεια είναι νοτίων διευθύνσεων.

Σχετικά με τον άνεμο, η ολική ταχύτητα του ανέμου αναλύεται σε τρείς συνιστώσες, τη ζωνική ταχύτητα (u(x)), τη μεσημβρινή ταχύτητα (v(y)) και την κατακόρυφη ταχύτητα (w(z)) (Καρακώστας, 2012). Πέντε ώρες μετά (σχήμα 4.20β), η κατάσταση διαφοροποιείται αισθητά. Σε απόσταση μεγαλύτερη των 60 km περίπου από την περιοχή της Μίκρας Θεσσαλονίκης (νότιο άκρο τομής) παρατηρείται μία σημαντική εισροή μιας μάζας ηπειρωτικής προέλευσης από τα βόρεια με χαρακτηριστική τόσο την πτώση στην υγρασία αλλά και την παράλληλη στροφή των ανέμων από νοτιάδες σε βοριάδες στην επιφάνεια. Μέσα σε διάστημα μόλις μία ώρας (σχήμα 4.20γ) αυτή η μάζα με τη μορφή ενός «επιφανειακού χειμάρρου» φτάνει στα παράλια του Θερμαϊκού Κόλπου, ενώ είναι χαρακτηριστικό το γεγονός πως σε ύψος 1km οι άνεμοι δεν έχουν στραφεί σε βόρειους και οι τιμές αναλογίας μίγματος ξεπερνούν τα 6 gr/kgr, την ώρα που στην επιφάνεια κυμαίνονται από 3-4.5 gr/kgr. Τις επόμενες ώρες (σχήματα 4.20δ-4.20στ) παρατηρείται επέκταση του φαινομένου σε όλες τις περιοχές στην επιφάνεια αλλά και καθ ύψος με εμφανείς τις χαμηλές τιμές αναλογίας μίγματος υδρατμών (2.5-3 gr/kgr στην επιφάνεια από 7 gr/kgr) και την αντιστροφή των ανέμων από νότιους σε βόρειους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η χρονική και χωρική μεταβολή της παραμέτρου Scorer. Η παράμετρος αυτή αποτελεί μία ένδειξη της στρωματοποίησης της ατμόσφαιρας. Ειδικότερα, στα σχήματα 4.20β και 4.20γ παρατηρούνται αρνητικές τιμές κοντά στην επιφάνεια και θετικές τιμές πιο ψηλά στην ατμόσφαιρα (~2 χλμ), με μια μορφή ενός επιμήκους στρώματος παράλληλα τοποθετημένο στον «χείμαρρο» ξηρού αέρα κοντά στην επιφάνεια. Στο σχήμα 4.20 δ, παρατηρούνται θετικές τιμές πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και αρνητικές πιο ψηλά. Αυτή η διαφοροποίηση, είναι πολύ σημαντική, καθώς όταν η τιμή της παραμέτρου Scorer είναι μικρότερη στην ανώτερη ατμόσφαιρα, από ότι στα χαμηλότερα επίπεδα, οδηγεί στη δημιουργία καλά οργανωμένων ορεογραφικών κυμάτων, σύμφωνα με τη γραμμική θεωρία (Broad, 2002, Sheridan et al.,2007, Holton et al.,2013).

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.


AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 12.00 h
Water vapor mixing ratio
Temperature
<unor,vnor,wwww> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0000 UTC Sat 10 Nov 07 (0200 LST Sat 10 Nov 07)
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
Height (km)
Distance (km)
S
N
g kg-1
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
α


AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 17.00 h
Water vapor mixing ratio
Temperature
<unor,vnor,wwww> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0500 UTC Sat 10 Nov 07 (0700 LST Sat 10 Nov 07)
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
Height (km)
Distance (km)
S
N
g kg-1
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
β



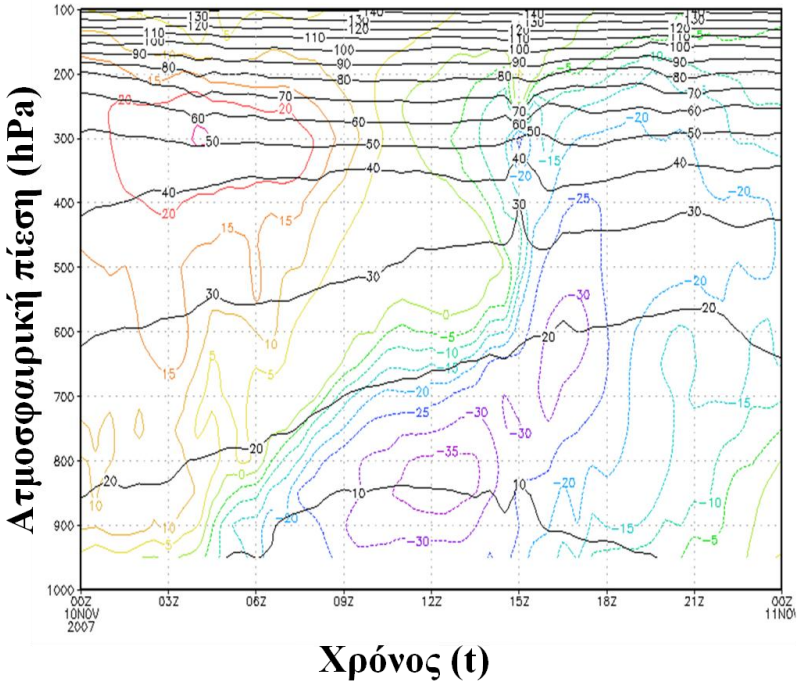
Σχήμα 4.21: κατακόρυφες διατομές με προσανατολισμό από νοτιοανατολικά προς βορειοδυτικά σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου στο πλέγμα D3 της αναλογίας μίγματος υδρατμών (με τη χρωματική διαβάθμιση) με βήμα 0.5 gr/kgr, της θερμοκρασίας με βήμα 1 ^{o}C και της διεύθυνσης του ανέμου (με τα βέλη) για τις α) 00UTC 10/11/07, β) 05UTC 10/11/07 και γ) 15UTC 10/11/07

Με τη στροφή των ανέμων σε βόρειων διευθύνσεων παρατηρείται και μία παράλληλη εντυπωσιακή πτώση της θερμοκρασίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.21.Όπως διακρίνεται στο σχήμα 4.21α στις 00 UTC στις 10/11/07 στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας επικρατούν σχετικά υψηλές θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 11 ^{o}C στα βορειότερα τμήματα (περιοχή των Ευζώνων-Γευγελής) και φτάνουν ακόμα και τους 17 ^{o}C στα νοτιότερα τμήματα (περιοχή Μίκρας). Όμως με την έναρξη του επεισοδίου Βαρδάρη που σηματοδοτείται από την αντιστροφή στη διεύθυνση των ανέμων (από νότιους σε βόρειους) σημειώνεται μια εντυπωσιακή πτώση της θερμοκρασίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.21β. Ειδικότερα, στις 05UTC 10/11/07 και ενώ στα νοτιότερα τμήματα η θερμοκρασία παραμένει αρκετά υψηλή (16 ^{o}C), στο βορειότερο άκρο της τομής, δηλαδή στα σύνορα Ελλάδας - Π.Γ.Δ.Μ και σε απόσταση σχεδόν 100 km η θερμοκρασία είναι 5 ^{o}C, δηλαδή μέσα σε πέντε ώρες σημείωσε μία πτώση της τάξεως των 6 ^{o}C. Επομένως, η εικόνα που προηγουμένως παρομοιάστηκε με «χείμαρρος ξηρού αέρα» μπορεί τώρα να χαρακτηριστεί και ως

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

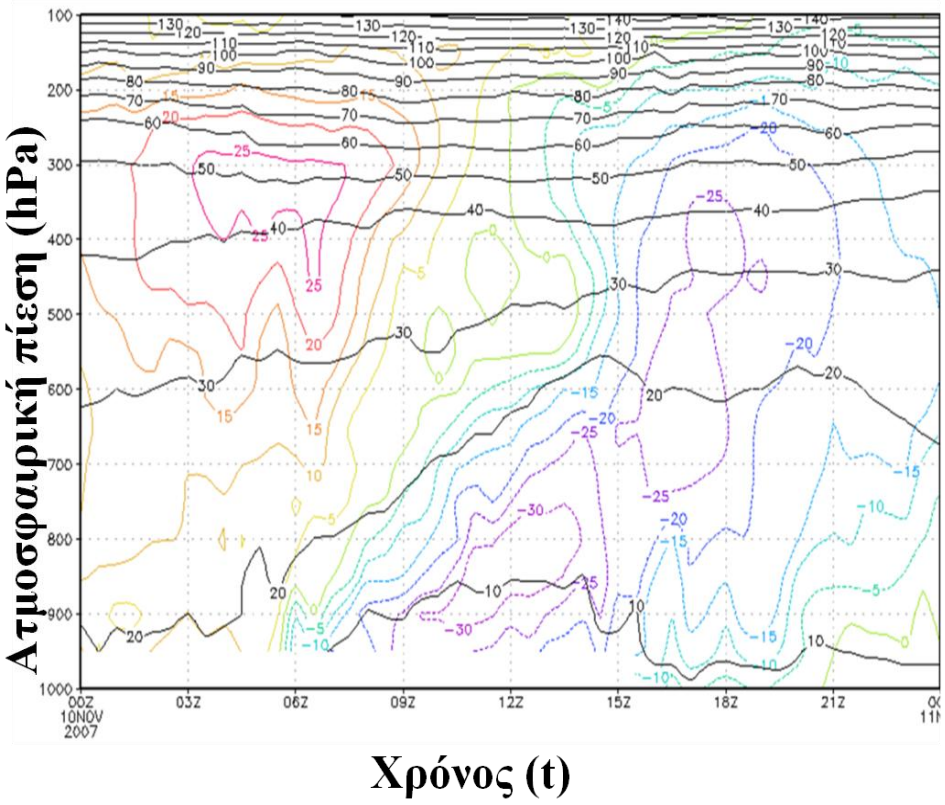
«χείμαρρος ψυχρού αέρα». Τέλος, στις 15UTC 10/11/07 (σχήμα 4.21γ) η θερμοκρασία σημειώνει σημαντική πτώση σε όλες τις περιοχές, τόσο στην επιφάνεια, όσο και καθ' ύψος και κυμαίνεται μεταξύ 6-9 ^{o}C στις διάφορες περιοχές. Χαρακτηριστικό του αποτελέσματος που έχει η εκδήλωση του Βαρδάρη είναι ότι η ελάχιστη θερμοκρασία στην Θεσσαλονίκη σημειώθηκε τις μεσημβρινές και όχι τις νυχτερινές-πρώτες πρωινές ώρες (σχήμα 3.5γ).

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί η κατανομή της δυναμικής θερμοκρασίας σε συνδυασμό με τη μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου (v-wind) στα δύο άκρα της τομής του σχήματος 4.19. Ειδικότερα σε αυτές τις περιοχές βρίσκονται στα νότια, η Μίκρα Θεσσαλονίκης (περιοχή αεροδρομίου) και στα βόρεια η περιοχή των Ευζώνων. Η μελέτη των συγκεκριμένων περιοχών κρίνεται αναγκαία διότι σε αυτές τις περιοχές σημειώθηκαν οι μέγιστες τιμές ταχύτητας που αντιστοιχούν σε 24m/s (με τις ριπές να αγγίζουν και τα 32 m/s) στο αεροδρόμιο Θεσσαλονίκης και τα 20.5 m/s (με τις ριπές να αγγίζουν και τα 28 m/s) στον σταθμό των Ευζώνων (σχήμα 3.6)



Σχήμα 4.22: διάγραμμα Hovmöller με βάση το πλέγμα D3 του μοντέλου WRF που προσομοιώνει τη χρονική εξέλιξη της κατακόρυφης δομής της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου (v-wind) (m/s) (ισοπληθείς με χρώματα) και της δυναμικής θερμοκρασίας (μαύρες ισοπληθείς) στο σταθμό των Ευζώνων (41.1°Β, 22.5°Α).

Η χρονική εξέλιξη της κατακόρυφης δομής του ανέμου και της δυναμικής θερμοκρασίας στο σταθμό των Ευζώνων δείχνει σαφώς ότι η έναρξη του επεισοδίου έλαβε χώρα λίγο μετά το πέρασμα του ψυχρού μετώπου, δηλαδή περίπου στις 05 UTC (σχήματα 3.7 και 4.18α). Οι ισχυρότεροι άνεμοι, άνω των 35 m/s, είχαν προβλεφθεί μεταξύ του ατμοσφαιρικού στρώματος 750-900 hPa, με τη μορφή ενός αεροχειμάρρου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.22.



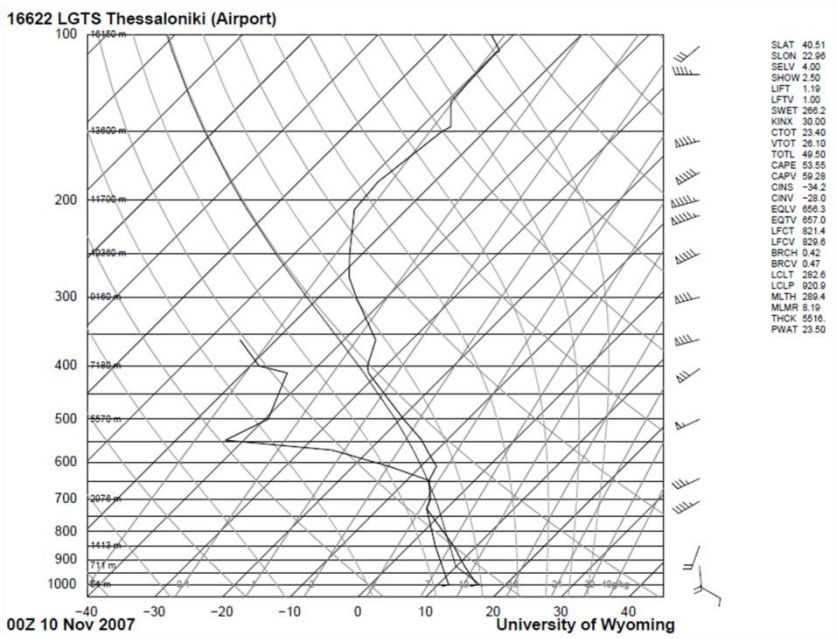
Σχήμα 4.23: διάγραμμα Hovmöller με βάση το πλέγμα D3 του μοντέλου WRF που προσομοιώνει τη χρονική εξέλιξη της κατακόρυφης δομής της μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου (v-wind) (m/s) (ισοπληθείς με χρώματα) και της δυναμικής θερμοκρασίας (μαύρες ισοπληθείς) στο σταθμό του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης (40.5°Β, 22.9°Α).

Ανάλογη είναι και η εικόνα πάνω από τη Μίκρα Θεσσαλονίκης (σχήμα 4.23), με μία χρονική μετατόπιση μίας ώρα καθώς το μέτωπο εδώ περνά στις 06UTC (σχήματα 3.7β και 4.18ε), δηλαδή μία ώρα αργότερα σε σχέση με την περιοχή των Ευζώνων, γεγονός αναμενόμενο εξαιτίας της πιο νοτιοανατολικής θέσης του αεροδρομίου. Όπως ήταν αναμενόμενο το επεισόδιο Βαρδάρη έλαβε χώρα από τα βορειοδυτικά

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

προς τα νοτιοανατολικά αρχής γενομένης από τα σύνορα Ελλάδος- Π.Γ.Δ.Μ. περίπου στις 05UTC.

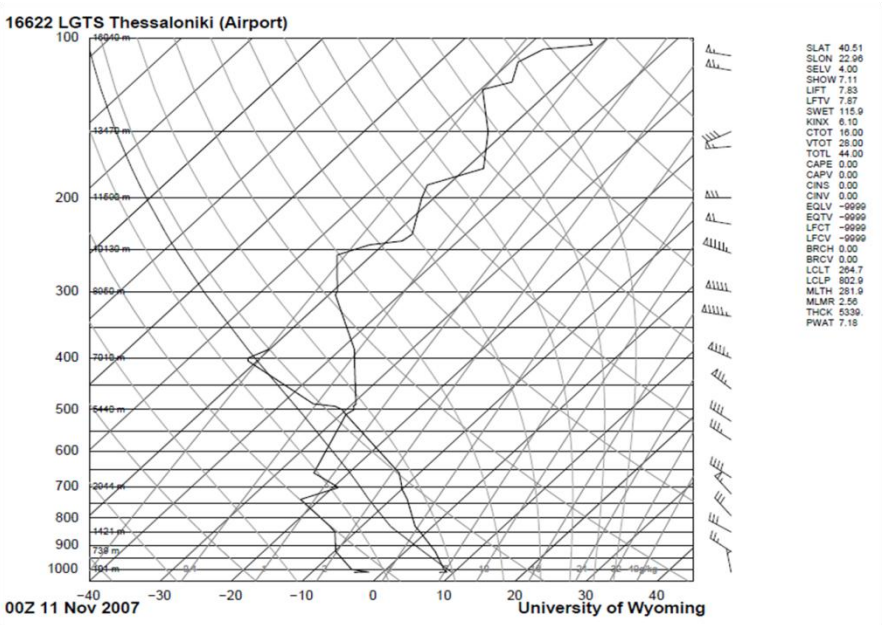
Στα σχήματα 4.24 και 4.25 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα διαθέσιμα τεφιγράμματα για την περιοχή του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης λίγες ώρες πριν, στις 00 UTC 10/11/07 (σχήμα 4.24) και λίγες ώρες μετά, στις 00 UTC 11/11/07 (σχήμα 4.25) την εκδήλωση του επεισοδίου Βαρδάρη.



Σχήμα 4.24: ραδιοβόλιση στο αεροδρόμιο Θεσσαλονίκης στις 00 UTC 10/11/07

Σχεδόν 6 ώρες πριν την εκδήλωση του έντονου επεισοδίου Βαρδάρη, δηλαδή πριν το πέρασμα του ψυχρού μετώπου (σχήμα 3.7α), υπάρχει αρκετή υγρασία στην ατμόσφαιρα (σχήμα 4.24). Οι άνεμοι στην επιφάνεια πνέουν από νοτιοανατολικές διευθύνσεις, ενώ καθ'ύψος παρατηρείται ένα νοτιοδυτικό ρεύμα ιδιαίτερα ενισχυμένο στο στρώμα 200-300 hPa. Πρόκειται ουσιαστικά για τον πολικό αεροχείμαρρο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.10α.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

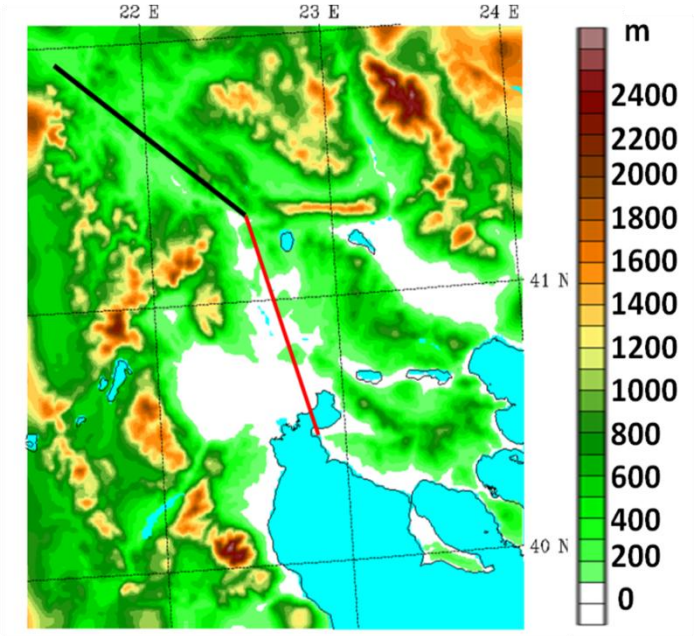


Σχήμα 4.25: ραδιοβόλιση στο αεροδρόμιο Θεσσαλονίκης στις 00 UTC 11/11/07

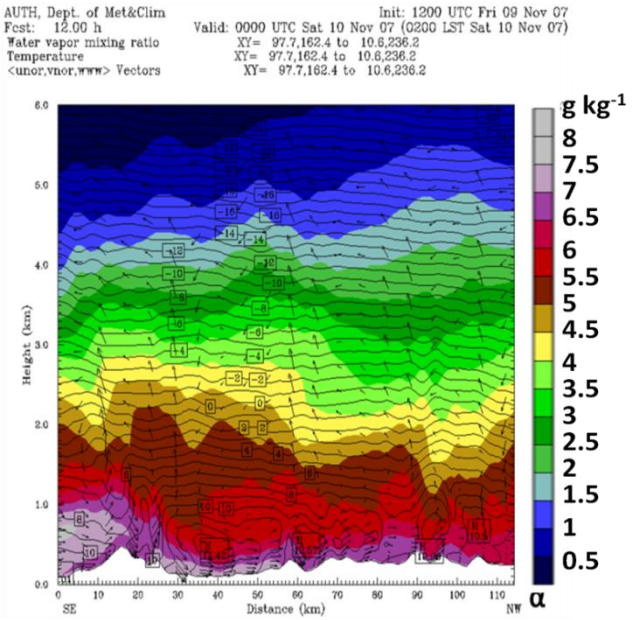
Στις 00 UTC 11/11/07, δηλαδή μετά την εκδήλωση του επεισοδίου Βαρδάρη (σχήμα 3.5α), η κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από τη Θεσσαλονίκη είναι διαφορετική. Οι άνεμοι στην επιφάνεια είναι βόρειοι-βορειοδυτικοί μέχρι και τα 200 hPa, όπου και στρέφονται σε δυτικούς-νοτιοδυτικούς. Οι μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται και σε αυτή τη περίπτωση γύρω στα 250 hPa, δηλαδή στο ύψος που συναντάται και ο πολικός αεροχείμαρρος. Η διαφορά είναι τώρα ότι πνέουν από βορειοδυτικές διευθύνσεις (σχήματα 4.25 και 3.7ε) και όχι νοτιοδυτικοί όπως πριν μία ημέρα (σχήμα 4.24 και 3.7α). Χαρακτηριστική είναι και η «ξηρότητα» της ατμόσφαιρας πάνω από τη Θεσσαλονίκη, μετά την εκδήλωση του Βαρδάρη (σχήμα 4.25). Το ατμοσφαιρικό μοντέλο WRF βρίσκεται σε συμφωνία με τα δεδομένα των ραδιοβολίσεων που παρουσιάζονται στα σχήματα 4.24 και 4.25.

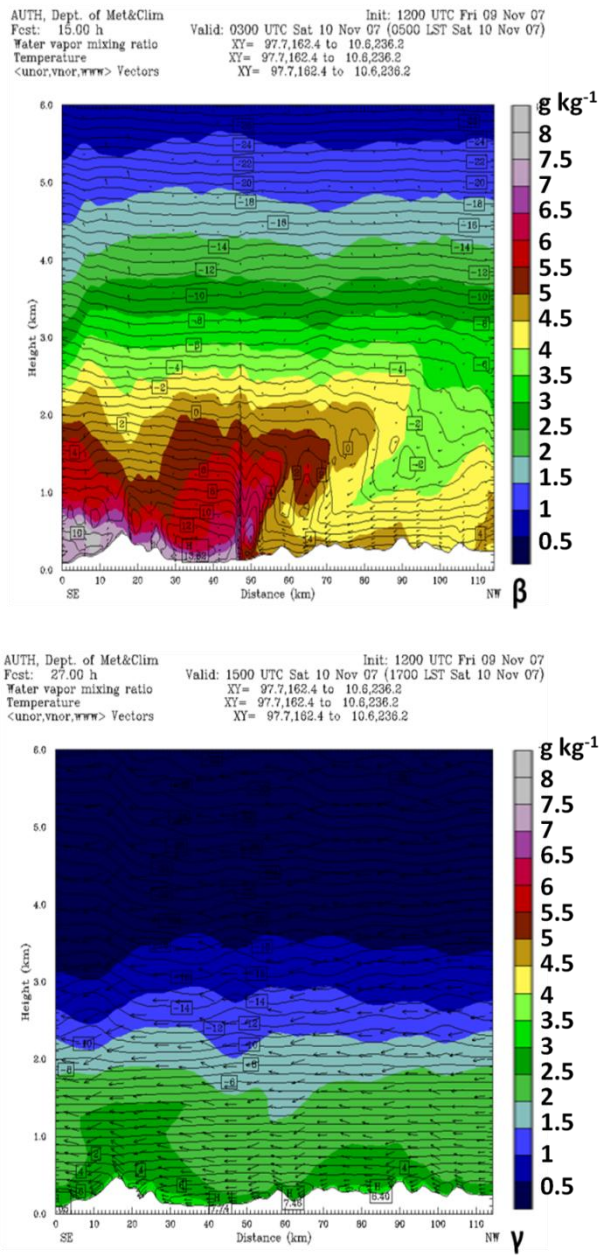
Στο σχήμα 4.26 που ακολουθεί φαίνεται μία ακόμη τομή εντός της Πρώην Γιουγκοσλαβικής Δημοκρατίας της Μακεδονίας. Η περιοχή αυτή επιλέχτηκε ως περιοχή δημιουργίας του φαινομένου, το οποίο μεγιστοποιείται κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 4.26: τοπογραφική άποψη του εσωτερικού πλέγματος D3 με τη βοήθεια του μοντέλου RIP. Στην δεξιά κλίμακα με τις διάφορες διαβαθμίσεις απεικονίζεται το υψόμετρο, ενώ με τη μαύρη γραμμή επισημαίνεται η περιοχή στην οποία έγινε η τομή για παραγωγή των τομών των σχημάτων που έπονται (με την κόκκινη γραμμή επισημαίνεται η περιοχή στην οποία έγινε η προηγούμενη τομή και η οποία αντιστοιχεί στην κοιλάδα του Αξιού)

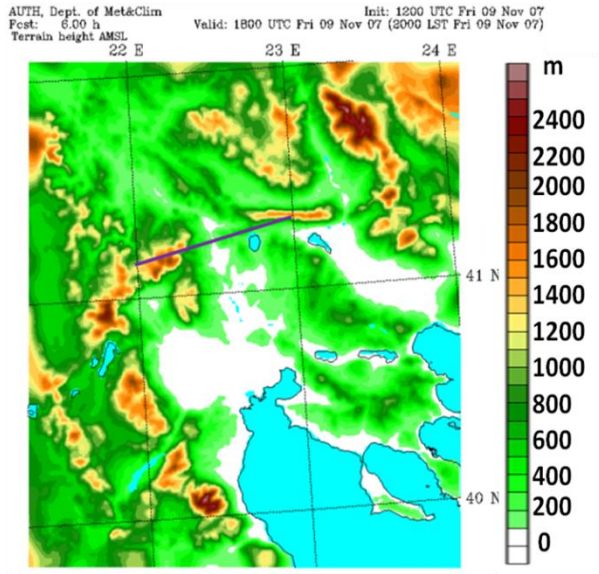




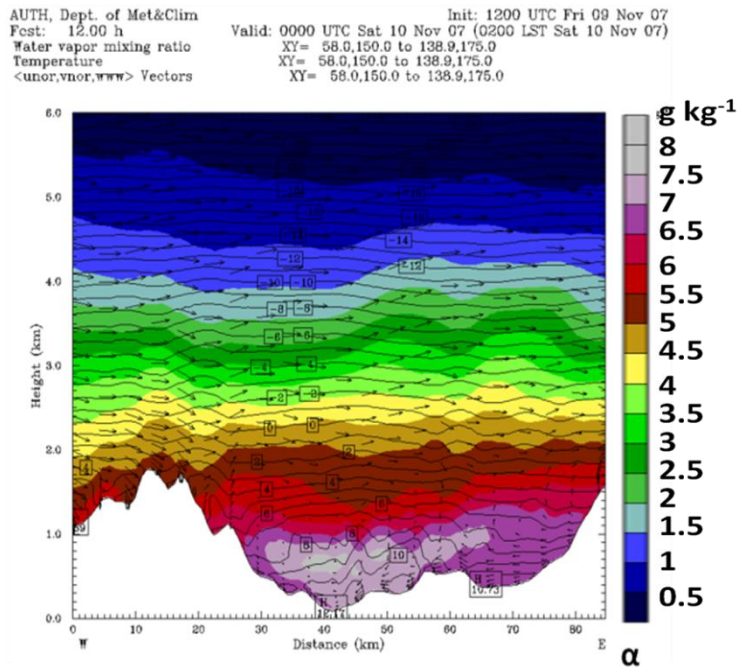
Σχήμα 4.27: κατακόρυφες διατομές με προσανατολισμό από νοτιοανατολικά προς βορειοδυτικά σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου στο πλέγμα D3 της αναλογίας μίγματος υδρατμών (με τη χρωματική διαβάθμιση) με βήμα 0.5 gr/kgr, της θερμοκρασίας με βήμα 1 ^{o}C και της διεύθυνσης του ανέμου (με τα βέλη) για τις α) 00UTC 10/11/07, β) 03UTC 10/11/07 και γ) 15UTC 10/11/07

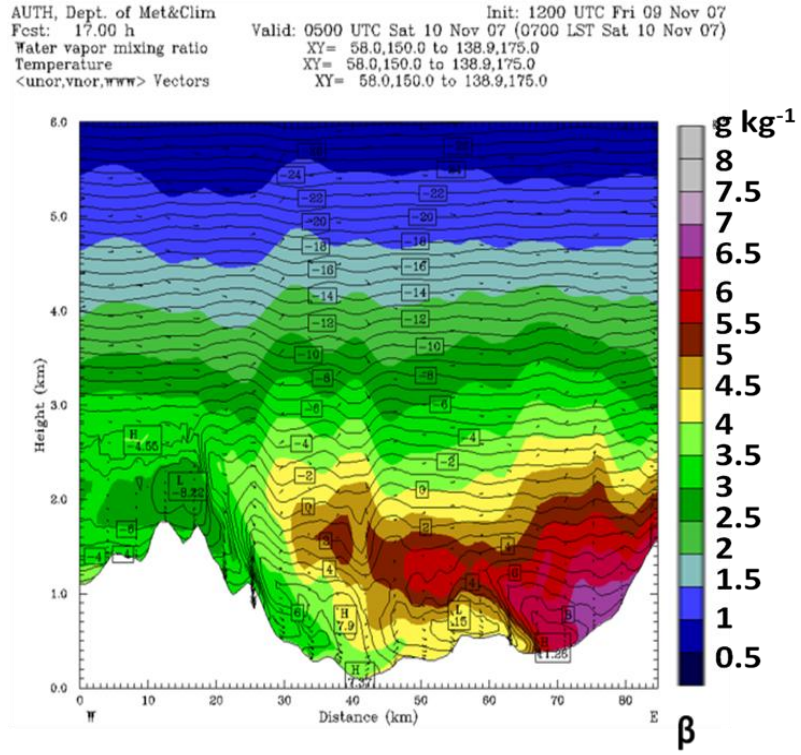
Στις εικόνες του σχήματος 4.27 παρουσιάζεται μια ανάλογη εικόνα με τις εικόνες του σχήματος 4.21, δηλαδή μια σημαντική πτώση της θερμοκρασίας και της υγρασίας με την στροφή των ανέμων σε βόρειους λόγω του περάσματος του μετώπου, που στην προκειμένη περίπτωση γίνεται δύο ώρες νωρίτερα, στις 03UTC, όπως διακρίνεται στο σχήμα 4.27β, περίπου 70 χλμ. Βορειοδυτικά των Ευζώνων.

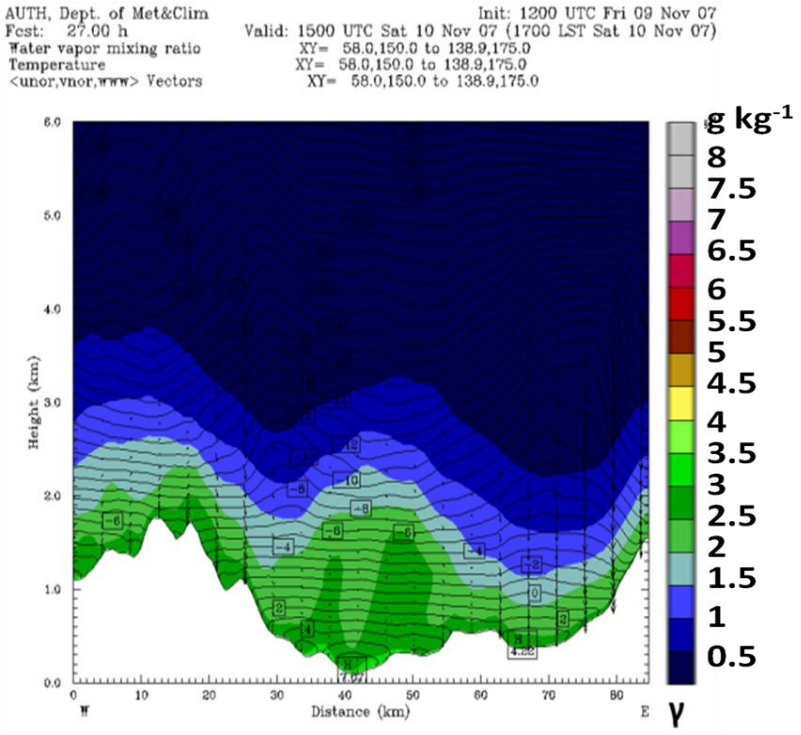
Τέλος, στην τομή του σχήματος 4.28 που ακολουθεί εξήχθησαν γραφικά για την τομή με το μωβ χρωματισμό σε μια διεύθυνση κάθετη στον γενικό προσανατολισμό της κοιλάδας του Αξιού, επομένως και στην διεύθυνση του Βαρδάρη.



Σχήμα 4.28: τοπογραφική άποψη του εσωτερικού πλέγματος D3 με τη βοήθεια του μοντέλου RIP. Στην δεξιά κλίμακα με τις διάφορες διαβαθμίσεις αντικατοπτρίζεται το υψόμετρο, ενώ με την μωβ γραμμή επισημαίνεται η περιοχή στην οποία έγινε η τομή για παραγωγή των χαρτών που έπονται







Σχήμα 4.29: κατακόρυφες διατομές με προσανατολισμό από δυτικά προς ανατολικά σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου στο πλέγμα D3 της αναλογίας μίγματος υδρατμών (με τη χρωματική διαβάθμιση) με βήμα 0.5 gr/kgr, της θερμοκρασίας με βήμα 1 ^{o}C και της διεύθυνσης του ανέμου (με τα βέλη) για τις α) 00UTC 10/11/07, β) 05UTC 10/11/07 και γ) 15UTC 10/11/07

Στις εικόνες του σχήματος 4.29 διακρίνονται στα δυτικά οι ανατολικές κορυφογραμμές του όρους Βόρρας και στα ανατολικά οι δυτικές κλιτείς του όρους Κερκίνη. Η συγκεκριμένη τομή έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς αυτά τα δύο όρη είναι κάθετα προσανατολισμένα στη ροή. Το γεγονός αυτό, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κυμάτων υπήνεμης πλευράς-lee waves (Whiteman, 2000). Επίσης μπορεί να συμβεί μια υπέρθεση των κυμάτων, η οποία δύναται να οδηγήσει σε μια ενισχυτική συμβολή των κυμάτων, γνωστή από τον Whiteman (Whiteman, 2000) ως συντονισμός. (Scorer, 1967 , Whiteman, 2000). Σε απόσταση 40 χιλιομέτρων από το δυτικό άκρο βρίσκεται η Κοιλάδα του Αξιού. Ο άνεμος Βαρδάρης δρα στην περιοχή ως καταβάτης άνεμος (σχήμα 4.29) από το όρος Βόρρας στα δυτικά στις 05UTC (σχήμα 4.29β) και με τη μορφή ενός χειμάρρου επηρεάζει σταδιακά όλες τις περιοχές με αισθητή πτώση στις τιμές της αναλογίας μίγματος και της θερμοκρασίας (σχήμα 4.29γ). Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η σύμπτυξη των ισοπληθών στην υπήνεμη πλευρά του ορεινού όγκου του Βόρρας κατά την έναρξη του επεισοδίου Βαρδάρη (σχήμα 4.29β). Συγκεκριμένα, σε απόσταση 25 χλμ από το δυτικό άκρο της τομής και πάνω από μία κορυφογραμμή παρατηρείται μια θερμοκρασιακή αναστροφή. Μία θερμοκρασιακή αναστροφή που βρίσκεται πάνω από την κορυφή ενός βουνού παρεμποδίζει την προς τα πάνω κατακόρυφη διάδοση της ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό, συνεισφέρει στην ενίσχυση της καταβατικής ροής. Παρόμοιες θερμοκρασιακές αναστροφές έχουν παρατηρηθεί και σε πλήθος εργασιών που ως θέμα τους είχαν επεισόδια θυελλωδών ανέμων (Aanensen, 1965 , Arakawa, 1969 and Mobbs et al., 2005). Όπως έχει αναφερθεί ήδη στο πρώτο κεφάλαιο, ο Βαρδάρης εμφανίζει αρκετά κοινά χαρακτηριστικά κατά τη πνοή του με τον άνεμο Bora. Το παραπάνω, έρχεται να πιστοποιήσει και μια εργασία των Klemp and Lilly (1987), στην οποία δίνεται αρκετή σημασία στην παρουσία μιας θερμοκρασιακής αναστροφής, η οποία οδήγησε σε μια ισχυρή ροή στην υπήνεμη πλευρά του ορεινού εμποδίου. Επίσης, στο σχήμα 4.29β φαίνεται να λαμβάνει χώρα το φαινόμενο της «βαροβαθμίδας υδραυλικού φαινομένου» (Diandong, 2004). Σύμφωνα με αυτό, το ορεινό εμπόδιο χωρίζει μια ψυχρότερη μάζα στην ανάντη πλευρά από μια θερμότερη στην κατάντη πλευρά. Στην ψυχρή μάζα, η πίεση στην επιφάνεια είναι υψηλότερη. Η μάζα του ψυχρού, πυκνού αέρα είναι ρηχή και έχει τη μορφή μιας «γλώσσας», πάνω από την οποία συναντάται η θερμότερη μάζα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τη δημιουργία μιας θερμοκρασιακής αναστροφής. Αυτή η αναστροφή συνήθως συναντάται κάτω από μια κορυφή βουνού

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

– όπως συμβαίνει και σε αυτή τη περίπτωση- με αποτέλεσμα ο ψυχρός αέρας να διοχετεύεται μέσω του καναλιού.

4.9 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η δομή της τρισδιάστατης ροής γύρω από την Κοιλάδα του Αξιού, κατά τη διάρκεια του έντονου επεισοδίου Βαρδάρη της 10ης Νοεμβρίου 2007. Στη διάρκεια του επεισοδίου αυτού, οι άνεμοι ξεπέρασαν κατά τόπους τα 20 m/s, σε περιοχές της κοιλάδας του Αξιού, όπως στους Ευζώνους (σχήμα 3.1α). Ιδιαίτερα ενισχυμένοι ήταν οι άνεμοι στην περιοχή του αεροδρομίου φτάνοντας τα 24 m/s (σχήμα 3.1ε), ενώ οι ριπές ξεπέρασαν και τα 31 m/s. Τέτοιας έντασης επεισόδιο Βαρδάρη δεν εμφανίζει μεγάλη συχνότητα εμφάνισης. Με βάση δεδομένα 32 ετών (1980-2011) από τα SYNOP του αεροδρομίου της Μίκρας, το εν λόγω επεισόδιο συγκαταλέγεται στο 0.27% των επεισοδίων με τους πιο ισχυρούς παρατηρούμενους βορειοδυτικούς ανέμους. Μάλιστα, το ποσοστό επί της ουσίας, είναι ακόμη μικρότερο αν αναλογιστεί κανείς ότι κάθε βορειοδυτικός άνεμος δεν είναι απαραίτητα και Βαρδάρης.

Από συνοπτικής πλευράς, υπήρξε ένας συνδυασμός ενός βαρομετρικού χαμηλού, που με το ψυχρό του μέτωπο επηρέασε τη Βόρεια Ελλάδα πριν κινηθεί ανατολικά με ένα εκτεταμένο σύστημα υψηλών πιέσεων στη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη. Αυτός ο συνδυασμός είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας ισχυρής βαροβαθμίδας στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας, η οποία με τη σειρά της δημιούργησε μια βορειοδυτική ροή παράλληλα στον άξονα της Κοιλάδας του Αξιού Ποταμού.

Με σκοπό τον προσδιορισμό του ρόλου της ιδιαίτερης τοπογραφίας της ευρύτερης περιοχής της Κεντρικής Μακεδονίας, εκτελέστηκαν αριθμητικές προσομοιώσεις με το αριθμητικό μοντέλο WRF-ARW. Το μη υδροστατικό μοντέλο WRF με την πολύ υψηλή ανάλυση του 1 χλμ για την ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας ανέδειξε τα μέσης-κλίμακας χαρακτηριστικά του επεισοδίου. Το μοντέλο προσομοίωσε, σε γενικές γραμμές, σε πολύ καλό βαθμό την εμφάνιση και την ένταση του φαινομένου Βαρδάρη. Ειδικότερα, αυτές προβλέφθηκαν κατά μήκος της κοιλάδας, στον Θερμαϊκό Κόλπο αλλά και σε υπήνεμες περιοχές εκατέρωθεν της Κοιλάδας του Αξιού. Μάλιστα για πρώτη φορά ένα πολύ υψηλής ανάλυσης μοντέλο σαν το WRF συνδυάστηκε με ένα δίκτυο σταθμών κατά μήκος της κοιλάδας.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΤΟΥ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ ΒΑΡΔΑΡΗ

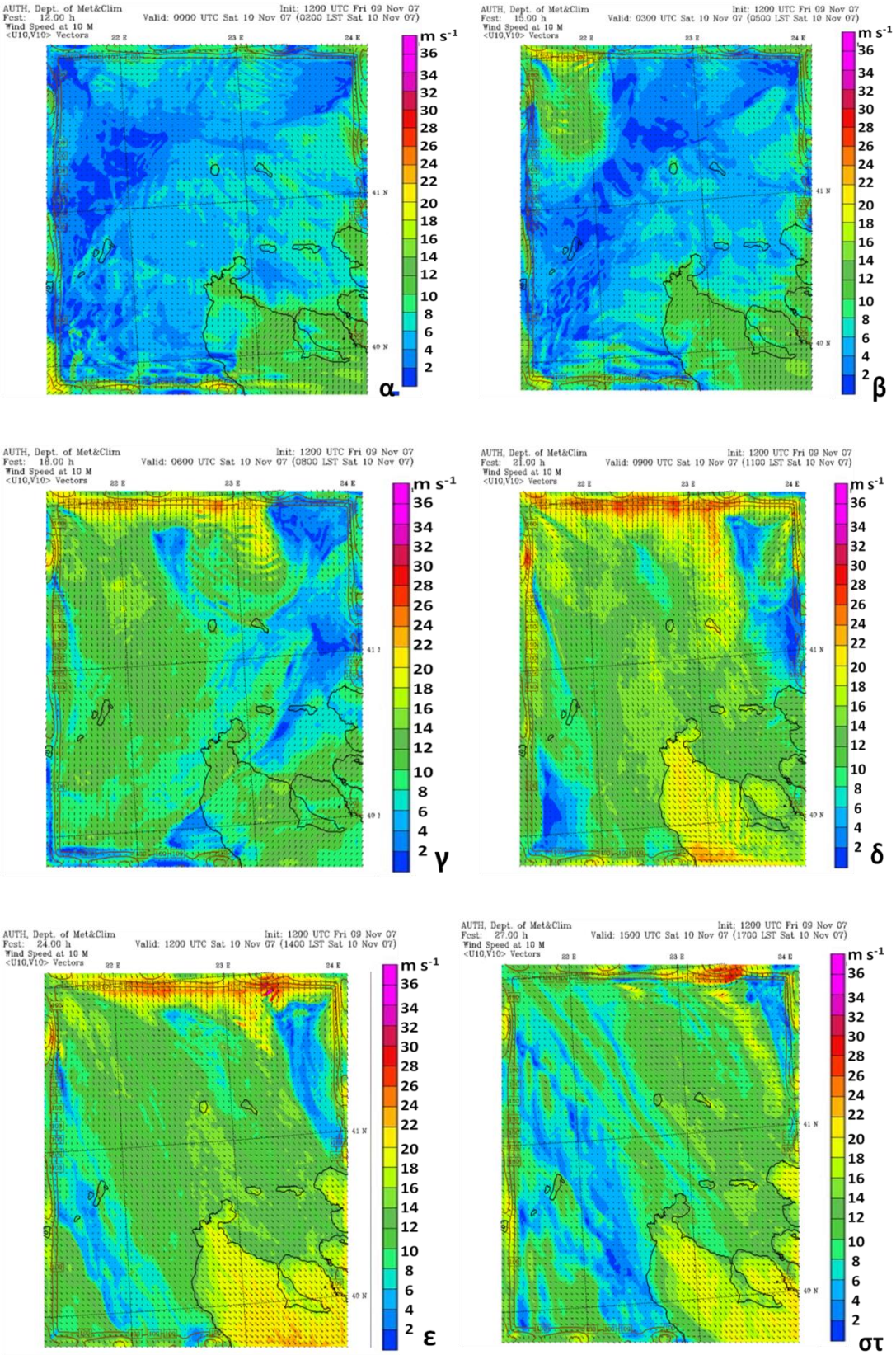
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία προσπάθεια να αποσαφηνιστεί η βασική αιτία που παρατηρούνται τόσο μεγάλες ταχύτητες (μεγαλύτερες των 20 m/s) κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού, κατά την εκδήλωση ενός έντονου επεισοδίου Βαρδάρη, όπως αυτό που εξετάζεται στη συγκεκριμένη διατριβή, δηλαδή της 10ης Νοεμβρίου 2007.

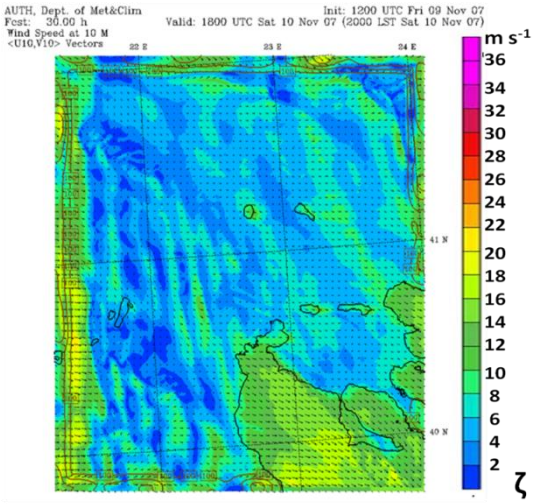
Έτσι, εκτός από την κύρια προσομοίωση του αριθμητικού μοντέλου (control run) πραγματοποιήθηκε μία ακόμη προσομοίωση, με τη μορφή μιας δοκιμής ευαισθησίας. Μέσω του αριθμητικού πειράματος που περιγράφεται στη συνέχεια αναλυτικά, αποσαφηνίζεται ο ιδιαίτερος ρόλος των τοπογραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής έναντι της ροής συνοπτικής κλίμακας. Για την πραγματοποίηση του πειράματος ακολουθήθηκαν οι προδιαγραφές του πειράματος ελέγχου (control run), όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, με μια διαφορά. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι αφαιρέθηκε η τοπογραφία από το εσωτερικό πλέγμα D3, μηδενίζοντας το υψόμετρο δηλαδή εντός της πλεγματικής περιοχής. Όπως και στο πείραμα ελέγχου, έτσι και στη δοκιμή ευαισθησίας εφαρμόστηκε η τεχνική της απλής ή μονής εμφώλευσης (one-way nesting). Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η μη-εμφάνιση ανάδρασης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού πλέγματος. Οι πληροφορίες που εισάγονται στα πλευρικά όρια της D3 περιοχής (lateral boundary conditions) από την D2 δεν επηρεάζονται από την έλλειψη τοπογραφίας. Επομένως οι τιμές που εισάγονται από τη D2 στη D3 είναι ίδιες στην κύρια προσομοίωση και στο πείραμα χωρίς τοπογραφία στην περιοχή D3.

5.1 ΧΑΡΤΕΣ ΑΝΕΜΟΥ -ΠΛΕΓΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ D3

Στους χάρτες του σχήματος 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια η χωρική και χρονική ανάλυση του ανέμου στα 10 μέτρα όπως προσομοιώθηκε από το ατμοσφαιρικό μοντέλο WRF. Τονίζεται ότι η όλη περιοχή απεικονίζεται ως μια πεδινή περιοχή μηδενικού υψομέτρου. Εξαίρεση αποτελούν τα όρια (boundaries) της D3 με την D2. Ο λόγος είναι ότι οι τιμές στα πέντε ακραία gridpoints στα όρια (boundaries) είναι συνδυασμός των τιμών του εσωτερικού και εξωτερικού πλέγματος.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

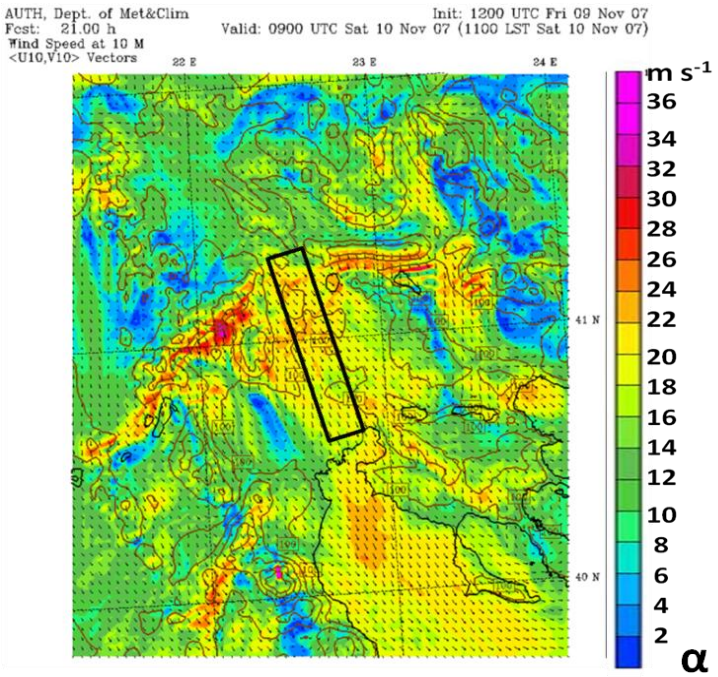

AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 12.00 h
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0000 UTC Sat 10 Nov 07 (0200 LST Sat 10 Nov 07)
m s-1
α
AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 15.00 h
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0300 UTC Sat 10 Nov 07 (0500 LST Sat 10 Nov 07)
m s-1
β
AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 18.00 h
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0600 UTC Sat 10 Nov 07 (0800 LST Sat 10 Nov 07)
m s-1
γ
AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 21.00 h
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0900 UTC Sat 10 Nov 07 (1100 LST Sat 10 Nov 07)
m s-1
δ
AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 24.00 h
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 1200 UTC Sat 10 Nov 07 (1400 LST Sat 10 Nov 07)
m s-1
ε
AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 27.00 h
Wind Speed at 10 M
<U10,V10> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 1500 UTC Sat 10 Nov 07 (1700 LST Sat 10 Nov 07)
m s-1
στ

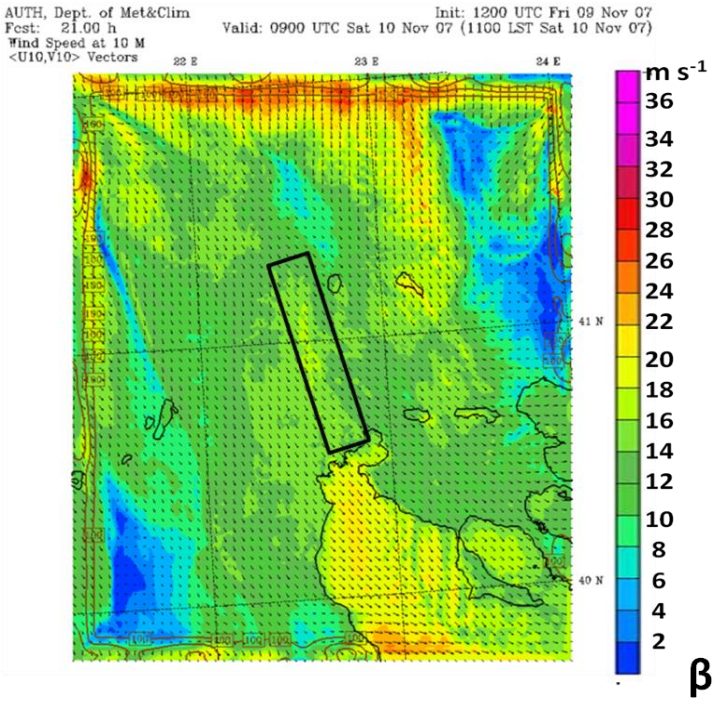


Σχήμα 5.1: απεικόνιση από το πλέγμα D3του επιφανειακού ανέμου στα 10 μέτρα (στο πείραμα χωρίς τοπογραφία στην εσωτερική περιοχή του μοντέλου) στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας . Η ταχύτητα μετράται σε m/s, η ένταση της διακρίνεται από τις διάφορες χρωματικές διαβαθμίσεις με βάση τη χρωματική κλίμακα στα δεξιά της κάθε εικόνας και τα βέλη δείχνουν την διεύθυνση του ανέμου από τις 00 UTC (σχήμα 5.1α) μέχρι τις 18UTC (σχήμα 5.1ζ) στις 10/11/07, ανα 3 ώρες

Η έναρξη του βορειοδυτικού ανέμου εντοπίζεται χρονικά περίπου στις 03UTC και από τα βορειοδυτικά, στην περιοχή της Π.Γ.Δ.Μ. και ενώ οι άνεμοι στην περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας είναι ακόμα νότιων διευθύνσεων με μέση ένταση μεγαλύτερη των 10 m/s(σχήμα 5.1β). Τρείς ώρες μετά, στις 06UTC (σχήμα 5.1γ) βορειοδυτικοί άνεμοι πνέουν στις περισσότερες περιοχές της Κεντρικής Μακεδονίας, με εξαίρεση τμήματα του Θερμαϊκού Κόλπου και της Χαλκιδικής και μάλιστα ενισχύονται σημαντικά φτάνοντας στις 09UTC σε τοπικό επίπεδο και τα 18m/s (σχήμα 5.1δ). Τέλος, τις επόμενες ώρες σταδιακά και από τα βορειοδυτικά οι άνεμοι εξασθενούν σημαντικά και πνέουν πλέον μέχρι μέτριοι (έως 10 m/s) στην πλειονότητα των περιοχών του πλέγματος D3. Εξαίρεση αποτελούν μόνο τα πολύ νοτιανατολικά τμήματα στα ανοιχτά του Θερμαϊκού Κόλπου, όπου οι άνεμοι παραμένουν πιο ενισχυμένοι, με εμφανή εξασθένιση όμως και σε αυτές τις περιοχές (σχήμα 5.1ζ) σε σχέση με τις προηγούμενες ώρες.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.





Σχήμα 5.2: απεικόνιση του ανέμου στα 10 μέτρα α) λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία της περιοχής (πείραμα ελέγχου) και β) με μηδενισμό της τοπογραφίας στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας στις 09UTC . Η ταχύτητα μετράται σε m/s, η ένταση της διακρίνεται από τις διάφορες χρωματικές διαβαθμίσεις με βάση τη χρωματική κλίμακα στα δεξιά της κάθε εικόνας και τα βέλη δείχνουν την διεύθυνση του ανέμου

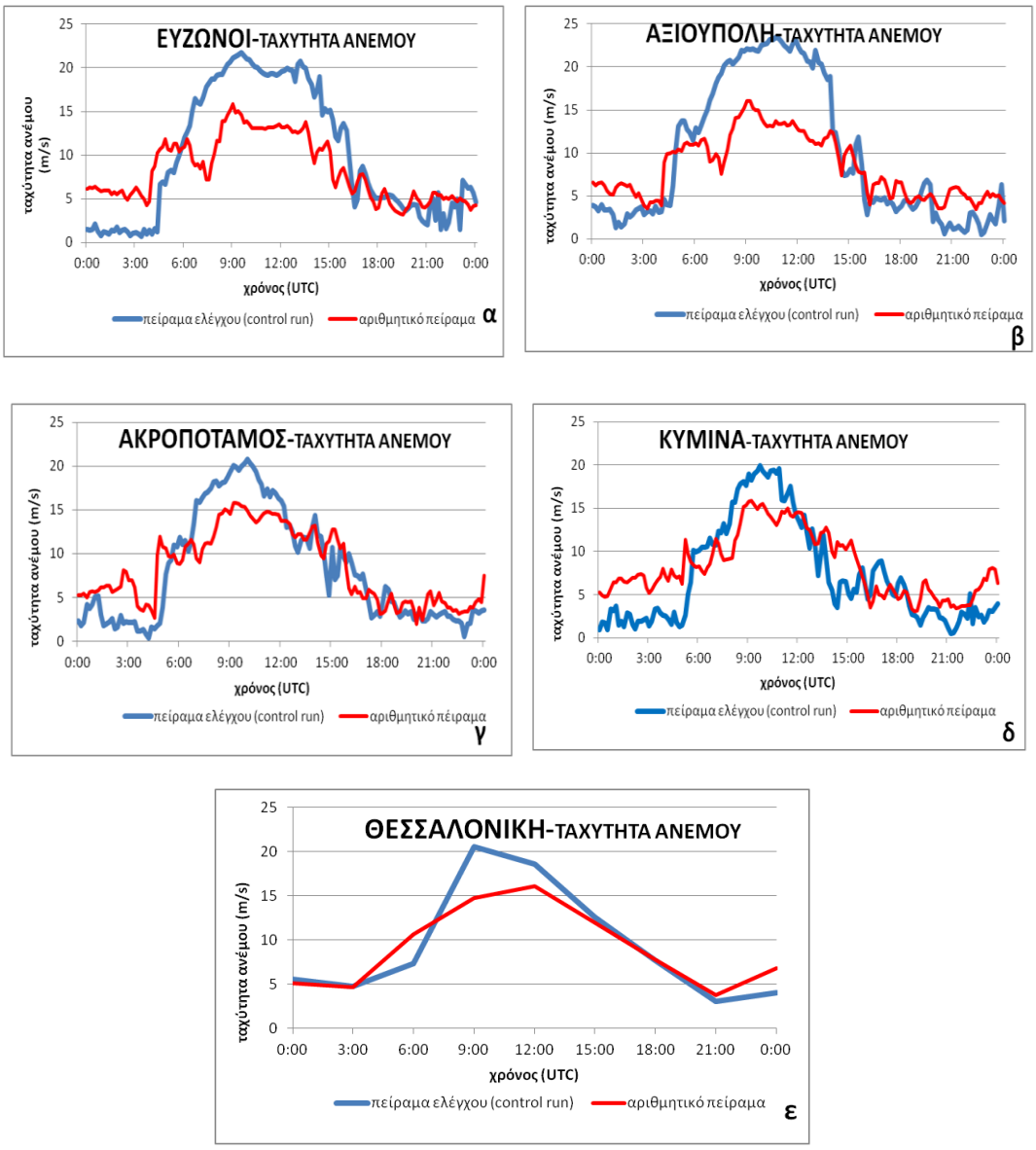
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Στο σχήμα 5.2 φαίνεται χαρακτηριστικά ο ρόλος που παίζει η τοπογραφία στην εκδήλωση του επεισοδίου Βαρδάρη. Η παρουσία της τοπογραφίας παίζει καταλυτικό ρόλο στην ενίσχυση του ανέμου και την καταγραφή πολύ μεγάλων τιμών ταχύτητας, όπως φαίνεται από τη σύγκριση των εικόνων 5.2α και 5.2β. Έτσι, στις 09UTC 10/11/07, η οποία θεωρείται με βάση το μοντέλο WRF η χρονική στιγμή που σημειώθηκαν οι μέγιστες τιμές ταχύτητας, οι άνεμοι με αμετάβλητη την τοπογραφία της περιοχής ξεπέρασαν σε πολλές περιοχές εντός της κοιλάδας του Αξιού τα 20m/s (σχήμα 5.2α), ενώ όπως προέκυψε από το αριθμητικό πείραμα, με μηδενική τοπογραφία οι τιμές ταχύτητας αν και είναι εμφανώς μικρότερες εξακολουθούν να είναι αξιοσημείωτες ξεπερνώντας τα 14m/s (σχήμα 5.2β). Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι η τοπογραφία της περιοχής μελέτης παίζει ενισχυτικό και κατά τόπους ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο σε ένα φαινόμενο όμως συνοπτικής κλίμακας που ούτως ή άλλως θα χαρακτηριζόταν από τοπικά θυελλώδεις ανέμους.

5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τις προσομοιώσεις του μοντέλου για 5 θέσεις σταθμών με ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Πρόκειται για θέσεις στις οποίες καταγράφηκαν αλλά και προσομοιώθηκαν από το μοντέλο μεγάλες τιμές ταχύτητας και είναι οι θέσεις των 4 σταθμών του Αξιού (Εύζωνοι, Αξιούπολη, Ακροπόταμος, Κύμινα) και του αεροδρομίου Θεσσαλονίκης. Επίσης παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα του αριθμητικού πειράματος χωρίς τοπογραφία που διεξήχθη με σκοπό την εκτίμηση του ρόλου των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής του Αξιού.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 5.3: Διαγράμματα που απεικονίζουν τη μέση ταχύτητα του ανέμου (σε m/sec) στις θέσεις των σταθμών α) των Ευζώνων, β) της Αξιούπολης, γ) του Ακροποτάμου, δ) των Κυμίνων και ε) της Θεσ/νίκης , όπως προβλέφθηκαν από το μοντέλο WRF (μπλε γραμμή) και από το αριθμητικό πείραμα που διεξήχθη (κόκκινη γραμμή) από τις 10/11/07 στις 00 UTC μέχρι τις 11/11/07 στις 00 UTC

Μελετώντας τα σχήματα 5.3α-5.3ε μπορούν να παρατηρηθούν κάποια κοινά χαρακτηριστικά για τις πέντε διαφορετικές θέσεις των προσομοιώσεων. Αρχικά, παρατηρείται και στις πέντε θέσεις, ότι ο άνεμος, πριν την έναρξη του επεισοδίου Βαρδάρη, δηλαδή τις νυχτερινές ώρες της 10ης Νοεμβρίου ως τις 05 UTC περίπου, ήταν πιο ενισχυμένος (κατά 2-3m/s) στη δοκιμή ευαισθησίας (κόκκινη γραμμή) σε σχέση με το πείραμα ελέγχου (control run- μπλε γραμμή). Όπως επισημάνθηκε και

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

στην θεωρία η τραχύτητα του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου. Ειδικότερα, όσο πιο τραχεία είναι μια επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση της ταχύτητας ροής (Whiteman, 2000). Αυτό σημαίνει ότι οι ταχύτητες του ανέμου αυξάνονται γενικά, όταν οι άνεμοι περνούν από μια τραχεία επιφάνεια σε μια επίπεδη περιοχή, όπως μια πεδιάδα ή μια λίμνη (Whiteman, 2000). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στο αριθμητικό πείραμα χωρίς τοπογραφία, το εσωτερικό της περιοχής D3 προσομοιώθηκε με μία πεδινή περιοχή μηδενικού υψομέτρου. Επομένως, η έλλειψη υψομετρικών εξάρσεων, σε μία έστω και μικρή απόσταση, γύρω από τους σταθμούς επιτρέπει στον άνεμο να πνέει με μεγαλύτερη ταχύτητα. Ωστόσο, όπως περιγράφηκε και στο πρώτο Κεφάλαιο, αυτές οι υψομετρικές εξάρσεις είναι και η αιτία πολλές φορές για την κατά τόπους σημαντικής ενίσχυση του ανέμου, λόγω καναλισμού. Κάτι αντίστοιχο επιβεβαιώνεται και από τη σύγκριση των δύο πειραμάτων, δηλαδή του πειράματος ελέγχου (control run) και του πειράματος χωρίς τοπογραφία. Με βάση το αριθμητικό πείραμα οι μέγιστες τιμές ταχύτητας που καταγράφηκαν άγγιξαν τα 15-16 m/s, ενώ σύμφωνα με το πείραμα ελέγχου ήταν 4-7 m/s υψηλότερες. Πιο συγκεκριμένα, η διαφορά αυτή αγγίζει τα 6-7 m/s στους σταθμούς των Ευζώνων και της Αξιούπολης και τα 4-5 m/s στους σταθμούς του Ακροποτάμου, των Κυμίνων και της Θεσσαλονίκης. Τα αποτελέσματα αυτά είναι αρκετά ενδιαφέροντα αν συνδυαστούν με τις αντίστοιχες γεωγραφικές θέσεις των σταθμών, εντός της Κοιλάδας του Αξιού ποταμού. Οι σταθμοί των Ευζώνων και της Αξιούπολης είναι τοποθετημένοι γεωγραφικά βορειότερα στην κοιλάδα και πλησιέστερα σε ορεινούς όγκους (Βόρρας, Πάϊκο και Κερκίνη), σε σχέση με τους άλλους τρείς σταθμούς (Ακροπόταμος, Αξιούπολη, Θεσσαλονίκη). Επίσης, οι μέγιστες τιμές στο πείραμα χωρίς τοπογραφία είναι ίδιες σε όλους τους σταθμούς, σε αντίθεση με το πείραμα ελέγχου. Έτσι, γίνεται εμφανής η σημασία των τοπογραφικών χαρακτηριστικών της ευρύτερης περιοχής στην μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου στην επιφάνεια. Επομένως, τα παραπάνω αποτελέσματα πιστοποιούν ότι για την εμφάνιση του εν λόγω επεισοδίου Βαρδάρη βασικό ρόλο παίζει η ροή συνοπτικής κλίμακας (η ταχύτητα του ανέμου ξεπέρασε τα 15m/s στους 5 σταθμούς), αλλά για τη μέγιστη ένταση του φαινομένου υπεύθυνοι είναι τοπικοί παράγοντες με πρωταρχικό τον καναλισμό εντός της κοιλάδας του Αξιού.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

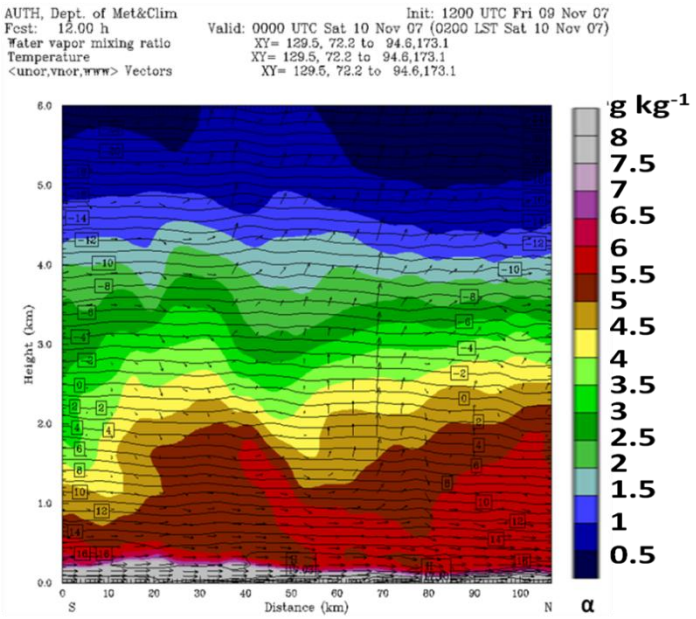
5.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑΣ

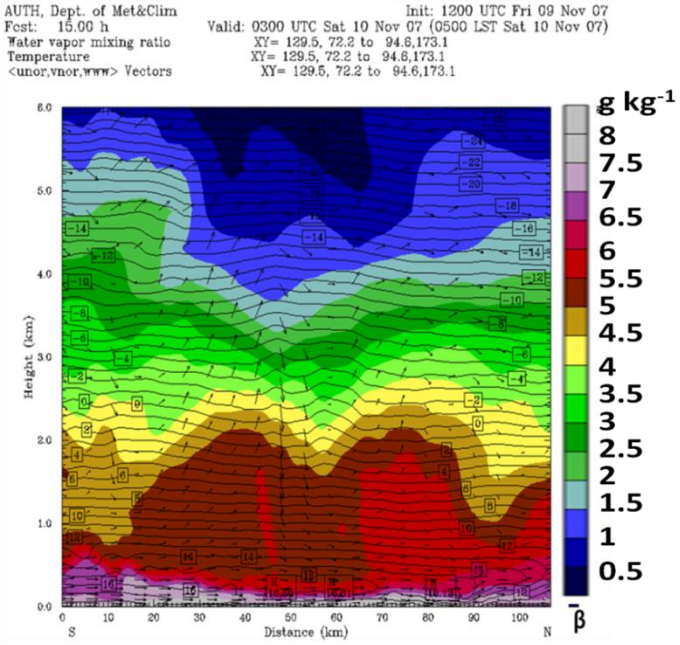
Η χρήση αριθμητικών μοντέλων έχει βοηθήσει στη κατανόηση της δομής των ανέμων σε παγκόσμια κλίμακα. Κάτι τέτοιο επιβεβαιώθηκε και από την παρούσα διατριβή, με την απεικόνιση της τρισδιάστατης ροής του ανέμου καθ' ύψος , όπως παρουσιάστηκε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 4). Όπως διαπιστώθηκε στο εν λόγω κεφάλαιο, η τοπογραφία φαίνεται να διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στη μεταβολή των διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων τόσο στην επιφάνεια όσο και καθ' ύψος. Για το λόγο αυτό επιχειρείται και η απεικόνιση της κατακόρυφης δομής της τροπόσφαιρας, κατά τη διάρκεια του επεισοδίου της 10ης Νοεμβρίου στη δοκιμή ευαισθησίας χωρίς τοπογραφία.

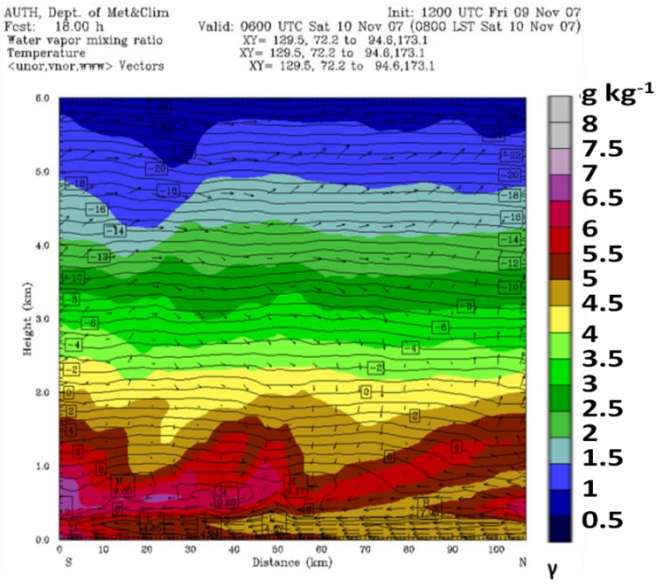
5.3.1 ΤΟΜΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ

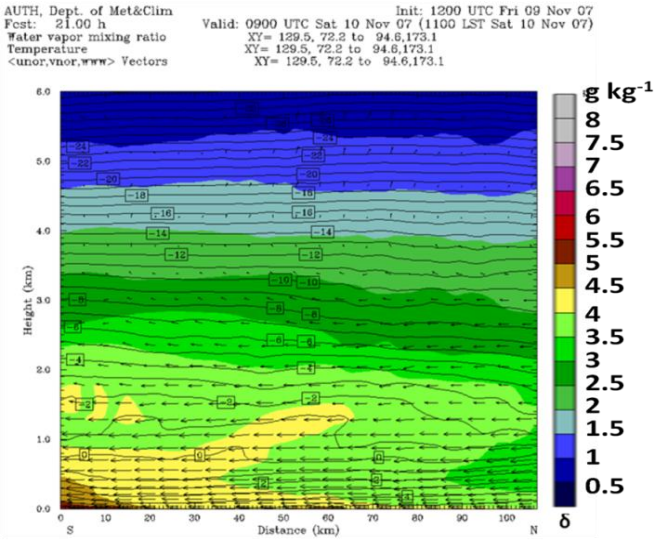
Για τα αποτελέσματα των ακόλουθων χαρτών (σχήμα 5.4) χρησιμοποιήθηκε η τομή που φαίνεται στο σχήμα 4.19, κατά μήκος δηλαδή της κοιλάδας του Αξιού σε μια διεύθυνση ΝΝΑ-ΒΒΔ από το πείραμα χωρίς τοπογραφία. Ως και τις 03UTC (σχήματα 5.4α και 5.4β) η κατάσταση μπορεί να συνοψισθεί ως εξής: α) άνεμοι νοτίων διευθύνσεων πνέουν τόσο στην επιφάνεια όσο και καθ ύψος μέχρι τη μέση τροπόσφαιρα, β) η θερμοκρασία είναι σχετικά υψηλή αγγίζοντας στην επιφάνεια τους 14-16 ^{o}C, ενώ υψηλές είναι και οι συγκεντρώσεις των υδρατμών λόγω των νοτίων υγρών ανέμων από την περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου και της έλευσης του βαρομετρικού χαμηλού (σχήμα 5.4α) με τις τιμές αναλογίας μίγματος να ξεπερνούν κοντά στην επιφάνεια κατά μέσο όρο ακόμη και τα 7 gr/kgr. Στις 06UTC (σχήμα 5.4γ) όμως η κατάσταση διαφοροποιείται αρκετά με τη στροφή των ανέμων σε βόρειους αρχικά στην επιφάνεια και αργότερα (σχήματα 5.4δ-5.4ζ) και σε όλα τα επίπεδα καθ ύψος. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια αφενός τη πτώση της υγρασίας με την είσοδο της ξηρής ηπειρωτικής μάζας έως και 4 gr/kgr και αφετέρου τη σημαντικότατη πτώση της θερμοκρασίας. Ενδεικτικά στα 90 χλμ βόρεια-βορειοδυτικά της Μίκρας, από τους 14 ^{o}C στις 03UTC (σχήμα 5.4β) υπολογίστηκε μια πτώση της τάξεως των 10 βαθμών μέχρι και τις 09UTC (σχήμα 5.4δ).

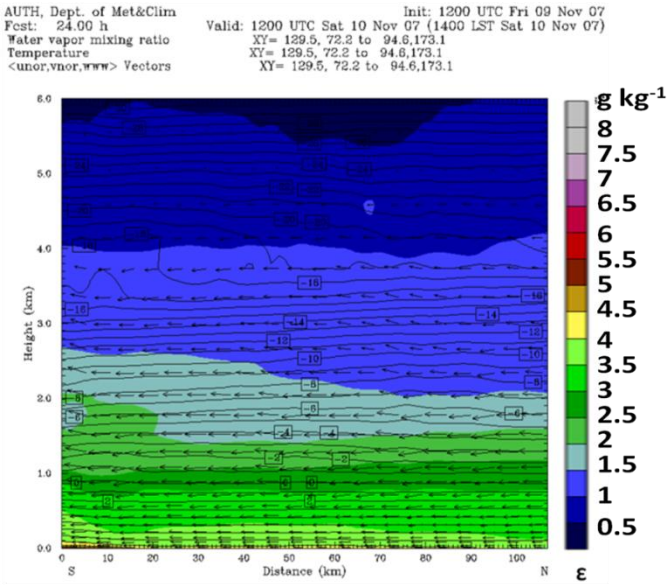
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

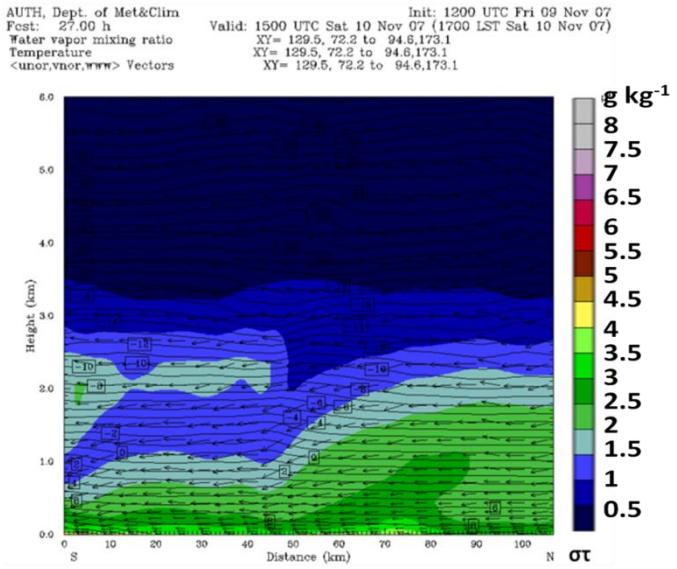

AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 12.00 h
Water vapor mixing ratio
Temperature
<unor,vnor,wwww> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0000 UTC Sat 10 Nov 07 (0200 LST Sat 10 Nov 07)
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
g kg-1
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
Height (km)
Distance (km)
S
N
α

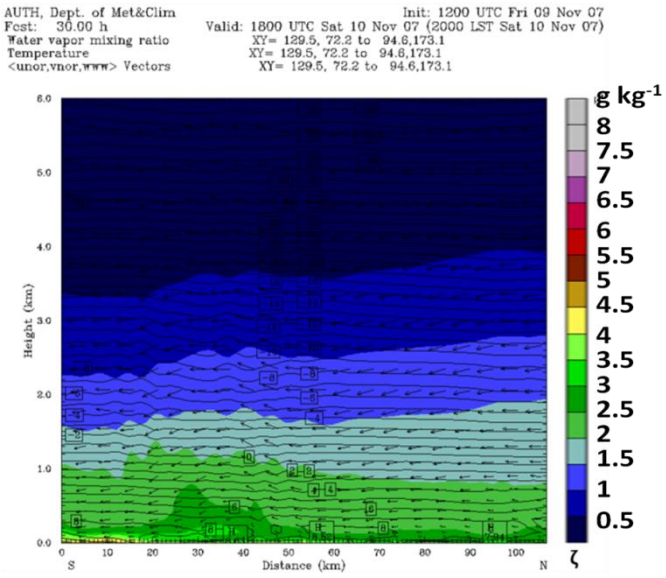

AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 15.00 h
Water vapor mixing ratio
Temperature
<unor,vnor,wwww> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0300 UTC Sat 10 Nov 07 (0500 LST Sat 10 Nov 07)
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
g kg-1
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
Height (km)
Distance (km)
S
N
β


AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 18.00 h
Water vapor mixing ratio
Temperature
<unor,vnor,www> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0600 UTC Sat 10 Nov 07 (0800 LST Sat 10 Nov 07)
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
g kg-1
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
Height (km)
Distance (km)
S
N
γ


AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 21.00 h
Water vapor mixing ratio
Temperature
<unor,vnor,www> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 0900 UTC Sat 10 Nov 07 (1100 LST Sat 10 Nov 07)
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
g kg-1
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
Height (km)
Distance (km)
S
N
δ


AUTH, Dept. of Met&Clim
Fcst: 24.00 h
Water vapor mixing ratio
Temperature
<unor,vnor,www> Vectors
Init: 1200 UTC Fri 09 Nov 07
Valid: 1200 UTC Sat 10 Nov 07 (1400 LST Sat 10 Nov 07)
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
XY= 129.5, 72.2 to 94.6,173.1
g kg-1
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
Height (km)
Distance (km)
S
N
ε

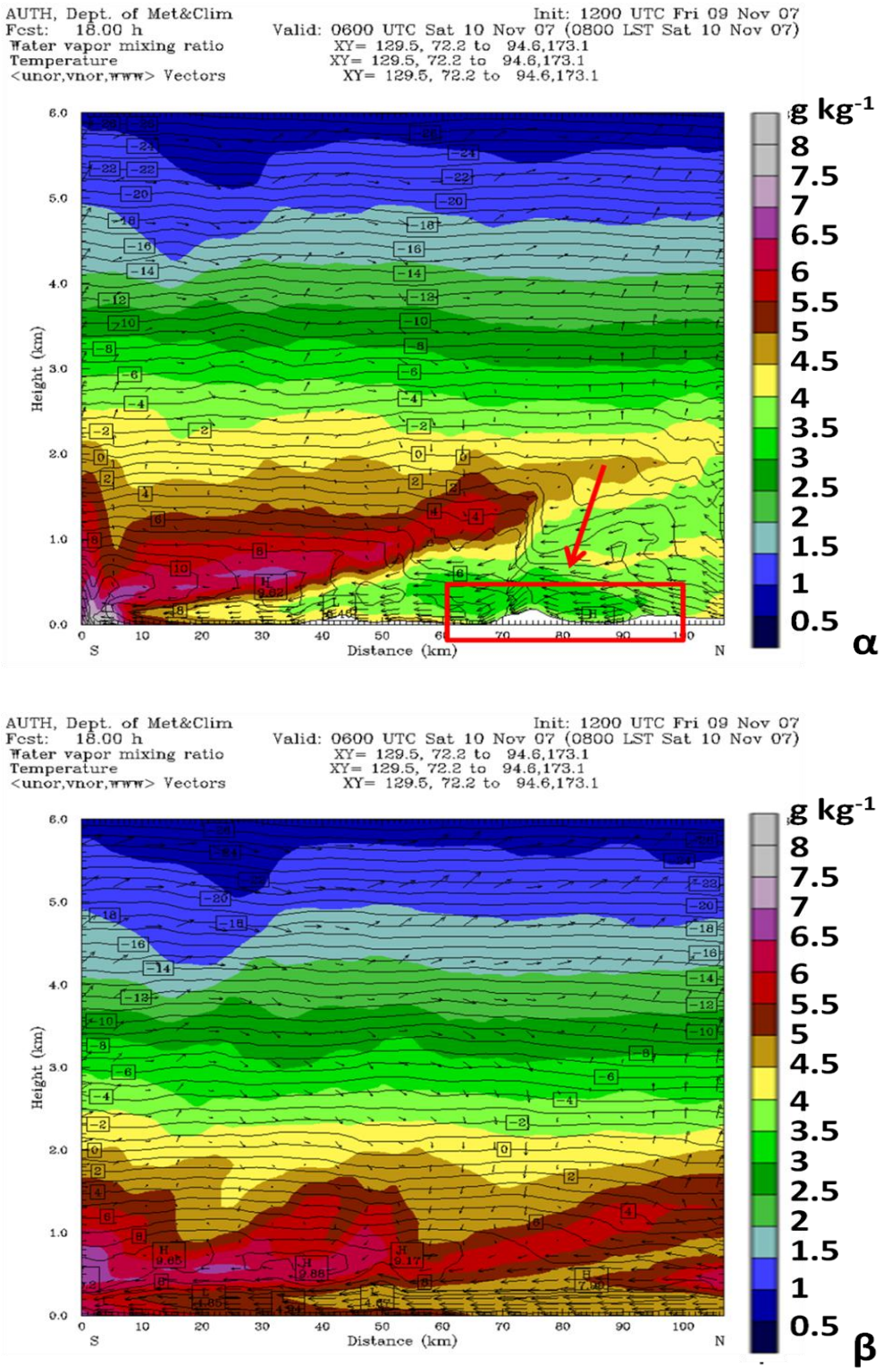




Σχήμα 5.4: κατακόρυφες διατομές με προσανατολισμό από ΝΝΑ προς ΒΒΔ (σύμφωνα με τα αποτελέσματα του αριθμητικού πειράματος μηδενισμού της τοπογραφίας) στο πλέγμα D3 της αναλογίας μίγματος υδρατμών (με τη χρωματική διαβάθμιση) με βήμα 0.5 gr/kgr, της διεύθυνσης του ανέμου (με τα βέλη) και της θερμοκρασίας για τις α) 00UTC, β) 03UTC, γ) 06UTC, δ) 09UTC, ε) 12UTC, στ) 15UTC και ζ) 18UTC 10/11/07

Ο ρόλος της τοπογραφίας και ιδιαίτερα των ορεινών όγκων φαίνεται ακόμα περισσότερο στο σχήμα 5.5 που ακολουθεί:

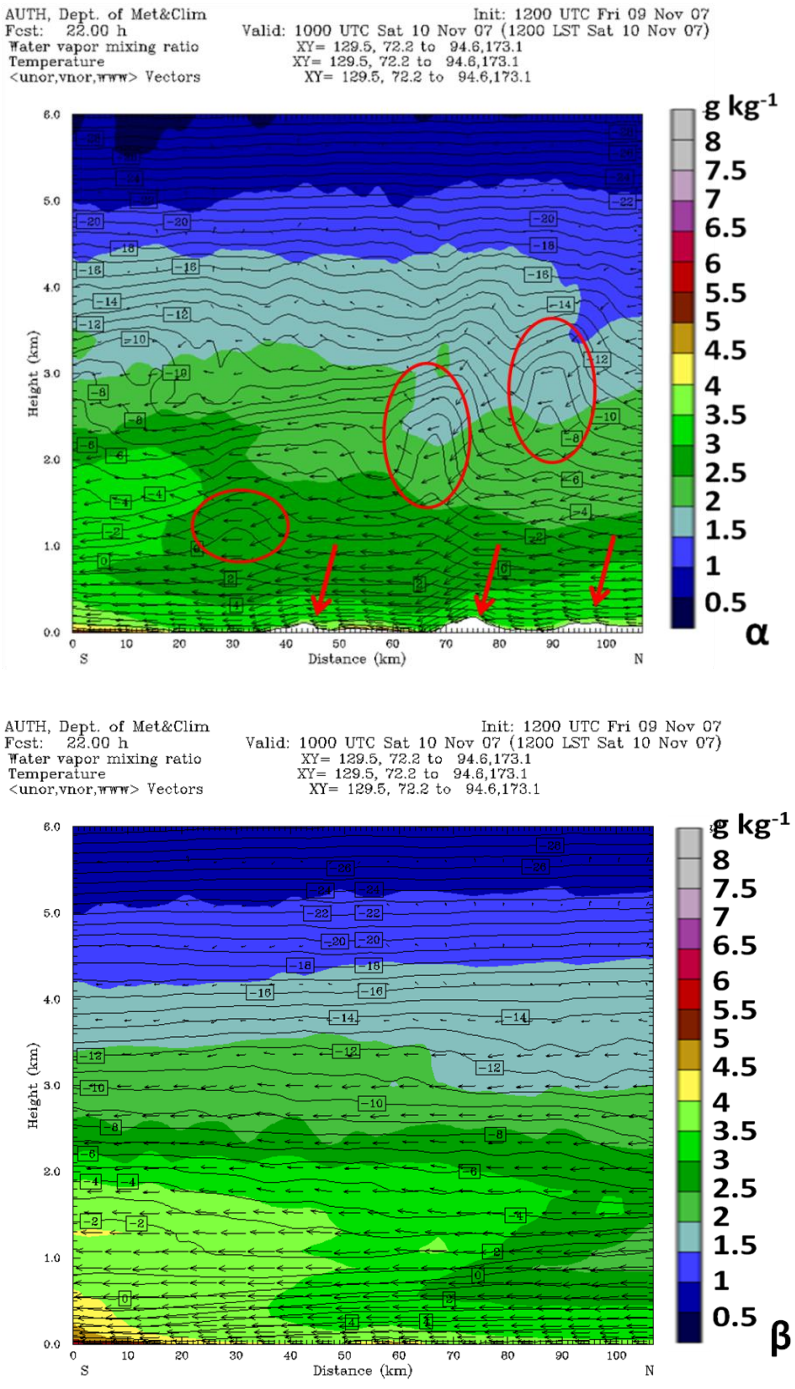
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 5.5: κατακόρυφες διατομές με προσανατολισμό από ΝΝΑ προς ΒΒΔ σύμφωνα με τα αποτελέσματα α)του μοντέλου WRF (πείραμα ελέγχου) και β)του αριθμητικού πειράματος μηδενισμού της τοπογραφίας στο πλέγμα D3. Στο σχήμα αναπαριστάται η αναλογία μίγματος υδρατμών (με τη χρωματική διαβάθμιση) με βήμα 0.5 gr/kgr, η διεύθυνση του ανέμου (με τα βέλη) και η θερμοκρασία για τις 06UTC 10/11/07

Ο ρόλος της τοπογραφίας και ιδιαίτερα των ορεινών όγκων φαίνεται ακόμα περισσότερο στο σχήμα 5.5.Με τη σύγκριση των εικόνων του σχήματος 5.5 γίνεται φανερή η επίδραση της τοπογραφίας στη κατανομή των διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων. Και οι δύο εικόνες εξήχθησαν για την ίδια χρονική στιγμή, στις 06UTC για να είναι τα αποτελέσματα συγκρίσιμα. Ο χρόνος αυτός επιλέχτηκε ως χρόνος έναρξης του φαινομένου για τις περισσότερες περιοχές της κοιλάδας. Στο πείραμα ελέγχου (σχήμα 5.5α) ακόμα και ημιορεινές περιοχές όπως αυτή που είναι σημειωμένη με το κόκκινο πλαίσιο επιδρούν σημαντικά στην κατανομή της υγρασίας. Ειδικότερα, παρατηρείται μείωση της υγρασίας, της θερμοκρασίας και αλλαγές στη διεύθυνση και ένταση του ανέμου στην προσήνεμη και υπήνεμη πλευρά. Μάλιστα στην περιοχή που επισημαίνεται με το πλαίσιο, διακρίνεται και μια εμφανής διαφορά στην υγρασία στα κατώτερα επίπεδα, μέσα στο οριακό στρώμα. Πιο συγκεκριμένα, στο σχήμα 5.5α η υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 3-3.5 gr/kgr, την ίδια στιγμή που στο πείραμα χωρίς τοπογραφία, η υγρασία παίρνει τιμές κοντά στα 5 gr/kgr.Από την άλλη πλευρά, στο σχήμα 5.5β που η τοπογραφία έχει παραληφθεί παρατηρείται μια εικόνα πιο ήπιας μεταβολής των αντίστοιχων μετεωρολογικών παραμέτρων. Για την ακρίβεια, η υγρασία στο πείραμα ελέγχου έπεσε στις τιμές του σχήματος 5.5α περίπου 4 ώρες μετά, στις 10 UTC (σχήμα 5.6). Μάλιστα, στην εικόνα 5.6α, η οποία αντιστοιχεί στην προσομοίωση του πειράματος ελέγχου παρατηρείται και η επιρροή της τοπογραφίας, όχι μόνο στην επιφάνεια αλλά και καθ' ύψος. Κάτι τέτοιο είναι εμφανές με τη χαρακτηριστική κάμψη των ισοπληθών 1-3 χλμ ψηλότερα από τους ορεινούς όγκους, υπό μορφή ορεογραφικών κυμάτων πάνω από την υπήνεμη πλευρά. Κάτι αντίστοιχο δεν παρατηρείται στη δοκιμή ευαισθησίας, κατά την οποία η τοπογραφία έχει προσομοιωθεί με μια επίπεδη επιφάνεια μηδενικού υψομέτρου.

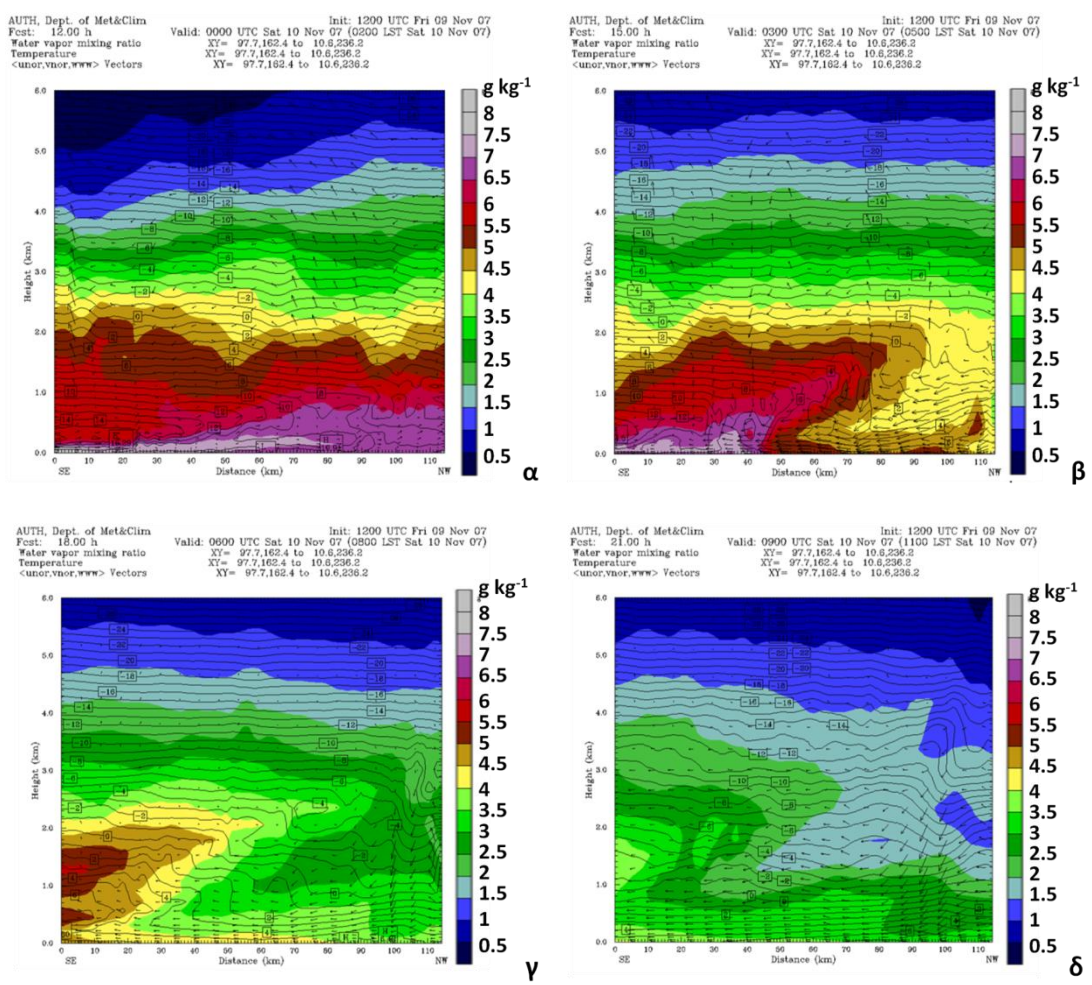
02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

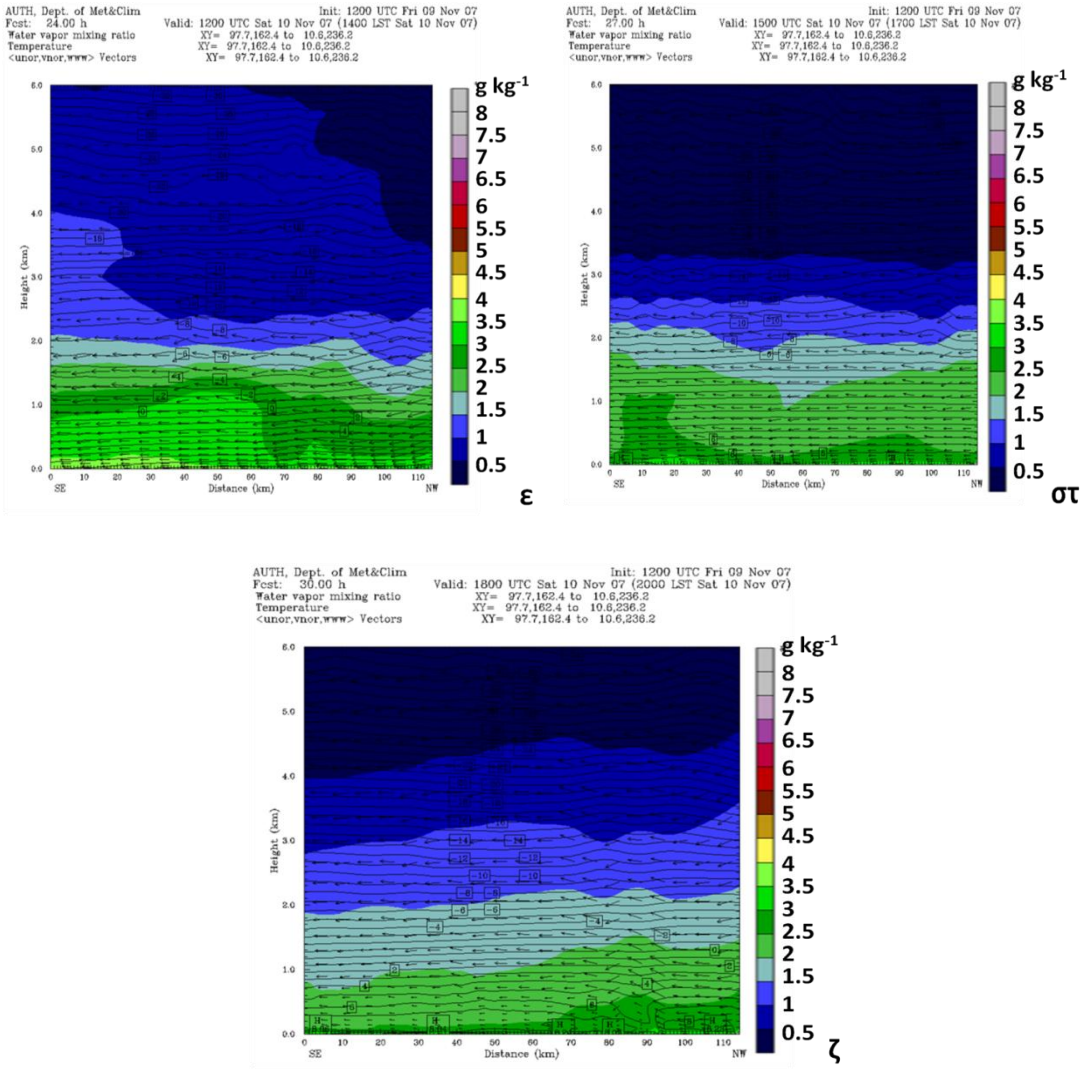


Σχήμα 5.6: κατακόρυφες διατομές με προσανατολισμό από ΝΝΑ προς ΒΒΔ σύμφωνα με τα αποτελέσματα α)του μοντέλου WRF (πείραμα ελέγχου) και β)του αριθμητικού πειράματος μηδενισμού της τοπογραφίας στο πλέγμα D3. Στο σχήμα αναπαριστάται η αναλογία μίγματος υδρατμών (με τη χρωματική διαβάθμιση) με βήμα 0.5 gr/kgr, η διεύθυνση του ανέμου (με τα βέλη) και η θερμοκρασία για τις 10UTC 10/11/07

5.3.2 ΤΟΜΗ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΟΙΛΑΔΑΣ ΤΟΥ ΑΞΙΟΥ (Π.Γ.Δ.Μ.)

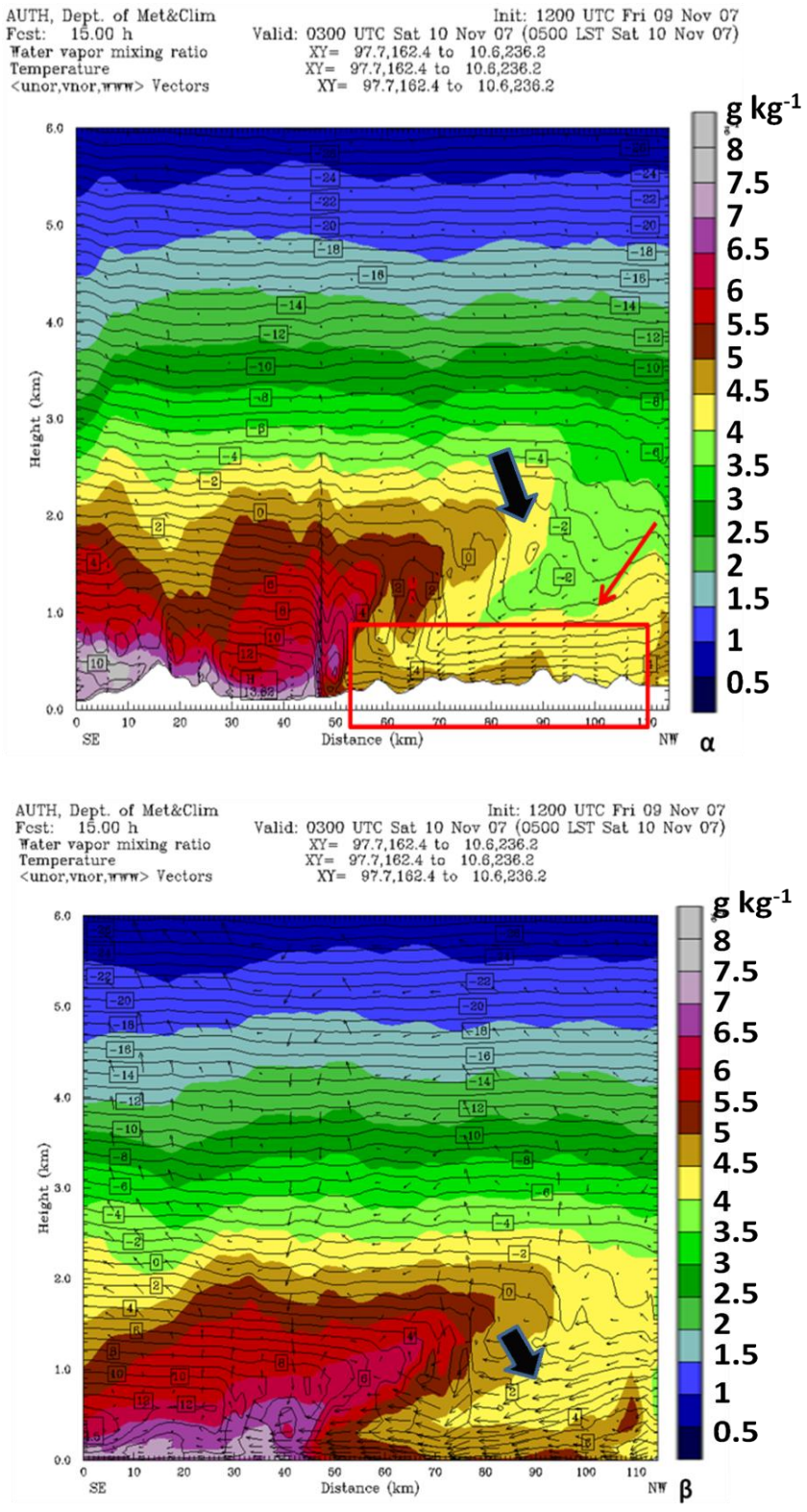
Όπως αναφέρθηκε και στη θεωρία οι μέγιστες τιμές ταχύτητας κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου Βαρδάρη σημειώνονται κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού, αλλά ουσιαστικά το φαινόμενο ξεκινά από τις νοτιοανατολικές περιοχές της Π.Γ.Δ.Μ.. Για αυτόν τον λόγο κρίθηκε σκόπιμο να εξαχθούν αποτελέσματα που θα αφορούν την τρισδιάστατη ροή του ανέμου και σε αυτήν την περιοχή. Για τα αποτελέσματα των ακόλουθων χαρτών (σχήμα 5.7) χρησιμοποιήθηκε η τομή που φαίνεται στο σχήμα 4.26, βορειοδυτικότερα δηλαδή της κοιλάδας του Αξιού σε μια διεύθυνση νοτιοανατολική-βορειοδυτική με τις προδιαγραφές του πειράματος ελέγχου χωρίς τοπογραφία.





Σχήμα 5.7: κατακόρυφες διατομές με προσανατολισμό από ΝΑ προς ΒΔ (σχήμα 4.26) ,σύμφωνα με τα αποτελέσματα του αριθμητικού πειράματος μηδενισμού της τοπογραφίας στο πλέγμα D3, της αναλογίας μίγματος υδρατμών (με τη χρωματική διαβάθμιση) με βήμα 0.5 gr/kgr, της διεύθυνσης του ανέμου (με τα βέλη) και της θερμοκρασίας για τις α) 00UTC, β) 03UTC, γ) 06UTC, δ) 09UTC, ε) 12UTC, στ) 15UTC και ζ) 18UTC 10/11/07

Ειδικότερα, στην Π.Γ.Δ.Μ η έλευση του ψυχρού ξηρού αέρα τοποθετείται στις 03UTC δηλαδή περίπου 3 ώρες νωρίτερα (σε σύγκριση με το σχήμα 5.4), λόγω της πιο βορειοδυτικής θέσης των περιοχών αυτών και του γεγονότος ότι το μέτωπο κακοκαιρίας επηρέασε νωρίτερα την περιοχή.



Σχήμα 5.8: κατακόρυφες διατομές με προσανατολισμό από νοτιοανατολικά προς βορειοδυτικά (σχήμα 4.28) σύμφωνα με τα αποτελέσματα α)του μοντέλου WRF λαμβάνοντας υπόψη τη τοπογραφία της περιοχής και β)του αριθμητικού πειράματος μηδενισμού της τοπογραφίας στο πλέγμα D3 της αναλογίας μίγματος υδρατμών (με τη χρωματική διαβάθμιση) με βήμα 0.5 gr/kgr, της διεύθυνσης του ανέμου (με τα βέλη) και της θερμοκρασίας για τις 03UTC 10/11/07

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο πειραμάτων, δηλαδή του πειράματος ελέγχου (control run) και της προσομοίωσης με μηδενισμό της τοπογραφίας. Με τη σύγκριση των εικόνων του σχήματος 5.8 γίνεται εμφανής και σε αυτήν την περίπτωση η επίδραση των τοπογραφικών χαρακτηριστικών μίας περιοχής στη κατανομή των διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων. Και οι δύο εικόνες εξήχθησαν για την ίδια χρονική στιγμή, στις 03UTC, που είναι η χρονική στιγμή που αρχίζει το επεισόδιο Βαρδάρη σε αυτές τις περιοχές. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.8α οι ημιορεινές περιοχές που σημειώνονται με το κόκκινο πλαίσιο, σε απόσταση μεγαλύτερη των 50km βορειοδυτικά των Ευζώνων έχουν ως συνέπεια τη διαφοροποίηση στη μείωση της υγρασίας, της θερμοκρασίας και στις αλλαγές στη διεύθυνση και ένταση του ανέμου σε σχέση με το σχήμα 5.5β που η τοπογραφία έχει παραληφθεί και στο οποίοι παρατηρείται μια ομαλότερη μεταβολή των αντίστοιχων μετεωρολογικών παραμέτρων. Στο σχήμα 5.8α παρατηρείται μια «γλώσσα» ξηρού αέρα, περίπου στα 90 χλμ βορειοδυτικά από το νότιο άκρο της τομής, όπως σημειώνεται χαρακτηριστικά με το μαύρο βέλος. Μία μικρότερη ίσως «γλώσσα» αλλά με υγρότερες αυτή τη φορά μάζες εμφανίζεται (με το αντίστοιχο βέλος στο σχήμα 5.8β) και στο πείραμα χωρίς τοπογραφία Επομένως, και στα δύο πειράματα, τα οποία είναι ίδια, με εξαίρεση μόνο την έλλειψη τοπογραφίας στο σχήμα 5.8β, διακρίνεται μια εισροή ξηρού αέρα, ιδιαίτερα στο πρώτο πείραμα (σχήμα 5.8α). Άρα, η τοπογραφία είναι αυτή που αδιαμφισβήτητα παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτό, αλλά ο ακριβής μηχανισμός δεν είναι εμφανής και χρήζει περαιτέρω επιστημονικής διερεύνησης. Και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται, αν και ίσως σε μικρότερο βαθμό, μία καθυστέρηση στην πτώση της υγρασίας σε σχέση με την έναρξη πνοής του βορειοδυτικού ανέμου. Αντίθετα, η παράλληλη απότομη πτώση της υγρασίας με την έναρξη πνοής του βορειοδυτικού ανέμου όπως ειπώθηκε και στο Κεφάλαιο 1, είναι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του ανέμου Βαρδάρη.

Επομένως, συνοψίζοντας από τα διάφορα σχήματα του κεφαλαίου 5 προκύπτει ότι το επεισόδιο Βαρδάρη της 10ης Νοεμβρίου που μελετήθηκε δεν είναι ένα τοπικό φαινόμενο που προκαλείται εντός της Κοιλάδας του Αξιού, αλλά αντίθετα είναι ένα φαινόμενο συνοπτικής κλίμακας που η τοπογραφία το ενισχύει και του δίνει τελικά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν ένα επεισόδιο Βαρδάρη.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διατριβή είχε ως κύριο σκοπό την αριθμητική μελέτη ενός έντονου επεισοδίου Βαρδάρη που εκδηλώθηκε την 10η Νοεμβρίου 2007 και το οποίο προκάλεσε εκτεταμένα προβλήματα στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας. Οι ταχύτητες των ανέμων του επεισοδίου ανήκαν στο 0.27% των πιο ισχυρών παρατηρούμενων βορειοδυτικών ανέμων, βάσει δεδομένων 32 ετών από το αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης. Ήταν η πρώτη φορά που ένα πολύ υψηλής ανάλυσης αριθμητικό μοντέλο, μαζί με κατάλληλες μετρήσεις κατά μήκος του Αξιού, συνδυάστηκαν για τη διερεύνηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του Βαρδάρη. Τα παραπάνω ενισχύθηκαν από πλεγματικά δεδομένα του ECMWF, αναλύσεις της μετεωρολογικής υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου και από ραδιοβολίσεις. Τα κίνητρα για τη συγκεκριμένη διατριβή ήταν: i) ότι ο άνεμος Βαρδάρης επηρεάζει άμεσα η έμμεσα τη ζωή και τις δραστηριότητες των κατοίκων της Θεσσαλονίκης, αλλά και των γύρω περιοχών, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη θέση του αεροδρομίου, όπου στο συγκεκριμένο επεισόδιο ο άνεμος είχε μεγάλη ένταση (48 κόμβοι), ii) ότι οι προηγούμενες μελέτες σχετικά με τον άνεμο Βαρδάρη εστιάζονταν στη στατιστική και γενικότερα κλιματική μελέτη, iii) η ύπαρξη, για πρώτη φορά, αξιόπιστων παρατηρήσεων από 4 σταθμούς κατά μήκος της Κοιλάδας του Αξιού, και iv) η δυνατότητα μελέτης ενός τόσο έντονου φαινομένου με ένα τόσο υψηλής ανάλυσης μοντέλο, σαν το WRF.

Στην παρούσα διατριβή, με αφορμή την εκδήλωση ενός έντονου επεισοδίου ανέμου Βαρδάρη κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού τις πρωινές ώρες της 10^{ης} Νοεμβρίου του 2007,πραγματοποιήθηκε αρχικά συνοπτική και δυναμική μελέτη των μετεωρολογικών συνθηκών που επικράτησαν εκείνη την περίοδο στην ελληνική περιοχή αλλά και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Ο σκοπός ήταν να αναλυθεί η συνοπτική κατάσταση που οδήγησε στην εκδήλωση του συγκεκριμένου επεισοδίου Βαρδάρη. Ειδικότερα, το επεισόδιο σχετίζεται με μια βαθιά ύφεση που επηρέασε τη Βόρεια Ελλάδα πριν κινηθεί ανατολικά και ενός εκτεταμένου αντικυκλώνα στον Ανατολικό Ατλαντικό και τη Δυτική Ευρώπη. Ο συνδυασμός τους είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενισχυμένου βορειοδυτικού ρεύματος πάνω από την ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας λόγω ισχυρής βαροβαθμίδας (ατμοσφαιρική πίεση στη

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

μέση στάθμη της θάλασσας 1004 hPa στα σύνορα Ελλάδας-Π.Γ.Δ.Μ. και 996 hPa στην περιοχή της Χαλκιδικής στις 12 UTC 10/11/07).

Οι μέγιστες τιμές ταχύτητας παρατηρήθηκαν κατά μήκος της Κοιλάδας του Αξιού αγγίζοντας τα 20.5 m/s με ριπές 28.2 m/s στο σταθμό των Ευζώνων και στις ακτές του Θερμαϊκού Κόλπου , όπου έφθασαν τα 24 m/s με ριπές 31.9 m/s στην περιοχή του αεροδρομίου, στην Μίκρα Θεσσαλονίκης. Η τιμή αυτή είναι 8 φορές μεγαλύτερη από τη μέση τιμή των 3.3 m/s (Angouridakis et al, 1981) των παρατηρούμενων βορειοδυτικών ανέμων στη Θεσσαλονίκη. Το γεγονός μάλιστα, ότι εκδηλώθηκαν σε μια περιοχή ζωτικής σημασίας για την κοινωνία αποτέλεσε ένα σημαντικό κίνητρο για τη μελέτη του εν λόγω έντονου φαινομένου και την ανάγκη έγκαιρης και έγκυρης πρόγνωσης. Αυτή πιθανώς να μην ήταν τόσο επιτυχής χωρίς την αποσαφήνιση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του με τη χρήση ενός ατμοσφαιρικού μοντέλου υψηλής ανάλυσης. Εκτός του αεροδρομίου, κατά την εκδήλωση ενός έντονου επεισοδίου Βαρδάρη, επηρεάζεται η καθημερινότητα των κατοίκων της δεύτερης μεγαλύτερης πόλης της Ελλάδας, αλλά και οι αγροτικές δραστηριότητες στην περιοχή του κάμπου της Κεντρικής Μακεδονίας.

Ειδικότερα, οι υψηλότερες τιμές ταχύτητας του ανέμου καταγράφηκαν στην περιοχή της εξόδου της ροής και όχι στο κέντρο της Κοιλάδας, όπως υποστηρίζεται από τη θεωρία Ventouri.

Αφού πραγματοποιήθηκαν πειράματα ευαισθησίας για την εύρεση της βέλτιστης χωρικής ανάλυσης του μοντέλου, επιλέχτηκε αυτή των 15 km για την D1 περιοχή , 5 km για την D2 περιοχή και 1 km για την περιοχή D3. Ειδικότερα, για την περιοχή εντός της πλεγματικής περιοχής D3, η ανάλυση του ενός χιλιομέτρου συνέβαλε σημαντικά στην αποσαφήνιση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της τοπογραφίας της Κεντρικής Μακεδονίας και ανέδειξε την τοπικότητα του φαινομένου.

Το μη-υδροστατικό ατμοσφαιρικό μοντέλο WRF παρουσίασε μία εικόνα για τα διάφορα πεδία, η οποία βρισκόταν σε πολύ καλή συμφωνία με τις παρατηρήσεις. Ειδικότερα, προσδιόρισε σε αρκετά καλό βαθμό τη θέση των βαρομετρικών συστημάτων στην επιφάνεια και την παρουσία και ακριβή θέση του αυλώνα στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa, ενώ στους 4 σταθμούς κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού προσδιόρισε σε ικανοποιητικό βαθμό το επεισόδιο Βαρδάρη, με μια μικρή υπερεκτίμηση στην ένταση και υποεκτίμηση στην διάρκεια του φαινομένου. Επίσης,

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

προσομοίωσε πολύ καλά τους ισχυρότερους ανέμους της τάξεως των 30 m/s με τη μορφή ενός αεροχειμάρρου μεταξύ 750-900 mb.

Τέλος, για τη διερεύνηση του ρόλου των ορεινών όγκων και της γενικότερης πολύπλοκης τοπογραφίας της ευρύτερης περιοχής της Κεντρικής Μακεδονίας εκτελέστηκε ένα αριθμητικό πείραμα. Με βάση τη δοκιμή ευαισθησίας που διεξήχθη και κατά την οποία μηδενίστηκε η τοπογραφία στο εσωτερικό πλέγμα D3, δηλαδή στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας, αποδείχτηκε ότι για το έντονο επεισόδιο Βαρδάρη της 10ης Νοεμβρίου ήταν καθοριστικής σημασίας η ροή συνοπτικής κλίμακας. Ωστόσο, τοπικοί γεωμορφολογικοί παράγοντες και κατά βάση ο καναλισμός εντός της κοιλάδας του Αξιού ήταν οι βασικές αιτίες για την εκδήλωση της μέγιστης έντασης του ανέμου. Ειδικότερα η τοπογραφία ενίσχυσε την ένταση του ανέμου κατά 4-7 m/s δηλαδή κατά ένα ποσοστό της τάξης του 25-44%. Όμως, η τοπογραφία θεωρείται επίσης ως βασική παράμετρος και για τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας, οι οποίες προσδίδουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στον άνεμο της Κεντρικής Μακεδονίας, τον Βαρδάρη.

Ειδικότερα, παρατηρήθηκε με τη μορφή ενός επιφανειακού χειμάρρου η εισροή ψυχρού ξηρού αέρα μέχρι περίπου και το ύψος του 1km. Ωστόσο,ο ακριβής μηχανισμός όμως, με βάση τον οποίο η τοπογραφία επιδρά σε αυτές τις παραμέτρους θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής επιστημονικής μελέτης.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

6.1 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η ιδιαίτερη τοπογραφία της Ελλάδας, με το πολύπλοκο ορεινό της ανάγλυφο, επηρεάζει την ταχύτητα των πνεόντων ανέμων, σε τέτοιο βαθμό μάλιστα που μπορεί να προκληθούν προβλήματα στις μετακινήσεις ή και διάφορες άλλες καταστροφές. Επομένως αποτελεί επιστημονική πρόκληση η περαιτέρω μελέτη των ατμοσφαιρικών συνθηκών που μπορούν να οδηγήσουν στην εκδήλωση των κατά τόπους προβλημάτων. Κρίνεται σκόπιμη λοιπόν, η κάλυψη της ευρύτερης περιοχής της Κεντρικής Μακεδονίας με ένα πυκνότερο δίκτυο επίγειων μετεωρολογικών σταθμών, τα δεδομένα των οποίων θα συμπληρώσουν τα αντίστοιχα των υπαρχόντων σταθμών. Με τον τρόπο αυτό, θα δημιουργηθεί μία σημαντική και αξιόπιστη βάση δεδομένων για την ευρύτερη περιοχή.

Η χρήση του μη-υδροστατικού ατμοσφαιρικού μοντέλου WRF-ARW, όπως διαπιστώθηκε στην παρούσα διατριβή, προσομοίωσε σε πολύ καλό βαθμό το εν λόγω επεισόδιο Βαρδάρη. Ωστόσο, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν αφενός μια μικρή υπερεκτίμηση ως προς την ένταση του φαινομένου και αφετέρου η χρονική υποεκτίμησή του. Η μελέτη ενός άλλου έντονου επεισοδίου Βαρδάρη μετά το 2007 (για να είναι διαθέσιμες οι παρατηρήσεις των επίγειων σταθμών εντός της Κοιλάδας) θα μπορούσε να επιβεβαιώσει (ή όχι) τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ενός επεισοδίου Βαρδάρη. Επίσης θα ήταν ένας τρόπος να ελεγχθεί και η αξιοπιστία του μοντέλου και η δυνατότητά του να προσομοιώσει με ακρίβεια έντονα καιρικά φαινόμενα.

Η δοκιμή ευαισθησίας που διεξήχθη επιβεβαίωσε το ρόλο που διαδραματίζει η τοπογραφία μίας περιοχής στην τροποποίηση της ροής του ανέμου. Επομένως, θα ήταν σκόπιμο να γίνουν περαιτέρω αριθμητικά πειράματα τέτοιας φιλοσοφίας, όπως για παράδειγμα η ενίσχυση αυτή τη φορά της υπάρχουσας ορεογραφίας η εξάλειψη των βορειότερων θαλάσσιων περιοχών του Θερμαϊκού Κόλπου και αντικατάστασή τους με αντίστοιχες ηπειρωτικές περιοχές.

Μία άλλη προοπτική για μελλοντική μελέτη, θα ήταν η αξιολόγηση της δυνατότητας του Βαρδάρη, να απομακρύνει τους ρύπους και άλλα αιωρούμενα σωματίδια πάνω από την πόλη της Θεσσαλονίκης. Έτσι, θα μπορούσε να συνδεθεί το ανεμολογικό πεδίο με το αντίστοιχο πεδίο της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Τα ευρήματα της παρούσας διατριβής ενίσχυσαν την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των κυμάτων εγκλωβισμού λόγω ορεογραφίας (trapped mountain waves). Ειδικότερα, όπως έδειξε και το πείραμα ευαισθησίας χωρίς τοπογραφία, οι διάφορες μετεωρολογικές παράμετροι και ιδιαίτερα αυτή της υγρασίας, επηρεάζονται από την τοπογραφία. Απαιτείται λοιπόν, περαιτέρω επιστημονική έρευνα, σχετικά με τον μηχανισμό γένεσης του ξηρού αέρα.

Τέλος, δεδομένης της επίδρασης που είχε το εν λόγω φαινόμενο στην περιοχή του αεροδρομίου, θα μπορούσαν να μελετηθούν τρόποι προστασίας αυτού. Οι τρόποι αυτοί θα μπορούσαν να είναι είτε φυσικοί (π.χ δενδροφύτεψη βορειότερα του αεροδρομίου για αύξηση της τραχύτητας), είτε τεχνητοί (π.χ τεχνικά έργα προστασίας του αεροδρομίου από τους θυελλώδεις βορειοδυτικούς ανέμους). Η ανάλυση μέσω προσομοιώσεων του αποτελέσματος που θα προέκυπτε από τέτοιου είδους δράσεις, θα ήταν επίσης ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, τόσο από επιστημονικής πλευράς όσο και για την αξιολόγηση των παραπάνω μηχανισμών προστασίας από τον άνεμο.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται ένας τοπικός άνεμος που πνέει στην ευρύτερη περιοχή της κοιλάδας του Αξιού, ο Βαρδάρης. Αυτός ο άνεμος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις καιρικές συνθήκες της εν λόγω περιοχής, καθώς και την τοπική κοινωνία, παρέχοντας έτσι ένα σημαντικό κίνητρο για τη μελέτη των χαρακτηριστικών του. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η συνοπτική και μέσης κλίμακας ανάλυση ενός έντονου επεισοδίου Βαρδάρη που εμφανίστηκε στις 10-11 Νοεμβρίου 2007 και προκάλεσε εκτεταμένα προβλήματα. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα επιφανείας, συμπεριλαμβάνοντας 4 μετεωρολογικούς σταθμούς σε επιλεγμένες θέσεις κατά μήκος της κοιλάδας του Αξιού ποταμού (Εύζωνοι, Αξιούπολη, Ακροπόταμος και Κύμινα), ραδιοβολίσεις, πλεγματικά δεδομένα του ECMWF, αναλύσεις του UKMO και κυρίως το μη-υδροστατικό αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού WRF-ARW. Είναι η πρώτη φορά που ένα πολύ υψηλής ανάλυσης αριθμητικό μοντέλο, μαζί με κατάλληλες μετρήσεις κατά μήκος του Αξιού, συνδυάζονται για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών του Βαρδάρη. Η ανάλυσή τους υπέδειξε ότι τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά λαμβάνοντας ως χωρική ανάλυση αυτήν του 1km. Το επεισόδιο σχετίστηκε με το συνδυασμό μίας βαθιάς ύφεσης που επηρέασε τη Βόρεια Ελλάδα και ενός εκτεταμένου αντικυκλώνα στη Δυτική Ευρώπη. Οι μέγιστες τιμές ταχύτητας παρατηρήθηκαν κατά μήκος της Κοιλάδας του Αξιού αγγίζοντας τα 20.5 m/s με ριπές 28.2 m/s στο σταθμό των Ευζώνων και στις ακτές του Θερμαϊκού Κόλπου, όπου έφθασαν τα 24 m/s με ριπές 31.9 m/s. Το αριθμητικό μοντέλο WRF προσομοίωσε σε πολύ καλό βαθμό το επεισόδιο Βαρδάρη και ειδικότερα τους ισχυρότερους ανέμους, της τάξης των 30-35m/s, μεταξύ του στρώματος 750-900 hPa, με τη μορφή ενός αεροχειμάρρου. Τέλος, διερευνάται η σημασία των τοπογραφικών χαρακτηριστικών της ευρύτερης περιοχής μελέτης στην ανάπτυξη και εξέλιξη του συγκεκριμένου επεισοδίου μέσω αριθμητικού πειράματος. Αποδείχτηκε ότι η εμφάνιση του επεισοδίου Βαρδάρη σχετίζεται με τη ροή συνοπτικής κλίμακας, αλλά η μέγιστη ένταση του καθορίζεται από την ιδιαίτερη τοπογραφία της περιοχής.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ABSTRACT

The local wind “Vardaris” that blows in the area of Axios valley in northern Greece is studied here. This wind may exert a significant influence to the meteorological conditions of this region as well as to the local community, providing a strong motivation to study its characteristics. This work presents a synoptic and mesoscale analysis of an intense episode of Vardaris, which caused widespread problems, on 10-11 November 2007. The study is based on surface observations, including 4 meteorological stations at selected locations along Axios river (Evzonoi, Axioupoli, Akropotamos, and Kymina), upper air data, ECMWF gridded analyses, UKMO analyses and mainly the non-hydrostatic numerical Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) model. It is the first time that a very high resolution numerical model, along with suitable observations along the valley of Axios, are combined to investigate the characteristics of this phenomenon. Analysis indicated that the model results were in good agreement with observations, using a horizontal resolution of 1km. The episode was associated with the combination of a transient depression over Greece and an anticyclone in Western Europe. The maximum wind speeds of the Vardaris wind episode that occurred on 10 November 2007 were recorded along Axios valey (20.5 m/s with gusts up to 28.2 m/s) and at the southern coast of Thermaikos Gulf (24 m/s with gusts up to 31.9 m/s). WRF model represented the episode in good agreement with observations and simulated the strongest winds, in excess of 30-35 m/s, between 750-900 hPa in the form of a jet streak. Finally, the importance of the topographic characteristics of the greater area of interest for the development and evolution of the episode is investigated through a numerical experiment. It was shown that the occurrence of the episode was determined by the synoptic flow, but its maximum intensity was specified by the local conditions due to channeling in Axios valley.

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aanensen C., 1965: Gales in Yorkshire in February 1962, Geophys.Mem., 14, 1-44

Adcroft, A., Hill C., Campin J.-M., Marshall J., and Heimbach P., 2004: Overview of the formulation and numerics of the MITgcm, in Proceedings of the ECMWF seminar series on Numerical Methods, Recent developments in numerical methods for atmosphere and ocean modelling, pp. 139-149. ECMWF.

Ahrens D., 2009: Meteorology Today : an introduction to weather, climate and the environment, Ninth Edition – BROOKS / COLE CENGAGE Learning, 621 pp.

Angouridakis Vl. , Bαlafoutis Ch. and Maheras P., 1981: Les Vents de Nord-ouest, et "Vardaris" a Thessalonique. Essai statistique. Eaux et Climats. Melanges offerts en homage a Ch.PEGUY. p.p.85-95, Grenoble

Arakawa S., 1969: Climatological and dynamical studies on the local strong winds, mainly in Hokkaido, Japan, Geophys. Mag., 34, 359-425

Atkinson B.W., 1981: Meso-scale atmospheric circulation. London: Academic Press Incorporated, 1981, 469 pp.

.

Arseni-Papadimitriou A. and Macheras P., 1985: The influence of the wind Vardaris to the diurnal variation of the meteorological elements in the area of Thessaloniki , Thessaloniki 1985

Barry G.R., 2008: Mountain Weather and Climate. Boulder, 3rd edition, Cambridge University Press, 72-102

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Bell G.D., Lance F. Bosart, 1988: Appalachian Cold-Air Damming. Mon. Wea. Rev., 116, 137–161

Blackburn M., 2008: Atmospheric teleconnections and Climate Change, National Cenre for Atmospheric Science, University of Reading, May 2008

Broad A.S., 2002: Momentum flux due to trapped lee waves forced by mountains, Q .J. R. Meteor. Soc., 128, 2167-2173

Chen, F. and Dudhia J., 2001: Coupling an advanced land-surface/ hydrology model with the Penn State/ NCAR MM5 modeling system. Part I: Model description and implementation. Mon. Wea. Rev., 129, 569-585.

Colle, B.A., and Mass C.F., 1995: Structural evolution of northerly cold surges along the eastern side of the Rocky Mountains. Mon. Wea. *Rev.*, 123,2577-2610

Colle B.A., and Mass C.F., 2000: The 5-9 February 1996 flooding event over the Pacific Northwest: sensitivity studies and evaluation of the MM5 precipitation forecasts. Mon. Wea. Rev, 128, 593-617.

Czyzyk S. and Bell C., 2007: Forecast challenges and impacts of severe downslope wind events, The 22nd Conference on weather analysis and forecasting

Diandong R. and Ming Xue, Ann Henderson-Sellers, 2004: Incorporating Hydraulic Lift into a Land Surface Model and Its Effects on Surface Soil Moisture Prediction. J. Hydrometeor, 5, 1181–1191.

Durran D.R., 1986: Another Look at Downslope Windstorms. Part I: The Development of Analogs to Supercritical Flow in an Infinitely Deep, Continuously Stratified Fluid. J. Atmos. Sci., **43**, 2527–2543.

Durran D.R., 1990: Mountain Waves and Downslope Winds. In Atmospheric Processes over Complex Terrain. Meteorological Monographs, Vol 23, No. 45, 59

Durran D.R., Maric T., Banta R.M., Darby L.S., and Hardesty R.M., 2003: A comparison of ground-based Doppler lidar and airborne in situ wind observations above complex terrain. *Q. J. R. Meteor. Soc.*, **129,**693-713

Ferrier B.S., Jin Y., Lin Y., Black T., Rogers E. and DiMego G., 2002: Implementation of a new grid-scale cloud and precipitation scheme in the NCEP Eta model. Preprints, 15th Conf. on Numerical Weather Prediction, San Antonio , TX, Amer.Meteor. Soc., 280-283

Guenard L., Drobinski J.L. Caccia1 G., Tedeschi1 and Currier P., 2005: An observational study of the mesoscale mistral dynamics, Boundary-Layer Meteorology 263-288

Hann, J., 1866: Zur Frage über den Ursprung des Föhn. – Zeitschrift der. österreichissen. Gesellschaft fuer Meteorologie 1, 257-263

Holets S., 1994: Meteorological summaries of the ozone episodes for the SJVAQS/ AUSPEX. In-house report , Pacific Gas and Electric, 205 pp.

Holton J.R. and Hakim G.J., 2013: An Introduction to Dynamic Meteorology, 5th Edition. Academic Press., 532 pp, 298-299

Hooker J.T., 2011: Εισαγωγή στη Γραμμική Β, MIET, σελ.246

Iacono W.G., Malone S.M. & McGue M. 2008: Behavioral disinhibition and the development of early-onset addiction: Common and specific influences. Annual Review of Clinical Psychology, 4, 325-348.

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., Gerrity J.P. Jr. and Nickovic S., 2001: An Alternative Approach to Nonhydrostatic Modeling. Mon. Wea. Rev., 129, 1164-1178

Katsafados P. (2003), Factors and parameterizations contributing the medium range forecast skill of limited area models, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Αθηνών

Katsafados P., Papadopoulos A., Mavromatidis E. and Gkikas N., 2011: "Quantitative verification statistics of WRF predictions over the Mediterranean region". 12 th Annual WRF Users' Event, 20-24 June 2011, Boulder CO, USA, 1-3

Keller T. L., 1994: Implications of the hydrostatic assumption on atmospheric gravity waves. *J. Atmos. Sci.*, 51, 1915–1929

Kimura Y., Niimi K., 2004: Verification of the guidance during the period of Typhoon Songda, 13-15

Klemp J.B. and Lilly D.K., 1975: The dynamics of wave-induced downslope winds. J., Atmos. Sci., 32, 320-339

Klemp J.B. and Durran D.R., 1987: Numerical modelling of bora winds. Meteorol. , Atmos. Phys., 36, 215-227.

Koletsis I., Lagouvardos K., Kotroni V., Bartzokas A., 2009: Numerical study of a downslope windstorm in Northwestern Greece, Atmospheric Research

Lagouvardos K., Kotroni V. and Kallos G., 1998: "An extreme cold surge over the Greek Peninsula". Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 124, 2299-2328.

Lilly D.K., 1983: Stratified Turbulence and the Mesoscale Variability of the Atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 40, 749–761

Lioki-Livada Tselepidaki H., 1979: Snowfalls in Greece, Ph.D. Thesis, University of Athens 11, 116, p.209

Lutgens F.K. & Tarbuck E.J., 1979: The atmosphere: An introduction to meteorology. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jeresey

Maheras P., Flokas A., Karakostas Th., 1984: La structure de la basse troposphere pendant le vent “Vardaris” a thessalonique , Zbornik 10, pp.241-243

Maheras P., 1985: A factorial analysis in Mediterranean precipitation. Archives of Meteorological and Geophysical Bioclimatology, Series B 36: 1–14.

Maheras,P., Patrikas I., Karakostas Th. and Anagnostopoulou Chr., 2000: «Automatic classification of circulation types in Greece: methodology, description, frequency, variability and trend analysis”, Theor. Appl.Climatol.67, 205-223

Marquet P. and Geleyn J.F., 2012: On a general definition of the squared Brunt–Väisälä frequency associated with the specific moist entropy potential temperature, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2-3

Metaxas DA., 1978: Evidence on the importance of diabatic heating as divergence factor in the Mediterranean. Archiv fuer Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie Serie A 27: 69–80

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

Milawer E.J., Taubman S.J., Brown P.D., Iacono M.J. and Clough S.A., 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM , a validated correlated-k model for the longwave. J. Geophys. Res., 102, 16,663-16,682.

Mobbs S.D., Vosper S., Sheridan P., Cardoso R., Burton S., Arnold S., Hill M., Horlacher V., Gadian A., 2005: Observations of downslope winds and rotors in the Falkland Islands.Q.J.R. Met.Soc., 131, 329-351

Monin A.S. and Obukhov A.M., 1954: Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere. Contrib. Geophys. Inst. Acad. Sci., USSR, (151), 163-187

Murray R. and Daniels S. M., 1953: Transverse flow at entrance and exit to jet stream. Quart J. Roy. Meteor. Soc., 79, 236 – 241.

Nakamura H., Murakami T., 1983: Orographic effects on cold surges and lee cyclogenesis as revealed by a numerical experiment, J. Meteorol. Soc., Japan ,61, 524-546

Ohsawa T., Kozai K., Shimada S., Takeyama Y., Hassager, Charlotte B., Badger, 2009 : Comparison of ENVISAT/ASAR-estimated Offhore Wind Resource Maps around Shirahama with those from Mesoscale models MM5and WRF, European Offshore Wind Conference 2009, 5-7

Overland J. E., 1984: Scale analysis of marine winds in straits and along mountainous coasts Monthly Weather Review, 112, 2530-2534.

Prezerakos N. and Angouridakis V., 1984: Synoptic consideration of snowfall in Athens, J. Climatol., 4, 269–285

Queney P. et al., 1960: The airflow over mountains, W.M.O. Tech. Note, No. 34, Geneva

Reed T. R., 1931: Gap winds of the Strait of Juan de Fuca. Mon.Wea. Rev., 59, 373–376

Roux L., Hanert V., Rostand V., Pouillot B., 2009: Impact of mass lumping on gravity and Rossby waves in 2D finite-elemet shallow-water models, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 59, 767-790

Sawyer J. S., 1956: The vertical circulation at meteorological fronts and its relation to frontogenesis. Proc. Roy. Soc., A234, 246 – 262.

Scorer R.S., 1949: Theory of waves in the lee of mountains. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 75, 41-56

Scorer R.S, 1967: Causes and Consequences of standing waves, in: Proceedings of the Symposium on Mountain Meteorology, Colorado (1967),p.75-101

Schultz D.M., Bracken W.E., Bosart L.F., Hakim G.J., Bedrick M.A., Dickinson M.J., and Tyle K.R., 1997: The 1993 Superstorm cold surge: Frontal structure, gap flow, and tropical impact.Mon. Wea. Rev., 125, 5-39

Sharp J. and Mass C.F., 2002: Columbia Gorge Gap Flow: Insights from Observational Analysis and Ultra-High Resolution Simulation. Bulletin of the American Meteorological Society: Vol. 83, pp. 1757–1762.

Sharp J., and Mass C.F., 2004: Columbia Gorge Gap Winds: Their Climatological Influence and Synoptic Evolution. Wea. Forecasting, 19, 970-992

Sheridan P.F., Horlacher V., Rooney G.G., Hignett P., Mobbs S.D., Vosper S.B., 2007: Influence of lee waves on the near-surface flow downwindof the Pennines. Q. J. R. Meteorol. Soc. 133: 1353–1369

Shimada T., 2010: Structures and seasonal variations of surface winds blowing through the Tsushima Strait, 49, 1714-1727

Shimada T., Ohsawa T., 2010: investigation of causes of inaccurate wind speeds in WRF simulation for an offshore site in Japan, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 6-7

Skamarock, W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M.,. Duda M.G, Huang X.Y., Wang W. and Powers J.G., 2008: A description of the Advanced Research WRF Version 3.NCAR/TN-475+STR, 113 pp.

Smith RB. 1979: Some Aspects of the quasi-geostrophic flow over mountains.Journal of the Atmospheric Sciences 36 (12): 2385-2393

Tafel, 1837: De Bardaris et de gent Bardariotarum, Rhein, Museum, VOL5, p.187

Tsopouridis L., Pytharoulis I., Karacostas T., Zanis P., Tegoulias I., 2012: Numerical Study Of An Intense Episode Of Vardaris Wind. Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, Springer Atmospheric Sciences, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg 2012, 328-329

Vialar J., 1948: *Les vents régionaux et locaux*, 1948, republished by Meteo-France in 2003

Wang W., Bruyère C., Duda M., Dudhia J., Gill D., Lin H.C., Michalakes J., Rizvi S., and Zhang X., 2010: ARW Version 3 Modelling System's User Guide. NCAR-MMM, 352 pp.

Wallace J.M. and Hobbs P.V., 1977: Atmospheric Science. An Introductory Survey, Academic Press. , New York, 467pp.

Wilks D. S., 1995: Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction, Academic Press, 199-210

Whiteman C.D., 2000: Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications. Oxford University Press, New York, 355pp.

Wurtele M.G., 1996: Atmospheric Lee Waves, Annual Reviews of Fluid Mechanics, Vol 28, 429-476

Yoshino M.M. 1976a: Die Bora in Jugoslawien: eine synoptische-klimatologische Betrachtung Ann. Meteor., 5, 117--121. - In: Yoshino, M. M. (edt.): Local wind Bora.- University of Tokyo press, 75- 82, Tokyo

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ζάνης Π., 2006: Σημειώσεις μαθήματος Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης, Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον», Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ζάνης Π., 2012: Σημειώσεις μαθήματος Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος, Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον», Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Καρακώστας Θ., 2008: Σημειώσεις μαθήματος Συνοπτικής και Δυναμικής Μετεωρολογίας, Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον», Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Κωλέτσης 2010: Μελέτη Θυελλωδών ανέμων σε περιοχές της Ελλάδας με έντονο ορεινό ανάγλυφο, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Φυσικής, Τομέας Αστρογεωφυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Μακρογιάννης Τ., Σαχσαμάνογλου Χ., 2004: Μαθήματα γενικής μετεωρολογίας, Εκδόσεις Χάρις , Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Μαχαίρας Π., 1982: Συνοπτικές Καταστάσεις και Πολυδιάστατη ανάλυση του καιρού στη Θεσσαλονίκη. Μονογραφία, Δημοσίευση αριθμός 15, Εργαστήριο Κλιματολογίας Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ.185

02/19/2015 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Μπαλαφούτης Χ., Μαχαίρας Π., 1985: Μαθήματα γενικής κλιματολογίας με στοιχεία βιοκλιματολογίας, Εκδόσεις Γιαχούδη, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 276 pp.

Πυθαρούλης Ι., Παπαγεωργίου Ι., 2006: Περιγραφή των προϊόντων του ντετερμινιστικού μοντέλου και του συστήματος στοχαστικών προγνώσεων του Ευρωπαϊκού κέντρου μεσοπρόθεσμων προγνώσεων καιρού , Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ)

Ψαρρή Λ., 2005: Ο τοπικός άνεμος της Θεσσαλονίκης, Βαρδάρης - Μια προσέγγιση του προβλήματος με κλασσικές μεθόδους και με τη χρήση των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων , Διατριβή ειδίκευσης , Θεσσαλονίκη, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης