



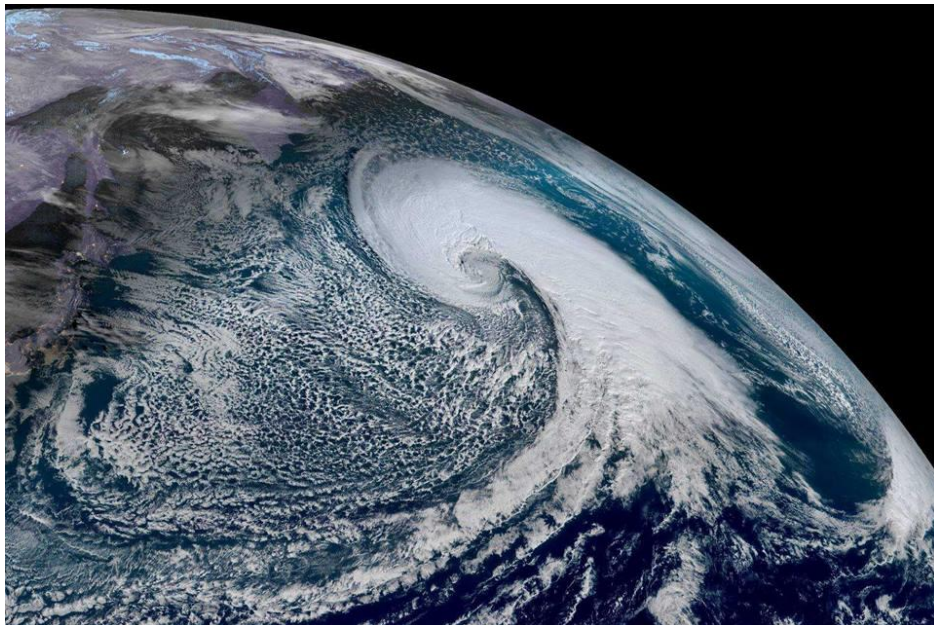
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΝΙΚΟΛΑΟΣ Κ. ΚΟΥΠΙΔΗΣ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΝΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΙΑΣ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΓΕΝΕΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2019





ΝΙΚΟΛΑΟΣ Κ. ΚΟΥΠΙΔΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 4892

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΝΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ
ΕΚΡΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΓΕΝΕΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπων

Πυθαρούλης Ιωάννης
Αναπληρωτής Καθηγητής



© Νικόλαος Κ. Κουπίδης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΓΝΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΓΕΝΕΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ – *Διπλωματική Εργασία*

© Nikolaos K. Koupidis, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology, 2019

All rights reserved.

Synoptic study and predictability of an explosive cyclogenesis event in the Mediterranean sea – *Bachelor Thesis*

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.

Εικόνα Εξωφύλλου: Εκρηκτικός κυκλώνας στο ΒΔ Ειρηνικό ωκεανό στις 10/1/2019, που βάθυνε 58 hPa μέσα σε 24 h. Εικόνα από δορυφόρο Himawari- 8 (πηγή: watchers.news)



• ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί κομμάτι του προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας, της σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, για την απόκτηση του πτυχίου μου. Η επίβλεψη έγινε από τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Πυθαρούλη Ιωάννη, τον οποίο επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμότατα, τόσο για την επιστημονική συμβολή του, όσο και για την υποστήριξη που μου παρείχε. Η παρουσία του ήταν σημαντική για την τεχνική και επιστημονική κατάρτισή μου, και η συνεργασία μαζί του ήταν άριστη. Τα εύστοχα σχόλια και οι παρατηρήσεις του ήταν καίριες για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας, αλλά και των σπουδών μου γενικότερα. Επίσης ευχαριστώ όλους τους καθηγητές του τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. και ειδικά του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας για την αφοσίωση που δείχνουν στη μετάδοση εμπειριστατωμένης γνώσης στους φοιτητές και στην εισαγωγή τους στον κόσμο των θετικών επιστημών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένειά μου και ειδικότερα τον αδερφό μου Κλεάνθη, για την συνεχή ψυχολογική και οικονομική συμπαράσταση που μου προσέφεραν ώστε να ολοκληρώσω τις σπουδές μου στην αγαπημένη μου επιστήμη. Ελπίζω να δικαιώνονται και οι δικοί τους κόποι, και να είναι βέβαιοι ότι με όλη αυτή την προσφορά τους υπάρχουν οι βάσεις για ακόμα μεγαλύτερες επιτυχίες.

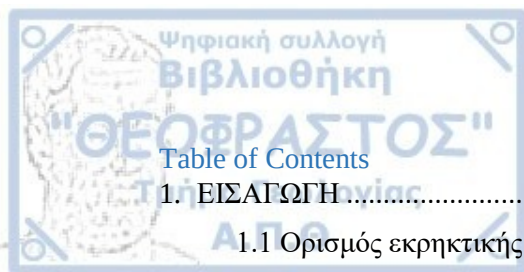


Table of Contents

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Ορισμός εκρηκτικής κυκλογένεσης.....	12
1.2 Γεωγραφικοί παράγοντες εμφάνισης μιας μετεωρολογικής «βόμβας»	14
1.3 Συνοπτικοί και δυναμικοί παράγοντες εμφάνισης μιας μετεωρολογικής «βόμβας».....	16
1.4 Φυσικές διαδικασίες που συμβάλλουν στη δημιουργία μιας μετεωρολογικής «βόμβας»	19
1.5 Θεωρίες σχηματισμού εκρηκτικών κυκλώνων	20
1.6 Προηγούμενες Περιπτώσεις.....	21
1.7 Προγνωσιμότητα εκρηκτικών κυκλώνων	28
1.8 Σκοπός της Εργασίας	29
2. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ- ΔΕΔΟΜΕΝΑ	30
2.1 Γενικά.....	30
2.2 Το μοντέλο GFS (Global Forecast System).....	31
2.3 Λογισμικό GrADS	32
3. Συνοπτική και Δυναμική Ανάλυση Επεισοδίου 6/2/2012.....	33
3.1 Θέση Κέντρου Χαμηλού.....	33
3.2 Ανάλυση Πίεσης Μέσης Στάθμης Θάλασσας	35
3.3 Ελάχιστη Πίεση Μέσης Στάθμης Θάλασσας.....	37
3.4 Ρυθμός Βάθυνσης	39
3.5 Ανάλυση Επιφανειακού Ανέμου (10m).....	41
3.6 Ανάλυση Γεωδυναμικού ύψους και Θερμοκρασίας στα 500 hPa	43
3.7 Ανάλυση Γεωδυναμικού ύψους και Θερμοκρασίας στα 850 hPa	45
3.8 Ανάλυση Σχετικού Στροβιλισμού.....	47
3.9 Ανάλυση Ύψους Τροπόπαυσης.....	49
3.10 Ανάλυση Αεροχειμάρρου στα 300 hPa.....	51
4. Προγνωσιμότητα της «Βόμβας» από 30/1 έως 6/2	54
4.1 Πρόγνωση Θέσης Κέντρου Χαμηλού.....	54
4.2 Σφάλμα Θέσης	59
4.3 Πρόγνωση Πίεσης Μέσης Στάθμης Θάλασσας.....	63
4.4 Πρόγνωση Ελάχιστης Πίεσης Μέσης Στάθμης Θάλασσας	68
4.5 Πρόγνωση Ρυθμού Βάθυνσης.....	72
4.6 Πρόγνωση Αεροχειμάρρου στα 300 hPa	77
4.7 Πρόγνωση Απόκλισης Ανέμου στα 300 hPa	79
4.8 Πρόγνωση Θερμοκρασίας και Γεωδυναμικού Ύψους 850 hPa.....	82
4.9 Πρόγνωση Γεωδυναμικού ύψους Δυναμικής Τροπόπαυσης	85
5. Συμπεράσματα.....	88

Σε αυτή την εργασία μελετάται μία περίπτωση εκρηκτικής κυκλογένεσης, ή «μετεωρολογικής βόμβας», που εμφανίσθηκε στην Κεντρική Μεσόγειο το Φεβρουάριο 2012 και επηρέασε την Ελλάδα, κάνοντας χρήση κυρίως των αναλύσεων και προγνώσεων του παγκόσμιου αριθμητικού μοντέλου GFS/NCEP. Η ελάχιστη πίεση του κυκλώνα βάθυνε με ρυθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 1 bergeron για σχεδόν 24 ώρες και μέγιστη τιμή τα 2,4 Bergeron στο διάστημα 06-12 UTC 6/2/2012. Η ελάχιστη πίεση του συστήματος σύμφωνα με τις αναλύσεις του μοντέλου GFS έφτασε τα 981 hPa στις 18 UTC 6/2/2012, ενώ η ελάχιστη παρατηρούμενη πίεση (978,4 hPa) καταγράφηκε στο σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στη Ζάκυνθο στις 02:30 UTC 7/2/2012.

Η ύφεση ξεκίνησε από την περιοχή της Λιβύης, έπειτα εισήλθε στη Μεσόγειο στις 6/2 00 UTC, ξεκινώντας την εκρηκτική της βάθυνση, και στη συνέχεια κινήθηκε στο Ιόνιο πέλαγος όπου συνέχισε να αναπτύσσεται μέχρι τις 18 UTC 6/2/2012. Στη συνοπτική ανάλυση του φαινομένου, αναλύθηκαν βασικές μετεωρολογικές παράμετροι, όπως η πίεση στη Μέση Στάθμη Θάλασσας, το ύψος της τροπόπαυσης, το γεωδυναμικό ύψος και η θερμοκρασία στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα (850 και 500 hPa, αντίστοιχα), ο επιφανειακός άνεμος, η θέση και οι ταχύτητες του αεροχειμάρρου, έτσι ώστε να περιγραφεί το φαινόμενο και να διερευνηθούν οι παράγοντες που έπαιξαν ρόλο στο σχηματισμό του εκρηκτικού κυκλώνα.

Στη συνέχεια μελετήθηκαν οι προγνώσεις του παγκόσμιου μοντέλου GFS που αρχικοποιήθηκαν από τις 30/1 έως τις 5/2. Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκε η θέση της ύφεσης και το προγνωστικό της σφάλμα, η πίεση στη μέση στάθμη θάλασσας με τις ελάχιστες τιμές της και το ρυθμό βάθυνσής της, η θέση του αεροχειμάρρου και η απόκλιση που δημιουργεί στην ανώτερη τροπόσφαιρα, η θερμοκρασία στην κατώτερη τροπόσφαιρα και το ύψος της δυναμικής τροπόπαυσης. Για όλες αυτές τις παραμέτρους αναλύθηκε πώς και πόσο μπορεί να επηρεάσουν την εξέλιξη ενός κυκλώνα και κατά πόσο ήταν σωστές στις προβλέψεις τους για τη συγκεκριμένη περίπτωση, σε σχέση με τις αναλύσεις του GFS. Επίσης γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν, ενώ παράλληλα ελέγχεται η αξιοπιστία των προγνώσεων, απ' όπου προκύπτουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα ειδικά όσον αφορά τη χρονική απόσταση της πρόγνωσης με την ημέρα παρατήρησης.

ABSTRACT

In this work, we study a specific case of explosive cyclogenesis, or else a “meteo bomb”, which occurred in the central Mediterranean in February 2012 and influenced Greece, mostly by the use of analysis and forecasts of the global numerical weather prediction system GFS/NCEP. The minimum mean sea-level pressure of the cyclone deepened with a rate bigger than 1 Bergeron for approximately 24 hours and a maximum of 2,4 Bergeron between 06-12 UTC 6/2/2012. The minimum pressure of GFS analyses was 981 hPa at 18 UTC 6/2/2012, while the minimum observed pressure (978,4 hPa) was recorded by National Observatory of Athens at Zakynthos at 02:30 UTC 7/2/2012.

The cyclone appeared in Libyan territory and entered the Mediterranean sea on 6/2 00 UTC, starting its explosive deepening. It moved over Ionian Sea where it continued its growth until 18 UTC 6/2/2012. In the synoptic analysis of the phenomenon, basic meteorological parameters have been analyzed (the mean sea-level pressure, the tropopause height, the geopotential height and the temperature in the lower and middle troposphere (850 and 500 hPa, respectively), the surface wind, the position and velocity of the jet stream), in order to describe the lifecycle of the cyclone and explore the factors that took part in the explosive cyclogenesis.

Furthermore, forecasts of the global GFS model were studied. These were initialized from 30/1/12 to 5/2/12 at 12 UTC. Specifically, the location of the cyclone and its error, the Mean Sea Level Pressure with its minimum values and deepening rate, the jet stream’s position and the divergence it forces to the upper troposphere, the temperature in the lower troposphere and the height of the dynamic tropopause were studied. All these parameters have been investigated in order to determine their importance in the evolution and predictability of the cyclone.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο καιρός είναι το σύνολο των μετεωρολογικών φαινομένων, όπως η βροχή, η χιονόπτωση και ο άνεμος, που επηρεάζουν την κατάσταση της ατμόσφαιρας σε μια συγκεκριμένη περιοχή και για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Τα φαινόμενα καθορίζονται, μεταξύ άλλων από την πίεση, την υγρασία και τη θερμοκρασία. Οι μηχανισμοί που κινούν τις διαδικασίες αυτές είναι: ο ήλιος με την ενέργεια που παρέχει, η γη με τη σύνθετη κίνησή της τόσο γύρω από τον εαυτό της όσο και γύρω από τον ήλιο, και η ατμόσφαιρα που λειτουργεί ως ρευστό.

Ο άνθρωπος από τα πρώτα στάδια της ύπαρξής του στη γη έμαθε ότι πρέπει να συμβιβάζεται με την ιδέα του καιρού και να το λαμβάνει πάντα υπόψιν, καθώς αν δεν το κάνει οι συνέπειες μπορεί να είναι ολέθριες ακόμα και για την ίδια του τη ζωή. Γι' αυτό και δημιουργήθηκε από νωρίς η ανάγκη για μελέτη και πρόγνωση του καιρού και των παραμέτρων αυτού. Χωρίς να υφίστανται καταγραφές, εικάζεται ότι ακόμα και ο Homo- Habilis, περίπου πριν 3,5 εκ. χρόνια, εφαρμόζει τέτοιο σκεπτικό, αφού για να επιβιώσει θα έπρεπε να διαλέξει κατάλληλες στιγμές για κυνήγι, ή για παραμονή στην οικία του (Λιβαδάς, 1976).

Ο Λιβαδάς (1988) στην εργασία ανασκόπησής του, παρουσίασε πολλές περιπτώσεις που δείχνουν τη σημασία του καιρού στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχαία Ελλάδα περί το 470 π.Χ., ο Ασκληπιός και οι γιατροί του που ήταν σε επαφή μαζί του, προσπάθησαν πρώτοι να συσχετίσουν τον καιρό με την υγεία των ανθρώπων, ασχολήθηκαν δηλαδή με τον κλάδο της Βιομετεωρολογίας, ή αλλιώς την Ιατρική Μετεωρολογία. Μάλιστα ο Ασκληπιός έγραψε και βιβλίο με τίτλο «Περί ανέμων, υδάτων και τόπων». Ο Αριστοτέλης ασχολείται επίσης με τη μελέτη καιρικών φαινομένων στα έργα του «Μετεωρολογικά», «Προβλήματα» και «Περί κόσμου προς Αλέξανδρον», και το παράδειγμά του ακολούθησαν πολλοί στη συνέχεια, όπως και ο Θεόφραστος. Χαρακτηριστικό για τη σημασία των καιρικών φαινομένων είναι ότι όλοι οι προηγμένοι πολιτισμοί μέχρι περίπου τα βυζαντινά χρόνια, απέδιδαν μετεωρολογικά φαινόμενα σε θεότητες, όπως στο ελληνικό δωδεκάθεο και το πάνθεον

της Ρώμης. Στην αρχαία ιστορία μια σημαντική παράβλεψη των καιρικών συνθηκών που οδήγησε σε καταστροφή συνέβη το 492 π.Χ., όπου μετά τη νικηφόρα εκστρατεία του Πέρση Μαρδόνιου στη Θράκη και τη Μακεδονία, ο περσικός στόλος ναυάγησε στο όρος Άθως λόγω τρικυμίας. Επίσης, ο Φίλιππος ο Β΄ της Μακεδονίας έδινε μεγάλη βαρύτητα στην επιρροή του καιρού επί των στρατιωτικών επιχειρήσεων του (στρατηγική μετεωρολογία), και αποτελεί έναν από τους λόγους που οι περισσότερες από αυτές στέφθηκαν με επιτυχία. Την επόμενη φορά που δόθηκε τόση σημασία στον καιρό για τη διαμόρφωση ενός πολεμικού πλάνου, ήταν στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο (ΠΠ), και αυτό λόγω των μεγάλων αποστάσεων που έπρεπε να διανύουν κυρίως τα πλοία και τα αεροπλάνα. Σε άλλη περίπτωση, όταν ο Ιούλιος Καίσαρας προσπάθησε να στείλει το στόλο του στη Βρετανία ώστε να πάρει εκδίκηση για τη βοήθεια των δευτέρων στους Γαλάτες που έκαναν συχνά επιδρομές, κινδύνευσε πολλές φορές με πανωλεθρία πριν καν φτάσει στις ακτές του εχθρού λόγω τρικυμιών. Μια ακόμα περίπτωση στρατιωτικής συντριβής εξαιτίας της ανεπαρκούς πρόγνωσης επικίνδυνων καιρικών φαινομένων ήταν και η καταιγίδα που έπληξε το γαλλικό στόλο στην Σεβαστούπολη κατά τον κριμαϊκό πόλεμο στις 14/11/1854, η οποία όμως αποτέλεσε την αιτία που όλες οι χώρες άρχισαν να ιδρύουν μετεωρολογικές υπηρεσίες προς αποφυγήν παρόμοιων γεγονότων (Λιβαδάς, 1976).

Η μετεωρολογία γνώρισε ακόμα μεγαλύτερη ακμή στη διάρκεια του Α΄, αλλά κυρίως του Β΄ ΠΠ λόγω της προηγμένης πλέον τεχνολογίας και των τεράστιων αποστάσεων που έπρεπε να διανύσουν με τα διαθέσιμα μέσα (Λιβαδάς, 1976). Μια από τις σημαντικότερες στιγμές ήταν τη Δευτέρα 5/6/1944 όπου το Ανώτατο Συμμαχικό Συμβούλιο υπό την προεδρία του στρατηγού Eisenhower, αποφάσισε μετά από γνωμοδότηση του μετεωρολογικού επιτελείου, να οργανώσει την απόβαση των συμμάχων στη Νορμανδία με μεγάλο ρίσκο, καθώς η γνωμοδότηση ανέφερε για μερικές ώρες καλοκαιρίας εν μέσω καταιγίδων και ισχυρών ανέμων. Η απόφαση αυτή ελήφθη μεταξύ άλλων και γιατί η εμπιστοσύνη στις έγκυρες για την εποχή μετεωρολογικές υπηρεσίες των Συμμάχων ήταν μεγάλη, αλλά και γιατί δεν θα ήταν εύκολο να χρονοτριβούν περισσότερο, δίνοντας χρόνο στις δυνάμεις του Άξονα να ανασυνταχθούν και να αντεπιτεθούν (Κυριαζόπουλος, 1988).

Εκτός όμως από τις πολεμικές επιχειρήσεις, ο καιρός χρειάζεται και για τις καθημερινές δραστηριότητες, όπως για τις περιόδους πλημμύρας του Νείλου από τα



αρχαία χρόνια, ώστε οι άνθρωποι να λάβουν τα μέτρα τους, αλλά και να ρυθμίσουν τη σοδειά τους από τα παρακείμενα χωράφια.

Επίσης διαχρονική χρήση του καιρού γίνεται στις μεταφορές και στις υπαίθριες δραστηριότητες, οι οποίες πρέπει να ρυθμίζονται ανάλογα για μεγαλύτερη ασφάλεια και αποτελεσματικότερη εμπειρία. Πολύ σημαντική είναι επίσης η πρόγνωση των επικίνδυνων φαινομένων που μπορεί να εκδηλωθούν και να απειλήσουν τη σωματική ακεραιότητα των ανθρώπων.

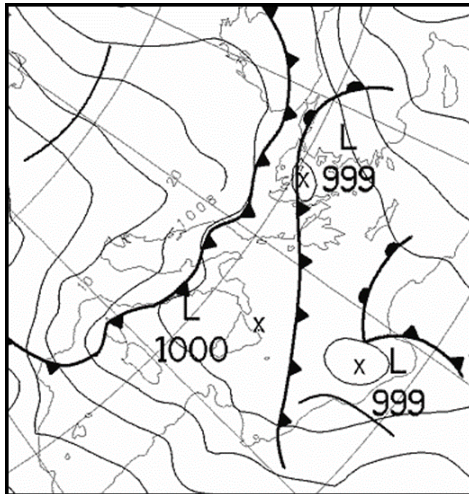
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΚΡΗΚΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΓΕΝΕΣΗΣ

Μετεωρολογικά, κάθε περιοχή χαρακτηρίζεται από την πίεση που έχει σε σχέση με τις γειτονικές της. Όταν η πίεση μειώνεται από την περιφέρεια προς το κέντρο ενός οργανωμένου μετεωρολογικού συστήματος, τότε σχηματίζεται ένα βαρομετρικό χαμηλό. Σε αυτό, οι άνεμοι κινούνται με αντίθετη κατεύθυνση από τους δείκτες του ρολογιού για το βόρειο ημισφαίριο, λόγω της δύναμης Coriolis, συγκλίνοντας προς το κέντρο του. Με τον όρο εκρηκτικό κυκλώνα εννοούμε το βαρομετρικό χαμηλό στο οποίο εντός ενός 24ώρου, για το γεωγραφικό πλάτος των 60° N, η κεντρική πίεση στο επίπεδο της μέσης στάθμης θάλασσας ελαττώνεται κατά 24 hPa, ή $1 \frac{hPa}{h}$ ή αλλιώς 1 Bergeron. (Sanders and Gyakum 1980). Τα αποτελέσματα της δράσης των εκρηκτικών κυκλώνων είναι η έντονη βροχόπτωση, ισχυροί άνεμοι, χιονοθύελλες κλπ. (σχήμα 1-1, 1-2).

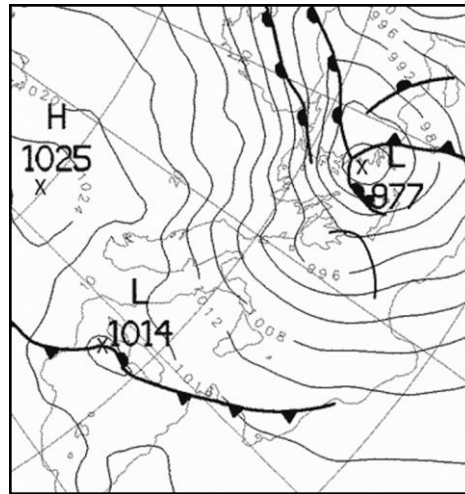
Όμως στην πραγματικότητα δεν είναι απαραίτητη η παρουσία όλων των χαρακτηριστικών αυτών, οπότε ο όρος εκρηκτικός κυκλώνας επικεντρώνεται στην απότομη ελάττωση της πίεσης του χαμηλού ανάλογα με το γεωγραφικό της πλάτος. Για το γεωγραφικό πλάτος ϕ , αυτή η ελάττωση πρέπει να είναι $24 \frac{\sin \phi}{\sin 60}$ για 24 ώρες. Αυτός ο ορισμός όμως χαρακτηρίστηκε από πολλούς αυστηρός καθώς μπορεί να υπάρξει απότομη βάθυνση της πίεσης ενός χαμηλού, για μικρότερη διάρκεια από τις 24 ώρες. Τέτοια περίπτωση μπορεί να συμβεί σε περιοχές που η γεωγραφία δεν επιτρέπει την πλήρη ανάπτυξη των παραγόντων που συμβάλλουν στη δημιουργία εκρηκτικού κυκλώνα, όπως η Μεσόγειος. Πολλοί εκρηκτικοί κυκλώνες μπορούν να εκδηλωθούν ακόμα και εντός 12 ωρών σύμφωνα με έρευνες των Gyakum and Barker, 1988; Kouroutzoglou et al., 2011; Maheras et al., 2001; Roebber, 1984; Rogers and Bosart, 1986; Sanders and Gyakum, 1980; Kouroutzoglou et al. (2011).

Με βάση τους Pettersen and Smebye (1971), οι κυκλογενέσεις χωρίζονται στις κατηγορίες τύπου Α και τύπου Β. Στην κατηγορία Α η ύφεση στη μέση στάθμη θάλασσας ενισχύεται λόγω θερμικής μεταφοράς, η κυκλογένεση ξεκινά από χαμηλά ενώ επίσης αρχικά δεν υπάρχει ανώτερος αυλώνας. Για την κατηγορία Β, υπάρχει ήδη στην ανώτερη ατμόσφαιρα σημαντική οριζόντια μεταφορά στροβιλισμού. Επίσης υπάρχει και ο μικτός τύπος, που περιλαμβάνει τις περισσότερες περιπτώσεις κυκλογένεσης που εμφανίζονται στη Μεσόγειο (όπως στο σχήμα 1-3), και έχουν όλα τα χαρακτηριστικά

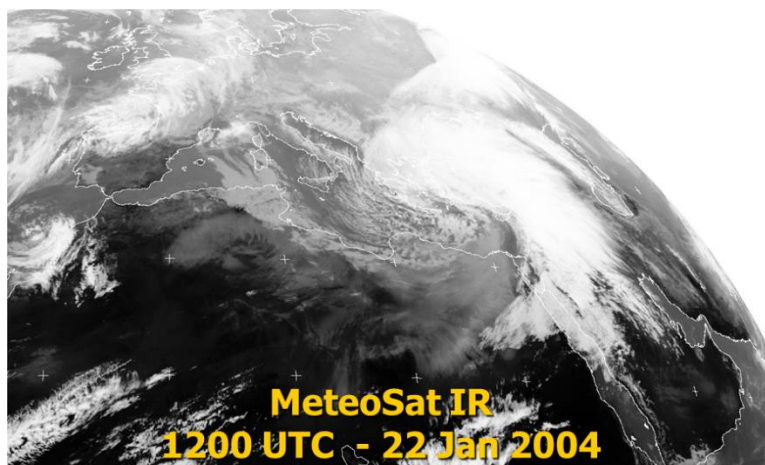
του τύπου B, εκτός του ότι η βαροκλινικότητα στα κατώτερα στρώματα είναι αρχικά αυξημένη (Πυθαρούλης 2010).



Σχήμα 1-1 Εκρηκτικός κυκλώνας στις 21/1/2004 12 UTC πάνω από τη Μεσόγειο, εικόνα από UKMO (πηγή: Πυθαρούλης 2018)



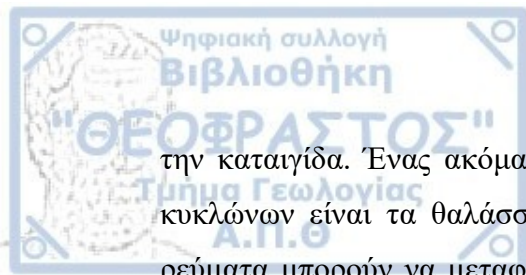
Σχήμα 1-2 Εκρηκτικός κυκλώνας στις 22/1/2004 12 UTC πάνω από τη Μεσόγειο, εικόνα από UKMO (πηγή: Πυθαρούλης 2018)



Σχήμα 1-3 Εκρηκτικός κυκλώνας πάνω από την Ελλάδα στις 22/1/2004 12 UTC, εικόνα από δορυφόρο Meteosat IR (πηγή: Πυθαρούλης 2018)

1.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ «ΒΟΜΒΑΣ»

Η μετεωρολογική «βόμβα» είναι φαινόμενο που συμβαίνει συνήθως σε θαλάσσιο περιβάλλον κατά τους χειμερινούς μήνες και σε γεωγραφικά πλάτη άνω των 30° . Οι περισσότερες περιπτώσεις φαίνεται να εμφανίζονται στον δυτικό Ατλαντικό και τον Ειρηνικό ωκεανό όπως προκύπτει από τους Sanders and Gyakum (1980). Επίσης, όπως υποστηρίζουν οι Lim and Simmonds (2002), οι «βόμβες» είναι πολύ συχνές σε όλο τον πλανήτη, αλλά συγκριτικά, το βόρειο ημισφαίριο εμφανίζει περισσότερες, κυρίως λόγω της κατανομής ξηράς- θάλασσας, πάντα με την επιφύλαξη της απαραίτητης παρουσίας οργάνων μέτρησης σε αντιπροσωπευτικές περιοχές της γης, ώστε να είναι ορθή η σύγκριση. Έπειτα από έρευνα από τους Yoshida and Asuma (2004), διαπιστώθηκε ότι ανεξαρτήτως του περιβάλλοντος δημιουργίας της «βόμβας», δηλαδή είτε πάνω από ξηρά, είτε πάνω από θάλασσα, η έξαρση του φαινομένου γίνεται πάντα πάνω από ωκεανό για πλάτη πάνω από 35° N. Επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στη δημιουργία τέτοιου φαινομένου παίζει και η γεωγραφία της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, πρώτο ρόλο παίζει η ύπαρξη ωκεανού – ξηράς, καθώς όπως φαίνεται και από τις προηγούμενες περιπτώσεις, εμφανίζεται ως καθοριστική παράμετρος σε όλες σχεδόν κάθε φορά. Αυτό συμβαίνει γιατί δημιουργείται τριβή λόγω τραχύτητας, αλλά και μεγάλης θερμοβαθμίδας κατά μήκος των ακτών το χειμώνα (Cohen 1996). Σύμφωνα με προσομοιώσεις των χαρακτηριστικών ανάπτυξης ενός εκρηκτικού κυκλώνα (Katsafados et. al. 2010), όπου η κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από την ξηρά αντικαταστάθηκε με τις αντίστοιχες συνθήκες αυτών πάνω από τη θάλασσα, φάνηκε ότι υπήρξαν διαφορές στη ροή θερμότητας, όμως οι κεντρικές πιέσεις δεν άλλαξαν. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και η ορογραφία, καθώς ο ορεινός όγκος μπορεί να εμποδίζει τη μεταφορά του αέρα και ευνοεί την κυκλογένεση και την ανάπτυξη καταιγίδων. Για να δημιουργηθεί μια καταιγίδα, ο αέρας χρειάζεται υγρασία την οποία βρίσκει από το περιβάλλον, και έναν ανυψωτικό μηχανισμό, όπως πχ. ένα βουνό. Όταν ο αέρας κινείται πάνω από τη θάλασσα και κατά συνθήκη από την ξηρά, εμπλουτίζεται με υδρατμούς. Καθώς όμως μετακινείται, μπορεί να μεταφερθεί προς την επιτρεπόμενη κατεύθυνση που συνήθως είναι διαφορετικό περιβάλλον (ξηρά- θάλασσα ή αντίστροφα), με αποτέλεσμα να υπάρχει αστάθεια λόγω θερμοκρασιακών διαφορών. Εκεί αν συναντήσει ένα βουνό που θα το ωθήσει προς τα πάνω, τότε θα βρεθεί η δίοδος να διοχετεύσει την ενέργειά του με



την καταγίδα. Ένας ακόμα παράγοντας που συμβάλλει στην εμφάνιση εκρηκτικών κυκλώνων είναι τα θαλάσσια ρεύματα (πχ Ρεύμα του Κόλπου), και αυτό γιατί τα ρεύματα μπορούν να μεταφέρουν θερμότερα νερά σε ψυχρές περιοχές προκαλώντας ροές λανθάνουσας και αισθητής θερμότητας, ευνοώντας την εκδήλωση αστάθειας.

1.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΜΙΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ «ΒΟΜΒΑΣ»

Εκτός από τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στη δημιουργία μιας «βόμβας», υπάρχουν και δυναμικές και συνοπτικές συνθήκες που βοηθούν επίσης. Μία από αυτές είναι η βαροκλινικότητα, η οποία αποτελεί βασική προϋπόθεση, και αυτό γιατί τέτοιες περιοχές υποστηρίζουν την ανάπτυξη και διατήρηση βαρομετρικών χαμηλών (Roebber (1984); Gyakum (1983b)). Αυτό επιβεβαιώθηκε και από τους Rogers and Bosart (1986) για ωκεάνιες υφέσεις.

Η επιρροή του αεροχειμάρρου είναι μεγάλη, καθώς ενισχύει σημαντικά τα φαινόμενα βροχόπτωσης, και με κατάλληλη τοποθεσία του υποτροπικού σε σχέση με τον πολικό, γίνονται πιο έντονες ανοδικές κινήσεις, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ακραίων φαινομένων και εκρηκτικής κυκλογένεσης. Ο Μπρίκας (2006) υποστήριξε ότι όταν τα μέγιστα του υποτροπικού αεροχειμάρρου βρίσκονται σε κατάλληλη θέση με το μέγιστο του πολικού αεροχειμάρρου, τότε ευνοείται η εκρηκτική κυκλογένεση. Επίσης η αναδίπλωση της τροπόπαυσης παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς μαζί με τον αεροχείμαρρο μπορούν να ευνοήσουν την εμφάνιση μιας «βόμβας».

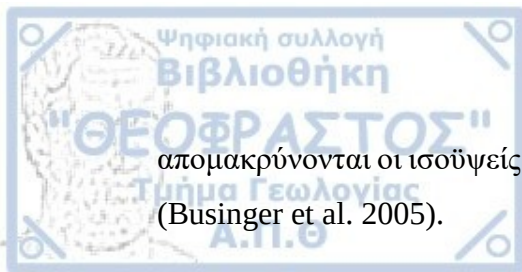
Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τους Lim and Simmonds (2002), οι «βόμβες» είναι κατά 45-50% γρηγορότερες, σε σχέση με τις συνήθεις υφέσεις και για τα δυο ημισφαίρια. Όμως σε αντίθεση με τους τροπικούς κυκλώνες, οι «βόμβες» δεν έχουν πάντα μεγάλη συσχέτιση με τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας (Katsafados et al., 2011).

Ένας ακόμα παράγοντας για τη δημιουργία εκρηκτικών κυκλώνων είναι η ισορροπία της ατμόσφαιρας. Αν είναι ευσταθής τότε ευνοούνται οι επιβραδυνόμενες κινήσεις από τη ροπή επαναφοράς της κατακόρυφης μετακίνησης (Σαχσαμάνογλου και Μακρογιάννης, 2004), ενώ αν είναι ασταθής, ευνοούνται οι επιταχυνόμενες κινήσεις κατά την κατακόρυφη κίνηση του αέρα και δημιουργούνται ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Η αστάθεια σχετίζεται με την ύπαρξη θερμών (συνήθως και υγρών) αερίων μαζών κοντά στην επιφάνεια, και ψυχρών (και ξηρών) μαζών σε μεγαλύτερα ύψη. Επιπροσθέτως, όταν μια περιοχή βαροκλινικής αστάθειας πλησιάζει μια άλλη περιοχή χαμηλής ευστάθειας, τότε ευνοείται η δημιουργία εκρηκτικού κυκλώνα (Kuo and Reed, 1988).

Επιπλέον συντελεστής για το σχηματισμό εκρηκτικού κυκλώνα, είναι ο στροβιλισμός, κυρίως στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα. Σημαντικό επίπεδο αποτελεί αυτό των 500 hPa, καθώς ο Gyakum (1991) έδειξε ότι ο απόλυτος στροβιλισμός αγγίζει μέγιστες τιμές περίπου 48 ώρες πριν την εκρηκτική βάθυνση, ενώ ο Sanders (1986) προσδιόρισε το κέντρο στροβιλισμού στα 500 hPa πριν εμφανιστεί ακόμα ο κυκλώνας. Οι «βόμβες» μπορούν να μελετηθούν με τη βοήθεια του δυνητικού στροβιλισμού, ο οποίος σύμφωνα με τον Gyakum (1983a), αποτελεί μέτρο της έντασης της κυκλογένεσης. Σε περιοχές με θετική ανωμαλία δυνητικού στροβιλισμού στην άνω τροπόσφαιρα, η εκρηκτική κυκλογένεση ενισχύεται σημαντικά, καθώς ξηρός αέρας, με μεγάλες τιμές στροβιλισμού, εισέρχεται στο σύστημα και εξαπλώνεται πάνω από μια βαροκλινική ζώνη (Hoskins et al. 1985). Ανάλογα με την έκταση της κυκλοφορίας, μπορούν να δημιουργηθούν και άλλες ανωμαλίες σε διάφορα επίπεδα της ατμόσφαιρας, τα οποία αλληλοεπιδρούν προωθώντας έτσι την εκρηκτική κυκλογένεση. Αυτό συνέβη και καταγράφηκε από τον Floca (1990), στις 19/3/1981, μεταξύ των ανωμαλιών δυνητικού στροβιλισμού της ανώτερης και κατώτερης τροπόσφαιρας, εκεί που υπάρχει μεγάλη βαροκλινικότητα. Επίσης, οι Lagouvardos et al. (2007) έδειξαν το σημαντικό ρόλο του ανώτερου δυνητικού στροβιλισμού με πείραμα, στο οποίο προσομοίωσαν την έλλειψη της ανωμαλίας στην ανώτερη τροπόσφαιρα, παρατηρώντας ότι η ύφεση δε βάθυνε περισσότερο και ότι η πειραματική κυκλογένεση με την πραγματική δεν ήταν ίδιες.

Στη συνέχεια, σημαντική θεωρείται η κατάσταση στη μέση τροπόσφαιρα, καθώς είναι γνωστό ότι στα 500 hPa ο αυλώνας των ισοϋψών ευνοεί την εκρηκτική κυκλογένεση, όταν βρεθεί σε κατακόρυφη κοντινή θέση με τον αεροχείμαρρο, όπως φάνηκε από τα ευρήματα των Sanders and Gyakum (1980) μετά από μελέτες συνοπτικών χαρτών. Επίσης προέκυψε ότι μπορεί να υπάρχουν δυο αυλώνες οι οποίοι αρχικά να αλληλοεπιδρούν, και ο ένας να μετατρέπεται σε εκρηκτικό κυκλώνα, ή ακόμα και να συγχωνεύονται έως και 48 ώρες πριν την εκδήλωση της ωρίμανσης του φαινομένου.

Επίσης η οριζόντια απόκλιση της μάζας στην ανώτερη τροπόσφαιρα, θεωρείται βασική, καθώς δημιουργείται όταν υπάρχει αρκετά βαθύς αυλώνας, ενισχύοντας έτσι την κυκλωνική δραστηριότητα. Αρχικά υπάρχει σύγκλιση αέριων μαζών στην κατώτερη τροπόσφαιρα (Σαχσαμάνογλου και Μακρογιάννης, 2004), που βρίσκουν διέξοδο προς τα πάνω και αφού φτάσουν σε κάποιο ύψος ξεκινά η απόκλιση. Άρα η απόκλιση συμβαίνει πάνω από επιφανειακά χαμηλά. Αυτό φαίνεται στο χάρτη όταν



απομακρύνονται οι ισοϋψείς στην ανώτερη τροπόσφαιρά, ή όταν ο άνεμος επιταχύνεται.
(Businger et al. 2005).

1.4 ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΙΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ «BOMBΑΣ»

Εκτός όμως από συνοπτικές και δυναμικές παραμέτρους, υπάρχουν και οι φυσικές διαδικασίες που συμβάλλουν στη δημιουργία εκρηκτικού κυκλώνα. Μία από αυτές είναι η λανθάνουσα θερμότητα, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στις κυκλογενέσεις. (Davis and Emanuel 1988). Επίσης οι Kuo and Reed (1988) έδειξαν ότι οι ανοδικές κινήσεις ασταθούς αέρα προκαλούν έκλυση και κατακόρυφη μεταφορά λανθάνουσας θερμότητας που ευνοεί του εκρηκτικούς κυκλώνες. Μάλιστα αυτό συμβαίνει σε οποιοδήποτε περιβάλλον δημιουργίας «βομβών», όπως φάνηκε και από παρατηρήσεις συγκεκριμένων περιπτώσεων (Lupo et al. 1991). Επίσης και από την μελέτη των Karacostas and Flocas (1983) παρατηρήθηκε η διαφορά ξηρού ηπειρωτικού αέρα με θερμό και υγρό από το Αιγαίο, άρα και ροή λανθάνουσας θερμότητας με την ακόλουθη μείωση της στατικής ευστάθειας της ατμόσφαιρας.

Επιπροσθέτως στο οριακό στρώμα γίνονται διαδικασίες που βοηθούν την εκρηκτική κυκλογένεση, αφού η τριβή προκαλεί σύγκλιση των κατώτερων στρωμάτων της τροπόσφαιρας, άρα και απότομη ελάττωση της επιφανειακής πίεσης της καταιγίδας. Οι επιφανειακές ροές θερμότητας βοηθούν και αυτές, αφού το χαμηλό αποκτά θερμότητα και υγρασία από την επιφάνεια της θάλασσας, οπότε το σύστημα δυναμώνει. Στην έρευνά τους οι Gyakum and Danielson (1999) έδειξαν ότι όταν οι ροές λανθάνουσας θερμότητας είναι ισχυρές, τότε οι κυκλώνες γίνονται εκρηκτικοί. Αυτό συμβαίνει καθώς υπάρχουν θερμές ανωμαλίες της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας αλλά και επειδή στις υφέσεις η υπερκείμενη αέρια μάζα είναι σχετικά ψυχρότερη. Οι Lagouvardos et al. (2007) σε ένα πείραμα για τη «βόμβα» της Α. Μεσογείου στις 22/1/2004 έδειξαν ότι όταν απουσίαζαν οι επιφανειακές ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας, τότε η ύφεση δεν ήταν τόσο έντονη όσο στο πείραμα ελέγχου. Όμως οι ροές δεν έπαιξαν τον πρωταγωνιστικό ρόλο στην εκδήλωση της «βόμβας». Στο ίδιο αποτέλεσμα κατέληξαν και οι Pytharoulis (2008) και Katsafados κ.α. (2010).

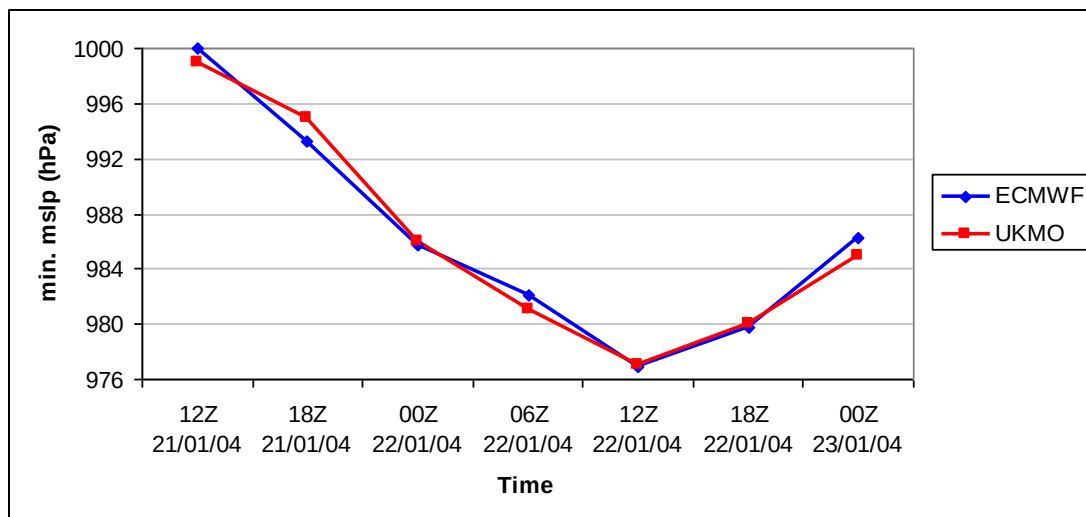
1.5 ΘΕΩΡΙΕΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΝΩΝ

Όσον αφορά πιο συγκεκριμένα τις θεωρίες σχηματισμού εκρηκτικών κυκλώνων στη Μεσόγειο, δυο είναι οι κυριότερες. Στην πρώτη, η οποία προτάθηκε από τους Καρακώστα και Φλόκα, και χάρη στα αρχικά τους προήλθε το όνομά της (KF), ο θετικός στροβιλισμός συμβάλλει στην ανάπτυξη αυτού του τύπου, λόγω του συνδυασμού μιας μεγάλου μήκους κύματος βαροκλινικής διαταραχής, και μιας μικρού μήκους διαταραχής, που μπορεί να έχει δημιουργηθεί από μια δυναμικά ασταθή ράχη (Karacostas and Flocas, 1983). Αυτός ο μηχανισμός είναι και ο συνηθέστερος στη δημιουργία ενός εκρηκτικού κυκλώνα, στη Μεσόγειο. Η δεύτερη προτάθηκε από τους Capaldo et al. (1980) και γράφεται ως (CC), και έχει να κάνει με εκρηκτικούς κυκλώνες, οι οποίοι σχηματίζονται από την αλληλεπίδραση ενός υπο- συνοπτικού αφρικανικού χαμηλού με μια ψυχρή ύφεση μέσου γεωγραφικού πλάτους, η οποία μπορεί να διεισδύει από βόρεια ή βορειοδυτικά (Michaelides et al. 2018).

1.6 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ

Εκρηκτική κυκλογένεση 21-22 Ιανουαρίου 2004:

Η «βόμβα» του 2004 μελετήθηκε αρκετά λόγω της εμφάνισης ενός τέτοιου φαινομένου σε μέσα γεωγραφικά πλάτη αλλά και των μεγάλων διαστάσεων που πήρε εντός του ελλαδικού χώρου, αφού θεωρείται κυκλώνας με τη μεγαλύτερη βάθυνση των τελευταίων 40 ετών στην περιοχή. Συνέβη στις 21-22/1/2004 και επηρέασε την Ελλάδα καθώς σε όλη της την έκταση εκδηλώθηκαν ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως ισχυροί άνεμοι, χαμηλές θερμοκρασίες, βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις, που επηρέασαν την ομαλή λειτουργία των τοπικών κοινωνιών λόγω προβλημάτων στην ηλεκτροδότηση και τις μεταφορές. Στις 21/1/2004 στην κεντρική Μεσόγειο, το κέντρο του χαμηλού στη Μεσόγειο είναι στα 1000 hPa, ενώ στην Ελλάδα την ίδια ώρα ήταν 1015 hPa. Στα δυτικά της Ελλάδας σχηματίζεται ένας αυλώνας, ενώ ταυτόχρονα πάνω από την Ελλάδα στο επίπεδο των 500 hPa επικρατεί ζωνική ροή. Ήδη η περιοχή αυτή επηρεάζεται από τις 20/1/2004 λόγω του χαμηλού στην Ευρώπη που προκάλεσε τον αυλώνα, το οποίο μεταφέρεται προς τα νοτιοανατολικά, όπου συναντάει ένα τοπικό χαμηλό. Από τις 21/1 έως και τις 22/1 γίνεται η πλήρης έξαρση του φαινομένου όπου φτάνει στην Πελοπόννησο με πίεση 994 hPa, ρίχνοντας την τιμή της κατά 6 hPa εντός ενός δώρου, που συνεχίστηκε με τον ίδιο ρυθμό, πέφτοντας στα 986 hPa σε ακόμα 6 ώρες. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1-4, τελικά έφτασε στην ελάχιστη τιμή των



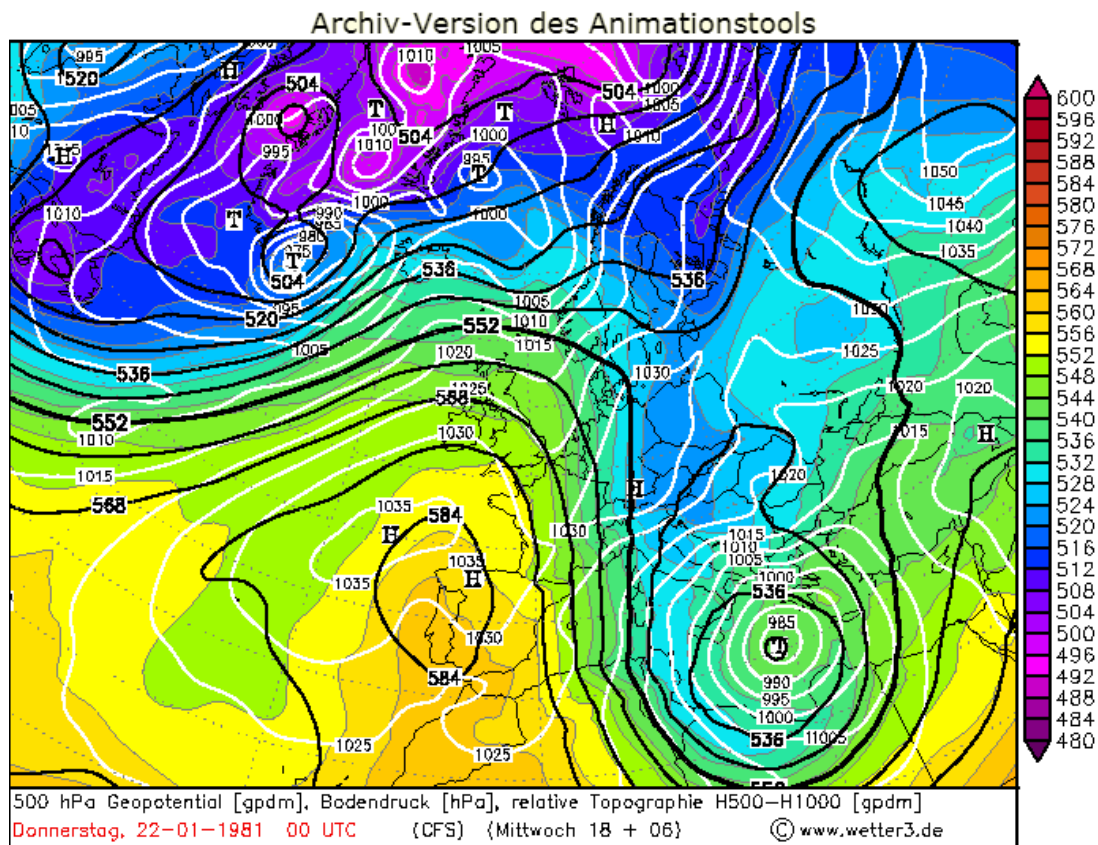
Σχήμα 1-4 Διάγραμμα πίεσης Μέσης Στάθμης Θάλασσας από 22/1/2004 12 UTC έως 23/1/2004 00 UTC σύμφωνα με τα δυο μοντέλα, ECMWF: (μπλε γραμμή), και UKMO (κόκκινη γραμμή), πηγή: Πυθαρούλης 2018

976 hPa στις 22/1/2004 12 UTC, (Μπρίκας 2006) με ρυθμό πτώσης πίεσης τα 1,34 Bergeron (σύμφωνα με το μοντέλο UKMO) και 1,4 Bergeron (σύμφωνα με το ECMWF), καθιστώντας αυτήν τη «βόμβα» στην κατηγορία της μέτριας ισχύος (Sanders, 1986). Μετά από αυτό το διάστημα, η πίεση άρχισε να αυξάνεται, και η «βόμβα» να κινείται προς βορειοανατολικά όπου και αργότερα εκτονώθηκε.

Η «βόμβα» φαίνεται ότι δημιουργήθηκε από τη συνδυαστική δράση δυο αυλώνων, και η έντασή της επηρεάστηκε πολύ από την απόκλιση, η οποία αποτελεί επίσης και πρόδρομο στοιχείο για τη «βόμβα» (Lagouvardos et al., 2007; Pytharoulis, 2008). Μάλιστα, στα επίπεδα των 850 hPa και 300 hPa, φάνηκε ότι υπάρχει σύγκλιση αερίων μαζών και έπειτα απόκλιση, αλλά και αντίστροφα. Ο στροβιλισμός αποτελεί σημαντικό κομμάτι της ύπαρξης ενός εκρηκτικού κυκλώνα, καθώς η μεγάλη θετική μεταφορά σηματοδοτεί μια εκρηκτική κυκλογένεση. Αυτό φάνηκε από το ότι η μέγιστη θετική μεταφορά συνέβη 6 ώρες πριν τη μέγιστη βάθυνση της «βόμβας». Επίσης παρατηρήθηκε θετική ανωμαλία δυναμικού στροβιλισμού στην ανώτερη τροπόσφαιρα, ενώ από δυτικά εισήλθε ξηρός στρατοσφαιρικός αέρας. Εξίσου σημαντική είναι και η επιρροή του αεροχειμάρρου, καθώς ενίσχυσε την ταχύτητα των ανέμων στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, ενισχύοντας την απόκλιση και τη θετική μεταφορά στροβιλισμού, συντελώντας στη βάθυνση της «βόμβας». Να σημειωθεί ότι μέσα σε 48 ώρες το διάστημα αυτό καταγράφηκαν 18,6 mm βροχής στο σταθμό της Νάξου (www.hnms.gr). Στη ΒΑ Πελοπόννησο όμως, και για διάστημα 12 ωρών, παρατηρήθηκε η μέγιστη βροχόπτωση, με τιμή 60 mm. Γενικά φάνηκε ότι η μεγαλύτερη ποσότητα υετού έπεσε τις βραδινές ώρες της 21/1 μέχρι και τις 22/1. Αξιοσημείωτο είναι ότι υπήρξαν ακόμα και χιονοπτώσεις ή χαλαζοπτώσεις, ειδικά στα νησιά του Αιγαίου, όπου το χιόνι έφτασε το 1 μέτρο (Μπρίκας 2006).

Εκρηκτική κυκλογένεση 21 Ιανουαρίου 1981:

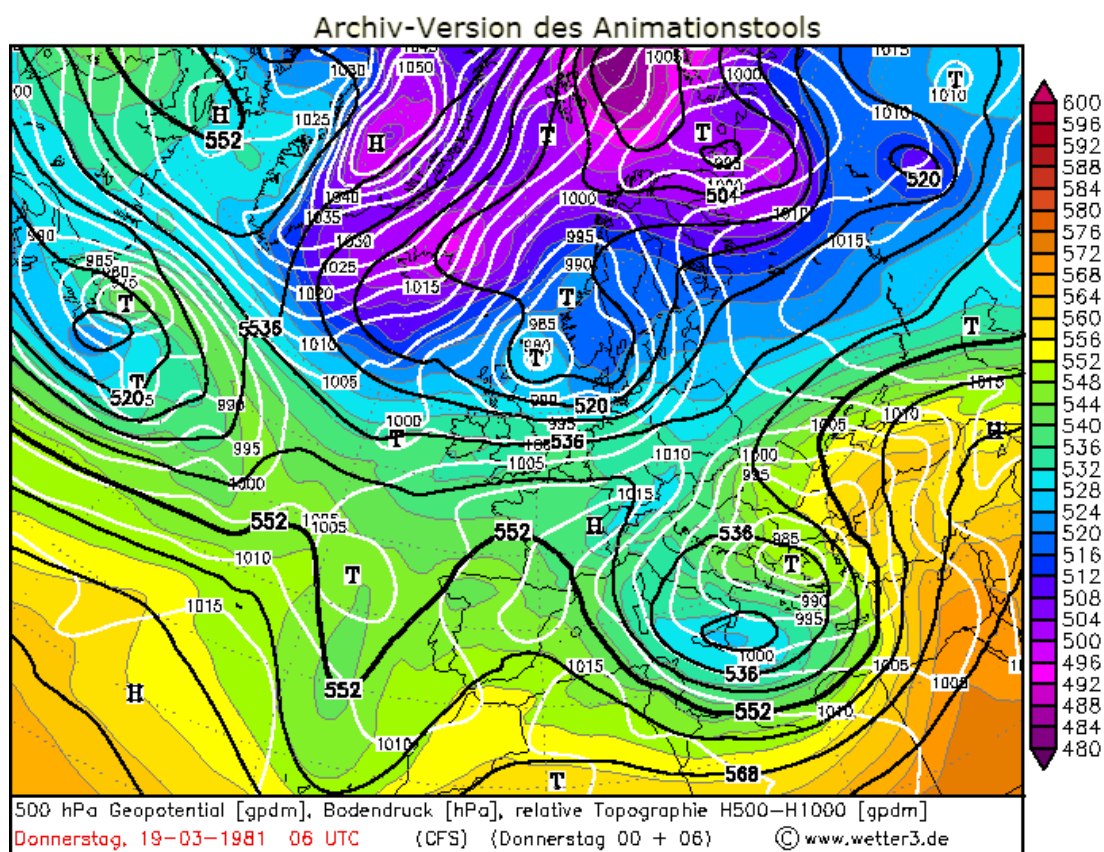
Η περίπτωση αυτή ξεκίνησε να μετατρέπεται σε εκρηκτική, στην περιοχή του Β. Τυρρηνικού Πελάγους στις 20/1 18 UTC και για 30 ώρες συνολικά το χαμηλό συνεχώς βάθυνε φτάνοντας τα 983 hPa (σχήμα 1-5). Η μέγιστη βάθυνση συνέβη στις 21/1 06 UTC στην περιοχή της Ν. Ιταλίας- Σικελίας, ενώ παράλληλα συνέχισε να μετακινείται Ν- ΝΑ προς το Ιόνιο (Κουρουτζόγλου, 2014).



Σχήμα 1-5 Γεωδυναμικό ύψος 500 hPa (gpdm, μαύρες καμπύλες), πίεση ΜΣΘ (hPa, λευκές καμπύλες), ισοπαχές στρώμα 500-1000 hPa (grkm, χρωματική σκίαση) για 12/1/1968 00 UTC, πηγή: wetter3.de

Εκρηκτική κυκλογένεση 19 Μαρτίου 1981:

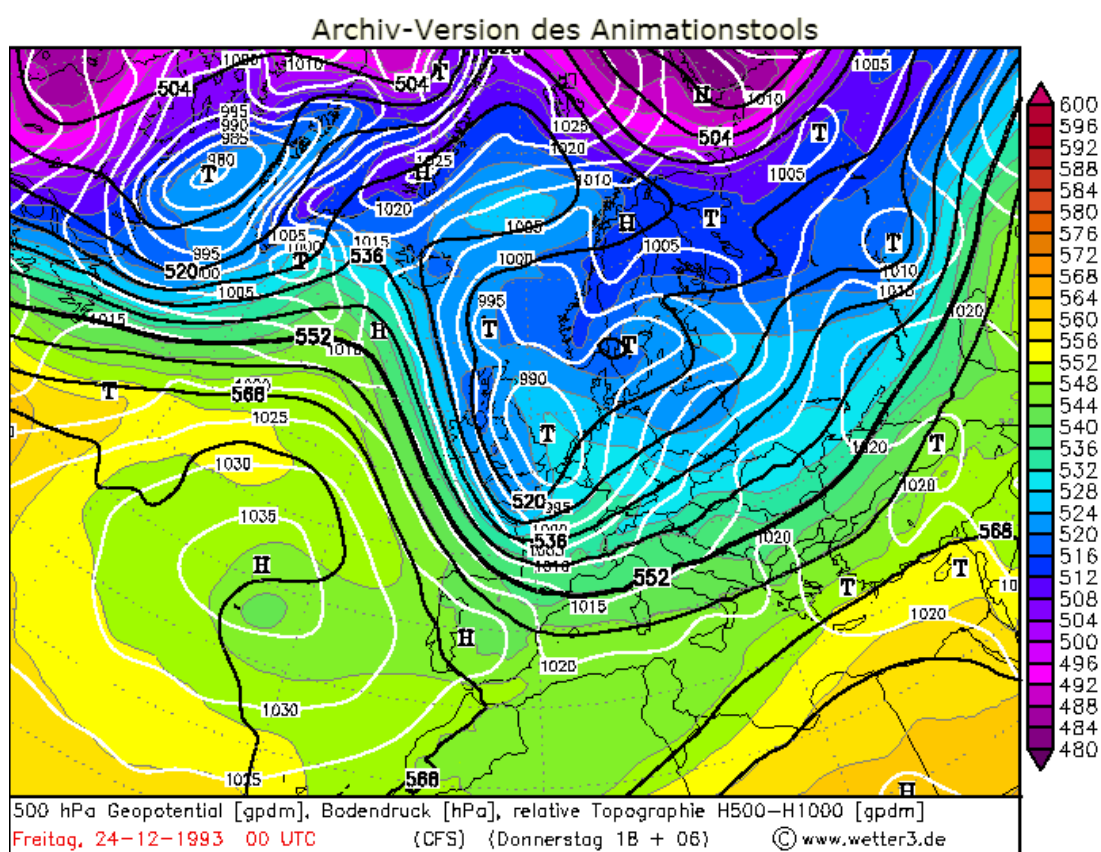
Η περίπτωση αυτή ξεκίνησε από τη Λιβύη στις 17/3, κινήθηκε Α- ΒΑ, και εξελίχθηκε πλήρως στην ελληνική επικράτεια κατά τις πρώτες πρωινές ώρες της 19/3. Η βάθυνση ήταν αρκετά γρήγορη φτάνοντας περίπου τα 983 hPa, όπως φαίνεται στο σχήμα 1-6, η οποία σε συνδυασμό με ένα τοπικό χαμηλό στο βόρειο Ιόνιο, έδωσε συνθήκες εκρηκτικής κυκλογένεσης (Κουρουτζόγλου, 2014).



Σχήμα 1-6 Γεωδυναμικό ύψος 500 hPa (μαύρες καμπύλες), πίεση ΜΣΘ hPa (λευκές καμπύλες), τοπογραφία στα 500- 1000 gpkm (χρώμα) για 12/1/1968 00 UTC, πηγή: wetter3.de

Εκρηκτική κυκλογένεση 23 Δεκεμβρίου 1993:

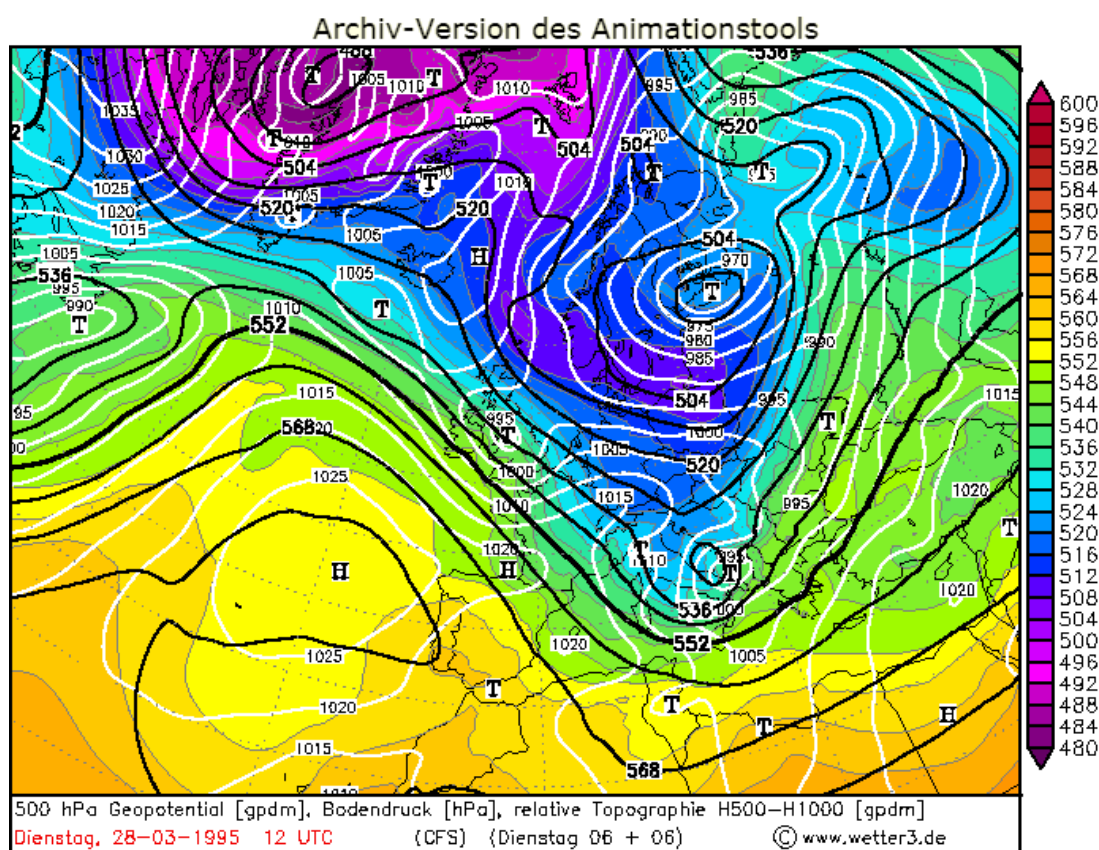
Η περίπτωση αυτή συνέβη στον Κόλπο της Γένοβας, και είναι χαρακτηριστική μιας εκρηκτικής κυκλογένεσης, που ξεκινά από τις Άλπεις και βαθαίνει εκρηκτικά μέσα σε 24 ώρες, σύμφωνα με τον αυστηρό ορισμό της «βόμβας», ξεκινώντας από τα 1001,6 hPa και καταλήγοντας στα 993,5 hPa (σχήμα 1-7). Δεν εμφανίζει ιδιαίτερη μετατόπιση, ενώ από τις 25/12, ο ρυθμός πτώσης της πίεσης δεν είναι πλέον εκρηκτικός. (Κουρουτζόγλου, 2014)



Σχήμα 1-7 Γεωδυναμικό ύψος 500 hPa (μαύρες καμπύλες), πίεση ΜΣΘ hPa (λευκές καμπύλες), τοπογραφία στα 500- 1000 gpm (χρώμα) για 12/1/1993 00 UTC, πηγή: wetter3.de

Εκρηκτική κυκλογένεση 27-28 Μαρτίου 1995:

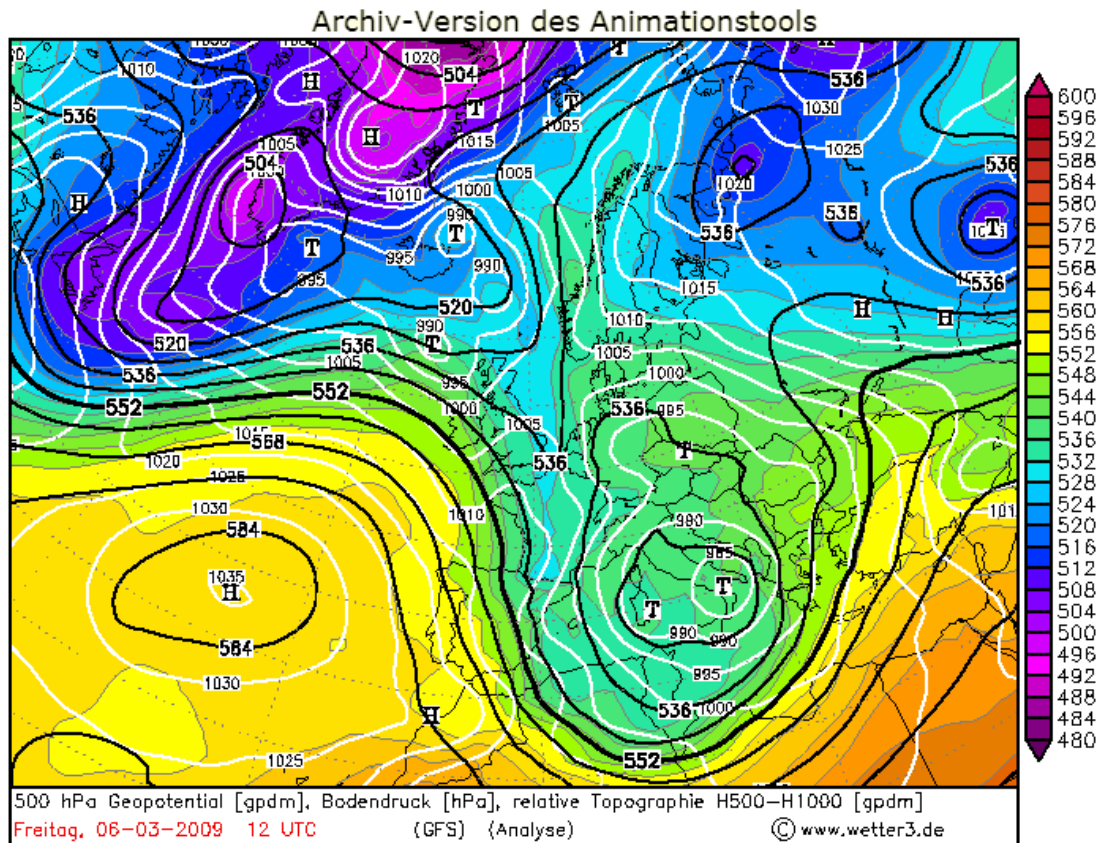
Η περίπτωση αυτή ξεκίνησε στην περιοχή των Άλπεων, και μετακινήθηκε στην Αδριατική όπου και εκδηλώθηκε πλήρως. Μετακινήθηκε νότια, και συνδυάστηκε με ένα άλλο χαμηλό που βρισκόταν στα δυτικά των Απένινων Ορέων, επιταχύνοντας τη νότια μετατόπιση με πίεση κοντά στα 992 hPa (σχήμα 1-8). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται και eyeglass cyclogenesis, ή twin cyclogenesis, λόγω του συνδυασμού των δυο κυκλώνων σε αυτή την περιοχή (Mesinger and Strickler 1982, Brzovic and Jurcec 1997, Κουρουτζόγλου, 2014).



Σχήμα 1-8 Γεωδυναμικό ύψος 500 hPa (μαύρες καμπύλες), πίεση ΜΣΘ hPa (λευκές καμπύλες), τοπογραφία στα 500- 1000 grkm (χρώμα) για 12/1/1968 00 UTC, πηγή: wetter3.de

Εκρηκτική κυκλογένεση 6 Μαρτίου 2009:

Η περίπτωση αυτή ξεκίνησε από την Αλγερία, η πίεση άρχισε να ελαττώνεται σημαντικά και καθώς κινήθηκε Α- ΒΑ προς τον Κόλπο Τάραντα στη νότια Ιταλία, τις πρώτες πρωινές ώρες το σύστημα είχε τη μέγιστη βάθυνσή του, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1-9, λίγο κάτω από τα 985 hPa. (Κουρουτζόγλου, 2014)



Σχήμα 1-9 Γεωδυναμικό ύψος 500 hPa (μαύρες καμπύλες), πίεση ΜΣΘ hPa (λευκές καμπύλες), τοπογραφία στα 500- 1000 grkm (χρώμα) για 12/1/1968 00 UTC, πηγή: wetter3.de

1.7 ΠΡΟΓΝΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΚΡΗΚΤΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΝΩΝ

Όσον αφορά την πρόγνωση τέτοιων φαινομένων, σε μια από τις πρώτες προσπάθειες, οι Sanders and Auciello (1989) έκαναν μια λίστα 6 παραμέτρων, εκ των οποίων αν οι 4 πληρούνταν, τότε μπορεί να προβλεφθεί ένα τέτοιο φαινόμενο, με περιοχή μελέτης το βόρειο Ατλαντικό ωκεανό. Η λίστα αυτή περιλαμβάνει: το μέγιστο απόλυτου στροβιλισμού στα 500 hPa, το μέγιστο στροβιλισμού όταν τα προγνωστικά μοντέλα δείχνουν σταθερότητα ή αύξηση μέχρι 48 ώρες πριν το γεγονός, την πρόγνωση κίνησης του στροβιλισμού με ταχύτητα τουλάχιστον 30 κόμβων για 48 ώρες, την κίνηση εντός των ορίων 32° και 45° γεωγραφικού πλάτους, την ταχύτητα του αεροχειμάρρου τουλάχιστον στους 110 κόμβους στο επίπεδο των 250 ή 300 hPa, το NGM (Nested Grid Model, μοντέλο πρόγνωσης καιρού) να σχηματίζει ένα χαμηλό 990 hPa ή βαθύτερο για 48 ώρες εντός των γεωγραφικών ορίων 38 και 45 γεωγραφικό πλάτος (γ.π.) βόρεια, και 55 και 75 δυτικά γεωγραφικό μήκος (γ.μ.).

Η πρώτη πρακτική προσπάθεια πρόγνωσης της έντασης μιας «βόμβας» έγινε μετά το 1990 από ερευνητές του North Carolina State University και του NWS (εθνικής μετεωρολογικής υπηρεσίας των ΗΠΑ). Έγινε εκτενής μελέτη της επίδρασης του ρεύματος του Κόλπου το οποίο λόγω βαροκλινικότητας στην κατώτερη τροπόσφαιρα ευνόησε την εκρηκτική κυκλογένεση στις ακτές της Carolina με συντεταγμένες 38° N έως 32° N, και 79° W έως 72° W σύμφωνα με τους Cione et al. (1993, 1998). Ως περίοδος μελέτης επιλέχθηκε το διάστημα από Νοέμβριο έως και Απρίλιο αφού ήταν απαραίτητοι οι ψυχροί μήνες, και η περίοδος ψυχρής μεταφοράς. Με τη χρήση του προγνωστικού δείκτη ASCII (Atlantic Surface Cyclone Intensification Index), έγινε μια προσπάθεια αιτιολόγησης της τόσο απότομης βάρυνσης της ύφεσης.

1.8 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο καιρός έχει μεγάλη επίδραση στη ζωή των ανθρώπων, καθώς η κατάλληλη προετοιμασία για τα καιρικά φαινόμενα μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα των δραστηριοτήτων και να αποφευχθούν σημαντικές επιπλοκές. Έτσι λοιπόν είναι επιτακτική ανάγκη η μελέτη και καταγραφή όλων των καιρικών φαινομένων που μπορεί να εμφανιστούν, με σκοπό την έγκαιρη πρόβλεψη της δράσης τους. Συχνά τα πιο επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα είναι αυτά που προκύπτουν ξαφνικά και έχουν έντονη δράση. Τέτοια είναι οι τροπικοί κυκλώνες, οι σίφωνες, οι μεγάλης έντασης καταιγίδες, οι εκρηκτικοί κυκλώνες, και άλλα. Σε αυτή την εργασία θα παρουσιαστούν τα συνοπτικά χαρακτηριστικά ενός εκρηκτικού κυκλώνα, καθώς και τα διαγράμματα προγνωσιμότητάς του, τα οποία θα σχολιαστούν και θα συγκριθούν τόσο μεταξύ τους ανάλογα με την ημέρα πρόγνωσης, αλλά και με την ανάλυση, ώστε να μελετηθεί η αξιοπιστία των προγνωστικών μοντέλων. Επίσης θα γίνουν περιληπτικές αναφορές σε άλλα παρόμοια φαινόμενα που προηγήθηκαν ώστε να γίνουν συγκρίσεις και διασταυρώσεις στοιχείων που θα προκύψουν. Η μελέτη αφορά ένα βαρομετρικό χαμηλό που ξεκινάει από την περιοχή της κεντρικής Λιβύης περίπου στις 5/2/2012 (η προσέγγιση οφείλεται στην έλλειψη αξιόπιστων στοιχείων για την περιοχή) και ξεκινάει να αναπτύσσεται κυρίως από τις 6/2 00 UTC που φτάνει στα παράλια της Λιβύης. Αυτό μετακινείται προς το βορρά επηρεάζοντας την κεντρική Μεσόγειο στην περιοχή του Ιονίου, ενώ βαθαίνει με εκρηκτικό ρυθμό.



2. ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ- ΔΕΔΟΜΕΝΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία διάφορων μετεωρολογικών υπηρεσιών και ιδρυμάτων, το Εθνικό Αστεροσκοπείο (NOA), οργανισμούς διεθνούς εμβέλειας και του σταθμού της Ζακύνθου, με συντεταγμένες γεωγραφικό πλάτος 37,78 Β και γεωγραφικό μήκος 20,85 Α και υψόμετρο 10m, που θα μελετηθούν σε αυτή την εργασία, προέκυψαν χάρτες που περιγράφουν τόσο το φαινόμενο, όσο και την πορεία του. Παραθέτουν παραμέτρους που καθορίζουν το χαρακτήρα του κυκλώνα εκρηκτικό καθώς και τα αποτελέσματα που αυτός φέρνει. Για τη μελέτη και προβολή των δεδομένων χρησιμοποιήσαμε την έκδοση του GrADS 2.0.2, σε περιβάλλον Ubuntu 16.04 LTS.

2.2 TO ΜΟΝΤΕΛΟ GFS (GLOBAL FORECAST SYSTEM)

Το μοντέλο GFS είναι ένα φασματικό υδροστατικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού που δημιουργήθηκε από το Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικής Πρόγνωσης των ΗΠΑ (NCEP). Πολλές μεταβλητές της ατμόσφαιρας και του εδάφους είναι διαθέσιμες μέσα από αυτό το σύνολο δεδομένων, από τη θερμοκρασία, τον άνεμο και τη βροχόπτωση, μέχρι την υγρασία του εδάφους και τη συγκέντρωση ατμοσφαιρικού όζοντος. Όλος ο πλανήτης καλύπτεται από το μοντέλο αυτό σε βασική οριζόντια ανάλυση περίπου 13 χιλιομέτρων μεταξύ των σημείων πλέγματος, τα οποία χρησιμοποιούνται για τις πρώτες 10 προγνωστικές ημέρες. Η οριζόντια ανάλυση φτάνει στα 34 χιλιόμετρα περίπου μεταξύ των σημείων πλέγματος για προβλέψεις από την 10^η έως την 16^η ημέρα. Η κατακόρυφη συντεταγμένη των διαθέσιμων δεδομένων είναι η πίεση, δηλαδή η περιγραφή της κατάστασης σε συγκεκριμένη ισοβαρική επιφάνεια, λαμβάνοντας υπόψιν την τοπογραφία της περιοχής. Αυτό βέβαια σημαίνει ότι το μοντέλο αυτό υστερεί κυρίως έναντι άλλων σε υψηλότερη ανάλυση όπου η τοπογραφία παίζει σημαντικότερο ρόλο στην πρόγνωση. Το μοντέλο GFS είναι ένας συνδυασμός τεσσάρων διαφορετικών μοντέλων, ενός ατμοσφαιρικού, ενός ωκεάνιου, ενός εδαφικού και ενός θαλάσσιου πάγου, από τα οποία προκύπτει μια ακριβής εικόνα των καιρικών συνθηκών. Συχνά γίνονται αλλαγές στο μοντέλο ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα και η ακρίβεια στις προγνώσεις του, καθώς τα συμπεράσματά του χρησιμοποιούνται επίσης και για στατιστικά μοντέλα. Τα δεδομένα που προκύπτουν είναι ελεύθερα στο διαδίκτυο μέσω του NOAA. Πριν τον Γενάρη του 2003, το GFS ήταν γνωστό με το όνομα GFS-AVN και MRF. (www.ncdc.noaa.gov)

Για τη μελέτη του φαινομένου που αναλύεται στην παρούσα εργασία, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν περιλαμβάνουν πλεγματικές αναλύσεις και προγνώσεις για τα χρονικά διαστήματα από 3/2/2012 έως 8/2/2012 και προέρχονται από το παγκόσμιο μοντέλο πρόβλεψης καιρού Global Forecast System (GFS) 0,5° διακριτής ικανότητας. Οι αναλύσεις είναι διαθέσιμες στις 00, 06, 12, 18 UTC, ενώ οι προγνώσεις που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τον προγνωστικό κύκλο 12 UTC. Μετά τις 7-8 ημέρες χάνει από την αξιοπιστία του, οπότε αν περιορίζεται σε βραχυπρόθεσμες προγνώσεις είναι πάρα πολύ αποτελεσματικό (ncdc.noaa.gov).

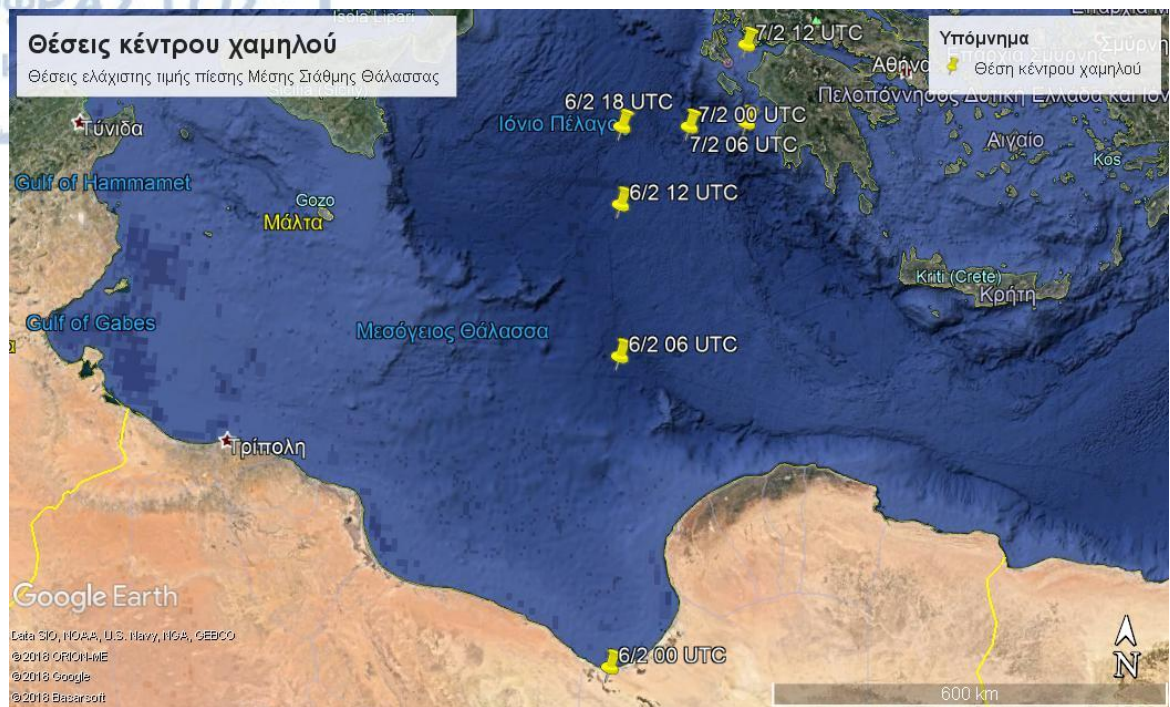
2.3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ GRADS

Το GrADS (Grid Analysis and Display System) είναι ένα ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα το οποίο χρησιμοποιείται για εύκολη πρόσβαση, διαχείριση και απεικόνιση των μετεωρολογικών και κλιματικών δεδομένων των και έχει κατασκευαστεί με εντολές fortran. Χρησιμοποιείται 4-αξονικό σύστημα συντεταγμένων, το γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος, το κατακόρυφο επίπεδο και ο χρόνος (opengrads.org, cola.gmu.edu/grads). Οπτικοποιεί και αναλύει δεδομένα είτε από σταθμό, είτε από πλέγμα, είτε κανονικά, μη γραμμικά χωρισμένα Γκαουσιανά, ή με μεταβλητή ανάλυση. Τα αποτελέσματα μπορούν να εμφανιστούν σε γραφήματα διασποράς, ράβδων και γραμμών, γραμμές ροής, κουτιά πλέγματος,, χάρτες καιρού, κατακόρυφες τομές, διαγράμματα Handler κ.α. Τα γραφήματα μπορούν να εξαχθούν σε μορφή εικόνων. Το GrADS έχει μερικές βασικές γεωπαραμέτρους προεγκατεστημένες, οι οποίες μπορούν να τροποποιηθούν από το χρήστη. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης σύνολα σταθερών εντολών που εκτελούν μια συγκεκριμένη διαδικασία, και ονομάζονται script. Αυτά βελτιώνουν το περιβάλλον του λογισμικού αυτού δίνοντας περισσότερες και πιο εξειδικευμένες δυνατότητες προσαρμοσμένες στις ανάγκες, μεταξύ άλλων, και των γεωεπιστημών. Η γραφική απεικόνιση των δεδομένων θα μας βοηθήσει να μελετήσουμε, σε σχέση με τον χρόνο, ποιων παραμέτρων οι μεταβολές έπαιξαν ρόλο στη δημιουργία του εκρηκτικού κυκλώνα της 6/2/2012 στο Ιόνιο πέλαγος.

3. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ 6/2/2012

3.1 ΘΕΣΗ ΚΕΝΤΡΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ

Η περίπτωση που μελετάμε αφορά μια ύφεση η οποία φαίνεται να ξεκίνησε από τη νότια Λιβύη, και κινήθηκε σταδιακά προς τα βόρεια, μέχρι τις ακτές της, από όπου η πίεση άρχισε να πέφτει με ρυθμό μεγαλύτερο από 1 Bergeron (σχήμα 3-1). Έπειτα συνεχίστηκε η πορεία της ακόμα πιο βόρεια στην κεντρική Μεσόγειο, φτάνοντας μέχρι το Ιόνιο Πέλαγος όπου και παρουσίασε πλήρη έξαρση έως και την τελική εκτόνωσή του λίγο αργότερα. Το βαρομετρικό χαμηλό που φαίνεται ότι βάθυνε εκρηκτικά σε μικρό χρονικό διάστημα στην ανατολική Μεσόγειο, ξεκίνησε στις 5/2 18 UTC από τη νοτιοδυτική Λιβύη με πίεση στο κέντρο της 1007,6 hPa. Έπειτα από μια κινητικότητα που παρουσίασε στην περιοχή αυτή για λίγες ώρες με σταδιακή ελάττωση της πίεσης η οποία έφτασε περίπου τα 1004 hPa, κινήθηκε βόρεια προς τη Μεσόγειο όπου και εκδηλώθηκε η εκρηκτικότητά του. Τα δεδομένα για την περιοχή της Λιβύης, δηλαδή έως τις 6/2 00 UTC όταν φτάνει στα παράλια της, είναι κυρίως του μοντέλου προσομοίωσης, και αυτό γιατί το περιβάλλον είναι ερημικό, λόγω Σαχάρας, οπότε απουσιάζουν κοντινοί σταθμοί που θα έκαναν συλλογή πιο αξιόπιστων δεδομένων, γι' αυτό και είναι πιο δύσκολη οποιαδήποτε ανάλυση πριν από αυτή τη χρονική στιγμή. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής του κινείται βόρεια και κατά τη μέγιστη εξέλιξή του παραμένει στην περιοχή του Ιονίου. Εκεί αλλάζει πλήρως πορεία καθώς πλέον αποδυναμώνεται, δηλαδή η πίεση στο κέντρο της ύφεσης αυξάνεται, και κινείται ανατολικά προς την ηπειρωτική Ελλάδα, όπου και μετά από μερικές ώρες αποδιοργανώνεται πλήρως. Από τις ακτές της Λιβύης έφτασε στα νησιά του Ιονίου σε σχεδόν 18 ώρες και με την ελάχιστη πίεση να φτάνει τα 981 hPa στις 6/2 18 UTC σύμφωνα με το αμερικάνικο μοντέλο GFS.



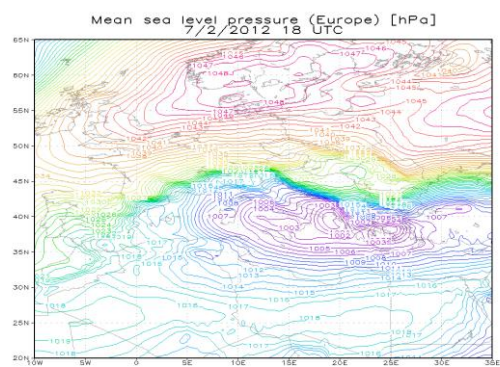
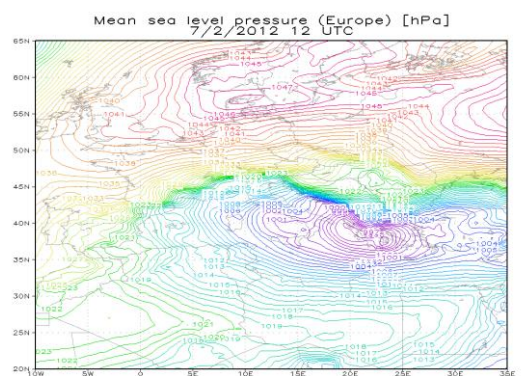
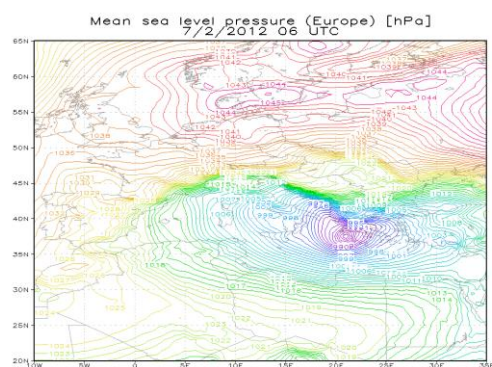
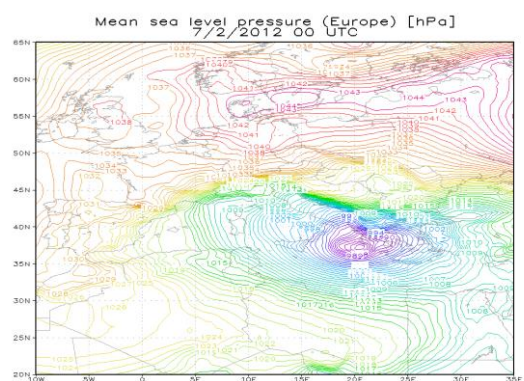
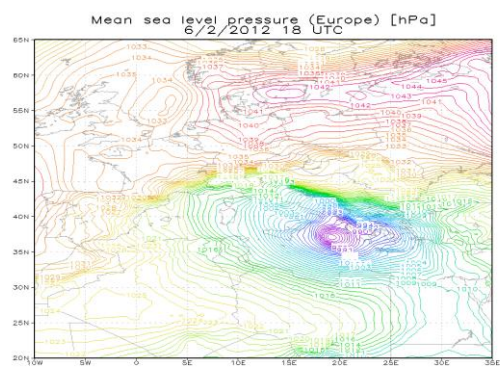
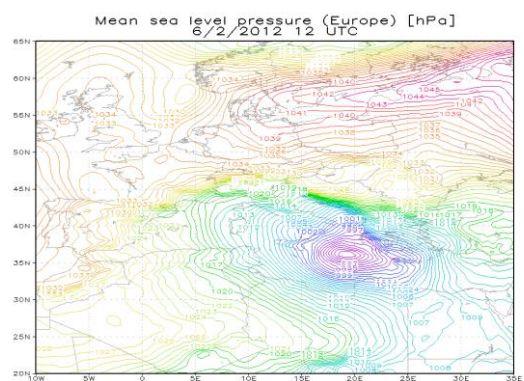
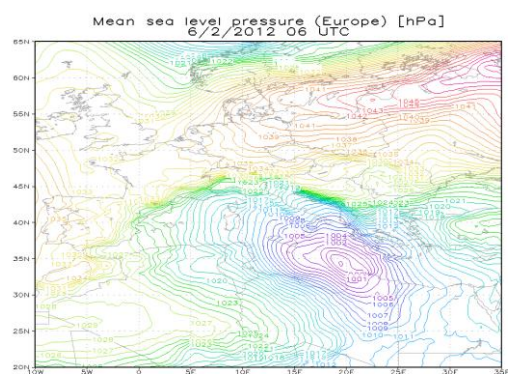
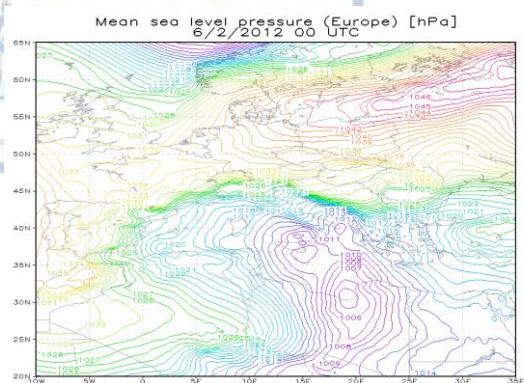
Σχήμα 3-1 Θέσεις κέντρων χαμηλού (για κάθε θέση σημειώνεται: ημέρα/ μήνας, ώρα UTC)

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Η Μέση Στάθμη Θάλασσας (ΜΣΘ) είναι μια ισοδυναμική επιφάνεια ως προς το δυναμικό της βαρύτητας, και χρησιμοποιείται σε αυτές τις περιπτώσεις για τη μελέτη της κίνησης ενός βαρομετρικού χαμηλού, καθώς η πίεση σε αυτό το επίπεδο είναι δείκτης της κατάστασης στην ατμόσφαιρα χωρίς την επιρροή άλλων παραγόντων.

Έως και τις 5/2 18 UTC, το χαμηλό κινείται εντός της Λιβύης, ενώ από τις 6/2 00 UTC, φτάνει στα παράλια της, κινούμενο προς τα βόρεια και την κεντρική Μεσόγειο, όπου βαθαίνει εκρηκτικά καθώς πλησιάζει το Ιόνιο, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο για τη θέση του χαμηλού. Από τις 6/2 06 UTC ένα άλλο χαμηλό από τη νότια Ιταλία μικρότερης έντασης, προσεγγίζει αυτό που έρχεται από τη Λιβύη, με τιμή πίεσης στα 1009 hPa. Μετά από 6 ώρες όμως αυτό το χαμηλό εξαφανίζεται, κάτι που σημαίνει πως είτε διαλύθηκε, είτε συγχωνεύθηκε με το άλλο με αποτέλεσμα να ενισχυθεί ακόμα περισσότερο, δημιουργώντας ένα μεγάλο σε έκταση σύστημα ύφεσης. Περαιτέρω διευκρινήσεις θα υπάρχουν έπειτα από νέες μελέτες επί του θέματος, καθώς η εξερεύνηση των περιπτώσεων συγχώνευσης υφέσεων είναι ένα ενδιαφέρον κεφάλαιο που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής και έρευνας. Από τις 12 UTC της ίδιας ημέρας, παρατηρείται πύκνωση των ισοβαρών πάνω από το Ιόνιο και τη δυτική Ελλάδα. Αυτό δείχνει ότι στην περιοχή πνέουν πολύ ισχυροί άνεμοι και η διαφορές στην πίεση είναι μεγάλες και απότομες, και η κατάσταση αυτή επικρατεί μέχρι την πλήρη εκτόνωση του συστήματος, η οποία ξεκινάει από τις 7/2 12 UTC.

Η μέγιστη πίεση από τη στιγμή της εισόδου του στη Μεσόγειο είναι τα 1005 hPa, ενώ η ελάχιστη είναι στο Ιόνιο και φτάνει τα 981 hPa σε λιγότερο από 24 ώρες, χαρακτηρίζοντας την ύφεση αυτή ως εκρηκτική. Η συγκεκριμένη τιμή είναι το αποτέλεσμα που έδωσαν οι αναλύσεις για την περιοχή, υπάρχουν όμως και πιο λεπτομερείς παρατηρήσεις στα κύρια δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στη Ζάκυνθο, που δίνει ότι η πίεση στη ΜΣΘ στην περιοχή ήταν 978,4 hPa, στις 7/2 02:30 UTC. Το πιθανό σφάλμα μπορεί να προκύψει λόγω διαφοράς στην ακριβή τοποθεσία όπου καταγράφεται η ελάχιστη τιμή, αλλά και στο γεγονός ότι οι αναλύσεις του GFS παράγονται κάθε 6 ώρες, ενώ ο μετεωρολογικός σταθμός συλλέγει συνεχώς δεδομένα (σχήμα 3-2).



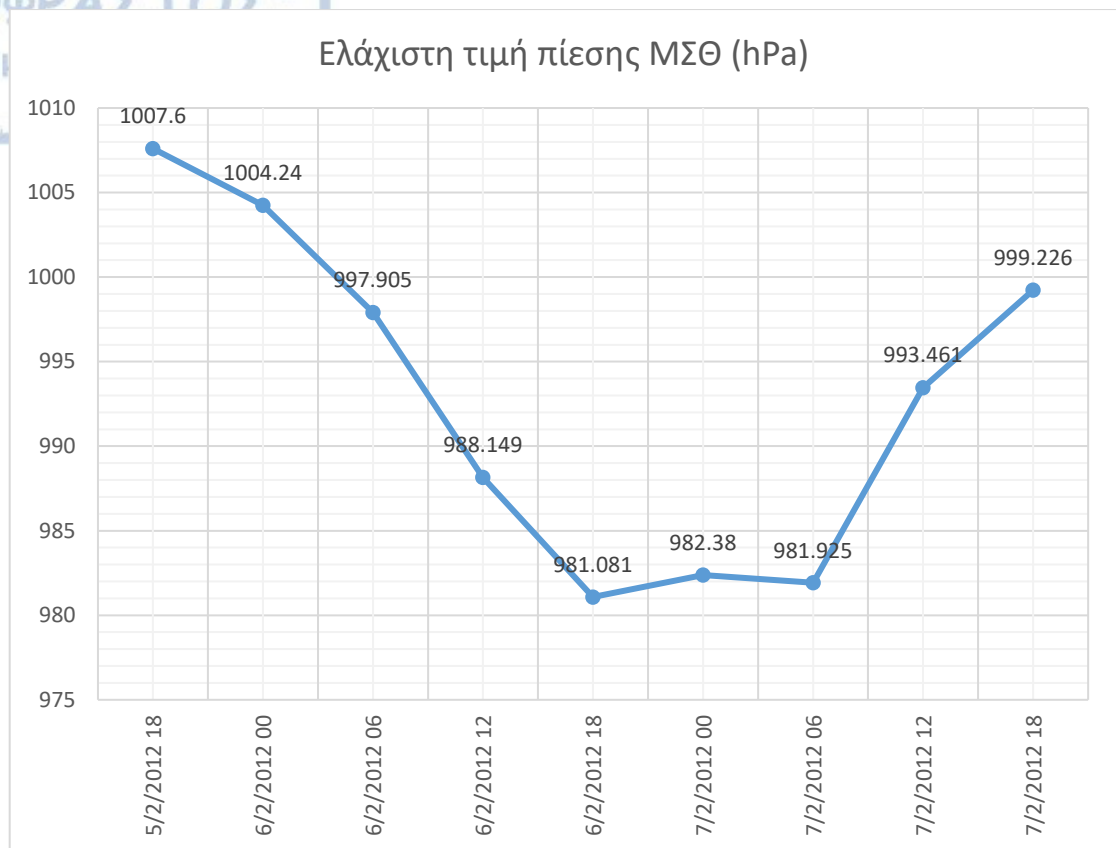
Σχήμα 3-2 Πίεση ΜΣΘ (hPa) από τις αναλύσεις του GFS (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα/ μήνας/ έτος, ώρα UTC)

3.3 ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΠΙΕΣΗ ΜΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Η ελάχιστη τιμή πίεσης ΜΣΘ δηλώνει το κέντρο του χαμηλού στην περιοχή, και είναι σημαντικό να παρατηρηθεί η μεταβολή της, καθώς αν γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα τότε τα καιρικά φαινόμενα που θα εκδηλωθούν θα είναι πολύ εντονότερα και το φαινόμενο θα χαρακτηριστεί εκρηκτικό. Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 3-3), η βάθυνση του χαμηλού ξεκινά στις 5/2/2012 18 UTC, ωστόσο αρχικά η μεταβολή της είναι ομαλή, στη συνέχεια όμως γίνεται όλο και πιο απότομη, με πρώτη τέτοια μεταβολή να συμβαίνει από τις 6/2/2012 00 UTC όπου σε 6 ώρες η πίεση έπεσε περίπου 6-7 hPa. Αυτό συμβαίνει γιατί ένας βασικός παράγοντας εμφάνισης εκρηκτικού κυκλώνα είναι η ύπαρξη θαλάσσιου περιβάλλοντος στις ψυχρές εποχές του έτους. Σε αυτές υπάρχουν ισχυροί επιφανειακοί άνεμοι που περιβάλλουν θερμό αέρα στα χαμηλά στρώματα και νέφη πολύ ισχυρής κατακόρυφης ανάπτυξης, προκαλώντας έτσι πολλές φορές πολύ έντονα καιρικά φαινόμενα (Böttger et al. 1975; Bosart 1981; Gyakum 1983; Mayengon 1984). Η μέγιστη πτώση πίεσης παρατηρείται μεταξύ των 6/2 06 UTC και 6/2 12 UTC, και είναι περίπου 9-10 hPa. Η διαφορά πίεσης ανά δωρο φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα 1 (αναφέρεται για το δωρο πριν την αναγραφόμενη ώρα, π.χ.: ημερομηνία 5/2 06 UTC αφορά το χρονικό διάστημα από 5/2 00 UTC έως 06 UTC).

Πίνακας 1 Διαφορά πίεσης (hPa) για το δωρο πριν απο την αναφερόμενη ώρα. (πχ. για τις 6/2 12 UTC, είναι: πίεση στις 12 UTC- πίεση στις 06 UTC) από τις αναλύσεις του GFS

Ημερομηνία	Διαφορά πίεσης
5/2 06	0,81
5/2 12	-4,45
5/2 18	0,38
6/2 00	-3,36
6/2 06	-6,335
6/2 12	-9,756
6/2 18	-7,068
7/2 00	1,299
7/2 06	-0,455
7/2 12	11,536



Σχήμα 3-3 Ελάχιστες τιμές πίεσης ΜΣΘ (hPa) (για τον οριζόντιο άξονα αναφέρεται: ημέρα/μήνας/έτος, ώρα UTC) από τις αναλύσεις του GFS (για τον κατακόρυφο άξονα αναφέρεται: πίεση σε hPa)

3.4 ΡΥΘΜΟΣ ΒΑΘΥΝΣΗΣ

Οι εκρηκτικές υφέσεις είναι τα χαμηλά που παρουσιάζουν ελάττωση της πίεσής τους κατά 1 Bergeron τουλάχιστον, δηλαδή κατά $1 \frac{hPa}{hr}$ για περίοδο 24 ωρών, για γεωγραφικό πλάτος $60^\circ N$ (Sanders and Gyakum, 1980).

Ο τύπος του ρυθμού βάθυνσης είναι:

$$NDRc = \frac{\Delta P \sin 60}{24 \sin \varphi},$$

Όπου $NDRc$ (Normalized Deepening Rate of Central pressure) ο 24ωρος ρυθμός πτώσης της πίεσης, ΔP η διαφορά πίεσης του χαμηλού για ένα 24ωρο, και φ το γεωγραφικό πλάτος.

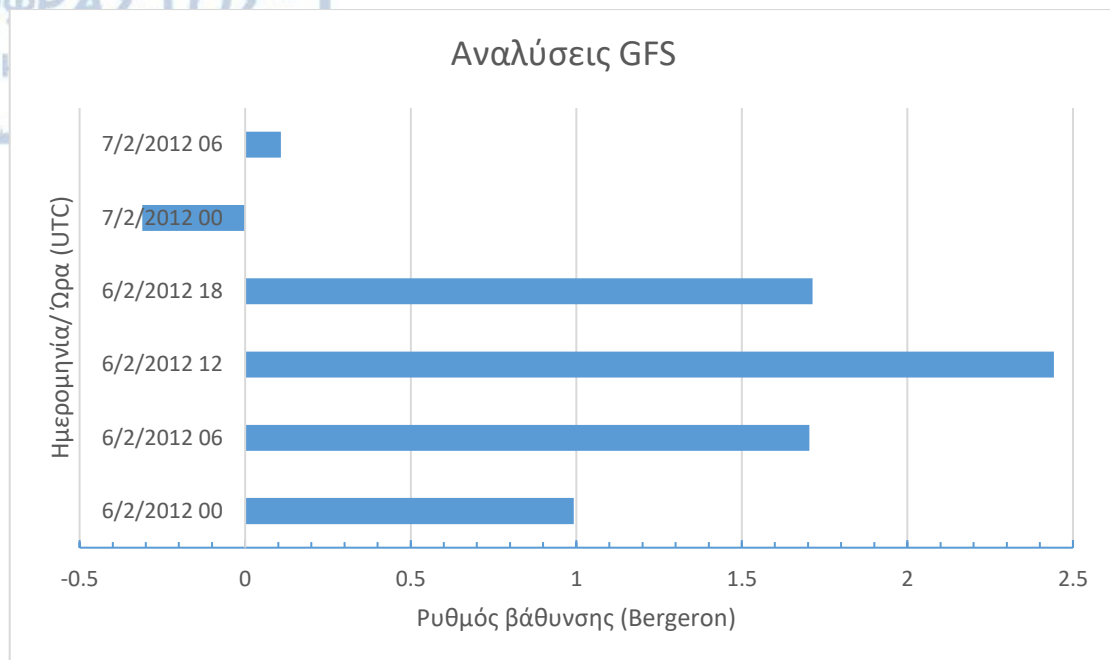
Στην παρούσα εργασία επειδή οι μεταβολές αναφέρονται στο δωρο, γίνεται και η σχετική αναγωγή στον τύπο, οπότε προκύπτει:

$$NDRc = \frac{\Delta P}{6 \frac{\sin \varphi}{\sin 60}},$$

Όπου ΔP η διαφορά πίεσης για το δωρο, και φ το μέσο γεωγραφικό πλάτος κατά το δωρο.

Οι τιμές Bergeron φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:

Να σημειωθεί ότι κάθε μπάρα αναφέρεται στο τέλος του δώρου που απεικονίζει την αντίστοιχη τιμή (π.χ. η μπάρα που αντιστοιχεί στις 6/2 12 UTC, αφορά το χρονικό διάστημα από 6/2 06 UTC έως 6/2 12 UTC).



Σχήμα 3-4 Ρυθμός βάθυνσης ύφεσης (Bergeron) (αφορά το δωρο πριν από αυτό που αναφέρεται, πχ: για τις 6/2 12 UTC, ισχύει το διάστημα από 06 έως 12 UTC) από τις αναλύσεις του GFS

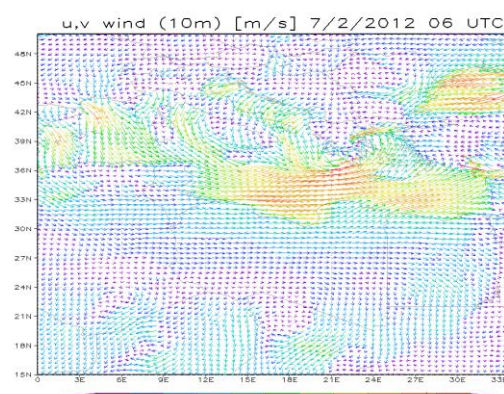
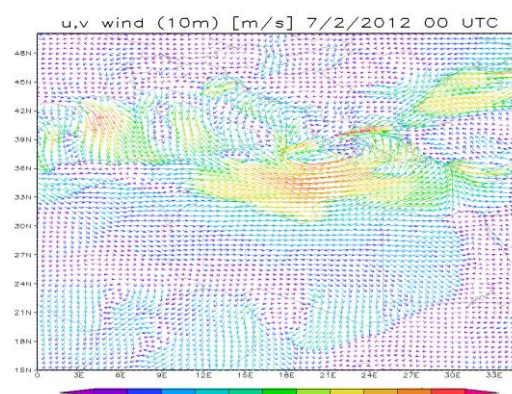
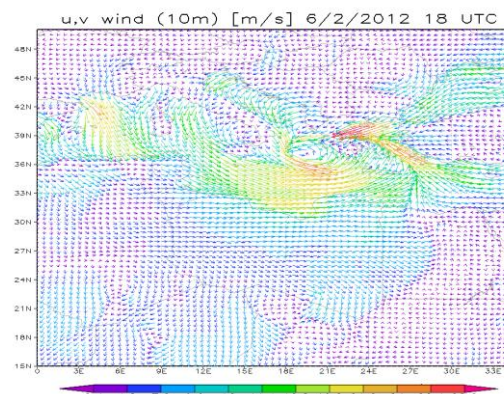
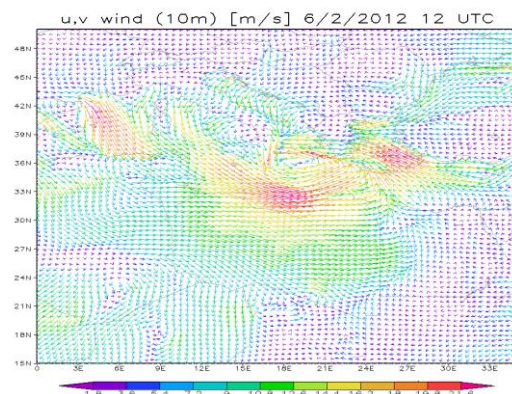
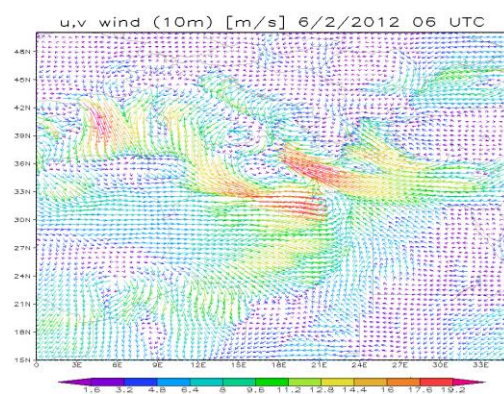
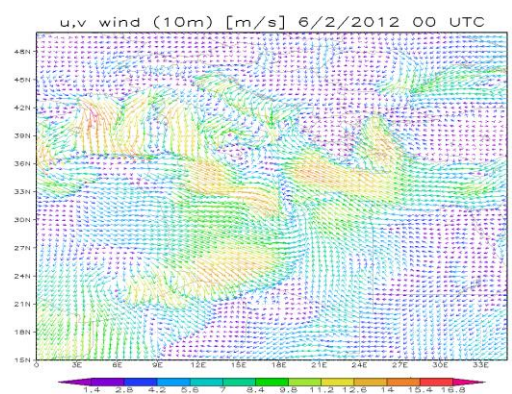
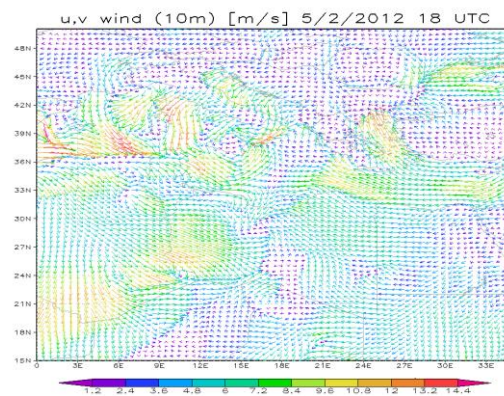
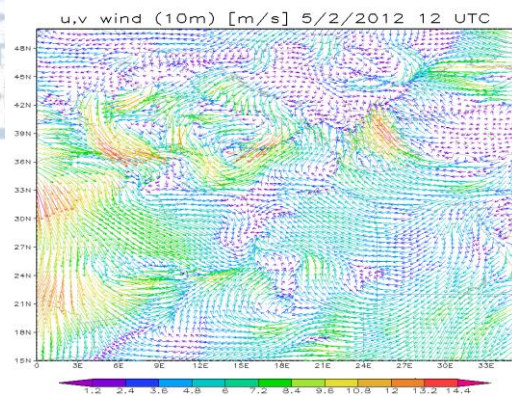
Παρατηρώντας τις τιμές στο σχήμα 3-4, επιβεβαιώνεται ότι πρόκειται για εκρηκτική κυκλογένεση, καθώς οι τιμές είναι πάνω από 1 Bergeron που είναι ελάχιστη προϋπόθεση, ειδικά μετά από τις 6/2 00 UTC, που το σύστημα μπαίνει στη Μεσόγειο. Η πιο έντονη μεταβολή παρατηρείται στο δωρο μεταξύ 6/2 06 UTC και 6/2 12 UTC, στιγμή που το χαμηλό είναι μεταξύ άλλων και σε ευνοϊκές γεωγραφικές συνθήκες για την εκρηκτική βάθυνσή του. Επίσης φαίνεται ότι δεν υπάρχουν τιμές πάνω από 1 Bergeron για τις 5/2, και αυτό γιατί παρόλο που υπήρχε ύφεση, δεν ελαττώθηκε η πίεση στον απαιτούμενο ρυθμό, οπότε ακόμα δεν θεωρείται εκρηκτική. Επίσης καθώς φτάνει στα νησιά του Ιονίου, ενώ η πίεση παραμένει σε αρκετά χαμηλά επίπεδα, εντούτοις δεν μειώνεται περεταίρω, και συνεπώς παύει ο εκρηκτικός του χαρακτήρας, με τις καιρικές συνέπειες να είναι ακόμα εμφανής μέχρι και την πλήρη αποδιοργάνωση του συστήματος μετά τις 7/2 12 UTC.

3.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΑΝΕΜΟΥ (10M)

Ο επιφανειακός άνεμος πνέει στα 10 m πάνω από το έδαφος, και δείχνει τις ταχύτητες και τη διεύθυνση που μπορεί να έχει, αλλά και τη συσχέτιση με την κατάσταση στην ανώτερη τροπόσφαιρα.

Η μελέτη του ανέμου αυτού συμπεριλαμβάνει τόσο τη ζωνική όσο και τη μεσημβρινή του συνιστώσα, u και v , για την περιοχή της Μεσογείου (Ζιακόπουλος και Φραγκούλη, 2015; Τσοπουρίδης, 2014).

Στις 5/2 12 UTC στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου καταγράφονται σημαντικές αλλαγές στις διευθύνσεις, κάτι που δείχνει διαταραχή της ισορροπίας της ατμόσφαιρας στην περιοχή. Παρατηρούνται φαινόμενα στροβιλισμού αρχικά πάνω από τη Σικελία στις 18 UTC που κινούνται ανατολικά, ενώ στις 6/2 00 UTC φαίνεται ο στροβιλισμός που προκαλείται από ένα άλλο χαμηλό στις ακτές της Λιβύης με κίνηση προς τα βόρεια, και ταχύτητες ανέμων έως και τα 15 m/s. Στις 12 UTC ανοιχτά του Ιονίου, φαίνεται ότι τα δυο αυτά συστήματα συγχωνεύονται και δημιουργούν ένα νέο χαμηλό με ακόμα πιο έντονα χαρακτηριστικά, που κινείται προς τον ελλαδικό χώρο, με πιο αργούς ρυθμούς, αλλά με ταχύτητες των ανέμων να φτάνουν τα 21 m/s. Στις 18 UTC το χαμηλό βρίσκεται πάνω από την Ελλάδα και ο στροβιλισμός δίνει ταχύτητες ανέμων έως και 28 m/s, μέγιστες για όλη τη διάρκεια του φαινομένου, κάτι που δείχνει τη σφοδρότητα της ύφεσης. Το σύστημα συνεχίζει τη δράση του έως και τις 7/2 12 UTC με σαφώς μικρότερη ένταση, οπότε και τελικά αρχίζει να εκτονώνεται πλήρως μέχρι και τις 18 UTC (σχήμα 3-5).

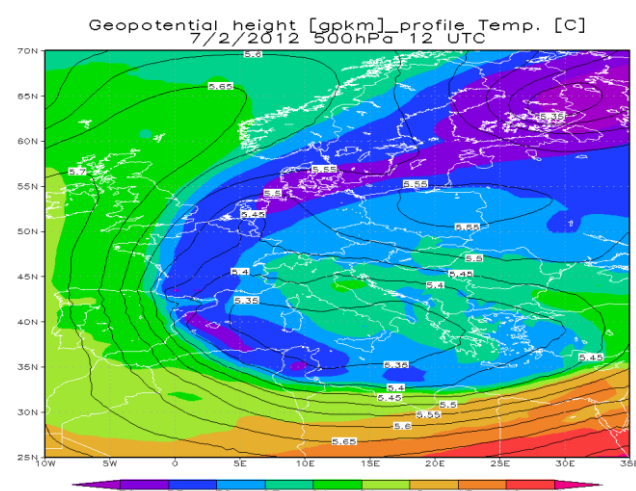
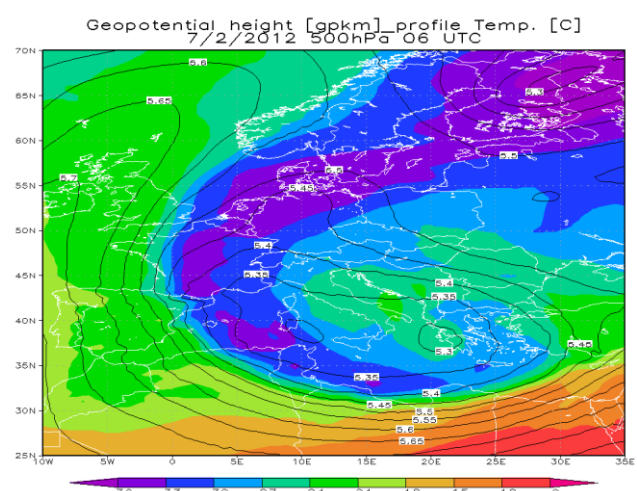
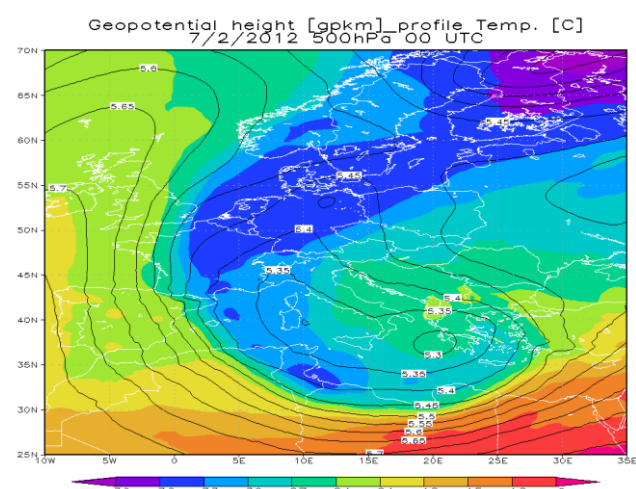
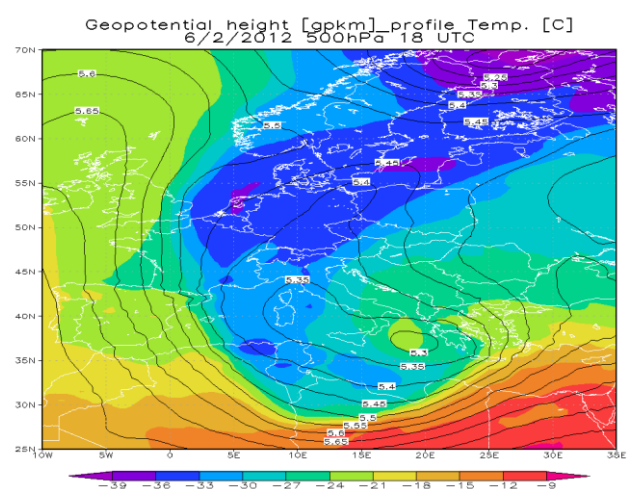
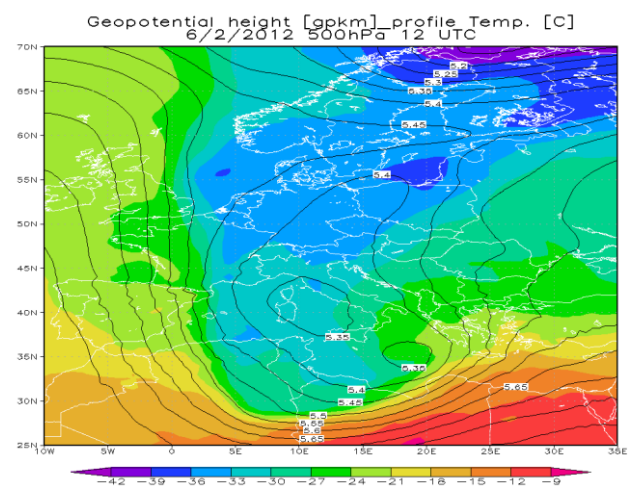
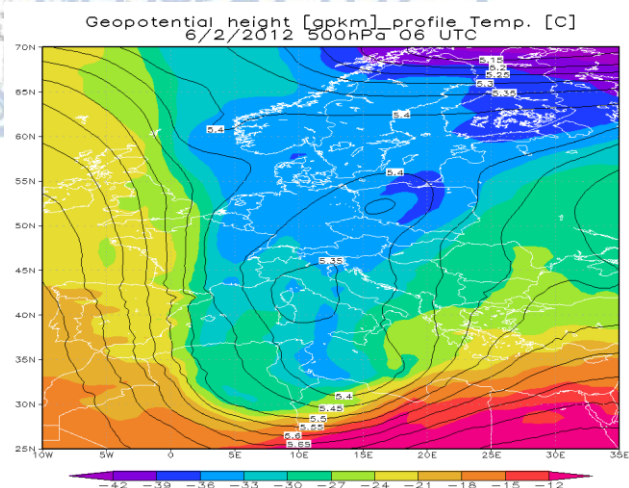


Σχήμα 3-5 Ταχύτητες ανέμου στα 10m (m/s) (για κάθε σχήμα: ημέρα/ μήνας/ έτος, ώρα UTC)
από τις αναλύσεις του GFS

3.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΑ 500 hPa

Ως γεωδυναμικό ορίζεται το έργο της δύναμης που απαιτείται προκειμένου μια μάζα αέρα να ανυψωθεί κατά κάποιο ύψος. Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που ενώνουν τα σημεία όπου το γεωδυναμικό είναι το ίδιο, λέγεται ισογεωδυναμική επιφάνεια. Αυτή είναι χρήσιμη, διότι μας επιτρέπει την αναγνώριση των αυλώνων και των ραχών, που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις μετεωρολογικές συνθήκες (Καρακώστας, 2013).

Η μελέτη του γεωδυναμικού ύψους στο επίπεδο των 500 hPa είναι απαραίτητη καθώς σε αυτό φαίνονται οι σημαντικές αλλαγές στην ισορροπία της τροπόσφαιρας. Η επιφάνεια αυτή σε απόλυτο υψόμετρο είναι περίπου 5,5 km από την επιφάνεια της θάλασσας, γι' αυτό και είναι αντιπροσωπευτική της συνολικής κατάστασης. Κατά μήκος των βόρειων ακτών της Αφρικής παρατηρείται ζωνική ροή της ατμόσφαιρας, κυρίως από τις 6/2 06 UTC, καθώς η περιοχή βρίσκεται στα νότια ενός εκτεταμένου αυλώνα που καλύπτει σχεδόν όλη τη Μεσόγειο. Το γεωδυναμικό ύψος στην περιοχή του κεντρικού Ιονίου στις 6/2 06 UTC ήταν 5,45 gpkm ενώ στο νότιο έφτανε και τα 5,5 gpkm. Στις 12 UTC παρατηρείται ότι κοντά στο Ιόνιο δημιουργείται ένα κλειστό χαμηλό των γεωδυναμικών υψών, το οποίο δηλώνει περισσότερη οργάνωση άρα και παρουσία κάποιου βαρομετρικού χαμηλού, και σε συνδυασμό με τη χαμηλή θερμοκρασία στην περιοχή αυτή στο επίπεδο των 500 hPa, μαρτυρά ευνοϊκές συνθήκες για εκδήλωση αστάθειας. Μέχρι τις 7/2 06 UTC το σύστημα εξαπλώνεται πάνω από τη νότια βαλκανική επικράτεια, οπότε και αρχίζει η σταδιακή διάλυσή του (σχήμα 3-6).

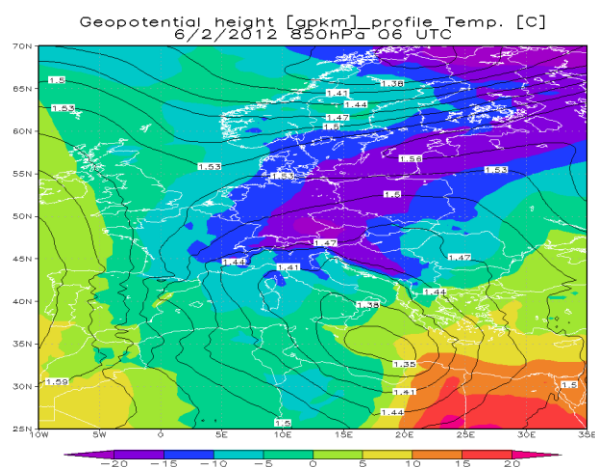
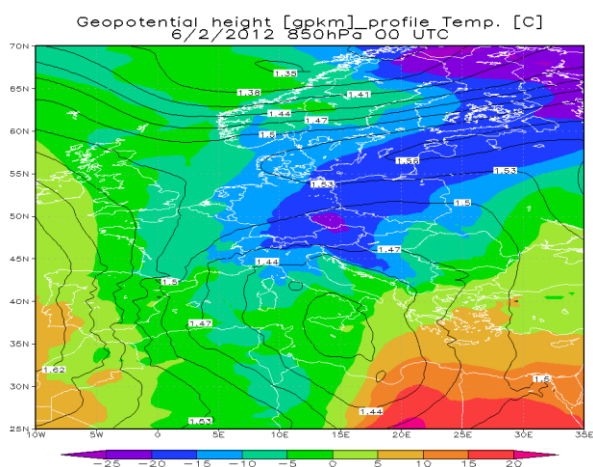


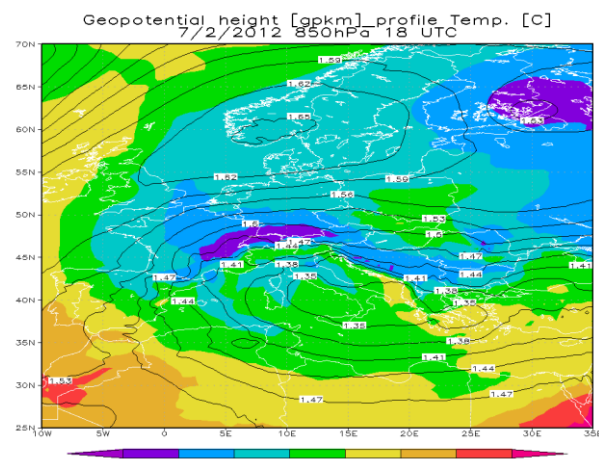
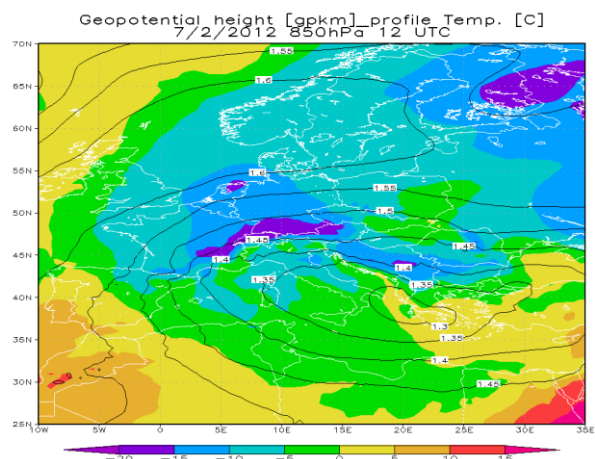
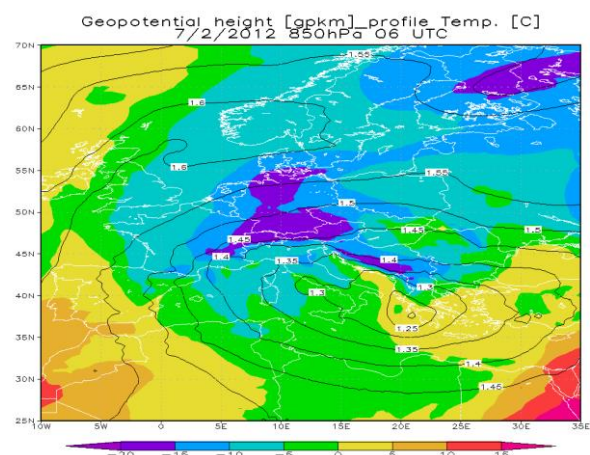
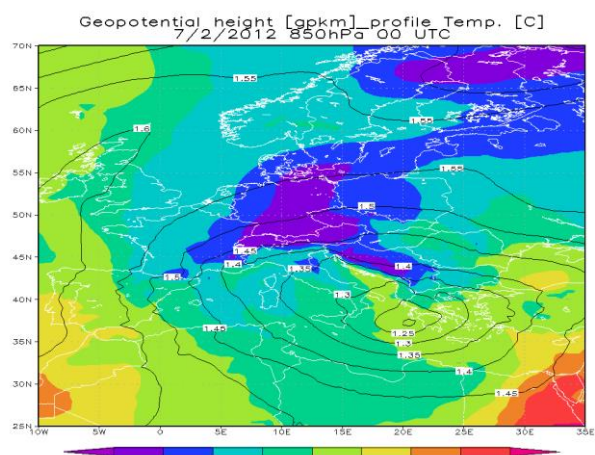
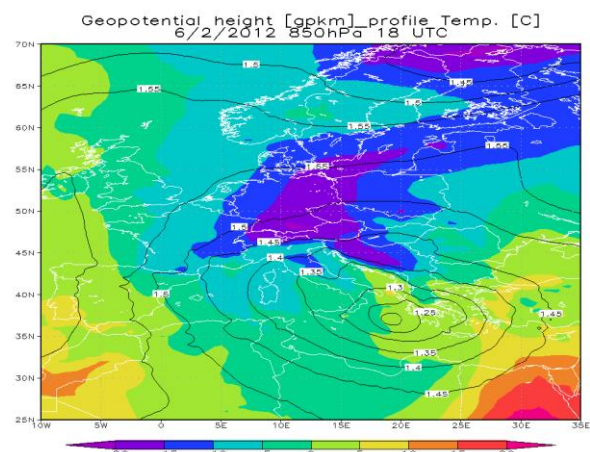
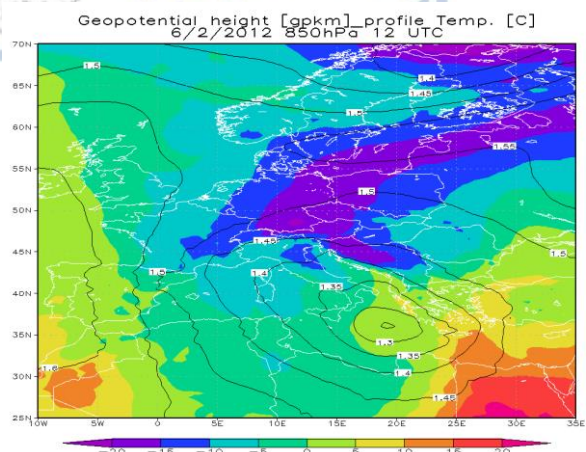
Σχήμα 3-6: Γεωδυναμικό ύψος (gpkm), ισοπληθείς: θερμοκρασία σκίαση (C), στα 500 hPa
(για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα/ μήνας/ έτος, επίπεδο πίεσης (hPa), ώρα UTC) από τις
αναλύσεις του GFS

3.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΑ 850 hPa

Το επίπεδο των 850 hPa βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια της γης, καθώς απέχει περίπου 1,5 km από την επιφάνεια της θάλασσας. Η θερμοκρασία σε αυτούς τους χάρτες, είναι περίπου 8° C μικρότερη από την επιφάνεια, υπό την προϋπόθεση βέβαια της μικρής επίδρασης, άλλων παραγόντων, όπως η υγρασία, η νεφοκάλυψη και άλλα, κάτι όμως που δεν συμβαίνει πάντα. Σε περιοχές πυκνών ισόθερμων καμπυλών φαίνεται η ύπαρξη ενός μετώπου, γι' αυτό και είναι πολύ χρήσιμη η μελέτη αυτής της επιφάνειας καθώς είναι πιο ευδιάκριτοι οι παράγοντες διαμόρφωσης του καιρού στην επιφάνεια (Καρακώστας, 2013).

Σύμφωνα με το σχήμα 3-7, στις 6/2 00 UTC φαίνεται ένα οργανωμένο κλειστό χαμηλών των υψών πάνω από την Σικελία, που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι ένδειξη βαρομετρικού χαμηλού, το οποίο συνδυάζεται με ένα άλλο χαμηλό στην επιφάνεια που έρχεται από τις ακτές της Λιβύης, με αποτέλεσμα η ύφεση να βαθαίνει ακόμα περισσότερο όπως προδίδει και ο δείκτης του γεωδυναμικού ύψους. Αυτό μεταβάλλεται καθώς από 1,35 grkm στις 06 UTC στα ανοιχτά του Ιονίου, γίνεται 1,2 grkm στις 18 UTC ακριβώς πάνω από τα Επτάνησα και μέχρι τις 7/2 06 UTC οπότε και αρχίζει να αυξάνεται. Επίσης παράλληλα στις ακτές της Αφρικής σχηματίζονται πυκνές ισόθερμες καμπύλες που δηλώνουν παρουσία μετώπου, το οποίο κινείται με κατεύθυνση από ΔΝΔ προς ΑΒΑ, διαμορφώνοντας και τις αντίστοιχες καιρικές συνθήκες.





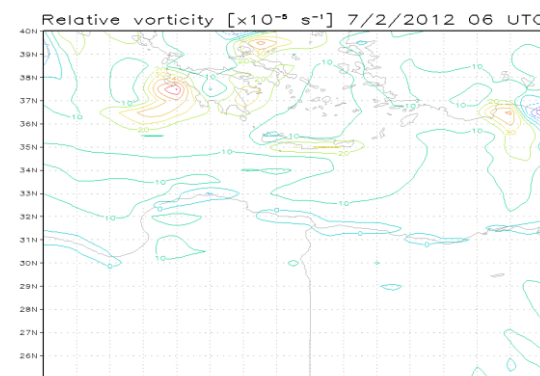
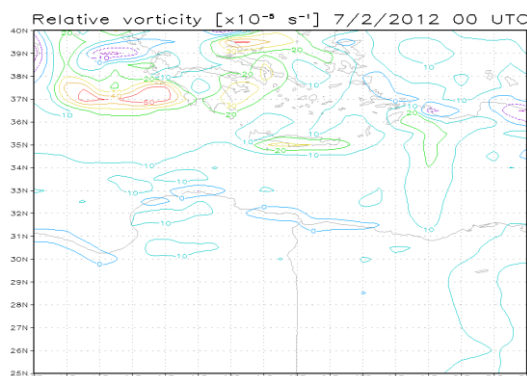
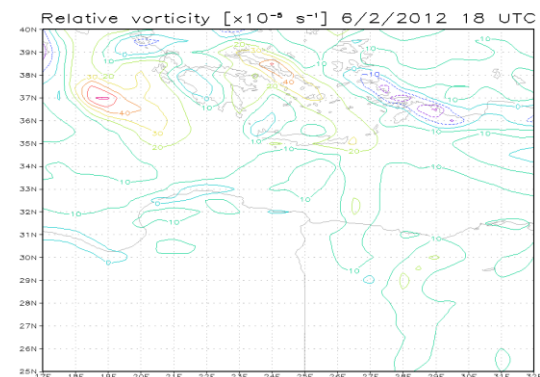
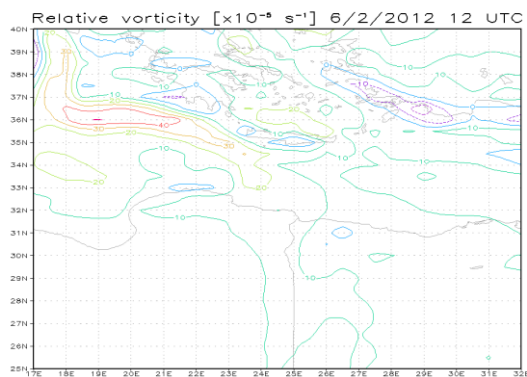
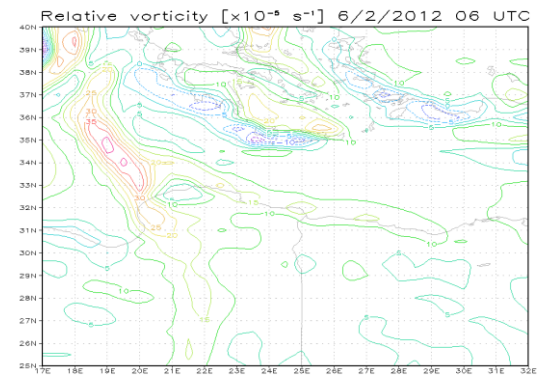
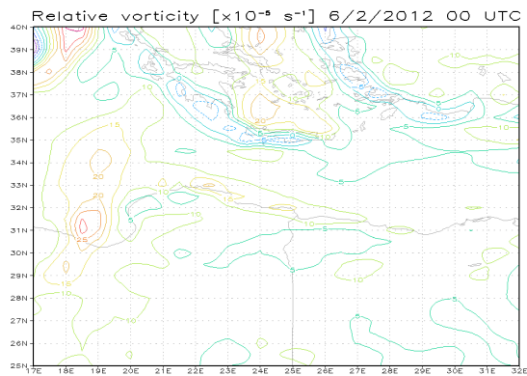
Σχήμα 3-7 καμπύλες: Γεωδυναμικό ύψος (gpkm), γραμμοσκιασμένο: θερμοκρασία (C), στα 850 hPa (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα/ μήνας/ έτος, επίπεδο πίεσης (hPa), ώρα UTC) από τις αναλύσεις του GFS

3.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΧΕΤΙΚΟΥ ΣΤΡΟΒΙΛΙΣΜΟΥ

Η ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται σαν ρευστό. Αυτό σημαίνει ότι η κίνησή του είναι πιο πολύπλοκη και όχι ενιαία. Μπορεί στην ίδια περιοχή να περιστρέφεται γύρω από πολλά κέντρα περιστροφής. Έτσι λοιπόν ο στροβιλισμός εξαρτάται τόσο από την κλίση του άξονα περιστροφής, όσο και από το διάνυσμα της ταχύτητας, και αποτελεί μέτρο τοπικής περιστροφής της ατμόσφαιρας. Πιο συγκεκριμένα, ο σχετικός στροβιλισμός έχει να κάνει με την κατακόρυφη συνιστώσα που ορίζει την περιστροφή μιας αέριας μάζας γύρω από έναν άξονα περιστροφής και έχει δυο συνιστώσες: το σχετικό στροβιλισμό λόγω καμπυλότητας, και αυτόν λόγω διατμητικού ανέμου (Ζιακόπουλος και Φραγκούλη, 2015). Η τιμή του σχετικού στροβιλισμού αυξάνεται, όσο μειώνεται το γεωδυναμικό ύψος, γι' αυτό και στους αυλώνες, παίρνει μέγιστη τιμή, ενώ ελάχιστη στις ράχες. Η κατανομή του στροβιλισμού είναι σημαντική, καθώς μπορεί να συμβάλλει σημαντικά τόσο στη δημιουργία, όσο και στην ενίσχυση υφέσεων, αναλόγως και άλλων παραγόντων με ίδια επίδραση. Επίσης η μελέτη τους σχετίζεται και με την πρόγνωση τους, αφού έρευνες των Sanders (1986) και Gyakum (1990), έδειξαν ότι πάντα συνυπήρχαν ένα κέντρο χαμηλού με ένα κέντρο στροβιλισμού, και μάλιστα ο στροβιλισμός πολλές φορές εμφανιζόταν έως και 48 ώρες νωρίτερα. Οι αυλώνες που σχηματίζονται (trough), ευνοούν τις ανοδικές κινήσεις της ατμόσφαιρας, άρα και την εκδήλωση καιρικών φαινομένων λόγω αυξημένης νεφοκάλυψης. Κατά την επαφή ενός μετώπου με έναν αυλώνα, δημιουργείται θετική μεταφορά στροβιλισμού, δηλαδή κυκλωνικός στροβιλισμός, που σημαίνει περαιτέρω απότομη βάθυνση του χαμηλού, σύμφωνα με τους Sanders and Gyakum (1980); Sanders (1986). Όπως φαίνεται λοιπόν, η μελέτη του στροβιλισμού είναι σημαντική για το γεγονός αυτό, καθώς μπορεί να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την ύπαρξη μιας βάθυνσης αλλά και την ένταση αυτής.

Από τις 5/2 00 UTC και για 24 ώρες δεν παρατηρείται κάποια αξιοσημείωτη μεταβολή στο στροβιλισμό στο επίπεδο των 1000 hPa καθώς ακόμα το σύστημα δεν έχει μεταφερθεί προς τη Μεσόγειο. Από τις 6/2 00 UTC όμως, όπως φαίνεται στο σχήμα 3-8, στις ακτές της Λιβύης εμφανίζεται τιμή $30 * 10^{-5} \frac{1}{sec}$, κάτι που δείχνει παρουσία ύφεσης, ενώ κατά τη μετακίνηση προς τα βόρεια, φτάνει μέσα σε 6 ώρες τα $40 * 10^{-5} \frac{1}{sec}$, και κρατάει σταθερά την τιμή αυτή στα ανοιχτά του Ιονίου μέχρι τις 18 UTC.

Έπειτα, την αυξάνει, καθώς στις 6/2 18 UTC φτάνει τα $60 \cdot 10^{-5} \frac{1}{sec}$, και ακόμα περισσότερο στις 7/2 06 UTC με τιμή που αγγίζει τα $70 \cdot 10^{-5} \frac{1}{sec}$, δείχνοντας την έντονη δράση του αυλώνα στην περιοχή, που ενίσχυσε τον υπό μελέτη εκρηκτικό κυκλώνα.

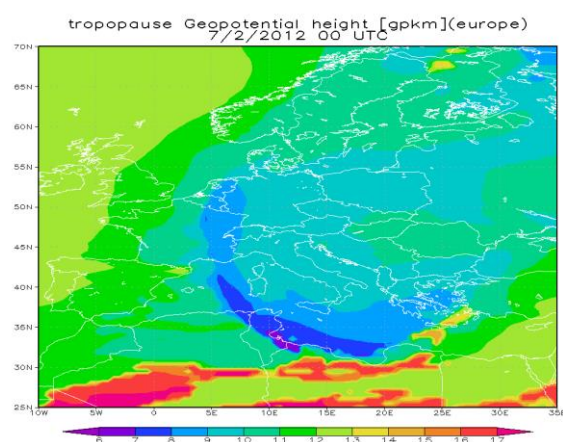
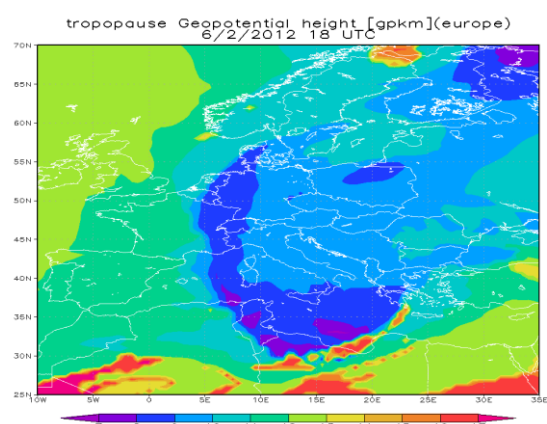
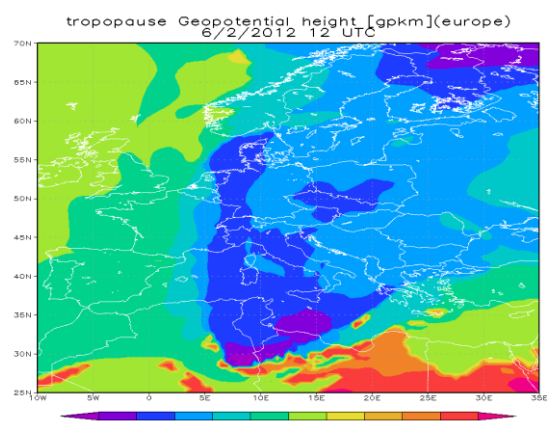
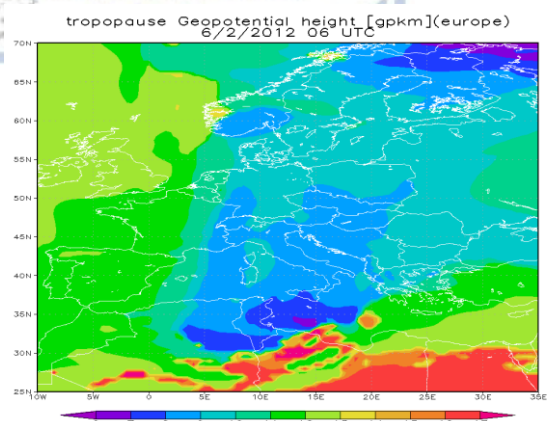


Σχήμα 3-8 Σχετικός στροβιλισμός στο επίπεδο των 1000 hPa ($\times 10^{-5} s^{-1}$) (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα/ μήνας/ έτος, ώρα UTC) από τις αναλύσεις του GFS

3.9 ΑΝΑΛΥΣΗ ΎΨΟΥΣ ΤΡΟΠΟΠΑΥΣΗΣ

Η τροπόπαυση είναι η μεταβατική επιφάνεια πάχους 11-12 km, για τις εύκρατες περιοχές, μεταξύ της τροπόσφαιρας και της στρατόσφαιρας και είναι δυο ειδών: η τροπική και η πολική. Η τροπική εμφανίζεται σε μικρά γεωγραφικά πλάτη ($35-40^\circ$), ενώ η πολική σε μεγάλα. Το ύψος σχετίζεται επίσης τόσο με την εποχή του έτους, όσο και με το είδος του συστήματος που επικρατεί από κάτω. Το ύψος μειώνεται όταν από κάτω υπάρχει κυκλωνικό σύστημα ή/και εποχιακή μετάβαση προς άνοιξη, ενώ αυξάνεται πάνω από αντικυκλώνα ή/και από εποχιακή μετάβαση προς φθινόπωρο. Η δυναμική τροπόπαυση ορίζεται ως η επιφάνεια, με τιμές δυναμικού στροβιλισμού 2 PVU (Hoskins and Berrisford 1988). Όταν φαίνεται να καθιζάνει σε χαμηλότερα ύψη, σχηματίζει αναδίπλωση κατά έναν άξονα. Έτσι υπάρχει μια ένδειξη ύπαρξης αεροχειμάρρου (Ακριτίδης κ.α., 2008). Η μελέτη της θεωρείται σημαντική καθώς ανάμεσα στα δυο είδη τροπόπαυσης, εμφανίζεται ένα σύστημα ροής ανέμων με πολύ υψηλές ταχύτητες, τους αεροχειμάρρους, που επηρεάζουν τα συστήματα των κατώτερων στρωμάτων. Στην ανώτερη τροπόσφαιρα μπορούν να εμφανιστούν ανωμαλίες που προέρχονται από τη στρατόσφαιρα, στις οποίες μειώνεται το ύψος της τροπόπαυσης, και λέγονται δυναμικές ανωμαλίες της τροπόπαυσης (Πυθαρούλης, 2010). Αυτές οι ανωμαλίες της τροπόπαυσης ευνοούν την κυκλογένεση όταν αλληλεπιδρούν με μια βαροκλινική ζώνη της κατώτερης τροπόσφαιρας.

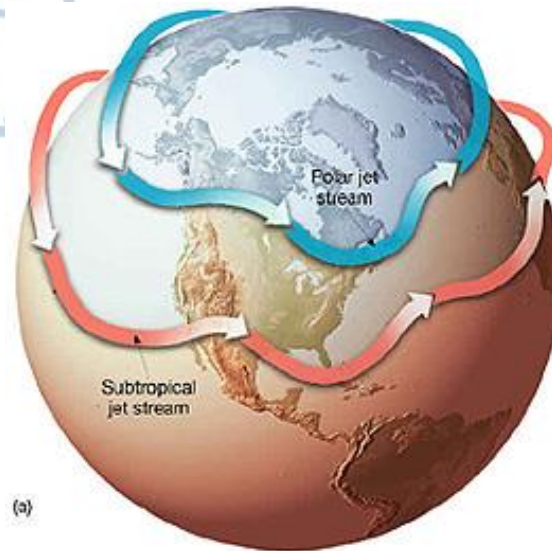
Στην περίπτωση του εκρηκτικού κυκλώνα που μελετάται εδώ (σχήμα 3-9), αξιοσημείωτη αλλαγή φαίνεται στην περιοχή ενδιαφέροντος μετά τις 6/2 06 UTC, όπου στο νότιο Ιόνιο το ύψος έχει τιμές από 11 grkm, ενώ στις 12 UTC εμφανίζει τιμές 8 grkm που στις 18 UTC περνούν στα 6-7 grkm. Αυτό δείχνει ύπαρξη ύφεσης που βαθαίνει αρκετά, οπότε η επιφάνεια 2 PVU καθιζάνει δείχνοντας έτσι και σύμφωνα με τα παραπάνω, ότι υπάρχει αεροχειμάρρος. Έπειτα το ύψος αυξάνεται σταδιακά για ένα ωρο και παραμένει για λίγο σταθερό, οπότε και μειώνεται εκ νέου, πιθανώς λόγω άλλου χαμηλού στην περιοχή.



Σχήμα 3-9 Γεωδυναμικό ύψος τροπόπαυσης (gpkm) (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα/ μήνας/ έτος, ώρα UTC) από τις αναλύσεις του GFS

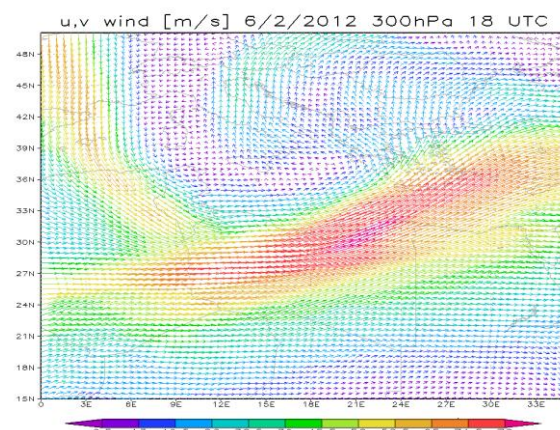
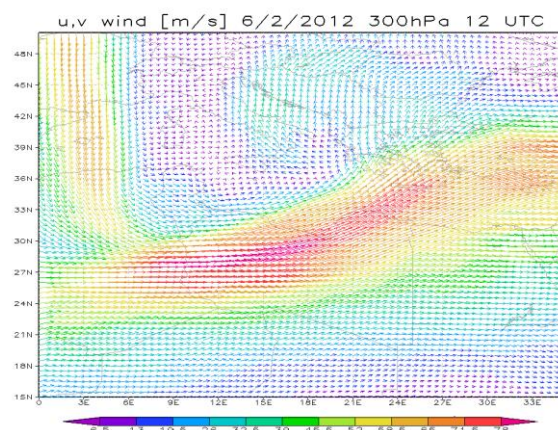
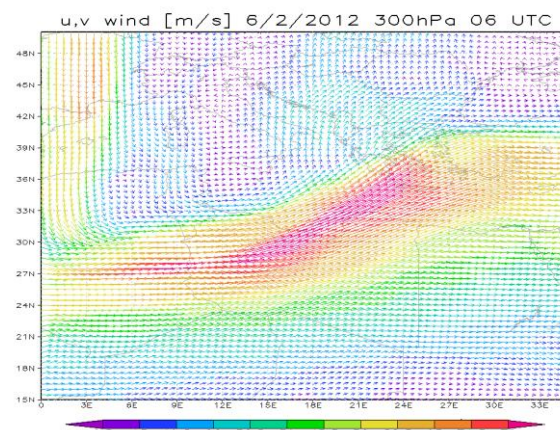
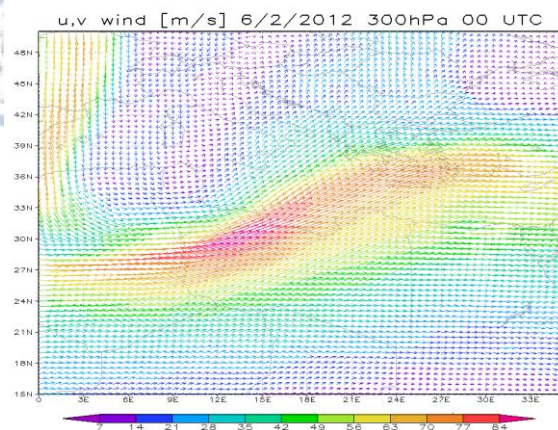
3.10 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΕΡΟΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΣΤΑ 300 ΗΡΑ

Ο αεροχείμαρρος (σχήμα 3-10) εκτείνεται σε ένα συγκεκριμένο στενό τμήμα της ατμόσφαιρας, που βρίσκεται μεταξύ άνω τροπόσφαιρας και κάτω στρατόσφαιρας και χαρακτηρίζεται για τον πολύ ισχυρό άνεμο που πνέει σε αυτόν και είναι δείκτης μεγάλης βαροκλινικότητας. Μια ελάχιστη τιμή που έχει οριστεί εμπειρικά για να ονομαστεί μια οριζόντια παράμετρος του ανέμου ως αεροχείμαρρος είναι οι 60 kn (Ζιακόπουλος και Φραγκούλη, 2015). Η βάθυνση ευνοείται από την ύπαρξη ενός αεροχειμάρρου, αν διέλθει πάνω από τη θέση του χαμηλού (Wash et al. 1988), και εξαρτάται από τις περιοχές των ανοδικών κινήσεων που προκαλούνται από αυτόν (δεξιά της εισόδου και αριστερά της εξόδου για αεροχείμαρρο με έλλειψη καμπυλότητας). Ο αεροχείμαρρος όταν μεταφέρει τυρβώδη κινητική ενέργεια στο χαμηλό, ενισχύει τη βάθυνσή του. Επίσης η αλληλεπίδραση αεροχειμάρρου- αναδίπλωσης τροπόπαυσης παίζει σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση μιας ύφεσης, καθώς η ύπαρξη του πρώτου προϋποθέτει την ύπαρξη της δεύτερης. Η μεταφορά στρατοσφαιρικού αέρα στη μέση τροπόσφαιρα παράλληλα στην κίνηση ενός αεροχειμάρρου, λέγεται αναδίπλωση τροπόπαυσης (Reed 1955), και είναι δείκτης έντονου στροβιλισμού. Από τους MacDonald and Reiter (1988) προκύπτει ότι αναδίπλωση τροπόπαυσης γίνεται τόσο στην εκρηκτική, όσο και την απλή κυκλογένεση, οπότε δεν μπορεί αυτό να θεωρηθεί διαχωριστικό κριτήριο μεταξύ των δυο. Αυτό σημαίνει ότι η αναδίπλωση έχει σημασία μόνο σε συνδυασμό με τον αεροχείμαρρο όσον αφορά τη δημιουργία εκρηκτικών κυκλώνων, και αυτό μάλιστα δεν συντελεί πάντα σε όλες τις περιπτώσεις, οπότε χρήζει ειδικής μελέτης κάθε φορά.



Σχήμα 3-10 Πολικός και υποτροπικός αεροχειμάρρος (πηγή: North Carolina Climate Office, www.climate.ncsu.edu)

Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα του σχήματος 3-11, ο αεροχειμάρρος φαίνεται να είναι στα παράλια της Αφρικής με προσανατολισμό από ΔΝΔ προς ΑΒΑ και ταχύτητες που φτάνουν τα 85 m/s στη βόρεια Λιβύη για τις 6/2 00 UTC, ενώ το κέντρο του αεροχειμάρρου είναι στο δυτικό τμήμα του. Με τις υψηλές ταχύτητες να καταλαμβάνουν όλο και περισσότερη έκταση, η σφοδρότητα του αεροχειμάρρου εξαπλώνεται από τη Λιβύη μέχρι και τη νότια Ελλάδα. Μέχρι τις 12 UTC η ταχύτητα παραμένει στη μέγιστη τιμή του, οπότε και αρχίζει να εξασθενεί ενώ ταυτόχρονα συνεχίζει να απομακρύνεται από την κεντρική Μεσόγειο προς τα ανατολικά. Στο μεσοδιάστημα, όπως φαίνεται και από τις προηγούμενες παραμέτρους που αναλύθηκαν, κάτω από τον αεροχειμάρρο περνάει το χαμηλό που έρχεται από τη Λιβύη με διεύθυνση προς τα βόρεια, αλλά και από αυτό που έρχεται από τη Σικελία με διεύθυνση προς νοτιοανατολικά στις 6/2 από 06 έως 12 UTC, για τα οποία ίσως αποτελεί την κινητήρια δύναμη για την ενίσχυση της δράσης αυτού του κοινού συστήματος βαρομετρικών χαμηλών. Στο διάστημα αυτό με την εντονότερη βάθυνση του επιφανειακού χαμηλού, το σύστημα βρισκόταν αρχικά μπροστά και στη συνέχεια αριστερά της εξόδου του αεροχειμάρρου σε θέσεις που ευνοούνται οι ανοδικές κινήσεις και άρα η ενίσχυση της κυκλογένεσης.



Σχήμα 3-11 Αεροχείμαρρος στα 300 hPa ($\frac{m}{s}$) (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα/ μήνας/ έτος, επίπεδο πίεσης (hPa), ώρα UTC) από τις αναλύσεις του GFS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

4. ΠΡΟΓΝΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ «BOMBΑΣ» ΑΠΟ 30/1 ΕΩΣ 6/2

4.1 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΘΕΣΗΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΧΑΜΗΛΟΥ

Σε αυτήν την ενότητα θα συγκριθούν τα πραγματικά δεδομένα της θέσης της ύφεσης με τις προγνώσεις του GFS που πραγματοποιήθηκαν από τις προηγούμενες μέρες για τις 6-7/2 στην κεντρική Μεσόγειο όπου και δημιουργήθηκε ο εκρηκτικός κυκλώνας. Σημειώνεται ότι η πρόγνωση του GFS για κάθε ημέρα γίνεται με χρήση των αναλύσεων 12 UTC.

Οι περιπτώσεις της πρόγνωσης από τις 30/1 και τις 31/1 ήταν αρκετά άστοχες καθώς δεν εντόπισαν καθόλου την πιθανότητα να σχηματιστεί ένα βαρομετρικό χαμηλό, πόσο μάλλον εκρηκτικό. Αυτό δείχνει ότι το μοντέλο GFS δεν ήταν αξιόπιστο για τόσο μελλοντικές προβλέψεις ενός τόσο έντονου φαινομένου, γι' αυτό και πρέπει να περιοριστούμε στις κοντινότερες για ασφαλή συμπεράσματα. Βέβαια αυτό αποτελεί και κίνητρο για περισσότερη έρευνα που θα μείωνε ενδεχομένως τα σφάλματα καθιστώντας πιο φερέγγυες τις προγνώσεις έστω και συγκεκριμένων παραμέτρων.

Στην πρόγνωση που αρχικοποιήθηκε στις 1/2 υπάρχουν ενδείξεις για την παρουσία μιας ύφεσης η οποία από τα παράλια της Λιβύης θα κινηθεί βόρεια, και το κέντρο του χαμηλού παρουσιάζεται πιο ανατολικά, κάτω από την Πελοπόννησο και μέσα στο βόρειο Αιγαίο (σχήμα 4-1).

Στην πρόγνωση που αρχικοποιήθηκε στις 2/2 η πρόγνωση δίνει έναν ισχυρό κυκλώνα όμως πέφτει αρκετά έξω στην περιοχή που θα εμφανιστεί, καθώς μετά τις 6/2 06 UTC δείχνει την ύφεση να έχει μετακινηθεί αρκετά βορειότερα, φτάνοντας τις ακτές της νοτιοανατολικής Ιταλίας και Σικελίας. Βέβαια, όπως φαίνεται από την πραγματικότητα, υπήρχε εκεί όντως ένα χαμηλό, το οποίο δεν είναι σίγουρο το πώς αλληλεπιδράσε με αυτό που ήρθε από τα νότια και τα παράλια της Λιβύης, αλλά υπάρχει πιθανότητα να συγχωνεύθηκαν σχηματίζοντας πολλαπλά κέντρα, με το βαθύτερο από αυτά να θεωρείται αντιπροσωπευτικό του συστήματος της παρούσας μελέτης και να

βρίσκεται στα ανοιχτά του Ιονίου. Έπειτα το σύστημα κινείται βορειότερα σε σχέση με αυτό που έδειξε η ανάλυση (σχήμα 4-2).

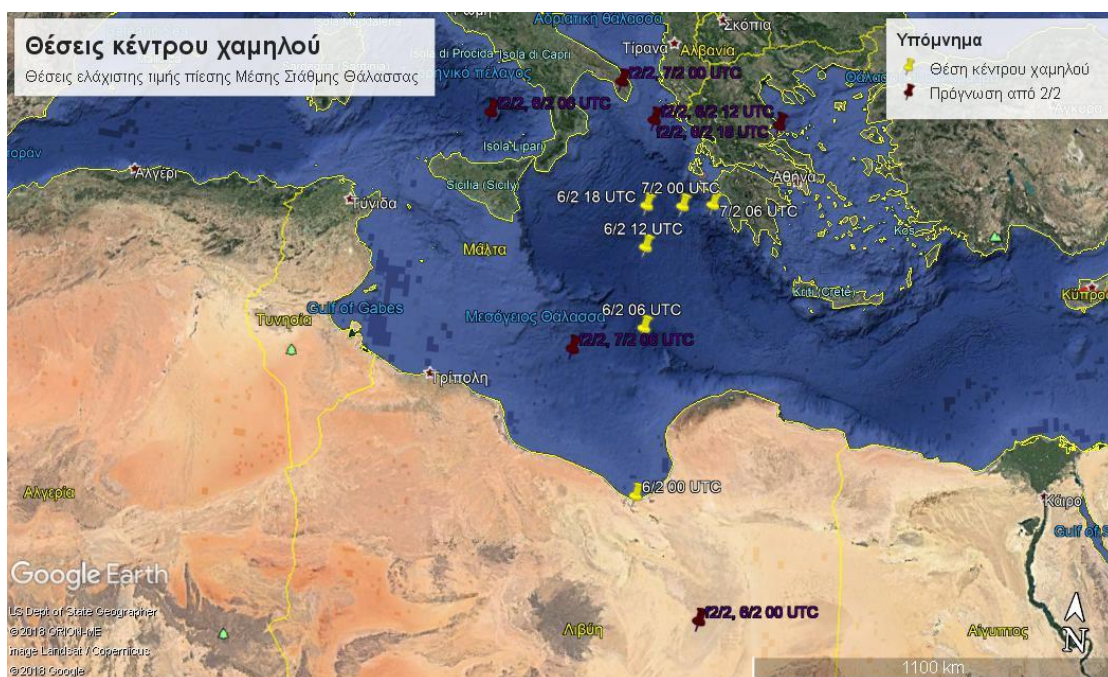
Στην πρόγνωση που αρχικοποιήθηκε στις 3/2 το μοντέλο κάνει μια πολύ καλή προσέγγιση όσον αφορά τη γεωγραφική θέση του φαινομένου τις ημέρες αυτές, με μικρές αποκλίσεις κυρίως μετά τις 7/2. Οι τιμές είναι πολύ κοντινές με την πραγματικότητα αφού γίνεται πρόγνωση για εκρηκτική κυκλογένεση στην περιοχή. Όσον αφορά τη γεωγραφική κατανομή, μπορεί να χαρακτηριστεί ίσως από τις πιο εύστοχες προγνώσεις γι' αυτό το φαινόμενο (σχήμα 4-3).

Στην πρόγνωση που αρχικοποιήθηκε στις 4/2 παρότι η πρόγνωση χρονικά είναι πιο κοντά με το γεγονός, δεν φαίνεται να δίνει παρόμοια ή καλύτερα αποτελέσματα από την προηγούμενη, αφού γεωγραφικά είναι αρκετά επιτυχής μόνο για την περίοδο από 6/2 12 UTC έως και 7/2 00 UTC. Τα κέντρα εκατέρωθεν αυτών των χρονικών στιγμών είναι αρκετά μετατοπισμένα, ενώ οι τιμές που παίρνουν αφορούν έντονη κυκλογένεση, αλλά ίσως όχι τόσο εκρηκτική, όπως θα φανεί παρακάτω (σχήμα 4-4).

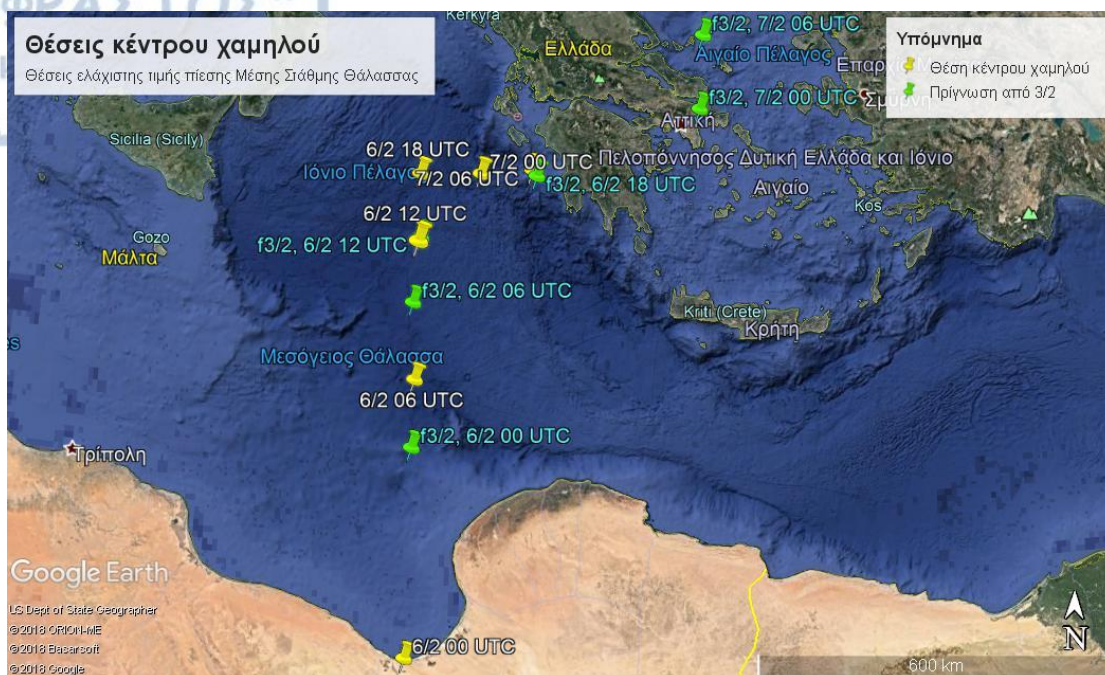
Στις 5/2 η πρόγνωση είναι σε γενικές γραμμές καλή, αφού τόσο τα γεωγραφικά όσο και τα ποσοτικά όρια είναι σχετικά κοντά στην πραγματικότητα, μιας και το χαμηλό έχει ήδη αρχίσει να δείχνει τα πρώτα σημάδια σχηματισμού του αφού πλέον η χρονική απόσταση πρόγνωσης- παρατήρησης είναι αρκετά μικρή (σχήμα 4-5).



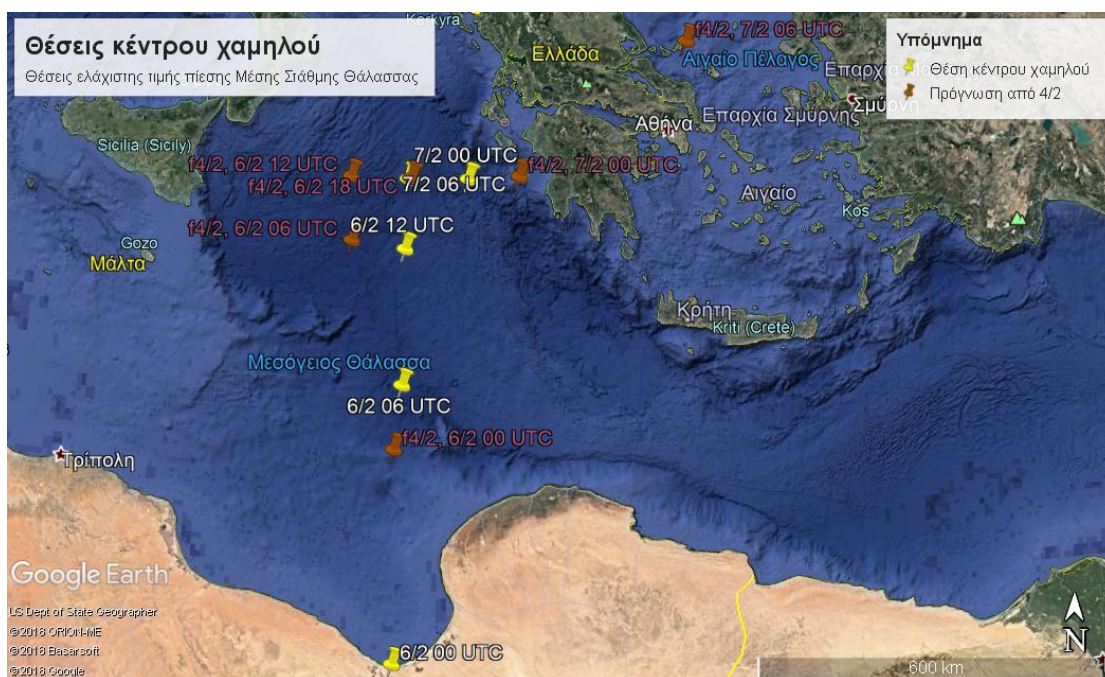
Σχήμα 4-1 Πρόγνωση θέσης κέντρου χαμηλού από 1/2 (για κάθε θέση σημειώνεται: ημέρα/μήνας, ώρα UTC)



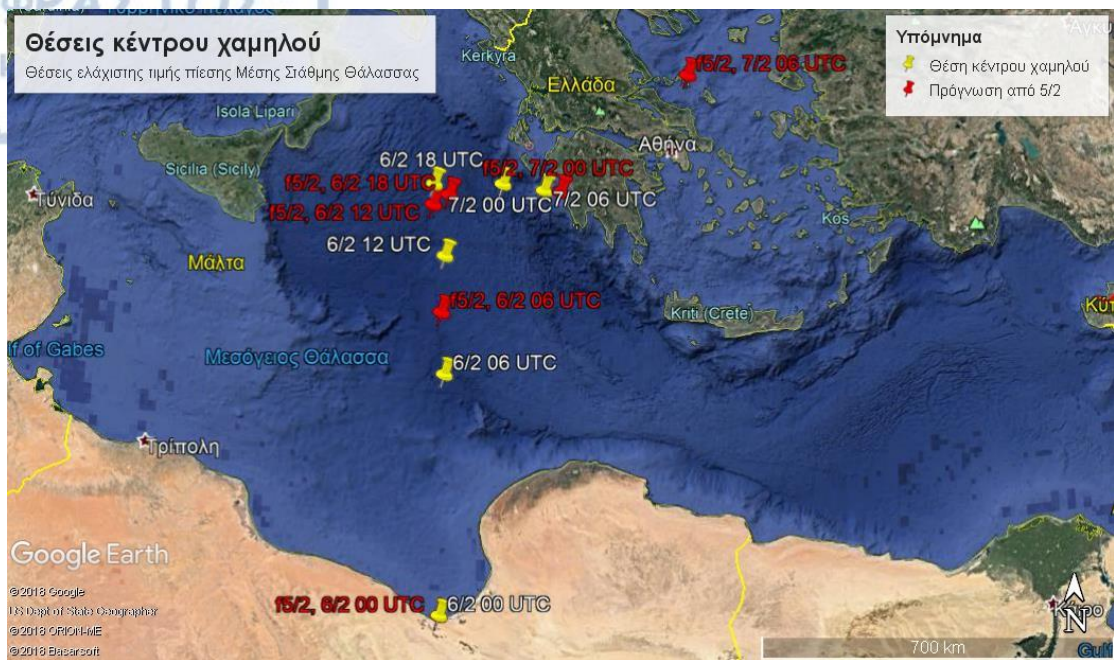
Σχήμα 4-2 Πρόγνωση θέσης κέντρου χαμηλού από 2/2 (για κάθε θέση σημειώνεται: ημέρα/μήνας, ώρα UTC)



Σχήμα 4-3 Πρόγνωση θέσης κέντρου χαμηλού από 3/2 (για κάθε θέση σημειώνεται: ημέρα/μήνας, ώρα UTC)



Σχήμα 4-4 Πρόγνωση θέσης κέντρου χαμηλού από 4/2 (για κάθε θέση σημειώνεται: ημέρα/μήνας, ώρα UTC)



Σχήμα 4-5 Πρόγνωση θέσης κέντρου χαμηλού από 5/2 (για κάθε θέση σημειώνεται: ημέρα/ μήνας, ώρα UTC)

4.2 ΣΦΑΛΜΑ ΘΕΣΗΣ

Ο χαρακτηρισμός μιας πρόγνωσης ως έγκυρη, είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, ένας από αυτούς είναι και η γεωγραφική θέση στην οποία δείχνει ότι θα εκδηλωθεί το συμβάν. Το μοντέλο μπορεί να δώσει σωστά κάποιες παραμέτρους που αφορούν ποσοτικά δεδομένα, αλλά για κάποια περιοχή εντελώς διαφορετική από την πραγματική, οπότε η επιτυχία της πρόγνωσης γενικά εξαρτάται από το σύνολο των παραμέτρων ελέγχου. Έτσι λοιπόν, για το σωστό προσδιορισμό της συνολικής εικόνας που δίνει μια πρόγνωση, είναι απαραίτητο να προσδιορίζουμε και το γεωγραφικό σφάλμα (location error).

Η πρόγνωση από την 1/2 είναι άστοχη όσον αφορά τη γεωγραφική κατανομή, καθώς το κέντρο του χαμηλού παρουσιάζει πολύ μεγάλη απόκλιση σε όλη τη διάρκεια μελέτης του γεγονότος, εκτός από τη χρονική στιγμή της ελάχιστης πίεσής του, η οποία να μην έχει μικρότερη διαφορά (147 km) αλλά παραμένει αρκετά σημαντική. Η μέγιστη βάθυνση φαίνεται και από την πρόγνωση ότι έγινε στις 6/2 12 UTC (Σχήμα 4.6α), και αυτό γιατί εκεί ήταν αρκετά βέβαιο ότι θα παρουσιαστεί έντονη κυκλογένεση. Συνολικά πάντως το σύστημα, σε σχέση με την ανάλυση, φαίνεται μετατοπισμένο προς τα βορειοανατολικά, και πρέπει να σημειωθεί ότι η ημέρα πρόγνωσης απέχει αρκετά από την ημέρα παρατήρησης (σχήμα 4-6α).

Η πρόγνωση από την 2/2 γεωγραφικά είναι εξίσου άστοχη όπως και από την προηγούμενη μέρα, και αυτό έχει να κάνει κυρίως με την απόσταση που χωρίζει την πρόγνωση από την ημέρα παρατήρησης. Παρ' όλα αυτά, φαίνεται ότι σε αυτήν την περίπτωση το μοντέλο προβλέπει το σχηματισμό χαμηλού στη νότια Ιταλία που ίσως συμμετέχει με κάποιον τρόπο στην κυκλογένεση που μελετάμε αλλά σε διαφορετική χρονική στιγμή, γι' αυτό και στις 6/2 06 UTC το γεωγραφικό σφάλμα εκτοξεύεται ακόμα ψηλότερα (712 km) από τις ήδη υψηλές τιμές που είχε σε όλη του τη διάρκεια. Ένας ακόμα λόγος που υπάρχουν τόσο μεγάλες διαφορές στην τοποθεσία είναι γιατί η πορεία των θέσεων των κέντρων του χαμηλού εκτελούν περίεργη τροχιά ειδικά σε συνδυασμό με τις χρονικές αποκλίσεις, που τονίζουν το σφάλμα (σχήμα 4-6β).

Στις 3/2 παρότι αρχικά το σύστημα φαίνεται να προβλέπεται ότι θα ξεκινήσει από βορειότερα, εντούτοις σταδιακά η γεωγραφική διαφορά μειώνεται και φτάνει σε σημείο να ακολουθεί με μικρή σχετικά απόκλιση την πραγματική πορεία, ειδικά από 6/2 06

UTC έως 6/2 18 UTC, όπου οι διαφορές είναι έως 180 km, και σχεδόν ταύτιση, τη στιγμή της μέγιστης βάθυνσης. Η ατμοσφαιρική κατάσταση τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή δείχνει ότι θα είναι αρκετά ξεκάθαρη, γι' αυτό και τα κέντρα σχεδόν συμπίπτουν. Γεωγραφικά λοιπόν αυτή η μέρα πρόγνωσης φαίνεται να δίνει αρκετά καλά αποτελέσματα (σχήμα 4-6γ).

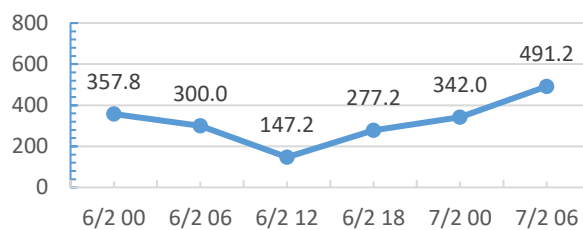
Και στην περίπτωση της πρόγνωσης από 4/2 το σύστημα προβλέπεται να ξεκινήσει τη δράση του βορειότερα σε σχέση με αυτό που δείχνει η ανάλυση, αλλά αργότερα η πρόγνωση δείχνει να ακολουθεί το σύστημα της ανάλυσης, με αποτέλεσμα να μειώνεται κατακόρυφα το γεωγραφικό σφάλμα, και να αγγίζει τα 6 km στις 6/2 18 UTC, δίνοντας μαζί με την πρόγνωση της προηγούμενης μέρας, τις πιο εύστοχες γεωγραφικές θέσεις της ύφεσης (σχήμα 4-6δ).

Στην πρόγνωση από την 5/2 το χαμηλό έχει ήδη σχηματιστεί στην περιοχή της Λιβύης, με αποτέλεσμα τα πράγματα να είναι πιο ξεκάθαρα, ειδικά αφού γίνεται μερικές ώρες πριν την ημέρα παρατήρησης, όταν οι συνθήκες έχουν ήδη διαμορφωθεί και δείχνουν την πορεία της ύφεσης. Αυτοί λοιπόν είναι οι λόγοι για τους οποίους το γεωγραφικό σφάλμα είναι πιο μικρό από κάθε άλλη περίπτωση, και βέβαια πρέπει να συνυπολογιστεί το χρονικό του πλεονέκτημα με τις υπόλοιπες προγνώσεις για τη σύγκριση της εγκυρότητάς του. Για να χαρακτηριστεί μια πρόγνωση επιτυχής, δεν αρκεί μόνο να είναι σωστός ο γεωγραφικός προσδιορισμός του γεγονότος, αλλά και οι υπόλοιπες παράμετροι να είναι αρκετά ρεαλιστικοί (σχήμα 4-6ε).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περιπτώσεις πρόγνωσης των 3/2 και 4/2 παρ' όλο που είναι γεωγραφικά καλές, αρχικά αστοχούν ως προς τον ακριβή γεωγραφικό προσδιορισμό του κέντρου της ύφεσης. Στη συνέχεια όμως και μέχρι την πλήρη εξέλιξη της, οι διαφορές μειώνονται στο ελάχιστο, για τις χρονικές στιγμές από 6/2 12 έως 18 UTC, λόγω της εκρηκτικής βάθυνσης. Μετά την έξαρση του χαμηλού, η κάθε πρόγνωση δίνει διαφορετική εκδοχή για το πώς θα κινηθεί μέχρι τη διάλυσή του. Αυτό γίνεται με σχετικά μικρές διαφορές μεταξύ τους, αλλά αυξανόμενες όσο περνάει η ώρα, σε σχέση με την ανάλυση, και παίζουν σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό του ρυθμού βάθυνσης (Bergeron). Στα παραπάνω δεν συμπεριλαμβάνονται οι δυο πρώτες μέρες πρόγνωσης αφού είναι πολύ μακριά από την ημέρα παρατήρησης και δεν δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα, όπως και η τελευταία καθώς το χαμηλό έχει ήδη ξεκινήσει να σχηματίζεται, οπότε είναι λογικό να είναι αρκετά καλή η πρόγνωσή του.



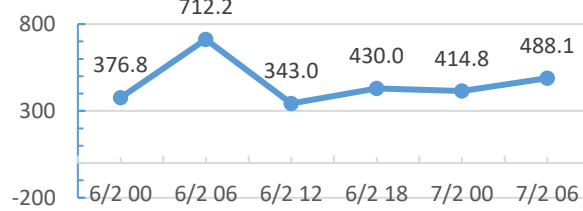
Σφάλμα θέσης από f1/2 (km)



Σχήμα 4-6α Αριστερά: Θέση κέντρου χαμηλού από πρόγνωση 1/2. Δεξιά: Σφάλμα θέσης (Location error) από πρόγνωση 1/2



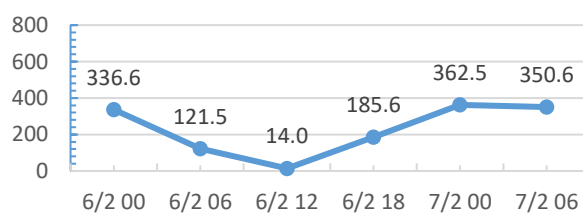
Σφάλμα θέσης από f2/2 (km)



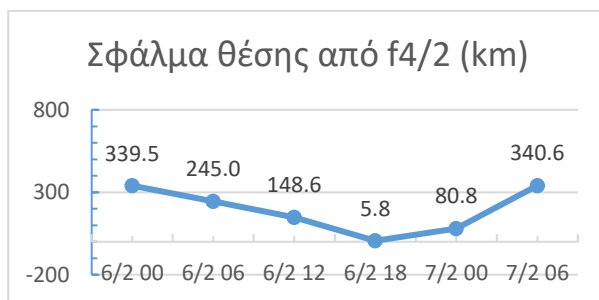
Σχήμα 4-6β Αριστερά: Θέση κέντρου χαμηλού από πρόγνωση 2/2. Δεξιά: Σφάλμα τοποθεσίας (Location error) από πρόγνωση 2/2



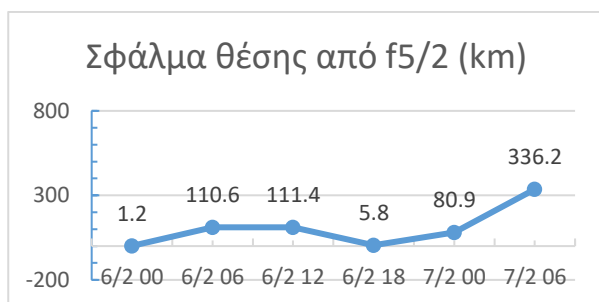
Σφάλμα θέσης από f3/2 (km)



Σχήμα 4-6γ Αριστερά: Θέση κέντρου χαμηλού από πρόγνωση 3/2. Δεξιά: Σφάλμα τοποθεσίας (Location error) από πρόγνωση 3/2



Σχήμα 4-6δ Αριστερά: Θέση κέντρου χαμηλού από πρόγνωση 4/2. Δεξιά: Σφάλμα τοποθεσίας (Location error) από πρόγνωση 4/2



Σχήμα 4-6ε Αριστερά: Θέση κέντρου χαμηλού από πρόγνωση 5/2. Δεξιά: Σφάλμα τοποθεσίας (Location error) από πρόγνωση 5/2

Σχήμα 4-6 Αριστερά στην εικόνα: Θέσεις κέντρων χαμηλών από κάθε ημέρα πρόγνωσης
Δεξιά στην εικόνα: Σφάλμα θέσης (Location error) για κάθε ημέρα πρόγνωσης
(για κάθε σχήμα αναφέρεται: τίτλος: ημέρα πρόγνωσης, οριζόντιος άξονας: ημέρα παρατήρησης/μήνας, ώρα (UTC), κατακόρυφος άξονας: πίεση (hPa))

4.3 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση της πίεσης της ΜΣΘ, η παράμετρος αυτή είναι σημαντική για την αναγνώριση και τη μελέτη συνοπτικών χαμηλών και υψηλών. Η προγνωστική του αξία έχει να κάνει με τη θέση αλλά και την ένταση του συστήματος που προκάλεσε τον εκρηκτικό κυκλώνα, με απώτερο σκοπό την έγκαιρη προειδοποίηση και μελέτη παρόμοιων περιστατικών.

Η πρόγνωση από την 1/2 δείχνει ένα σύστημα που ήταν εκρηκτικό για μόλις 6 ώρες περίπου, το οποίο ακολουθεί εν μέρει την πορεία της ανάλυσης του χαμηλού που εκδηλώθηκε και κινήθηκε από τις 6/2 00 UTC, με ελάχιστη τιμή πίεσης τα 996,8 hPa στις 7/2 00 UTC, (σχήμα 4-7).

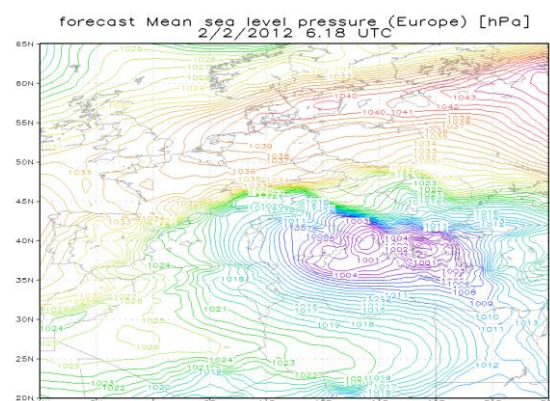
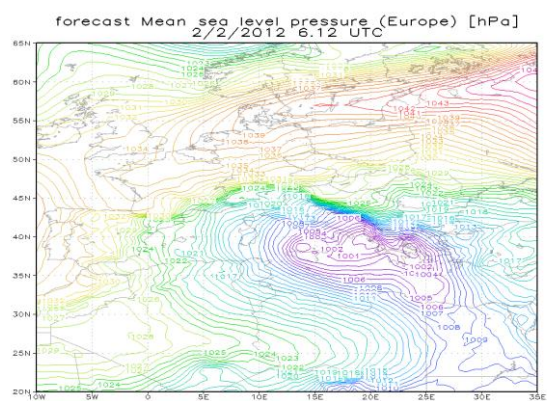
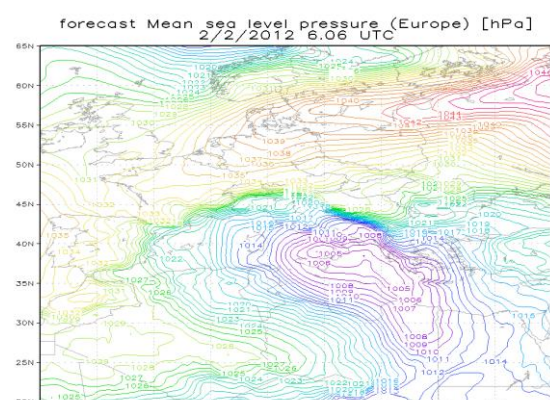
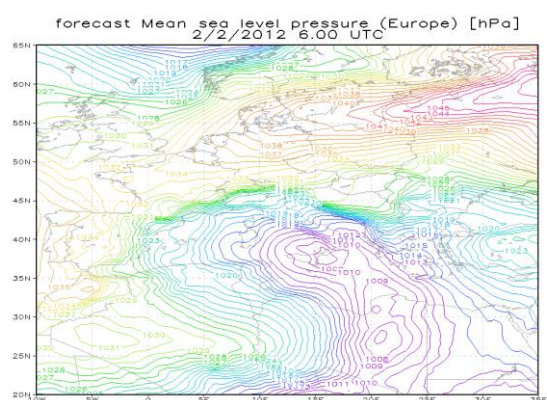
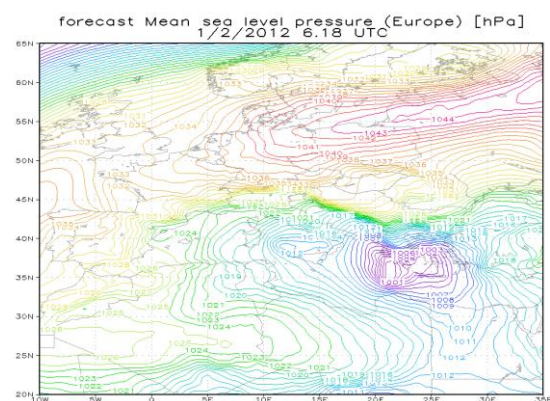
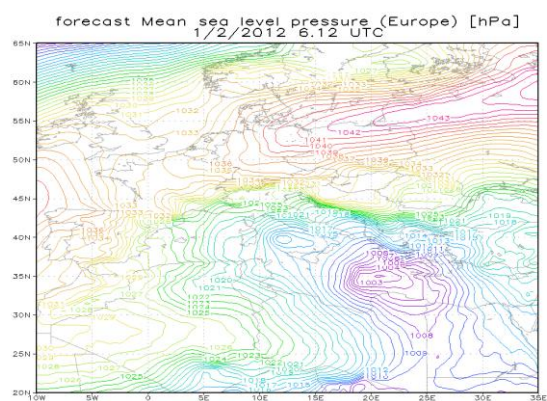
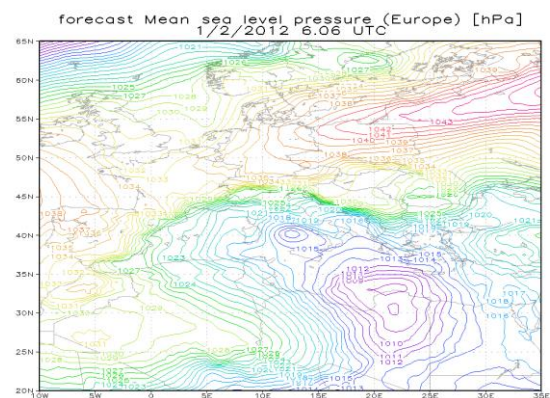
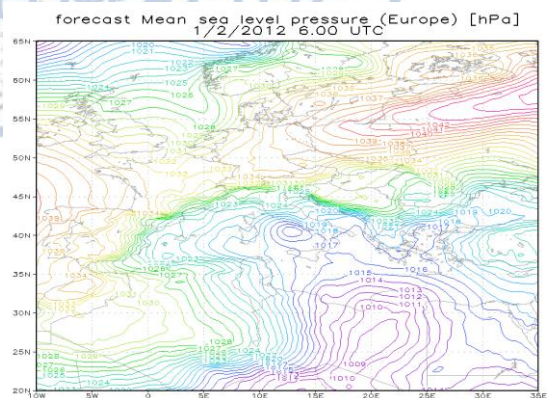
Παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζει και η πρόγνωση από την 2/2, όπου το πιο σημαντικό στοιχείο που παρατηρείται είναι η πολλαπλότητα κέντρων υφέσεων που παρουσιάζει το σύστημα έπειτα από πιθανή συνένωση ενός χαμηλού στη νότια Ιταλία με αυτό από τη Λιβύη και ίσως ενός μικρότερου τοπικού ενδιάμεσά τους, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα άμορφο καμπυλωτό σύστημα, εκ των οποίων το ισχυρότερο δείχνει να είναι αυτό της νότιας Ιταλίας. Η μέγιστη βάθυνσή του προβλέπει ότι θα είναι στις 6/2 18 UTC με πίεση που θα φτάσει τα 997 hPa (σχήμα 4-7).

Στην πρόγνωση από την 3/2 για τη μέρα παρατήρησης στις 6/2, ο προσδιορισμός της πορείας του χαμηλού είναι αρκετά καλός, όπως παράλληλα είναι και οι τιμές πίεσης καθώς και ο ρυθμός πτώσης της. Ο συνδυασμός των ανωτέρω καθιστούν την πρόγνωση αυτή ως την πρώτη χρονικά σχετικά αξιόπιστη σε σχέση με την ανάλυση των πραγματικών δεδομένων (σχήμα 4-7).

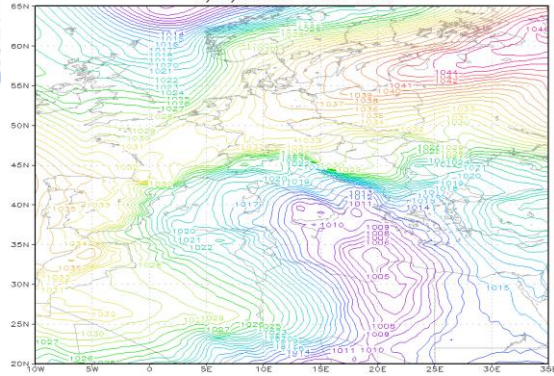
Η πρόγνωση που αρχικοποιήθηκε στις 4/2 έχει αρκετές ομοιότητες με την αντίστοιχη στις 3/2, αφού ούτε εδώ υπάρχει σαφής εικόνα για την ύπαρξη και τη δράση ενός ακόμα χαμηλού στη νότια Ιταλία, παρά μόνο μια ένδειξη. Εμφανίζουν παρόμοια γεωγραφικά σφάλματα και προβλέπουν αμφότερα την μέγιστη βάθυνση σε μικρή χρονική απόσταση μεταξύ τους (εντός 6 ωρών). Η νεότερη όμως δεν προβλέπει τόσο έντονη βάθυνση της ύφεσης, ενώ το χαμηλότερο σημείο καταγράφεται στις 6/2 18 UTC στα 989,3 hPa (σχήμα 4-7).



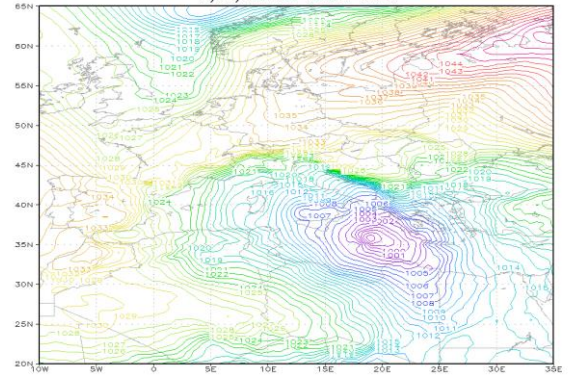
Η πρόγνωση από τις 12 UTC 5/2 δείχνει ότι το σύστημα έχει ήδη αρχίσει να σχηματίζεται και να διαμορφώνονται οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που θα επιδράσουν αργότερα, ή έχουν δείξει σημεία εξέλιξης, με το συγκεκριμένο χαμηλό. Έτσι φαίνεται ξεκάθαρα σε πολύ καλό γεωγραφικό προσδιορισμό, το χαμηλό της νότιας Ιταλίας που ίσως αλληλοεπιδρά με αυτό της Λιβύης στις 6/2 06 UTC όπως και στην ανάλυση. Το μειονέκτημα αυτής της πρόγνωσης είναι ότι παρόλο που είναι η πιο κοντινή σε σχέση με τις άλλες, άρα αναμένεται να δώσει τα καλύτερα αποτελέσματα, στην πραγματικότητα όμως μόνο γεωγραφικά μπορεί να χαρακτηριστεί αξιόπιστη. Αυτό γιατί η μέγιστη βάθυνση που παρουσιάζει εμφανίζεται στις 6/2 18 UTC, αγγίζει τα 989,3 hPa όπως και η προηγούμενη προγνωστική μέρα, αλλά είναι αρκετά μακριά από την τιμή που παρατηρήθηκε την ίδια ημέρα και ώρα στην ανάλυση στα 981,1 hPa (σχήμα 4-7).



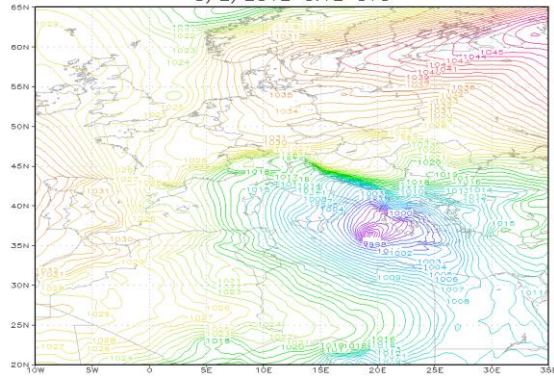
forecast Mean sea level pressure (Europe) [hPa]
3/2/2012 6.00 UTC



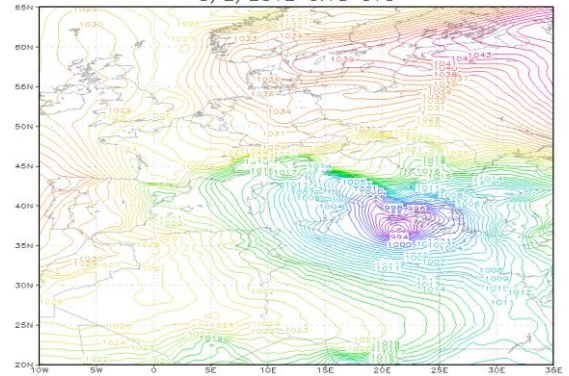
forecast Mean sea level pressure (Europe) [hPa]
3/2/2012 6.06 UTC



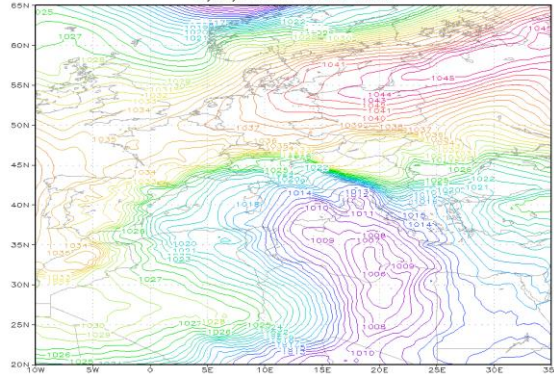
forecast Mean sea level pressure (Europe) [hPa]
3/2/2012 6.12 UTC



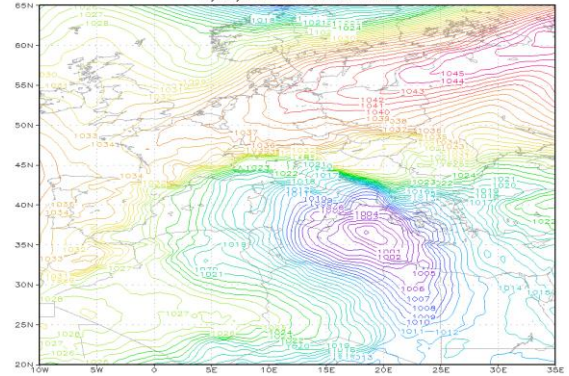
forecast Mean sea level pressure (Europe) [hPa]
3/2/2012 6.18 UTC



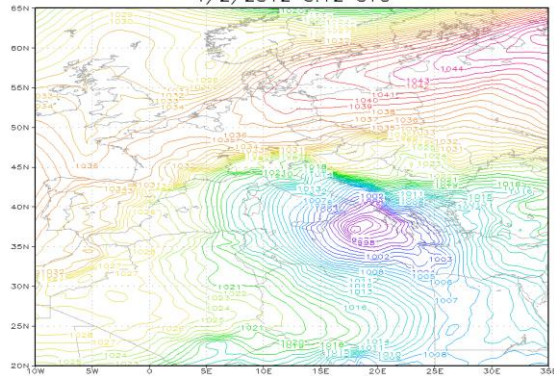
forecast Mean sea level pressure (Europe) [hPa]
4/2/2012 6.00 UTC



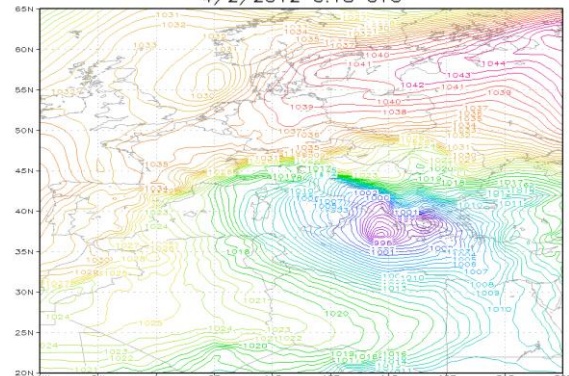
forecast Mean sea level pressure (Europe) [hPa]
4/2/2012 6.06 UTC

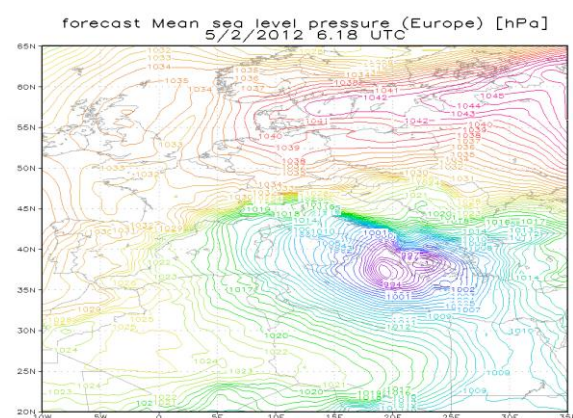
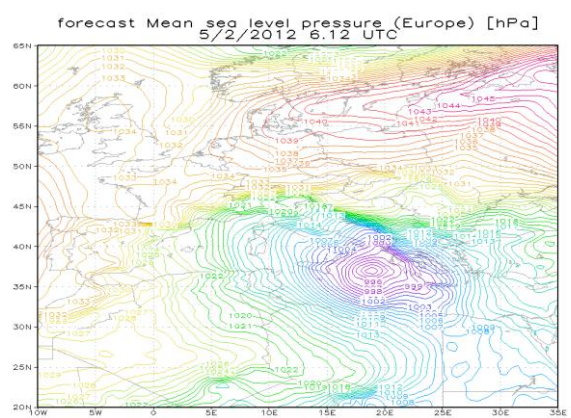
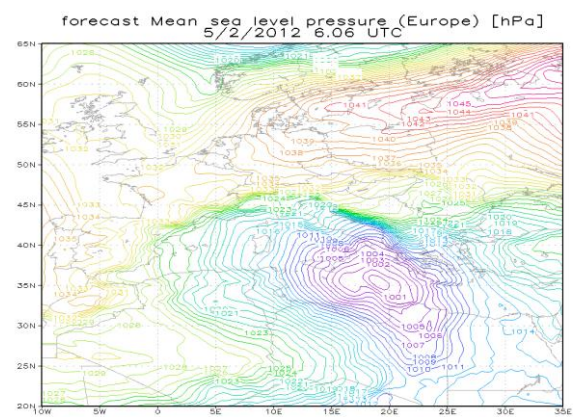
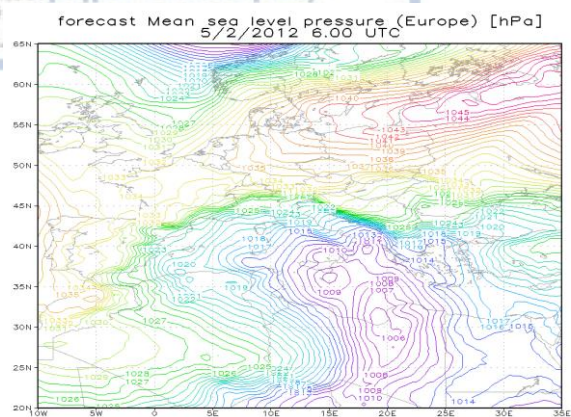


forecast Mean sea level pressure (Europe) [hPa]
4/2/2012 6.12 UTC



forecast Mean sea level pressure (Europe) [hPa]
4/2/2012 6.18 UTC





Σχήμα 4-7 Πρόγνωση της πίεσης στη Μέση Στάθμη Θάλασσας (hPa) για τις 00 UTC 6/2 έως 18 UTC 6/2 (ανά 6 ώρες) από τις προγνώσεις του GFS που αρχικοποιήθηκαν στις 12 UTC, 1/2 έως 5/2 (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα αρχικοποίησης πρόγνωσης/ μήνας/ έτος, και ημέρα που αντιστοιχεί η πρόγνωση. ώρα UTC).

4.4 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΜΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της ανάλυσης, η ελάχιστη πίεση ΜΣΘ δείχνει το κέντρο της ύφεσης, και είναι ο πυρήνας του συστήματος που μελετάται στην παρούσα εργασία. Έτσι όσο πιο πολύ πέφτει η πίεση, τόσο πιο έντονη είναι αυτή και γι' αυτό εκτός από το ρυθμό με τον οποίο πέφτει, αλλά και τον γεωγραφικό της προσδιορισμό, είναι απαραίτητη και η καταγραφή της απόλυτης τιμής της, ώστε να προσδιοριστεί η σφοδρότητα του γεγονότος.

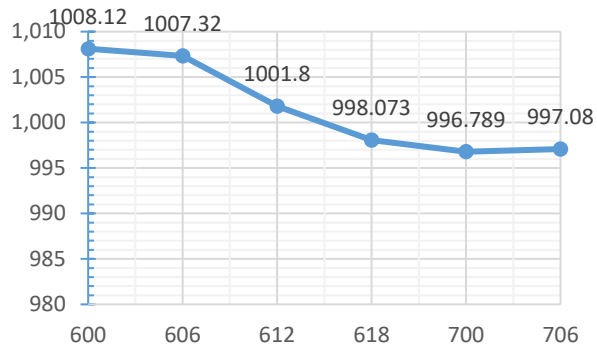
Στις προγνώσεις από τις 1/2 και 2/2 η πίεση πέφτει σχετικά ομαλά και φτάνει τις μικρότερες τιμές στις 7/2 00 UTC (996,8 hPa) και (997,4 hPa) 6/2 18 UTC, αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές είναι αρκετά μεγάλες σε σχέση με την πραγματικότητα, οπότε σε αυτόν τον τομέα δεν μπορούν να θεωρηθούν επιτυχείς οι προγνώσεις (σχήμα 4-8).

Στην πρόγνωση που αρχικοποιήθηκε στις 3/2 παρουσιάζεται η πιο απότομη αλλά και έντονη βάθυνση από όλες τις άλλες, καθώς η πίεση πέφτει στην πιο χαμηλή τιμή που παρουσιάζουν οι προγνώσεις (987,5 hPa), στον μικρότερο χρόνο (εντός 12 ωρών, από 6/2 00 UTC έως 6/2 12 UTC). Έτσι λοιπόν είναι η πιο εύστοχη πρόγνωση από άποψη τιμών ελάχιστης πίεσης, παρόλο που μετά από τις 6/2 12 UTC οι τιμές διαφέρουν αισθητά λόγω της μη αναμενόμενης εκρηκτικότητας και διάρκειας της βάθυνσης (σχήμα 4-8).

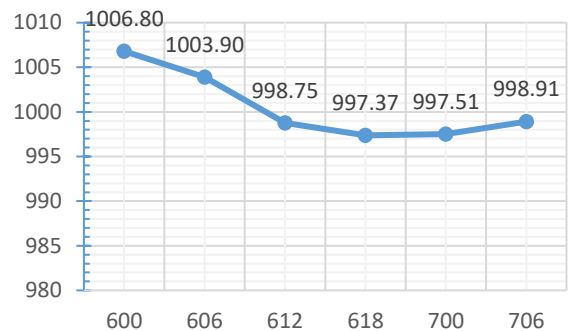
Ανάλογη κατάσταση επικρατεί και στην πρόγνωση από τις 4/2, αφού παρουσιάζεται πάλι εκρηκτικότητα, η οποία όμως είναι μικρότερης διάρκειας και έντασης σε σχέση με την προηγούμενη πρόγνωση αλλά ακόμα περισσότερο με την πραγματική ανάλυση. Η μέγιστη βάθυνση φτάνει τα 989,3 στις 6/2 18 UTC (σχήμα 4-8).

Όσον αφορά την πρόγνωση από την 5/2, αναμένεται να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα αφού κατά την ώρα πρόγνωσης το σύστημα ήδη ξεκίνησε τη δράση του, αν και όχι εκρηκτικά ακόμα. Η πρόγνωση όμως από τις 6/2 00 UTC, δείχνει μια γρήγορη μεν, αλλά όχι τόσο έντονη πτώση της πίεσης και μάλιστα ούτε στα επίπεδα της ανάλυσης, αφού φτάνει μόλις τα 989,4 hPa στις 6/2 18 UTC. Έτσι, για πρόγνωση τόσο κοντά στην περίοδο μελέτης, δεν στέφεται με την αναμενόμενη επιτυχία (σχήμα 4-8).

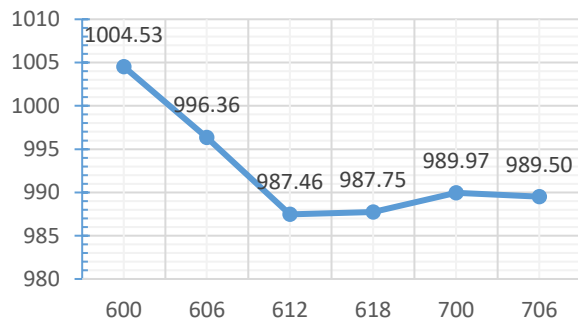
1/2/2012 Forecast msletmsl



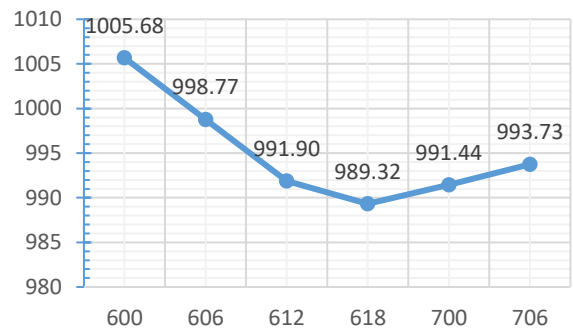
2/2/2012 Forecast msletmsl



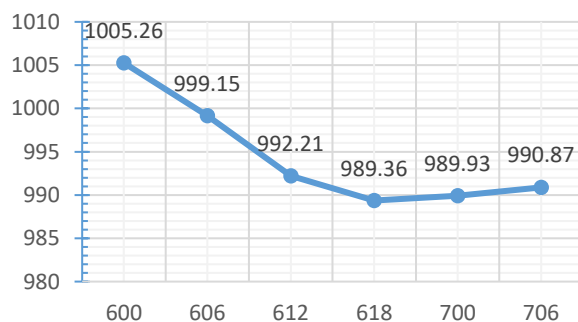
3/2/2012 Forecast msletmsl



4/2/2012 Forecast msletmsl



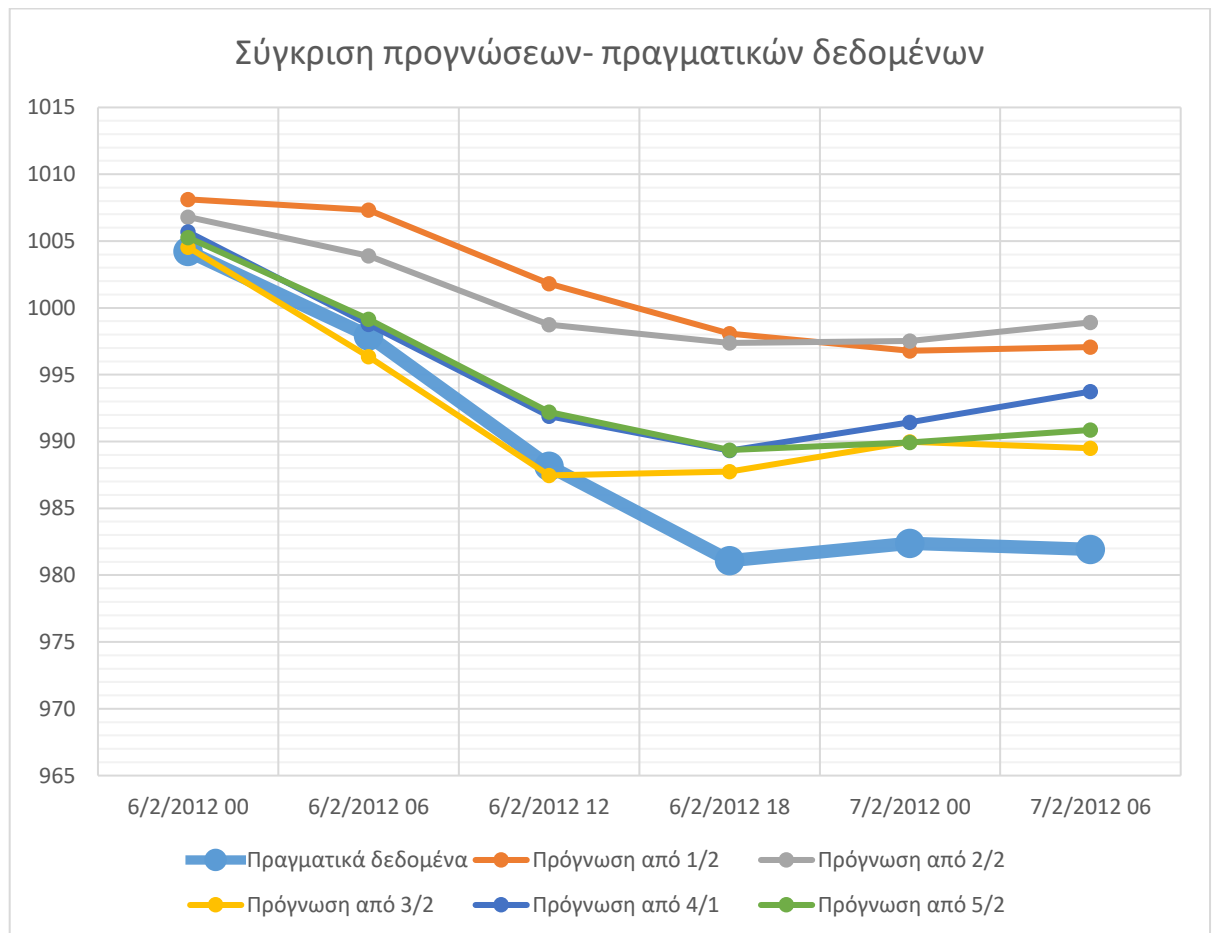
5/2/2012 Forecast msletmsl



Σχήμα 4-8 Πρόγνωση ελάχιστης τιμής πίεσης ΜΣΘ

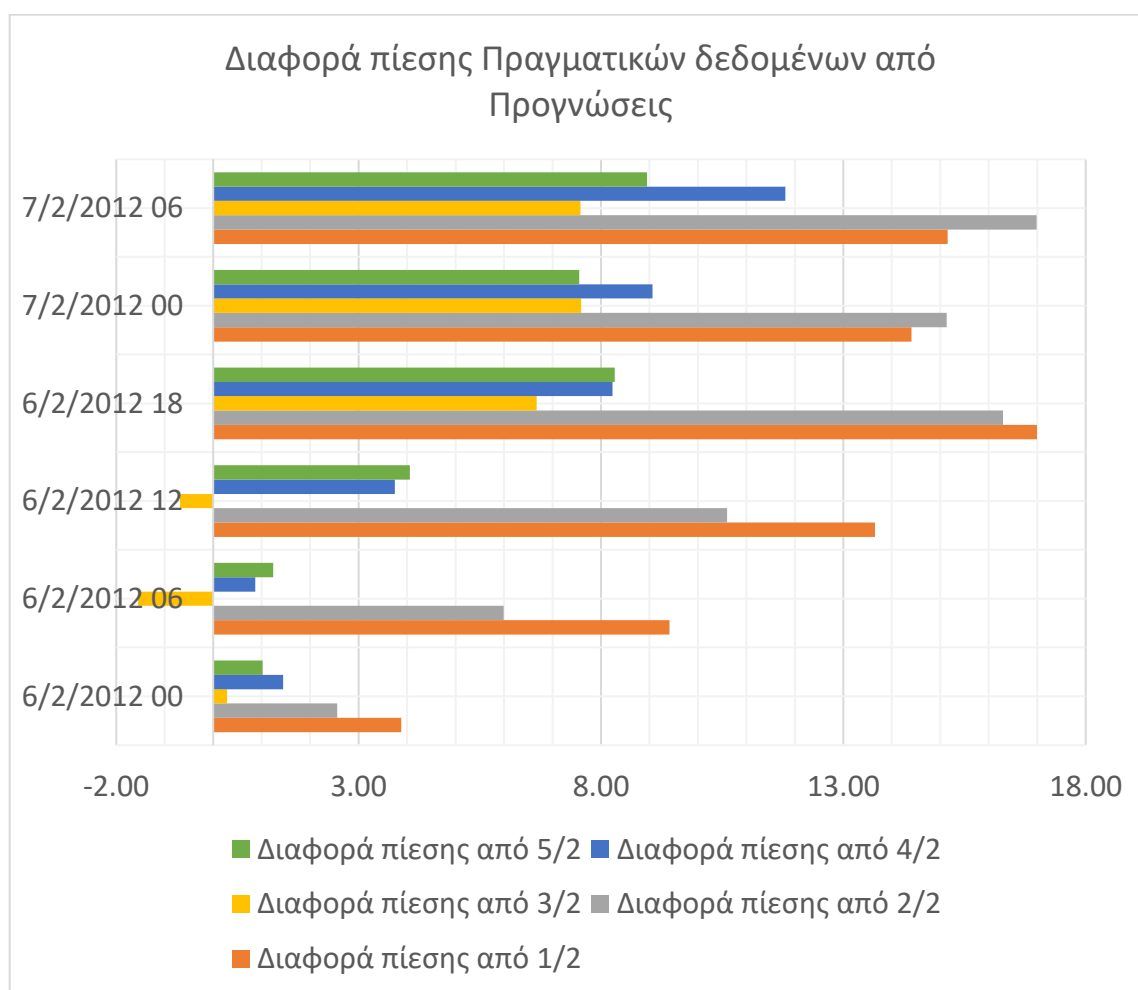
(τίτλος: ημέρα αρχικοποίησης πρόγνωσης, οριζόντιος άξονας: ημέρα παρατήρησης (6 και 7 Φεβρουαρίου 2012) και ώρα (00, 06, 12, 18 UTC), κατακόρυφος άξονας: πίεση (hPa))

Από τη σύγκριση των τιμών πρόγνωσης- πραγματικών δεδομένων, φαίνεται ότι μέχρι τις 6/2 12 UTC υπάρχουν σημαντικές διαφορές των δυο πρώτων ημερών πρόγνωσης, τόσο με τις υπόλοιπες, όσο και με τα πραγματικά δεδομένα, ενώ όλα τα υπόλοιπα παραμένουν κοντά μέχρι εκείνη τη στιγμή. Καμία πρόγνωση δεν προβλέπει το ρυθμό πτώσης, αλλά και το βάθος της πίεσης που φτάνει στην πραγματικότητα, όμως η πιο κοντινή σε αυτές τις δυο παραμέτρους είναι η πρόγνωση στις 3/2, η οποία μέχρι τις 6/2 12 UTC είναι αρκετά ακριβής όσον αφορά την πίεση, όμως μετά η τιμή της διατηρείται σχεδόν σταθερή, ενώ στην πραγματικότητα η βάθυνση συνεχίζεται για μερικές ώρες ακόμα (σχήμα 4-9).



Σχήμα 4-9 Σύγκριση τιμών ελάχιστης πίεσης προγνώσεων και αναλύσεων του GFS (hPa)
(οριζόντιος άξονας: ημέρα/μήνας/έτος, ώρα (UTC), κατακόρυφος άξονας: πίεση (hPa))

Πολύ σημαντική παράμετρος επίσης αποτελεί η διαφορά των τιμών πίεσης των προγνώσεων από τις αναλύσεις, και αυτό γιατί έτσι ποσοτικοποιείται το σφάλμα στην πρόγνωση της έντασης του φαινομένου. Από το παρακάτω σχήμα (4-10) φαίνεται ότι το σφάλμα της πρόγνωσης που αρχικοποιήθηκε στις 3/2 είναι πάντα το μικρότερο, γι' αυτό και η συγκεκριμένη πρόγνωση αποτελεί την πιο εύστοχη σε σχέση με την ένταση του χαμηλού, δίνοντας κατ' επέκταση περισσότερες πιθανότητες να είναι και καλύτερη από την πλευρά του ρυθμού βάθυνσης. Επίσης είναι προφανές ότι οι χειρότερες είναι αυτές που αρχικοποιήθηκαν στις 1/2 και 2/2, έτσι θεωρούνται εντελώς αναξιόπιστες.



Σχήμα 4-10 Διαφορά πίεσης των προγνώσεων από τα δεδομένα αναλύσεων του GFS [Προγνώσεις- Αναλύσεις] (hPa) (οριζόντιος άξονας: διαφορά πίεσης (hPa), κατακόρυφος άξονας: ημέρα/μήνας/έτος, ώρα (UTC))

4.5 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΡΥΘΜΟΥ ΒΑΘΥΝΣΗΣ

Για μια πλήρη πρόγνωση, εκτός από το γεωγραφικό προσδιορισμό της ύφεσης, απαραίτητη είναι και η περιγραφή των ποσοτικών δεδομένων, για την απόδοση μιας πλήρους εικόνας του συστήματος που προβλέπεται στην περιοχή. Μια ακόμα πολύ σημαντική παράμετρος λοιπόν είναι ο ρυθμός με τον οποίο ελαττώνεται η πίεση του χαμηλού, ώστε να χαρακτηριστεί ο κυκλώνας εκρηκτικός. Η μονάδα μέτρησης του ρυθμού βάθυνσης είναι το Bergeron, το οποίο πέρα από τη χρονική μεταβολή της ελάχιστης πίεσης λαμβάνει υπόψη και τη θέση (γεωγραφικό πλάτος) του χαμηλού.

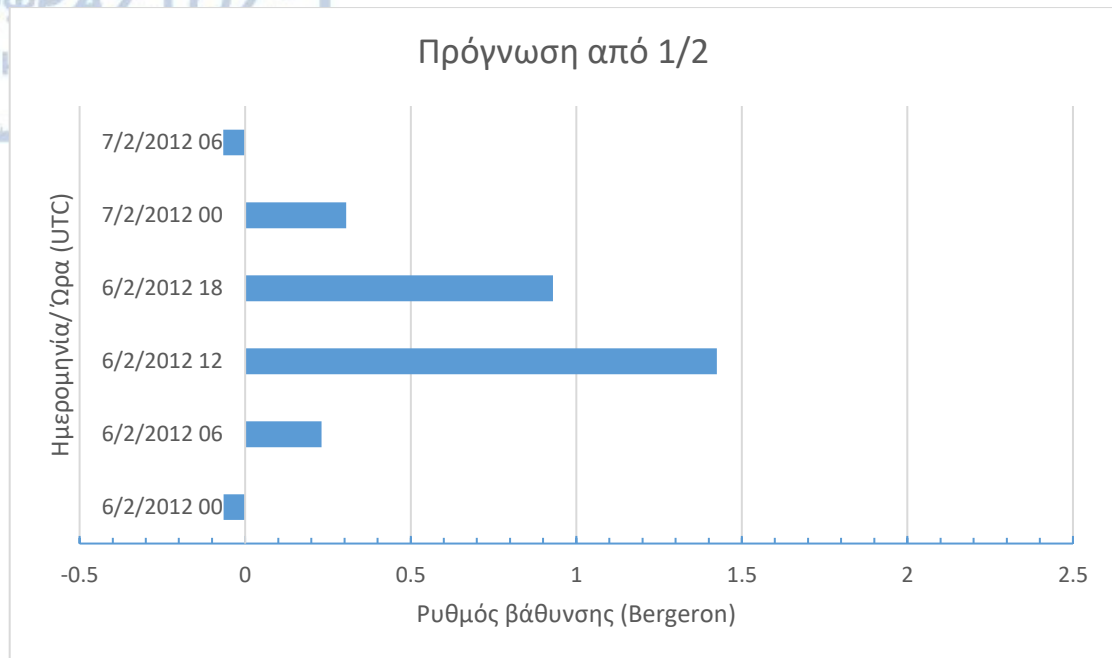
Στην πρόγνωση από 1/2 όπως και σε αυτήν από 2/2, οι τιμές δείχνουν ότι δεν πρόκειται για μεγάλο ρυθμό βάθυνσης, καθώς μόνο για το δωρο από τις 6/2 06 έως τις 6/2 12 UTC, οι τιμές ξεπερνούν το προαπαιτούμενο, για την εκρηκτικότητα, 1 Bergeron. Οι υπόλοιπες τιμές είναι αρκετά μικρότερες, οπότε είτε δεν είναι απότομη η πτώση της πίεσης, είτε αυξάνεται κιόλας (σχήμα 4-11, 4-12).

Όμως, στις προγνώσεις από τις 3/2 και 4/2 αυτό που παρατηρείται είναι ότι παρόλο που η πτώση της πίεσης γίνεται για λίγες ώρες, είναι τόσο απότομη, που ξεπερνάει τα 2 Bergeron για 12 ώρες, πλησιάζοντας ως ένα βαθμό τα δεδομένα των αναλύσεων. Έτσι, οι προγνώσεις αυτές καθίστανται ως οι πιο εύστοχες, από άποψη ρυθμού βάθυνσης (σχήμα 4-13, 4-14).

Για την πρόγνωση από τις 5/2, ενώ θα ήταν αναμενόμενο ο ρυθμός βάθυνσης να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, αυτό τελικά δεν συμβαίνει, καθώς προβλέπει την εκρηκτικότητα του συστήματος, με αισθητά μικρότερη ένταση στο δωρο μέγιστης βάθυνσης, δηλαδή μεταξύ 6/2 06 UTC και 6/2 12 UTC με ρυθμό βάθυνσης 1,7 Bergeron, αντί για 2,4 της ανάλυσης (σχήμα 4-15).

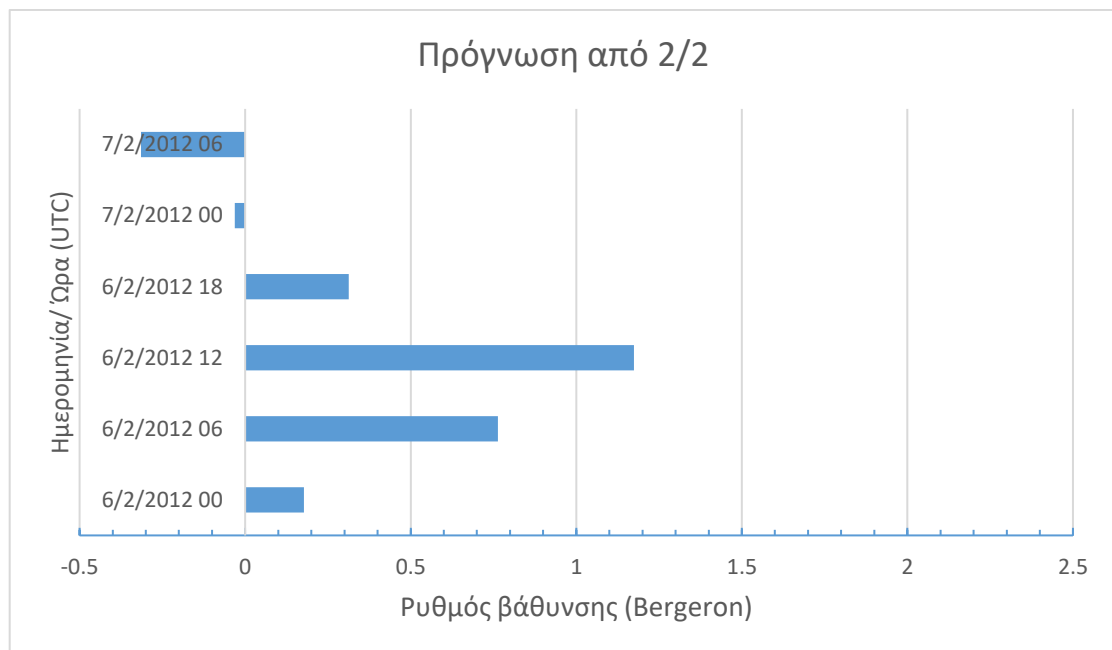
Για να μπορεί να γίνει μια πιο γενική επισκόπηση, στο σχήμα 4-16, φαίνονται συγκριτικά οι τιμές Bergeron για κάθε ημέρα πρόγνωσης, τόσο μεταξύ τους όσο και με τις αναλύσεις του GFS. Σύμφωνα με αυτό λοιπόν, οι πρώτες μέρες πρόγνωσης (1/2 και 2/2) δείχνουν πάντα εκτός αποδεκτού περιθωρίου σφάλματος, που σημαίνει, αναμενόμενα, ότι δεν πρόβλεψαν την εμφάνιση ενός εκρηκτικού κυκλώνα για διάστημα μεγαλύτερο του δώρου. Μόνο από τις 6/2 06 UTC έως 6/2 12 UTC οι δυο αυτές προγνώσεις πιάνουν μια έντονη πτώση της πίεσης στα πλαίσια της εκρηκτικότητας, αφού ξεπερνούν το 1 Bergeron, αλλά η πραγματικότητα έδειξε πολύ εντονότερη

βάθυνση. Η πρόγνωση από τις 4/2 και 5/2 δείχνει κοντινή στα πραγματικά δεδομένα, μόνο για τις πρώτες 12 ώρες μελέτης του φαινομένου και ακριβώς πριν την πλήρη έξαρσή του, δηλαδή στις 6/2 06 UTC. Αυτό δείχνει ότι παρά την μικρή απόσταση από την ανάλυση, η πρόγνωση έχασε την εκρηκτικότητα του γεγονότος, είτε λόγω υποτίμησης κάποιων παραμέτρων, είτε λόγω διαφοροποίησής τους την τελευταία στιγμή. Τέλος, η πιο καλή πρόγνωση σε σχέση με το ρυθμό βάθυνσης είναι αυτή στις 3/2, που φαίνεται να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα για τη μεγαλύτερη διάρκεια σε σχέση με τις υπόλοιπες, αφού η πρόγνωση προβλέπει την εκρηκτικότητα της ύφεσης στον βέλτιστο βαθμό, στα 2,2 Bergeron, έναντι 2,4 Bergeron της ανάλυσης. Γενικά φαίνεται ότι η πρόγνωση παρουσιάζει τον εκρηκτικό κυκλώνα σε καλή συμφωνία με τις αναλύσεις, κυρίως μέχρι την πλήρη εκδήλωση του φαινομένου στις 6/2 12 UTC, ενώ μετά οι προγνώσεις αποκλίνουν ακόμα και μεταξύ τους. Αυτό οφείλεται εν μέρει τόσο στη χρονική απόσταση της πρόγνωσης από την περίοδο μετά τις 6/2 12 UTC, όσο και σε σφάλματα στην ακριβή αποτύπωση της κατάστασης της ατμόσφαιρας στα αρχικά δεδομένα. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η αρχική διαταραχή ήρθε από τη Βόρεια Αφρική όπου υπάρχει μεγάλη έλλειψη μετεωρολογικών παρατηρήσεων επιφανείας και ανώτερης ατμόσφαιρας.



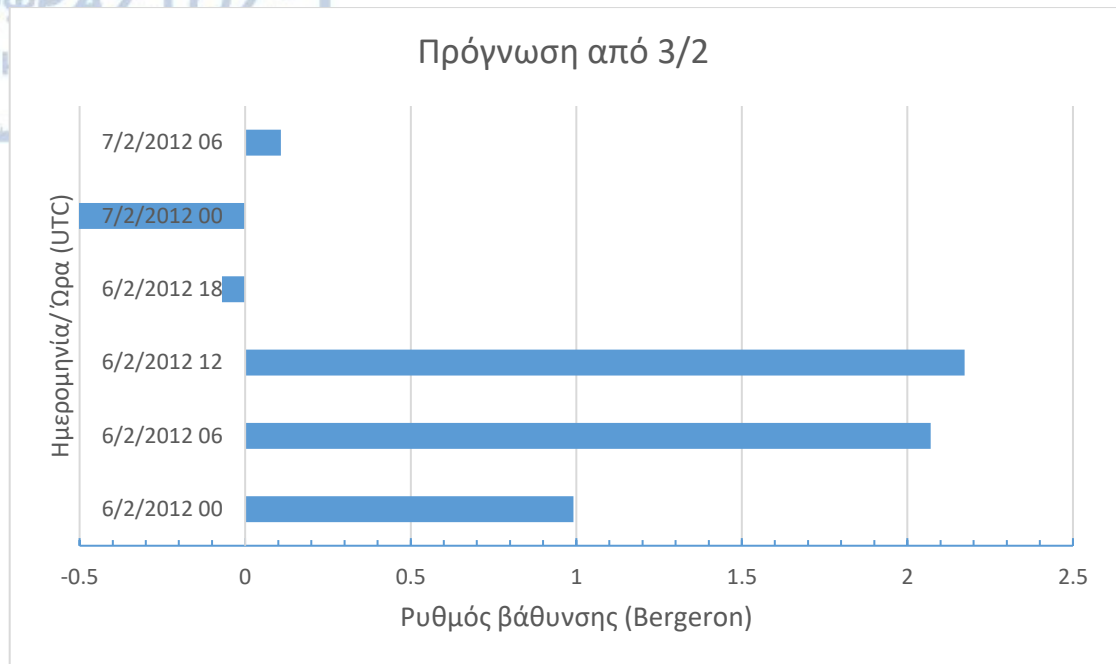
Σχήμα 4-11 Πρόγνωση ρυθμού βάθυνσης (Bergeron) από 1/2, (Οι τιμές αφορούν τα δώρα που τελειώνουν στην τιμή που αναφέρονται.

π.χ.: 6/2 12 UTC, αφορά το χρονικό διάστημα από 06 έως 12 UTC)



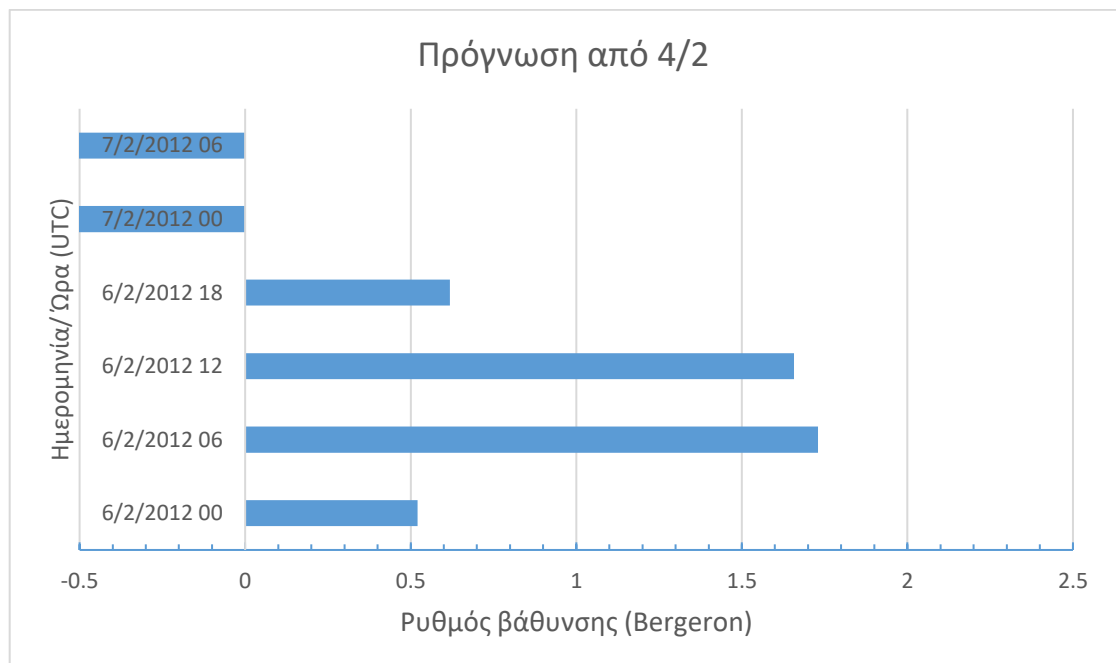
Σχήμα 4-12 Πρόγνωση ρυθμού βάθυνσης (Bergeron) από 2/2, (Οι τιμές αφορούν τα δώρα που τελειώνουν στην τιμή που αναφέρονται.

π.χ.: 6/2 12 UTC, αφορά το χρονικό διάστημα από 06 έως 12 UTC)



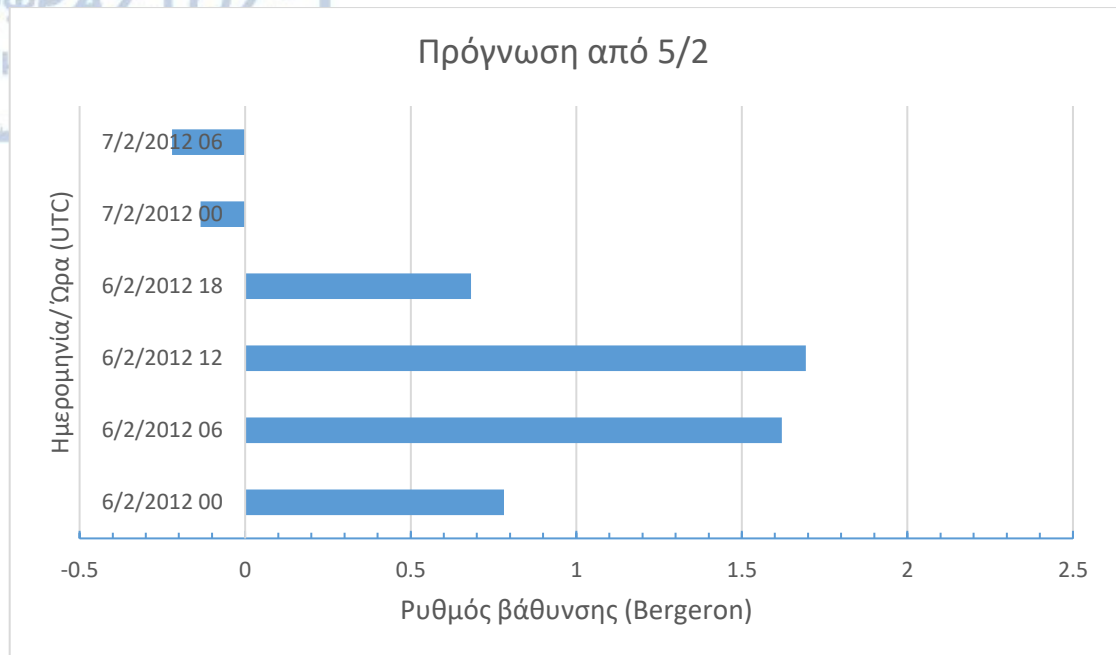
Σχήμα 4-13 Πρόγνωση ρυθμού βάθυνσης (Bergeron) από 3/2, (Οι τιμές αφορούν τα ώρα που τελειώνουν στην τιμή που αναφέρονται.

π.χ.: 6/2 12 UTC, αφορά το χρονικό διάστημα από 06 έως 12 UTC)



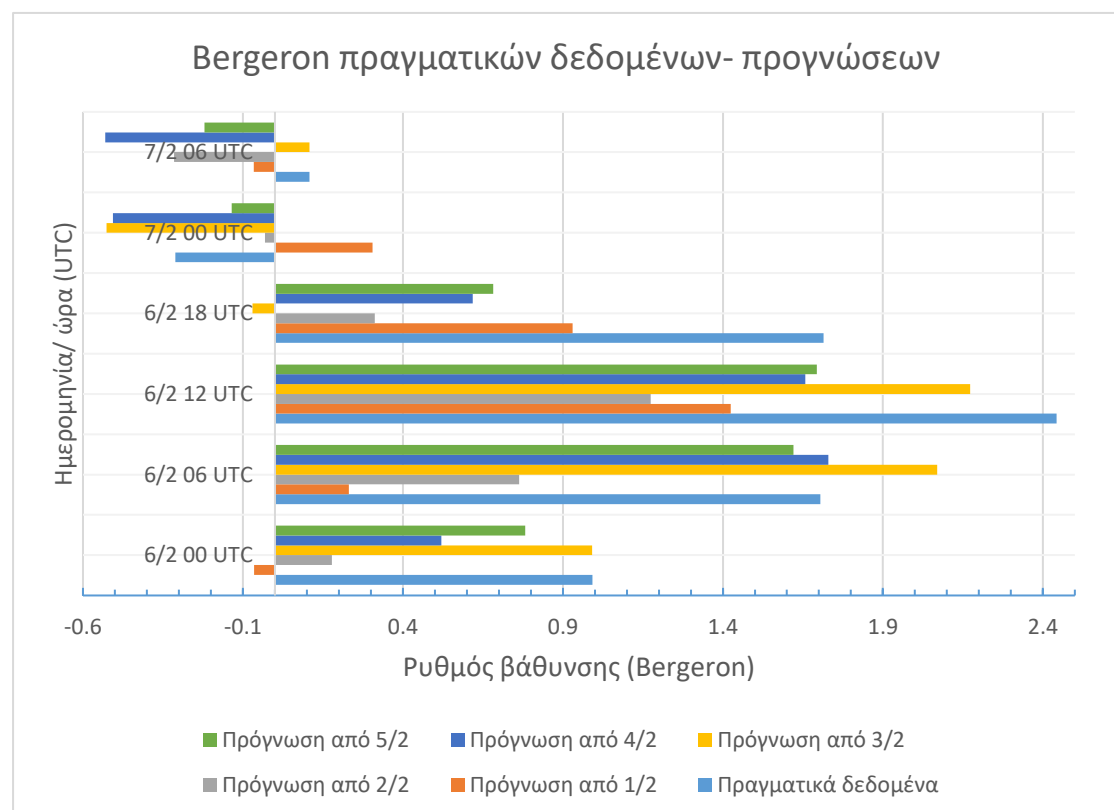
Σχήμα 4-14 Πρόγνωση ρυθμού βάθυνσης (Bergeron) από 4/2, (Οι τιμές αφορούν τα ώρα που τελειώνουν στην τιμή που αναφέρονται.

π.χ.: 6/2 12 UTC, αφορά το χρονικό διάστημα από 06 έως 12 UTC)



Σχήμα 4-15 Πρόγνωση ρυθμού βάθυνσης (Bergeron) από 5/2, (Οι τιμές αφορούν τα ώρα που τελειώνουν στην τιμή που αναφέρονται.

π.χ.: 6/2 12 UTC, αφορά το χρονικό διάστημα από 06 έως 12 UTC)



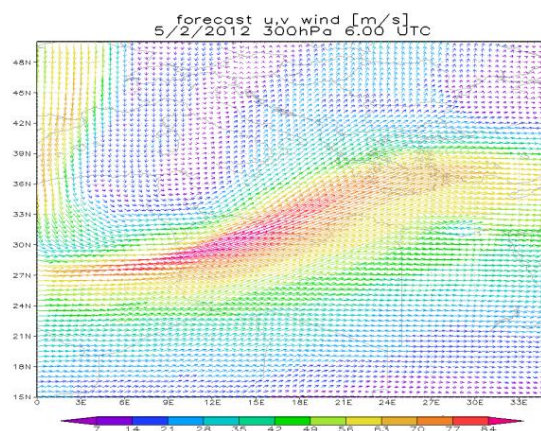
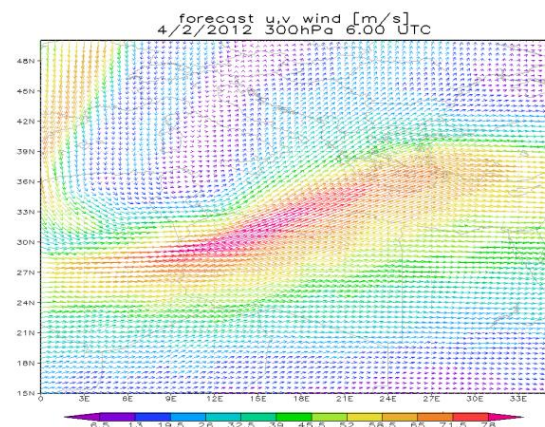
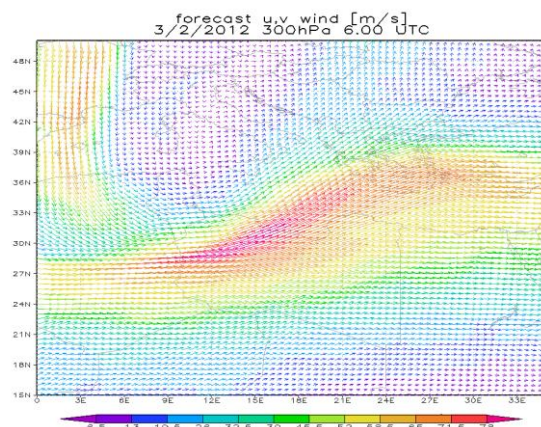
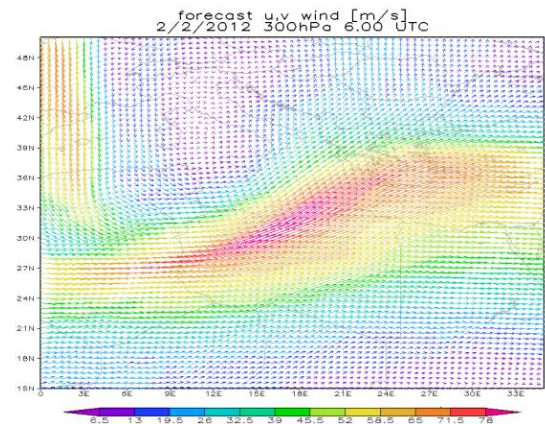
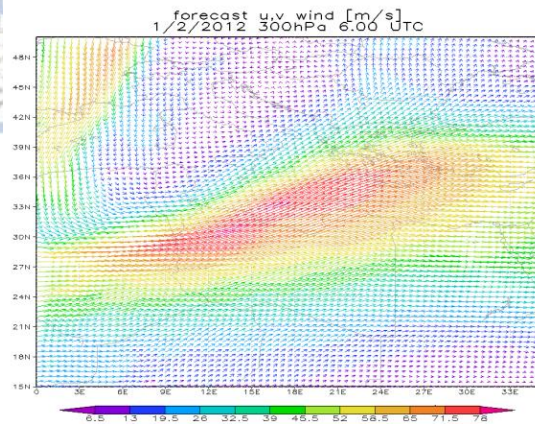
Σχήμα 4-16 Σύγκριση ρυθμού βάθυνσης προγνώσεων- ανάλυσης, (Οι τιμές αφορούν τα ώρα που τελειώνουν στην τιμή που αναφέρονται.

π.χ.: 6/2 12 UTC, αφορά το χρονικό διάστημα από 06 έως 12 UTC)

4.6 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΑΕΡΟΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΣΤΑ 300 HPA

Ο αεροχείμαρρος είναι πολύ χρήσιμος στην πρόγνωση έντονων φαινομένων, καθώς προκαλεί ανοδικές και καθοδικές κινήσεις στις περιοχές της εισόδου/εξόδου του. Πιο συγκεκριμένα ανοδικές κινήσεις, που ευνοούν τη κυκλογένεση, εμφανίζονται μπροστά από την έξοδο ενός αεροχειμάρρου με κυκλωνική καμπυλότητα καθώς και αριστερά της εισόδου και δεξιά της εξόδου ενός αεροχειμάρρου χωρίς καμπυλότητα (Beebe and Bates 1955). Αυτές οι κατακόρυφες κινήσεις οφείλονται στη δευτερεύουσα αγωστροφική κυκλοφορία που προκαλείται από τη μεγάλη επιτάχυνση/επιβράδυνση στην είσοδο/έξοδο του αεροχειμάρρου.

Έτσι λοιπόν, αυτό που φαίνεται και από το σχήμα 4-17 ως το πιο σημαντικό, και μάλιστα από όλες τις μέρες πρόγνωσης, είναι ότι για τις 6/2 00 UTC, όλες οι προγνώσεις δείχνουν τον αεροχείμαρρο να περνάει πάνω από τις ακτές της Λιβύης και της κεντρικής Μεσογείου τις οποίες επηρεάζει για αρκετές ώρες, με διεύθυνση A- BA, και ταχύτητες που αγγίζουν τα 75 m/s. Γι' αυτό και τόσο προγνωστικά, όσο και στην πραγματικότητα, η συμπεριφορά του συστήματος γίνεται πιο βίαιη από τις πρώτες πρωινές ώρες της 6^{ης} Φεβρουαρίου σε σχέση με τις προηγούμενες. Ο αεροχείμαρρος παραμένει πάνω από τη κεντρική Μεσόγειο για πάνω από 12 ώρες, οπότε βοηθά σημαντικά στη γρήγορη και έντονη βάθυνση της ύφεσης. Αυτός είναι και ένας πολύ βασικός λόγος που σύμφωνα με τις περισσότερες προγνώσεις, η μέγιστη βάθυνση προβλέπεται μεταξύ 6/2 12 έως 6/2 18 UTC. Μόνο στην πρόγνωση από 1/2 το μέγιστο χαμηλό δίνεται στις 7/2 00 UTC, αν και η ημέρα πρόγνωσης με αυτήν της παρατήρησης είναι σχετικά μακριά.



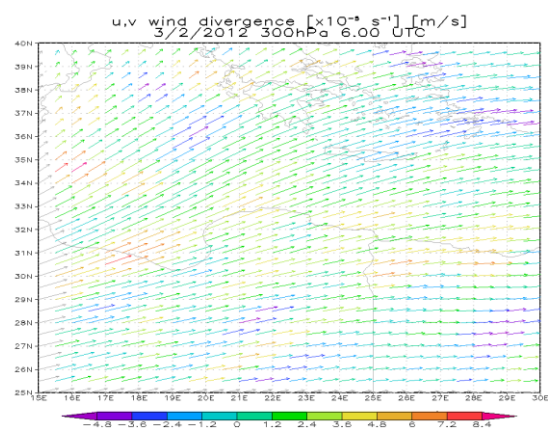
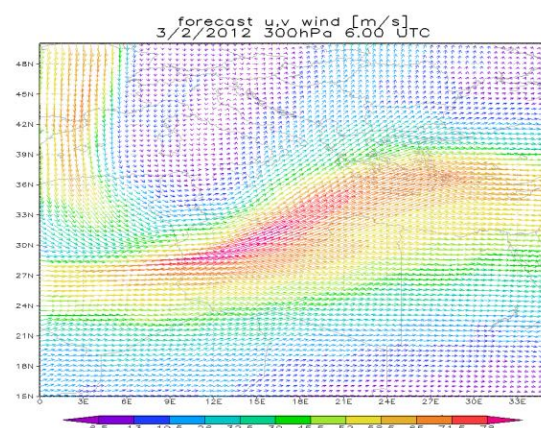
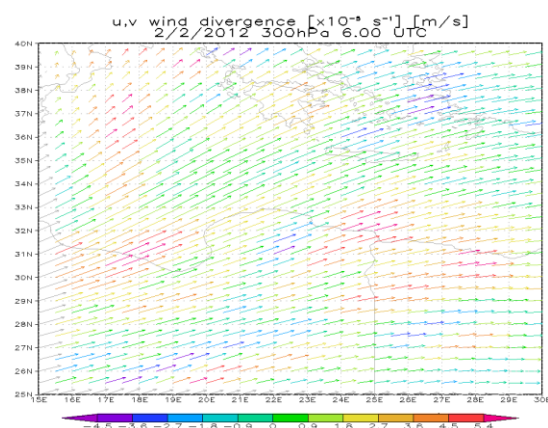
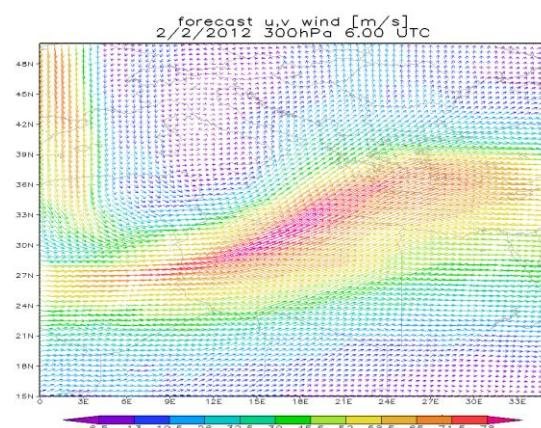
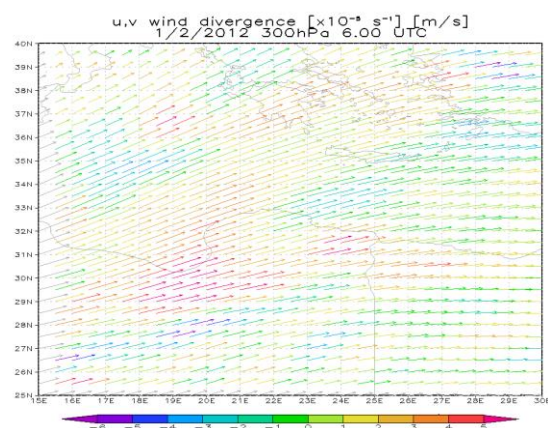
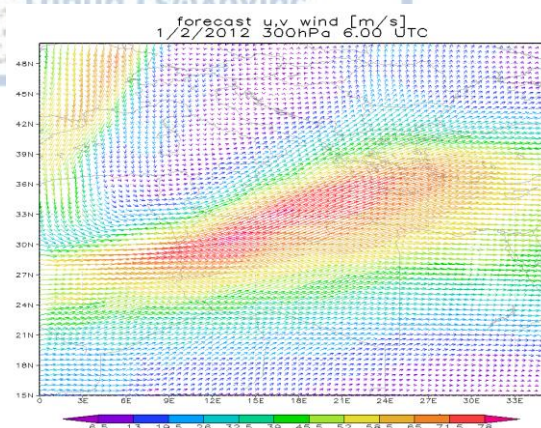
Σχήμα 4-17 Πρόγνωση της διεύθυνσης και ταχύτητας (m/s) του ανέμου στα 300 hPa για την 00 UTC 6/2, από τις προγνώσεις του GFS που αρχικοποιήθηκαν στις 12 UTC, 1/2 έως 5/2 (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα αρχικοποίησης πρόγνωσης/ μήνας/ έτος, επίπεδο πίεσης (hPa), ημέρα που αντιστοιχεί η πρόγνωση. ώρα UTC).

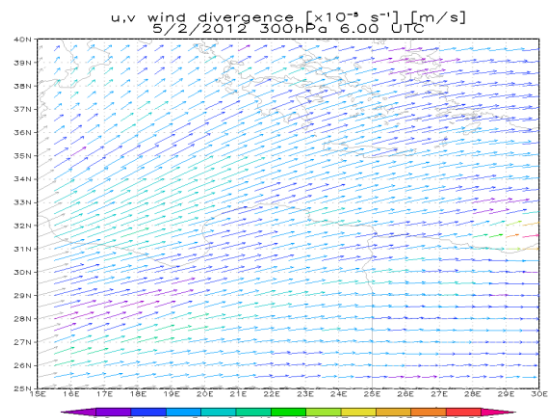
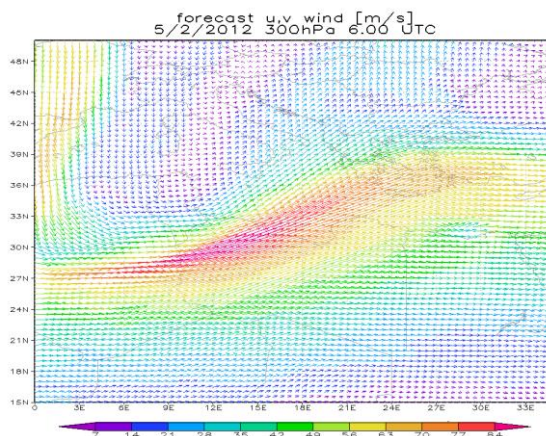
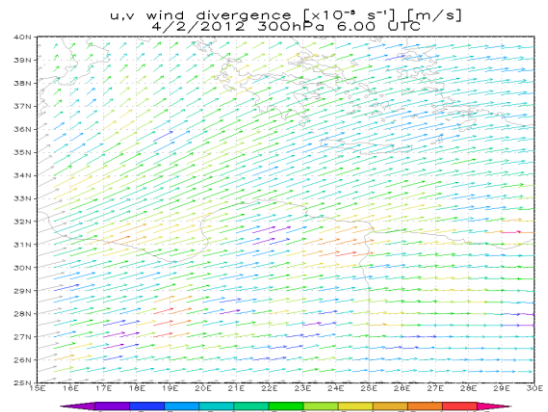
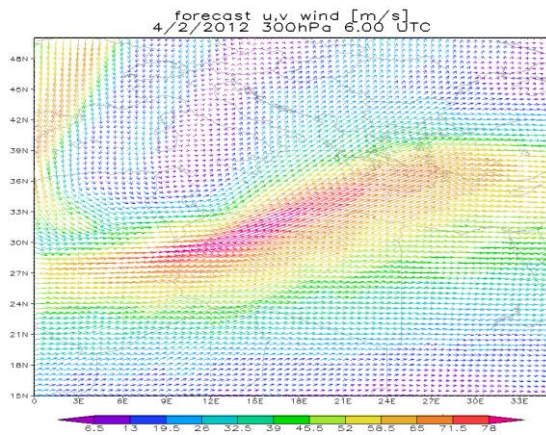
4.7 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΑ 300 ΗΡΑ

Η απόκλιση ανέμου είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν το στροβιλισμό άρα και τα βασικά χαρακτηριστικά ενός χαμηλού, καθώς και του τρόπου βάθυνσής του. Αποτελεί είτε αίτιο της σύγκλισης στην κατώτερη ατμόσφαιρα, είτε αποτέλεσμα της, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής. Σχετίζεται με τη δράση του αεροχειμάρρου, καθώς μπορεί να δημιουργήσει ροή προς τα ανώτερα στρώματα, παρασύροντας έτσι τα κατώτερα σε σύγκλιση (ή και αντίστροφα), κάτι που είναι πολύ ευνοϊκό για την ενίσχυση ενός συστήματος χαμηλών και μπορεί έτσι να τα βαθύνει απότομα σε σύντομο χρόνο (Beebe and Bates, 1955).

Οι προγνώσεις από τις 30 και 31/1 δεν λαμβάνονται υπόψιν καθώς δεν προβλέφθηκε η εμφάνιση του εκρηκτικού κυκλώνα στην περιοχή ενδιαφέροντος πιθανώς λόγω μεγάλης χρονικής απόστασης πρόγνωσης- παρατήρησης.

Στις προγνώσεις από 1/2 και 2/2, παρόλο που ο ρυθμός πτώσης πίεσης δεν είναι μεγάλος, ούτε σαν τιμή η ύφεση φτάνει σε μεγάλα βάθη, φαίνεται ότι έτσι όπως είναι τοποθετημένος ο αεροχείμαρρος, τη χρονική στιγμή 6/2 00 UTC που το σύστημα αρχίζει να επιταχύνεται περισσότερο σε σχέση με πριν, ανάλογα με την πρόγνωση της κάθε ημέρας. Ο άξονας κίνησής του είναι διεύθυνσης ABA και το κέντρο του βρίσκεται πιθανότατα στο πίσω μέρος του συνολικού αεροχειμάρρου, με αποτέλεσμα η νοτιοανατολική πλευρά του να ωθείται προς τα πάνω, δημιουργώντας απόκλιση στα ανώτερα στρώματα και συνεπώς προκαλώντας σύγκλιση στην επιφάνεια.. Έτσι είναι λογικό μετά από αυτή τη στιγμή η ύφεση να βαθαίνει πιο γρήγορα, και με μεγαλύτερο ρυθμό για όσο ο αεροχείμαρρος είναι πάνω από το χαμηλό. Η περιγραφή αυτή ταιριάζει σε όλες τις προγνώσεις, αφού ξεκινούν περίπου από το ίδιο σημείο στις 6/2 00 UTC, αλλά διαφέρει η ένταση με την οποία εκδηλώνεται το γεγονός (σχήμα 4-18).





Σχήμα 4-18 Αριστερά: Πρόγνωση της διεύθυνσης και ταχύτητας (m/s) του ανέμου στα 300 hPa για την 00 UTC 6/2, από τις προγνώσεις του GFS που αρχικοποιήθηκαν στις 12 UTC, 1/2 έως 5/2 (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα αρχικοποίησης πρόγνωσης/ μήνας/ έτος, ισοβαρικό επίπεδο (hPa), ημέρα που αντιστοιχεί η πρόγνωση. ώρα UTC).

Δεξιά: Πρόγνωση της απόκλισης του ανέμου ($\times 10^{-5} \frac{1}{s}$) στα 300 hPa για την 00 UTC 6/2, από τις προγνώσεις του GFS που αρχικοποιήθηκαν στις 12 UTC, 1/2 έως 5/2 (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα αρχικοποίησης πρόγνωσης/ μήνας/ έτος, ισοβαρικό επίπεδο (hPa), ημέρα που αντιστοιχεί η πρόγνωση. ώρα UTC).

4.8 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΎΨΟΥΣ 850

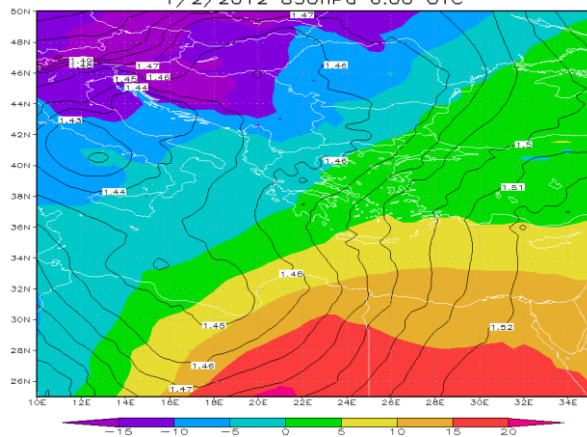
hPa

Το γεωδυναμικό ύψος στα 850 hPa σε συνδυασμό με τη μελέτη της θερμοκρασίας οδηγεί στην εύρεση μετώπων αλλά και θερμοκρασιακών μεταβολών, δηλαδή της βαροκλινικότητας (Πυθαρούλης, 2013). Η πρόγνωση αυτών των παραμέτρων μπορεί να δώσει από άλλη οπτική τους λόγους για τη βάθυνση του συστήματος ή όχι, στις διάφορες προγνώσεις.

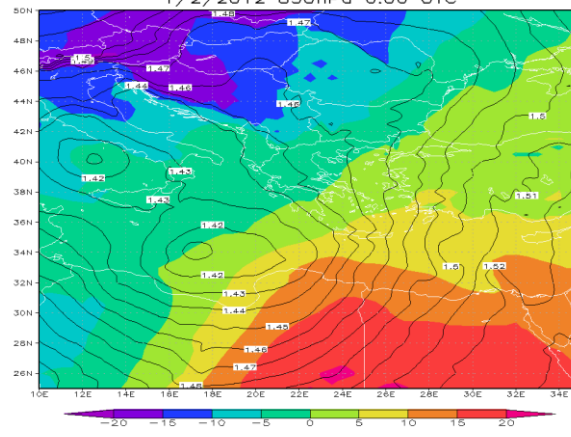
Στο σχήμα 4-19 παρουσιάζονται το γεωδυναμικό ύψος και η θερμοκρασία στο επίπεδο των 850 hPa, από τις προγνωστικές μέρες 1/2 έως 5/2. Επιλέχθηκαν οι στιγμές 00 UTC και 06 UTC της 6/2, γιατί έχει ενδιαφέρον η δραστηριότητά τους στο ευρύτερο Ιόνιο που διαφέρει για μερικές από τις προγνώσεις. Σημειώνεται ότι μετά τις 06 UTC 6/2 όλες οι προγνώσεις είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους, αφού σε όλες φαίνεται ότι το γεωδυναμικό συνεχίζει να ελαττώνεται, δικαιολογώντας το γρήγορο ρυθμό βάθυνσης.

Παρατηρείται ότι η πρόγνωση από τις 3/2 για τις 06 UTC 6/2, δηλαδή λίγο πριν την εκρηκτική βάθυνση του χαμηλού όπως φάνηκε στην ανάλυση, δείχνει σχηματισμό του χαμηλού των υψών, με εσωτερική κλειστή τιμή λίγο κάτω από 1,32 grkm και ακριβώς πάνω από τη βαροκλινική ζώνη (σχήμα 4-19). Αυτό σημαίνει ότι ευνοείται η ανταλλαγή ενέργειας καθ' ύψος, οπότε η ύφεση θα ενισχυθεί πάρα πολύ. Έτσι η πρόγνωση αυτή είναι πολύ κοντινή στην εικόνα που έδωσε η ανάλυση για αυτές τις παραμέτρους. Στους υπόλοιπους προγνωστικούς κύκλους δεν υπάρχει τέτοιος συγχρονισμός αυτών των παραμέτρων, αφού τα χαμηλά των υψών εμφανίζονται γύρω από τη βαροκλινική ζώνη, οπότε η ύφεση σε κάθε περίπτωση δεν επηρεάζεται τόσο από αυτό το σύστημα. Συνεπώς η ημέρα πρόγνωσης 3/2 καθίσταται μια από τις πιο πετυχημένες, καθώς βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την πίεση ΜΣΘ και το ρυθμό βάθυνσης, φαίνεται ότι περιγράφονται πιο σωστά σε αυτήν την περίπτωση.

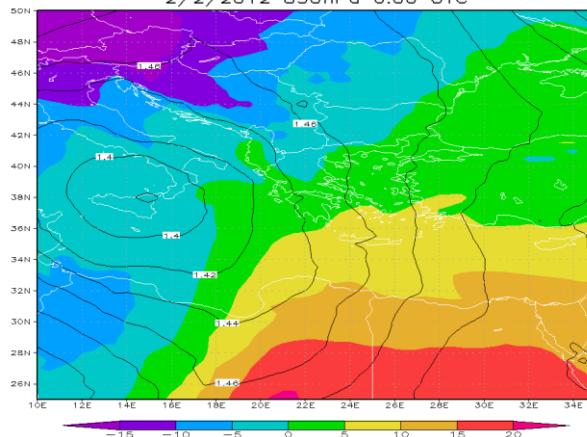
forecast Geopotential height [gpkm]_profile Temp. [C]
1/2/2012 850hPa 6.00 UTC



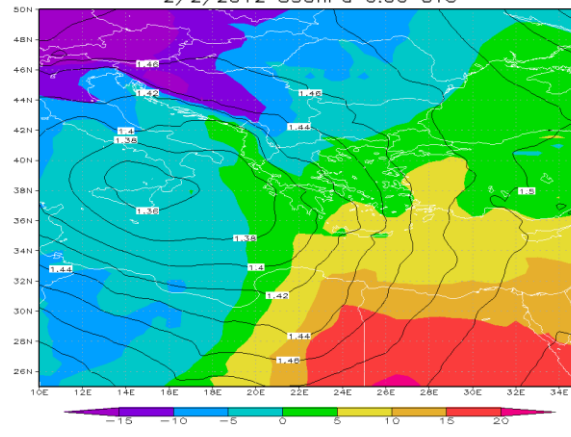
forecast Geopotential height [gpkm]_profile Temp. [C]
1/2/2012 850hPa 6.06 UTC



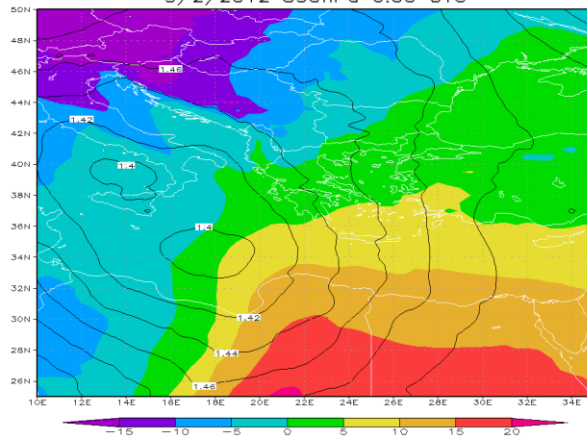
forecast Geopotential height [gpkm]_profile Temp. [C]
2/2/2012 850hPa 6.00 UTC



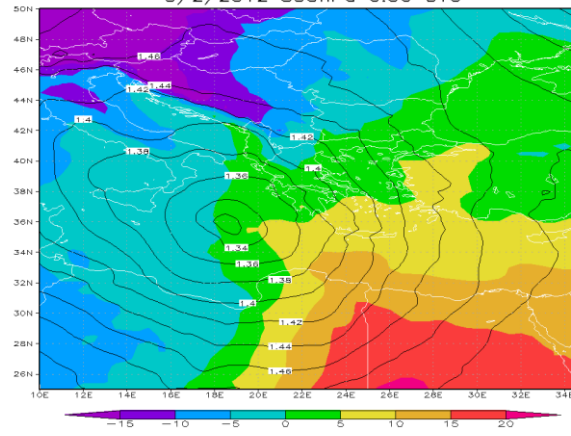
forecast Geopotential height [gpkm]_profile Temp. [C]
2/2/2012 850hPa 6.06 UTC

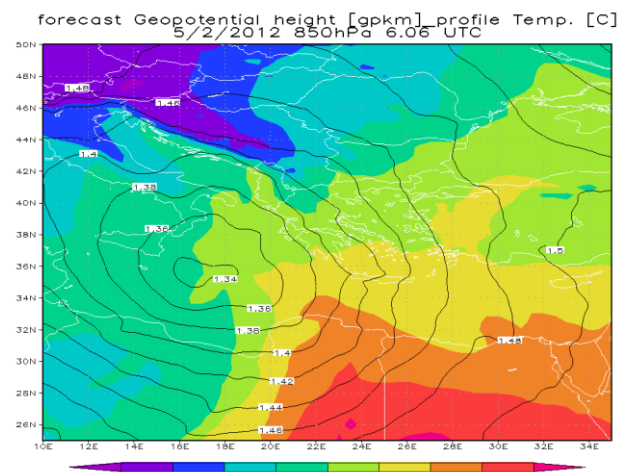
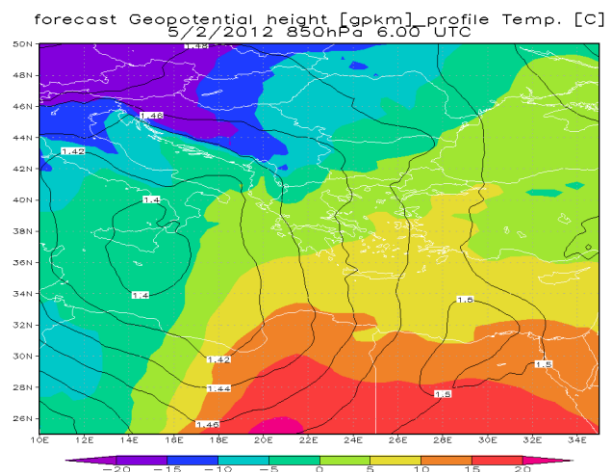
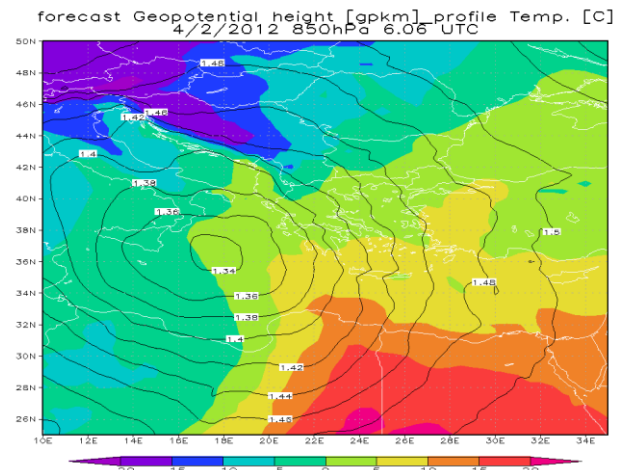
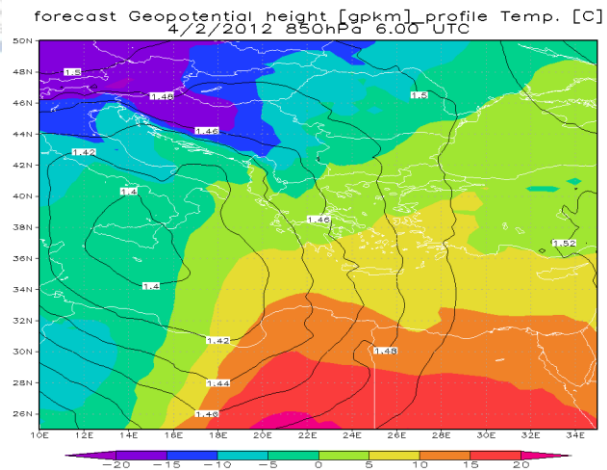


forecast Geopotential height [gpkm]_profile Temp. [C]
3/2/2012 850hPa 6.00 UTC



forecast Geopotential height [gpkm]_profile Temp. [C]
3/2/2012 850hPa 6.06 UTC

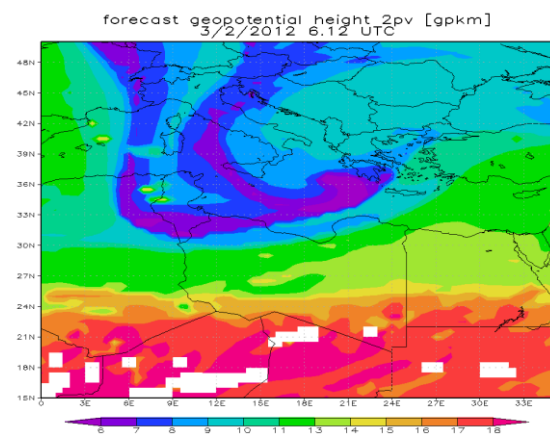
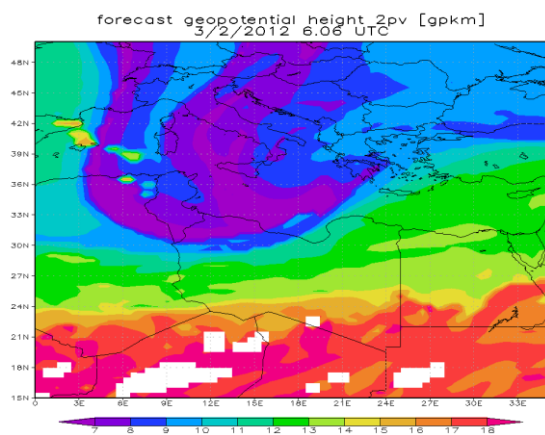
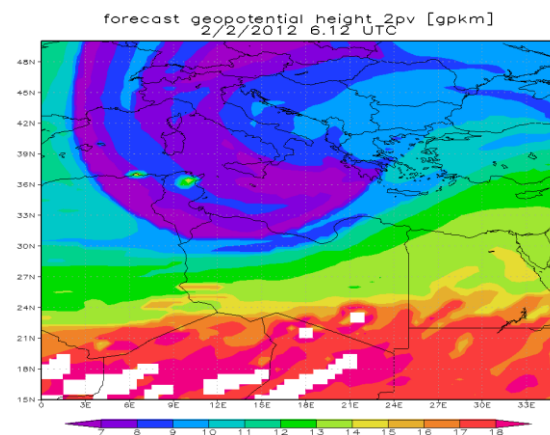
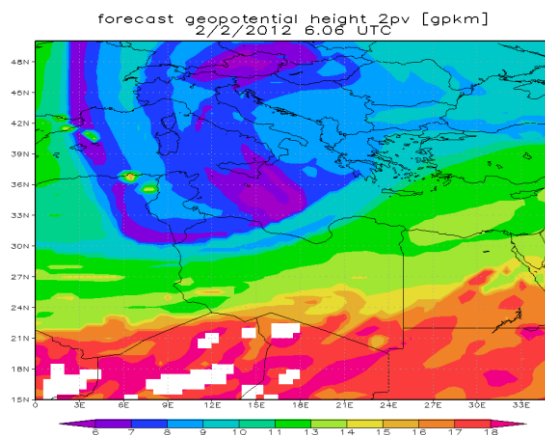
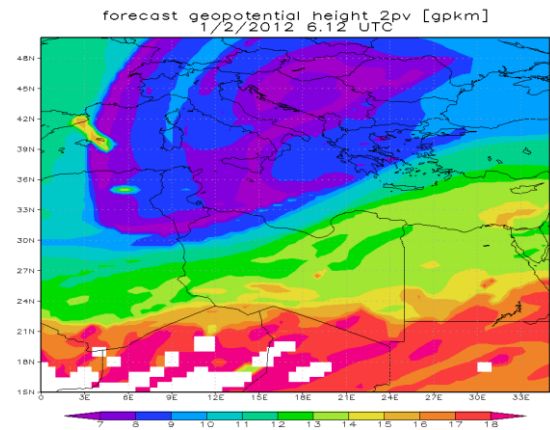
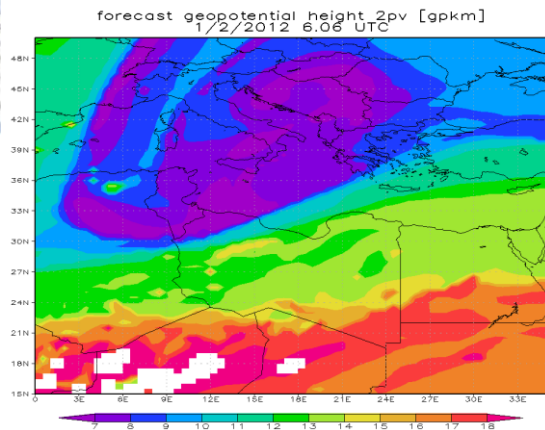


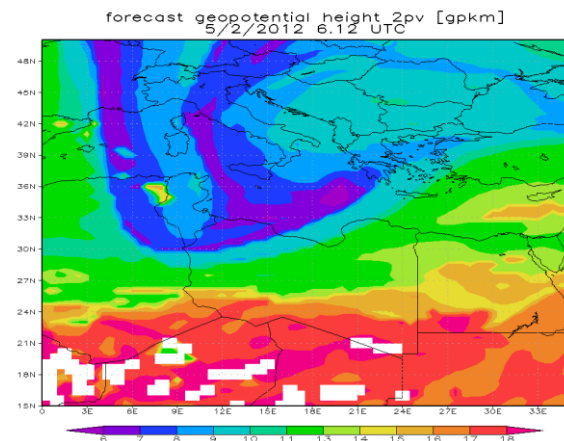
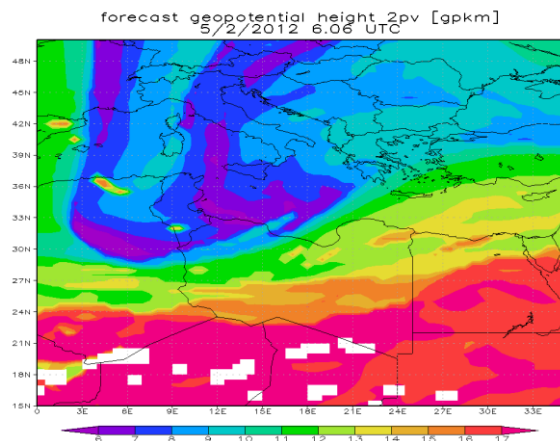
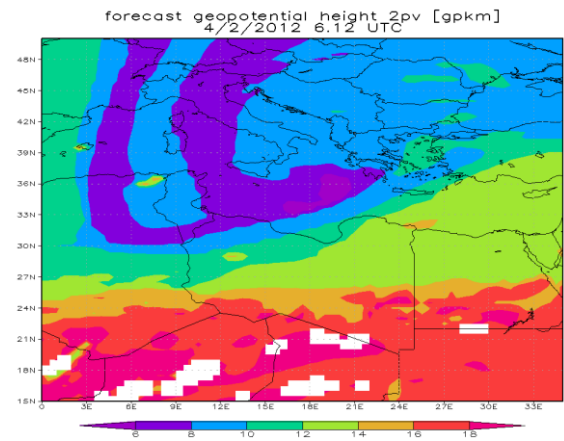
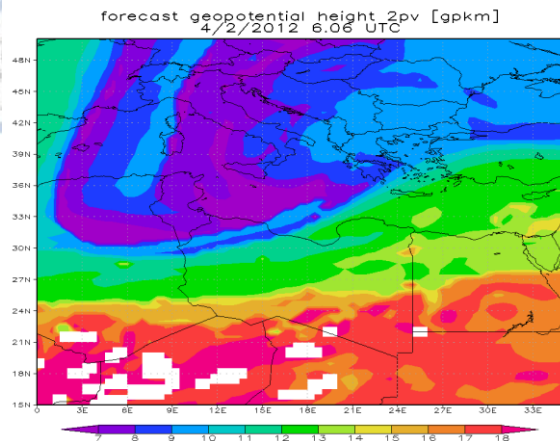


Σχήμα 4-19 Πρόγνωση του γεωδυναμικού ύψους (gpkm) (καμπύλες), και θερμοκρασία (C)(γραμμοσκιασμένο) για τις 00 UTC και 06 UTC 6/2, από τις προγνώσεις του GFS που αρχικοποιήθηκαν στις 12 UTC, 1/2 έως 5/2 (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα αρχικοποίησης πρόγνωσης/ μήνας/ έτος, επίπεδο πίεσης (850 hPa), ημέρα/ ώρα παρατήρησης (UTC)).

Ο δυνητικός στροβιλισμός περιγράφει τις δυναμικές διαδικασίες της ατμόσφαιρας. Ο συνδυασμός της στατικής ευστάθειας και του απόλυτου στροβιλισμού περιγράφει το δυνητικό στροβιλισμό. Η μονάδα μέτρησης του δυνητικού στροβιλισμού είναι το PVU (Hoskins et al., 1985). Η επιλογή της επιφάνειας 1,5 ή 2 PVU έχει να κάνει με το ότι τιμές κάτω από αυτές συναντώνται συνήθως στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα), ενώ οι μεγαλύτερες από αυτές εμφανίζονται στα ανώτερα (στρατόσφαιρα). Η επιφάνεια αυτή λέγεται και δυναμική τροπόπαυση, καθώς αποτελεί τμήμα της τροπόπαυσης που διαχωρίζει την τροπόσφαιρα από τη στρατόσφαιρα. Όταν οι τιμές του ύψους της επιφάνειας αυτής είναι χαμηλές, σημαίνει ότι ξηρός στρατοσφαιρικός αέρας με μεγάλες τιμές δυναμικού στροβιλισμού εισχωρεί στην τροπόσφαιρα, δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες για κυκλογένεση ιδιαίτερα αν συνδυαστεί με την ύπαρξη βαροκλινικής ζώνης στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Επίσης αυτό αποτελεί και ένδειξη παρουσίας αεροχείμαρρου, που συνεπάγεται με αύξηση του στροβιλισμού και των ταχυτήτων των ανέμων, και γενικά με την ενίσχυση πιθανών υφέσεων που βρίσκονται στην περιοχή.

Σε όλες τις περιπτώσεις πρόγνωσης, εκτός από τις 1/2 και 2/2 που δεν προβλέπεται κάποια έντονη εκρηκτική κυκλογένεση, οι πιο απότομοι ρυθμοί βάθυνσης φαίνεται να είναι μεταξύ 6/2 06 UTC και 6/2 12 UTC. Αυτό συμπίπτει με το πολύ χαμηλό ύψος της επιφάνειας 2 PVU που φτάνει ακόμα και τα 6 gpkm και φαίνεται να συμβάλλει σημαντικά στην εκρηκτική βάθυνση των υφέσεων που βρίσκονται στην περιοχή επιρροής της (σχήμα 4-20).





Σχήμα 4-20 Πρόγνωση του γεωδυναμικού ύψους της δυναμικής τροπόπαυσης (gpkm) για τις 06 UTC και 12 UTC 6/2, από τις προγνώσεις του GFS που αρχικοποιήθηκαν στις 12 UTC, 1/2 έως 5/2 (για κάθε σχήμα αναφέρεται: ημέρα αρχικοποίησης πρόγνωσης/ μήνας/ έτος, επίπεδο πίεσης (hPa), ημέρα που αντιστοιχεί η πρόγνωση. ώρα UTC).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τα συνοπτικά χαρακτηριστικά και η προγνωσιμότητα της εκρηκτικής κυκλογένεσης που επηρέασε την κεντρική Μεσόγειο και την ελληνική περιοχή στις 6/2/2012 και 7/2/2012, με χρήση κυρίως των επιχειρησιακών αναλύσεων και των προγνώσεων του παγκόσμιου μοντέλου GFS.

Η ελάχιστη τιμή της πίεσης του χαμηλού στη μέση στάθμη της θάλασσας έφτασε τα 981 hPa στις αναλύσεις του GFS για τις 6/2 18 UTC. Επίσης ο ρυθμός βάθυνσης έφτασε τα 2,4 Bergeron, δείχνοντας την ένταση της ύφεσης. Το μητρικό χαμηλό που ήρθε από τη Βόρεια Αφρική φάνηκε να αλληλοεπιδράσε με ένα άλλο χαμηλό που σχηματίστηκε στη νότια Ιταλία. Φαίνεται ότι η ύφεση αυτή επηρεάστηκε από τον αεροχείμαρρο και τη δυναμική ανωμαλία της τροπόπαυσης που εμφανίστηκαν στην περιοχή του χαμηλού στις 6/2 και συνέβαλαν στην εκρηκτική του βάθυνση. Ο αεροχείμαρρος φαίνεται να βοήθησε στην ταχεία βάθυνσή του μέσω των ανοδικών κινήσεων που σχετίζονται με τη δευτερεύουσα αγεωστροφική του κυκλοφορία. Έτσι ο συνδυασμός όλων αυτών διαμόρφωσε τον εκρηκτικό του χαρακτήρα, ο οποίος εκτονώθηκε αρχικά στα ανοιχτά του Ιονίου, και έπειτα πάνω από τον ελληνικό χώρο.

Προγνωστικά, φάνηκε ότι το παγκόσμιο μοντέλο GFS πέτυχε τον προσδιορισμό της γεωγραφικής θέσης και του ρυθμού βάθυνσης όταν αρχικοποιήθηκε περίπου 3 ημέρες πριν την εκρηκτική κυκλογένεση. Η πιο εύστοχη γεωγραφική πρόγνωση ήταν αυτή στις 4/2 και 5/2, με την τελευταία όμως να βγάζει αποτέλεσμα αφού έχει ξεκινήσει το σύστημα, έστω και στα αρχικά του στάδια. Όσον αφορά την πίεση του κέντρου αλλά και το ρυθμό βάθυνσης, πιο καλή φαίνεται να είναι η πρόγνωση στις 3/2, δείγμα ότι η χρονική απόσταση πρόγνωσης- παρατήρησης δεν αποτελεί τον μοναδικό παράγοντα ευστοχίας. Οι υπόλοιπες παράμετροι που σχετίζονται πιο πολύ με τον αεροχείμαρρο και τη δυναμική ανωμαλία της τροπόπαυσης ήταν παρόμοιες, αφού εκεί η κατάσταση είναι πιο ξεκάθαρη, λόγω των έντονων χαρακτηριστικών του. Βέβαιο είναι ότι οι μέθοδοι πρόγνωσης χρίζουν βελτίωσης μιας και σε γενικές γραμμές δεν έδειξαν ποτέ τα επίπεδα



πίεσης στα οποία κυμάνθηκε και άρα την ένταση που εκδήλωσε στην πραγματικότητα, ακόμα και αφού το σύστημα είχε ήδη αρχίσει να διαμορφώνεται.



ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Beebe R.G., F.C. Bates, 1955: A mechanism for assisting in the release of convective instability. *Mon Wea Rev*, 83, 1-10.

Bosart L.F. 1981: The Presidents' Day Snowstorm of 18–19 February 1979: A Subsynoptic-Scale Event. *Mon Wea Rev*, 109, 1542–1566.

Bottger H., M. Eckardt, U. Katergiannakis, 1975: Forecasting extratropical storms with hurricane intensity using satellite information. *J. Appl. Met.*, 14, 1259-1265.

Brzovic N., V. Jurcec 1997: Numerical simulation of the Adriatic cyclone development. *Geofizika* 14: 29- 45.

Businger S., T. M. Graziano, M. L. Kaplan, R. A. Rozumalski, 2005: Cold-air cyclogenesis along the Gulf-Stream front: investigation of diabatic impacts on cyclone development, frontal structure, and track. *Meteorol. Atmos Phys.* 88, 65–90.

Cione, J. J., S. Raman, L. J. Pietrafesa, 1993: The effect of Gulf Stream-induced baroclinicity on the U.S. east coast winter cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 421-430.

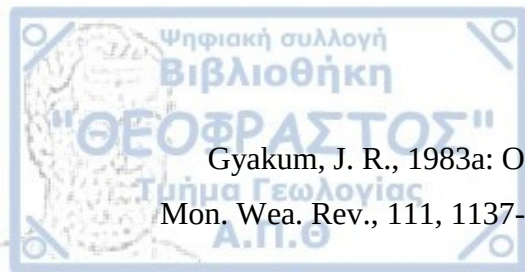
Cione, J. J., S. Raman, R. A. Neuherz, L. J. Pietrafesa, K. Keeter, L. I. Xiaofeng, 1998: The use of pre-storm boundary layer baroclinicity in determining and implementing the Atlantic surface cyclone intensification index. *Bound.-Layer Meteor.*, 89, 211-224.

Cohen D., 1996: Encyclopedia of climate and weather. In: Explosive cyclones. Oxford university press.

Davis C. A., K. A. Emanuel, 1988: Observational evidence for the influence of surface heat fluxes on rapid maritime cyclogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 2649- 2659.

Floca H., 1990: Explosive cyclogenesis in the Mediterranean. MSc dissertation, University of Reading, Department of Meteorology.

Gyakum J. R., R. E. Danielson, 1999: Analysis of meteorological precursors to ordinary and explosive cyclogenesis in the western North Pacific. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 851-863.



Gyakum, J. R., 1983a: On the evolution of the QE II storm. Part I: Synoptic aspects. Mon. Wea. Rev., 111, 1137-1155.

Gyakum, J. R., 1983b: On the evolution of the QE II storm. Part II: Dynamic and thermodynamic structure. Mon. Wea. Rev., 111, 1156-1173.

Gyakum, J. R., 1991: Meteorological precursors to the explosive intensification of the QE II storm. Mon. Wea. Rev., 119, 1105- 1131.

Gyakum, J.R., E.S. Barker, 1988: A Case Study of Explosive Subsynoptic-Scale Cyclogenesis. Mon. Wea. Rev., 116, 2225–2253.

Hoskins B.J., P. Berrisford, 1988: A potential vorticity perspective of the storm of 15-16 October 1987. Weather, 43, 122-129.

Hoskins, B. J., M. E. McIntyre, A. W. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 111, 877-946.

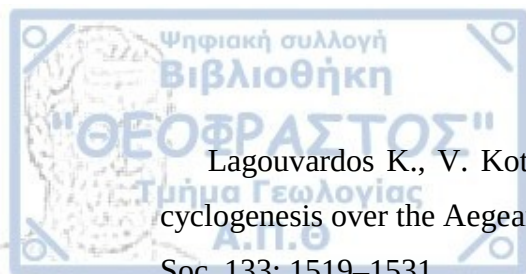
Karacostas T. S., A. A. Flocas, 1983: The development of the “Bomb” over the Mediterranean area. La Meteorologie, No 34, Actes de la conference “eau verte, eau bleue”, 351- 358.

Katsafados P., E. Mavromatidis, A. Papadopoulos, I. Pytharoulis 2010: The role of Sea Surface Temperatures and the physiographic characteristics on the development of an explosive cyclogenesis. Proceedings of the 10th Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP 2010), 25-28 May, Patras, Greece, 526-533

Katsafados P., E. Mavromatidis, A. Papadopoulos, I. Pytharoulis, 2011: Numerical simulation of a deep Mediterranean storm and its sensitivity on sea surface temperature. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 1233–1246.

Kouroutzoglou, J., H.A. Flocas, I. Simmonds, K. Keay, M. Hatzaki, 2011: Climatological aspects of explosive cyclones in the Mediterranean. Int. J. Climatol. 31, 1785–1802.

Kuo, Y. H., R. J. Reed, 1988: Numerical simulation of an explosively deepening cyclone in the eastern Pacific. Mon. Wea. Rev., 116, 2081-210.



Lagouvardos K., V. Kotroni, E. Defer, 2007: The 21–22 January 2004 explosive cyclogenesis over the Aegean Sea: Observations and model analysis. Q. J. R. Meteorol. Soc. 133: 1519–1531.

Lim E.-P., I. Simmonds, 2002: Explosive Cyclone Development in the Southern Hemisphere and a Comparison with Northern Hemisphere Events. Mon. Wea. Rev., 130, 2188-2209.

Lupo A. R., P. J. Smith, Peter Zwack, 1991: A diagnosis of the explosive development of two extratropical cyclones. Mon. Wea. Rev., 120, 1490-1523.

Maheras, P., H.A. Flocas, I. Patrikas, C. Anagnostopoulou, 2001: A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: spatial and temporal distribution. Int. J. Climatol. 21, 109–130.

Mayengon R., 1984: Warm core cyclones in Mediterranean. Mariners Weather Log, 28, 6-9

Mesinger F., R.F. Strickler 1982: Effects of mountains on genoa cyclogenesis. J Meteorol Soc, Japan, 60 326- 337.

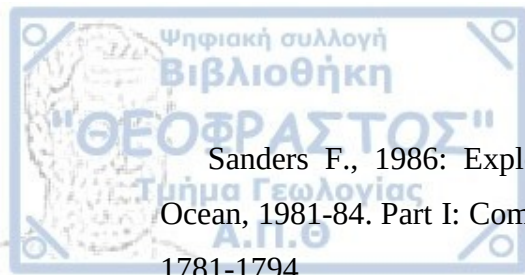
Michaelides S., T. Karacostas, J. L. Sánchez, A. Retalis, I. Pytharoulis, V. Homarf, R. Romero, P. Zanis, C. Giannakopoulos, J. Bühl, A. Ansmann, A. Merino, P. Melcón, K. Lagouvardos, V. Kotroni, A. Bruggeman, J. I López- Moreno, C. Berthet, E. Katragkou, F. Tymvios, D. G. Hadjimitsis, R.- E. Mamouri, A. Nisantzi 2018: Reviews and perspectives of high impact atmospheric processes in the Mediterranean, Atmos Res, 208, 4-44

Pettersen S., Smebye S. J. 1971: On the development of extratropical cyclones. Quart. J. R. Met. Soc., 97, pp. 457- 482.

Pytharoulis I., 2008: Numerical study of the eastern Mediterranean “Bomb” of January 2004. 8th Annual meeting of the EMS / 7th ECAC Amsterdam, 29 Sep – 3 Oct 2008.

Roebber. P. J., 1984: Statistical analysis and updated climatology of explosive cyclones. Mon. Wea. Rev., 112, 1577- 1589.

Rogers, E., L. F. Bosart, 1986: An investigation of explosively deepening oceanic cyclones. Mon. Wea. Rev., 114, 702-718.



Sanders F., 1986: Explosive cyclogenesis over the west-central North Atlantic Ocean, 1981-84. Part I: Composite structure and mean behavior. Mon. Wea. Rev., 114, 1781-1794.

Sanders F., J. R. Gyakum, 1980: Synoptic-dynamic climatology of the “bomb”. Mon. Wea. Rev. 108, 1589–1606.

Sanders, F., E. P. Auciello, 1989: Skill in prediction of explosive cyclogenesis over the western North Atlantic Ocean, 1987/88: A forecast checklist and NMC dynamic models. Wea. Forecasting, 4, 157 -172.

Yoshida A., Y. Asuma, 2004: Structures and Environment of Explosively Developing Extratropical Cyclones in Northwestern Pacific region. Mon. Wea. Rev., 132, 1121-1142.

• **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Ακριτίδης Δ., Π. Ζάνης, Ι. Πυθαρούλης, Α. Μαυράκης, Θ. Καρακώστας 2008: Ένα έντονο επεισόδιο εισβολής στρατοσφαιρικού αέρα έως την επιφάνεια του εδάφους στην περιοχή της Αθήνας. Πρακτικά 9^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου στη Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρική Φυσική (COMECAP2008), 28-31 Μαΐου, Θεσσαλονίκη, σελ 3- 10.

Ζιακόπουλος Δ., Π. Β. Φραγκούλη, 2015: Το εγχειρίδιο του Μετεωρολόγου-Προγνώστη. Ηλεκτρονική έκδοση, ΕΜΥ.

Καρακώστας Σ. Θ., 2013: Σημειώσεις Συνοπτικής και Δυναμικής Μετεωρολογίας. Σημειώσεις Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον». Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας Κλιματολογίας, Θεσσαλονίκη.

Κουρουτζόγλου Ι., 2014: Συμβολή στη μελέτη της εκρηκτικής κυκλογένεσης στη Μεσόγειο. Διδακτορική διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Φυσικής, Αθήνα.

Κυριαζόπουλος Β. Δ., 1988: Η επίδραση του καιρού και των φάσεων της Σελήνης σε πολεμικές επιχειρήσεις στο στενό της Μάγχης. Μετεωρολογικά, Δημοσιεύσεις του Μετεωρολογικού ινστιτούτου του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, «Στην μνήμη Γεωργίου Κ. Λιβαδά», σελ. 13- 59, Μακρογιάννης, Μπλούτσος, Πέννας (συντακτική επιτροπή).

Λιβαδάς Γ. Κ., 1976: Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας. Έκδοσις ΙΙΙ, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Μπρίκας Δ., 2006: Ο υποτροπικός αεροχείμαρρος και η συμβολή του στη δημιουργία και ένταση εξαιρετικών καιρικών φαινομένων στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας Κλιματολογίας, Θεσσαλονίκη.

Πυθαρούλης Ι., 2010: Αριθμητική Πρόγνωση Καιρού. Σημειώσεις Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό



Περιβάλλον». Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας Κλιματολογίας, Θεσσαλονίκη.

Πυθαρούλης Ι., 2018: Σημειώσεις συνοπτικής μετεωρολογίας Π.Μ.Σ. στην «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον», τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Σαχσαμάνογλου Χ. Σ., Τ. Ι. Μακρογιάννης, 2004: Μαθήματα γενικής μετεωρολογίας. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Χάρης Ε.Π.Ε.

Τσοπουρίδης Λ. Δ., 2014: Αριθμητική μελέτη ενός έντονου επεισοδίου Βαρδάρη. Μεταπτυχιακή Διατριβή ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας Κλιματολογίας, Θεσσαλονίκη



- **ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

www.britannica.com/event/Greco-Persian-Wars

www.forecastweather.gr

www.hnms.gr

www.meteo.gr

www.meteoclub.gr

www.ncdc.noaa.gov

www.northmeteo.gr

www.wetter3.de

www.wetterzentrale.de