ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΕΤΩΠΙΚΩΝ ΥΦΕΣΕΩΝ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ.

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΖΟΥΓΡΟΥ

ΦΥΣΙΚΟΣ

Επιβλέπων καθηγητής: Χαράλαμπος Φείδας, Αναπληρωτής Καθηγητής

Τριμελής επιτροπή: Χαράλαμπος Φείδας, Αν. Καθηγητής

Θεόδωρος Καρακώστας, Καθηγητής

Ιωάννης Πυθαρούλης, Επ. Καθηγητής

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Στους γονείς μου,

με ευγνωμοσύνη.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή κ. Χαράλαμπο Φείδα, για την ανάθεση της εργασίας αυτής, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τις κατευθύνσεις και τη βοήθεια του, αλλά κυρίως για τη συνεχή υποστήριξη του και την καθοριστική συμβολή του στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Τις θερμές μου ευχαριστίες θέλω να εκφράσω προς τον καθηγητή και μέλος της τριμελούς επιτροπής, κ. Θεόδωρο Καρακώστα, ο οποίος με το μοναδικό και χαρισματικό τρόπο του, στάθηκε πάντα δίπλα μου με τις γνώσεις του, τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις του, αλλά και την ηθική συμπαράσταση, που μου προσέφερε καθ΄όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επίκουρο καθηγητή και μέλος της τριμελούς επιτροπής, κ. Ιωάννη Πυθαρούλη για την βοήθειά του και τις γνώσεις που μου προσέφερε, τις εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις του, αλλά και τη φιλική πάντα διάθεσή του.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου, που ο καθένας με τον δικό του μοναδικό τρόπο, με δίδαξε. Ιδιαίτερα θερμά ευχαριστώ τον αναπληρωτή καθηγητή κ.Πρόδρομο Ζάνη όχι μόνο για τις σημαντικές γνώσεις που μου προσέφερε, κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά για το πρότυπο δασκάλου, ερευνητού και ανθρώπου που μου ενέπνευσε.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον ομότιμο καθηγητή κ.Πέτρο Πέννα, ο οποίος μαζί με τον καθηγητή κ.Θεόδωρο Καρακώστα, ήταν εκείνοι που με ώθησαν και με υποστήριξαν στον δρόμο της γνώσης και της επιστήμης.

Ακόμη θέλω να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου για την καλή συνεργασία και τη βοήθεια τους, ιδιαίτερα την Πολίνα Κόλλια, η οποία πάντα πρόθυμα μου προσέφερε τη βοήθειά της και τις γνώσεις της, τον Χρήστο Ντόγρα για την βοήθειά του σε θέματα πληροφορικής και τον Κώστα Τυμπανίδη για την σημαντική υποστήριξή του, κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τον σύζυγό μου Σάκη και τα τρία παιδιά μου Αντώνη, Παναγιώτη και Ίριδα για την αγάπη τους και τη στήριξή τους, σε κάθε στιγμή της ζωής μου και να τους ζητήσω συγνώμη για το χρόνο που τους στέρησα.

Ευαγγελία Ζούγρου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη 11

Abstract 12

Πρόλογος 13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΥΦΕΣΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ-ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΕΡΕΥΝΑ

1.1 Γενικά-Στόχοι 17

1.2 Μεσόγειος και υφεσιακή δραστηριότητα 18

1.2.1 Μεσόγειος Θάλασσα 18

1.2.2 Μετωπικές υφέσεις της Μεσογείου 21

1.3 Μελέτες ταξινόμησης των υφέσεων της Μεσογείου 21

1.3.1 Ταξινόμηση με βάση συνοπτικά χαρακτηριστικά 21

1.3.2 Ταξινόμηση με βάση συνοπτικά και δορυφορικά δεδομένα 25

1.4 Ταξινόμηση κυκλογεννέσεων με κριτήριο δορυφορικά δεδομένα 27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Δορυφορική Μετεωρολογία 33

2.1.1 Γενικά 33

2.1.2 Είδη των μετεωρολογικών δορυφόρων 33

2.1.3 Δορυφόροι METEOSAT 36

2.2. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία 40

2.2.1 Εισαγωγή 40

2.2.2 Ηλεκρομαγνητικό κύμα και ηλεκτρομαγνητικό φάσμα 40

2.2.3 Νόμοι ακτινοβολίας του μέλανος σώματος 43

2.3 Αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με το σύστημα

«Γη-Ατμόσφαιρα» 47
2.3.1 Ανάκλαση (Reflection) 47
2.3.2. Εκπομπή (Transmission) 49
2.3.3 Διαπερατότητα (Transmissivity) 51
2.3.4 Επίδραση των νεφών 51
2.4. Θερμικές και δυναμικές παράμετροι 52
2.4.1 Δυναμική θερμοκρασία (Potential Temperature), Θ 52
2.4.2 Στροβιλισμός (Vorticity) 52
2.4.3 Θετική μεταφορά στροβιλισμού (Positive Vorticity Advection), PVA 55
2.4.4 Δυναμικός στροβιλισμός (Potential Vorticity) 56
2.5. Χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων 60
2.5.1 Σύνθεση τω δορυφορικών εικόνων 60
2.5.2 Δορυφορικές εικόνες στο ορατό (Visible imagery) 61
2.5.3 Δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο (Infrared imagery) 62
2.5.4 Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών (Water Vapor imagery) 64
2.6. Χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων 68
2.6.1 Γενικά 68
2.6.2 Μετωπικές υφέσεις 69
2.6.3 Κύκλος ζωής μιας μετωπικής ύφεσης 70
2.6.4 Αποκλίσεις από το Νορβηγικό μοντέλο 74
2.6.5 Χαρακτηριστικά των ζωνών μεταφοράς 76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Δεδομένα 79
3.1.1 Δορυφορικά δεδομένα 79
3.1.2 Συνοπτικά δεδομένα 84

3.2 Επεξεργασία δεδομένων και μεθοδολογία 89
3.2.1 Επεξεργασία δεδομένων 89
3.2.2. Μεθοδολογία 91

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή 93
4.2 Μετωπικές υφέσεις «μεσημβρινού αυλώνα» 97
4.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων «μεσημβρινού αυλώνα» 98
4.2.2. Μετωπική ύφεση στις 30, 31 Οκτωβρίου 2008 και 1η Νοεμβρίου 2008 102
4.2.3 Άλλες μετωπικές υφέσεις της κατηγορίας «μεσημβρινού αυλώνα» 109
4.3 Μετωπικές υφέσεις με παράλληλα νέφη στο αρχικό στάδιο και συγκλίνουσα ροή (confluent flow) στην ανώτερη ατμόσφαιρα 112
4.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων «παράλληλα νέφη-συγκλίνουσα ροή» 113
4.3.2 Μετωπική ύφεση στις 27-28-29 Νοεμβρίου 2008 117
4.3.3 Άλλες μετωπικές υφέσεις της κατηγορίας «παράλληλα νέφη-συγκλίνουσα ροή» 123
4.4 Μετωπικές υφέσεις «ψυχρού τομέα ή τύπου κόμματος» 128
4.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων της κατηγορίας «ψυχρού τομές ή τύπου κόμματος» 129
4.4.2 Μετωπική ύφεση στις 5, 6 και 7 Μαρτίου 2009 132
4.4.3 Άλλες μετωπικές υφέσεις της κατηγορίας «ψυχρού τομέα ή τύπου κόμματος» 138
4.4.4 Υποκατηγορία 142
4.5 Μετωπικές υφέσεις «μεσημβρινού αυλώνα με νέφη C στον ψυχρό τομέα» 144
4.5.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων της κατηγορίας «μεσημβρινού αυλώνα με νέφη C στον ψυχρό τομέα» 144
4.5.2 Μετωπική ύφεση στις 8 και 9 Φεβρουαρίου 2009 147

4.5.3 Άλλες μετωπικές υφέσεις της κατηγορίας «μεσημβρινού αυλώνα με νέφη C στον ψυχρό τομέα» 153

4.6 Μετωπικές υφέσεις «αποκομμένου χαμηλού (cut-off) με νέφη από νότια» 156

4.6.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων της κατηγορία «αποκομμένου χαμηλού (cut-off) με νέφη από νότια» 156

4.6.2 Μετωπική ύφεση στις 27 και 28 Ιανουαρίου 2009 160

4.6.3 Άλλες μετωπικές υφέσεις της κατηγορίας «αποκομμένου χαμηλού (cut-off) με νέφη από νότια» 168

4.7 Αταξινόμητες μετωπικές υφέσεις 173

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Γενικά 179

5.2 Γενικά συμπεράσματα 180

5.3 Ειδικά συμπεράσματα για τις κατηγορίες ταξινόμησης των μετωπικών υφέσεων 183

5.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα 186

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 187

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 191

Περίληψη

Ο στόχος στην εργασία αυτή είναι ο εντοπισμός και η μελέτη των μετωπικών υφέσεων της ανατολικής Μεσογείου, που επηρέασαν την Ελλάδα κατά την ψυχρή περίοδο 2008-2009. Η μελέτη αυτή έγινε με βάση τα χαρακτηριστικά που προέκυψαν από τη φωτοερμηνεία των δορυφορικών εικόνων του μετεωρολογικού δορυφόρου MSG (Meteosat Second Generation) της EUMETSAT. Χρησιμοποιήθηκαν εικόνες ανά μία ώρα στα τρία βασικά δορυφορικά κανάλια: υπέρυθρο (IR 10.8 μm), υδρατμών (WV 6.2 μm) και ορατό υψηλής ευκρίνειας (HRV). Επίσης επιχειρήθηκε να γίνει ταξινόμηση των μετωπικών υφέσεων με βασικά κριτήρια: α) τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων, όπως μορφή και σχήμα νεφικών σχηματισμών, είδη νεφών και ύψη αυτών, καθώς και την κίνηση των νεφών, μέσω διαδοχικών εικόνων και β) τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν μέσα από τη μελέτη συνοπτικών χαρτών (ανά 6ωρο) όπως χαρτών ανώτερης ατμόσφαιρας (300 hPa, 500 hPa και 850 hPa) , καθώς και χαρτών επιφανείας. Η μελέτη των υφέσεων έγινε από την αρχή της δημιουργίας μέχρι τη διάλυσή τους, διακρίνοντας τρία βασικά στάδια: 1. Το αρχικό ή πρόδρομο στάδιο 2. Το στάδιο της ανάπτυξης και 3. Το στάδιο της ωρίμανσης και διάλυσης. Από τη μελέτη αυτή προέκυψαν 32 περιπτώσεις μετωπικών υφέσεων που επηρέασαν τη χώρα μας κατά την περίοδο μελέτης. Από την ταξινόμηση που έγινε με βάση τα παραπάνω κριτήρια, βρέθηκαν πέντε βασικές κατηγορίες μετωπικών υφέσεων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα στα τρία βασικά στάδια εξέλιξης αυτών.

Abstract

The objective of this work is to identify and study the characteristics of frontal depressions in eastern Mediterranean, which has affected Greece during the cold period of 2008-2009. This study was based on the photointerpretation of satellite images taken by meteorological satellite MSG (Meteosat Second Generation) of EUMETSAT. The images used were taken every one hour in three basic satellite channels: infrared (IR 10.8 μm), water vapor (WV 6.2 μm) and visible (High Resolution Visible). Also an attempt was made to develop a classification scheme for these frontal depressions on the basis of: a) clouds patterns inferred by satellite images, such as shape of cloud formations, cloud types and heights of them as well as the movement of clouds through animation of images. and b) the characteristics obtained through the study of synoptic maps (every 6 hours) as: upper-air maps (300 hPa, 500 hPa and 850 hPa) and maps of surface weather analysis. The study of depressions made from the beginning of creation until their maturing stage, distinguishing three main stages: 1. The initial or prodromal (procursor) 2.Stage of development and 3. Stage of maturation and dissolution. On this study there have been found 32 cases of frontal depressions that affected our country during the study period. Since the classification was based on the above criteria, five main categories of frontal depressions were obtained with particular features in three main stages.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Πρόλογος

Η συνεισφορά της τηλεπισκόπισης στην επιστήμη της Μετεωρολογίας και της Κλιματολογίας είναι ιδιαίτερα σημαντική. Οι σύγχρονοι μετεωρολογικοί δορυφόροι παρέχουν σημαντικές πληροφορίες στην πρόγνωση καιρού, στην πρόληψη και προειδοποίηση φυσικών καταστροφών, αλλά και σε πολλές άλλες εφαρμογές (Υδρολογία, Κλιματολογία, Γεωργία κ.λ.π).

Η αριθμητική πρόγνωση έχει βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, ωστόσο χρήζει περαιτέρω τελειοποίησης. Ο προγνώστης μετεωρολόγος καλείται να αναγνωρίσει και να διακρίνει σε ποιες περιπτώσεις θα ακολουθήσει ή όχι τα αποτελέσματα των αριθμητικών μοντέλων, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις βραχυπρόθεσμων προγνώσεων. Σημαντικό εργαλείο του μετεωρολόγου για το σκοπό αυτό είναι η δορυφορική εικόνα.

Βεβαίως πρέπει να τονιστεί και η συμβολή στη βραχυπρόθεσμη πρόγνωση των μετεωρολογικών RADARs, τα οποία αποτελούν επίσης όργανα τηλεανίχνευσης μετεωρολογικών φαινομένων μικρότερης όμως κλίμακας.

Οι δορυφορικές εικόνες των μετεωρολογικών δορυφόρων δίνουν μια συνολική και συνεκτική άποψη των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας για μεγάλες περιοχές. Ένα πολύ μεγάλο σύνολο μετεωρολογικών πληροφοριών είναι πλέον διαθέσιμο, χάρις στα 12 φασματικά κανάλια των Ευρωπαϊκών γεωστάσιμων δορυφόρων δεύτερης γενιάς (MSG), οι οποίες παρέχονται ανά 15΄ της ώρας.

Η μελέτη και η ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων παρέχει στους μετεωρολόγους τη δυνατότητα συνεχούς βελτίωσης της πρόγνωσης του καιρού και της έγκαιρης ενημέρωσης επικινδυνότητας των καιρικών φαινομένων. Οι μετωπικές υφέσεις αποτελούν σημαντικά συνοπτικά συστήματα, τα οποία επηρεάζουν τη χώρα μας κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα, δημιουργώντας αρκετά προβλήματα στις ανθρώπινες δραστηριότητες και όχι μόνο. Η μελέτη των μετωπικών υφέσεων της Μεσογείου αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας για αρκετούς μετεωρολόγους (όπως αναλυτικά αναφέρονται στο $1^{ο}$ κεφάλαιο της παρούσης διατριβής). Αυτό που επιχειρείται με την εργασία αυτή, είναι η

μελέτη και η ταξινόμηση των υφέσεων αυτών με πρωταρχικό κριτήριο τα δορυφορικά τους χαρακτηριστικά, συνδυαζόμενα με τα αντίστοιχα συνοπτικά.

Η παρούσα διατριβή περιλαμβάνει τα παρακάτω κεφάλαια:

- *Το πρώτο κεφάλαιο* αποτελεί την εισαγωγή, στην οποία αρχικά αναφέρονται οι στόχοι της εργασίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής της Μεσογείου και αναλύεται η υφεσιακή δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα σε αυτή. Ακολουθεί η αναφορά σε έρευνες που έγιναν και είχαν ως αντικείμενο την ταξινόμηση των μετωπικών υφέσεων της Μεσογείου. Επίσης συμπεριλαμβάνονται και μελέτες που αφορούν κυκλογεννέσεις, εκτός της περιοχής της Μεσογείου, οι οποίες ερευνήθηκαν με βάση τα δορυφορικά χαρακτηριστικά τους και σχετίζονται άμεσα με το αντικείμενο της διατριβής αυτής.
- *Το δεύτερο κεφάλαιο* αποτελεί το θεωρητικό μέρος που σχετίζεται με το αντικείμενο της παρούσης διατριβής. Αρχικά γίνεται αναφορά στη δορυφορική μετεωρολογία, στα είδη και τα χαρακτηριστικά των δορυφόρων καθώς και στους ευρωπαϊκούς δορυφόρους METEOSAT. Στη συνέχεια δίδονται τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, καθώς και η αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με το σύστημα «γη-ατμόσφαιρα». Έπειτα αναλύονται κάποιες θερμικές και δυναμικές παράμετροι (δυναμική θερμοκρασία, στροβιλισμός, μεταφορά στροβιλισμού, δυναμικός στροβιλισμός, δυναμική τροπόπαυση κ.λ.π.). Στη συνέχεια περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων στα τρία βασικά φασματικά κανάλια (θερμικό υπέρυθρο, κανάλι των υδρατμών και ορατό). Τέλος αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων και αναλύεται η θεωρία του «πολικού μετώπου», καθώς και το εννοιολογικό μοντέλο των «ζωνών μεταφοράς».
- *Το τρίτο κεφάλαιο* αναφέρεται στα δεδομένα της εργασίας αυτής, τις πηγές και την επεξεργασία των δεδομένων αυτών. Επίσης αναφέρεται στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη μελέτη των μετωπικών υφέσεων.

- *Το τέταρτο κεφάλαιο* αναφέρεται στα αποτελέσματα της έρευνας αυτής. Παρουσιάζονται οι κατηγορίες ταξινόμησης των μετωπικών υφέσεων της Μεσογείου που προέκυψαν, ενώ αναλύονται τα γενικά χαρακτηριστικά των κατηγοριών αυτών. Επίσης αναλύονται τα δορυφορικά αλλά και τα συνοπτικά χαρακτηριστικά αντιπροσωπευτικών μετωπικών υφέσεων, στα τρία βασικά στάδια εξέλιξης αυτών (αρχικό, ανάπτυξης και ωρίμανσης).
- *Το πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο* αναφέρεται στα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διατριβή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΥΦΕΣΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ-ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΕΡΕΥΝΑ

1.1. Γενικά-Στόχοι

Με τον όρο τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση (remote sensing) εννοείται η ανίχνευση φαινομένων και χαρακτηριστικών από απόσταση. Η έννοια της τηλεπισκόπησης συμπεριλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, τεχνικών αλλά και φυσιολογικών λειτουργιών (όπως π.χ. η όραση). Μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές της τηλεπισκόπησης είναι η μελέτη της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας, η οποία στηρίζεται στην αλληλεπίδραση της ύλης με την ηλιακή ακτινοβολία.

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι παρέχουν τη δυνατότητα μελέτης των μετεωρολογικών παραμέτρων, τόσο χωρικά όσο και χρονικά, καθώς κατοπτεύουν ολόκληρη την επιφάνεια της γης και σε πραγματικό χρόνο. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης των νεφών, της θερμοκρασίας της γης, των έντονων καιρικών φαινομένων κ.λ.π. Ακόμη τα δεδομένα των μετεωρολογικών δορυφόρων προάγουν την έρευνα, καθώς μπορούν να αξιοποιηθούν σε επιστημονικά πεδία όπως η κλιματική αλλαγή, η αριθμητική πρόγνωση καιρού, η ωκεανογραφία, η μελέτη δυναμικών διεργασιών της ατμόσφαιρας, η μελέτη της βλάστησης και της υγρασίας της γης κ.λ.π.

Κάθε δορυφορική εικόνα, μέσα από τα κανάλια ενός μετεωρολογικού δορυφόρου, αποτελεί μια μεγάλη πηγή πληροφοριών για πολλές μετεωρολογικές παραμέτρους, όπως νέφωση, υγρασία, βροχόπτωση, άνεμος, θερμικές και δυναμικές παράμετροι κ.λ.π.). Ακόμη μπορεί να αποτυπώσει τη δομή της ατμόσφαιρας (π.χ. η εικόνα στο κανάλι των υδρατμών αποδίδει τη δομή της μέσης και ανώτερης ατμόσφαιρας, τη θέση των αεροχειμάρρων, τις περιοχές με ανωμαλίες δυναμικής τροπόπαυσης, τις περιοχές εξάρσεων των δυναμικών υψών ή τις περιοχές των αυλώνων κ.λ.π.). Η χρήση διαδοχικών δορυφορικών εικόνων

(animation) περιγράφει με ακρίβεια την κίνηση των συνοπτικών συστημάτων και όχι μόνο, σύμφωνα με τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Έτσι στην παρούσα διατριβή η χρήση των δορυφορικών δεδομένων αποτελεί σημαντικό γνώμονα στη μελέτη των χαρακτηριστικών των μετωπικών υφέσεων, που αναπτύχθηκαν στην περιοχή της Μεσογείου και επηρέασαν τον Ελλαδικό χώρο. Οι δορυφορικές εικόνες προέρχονται από τρία βασικά κανάλια του γεωστάσιμου δορυφόρου, δεύτερης γενιάς MSG (Meteosat Second Generation) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Εκμετάλλευσης Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT).

Κύριοι στόχοι της εργασίας αυτής είναι:

- Η αναλυτική μελέτη των χαρακτηριστικών των μετωπικών υφέσεων της Μεσογείου που επηρέασαν τη χώρα μας, κατά την ψυχρή περίοδο 2008-09, με πρωταρχικό κριτήριο τις δορυφορικές εικόνες, σε συνδυασμό με τα συνοπτικά χαρακτηριστικά των υφέσεων.
- Η ταξινόμηση των εν λόγω μετωπικών υφέσεων σε κάποιες βασικές κατηγορίες, με βάση κοινά χαρακτηριστικά που εμφανίζουν κυρίως στα δορυφορικά δεδομένα (όπως ιδιαίτερη εμφάνιση νεφικών σχηματισμών, είδος και ύψος νεφών καθώς και τη σχετική θέση μεταξύ τους, κίνηση και αλληλεπίδραση ή μη των νεφικών σχηματισμών κ.λ.π.), αλλά και από κοινά γνωρίσματα μετεωρολογικών παραμέτρων που προκύπτουν από τους συνοπτικούς χάρτες της επιφανείας και της ανώτερης ατμόσφαιρας (όπως γεωδυναμικά ύψη, θερμοκρασία, βαρομετρική πίεση, μεταφορά στροβιλισμού, ανέμου κ.λ.π).

Επιμέρους στόχοι της εργασίας αυτής είναι:

- Η δυνατότητα πρόβλεψης επικείμενης κυκλογέννεσης, με βάση ιδιαίτερα νεφικά γνωρίσματα, μέσω των δορυφορικών εικόνων, που εμφανίζονται πιθανόν σε πρόδρομα στάδια μιας κυκλογέννεσης.
- Να μπορεί να βοηθήσει τον προγνώστη-μετεωρολόγο στην καλύτερη κατανόηση των διεργασιών της ατμόσφαιρας, καθώς η εικόνα του μετεωρολογικού

δορυφόρου αποτυπώνει στην ουσία την θερμοδυναμική κατάσταση που επικρατεί στην ατμόσφαιρα.

1.2. Μεσόγειος και υφεσιακή δραστηριότητα.

1.2.1. Μεσόγειος θάλασσα

Η Μεσόγειος θάλασσα περιβάλλεται από τρείς ηπείρους (Ευρώπη, Αφρική και Ασία). Είναι μια εσωτερική θάλασσα, αλλά όχι ενιαία, καθώς η Ιταλική χερσόνησος, η Βαλκανική χερσόνησος και τα μεγάλα νησιά την υποδιαιρούν σε μικρότερες θάλασσες και πελάγη. Όπως η Τυρρηνική θάλασσα (μεταξύ Ιταλικής χερσονήσου, Σικελίας, Σαρδηνίας και Κορσικής), η Αδριατική θάλασσα (μεταξύ της Ιταλικής και Βαλκανικής χερσονήσου), η θάλασσα των Σύρτεων ή ο κόλπος των Σύρτεων (στην περιοχή ανατολικά της Τυνησίας και βόρεια της Λιβύης), η Λιγηρική θάλασσα ή κόλπος της Γένοβας (στη βορειοδυτική Ιταλία), η θάλασσα των Βαλεαρίδων νήσων καθώς και το Ιόνιο και Αιγαίο πέλαγος (Εικ.1.1.).

Η Μεσόγειος αποτελεί μια μεταβατική περιοχή μεταξύ της υποτροπικής ζώνης και της ζώνης των μέσων γεωγραφικών πλατών. Παρουσιάζει ιδιαιτερότητα στη γεωγραφική κατανομή της, με την εναλλαγή ξηράς και θάλασσας, την ύπαρξη μεγάλων οροσειρών γύρω από αυτή, (η οροσειρά του Άτλαντα στην Αφρική, τα Πυρηναία στην Ιβηρική χερσόνησο, οι Άλπεις στη κεντρική Ευρώπη, τα Απέννινα στην Ιταλία, οι Δειναρικές Άλπεις κατά μήκος του δυτικού τμήματος της Βαλκανικής χερσονήσου, και τέλος η οροσειρά της Πίνδου στην Ελλάδα) καθώς και ποταμών που εκβάλουν σε αυτή.

Ακόμη σημαντικό ρόλο παίζουν, στη διαμόρφωση των καιρικών συστημάτων της Μεσογείου, η σχετική της θέση με τα μεγάλα κέντρα δράσης (το χαμηλό της Ισλανδίας και του Πακιστάν, ο Σιβηρικός αντικυκλώνας και ο αντικυκλώνας των Αζορών), καθώς επίσης η επικράτηση των δυτικών ανέμων (westerlies) στην περιοχή των μέσων γεωγραφικών πλατών (30^o με 60^o), λόγω της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας (Γκουντουβά, 2004).

Επίσης η θερμοχωρητικότητα της Μεσογείου θαλάσσης αποτελεί μια τεράστια ενεργειακή αποθήκη, η οποία αποδίδει θερμότητα, αλλά και υγρασία στο περιβάλλον. Όλες

οι παραπάνω παράμετροι διαμορφώνουν ικανές συνθήκες στην περιοχή της Μεσογείου για την δημιουργία ποικίλων συστημάτων καιρού (π.χ. κυκλογεννέσεων, μικτών τύπων καιρού κ.λ.π)

Εικόνα 1.1: Γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής της Μεσογείου (Κλίμακα 1:5.000.000), (πηγή: ebooks.edu.gr).

Έτσι στην περιοχή της Μεσογείου διαμορφώνεται ένας ιδιαίτερος τύπος κλίματος, το *Μεσογειακό κλίμα,* που χαρακτηρίζεται γενικά από ξηρό και θερμό θέρος και ήπιο βροχερό χειμώνα. Ο χειμώνας πολλές φορές μπορεί να είναι δριμύς καθ΄ολοκληρίαν ή κατά περιόδους, κυρίως στις μεταβατικές κλιματικά περιοχές που βρίσκονται στα βόρεια, όπου σημειώνονται συχνά εισβολές ψυχρών αερίων μαζών. Λόγω της μετατόπισης των ζωνών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας προς τα νότια, οι περιοχές αυτές υφίστανται την επίδραση του πολικού μετώπου. Γενικά ο καιρός και το κλίμα της Μεσογείου είναι περισσότερο το αποτέλεσμα της μεσημβρινής κυκλοφορίας τόσο στην επιφάνεια, όσο και καθ΄ύψος, και λιγότερο της ζωνικής κυκλοφορίας (Μαχαίρας και Μπαλαφούτης, 1984).

1.2.2. Μετωπικές υφέσεις της Μεσογείου

Οι μετωπικές υφέσεις της Μεσογείου αποτελούν τα κυριότερα συστήματα καιρού, συνοπτικής κλίμακας, που διαμορφώνουν τον καιρό στη χώρα μας, κατά τη χειμερινή περίοδο. Οι υφέσεις αυτές διακρίνονται σε:

- Υφέσεις που δημιουργούνται μέσα στην περιοχή της Μεσογείου.
- Υφέσεις που προέρχονται από τον Ατλαντικό, περνούν μέσω του στενού του Γιβλαρτάρ ή του ανοίγματος των Πυρηναίων-Κεντρικού Υψιπέδου στη δυτική Μεσόγειο και εκεί αναδιοργανώνονται, συνεχίζοντας την ανατολική πορεία τους και
- Υφέσεις που προέρχονται από την περιοχή της Σαχάρας, νότια της οροσειράς του Άτλαντα, κινούνται βόρεια και επηρεάζουν τη Μεσόγειο (Σαχαριανές υφέσεις) (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου, 2004).

Η δυτική Μεσόγειος (Βαλεαρίδες νήσοι, κόλπος του Λέοντος, κόλπος της Γένοβας) καθώς και η περιοχή στα νότια-νοτιανατολικά της οροσειράς του Άτλαντα, αποτελούν περιοχές σημαντικής κυκλογέννεσης. Οι υφέσεις της κεντρικής και ανατολικής Μεσογείου σχηματίζονται κυρίως στην Αδριατική, στη νότια Ιταλία, στο Αιγαίο πέλαγος, και στην περιοχή της Κύπρου (Xoplaki, 2002).

Κατά τον Sutcliffe (1960), το 69% του συνόλου των υφέσεων της Μεσογείου δημιουργείται στον κόλπο της Γένοβας,κυρίως τον χειμώνα, το 18% είναι Σαχαριανές υφέσεις, το 9% προέρχονται από τον Ατλαντικό και το 4% των μεσογειακών υφέσεων λαμβάνουν χώρα στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο.

1.3. Μελέτες ταξινόμησης των υφέσεων της Μεσογείου

1.3.1. Ταξινόμηση με βάση συνοπτικά χαρακτηριστικά.

Με βάση τη γενική κυκλοφορία της ανώτερης ατμόσφαιρας, αλλά και τη θέση και τον προσανατολισμό του άξονα του αντίστοιχου αυλώνα ή ράχης, ταξινομήθηκαν οι υφέσεις της ανατολικής Μεσογείου για το χρονικό διάστημα από 1983-1989 σε δέκα

διακεκριμένες συνοπτικές καταστάσεις (Καρακώστας et al., 1992), όπως αναφέρονται παρακάτω:

1. Ζωνική κυκλοφορία («ΖΩΝ»): Χαρακτηριστικό οι δυτικοί άνεμοι, με τις ψυχρές αέριες μάζες βόρεια και τις θερμές νότια της περιοχής ενδιαφέροντος.
2. Βορειοδυτική κυκλοφορία («ΒΔ»): Χαρακτηριστικό η ύπαρξη ενός μεγάλου μήκους κυματισμού, όπου ο αυλώνας βρίσκεται νοτιοανατολικά και η ράχη βορειοδυτικά της περιοχής ενδιαφέροντος με εισβολή ψυχρής αέριας μάζας από βόρεια ή βορειοδυτικά.
3. Ανοιχτός κυματισμός («L-1»): Χαρακτηριστικό η ύπαρξη ενός αυλώνα πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος, χωρίς την εμφάνιση κλειστής ισοϋψούς.
4. Κλειστό χαμηλό («L-2»): Η προηγούμενη συνοπτική κατάσταση, αλλά με την εμφάνιση τουλάχιστον μιας κλειστής ισοϋψούς.
5. Αποκομμένο χαμηλό («L-3»): Η εξέλιξη των δύο προηγούμενων κατηγοριών, με κύριο χαρακτηριστικό την πλήρη αποκοπή του συστήματος από τη γενική κυκλοφορία.
6. Νοτιοδυτική κυκλοφορία («ΝΔ»): Χαρακτηριστικό η ύπαρξη μεγάλου μήκους ανοιχτού κυματισμού, όπου η ράχη βρίσκεται βορειοανατολικά και ο αυλώνας νοτιοδυτικά της περιοχής.
7. Ανοιχτός κυματισμός («H-1»): Χαρακτηριστικό η ύπαρξη μιας ράχης πάνω από την περιοχή, χωρίς την εμφάνιση κλειστής ισοϋψούς.
8. Κλειστό υψηλό («H-2»): Η προηγούμενη αλλά με την εμφάνιση τουλάχιστον μιας κλειστής ισοϋψούς.
9. Ωμέγα σχηματισμός («ΩΜΕ»): Ο σχηματισμός ή εμποδισμός Ωμέγα είναι ένας συνδυασμός δύο βαρομετρικών χαμηλών και ενός υψηλού, που είναι διατεταγμένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν το ελληνικό γράμμα της αλφαβήτου Ω. και
10. Συνδυασμός H-L («H-L»): Συνδυασμός υψηλών και χαμηλών βαρομετρικών συστημάτων που δεν μπορούν να καταταγούν στις προηγούμενες καταστάσεις.

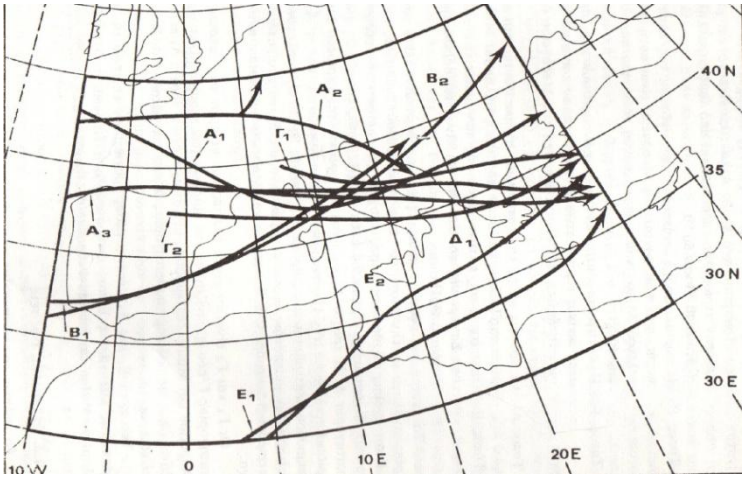
Η εποχιακή κατανομή των παραπάνω συνοπτικών καταστάσεων για την εποχή του χειμώνα (1983-1989) έδειξε ότι τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης έχει η συνοπτική κατάσταση «L-1», καθώς και η «H-1», ακολουθούν οι συνοπτικές καταστάσεις «ΒΔ» και «ΝΔ» και έπεται η κατάσταση «L-2». Μικρότερα ποσοστά εμφάνισης κατέχει η συνοπτική κατάσταση «ΩΜΕ» και η «H-2».

Μία άλλη ταξινόμηση των υφέσεων της Μεσογείου πραγματοποιήθηκε με βάση τις τροχιές που ακολουθούν τα κέντρα αυτών (Φλόκας, 1992). Προέκυψαν πέντε τύποι, οι εξής:

- Τύπος Α: Οι υφέσεις της κατηγορίας αυτής εισέρχονται στη λεκάνη της Μεσογείου από τον Β. Ατλαντικό Ωκεανό και μάλιστα από την περιοχή που περικλείεται από του παραλλήλους γεωγραφικού πλάτους 40^{o} Β και 50^{o} Β.
- Τύπος Β: Η κύρια περιοχή ανάπτυξης των υφέσεων της κατηγορίας αυτής, που εισέρχονται στη Μεσόγειο είναι αυτή του Α. Ατλαντικού, που βρίσκεται νότια του παραλλήλου των 40^{o} Β.
- Τύπος Γ: Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις υφέσεις που αναπτύσσονται στη δυτική και βόρεια περιοχή της Μεσογείου.
- Τύπος Δ: Περιλαμβάνει τις υφέσεις που σχηματίζονται στη βόρεια Ιταλία και στην Αδριατική θάλασσα.
- Τύπος Ε:Περιλαμβάνει τις υφέσεις Σαχαριανής προέλευσης και κινούνται βόρεια προς τη Μεσόγειο θάλασσα.

Τα κέντρα των υφέσεων των παραπάνω κατηγοριών, ανάλογα με την εποχή του έτους ακολουθούν ορισμένες τροχιές. Έτσι προκύπτουν 10 βασικές τροχιές των μετωπικών υφέσεων (Εικ.1.2.).

Ο όρος *συνοπτικός τύπος καιρού* μπορεί να οριστεί ως «ο τρόπος με τον οποίον τα στοιχεία του καιρού συνδυάζονται μεταξύ τους, πάνω από μια περιοχή, μέσα σ΄ένα μεγάλο τύπο κυκλοφορίας, για μια μέση διάρκεια που κυμαίνεται από μία μέχρι μερικές ημέρες» (Μαχαίρας, 2004).



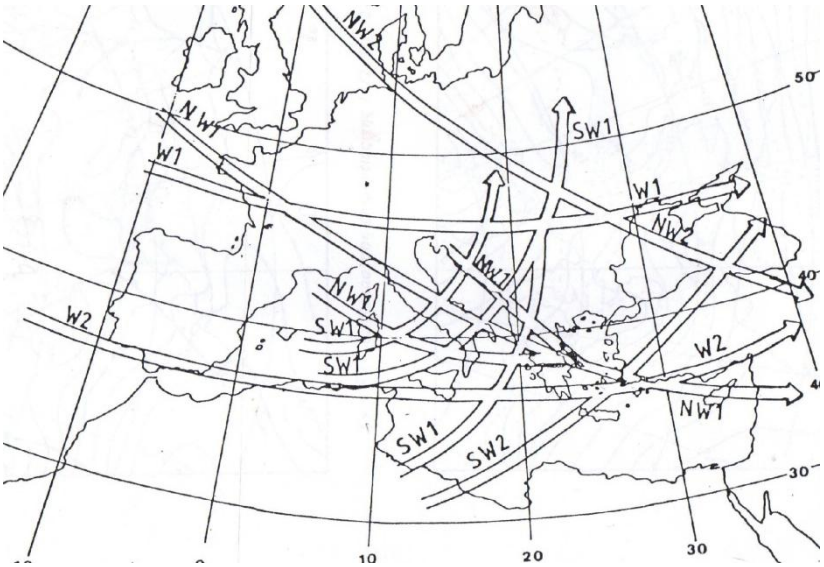
Εικόνα 1.2: Μέσες τροχιές των κέντρων μετωπικών υφέσεων της Μεσογείου (Φλόκας, 1992).

Σε μια εκτεταμένη και σχετικά ομοιόμορφη γεωγραφική περιοχή, όπως π.χ. η δυτική Ευρώπη διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες συνοπτικών τύπων. Οι αντικυκλωνικοί και οι υφεσιακοί τύποι, με κριτήριο διάκρισης την επιφανειακή πίεση και τη ροή των ανέμων. Σε μια μικρότερη και ανομοιογενή γεωγραφική περιοχή, όπως π.χ. η Μεσόγειος ή ο Ελλαδικός χώρος διακρίνονται περισσότερες κατηγορίες. Έτσι διακρίνονται εκτός από τους αντικυκλωνικούς και υφεσιακούς τύπους, οι μικτοί τύποι που αντιστοιχούν σε μικτές συνοπτικές καταστάσεις, καθώς και οι χαρακτηριστικοί τύποι που αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικές καταστάσεις (Μαχαίρας, 2004).

Η κατάταξη των υφεσιακών τύπων γίνεται με βάση την τροχιά της ύφεσης, τη θέση του κέντρου της στο χάρτη, τη ροή των ανέμων στη στάθμη των 500 hPa και τέλος τη διέλευση ή όχι μετώπων από την περιοχή μελέτης. Οι υφεσιακοί τύποι διακρίνονται σε:

- Δυτικούς υφεσιακούς τύπους καιρού, με βόρεια τροχιά (W_1).
- Δυτικούς υφεσιακούς τύπους καιρού, με νότια τροχιά (W_2).
- Βορειοδυτικούς υφεσιακούς τύπους με δυτική τροχιά (NW_1).
- Βορειοδυτικούς υφεσιακούς τύπους με ανατολική τροχιά (NW_2).
- Νοτιοδυτικούς υφεσιακούς τύπους με δυτική τροχιά (SW_1).
- Νοτιοδυτικούς υφεσιακούς τύπους με ανατολική τροχιά (SW_2).

Οι τροχιές των παραπάνω συνοπτικών υφεσιακών τύπων φαίνονται στην Εικόνα 1.3



Εικόνα 1.3.: Τροχιές των υφέσεων της Μεσογείου και της νότιας Ευρώπης (Μαχαίρας, 2004).

1.3.2. Ταξινόμηση με βάση συνοπτικά χαρακτηριστικά και δορυφορικά δεδομένα.

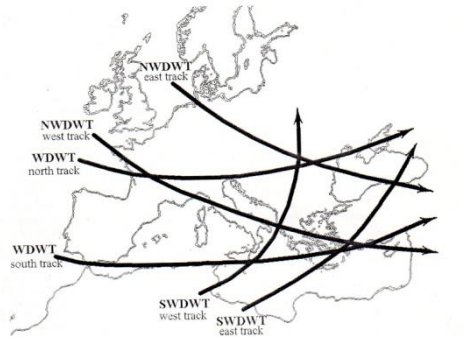
Οι συνοπτικοί τύποι καιρού, οι οποίοι δημιουργούν κακοκαιρία κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου του έτους στη χώρα μας, μελετήθηκαν με τη χρήση δορυφορικών εικόνων, σε συνδυασμό με συνοπτικούς χάρτες καιρού (Cartalis et al., 2004).

Η χρονική περίοδος μελέτης αναφέρεται από τον Ιανουάριο-Απρίλιο 1995 και από τον Οκτώβριο-Δεκέμβριο 1995. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα του ραδιομέτρου AVHRR των δορυφόρων πολικής τροχιάς NOAA, που αντιστοιχούσαν σε 42 περιπτώσεις βαρομετρικών χαμηλών συστημάτων, στην ευρύτερη περιοχή του Ελλαδικού χώρου. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν συνοπτικοί χάρτες διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων στην επιφάνεια, στα 850 hPa και στα 500 hPa.

Με βάση τις τροχιές των υφέσεων και τα νεφικά πρότυπα που προκύπτουν από τις δορυφορικές εικόνες στο ορατό και θερμικό υπέρυθρο φάσμα και σε συνδυασμό με τους

χάρτες καιρού, προέκυψαν τέσσερις κατηγορίες τύπου καιρού που δημιούργησαν σοβαρές συνθήκες κακοκαιρίας (ψυχρό και βροχερό καιρό) στην περιοχή της Ελλάδος (Εικ.1.4).

1. Δυτικός υφεσιακός τύπος καιρού (West Depressional Weather Type), WDWT
2. Βορειοδυτικός υφεσιακός τύπος καιρού (North-West Depressional Weather Type) NWDWT.
3. Νοτιοδυτικός υφεσιακός τύπος καιρού (South-West Depressional Weather Type) SWDWT.
4. Μικτός τύπος καιρού (Mixed Weather Type).



Εικόνα 1.4.: Κύριες τροχιές κίνησης των υφέσεων της Μεσογείου και της νότιας Ευρώπης και οι σχετικοί τύποι καιρού, όπως αυτοί προέρχονται από την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων NOAA/AVHRR (Cartalis et al., 2004)

Μία άλλη κατηγοριοποίηση με βάση τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων, σε συνδυασμό με τα συνοπτικά χαρακτηριστικά, έγινε για τα νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης στον Ελλαδικό χώρο κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου του 2008 (Κολοβός, 2012). Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του γεωστάσιμου δορυφόρου δεύτερης γενιάς (MSG) της EUMETSAT.

Η μελέτη περιλαμβάνει 68 περιπτώσεις εμφάνισης νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης για την συγκεκριμένη περίοδο. Τα κοινά χαρακτηριστικά των νεφών αυτών, είναι συνάρτηση της χωρικής και χρονικής κατανομής των, καθώς και των συνοπτικών καταστάσεων που επικρατούσαν στον Ελλαδικό χώρο.

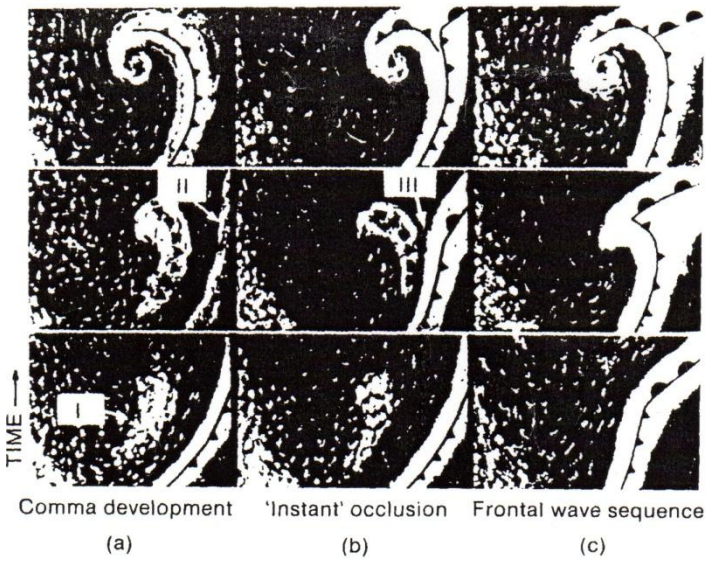
1.4. Ταξινόμηση κυκλογεννέσεων με κριτήριο τα δορυφορικά δεδομένα

Η προσέγγιση κατηγοριοποίησης κυκλογεννέσεων, μέσω δορυφορικών εικόνων, έγινε για το βόρειο ημισφαίριο από τους Browning and Hill (1985) με βάση ανάλογη εργασία των Zillman and Price (1972) για το νότιο ημισφαίριο. Το σύστημα αυτό απεικονίζει τρείς αντιπροσωπευτικούς τύπους κυκλογέννεσης, οι οποίοι βασίζονται σε δύο εμφανή δομικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων. Το πρώτο αναφέρεται σε μια διαταραχή της ανώτερης ατμόσφαιρας, η οποία εκδηλώνεται ως ένα νεφικό σύμπλεγμα (cloud cluster) και το δεύτερο είναι μια συνοπτικής κλίμακας, βαθιά βαροκλινική ζώνη, (ή αλλιώς αναφέρεται ως «πολικό μέτωπο»), που εκδηλώνεται ως μια εκτεταμένη νεφική μάζα (cloud band). Οι τρείς τύποι κυκλογέννεσης είναι:

a) ανάπτυξη σε νέφος τύπου κόμματος (comma development),

b) ανάπτυξη σε «στιγμιαία» σύσφιξη (“instant” occlusion) και

c) ανάπτυξη σε μετωπικό κύμα (frontal wave sequence).



Εικόνα 1.5.: Σχηματική αναπαράσταση των τριών τύπων κυκλογέννεσης, όπως προτάθηκαν από τους Browning and Hill (1985), a) comma development, b) instant occlusion and c) frontal wave sequence (πηγή: Browning, 1986).

Ένα άλλο σχήμα κατηγοριοποίησης των κυκλογεννέσεων, μέσα από δορυφορικά δεδομένα, αναπτύχθηκε για την περιοχή δυτικά του βόρειου Ατλαντικού ωκεανού (Evans et al., 1994). Με βάση πρώτιστα το σχήμα των νεφικών σχηματισμών (cloud patterns) σε σχέση και με τα αρχικά στάδια των κυκλογεννέσεων, μελετήθηκαν 50 περιπτώσεις κυκλογεννέσεων για τη χρονική περίοδο 1970-1980. Οι περισσότερες περιπτώσεις αναφερόταν σε ταχείες αναπτυσσόμενες κυκλογεννέσεις (πτώση της πίεσης τουλάχιστον 10 mb $(6\ h)^{-1}$).

Σύμφωνα με την παραπάνω έρευνα αναπτύχθηκαν τέσσερις τύποι κυκλογεννέσεων:

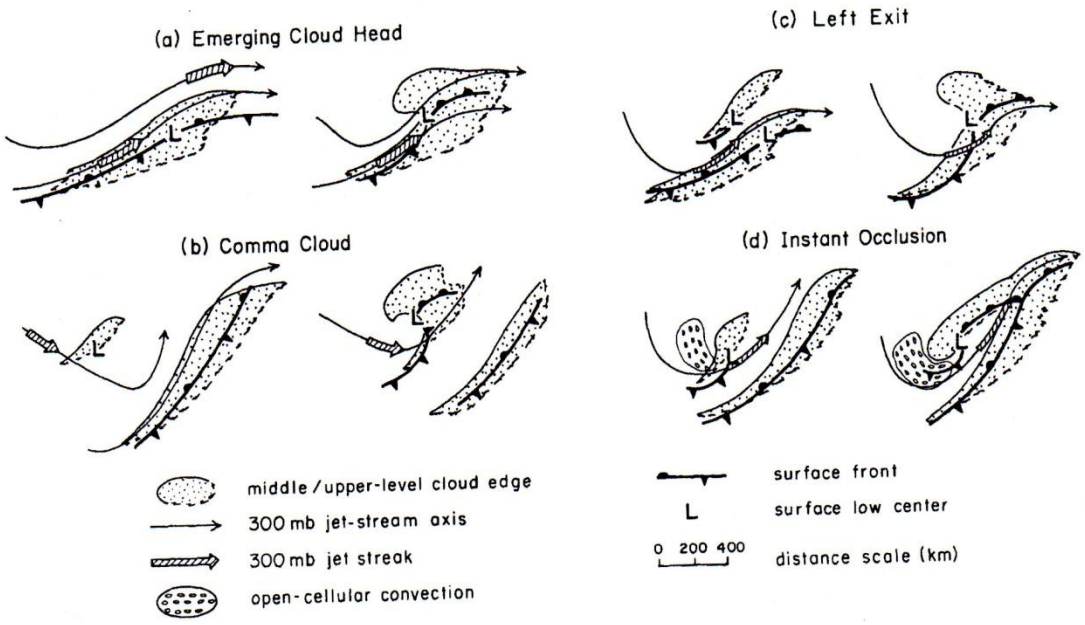
a) Αναδυόμενο νέφος τύπου «κεφαλής» (Emerging cloud head).

b) Νέφος τύπου «κόμματος» (Comma cloud)

c) Αριστερή έξοδος (Left exit) και

d) Στιγμιαία σύσφιξη (Instant occlusion).

Στην εικόνα 1.6. φαίνονται οι σχηματικές αναπαραστάσεις των παραπάνω τεσσάρων τύπων κυκλογέννεσης.



Εικόνα 1.6: Σχηματική αναπαράσταση των τεσσάρων τύπων κυκλογέννεσης κατά Evans et al., (1994).

Η χρήση της δορυφορικής εικόνας, η κυκλοφορία στην ανώτερη τροπόσφαιρα και η θέση που αναπτύσσεται μια ύφεση σε σχέση με τον αεροχείμαρρο αποτέλεσαν κάποια από τα βασικά κριτήρια για ένα νεότερο σύστημα κατηγοριοποίησης των κυκλογεννέσεων, το οποίο σχεδιάστηκε για εφαρμογές επιχειρησιακής πρόγνωσης. Το σύστημα αυτό αρχικά εισήγαγαν οι McLennan and Neil (1988) και το οποίο αργότερα αναπτύχθηκε από τον Young (1994) με στόχο την μελέτη της ανάπτυξης κυκλωνικών συστημάτων στα ανατολικά του Βορείου Ατλαντικού Ωκεανού (*Evans et al., 1994).*

Προέκυψαν επτά τύποι κυκλογεννέσεων, οι οποίοι περαιτέρω αναπτύχθηκαν από τους Bader et al. (1995). Οι παραπάνω τύποι κυκλογέννεσης είναι οι εξής:

Κυκλογεννέσεις από ενισχυμένα cululus ή comma.

1. Cold air (ψυχρού τομέα)
2. Instant occlusion (στιγμιαία σύσφιξη)
3. Split flow (διάσπαση ροής)

Κυκλογεννέσεις από κύρια μετωπική νεφική μάζα (main frontal cloud band)

4. Meridional trough (μεσημβρινού αυλώνα)
5. Flat trough, diffluent flow (επίπεδος αυλώνας, αποκλίνουσα ροή).
6. Induced wave (προκληθέν κύμα)
7. Flat trough, confluent flow (cloud head) Επίπεδος αυλώνας, συγκλίνουσα ροή (νέφος κεφαλής).

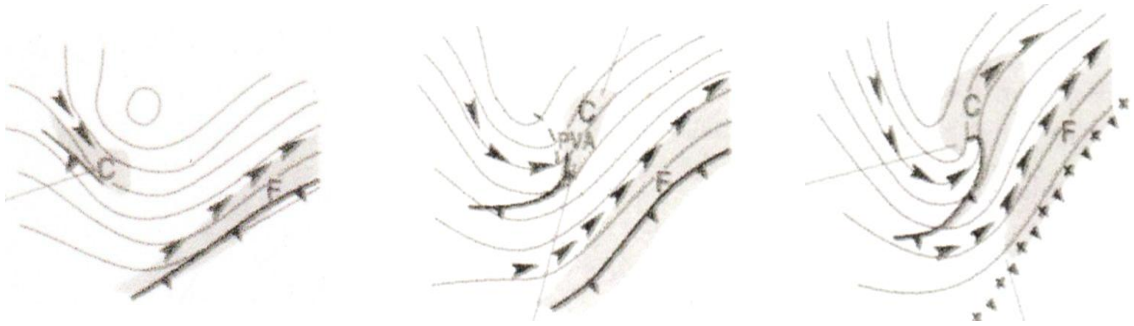
Στις τρείς πρώτες περιπτώσεις παρατηρείται: α) η μετωπική νεφική μάζα F (Frontal) και β) τα νέφη C (Cloud), τα οποία βρίσκονται στο ψυχρό τομέα της νεφικής μάζας F (Εικ.1.7). Αρχικά η σχετική θέση μεταξύ των νεφών C και F, και στη συνέχεια η σχετική κίνηση αυτών (σύμφωνα με την ανώτερη κυκλοφορία) οδηγεί σε τρείς διαφορετικούς τύπους κυκλογέννεσης.

Στην πρώτη περίπτωση (Cold air cyclogenesis) τα νέφη C καθώς κινούνται προς τα νέφη F, αναπτύσσονται και εξελίσσονται σε μια νέα κυκλογέννεση, χωρίς όμως να αλληλεπιδράσουν με τα νέφη F (Εικ 1.7.α)

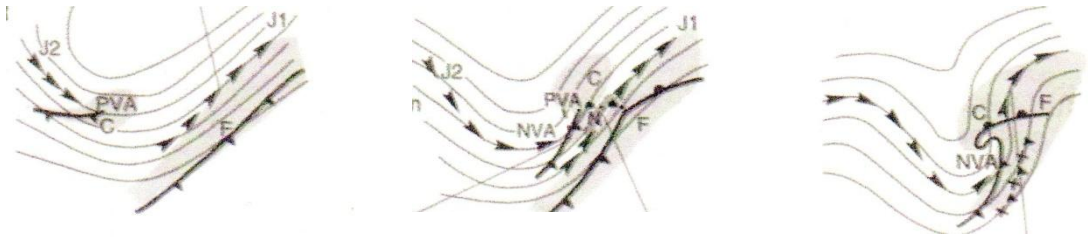
Στη δεύτερη περίπτωση (Instant occlusion cyclogenesis) τα νέφη F και C αλληλεπιδρούν και τελικώς συγχωνεύονται μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι μια νέα κυκλογέννεση (Εικ.1.7.β)

Στην τρίτη περίπτωση (Split flow cyclogenesis) τα νέφη C κινούνται γύρω από τον αυλώνα της ανώτερης ατμόσφαιρας, νότια των νεφών F σε μια διασπασμένη ροή, η οποία οδηγεί συνήθως στην δημιουργία ενός διασπασμένου μετώπου (Εικ.1.7.γ).

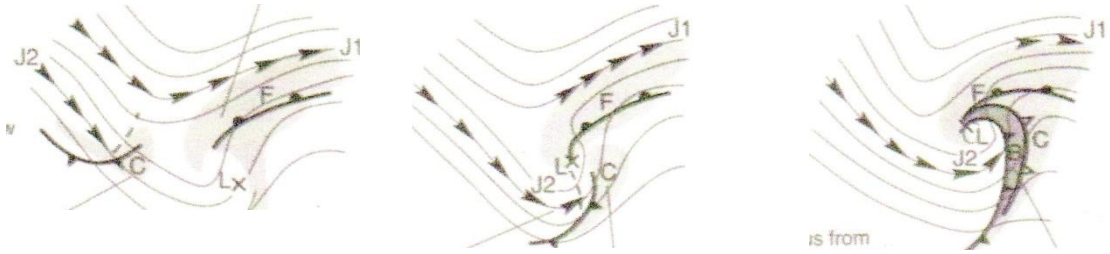
α) Cold air cyclogenesis



β) Instant occlusion cyclogenesis



γ) Split flow cyclogenesis



Εικόνα 1.7: Σχηματική αναπαράσταση των τύπων κυκλογέννεσης: α) Cold air cyclogenesis, β) Instant occlusion cyclogenesis και γ) Split flow cyclogenesis (Bader et al., 1995).

Οι επόμενες τέσσερις περιπτώσεις χαρακτηρίζονται από την εξέλιξη της νεφικής μάζας F. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζουν τα νέφη E (Emerged), .τα οποία εμφανίζονται κατά το στάδιο της ανάπτυξης κάτω από τα νέφη F.

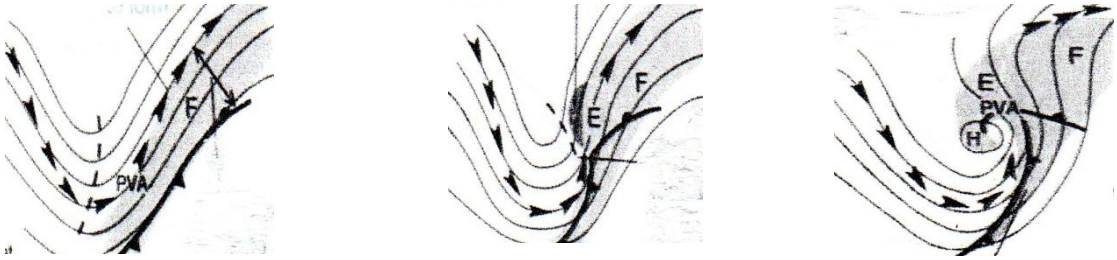
Στην τέταρτη περίπτωση (Meridional trough cyclogenesis) εμφανίζεται η μετωπική μάζα F, η οποία σταδιακά παίρνει το σχήμα του γράμματος S. Στο στάδιο ανάπτυξης της κυκλογέννεσης εμφανίζονται τα νέφη E, τα οποία αναδύονται κάτω από την αρχική νεφική μάζα F. (Εικ.1.8.α).

Στην πέμπτη περίπτωση (Flat trough, diffluent flow cyclogenesis), όπου η πρώτη ένδειξη κυκλογέννεσης είναι η εμφάνιση των νεφών E. Η νεφική μάζα F δεν παρουσιάζει το σχήμα του γράμματος S (Εικ.1.8.β).

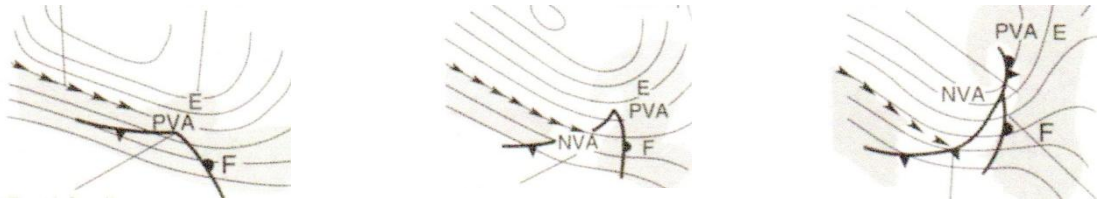
Στην έκτη περίπτωση (Induced wave cyclogenesis) παρατηρούνται τα ίδια γενικά χαρακτηριστικά με αυτά της Meridional trough cyclogenesis, με τη διαφορά ότι τώρα εμφανίζονται και νέφη C στον ψυχρό τομέα. (Εικ.1.8.γ). και

Στην έβδομη περίπτωση (Flat trough, confluent flow-cloud head) εμφανίζονται τα νέφη E στην πολική πλευρά της μετωπικής νεφικής μάζας F, τα οποία νέφη E στο στάδιο της ανάπτυξης επεκτείνονται δημιουργώντας σταδιακά την κεφαλή (cloud head) του συστήματος (Εικ.1.8.δ).

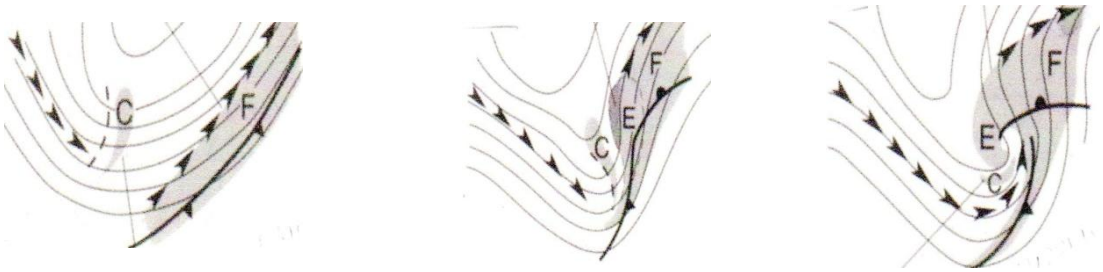
α) Meridional trough cyclogenesis



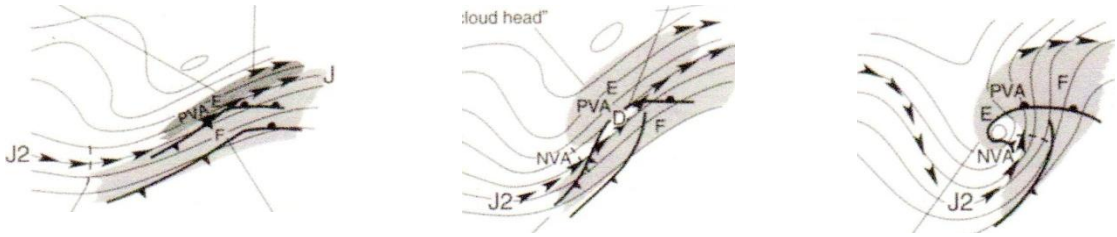
β) Flat trough, diffluent flow cyclogenesis



γ) Induced wave cyclogenesis



δ) Flat trough, confluent flow cyclogenesis (cloud head)



Εικόνα 1.8: Σχηματική αναπαράσταση των τύπων κυκλογέννεσης: α) Meridional trough cyclogenesis, β) Flat trough, diffluent flow cyclogenesis, γ) Induced wave cyclogenesis και δ) Flat trough, confluent flow cyclogenesis (cloud head) (Bader et al., 1995).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. Δορυφορική Μετεωρολογία

2.1.1. Γενικά

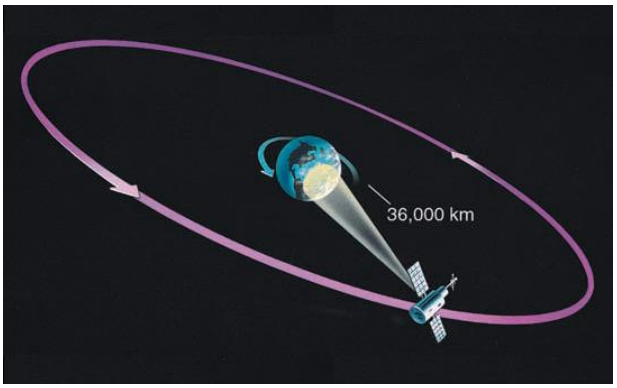
Η δορυφορική μετεωρολογία ως έννοια και ως επιστήμη αναπτύχθηκε στο δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα. Μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί ένα πολύ νεώτερο τμήμα της Μετεωρολογίας καθώς οι πρώτες αναφορές για την επιστήμη των «Μετεώρων» ανάγονται στον $4^{ο}$ π.χ. αιώνα, στα συγγράμματα του μεγάλου Έλληνα φιλοσόφου Αριστοτέλη με τον τίτλο τα «Μετεωρολογικά».

Η εκτόξευση του πρώτου μετεωρολογικού δορυφόρου πολικής τροχιάς, γνωστός ως TIROS 1 (Television and Infrared Observational Satellite), τον Απρίλιο του 1960 σηματοδοτεί μία νέα εποχή στη μελέτη του καιρού και του κλίματος. Οι εικόνες των μετεωρολογικών δορυφόρων παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τα νέφη καθώς και για άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους, σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν ή υπάρχουν ελάχιστοι μετεωρολογικοί σταθμοί επιφανείας, όπως στους ωκεανούς, σε περιοχές παγετώνων, ερήμων κ.λ.π. Το γεγονός δε ότι το 70% και πλέον της συνολικής επιφάνειας του πλανήτη μας καλύπτεται από νερό, φανερώνει την καταλυτική συνεισφορά των δορυφορικών εικόνων στην παρατήρηση και στην πρόβλεψη του καιρού.

2.1.2 Είδη των μετεωρολογικών δορυφόρων.

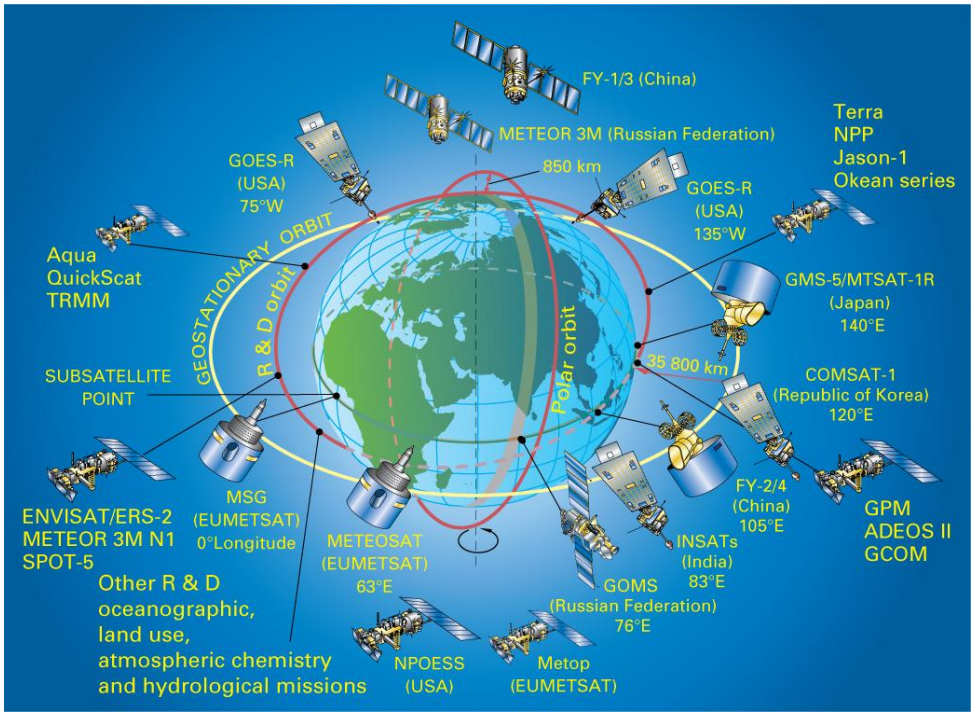
Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες με βάση τα χαρακτηριστικά της τροχιάς των. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει *τους γεωστάσιμους δορυφόρους (geostationary satellites)* και η δεύτερη *τους δορυφόρους πολικής τροχιάς (polar orbiting satellites).* Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι που αναφέρονται ως πολικής τροχιάς δεν περνούν ακριβώς πάνω από τους πόλους, αλλά σε μια απόκλιση 8° ή 9° περίπου από αυτούς, ακολουθούν δηλ. μια πλάγια σχεδόν πολική τροχιά.

Οι γεωστάσιμοι δορυφόροι είναι δορυφόροι υψηλής τροχιάς, περιστρέφονται γύρω από τη γη σε πολύ μεγάλο ύψος (περίπου 36000 km) (Εικ.2.1) και κινούνται στο επίπεδο του ισημερινού της γης. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι ότι η γωνιακή ταχύτητα του δορυφόρου είναι ίδια με τη γωνιακή ταχύτητα της γης (μία πλήρης περιστροφή 360° σε 24 ώρες) με αποτέλεσμα ο δορυφόρος να παραμένει στάσιμος πάνω από το ίδιο σημείο της γης σε όλη την τροχιά του. Ο τύπος της τροχιάς αυτής, γνωστός ως «γεωσύγχρονη τροχιά» επιτρέπει συνεχή κατόπτευση της ίδιας περιοχής της γης. Για τον λόγο αυτόν οι δορυφόροι αυτοί ονομάζονται «γεωστάσιμοι δορυφόροι» (geostationary earth observation satellites GEOs΄). Αν και η γη παραμένει ακίνητη σε σχέση με τον δορυφόρο, μια διαδοχική σειρά δορυφορικών εικόνων μπορεί να δώσει μια ταινία στην οποία μπορεί κανείς να παρατηρήσει την κίνηση των νεφών.



Εικόνα 2.1: Οι γεωστάσιμοι δορυφόροι περιστρέφονται στο επίπεδο του ισημερινού της γης με γωνιακή ταχύτητα ίση με αυτή της γης, με αποτέλεσμα να παραμένουν «στάσιμοι» κατοπτεύοντας πάντα την ίδια περιοχή της γης.(Ahrens, 2009).

Γεωστάσιμοι μετεωρολογικοί δορυφόροι είναι οι METEOSAT (Meteorological Satellites) της EUMETSAT (εκτόξευση METEOSAT-1 το 1977), οι GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) των ΗΠΑ (εκτότευξη το 1966), ο GOMS (Geostarionary Operational Meteorological Satellite) της Ρωσίας (εκτόξευση το 1994) με περιοχή κάλυψης την κεντρική Ασία και τον Ινδικό Ωκεανό, ο GMS (Geosynchronous Meteorological Satellite) της Ιαπωνίας που καλύπτει ανατολική Ασία, Αυστραλία και δυτικά τμήματα του Ειρηνικού Ωκεανού, καθώς και ο INSAT (Indian geostationary weather satellite) της Ινδίας (εκτοξεύτηκε το 1983) (Εικ. 2.2.).

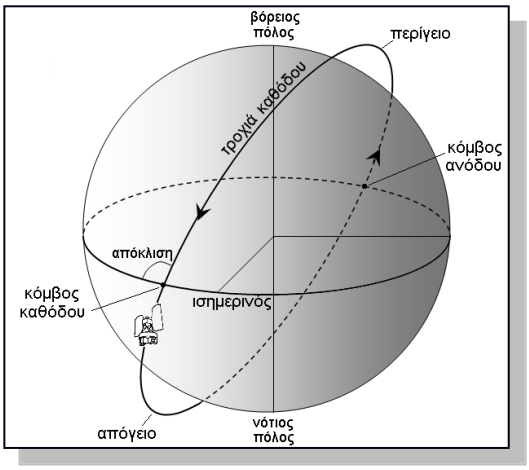


Εικόνα 2.2: Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα παρακολούθησης, του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (The WMO Global Satellite Observing System), 2009. (πηγή:http://www.wmo.int/pages/publications/bulletinarchive/archive/59_1_en/59_1_mohr_en.html).

Οι δορυφόροι πολικής τροχιάς είναι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς και κινούνται από τον ένα πόλο της γης στον άλλο με απόκλιση της τροχιάς των περίπου 98°. Απόκλιση (inclination) είναι η δίεδρη γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του ισημερινού και το επίπεδο της τροχιάς του δορυφόρου στο *κόμβο καθόδου* (το σημείο όπου η τροχιά καθόδου του δορυφόρου τέμνει τον ισημερινό) (Εικ. 2.3.).

Το σχήμα της γης δεν είναι μία τέλεια σφαίρα, αλλά παρατηρείται μία ελαφρά προεξοχή στον ισημερινό αυτής. Εξ αιτίας του γεγονότος αυτού ασκείται στους δορυφόρους σχεδόν πολικής τροχιάς, οι οποίοι βρίσκονται σε σχετικά χαμηλά ύψη (περίπου 1000 km πάνω από τους πόλους) μία ασύμμετρη βαρυτική έλξη. Η ασυμμετρία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την οπισθοδρόμηση της τροχιάς του δορυφόρου γύρω από τον άξονα της γης. Όταν η απόκλιση της τροχιάς του δορυφόρου από την πολική τροχιά είναι περίπου 8°, τότε η κίνηση του δορυφόρου συνδέεται με τη φαινόμενη κίνηση του ήλιου. Η τροχιά αυτή ονομάζεται *ηλιοσύγχρονη* και ο δορυφόρος περνά πάνω από κάθε περιοχή

πάντοτε την ίδια τοπική ηλιακή ώρα σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα (δύο φορές την ημέρα για τους μετεωρολογικούς δορυφόρους). Το πλεονέκτημα αυτής της τροχιάς είναι ότι οι λήψεις που γίνονται στην ίδια εποχή έχουν τις ίδιες συνθήκες φωτισμού, δηλ. την ίδια ηλιακή γωνία σε όλες τις περιοχές που βρίσκονται στον ίδιο παράλληλο.



Εικόνα 2.3: Χαρακτηριστικά της τροχιάς των δορυφόρων σχεδόν πολικής τροχιάς. Ο δορυφόρος κινείται προς τη δυτική κατεύθυνση, αντίθετη της κίνησης της γης, δηλ. βρίσκεται σε ανάδρομη τροχιά (retrograde orbit), (Φείδας και Καρτάλης, 2003).

Οι δορυφόροι NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administrator) αποτελούν τη δεύτερη γενιά της σειράς περιβαλλοντικών/μετεωρολογικών δορυφόρων πολικής τροχιάς της NASA με την επωνυμία TIROS (Television and Infrared Observation Satellite). Οι δορυφόροι NOAA βρίσκονται σε ύψος περίπου 840 km και διαθέτουν το προηγμένο ραδιόμετρο πολύ υψηλής διακριτικής ικανότητας AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) για το καθορισμό μετεωρολογικών παραμέτρων. Στη Ρωσία λειτουργεί το σύστημα δορυφόρων πολικής τροχιάς METEOR. Στην Ευρώπη από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Μετεωρολογικών δορυφόρων (EUMETSAT) έχει τεθεί σε τροχιά το 2003 ο 1^{ος} μετεωρολογικός δορυφόρος πολικής τροχιάς EPS (European polar system).

2.1.3 Δορυφόροι METEOSAT

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT) λειτουργεί τους δορυφόρους METEOSAT από το 1977. Μέχρι το 1988 είχαν εκτοξευτεί οι Meteosat 1, 2 και 3. Από το 1989 έως και το 1997 οι Meteosat 4, 5, 6 και 7. Το 2002 τέθηκε σε τροχιά ο 1^{ος} δορυφόρος δεύτερης γενιάς MSG (Meteosat Second Generation) Meteosat-8. Το 2005 τέθηκε σε τροχιά και δεύτερος της σειράς MSG-2 ή Meteosat-9. Οι δορυφόροι αυτοί είναι

γεωστάσιμοι και βρίσκονται σε ύψος 35800 km πάνω από τον ισημερινό, στην περιοχή του κόλπου της Γουϊνέας.

Το κύριο όργανο που διαθέτουν οι δύο δορυφόροι MSG είναι το SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infra-red Imager). Το όργανο αυτό καταγράφει σε 12 φασματικά κανάλια (πίνακας 2.1) και στέλνει δεδομένα κάθε 15΄, η χωρική δε διακριτική ικανότητα είναι στα 3 km και για το κανάλι 12 (HRV- High Resolution Visible) η διακριτική ικανότητα είναι 1 km. Ένα άλλο όργανο που υπάρχει στους δορυφόρους MSG είναι το GERB (Geostarionary Earth Radiation Budget), το οποίο μετρά το ισοζύγιο ακτινοβολίας του συστήματος γης-ατμόσφαιρας.

Εκτός από το ραδιόμετρο SEVIRI, ο MSG φέρει τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό για τη μετάδοση των δεδομένων. Η σημαντικότερη από τις υπηρεσίες αυτές είναι η MSG Dissemination Mission, που αφορά στη διακίνηση των δεδομένων εικόνας και άλλων μορφών δεδομένων στους σταθμούς λήψης των χρηστών που βρίσκονται στις χώρες που καλύπτονται από το πεδίο ανίχνευσης του δορυφόρου. Οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν μεταξύ δύο καναλιών λήψης. Το Low Rate Information Transmission (LRIT), που είναι η μετάδοση πληροφοριών χαμηλής ταχύτητας και το High Rate Information Transmission (HRIT), που είναι η μετάδοση πληροφοριών υψηλής ταχύτητας. (Ανθης, 2004).

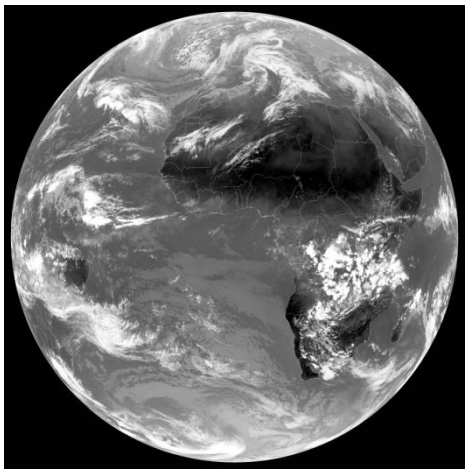
02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

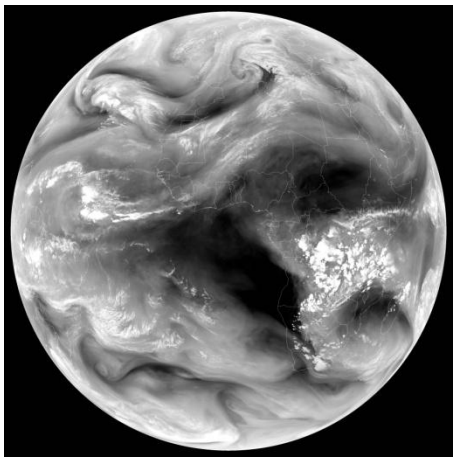
Πίνακας 2.1. : Φασματικές περιοχές του οργάνου SEVIRI του δορυφόρου Meteosat-8 (πηγή: Φείδας και Καρτάλης, 2003).

Φασματικό κανάλι	Μήκη κύματος (μm)	Φασματική περιοχή
1	0.56-0.71	Ορατό(κόκκινο)
2	0.71-0.95	Εγγύς υπέρυθρο
3	1.44-1.79	Μέσο υπέρυθρο
4	3.40-4.20	Θερμικό υπέρυθρο
5	5.35-7.15	Θερμικό υπέρυθρο (H_2O)
6	6.85-7.85	Θερμικό υπέρυθρο (H_2O)
7	8.30-9.10	Θερμικό υπέρυθρο
8	9.46-9.94	Θερμικό υπέρυθρο (O_3)
9	9.80-11.80	Θερμικό υπέρυθρο
10	11.0-13.0	Θερμικό υπέρυθρο
11	13.04-13.76	Θερμικό υπέρυθρο (CO_2)
12	0.50-0.90	Υψηλής ανάλυσης ορατό

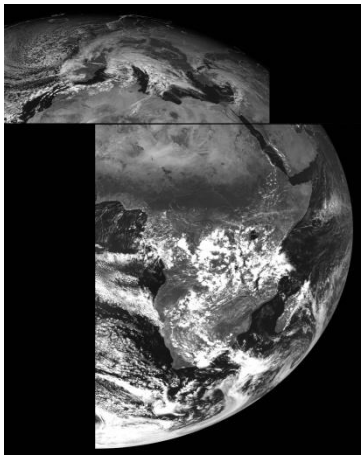
Στην εικόνα 2.4 παρουσιάζονται δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου MSG σε τέσσερα φασματικά κανάλια.

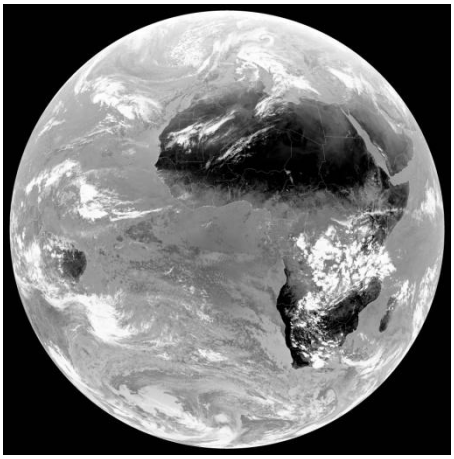
α) β)





γ) δ)





Εικόνα 2.4 : Εικόνες του δορυφόρου MSG στις 28-11-2008/12:00 UTC . α) κανάλι 9 (IR 10.8), β) κανάλι 5 (WV 6.2), γ) κανάλι 12 (HRV) και δ) κανάλι 4(IR 3.9). (Αρχείο δορυφορικών εικόνων του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Α.Π.Θ.).

2.2. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

2.2.1. Εισαγωγή

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελεί το βασικό στοιχείο στην εφαρμογή της τηλεπισκόπησης ή τηλεανίχνευσης. *Τηλεπισκόπηση (remote sensing)* είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη μελέτη ενός αντικειμένου ή μιας περιοχής από απόσταση. Αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι σε δορυφόρους, ραντάρ ή αεροσκάφη συλλέγουν πληροφορίες από μακριά, ανιχνεύοντας την ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από τα αντικείμενα μελέτης. Οι αισθητήρες μπορεί να είναι παθητικοί ή ενεργητικοί δηλαδή να δέχονται μόνο ακτινοβολία ή και να εκπέμπουν (π.χ. στα ραντάρ).

Οι αισθητήρες των μετεωρολογικών δορυφόρων, γνωστοί ως ραδιόμετρα (radiometers) είναι σχεδιασμένοι να ανιχνεύουν την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία από το σύστημα « γη-ατμόσφαιρα ».

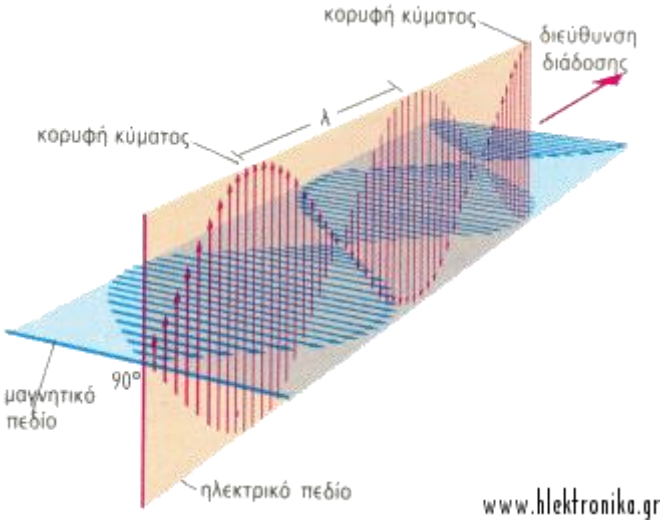
2.2.2. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα και ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Ως *ακτινοβολία* γενικά με την ευρύτερη έννοια του όρου, θεωρείται η μεταφορά ηλεκτρομαγνητικής ισχύος στον ελεύθερο χώρο, με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (Ευθυμιάδης κ.ά., 2009). *Ηλεκτρομαγνητικό κύμα* είναι στην ουσία μία διαταραχή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που προκαλείται από ένα επιταχυνόμενο ηλεκτρικό φορτίο ή από μετάπτωση ηλεκτρονίου σε χαμηλότερη ενεργειακή στιβάδα ενός ατόμου. Ο Maxwell το 1864 επιλύοντας τις γνωστές εξισώσεις ως «εξισώσεις Maxwell» κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός (3.10^8 m/sec) και ότι η φύση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και του φωτός είναι ίδια, διατυπώνοντας έτσι την «*ηλεκτρομαγνητική θεωρία του φωτός»*.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν χρειάζονται ελαστικό μέσο για τη διάδοσή τους, επηρεάζονται όμως από την παρουσία της ύλης. Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα χαρακτηρίζεται από το πλάτος (*amplitude),* το μήκος κύματος (*wavelength)* και τη συχνότητά του (*frequency).* Το πλάτος (Α) μετρά το μέγεθος του κύματος δηλ. την απόσταση (απόλυτη τιμή) μιας κορυφής ή μιας κοιλάδας από τη θέση ηρεμίας (Εικ. 2.5). Το μήκος

κύματος (λ) είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλάδων του κύματος, ενώ η συχνότητα (ν) εκφράζει τον αριθμό (Ν) των κορυφών ή κοιλάδων που διέρχονται σε χρονικό διάστημα (t) από ένα σταθερό σημείο. Το γινόμενο του μήκους κύματος (λ) με την αντίστοιχη συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος ισούται με την ταχύτητα του φωτός.

$$\lambda.\nu=c \quad (1)$$

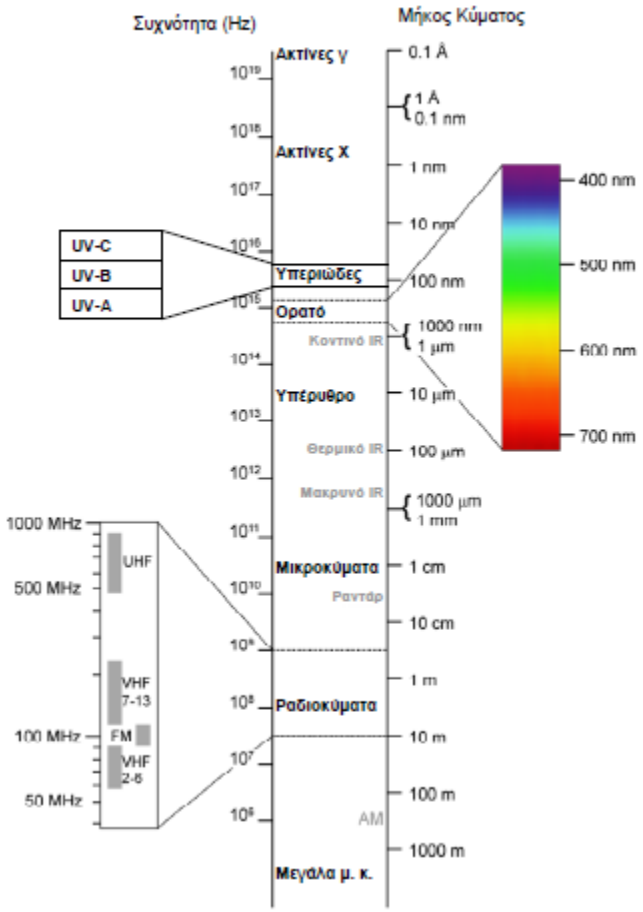


Εικόνα 2.5: Σχηματική παράσταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο με το μαγνητικό πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους, αλλά και κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαιρείται σε περιοχές ανάλογα με το μήκος κύματος, το σύνολο των οποίων αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (electromagnetic spectrum) (Εικόνα 2.6).

Το μάτι του ανθρώπου είναι ευαίσθητο μόνο σε ένα μικρό τμήμα του συνολικού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το οποίο καλείται *ορατό φως (visible*) και εκτείνεται περίπου από τα 0,4 μm έως 0,7 μm (ή από 400nm έως 700nm). Γενικά η περιοχή του φάσματος πάνω από τα 0,7μm ονομάζεται *υπέρυθρη*, ενώ η περιοχή με μήκη κύματος μικρότερα από 0,4μm ονομάζεται *υπεριώδης* (Ζερεφός, 2009).

Η περιοχή του *υπερύθρου (infrared*) διαιρείται σε τρείς φασματικές ζώνες: στο εγγύς υπέρυθρο (near infrared) από 0.72 μm έως 1.5 μm, στο μέσο υπέρυθρο (middle infrared) από 1.5 μm έως 5.6 μm και το απώτερο υπέρυθρο (far infrared) από 5.6 μm έως 1000 μm. Η περιοχή από τα 1000 μm (1mm) έως 1 m περίπου αντιστοιχεί στη περιοχή των μικροκυμάτων.



Εικόνα 2.6: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, και οι διάφορες φασματικές περιοχές στις οποίες διαχωρίζεται (Μπάης κ.ά., 2011).

Η υπέρυθρη ακτινοβολία διακρίνεται επίσης στην ανακλώμενη (reflected infrared) και στη θερμική (thermal infrared). Η ανακλώμενη υπέρυθρη ακτινοβολία, είναι η υπέρυθρη ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από τη γήινη επιφάνεια πριν φτάσει στον

δορυφορικό ανιχνευτή και περιλαμβάνει τα μήκη κύματος από 0.7 μm έως 3.0 μm. Η θερμική υπέρυθρη ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και περιλαμβάνει τα μήκη κύματος από 3.0 μm έως 1000 μm

Τα δορυφορικά συστήματα τηλεπισκόπησης λειτουργούν κυρίως στο ορατό, στο υπέρυθρο(από 0,72 μm έως 15 μm) και στα μικροκύματα (Φείδας και Καρτάλης, 2003).

2.2.3. Νόμοι της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος.

Μέλαν σώμα είναι εκείνο το ιδανικό σώμα ή σύνολο μορίων που απορροφά πλήρως την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε αυτό και έχει μέγιστη εκπομπή σε όλα τα μήκη κύματος και σε όλες τις διευθύνσεις (Ζερεφός, 2009).

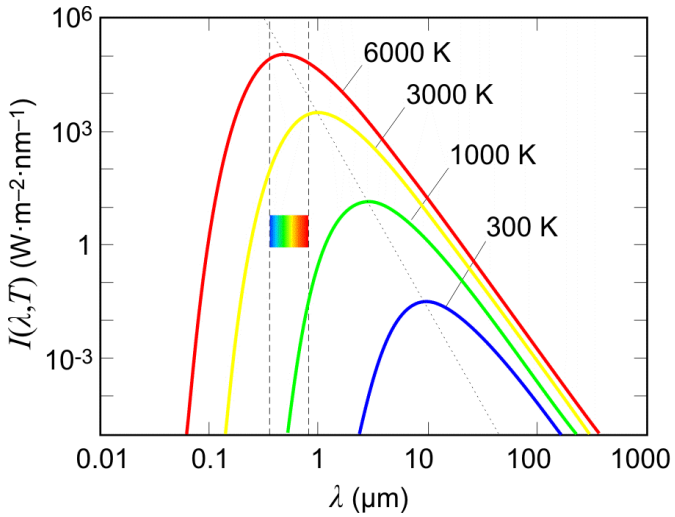
Νόμος του Planck

Ο νόμος του Planck περιγράφει τη μονοχρωματική ποσότητα της ακτινοβολίας I_λ (Irradiance) που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα θερμοκρασίας Τ. Στην ουσία υποδηλώνει την ισχύ της ακτινοβόλου ενέργειας σε Watt ανά τετραγωνικό μέτρο και ανά μικρόμετρο.

$$I_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5\{\exp(c_2 / \lambda T - 1)\}} \qquad (2)$$

όπου Τ η απόλυτη θερμοκρασία και c_1 και c_2 σταθερές με c_1 =3,74. $10^{-16}\,W\,m^2$ και c_2 =1,44. $10^{-2}\,m\,^0K$.

Για κάθε τιμή της απόλυτης θερμοκρασίας του μέλανος σώματος, υπάρχει ένα μήκος κύματος (λ_{max}), στο οποίο η ένταση της ακτινοβολίας παίρνει την μέγιστη τιμή (I_{max}). Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται παρατηρείται μετατόπιση του λ_{max} προς χαμηλότερες τιμές.(Εικ.2.7).



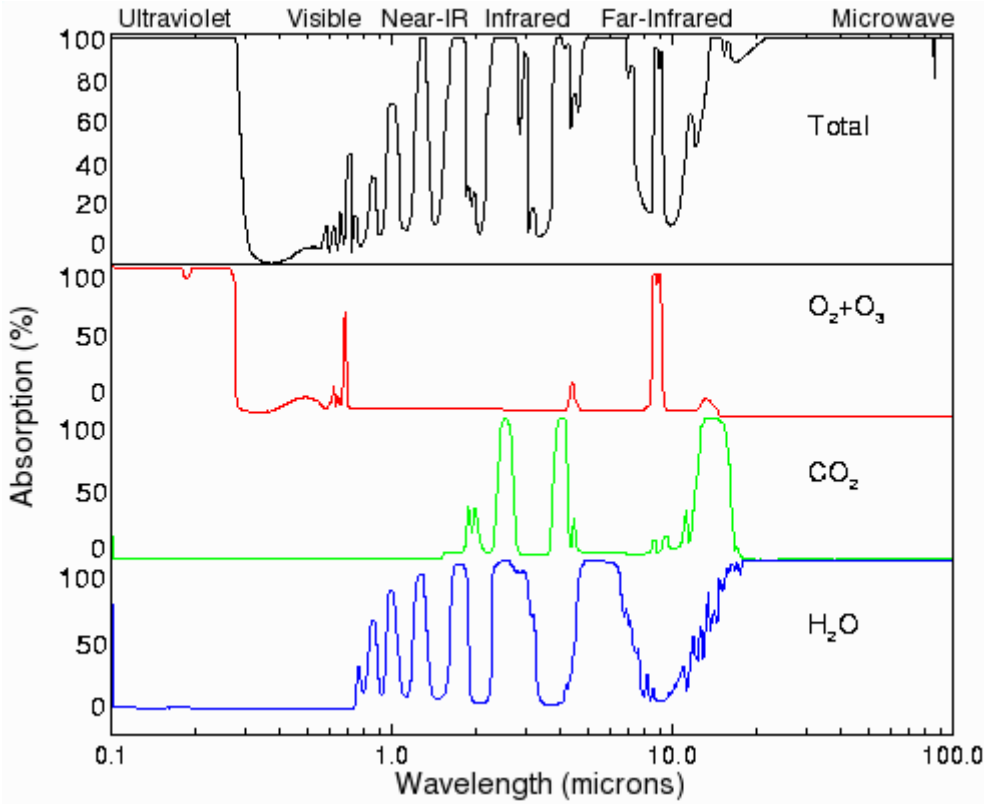
Εικόνα 2.7: Γραφική παράσταση του νόμου του Planck για το μέλαν σώμα σε διάφορες θερμοκρασίες (πηγή: http://physics.schooltool.nl/irspectroscopy/images/planck_black-body_radiation.png).

Σύμφωνα με τη κβαντική φυσική η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εκπέμπεται με τα φωτόνια. Η ενέργεια ενός φωτονίου δίνεται από τη σχέση:

$$\mathrm{E} = h.\nu = h.\frac{c}{\lambda} \qquad (3)$$

όπου ν η συχνότητα της ακτινοβολίας και h η σταθερά του Planck ($h = 6,626.10^{-34}\,Js$).

Τα μόρια της ατμόσφαιρας μπορούν να απορροφήσουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεταβαίνοντας σε μεγαλύτερη ενεργειακή στάθμη ή να μεταπέσουν σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη εκπέμποντας ακτινοβολία. Σύμφωνα με την κβαντική φυσική (θεωρία των quanta) είναι επιτρεπτές μόνο διακριτές μεταβολές στο ενεργειακό επίπεδο των μορίων είτε κατά τη διαδικασία της απορρόφησης είτε της εκπομπής. Έτσι το μόριο μπορεί να αλληλεπιδράσει με συγκεκριμένη ακτινοβολία διακριτών μηκών κύματος. Κατά συνέπεια το φάσμα απορρόφησης ή εκπομπής ενός μεμονωμένου μορίου της ατμόσφαιρας θα αποτελείται από διακριτές γραμμές με κενά ανάμεσά τους, στα μήκη κύματος στα οποία η απορρόφηση ή εκπομπή δεν είναι δυνατή (Εικ. 2.8).



Εικόνα 2.8: Απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από διάφορα αέρια της ατμόσφαιρας. Το μεγαλύτερο τμήμα της υπεριώδους ακτινοβολίας απορροφάται από το όζον (O_3) και το οξυγόνο (O_2). Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) παρουσιάζει τρείς ζώνες απορρόφησης περίπου στα 2.7, 4.3 και 15 μm. Το νερό (H_2O) απορροφά σε αρκετές ζώνες του υπερύθρου αλλά πολύ περισσότερο στη περιοχή των μικροκυμάτων (Howard et al., 1955 and Goody, 1964).

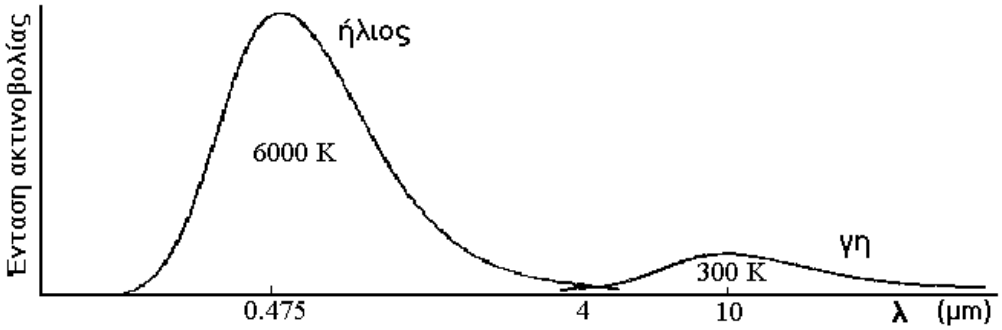
Από το νόμο του Planck προκύπτουν δύο σημαντικοί νόμοι: *ο νόμος του Wien* και *ο νόμος του Stefan-Boltzmann.*

Νόμος του Wien

Ο νόμος του Wien προκύπτει από τον υπολογισμό του μήκους κύματος που αντιστοιχεί στο μέγιστο της εκπομπής ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας T. Αν το μήκος κύματος εκφραστεί σε μικρόμετρα (μm) και η απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin, τότε ο νόμος του Wien γράφεται:

$$\lambda_{\max}.T = 2897 \qquad (4)$$

όπου λ_{max} το μήκος κύματος στο μέγιστο και Τ η απόλυτη θερμοκρασία.



Εικόνα 2.9: Καμπύλες κατανομής της ακτινοβολίας (καμπύλες Planck) στα διάφορα μήκη κύματος για δύο μέλανα σώματα τον ήλιο με θερμοκρασία 6000°Κ και τη γη με θερμοκρασία 300°Κ (Φείδας και Καρτάλης, 2003).

Ένα σώμα με υψηλή θερμοκρασία εκπέμπει υψηλής ενέργειας ακτινοβολία και μικρότερου μήκους κύματος, ενώ ένα σώμα με χαμηλή θερμοκρασία εκπέμπει χαμηλής ενέργειας ακτινοβολία και μεγαλύτερου μήκους κύματος.

Έτσι ο ήλιος με επιφανειακή θερμοκρασία περίπου 6000°Κ παρουσιάζει το μέγιστο της εκπομπής στο μήκος κύματος 0,48 μm, στην περιοχή του ορατού φάσματος, ενώ η γη με επιφανειακή θερμοκρασία 300°Κ παρουσιάζει το μέγιστο της εκπομπής περίπου σε μήκος κύματος 9,6 μm, στην περιοχή του υπερύθρου φάσματος (Εικ.2.9). Η περιοχή αυτή του φάσματος είναι γνωστή ως *«θερμικό υπέρυθρο». Οι δορυφορικοί αισθητήρες ανιχνεύουν αυτή την ακτινοβολία και μπορεί να βοηθήσει στην μελέτη των θερμικών ιδιοτήτων του συστήματος γης-ατμόσφαιρας*

Νόμος του Stefan-Boltzmann

Αν ολοκληρωθεί η μονοχρωματική ποσότητα ακτινοβολίας του Νόμου του Planck για όλα τα μήκη κύματος τότε αποδεικνύεται:

$$E=(5{,}67.10^{-8})\ T^4=\sigma T^4 \qquad (5)$$

όπου σ=5,67.10^{-8} W m^{-2} $\deg^{-4}$ η σταθερά των Stefan-Boltzmann και Τ η απόλυτη θερμοκρασία του σώματος.

Η επίλυση της παραπάνω εξίσωσης ως προς Τ υπολογίζει την *ισοδύναμη θερμοκρασία ακτινοβολίας ή λαμπρότητας μέλανος σώματος,* δηλ. την θερμοκρασία που θα είχε το σώμα αν ήταν μέλαν σώμα.

Ακτινοβολία εκπέμπεται από όλα τα σώματα εκτός από αυτά που βρίσκονται σε θερμοκρασία ίση με το απόλυτο μηδέν (-273°C). Η θερμοκρασία του σώματος καθορίζει τα χαρακτηριστικά της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.

2.3. Αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με το σύστημα «Γη-ατμόσφαιρα»

Η ηλιακή ακτινοβολία αλληλεπιδρά με τα συστατικά της ατμόσφαιρας και με την επιφάνεια της γης, μέσω διαφόρων οπτικών και φυσικοχημικών διεργασιών (σκέδαση, ανάκλαση απορρόφηση κ.λ.π). Η αλληλεπίδραση ακτινοβολίας-ύλης είναι κάθε φορά διαφορετική και εξαρτάται κυρίως από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και τις ιδιότητες της ύλης.

2.3.1. Ανάκλαση (Reflection)

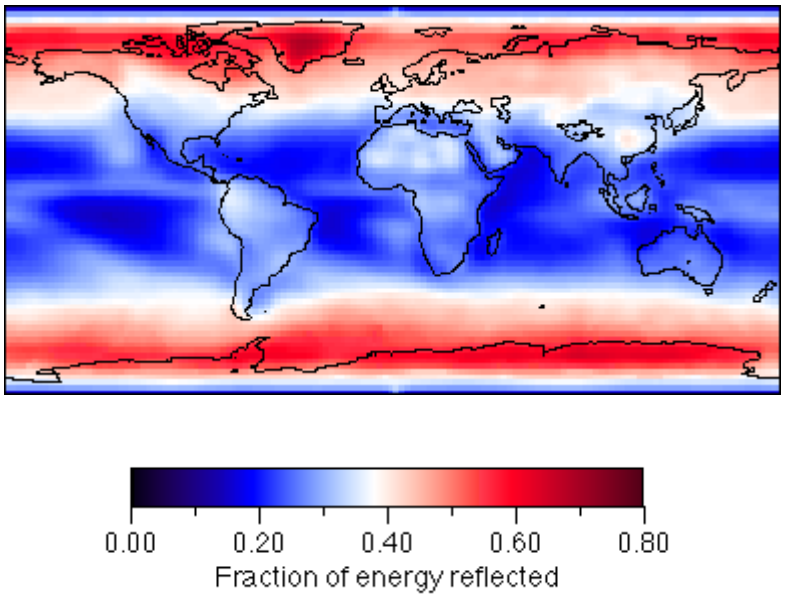
Ανάκλαση είναι ένα οπτικό φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε μια αδιαφανή (opaque) επιφάνεια αλλάζει διεύθυνση και επιστρέφει πίσω στο διάστημα, χωρίς καμία αλλαγή στη φύση της ακτινοβολίας. Ανάλογα με την τραχύτητα της επιφάνειας η ανάκλαση μπορεί να διακριθεί σε κατοπτρική ή γωνιακή ή σε διάχυση του φωτός όταν η επιφάνεια παρουσιάζει μεγάλη τραχύτητα.

Η ανάκλαση αξιοποιείται στη δορυφορική τηλεπισκόπηση κυρίως για την καταγραφή του ορατού φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ανακλαστικότητα ή Λευκάγεια (Albedo) (α) μιας επιφάνειας είναι το κλάσμα της έντασης της ανακλώμενης ακτινοβολίας (I) προς την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (I_o).

$$\alpha = \frac{\text{ένταση ανακλώμενης ακτινοβολίας}}{\text{ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας}} = \frac{I}{I_o} \qquad (6)$$

Η ανακλαστικότητα της επιφάνειας της γης ποικίλει ανάλογα με το είδος του υλικού που την καλύπτει (Εικ.2.10). Επιφάνειες όπως αυτή του φρέσκου χιονιού ή η κορυφή ενός σωρειτομελανία (cumulonimbus) ανακλούν το μεγαλύτερο τμήμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτές, παρουσιάζουν δηλαδή υψηλές τιμές λευκάγειας. Αντίθετα, τα δάση, το σκουρόχρωμο έδαφος και οι ωκεανοί έχουν χαμηλές τιμές λευκάγειας.



Εικόνα 2.10: Ετήσια (1987) ανακλαστικότητα της επιφάνειας της γης (πηγή: CoVis Greenhouse Effect Visualizer).

Στον πίνακα 2.2. παρουσιάζονται οι τιμές της λευκάγειας (albedo) για διάφορα νέφη καθώς και για διάφορες επιφάνειες της γης. Η λευκάγεια εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό.

Πίνακας 2.2.:Μέσες τιμές (%) λευκάγειας διαφόρων νεφών και επιφανειών (Conway, 1997).

Νέφη	**Λευκάγεια % (Albedo)**
Μεγάλοι σωρειτομελανίες (cumulonimbus)	92
Μικροί σωρειτομελανίες, ύψους 6 Km	86
Πυκνά cirrostratus με χαμηλότερα νέφη	74
Stratocumulus	68
Πυκνά stratus πάνω από θάλασσα	42
Cirrus πάνω από ξηρά	32
Άλλες επιφάνειες	
Φρέσκο χιόνι	75-90
Παλιό χιόνι, 3-7 ημερών	40-70
Ξηρή άμμος	35-45
Σκουρόχρωμο έδαφος	5-15
Δάσος κωνοφόρων	5-15
Θάλασσα	9

2.3.2. Εκπομπή (Transmission)

Σύμφωνα με τον νόμο του *Stefan-Boltzmann* όλα τα σώματα (εκτός από αυτά που βρίσκονται σε θερμοκρασία ίση με το απόλυτο μηδέν) ακτινοβολούν. Η ακτινοβολία είναι ανάλογη της τέταρτης δύναμης της απόλυτης θερμοκρασίας του σώματος.

Η επιφάνεια της γης απορροφά την μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη (ορατό, εγγύς και μέσο υπέρυθρο), θερμαίνεται και εκπέμπει (σύμφωνα με

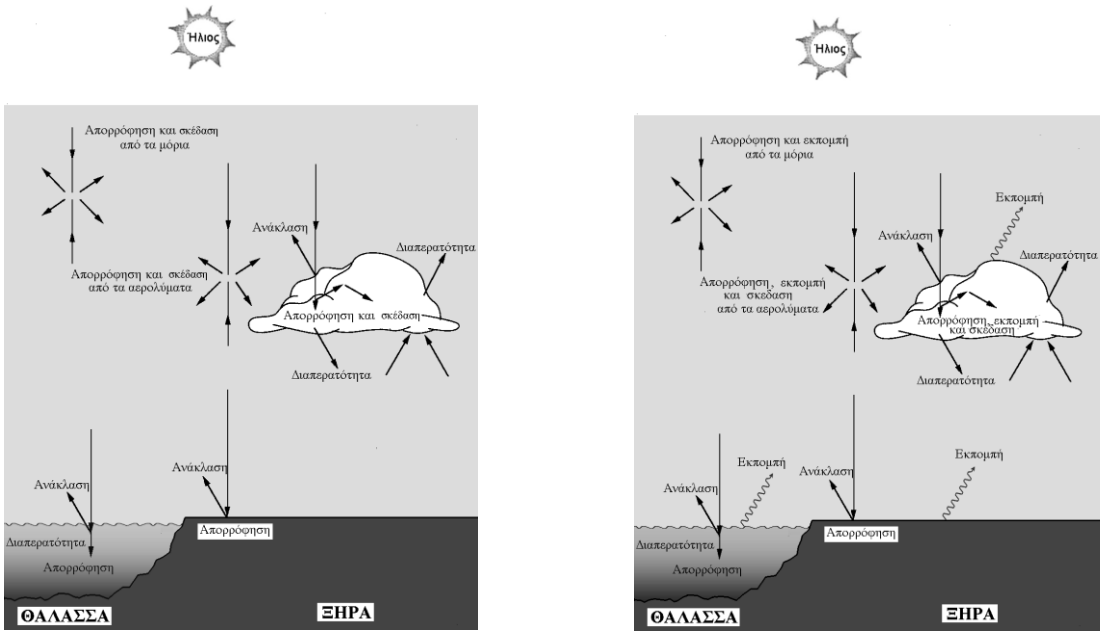
το νόμο *Stefan-Boltzmann)* τη γήινη ακτινοβολία, η οποία είναι μεγαλύτερου μήκους κύματος και βρίσκεται στην περιοχή του υπερύθρου φάσματος (3 μm-3000 μm). Η ακτινοβολία αυτή αποτελεί το *θερμικό υπέρυθρο* τμήμα του φάσματος.

Μέχρι να φτάσει η γήινη ακτινοβολία στους δορυφορικούς αισθητήρες διανύει μια διαδρομή μέσα στην ατμόσφαιρα, όπου υφίσταται διάφορες τροποποιήσεις (σκέδαση, απορρόφηση, ανάκλαση κ.λ.π) πάνω στα συστατικά της ατμόσφαιρας (μόρια, νέφη, αερολύματα κ.λ.π). Ανάλογες μετατροπές υφίσταται και η ηλιακή ακτινοβολία καθώς προσπίπτει στην ατμόσφαιρα της γης. Γενικά οι αλληλεπιδράσεις της ακτινοβολίας με την ύλη είναι συνάρτηση του μήκους κύματος της ακτινοβολίας και των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων της ύλης.

Στην Εικόνα 2.11 περιγράφονται οι κυριότερες αλληλεπιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας (ορατό και υπέρυθρο) με τα συστατικά της ατμόσφαιρας και την επιφάνεια της γης.

Αλληλεπίδραση του ορατού φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας με το σύστημα «Γη-Ατμόσφαιρα»

Αλληλεπίδραση του υπερύθρου φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας με το σύστημα «Γη-Ατμόσφαιρα»



Εικόνα 2.11: Αλληλεπίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας (ορατό και υπέρυθρο αντίστοιχα) με το σύστημα «γη-ατμόσφαιρα», (Φείδας και Καρτάλης, 2003).

2.3.3. Διαπερατότητα (transmissivity).

Η ατμόσφαιρα είναι ένα ημιδιαφανές (translucent) μέσο για την ηλιακή ακτινοβολία. Η ιδιότητα της ατμόσφαιρας να επιτρέπει ένα τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας να διέρχεται μέσω αυτής, σε αντίθεση με κάποια άλλα τμήματα καλείται *διαπερατότητα (transmissivity).* Η διαπερατότητα της ατμόσφαιρας εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Τα διάφορα αέρια ή ενώσεις της ατμόσφαιρας καθώς και οι υδρατμοί απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία ή τη γήινη ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διακρίνονται *οι περιοχές απορρόφησης (absorption bands*), καθώς και τα *ατμοσφαιρικά παράθυρα (atmospheric windows*). Τα ατμοσφαιρικά παράθυρα είναι περιοχές στο υπέρυθρο φάσμα στις οποίες η ακτινοβολία περνάει εύκολα μέσα από την ατμόσφαιρα.

Τα κυριότερα ατμοσφαιρικά παράθυρα είναι από 3.5 μm έως 4.1 μm και από 10.5 μm έως 12.5 μm. Οι φασματικές αυτές περιοχές αξιοποιούνται στην δορυφορική τηλεπισκόπηση, ιδιαίτερα η δεύτερη (10.5-12.5 μm), καθώς μέσα από την περιοχή αυτή του φάσματος περνάει η μέγιστη ένταση της γήινης ακτινοβολίας (σύμφωνα και με το νόμο του Wien) και φτάνει στους δορυφορικούς αισθητήρες, με τις λιγότερες αλληλεπιδράσεις.

Οι υδρατμοί απορροφούν και εκπέμπουν έντονα την ηλιακή ακτινοβολία στα μήκη κύματος 5.3 έως 7 μm. Η περιοχή αυτή του φάσματος αξιοποιείται στη δορυφορική τηλεπισκόπηση για την εκτίμηση της κατανομής των υδρατμών στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Η ακτινοβολία των υδρατμών της κατώτερης ατμόσφαιρας δεν φτάνει ποτέ στον δορυφορικό αισθητήρα καθότι απορροφάται από τους υδρατμούς της ανώτερης ατμόσφαιρας.

2.3.4. Επίδραση των νεφών.

Στην περιοχή του ορατού φάσματος, η ακτινοβολία η οποία διαδίδεται μέσα από τα νέφη και ανακλάται από αυτά, προέρχεται κυρίως από την πολλαπλή σκέδαση της ακτινοβολίας κατά τη διαδρομή της μέσα στο νέφος. Εξαρτάται δε κυρίως από το μέγεθος των υδροσταγόνων και παγοκρυστάλλων καθώς και το οπτικό πάχος του νέφους.

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Στην περιοχή του θερμικού υπερύθρου η ικανότητα εκπομπής του νέφους αυξάνεται με την αύξηση του οπτικού πάχους και τείνει προς την μονάδα για τα πολύ πυκνά νέφη. Το ίδιο δεν συμβαίνει στην περιοχή του μέσου υπερύθρου που ακόμη και τα πιο πυκνά νέφη έχουν συντελεστή εκπομπής μικρότερο από τη μονάδα.

2.4. Θερμικές και δυναμικές παράμετροι

2.4.1 Δυναμική θερμοκρασία (Potential temperature) Θ.

Η δυναμική θερμοκρασία (Θ) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\boldsymbol{\Theta} = \boldsymbol{T}.\left(\frac{\boldsymbol{Po}}{\boldsymbol{P}}\right)^{\mathbf{0.286}} \qquad (7)$$

και εκφράζει τη «δυνητική» θερμοκρασία που θα αποκτούσε ο ξηρός αέρας (T,P), αν μεταφερόταν αδιαβατικά στη στάθμη πίεσης των 1000 hPa (P_o).

Η δυναμική θερμοκρασία παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια μιας ξηρής αδιαβατικής αντιστρεπτής μεταβολής της μάζας και αυτό αποτελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό για την θερμοδυναμική μελέτη των αερίων μαζών.

2.4.2 Στροβιλισμός (Vorticity).

Στροβιλισμός είναι η μικροσκοπική μέτρηση της περιστροφής ενός ρευστού, είναι ένα διανυσματικό μέγεθος και ορίζεται ως η περιστροφή (curl) του διανύσματος της ταχύτητας (Καρακώστας, 2008).

$$\text{Στροβιλισμός} = \boldsymbol{curl}\,\vec{\boldsymbol{V}} = \boldsymbol{\nabla} \times \vec{\boldsymbol{V}} \qquad (8)$$

Ο συντελεστής της κατακόρυφης συνιστώσας του στροβιλισμού ονομάζεται *οριζόντιος στροβιλισμός* ή ακόμα και *ισοβαρικός στροβιλισμός* και σε καρτεσιανές συντεταγμένες ισούται με:

$$\zeta = \vec{k}\left(\vec{\nabla} \times \vec{V}\right) = \frac{\partial \upsilon}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \qquad (9)$$

ενώ σε πολικές συντεταγμένες : $\zeta = \frac{V}{r} + \frac{\partial V}{\partial r}$ (10)

Ο στροβιλισμός ζ είναι αποτέλεσμα: (α) της καμπυλότητας του συστήματος (curvature vorticity) και (β) της μεταβολής της έντασης του ανέμου κατά διεύθυνση κάθετη προς τις ρευματογραμμές (shear vorticity) (Εικ. 2.12).

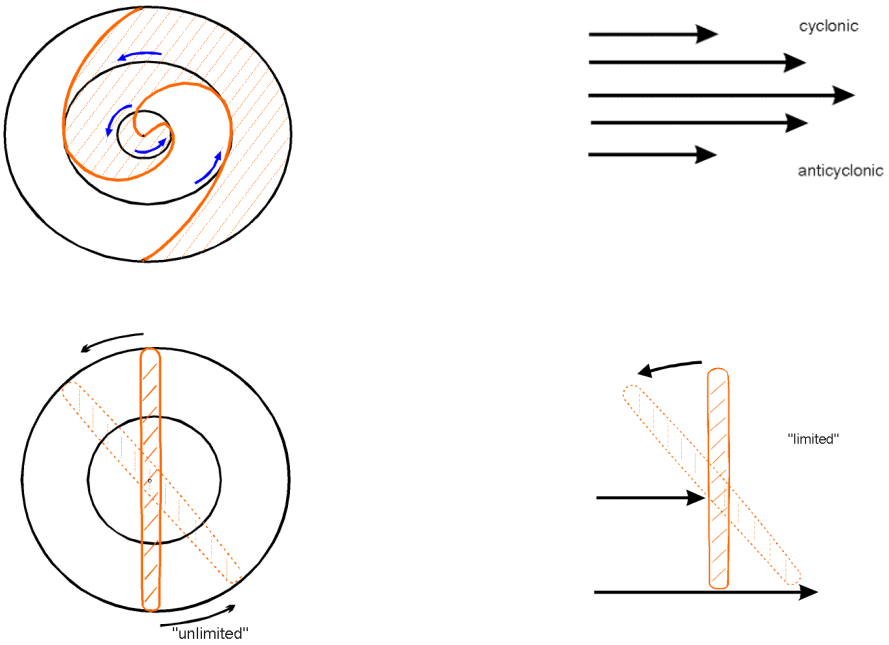
- Ελάττωση του ζ συνεπάγεται έναρξη αντικυκλωνικής κυκλοφορίας.
- Αύξηση του ζ συνεπάγεται έναρξη κυκλωνικής κυκλοφορίας.

Η ταχύτητα V, στις παραπάνω σχέσεις, θεωρήθηκε ότι είναι η σχετική ταχύτητα του ανέμου ως προς την κίνηση της γης, δηλαδή η ταχύτητα που παρατηρούμε από το έδαφος. Αν αντί αυτής της ταχύτητας θεωρήσουμε την απόλυτη ταχύτητα, δηλαδή την ταχύτητα του ανέμου ως προς αδρανειακό σύστημα αναφοράς, θα πάρουμε τον *απόλυτο στροβιλισμό (η) (absolute vorticity):*

$$\eta=\zeta+f \quad (11)$$

όπου f: coriolis παράμετρος.και ζ: σχετικός στροβιλισμός (relative vorticity)

α) β)



Εικόνα 2.12: α) Σχηματική παράσταση του στροβιλισμού καμπυλότητας (α) και του στροβιλισμού διάτμησης του ανέμου (β). (http://www.zamg.ac.at/).

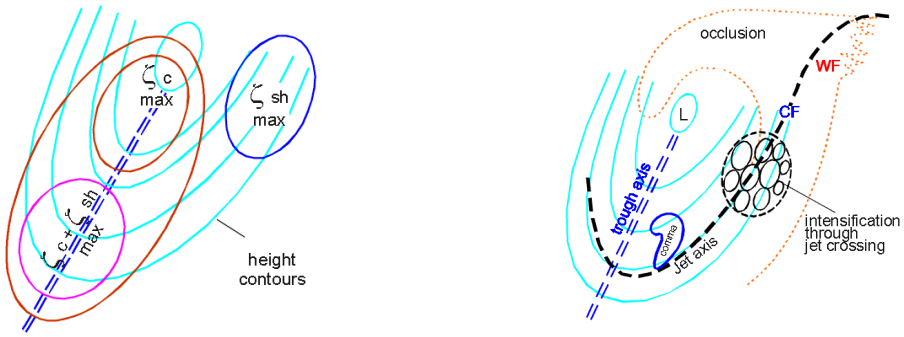
Ο στροβιλισμός καμπυλότητας οδηγεί στην ατμόσφαιρα, στη δημιουργία νεφών με σπειροειδή μορφή, όπως σε περιπτώσεις:

- Κέντρων χαμηλών πιέσεων των μέσων γεωγραφικών πλατών (30^o-60^o) δηλ. σε περιοχές εκτός των τροπικών (extra tropical low centres)
- Νεφών τύπου «κόμματος» (Commas) και
- Αναπτύξεων νεφικών σχηματισμών τύπου «φύλλου» (Developing Waves).

Σημαντική διάτμηση του ανέμου εμφανίζεται τυπικά σε περιοχές ενισχυμένων ανέμων. Τα χαρακτηριστικά των νεφών που δημιουργούνται στις περιπτώσεις αυτές είναι αυτά των ενισχυμένων σωρειτόμορφων νεφών (Enhanced Cumulus).

Στην Εικόνα 2.13 απεικονίζονται α) οι τυπικές θέσεις του στροβιλισμού καμπυλότητας (ζ_c) και του στροβιλισμού λόγω διάτμησης (ζ_{sh}) και β) οι τυπικές θέσεις εμφάνισης διαφόρων νεφικών σχηματισμών (κόμμα, ψυχρό-θερμό μέτωπο, σύσφιξη κ.λ.π) σε σχέση με τη θέση του άξονα του αεροχειμάρρου και του άξονα του αυλώνα.

α) β)



Εικόνα 2.13: α) Απεικόνιση των σχετικών θέσεων των μέγιστων τιμών στροβιλισμού στην περιοχή ενός αυλώνα. β) Απεικόνιση των σχετικών θέσεων εμφάνισης νεφών τύπου κόμματος, ψυχρού, θερμού μετώπου και σύσφιξης στην περιοχή ενός ανώτερου αυλώνα. Η διακεκομμένη μαύρη γραμμή δείχνει τη σχετική θέση του αεροχειμάρρου. (http://www.zamg.ac.at/)

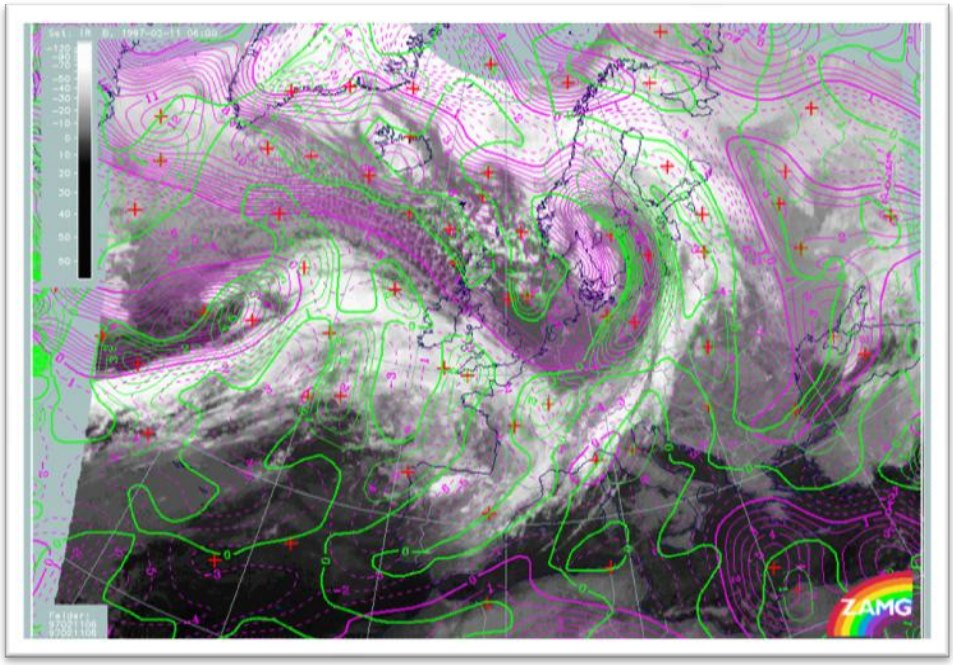
2.4.3. Θετική μεταφορά στροβιλισμού PVA (Positive Vorticity Advection)-,

Σύμφωνα με τη δυναμική μετεωρολογία ($1^{ος}$ όρος της εξίσωσης ωμέγα), οι κατακόρυφες κινήσεις στην ατμόσφαιρα συνδέονται και με την μεταβολή καθ΄ ύψος της μεταφοράς στροβιλισμού. Καθώς ο υπολογισμός αυτής της παραμέτρου δεν είναι απλός, χρησιμοποιούνται οι μέγιστες (ή ελάχιστες) τιμές της μεταφοράς στροβιλισμού που σημειώνονται στην επιφάνεια των 500 hPa ή των 300 hPa

Οι μέγιστες τιμές της θετικής μεταφοράς στροβιλισμού (PVA) μπορεί να σχετίζονται με:

- Ανάπτυξη διαταραχής (κύματος) (wave development)
- Γρήγορη κυκλογέννεση (rapid cyclogenesis)
- Χαρακτηριστικά νέφη ψυχρού τομέα: ενισχυμένα σωρειτόμορφα νέφη ή τύπου κόμματος (enhanced cumulus or commas).
- Ενίσχυση μετωπικών ζωνών.

Στην Εικόνα 2.14 φαίνεται η συσχέτιση των μέγιστων τιμών της θετικής μεταφοράς στροβιλισμού (PVA) με σημαντικά νεφικά συστήματα. Όπως π.χ αρχή κυκλογέννεσης στην περιοχή του Ατλαντικού, δυτικότερα της Αγγλίας ή ανάπτυξη σωρειτόμορφων νεφών δυτικά της Σκανδιναβικής χερσονήσου στη Βόρεια θάλασσα, καθώς επίσης το ψυχρό μέτωπο στην περιοχή της Γερμανίας-Πολωνίας και Βαλτικής θάλασσας



Εικόνα 2.14: Δορυφορική εικόνα Meteosat IR (1-2-1997/06:00 UTC), στην οποία διακρίνονται οι νεφικοί σχηματισμοί και η κατανομή του σχετικού στροβιλισμού των 500 hPa (μωβ καμπύλες) και η κατανομή της θετικής μεταφοράς στροβιλισμού (πράσινες καμπύλες) των 500 hPa. (http://www.zamg.ac.at/)

2.4.4. Δυναμικός Στροβιλισμός (Potential Vorticity)

Ο δυναμικός στροβιλισμός (PV) που δίνεται από την παρακάτω σχέση (12) είναι γνωστός, ως *ισεντροπικός δυναμικός στροβιλισμός του Ertel* (*Ertel's potential vorticity)* (Hoskins et al., 1985).

$$\mathrm{PV} = -\mathrm{g}(\zeta_\theta + \mathrm{f})\frac{\partial \Theta}{\partial \mathrm{P}} \qquad (12)$$

Όπου PV: δυναμικός στροβιλισμός,

g επιτάχυνση της βαρύτητας

ζ_θ σχετικός ισεντροπικός στροβιλισμός

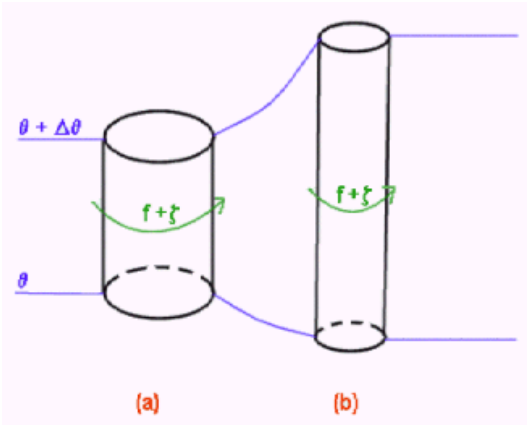
f coriolis παράμετρος

Θ δυναμική θερμοκρασία

P Πίεση

Το σημαντικό που προκύπτει από τη σχέση 12 είναι ότι ο δυναμικός στροβιλισμός του Ertel διατηρείται, πάνω σε ισεντροπικές επιφάνειες, ακολουθώντας την κίνηση σε μια αδιαβατική και χωρίς τριβές ροή.

Στην ουσία ο δυναμικός στροβιλισμός είναι πάντα κατά κάποια έννοια ένα μέτρο της αναλογίας του απόλυτου στροβιλισμού προς το φαινόμενο βάθος (effective depth) του στροβίλου $\left(-\frac{\partial\Theta}{\partial P}\right)$ (Holton, 2004).



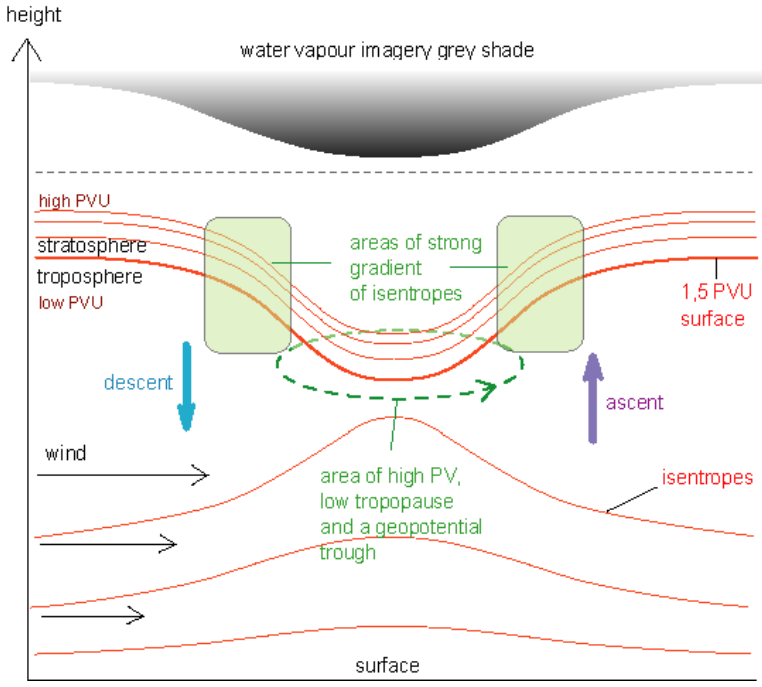
Εικόνα 2.15: Μια κυλινδρική στήλη αέρα κινείται αδιαβατικά μεταξύ των ισεντροπικών επιφανειών ϑ και ϑ+Δϑ, διατηρώντας σταθερό τον δυναμικό στροβιλισμό (http://www.zamg.ac.at/).

Στην εικόνα Εικόνα 2.15 οι γραμμές θ και θ+Δθ είναι ισεντροπικές επιφάνειες με δυναμική θερμοκρασία θ και θ+Δθ αντίστοιχα. Η διατήρηση του δυναμικού στροβιλισμού οδηγεί στη σχέση του απόλυτου στροβιλισμού (ζ+f) και της στατικής ευστάθειας. Όταν αυξάνεται η στατική ευστάθεια, μειώνεται ο απόλυτος στροβιλισμός (α), ενώ όταν μειώνεται η στατική ευστάθεια αυξάνει ο απόλυτος στροβιλισμός (β).

Σε ισεντροπικές συντεταγμένες η μονάδα μέτρησης του δυναμικού στροβιλισμού είναι η PVU (1 PVU = 10^{-6} K kg^{-1} m^2 s^{-1}).

Οι τιμές του PV στην τροπόσφαιρα είναι χαμηλές (1 PVU), ενώ αυξάνονται σημαντικά στην στρατόσφαιρα (4 PVU), λόγω της απότομης αλλαγής της στατικής ευστάθειας. Η επιφάνεια των 1.5 ή 2 PVU αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως «*δυναμική τροπόπαυση*» (Hoskins, 1997).

Μια απότομη αναδίπλωση της δυναμικής τροπόπαυσης ονομάζεται «δυναμική ανωμαλία» της ανώτερης τροπόσφαιρας (upper PV anomaly). Στην περίπτωση αυτή, ξηρός στρατοσφαιρικός αέρας διεισδύει στην τροπόσφαιρα αυξάνοντας τις τιμές του δυναμικού στροβιλισμού στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας (θετική δυναμική ανωμαλία) (Hoskins, 1997). (Αυτή η μεταβολή έχει ως συνέπεια τη δημιουργία ισχυρών βαροκλινικών ζωνών και έντονων ανοδικών κινήσεων (Εικ.2.16)



Εικόνα 2.16: Σχηματική παράσταση μιας δυναμικής ανωμαλίας, όπως αυτή εμφανίζεται σε μια κάθετη τομή ενός εξιδανικευμένου μοντέλου. Διακρίνεται η μορφή των ισεντροπικών επιφανειών (πορτοκαλί καμπύλες) και η δυναμική τροπόπαυση (1,5 PVU). Τα διανύσματα απεικονίζουν τις καθοδικές (ανοικτό μπλε) και τις ανοδικές (σκούρο μπλε) κινήσεις.(http://www.eumetrain.org/).

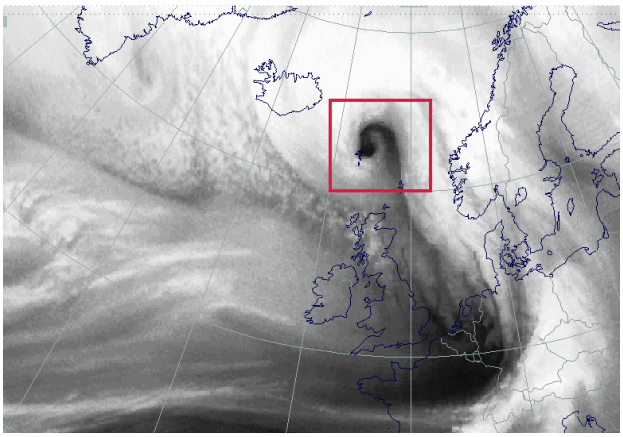
Η δυναμική ανωμαλία της τροπόπαυσης είναι η ενεργή περιοχή της δυναμικής τροπόπαυσης και χαρακτηρίζεται από:

α) Μικρά γεωδυναμικά ύψη (συνήθως εκεί το γεωδυναμικό ύψος έχει ελάχιστο).

β) Γειτονικές περιοχές που η τροπόπαυση έχει μεγάλη κλίση και επομένως υπάρχει έντονη βαθμίδα στο γεωδυναμικό ύψος της τροπόπαυσης.

Βέβαια επειδή η πραγματική τροπόπαυση δεν είναι ποτέ επίπεδη, αλλά πάντα υπάρχουν ανωμαλίες, τα ελάχιστα τους ύψους της τροπόπαυσης δεν οδηγούν πάντα σε ανάπτυξη σημαντικών συνοπτικών κατακόρυφων κινήσεων. Αυτές όμως οι ανωμαλίες, οι οποίες αναφέρονται ως «λανθάνουσες ανωμαλίες της τροπόπαυσης» (latent tropopause anomalies) αν βρεθούν σε κατάλληλο περιβάλλον μπορούν να ενισχυθούν και να οδηγήσουν σε έντονα φαινόμενα *(Santurette and Georgiev, 2005).*

Μεταξύ του πεδίου του δυναμικού στροβιλισμού στην ανώτερη τροπόσφαιρα και των δορυφορικών εικόνων στο κανάλι των υδρατμών υπάρχει σημαντική σχέση. Μια χαμηλή τροπόπαυση μπορεί να αναγνωριστεί ως μία σκοτεινή περιοχή. Μια θετική δυναμική ανωμαλία στην ανώτερη τροπόσφαιρα, στην εικόνα των υδρατμών αναγνωρίζεται ως μια πολύ σκοτεινή περιοχή, με σαφή όρια. (έντονη βαθμίδα των αποχρώσεων στα όρια) (Εικόνα 2.17).

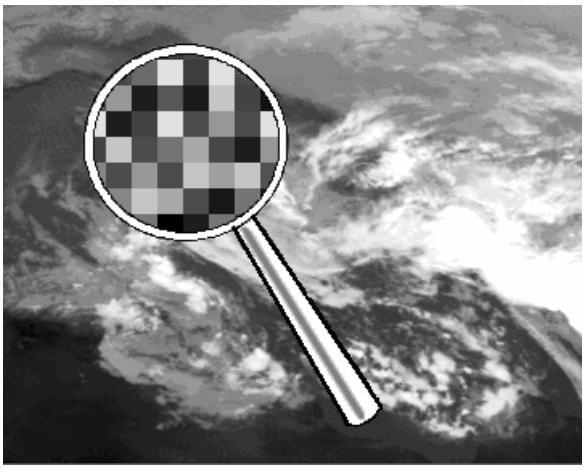


Εικόνα 2.17: Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV), στις 20-2-1997/00:00 UTC. Η περιοχή που περικλείεται με το κόκκινο πλαίσιο απεικονίζει μια θετική δυναμική ανωμαλία της τροπόπαυσης. (http://www.zamg.ac.at/).

2.5. Χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων

2.5.1. Σύνθεση των δορυφορικών εικόνων.

Μια δορυφορική εικόνα αποτελείται από μικρά δομικά στοιχεία (μικρά τετράγωνα), τα οποία καλούνται *εικονοστοιχεία (pixels)* (Εικόνα 2.18). Κάθε εικονοστοιχείο, σε μια ασπρόμαυρη εικόνα, έχει μια απόχρωση του γκρι σε μια κλίμακα που κυμαίνεται από το 0 έως 255 (το 0 αντιστοιχεί στο μαύρο και το 255 στο άσπρο).



Εικόνα 2.18: Μεγέθυνση της δορυφορικής εικόνας, ώστε να διακρίνονται τα εικονοστοιχεία που την αποτελούν (πηγή: Φείδας και Καρτάλης, 2003).

Η κάθε απόχρωση στην «κλίμακα του γκρι» αντιπροσωπεύει την ένταση της ακτινοβολίας που ανιχνεύει ο δορυφορικός αισθητήρας και καλείται *λαμπρότητα (brightness).* Τα διάφορα χαρακτηριστικά της γης και της ατμόσφαιρας έχουν διαφορετικές τιμές λαμπρότητας, οι οποίες απεικονίζονται στη δορυφορική εικόνα και βοηθούν στη φωτοερμηνεία της.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό στις δορυφορικές εικόνες είναι η *χωρική ανάλυση (spatial resolution)*, η οποία αναφέρεται στην ικανότητα του δορυφόρου να διακρίνει δύο αντικείμενα που βρίσκονται κοντά σε μια εικόνα. Στην ουσία είναι η ελάχιστη απόσταση που μπορεί να απέχουν δύο αντικείμενα έτσι ώστε να διακρίνονται καθαρά μεταξύ τους. Για τους δορυφόρους MSG (Meteosat Second Generation) και για τα κανάλια 1 έως 11 η χωρική ανάλυση είναι 3 Km, ενώ για το κανάλι 12 HRV (High Resolution Visible) η χωρική ανάλυση είναι 1 Km. Η χωρική ανάλυση αυτή των μετεωρολογικών δορυφόρων

μπορεί να θεωρηθεί μεγάλη, ωστόσο ικανοποιεί πλήρως τις ανάγκες παρατήρησης συστημάτων συνοπτικής και μέσης κλίμακας και μερικώς των συστημάτων τοπικής κλίμακας.

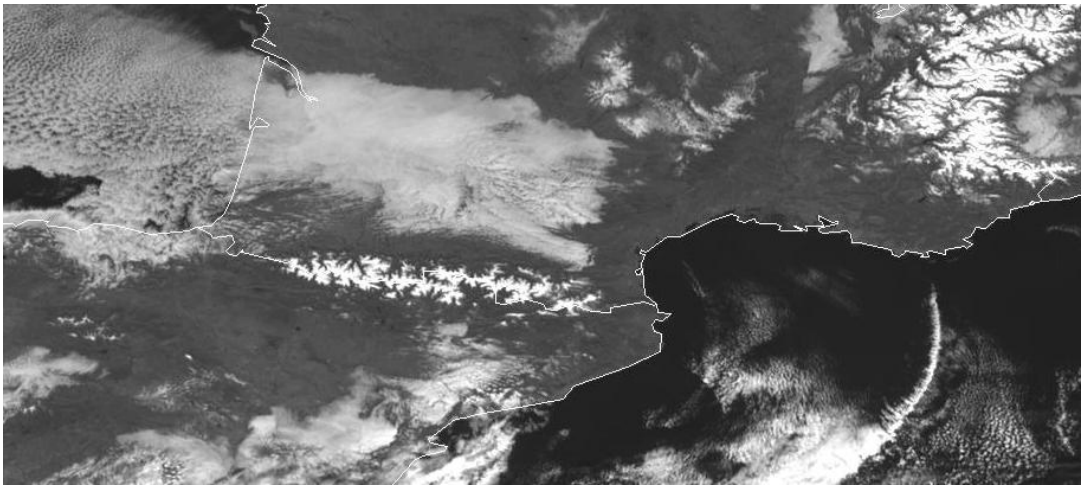
Παρακάτω αναφέρονται οι βασικές αρχές ερμηνείας των δορυφορικών εικόνων στα τρία βασικά κανάλια: το ορατό (VIS), το θερμικό υπέρυθρο (IR) και το κανάλι των υδρατμών (WV).

2.5.2. Δορυφορικές εικόνες στο ορατό (visible imagery)

Η δορυφορική εικόνα στο ορατό φάσμα καταγράφει την ακτινοβολία που ανακλάται στην επιφάνεια της γης και στα νέφη. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι προσεγγίζει την ανακλαστικότητα (albedo) της γης. Έτσι επιφάνειες με μεγάλη ανακλαστικότητα εμφανίζονται με ανοιχτές αποχρώσεις του γκρι ενώ επιφάνειες με μικρή ανακλαστικότητα εμφανίζονται με σκούρες αποχρώσεις. Για παράδειγμα περιοχές με πυκνά νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης ή περιοχές με χιόνι εμφανίζονται με έντονες λευκές αποχρώσεις, ενώ η θάλασσα εμφανίζεται με σκούρες αποχρώσεις. (Εικόνα 2.19).

Η ανακλαστικότητα ενός νέφους εξαρτάται από το πάχος του, από το νερό που περιέχει και τη μορφή αυτού (υδροσταγόνες ή παγοκρύσταλλοι) καθώς και από το μέγεθος τους. *Γενικά νέφη που έχουν μεγάλο πάχος, μεγάλο περιεχόμενο σε νερό και μικρό μέσο μέγεθος υδροσταγόνων παρουσιάζουν μεγάλη ανακλαστικότητα, αντίθετα νέφη με μικρό πάχος, μικρό περιεχόμενο σε νερό και μεγάλο μέσο μέγεθος υδροσταγόνων έχουν μικρή ανακλαστικότητα*. Κατά Rao at al., 1990, (όπως αναφέρεται από τους *Φείδας και Καρτάλης, 2003)* τα νέφη που αποτελούνται από υδροσταγόνες έχουν μεγαλύτερη ανακλαστικότητα από νέφη που αποτελούνται από παγοκρυστάλλους στις ίδιες συνθήκες φωτισμού.

Η λαμπρότητα ενός νέφους εξαρτάται επίσης σημαντικά από τη γωνιακή θέση του νέφους σε σχέση με τον δορυφόρο, αλλά και τον ήλιο. Όταν η ακτινοβολία πέφτει κάθετα στο νέφος τότε η ανακλαστικότητα είναι μέγιστη, ενώ όταν οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν πλάγια η ανακλαστικότητα είναι μικρότερη. Επίσης μπορεί να διακριθεί στην εικόνα η σκιά διάφορων σωρειτόμορφων νεφών.



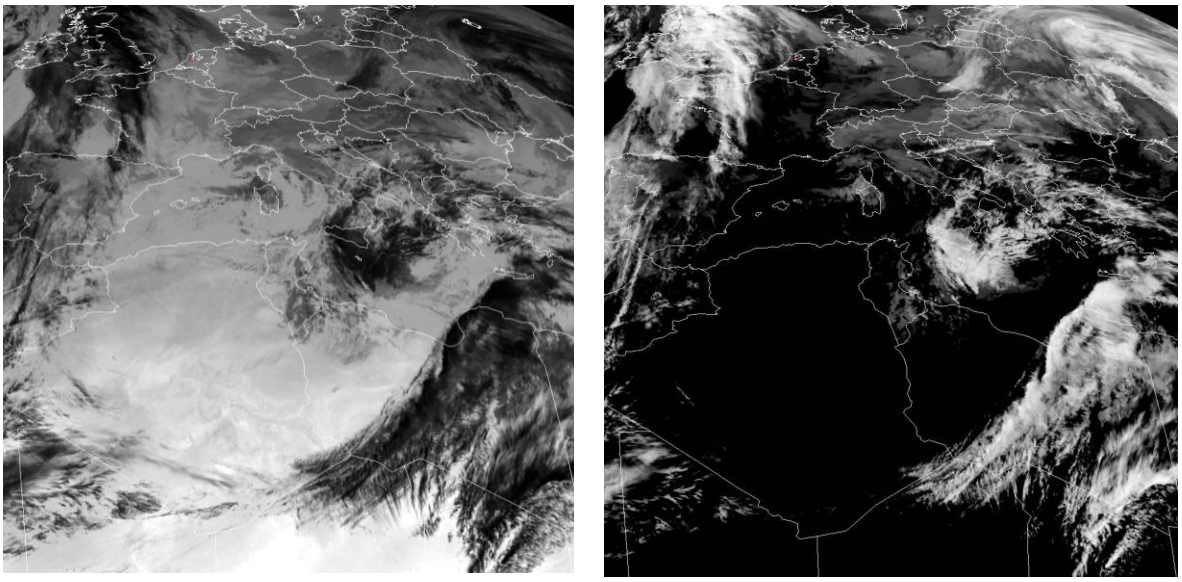
Εικόνα 2.19: Δορυφορική εικόνα στο ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης (High Resolution Visible), στις 4-1-2009/12:00 UTC (πηγή: Αρχείο δορυφορικών εικόνων του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Α.Π.Θ.). Στην εικόνα αυτή της ΝΔ Μεσογείου αποτυπώνεται για την παραπάνω χρονική στιγμή η λευκάγεια (albedo) της επιφάνειας της γης καθώς και των νεφών. Χαρακτηριστική είναι η ανακλαστικότητα των χιονισμένων οροσειρών (Πυρηναία και Αλπεις). Ακόμη διακρίνονται τα χαμηλά νέφη (Stratocumulus) στην περιοχή του Βισκαϊκού κόλπου και της νότιας Γαλλίας.

2.5.3. Δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο (Infrared imagery)

Οι δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο είναι αποτέλεσμα της καταγραφής από τους δορυφορικούς αισθητήρες της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη γη και την ατμόσφαιρα. Η εκπεμπόμενη ενέργεια, σύμφωνα με τον νόμο των Stefan-Boltzmann ($E=\sigma T^4$), είναι ανάλογη της τετάρτης δύναμης της απόλυτης θερμοκρασίας του σώματος που εκπέμπει. Ουσιαστικά η δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο αποτυπώνει την θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης ή των κορυφών των νεφών.

Κανονικά στο υπέρυθρο φάσμα θερμές επιφάνειες απεικονίζονται με ανοιχτές αποχρώσεις και αντίθετα ψυχρές επιφάνειες (χιόνι ή κορυφές υψηλών νεφών) με σκούρες αποχρώσεις του γκρι. Όμως στις δορυφορικές εικόνες που λαμβάνονται στο υπέρυθρο γίνεται αναστροφή (invert) των χρωμάτων και αυτό βοηθά στην σύγκριση μεταξύ των εικόνων στο ορατό και υπέρυθρο φάσμα. (Εικόνα 2.20).

α) Υπέρυθρη εικόνα χωρίς αναστροφή β) Υπέρυθρη εικόνα με αναστροφή



Εικόνα 2.20: Δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο IR 10.8, στις 15-1-2009/12:00 UTC, χωρίς αναστροφή (α) και με αναστροφή (β).(πηγή: Αρχείο δορυφορικών εικόνων του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Α.Π.Θ.).

Η γη και η ατμόσφαιρα στα μήκη κύματος 10-12 μm (ατμοσφαιρικό παράθυρο) ακτινοβολεί σχεδόν ως μέλαν σώμα με απόλυτη θερμοκρασία περίπου 250^{o} K. Η ιδιότητα αυτή αξιοποιείται στις δορυφορικές εικόνες στο θερμικό υπέρυθρο (*Φείδας και Καρτάλης, 2003)*.

Στο υπέρυθρο φάσμα διακρίνονται εύκολα τα υψηλά και μεσαία νέφη, καθώς η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ των κορυφών των νεφών αυτών και της επιφάνειας της γης είναι σημαντική. Αντίθετα τα χαμηλά νέφη και η ομίχλη είναι δύσκολο να ανιχνευθούν, εφόσον οι θερμοκρασίες των νεφών αυτών και της επιφάνειας της γης είναι παρόμοιες.

Τα λεπτά νέφη Cirrus συχνά είναι δύσκολο να διακριθούν από υποκείμενα μεσαία νέφη, λόγω της διαπερατότητάς τους στην υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα χαμηλότερα νέφη, με αποτέλεσμα την υποεκτίμηση του ύψους αυτών.

Γενικά οι εικόνες στο υπέρυθρο παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά συνοπτικών συστημάτων που αφορούν τη μορφή και την έκταση που

καταλαμβάνουν, τα είδη και τα ύψη των νεφών αλλά και την κίνηση αυτών. Βεβαίως η αντικειμενικότερη εκτίμηση των νεφικών συστημάτων γίνεται με την παράλληλη μελέτη των δορυφορικών εικόνων και σε άλλα φασματικά κανάλια.

2.5.4. Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών (water vapor imagery).

Στο κανάλι των υδρατμών οι δορυφορικοί αισθητήρες ανιχνεύουν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τους υδρατμούς της μέσης και ανώτερης τροπόσφαιρας (περίπου από τα 600 hPa έως τα 300 hPa).

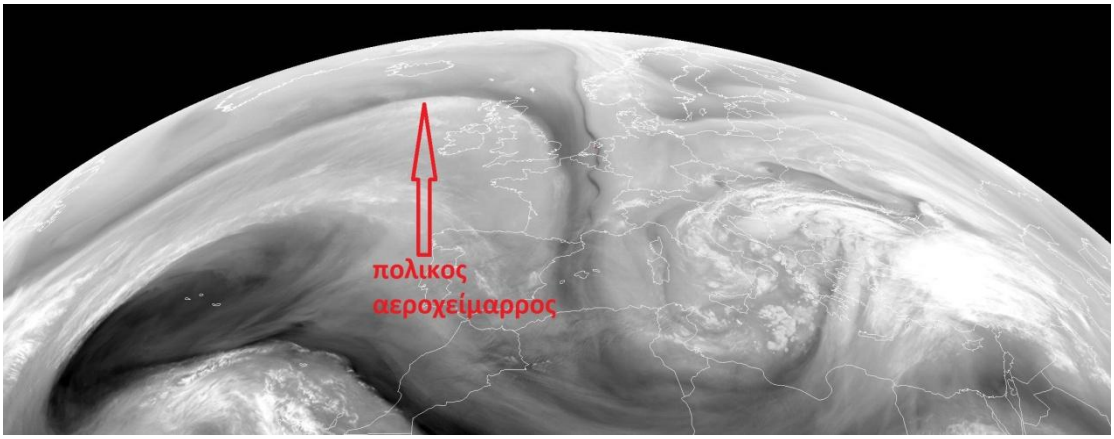
Η περιοχή του φάσματος με μήκη κύματος περίπου από 6-7 μm αναφέρεται ως *κανάλι απορρόφησης των υδρατμών*, καθώς στην περιοχή αυτή του φάσματος, οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας απορροφούν κατά τον μέγιστο βαθμό την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και τα χαμηλότερα νέφη. Ο δορυφορικός αισθητήρας ανιχνεύει την ακτινοβολία που επανεκπέμπεται από τους υδρατμούς στο ίδιο κανάλι (6-7 μm). Οι δορυφόροι Meteosat (MSG) διαθέτουν δύο φασματικά κανάλια υδρατμών, ένα στα 6.2 μm και το άλλο στα 7.3 μm.

Η ακτινοβολία που καταγράφεται στο κανάλι των υδρατμών καθορίζεται: α) από το ολικό ποσό των υδρατμών της στήλης της ατμόσφαιρας και β) από την κατακόρυφη κατανομή της. Όσο μεγαλύτερη είναι η υγρασία στα υψηλά στρώματα της ατμόσφαιρας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απορρόφηση της ακτινοβολίας που προέρχεται από τα κατώτερα στρώματα, η οποία δεν καταφέρνει να φτάσει στον ανιχνευτή. Έτσι στην περίπτωση αυτή η εκπεμπόμενη ακτινοβολία που φτάνει στον ανιχνευτή προέρχεται από την υγρασία στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, κατά συνέπεια από περιοχές με πιο χαμηλές θερμοκρασίες (*Φείδας και Καρτάλης, 2003)*.

Περιοχές με αυξημένη υγρασία στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα (με την παραδοχή της αναστροφής της εικόνας που ισχύει και στο υπέρυθρο) θα εμφανίζονται στις δορυφορικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών, με ανοιχτές αποχρώσεις του γκρι, ενώ σκούρες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε απουσία υγρασίας.

Το κανάλι των υδρατμών είναι το πιο κατάλληλο για τον εντοπισμό των αεροχειμάρρων, καθώς οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλες θερμοβαθμίδες και

κατά συνέπεια και από μεγάλες βαθμίδες στην υγρασία της ανώτερης ατμόσφαιρας. Γενικά η θέση του αεροχειμάρρου εμφανίζεται ως μία επιμήκης (συνοπτικής κλίμακας) έντονη βαθμίδα των ανοιχτών και σκούρων αποχρώσεων, τοποθετώντας την σκούρα περιοχή προς τη πολική πλευρά (Εικ.2.21)



Εικόνα 2.21: Δορυφορική εικόνα (WV) στις 6-3-2009/23:45 UTC, όπου φαίνεται ο πολικός αεροχείμαρρος που φτάνει μέχρι την περιοχή της Ελλάδος. Διακρίνεται ως μια επιμήκης βαθμίδα των αποχρώσεων του γκρι, με τη σκούρα περιοχή προς τον βόρειο πόλο. (πηγή: Αρχείο δορυφορικών εικόνων του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Α.Π.Θ.).

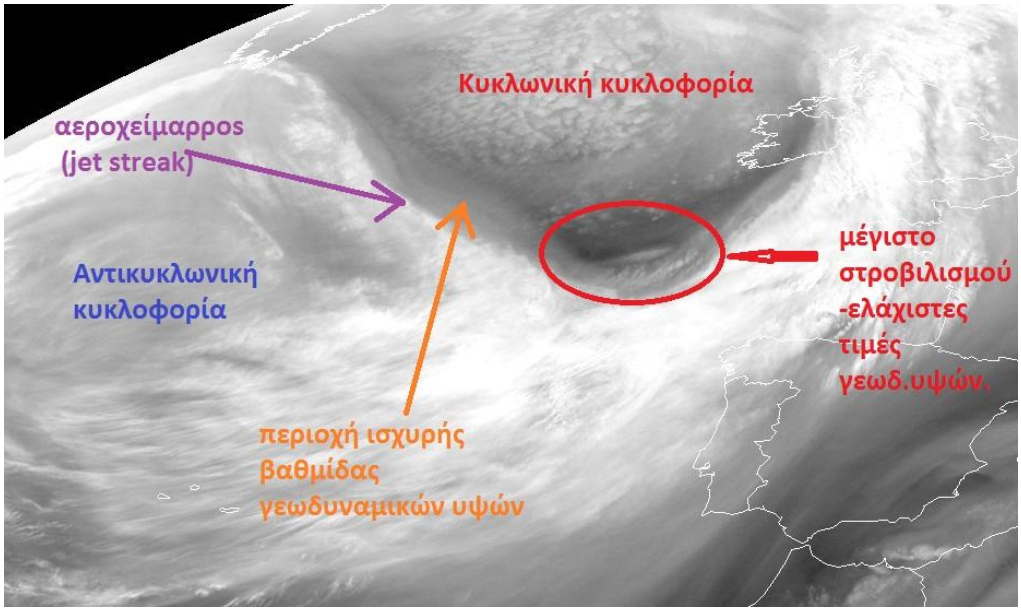
Οι εικόνες στο κανάλι των υδρατμών επίσης απεικονίζουν πολύ καλά, σε συνοπτική κλίμακα, την κυκλοφορία στη μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα και παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τα δυναμικά χαρακτηριστικά αυτής. Παρακάτω αναφέρονται κάποια γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την φωτοερμηνεία των εικόνων στο κανάλι των υδρατμών (Santurette and Georgiev, 2005).

α) *Ανοιχτές αποχρώσεις του γκρι συνδέονται με:*

- Ανοδικές κινήσεις
- Περιοχές με χαμηλές τιμές στροβιλισμού και δυναμικού στροβιλισμού στην ανώτερη ή μέση τροπόσφαιρα.
- Υψηλά γεωδυναμικά ύψη της δυναμικής τροπόπαυσης. (Εικ.2.21)

β) Σκούρες αποχρώσεις συνοδεύονται με:

- Καθοδικές κινήσεις
- Περιοχές με υψηλές τιμές στροβιλισμού και δυναμικού στροβιλισμού στην ανώτερη ή μέση τροπόσφαιρα.
- Χαμηλά γεωδυναμικά ύψη δυναμικής τροπόπαυσης και λανθάνουσα ανωμαλία τροπόπαυσης.
- Ανωμαλία δυναμικής τροπόπαυσης που στα ανώτερα στρώματα είναι πρόδρομος κυκλογέννεσης.
- Περιοχές ξηρής εισβολής που συνδέονται με υψηλές τιμές δυναμικού στροβιλισμού.(Εικ.2.22).



Εικόνα 2.22: Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών στις 13-12-2008/00:00 UTC. Οι διαφορετικές αποχρώσεις του γκρι, οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορετική ποσότητα υγρασίας, παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τα δυναμικά χαρακτηριστικά της γενικής κυκλοφορίας της ανώτερης τροπόσφαιρας. (πηγή: Αρχείο δορυφορικών εικόνων του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Α.Π.Θ.).

Ακόμη η σχέση μεταξύ των σκοτεινών/φωτεινών αποχρώσεων στις εικόνες στο κανάλι των υδρατμών και της γενικής κυκλοφορίας της ανώτερης ατμόσφαιρας εξαρτάται όχι μόνον από την συνοπτική κατάσταση αλλά και από τη γεωγραφική θέση που μελετάται. π.χ. τον χειμώνα στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη οι θερμοκρασίες της κατώτερης

ατμόσφαιρας είναι πολύ μικρές με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μεγάλη αντίθεση (contrast) στην ακτινοβολία μεταξύ των περιοχών της χαμηλής τροπόπαυσης και των γύρω περιοχών (Santurette and Georgiev, 2005).

Τέλος οι εικόνες στο κανάλι των υδρατμών παρουσιάζουν ένα βασικό πλεονέκτημα έναντι των εικόνων των άλλων καναλιών, καθώς μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σε ένα πρόδρομο στάδιο. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι οι ανοδικές κινήσεις σε μια υγρή περιοχή δεν οδηγούν πάντα στον σχηματισμό νεφών. Οι εικόνες όμως στο κανάλι των υδρατμών μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά *της υγρασίας* στην ατμόσφαιρα (π.χ. σχήμα, φωτεινότητα, κίνηση κ.λ.π). Έτσι πριν το σχηματισμό νεφών μπορεί να υπάρξουν ενδείξεις για την περαιτέρω εξέλιξη της κατάστασης της ατμόσφαιρας. Παράδειγμα ο σχηματισμός ενός βαροκλινικού «φύλλου» με ανοιχτή απόχρωση μπορεί να αποτελεί ένδειξη αρχής κυκλογέννεσης.

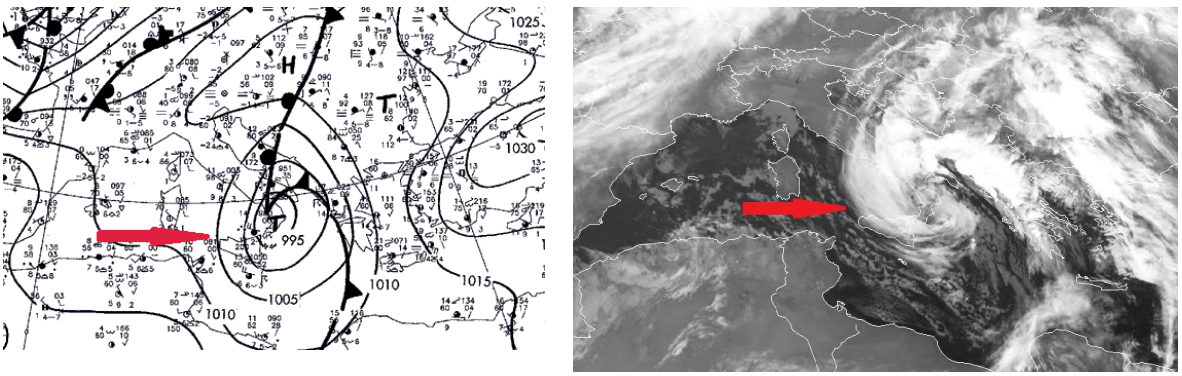
2.6.Χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων.

2.6.1.Γενικά

Ύφεση ή βαρομετρικό χαμηλό ορίζεται αρχικά, μια εικόνα της γεωγραφικής κατανομής των ισοβαρών καμπύλων πάνω σε ένα χάρτη καιρού (Εικ.2.23.α), όπου φαίνεται ότι η ατμοσφαιρική πίεση σε μια συγκεκριμένη περιοχή είναι σχετικά χαμηλή, ενώ αυξάνει προς την περιφέρεια της περιοχής αυτής (Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου,2004).

Στη δορυφορική εικόνα (2.23.β) αποτυπώνεται η μορφή και το σχήμα των νεφών (σχήμα στροβίλου) που αντιστοιχούν στην αντίστοιχη ύφεση (Εικ.2.23.α).

α) **β)**

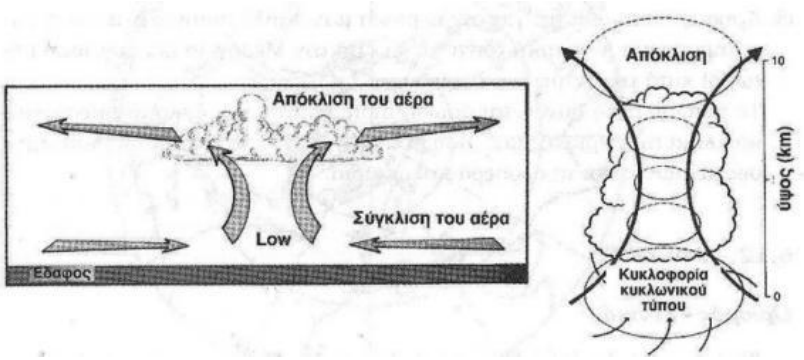


Εικόνα 2.23: α) Συνοπτικός χάρτης επιφανείας στις 4-12-2008/06:00 UTC, όπου διακρίνεται ένα βαρομετρικό χαμηλό με κέντρο 995 hPa στην περιοχή της νότιας Ιταλίας, καθώς και η μετωπική δραστηριότητα (ψυχρό και θερμό μέτωπο) που συνοδεύει την ύφεση αυτή, β) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι IR 10.8 στην οποία αποτυπώνονται οι νεφικοί σχηματισμοί της ύφεσης (πηγή: Αρχείο δορυφορικών εικόνων του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Α.Π.Θ.).

Ο άνεμος σε μια τέτοια περιοχή στο βόρειο.ημισφαίριο πνέει αντίθετα από τη φορά των δεικτών του ρολογιού με μιά συνιστώσα προς το κέντρο της περιοχής, όταν το εξεταζόμενο τμήμα της ύφεσης βρίσκεται μέσα στο στρώμα τριβής, διαφορετικά κατά την εφαπτομένη προς τις ισοβαρείς.

Οι υφέσεις ή τα βαρομετρικά χαμηλά είναι συνήθως συστήματα κακοκαιρίας με έντονη νέφωση, υετό και ισχυρούς ανέμους. Το αίτιο της κακοκαιρίας είναι το είδος της

«κυκλοφορίας» που επικρατεί γενικά στα βαρομετρικά χαμηλά και το οποίο χαρακτηρίζεται από συγκλίσεις στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και αποκλίσεις στα ανώτερα στρώματα αυτής. Οι συγκλίσεις των αερίων μαζών προς το κέντρο του χαμηλού αναγκάζουν την αδιαβατική εκτόνωση των μαζών αυτών προς τα πάνω με αποτέλεσμα την ψύξη τους, στη συνέχεια τη συμπύκνωση και τέλος τη δημιουργία νεφών (Εικ.2.24)



Εικόνα 2.24: Η γενική κυκλοφορία των αερίων μαζών στην περιοχή μιας ύφεσης στην επιφάνεια και στην ανώτερη ατμόσφαιρα σύμφωνα με Lutgens and Tarbuck, 1989. (πηγή: Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου,2004).

Οι υφέσεις, ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας τους, διακρίνονται σε: 1) Μετωπικές υφέσεις, 2) Θερμικές υφέσεις, 3) Ορογραφικές υφέσεις και 4) Υφέσεις ασταθείας.

2.6.2. Μετωπικές υφέσεις.

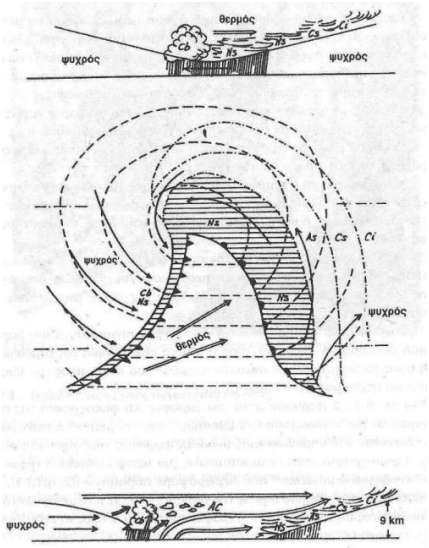
Οι υφέσεις αυτές δημιουργούνται συνήθως κατά μήκος εκτεταμένων μετωπικών επιφανειών. Οι πρώτοι που μίλησαν γι' αυτές τις υφέσεις ήταν η ομάδα των Νορβηγών μετεωρολόγων (Bjerkness, Bergeron και Solberg), οι οποίοι και διατύπωσαν τη «*Θεωρία του πολικού μετώπου*» (1919), σύμφωνα με την οποία *η μετωπική ύφεση είναι ένας στρόβιλος δύο διαφορετικών, από θερμοϋγρομετρικής άποψης, αερίων μαζών.*

Οι μετωπικές υφέσεις μπορεί να διακριθούν σε *κύριες* και *δευτερεύουσες* μετωπικές υφέσεις:

α) *Κύριες μετωπικές υφέσεις* είναι τα βαρομετρικά χαμηλά, που δημιουργούνται εκτός των τροπικών, κατά μήκος των εκτεταμένων μετωπικών επιφανειών (όπως το πολικό μέτωπο) και συνοδεύονται από μετωπική δραστηριότητα.

β) *Δευτερεύουσες μετωπικές υφέσεις* είναι τα βαρομετρικά χαμηλά που δημιουργούνται σε μικρότερης κλίμακας μετωπικές επιφάνειες, όπως τα ψυχρά μέτωπα, προϋπαρχόντων μετωπικών υφέσεων και συνοδεύονται από μετωπική δραστηριότητα (Καρακώστας, 2012).

Η δομή της μετωπικής ύφεσης περιγράφεται από ένα αντιπροσωπευτικό μοντέλο, το γνωστό ως *«Νορβηγικό μοντέλο».* Σύμφωνα με αυτό, κάθε μετωπική ύφεση περιλαμβάνει δύο μέτωπα, ένα ψυχρό και ένα θερμό. Ο θερμός αέρας εκτείνεται σε μορφή «γλώσσας» προς το κέντρο της ύφεσης, ενώ ο ψυχρός αέρας καταλαμβάνει το υπόλοιπο τμήμα της ύφεσης. Είναι προφανές ότι ο καιρός που συνοδεύει μιά μετωπική ύφεση είναι ο ίδιος με τον καιρό των θερμών και ψυχρών μετώπων (Εικ.2.25).



Εικόνα 2.25: Η δομή μιας μετωπικής ύφεσης σύμφωνα με το «Νορβηγικό μοντέλο» (πηγή: Μακρογιάννης και Σαχσαμάνογλου,2004).

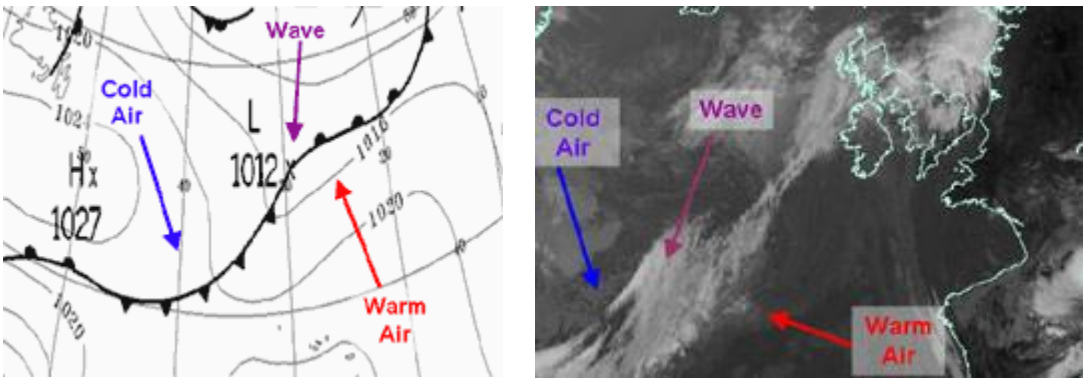
2.6.3 Κύκλος ζωής μιας μετωπικής ύφεσης.

Σύμφωνα με τη *θεωρία του πολικού μετώπου* προϋπόθεση για τη δημιουργία μιας μετωπικής ύφεσης είναι η ύπαρξη ενός στάσιμου μετώπου, το οποίο στην ουσία αποτελεί μια επιφάνεια ασυνέχειας μεταξύ δύο διαφορετικών αερίων μαζών. Η ζώνη του πολικού μετώπου είναι μια ζώνη ασυνέχειας καθώς διαχωρίζει τις ψυχρές πολικές μάζες που βρίσκονται βόρεια με τις θερμότερες υποτροπικές αέριες μάζες στα νότια.

Κάποια διαταραχή στην κυκλοφορία των αερίων μαζών μπορεί να προκαλέσει μια μικρή κυματοειδή κλίση (wave) στο αρχικά στάσιμο μέτωπο. Η κύμανση αυτή, αποτελεί ουσιαστικά *την αρχή δημιουργίας μιας μετωπικής ύφεσης*.

Στο στάδιο αυτό ο ψυχρός αέρας βρίσκεται βόρεια του μετώπου και ο θερμός νότια αυτού. Στη συνέχεια καθώς η κύμανση συνεχίζει να μεγαλώνει, ο θερμός αέρας εισχωρεί μέσα στον ψυχρό με μια ανοδική τάση (Εικ.2.26,α). Στην αντίστοιχη δορυφορική εικόνα η κύμανση αυτή αποτυπώνεται ως μια περιοχή με σχετικά λεπτά νέφη, τα οποία είναι κυρίως στρατόμορφα. Το σχήμα της νεφικής αυτής μάζας τείνει να πάρει το σχήμα του γράμματος S (Εικ.2.26,β).

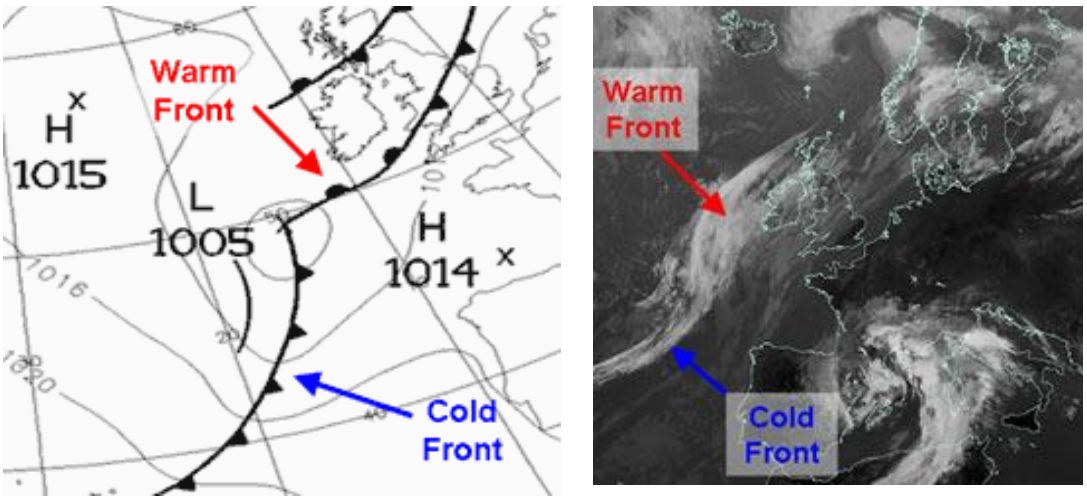
α) β)



Εικόνα 2.26: α) Χάρτης επιφανείας στις 7-9-2005/12:00 UTC, στον οποίο φαίνεται η κύμανση (wave) της μετωπικής επιφάνειας. β) Δορυφορική εικόνα (IR) στις 7-9-2005/12:00 UTC (πηγή: http://www.metlink.org/).

Στο επόμενο στάδιο, το οποίο αποτελεί *το στάδιο ανάπτυξης της μετωπικής ύφεσης,* παρατηρείται ανάπτυξη των μετώπων (ψυχρό και θερμό). Η περιοχή ανάμεσα στο ψυχρό και το θερμό μέτωπο αποτελεί το θερμό τομέα της ύφεσης. Η κυκλωνική κυκλοφορία ενισχύεται δημιουργώντας ανοδικές κινήσεις και σταδιακή πτώση της πίεσης στην επιφάνεια (Εικ.2.27,α). Στην αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου η μετωπική νεφική μάζα διευρύνεται και αποκτά πλέον καθαρά το σχήμα του γράμματος S (Εικ.2.27,β).

α) **β)**



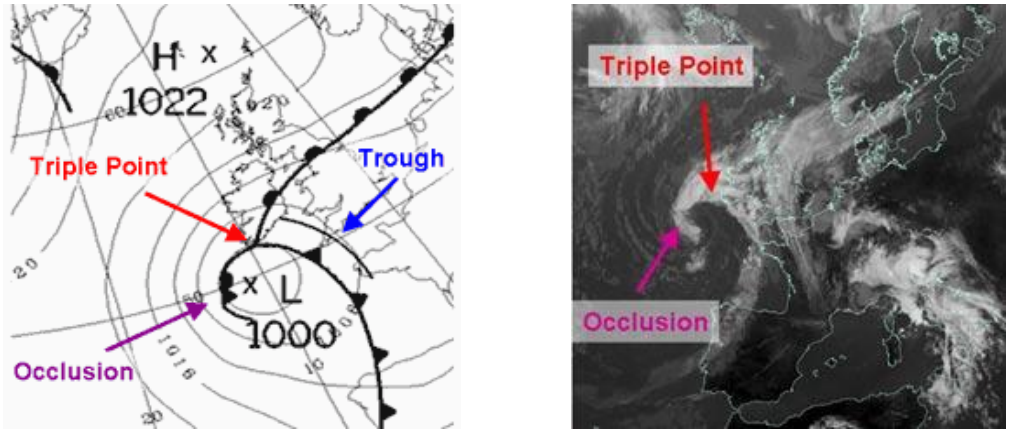
Εικόνα 2.27: α) Χάρτης επιφανείας στις 8-9-2005/12:00 UTC, β) Δορυφορική εικόνα (IR) στις 8-9-2005/12:00 UTC (πηγή: http://www.metlink.org/).

Στο επόμενο στάδιο, το οποίο χαρακτηρίζεται *ως στάδιο ωρίμανσης* (maturing stage), η κυκλωνική κυκλοφορία ενισχύεται περαιτέρω και η ένταση των ανέμων αυξάνει. Το ψυχρό μέτωπο κινείται γρηγορότερα από το θερμό. Ο κρύος αέρας -πιο πυκνός- αντικαθιστά τον θερμό αέρα στην επιφάνεια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση του θερμού αέρα με σταδιακή μείωση του θερμού τομέα. Ο ψυχρός αέρας τελικά αποκόπτει τελείως τον θερμό αέρα, αρχικά στο κέντρο του χαμηλού. Στη φάση αυτή το ψυχρό μέτωπο ενώνεται με το θερμό δημιουργώντας έτσι ένα συνεσφιγμένο μέτωπο ή μια σύσφιξη (occlusion) (Εικ.2.28,α). Τη στιγμή αυτή η ύφεση αποκτά τη μέγιστη έντασή της. Το σημείο που ενώνονται τα τρία μέτωπα (ψυχρό, θερμό και συνεσφιγμένο), αναφέρεται ως *τριπλό σημείο* και στην περιοχή αυτή παρατηρείται συνήθως ισχυρός υετός. Η πίεση στο κέντρο του χαμηλού σταματά να πέφτει και αρχίζει σταδιακά η άνοδος αυτής.

Καθώς ο ψυχρός αέρας μετακινείται νοτιότερα πάνω από θερμότερες επιφάνειες δημιουργούνται συνθήκες αστάθειας με αποτέλεσμα την εμφάνιση ισχυρών όμβρων ή καταιγίδων. Τα φαινόμενα αυτά πολλές φορές εμφανίζονται σε γραμμές, οι οποίες μπορούν να εντοπιστούν στους χάρτες καιρού, σαν επιφανειακοί αυλώνες (Εικ.2.28,α). Στην

δορυφορική εικόνα (Εικ.2.28,β) διακρίνεται το χαρακτηριστικό σχήμα της κυκλωνικής κυκλοφορίας και η δημιουργία της σύσφιξης.

α) β)



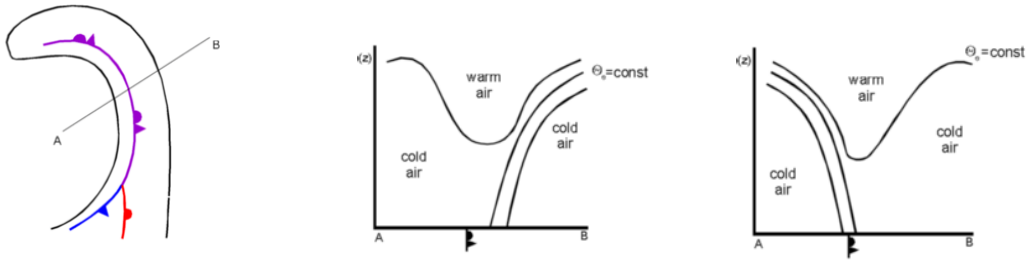
Εικόνα 2.28: α) Χάρτης επιφανείας στις 9-9-2005/12:00 UTC, β) Δορυφορική εικόνα (IR) στις 9-9-2005/12:00 UTC (πηγή: http://www.metlink.org/).

Το συνεσφιγμένο μέτωπο χωρίζει τον ψυχρό αέρα που βρίσκεται μπροστά από το θερμό μέτωπο, από αυτόν που βρίσκεται πίσω από το ψυχρό μέτωπο. Ο θερμός αέρας μετατοπίζεται στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας. Σύμφωνα με την κατανομή της θερμοκρασίας πριν και μετά το συνεσφιγμένο μέτωπο, διακρίνονται δύο τύποι σύσφιξης.

- Θερμή σύσφιξη (Warm front occlusion), όταν ο αέρας πριν το μέτωπο είναι ψυχρότερος από τον αέρα που βρίσκεται πίσω από το μέτωπο (Εικ.2.29.β).
- Ψυχρή σύσφιξη (Cold frontal occlusion), όταν ο αέρας πριν από το μέτωπο είναι θερμότερος από τον αέρα που βρίσκεται πίσω από το μέτωπο (Εικ.2.29.γ).

Καθώς ο θερμός αέρας αποκόπτεται τελείως και στην επιφάνεια παραμένει μόνο ο ψυχρός, τα μέτωπα διαλύονται. Το ίδιο και η σύσφιξη, καθώς οι αέριες μάζες εκατέρωθεν αυτής αποκτούν παρόμοιες θερμοκρασίες. Η φάση αυτή σηματοδοτεί τη διάλυση της μετωπικής ύφεσης.

α) Σύσφιξη β) Θερμή σύσφιξη γ) Ψυχρή σύσφιξη



Εικόνα 2.29: α) Η μορφή μιας σύσφιξης. Η γραμμή ΑΒ προσδιορίζει την περιοχή στην οποία αναφέρονται οι δύο κάθετες τομές στην ατμόσφαιρα, όπως φαίνονται στην ίδια εικόνα (α και β).β) Κάθετη τομή στην ατμόσφαιρα μιας θερμής σύσφιξης, στην οποία διακρίνεται η σχετική κατακόρυφη διάταξη των αερίων μαζών. γ) Αντίστοιχα η κάθετη τομή στην ατμόσφαιρα μιας ψυχρής σύσφιξης (http://www.zamg.ac.at/).

Από την αρχική διατάραξη (κυματισμό) μέχρι η ύφεση να φθάσει στην κανονική της μορφή, μεσολαβεί ένα διάστημα 12-24 ωρών. Στη συνέχεια, το διάστημα που μεσολαβεί μέχρι τη διάλυσή της, κυμαίνεται από 2-3 ημέρες ή και περισσότερο. Δηλαδή, στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της ζωής της η ύφεση είναι συνεσφιγμένη. Οι άνεμοι φτάνουν στη μεγαλύτερη έντασή τους, συνήθως 12-24 ώρες μετά από την αρχή της σύσφιξης (Φλόκας, 1992).

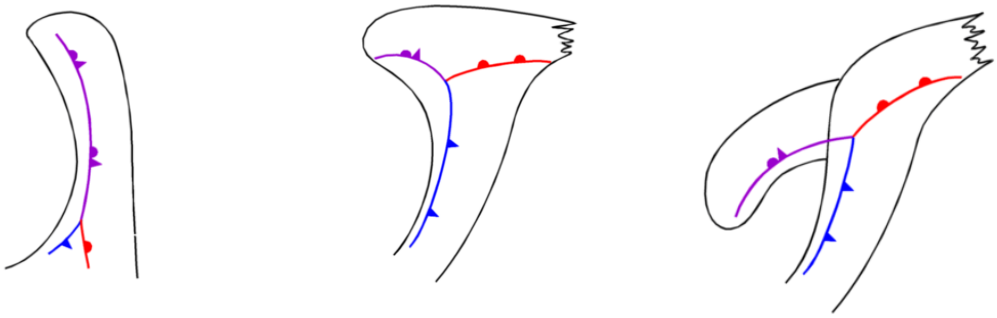
2.6.4. Αποκλίσεις από το Νορβηγικό μοντέλο.

Η μελέτη των κυκλωνικών συστημάτων, μέσω της φωτοερμηνείας των δορυφορικών εικόνων, έδειξε ότι το κλασσικό Νορβηγικό μοντέλο δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους κυκλογέννεσης. Σε κάποιες περιπτώσεις ακολουθείται, ενώ σε κάποιες άλλες οι παρατηρήσεις υποστηρίζουν εναλλακτικές αναλύσεις, όπως με το μοντέλο «ζωνών μεταφοράς» (McGinnigle et al., 1988; Shapiro and Keyser, 1990, Bader et al.,1995).

Άλλες μελέτες πάνω σε κυκλωνικά συστήματα με βάση την φωτοερμηνεία των δορυφορικών εικόνων, έγιναν με την ενσωμάτωση και ζωνών μεταφοράς (Browning, 1990; Carlson, 1991; Bader et al, 1995).

Ιδιαίτερα κατά τη δημιουργία της σύσφιξης, δεν είναι εμφανές στις δορυφορικές εικόνες, η συνένωση του ψυχρού μετώπου με το θερμό, όπως περιγράφεται με τη κλασσική θεωρία του Νορβηγικού μοντέλου (Εικ.2.30.α), αλλά παρατηρείται συγχώνευση της νέφωσης του ψυχρού και του θερμού μετώπου στο κέντρο του χαμηλού στην επιφάνεια με μια επέκταση της σύσφιξης, σε σχήμα σπιράλ, προς τα δυτικά (Εικ.2.30.β). Ακόμη σε άλλες περιπτώσεις εμφανίζονται χαμηλότερα νέφη σε σχήμα σπιράλ, κάτω από το ψυχρό και το θερμό μέτωπο τα οποία διεισδύουν προς τα δυτικά (Εικ.2.30.γ).Και αυτή η περίπτωση δεν μπορεί να ερμηνευτεί με το κλασσικό μοντέλο *(http://www.zamg.ac.at/).*

α) β) γ)



Εικόνα 2.30: α) Σχηματική μορφή σύσφιξης, σύμφωνα με το Νορβηγικό μοντέλο. β) και γ) Σχηματικές μορφές σύσφιξης, που δεν ερμηνεύονται με το κλασσικό μοντέλο (http://www.zamg.ac.at/).

Το εννοιολογικό μοντέλο των «ζωνών μεταφοράς» χρησιμοποιεί τρία κύρια ρεύματα αέρος (airstreams) για την ερμηνεία των μετώπων (ψυχρού, θερμού και συνεσφιγμένου) τα εξής:

- Θερμή ζώνη μεταφοράς (warm conveyor belt)
- Ψυχρή ζώνη μεταφοράς (cold conveyor belt) και
- Ξηρή εισβολή (dry intrusion).

Στη μελέτη κάποιων κυκλογεννέσεων εισάγεται και μια δευτερεύουσα θερμή ζώνη μεταφοράς, η διαμόρφωση της οποίας εξαρτάται από τους σχετικούς ανέμους. Η θερμοκρασία της είναι ενδιάμεση της θερμοκρασίας της κύριας θερμής και ψυχρής ζώνης

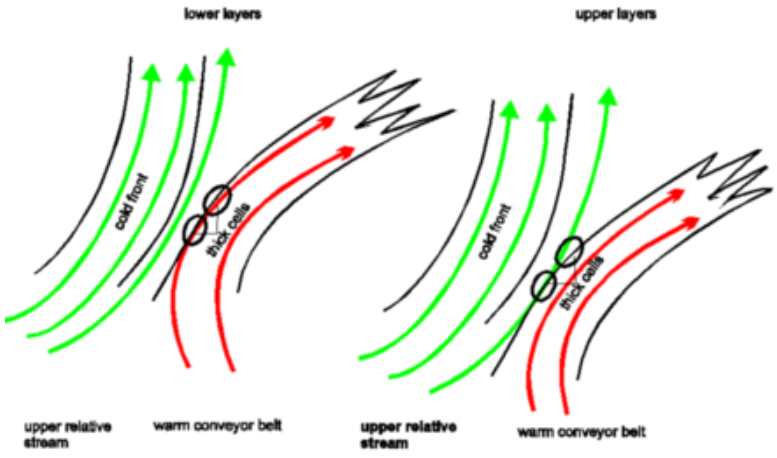
μεταφοράς. Η θέση της προσδιορίζεται κυρίως κοντά στο θερμό μέτωπο ή χαμηλότερα της κύριας θερμής ζώνης μεταφοράς (Bader et al., 1995).

Μια ζώνη μεταφοράς χαρακτηρίζεται ως θερμή ή ψυχρή αντίστοιχα, με βάση την θερμοκρασία της και τη σχετική θερμοκρασία του περιβάλλοντος αυτής.

2.6.5. Χαρακτηριστικά των ζωνών μεταφοράς.

Η θερμή ζώνη μεταφοράς ορίζεται ως ένα στρώμα αέρος, το οποίο:

- Προέρχεται από μια ανατολική-νοτιοανατολική ροή στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, στην περιοχή μιας έξαρσης, μπροστά από το ψυχρό μέτωπο (Εικ. 2.31).
- Γενικά ανέρχεται προς τους πόλους (βόρεια-βορειοανατολικά) σχηματίζοντας νέφη λόγω της συμπύκνωσης του υγρού αέρα.
- Στη συνέχεια γυρίζει προς νοτιοανατολικές διευθύνσεις, η ανοδική κίνηση μετατρέπεται σε καθοδική και παρατηρείται νεφοδιάλυση.

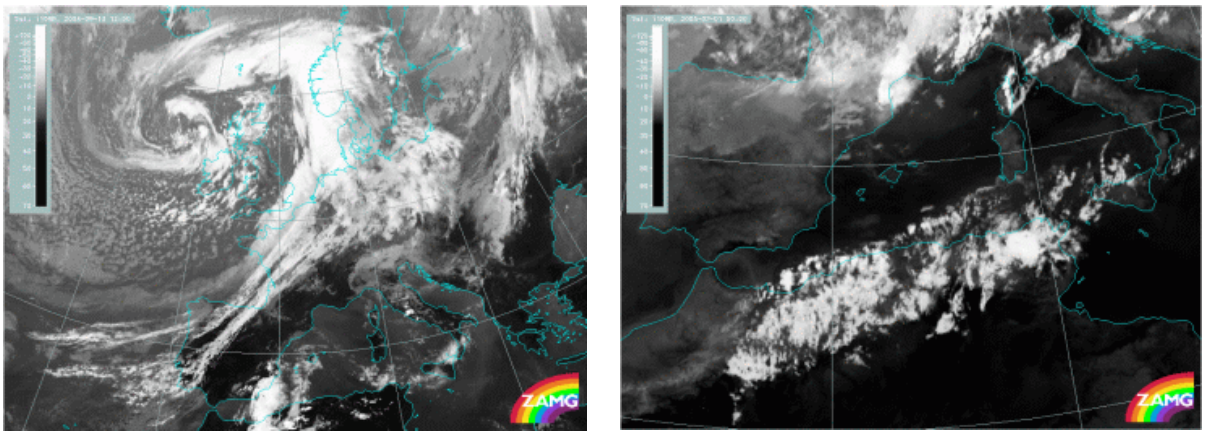


Εικόνα 2.31: Σχηματική διάταξη θερμής ζώνης μεταφοράς, στην οποία διακρίνεται η ροή στην περιοχή του ψυχρού μετώπου (πράσινες καμπύλες) και στη ζώνη θερμής μεταφοράς (κόκκινες καμπύλες), καθώς και η σχετική θέση μεταξύ τους, στα κατώτερα και ανώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας (http://www.zamg.ac.at/).

Η θερμή ζώνη μεταφοράς συμμετέχει άμεσα στις διεργασίες του ψυχρού μετώπου, μπορεί όμως να παρατηρηθεί και ξεχωριστά από τη μετωπική νέφωση. Το παραπάνω είναι συνάρτηση της κατάστασης της ατμόσφαιρας (Εικ.2.32).

Η θερμή ζώνη μεταφοράς καθώς ανέρχεται είναι πιθανόν να αποτελέσει πηγή υετού (Bader et al., 1995).

α) β)



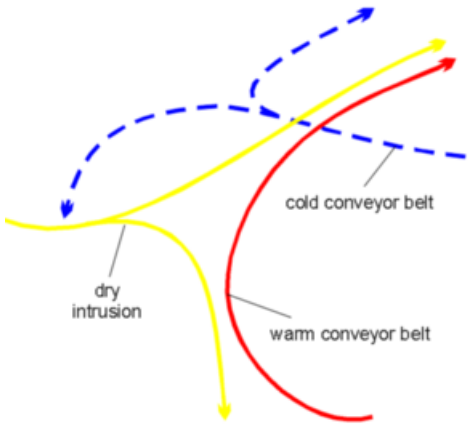
Εικόνα 2.32: α) Δορυφορική εικόνα στο IR (10.8), στις 13-9-2004/12:00 UTC, στην οποία η θερμή ζώνη μεταφοράς διακρίνεται ως μια αντικυκλωνική κυρτή νεφική μάζα, η οποία εκτείνεται από την περιοχή της Πορτογαλίας, πάνω από την Γαλλία και την Γερμανία. β) Δορυφορική εικόνα στο IR (10.8), στις 1-7-2005/00:00 UTC, όπου φαίνεται η νεφική μάζα που προέρχεται από μια θερμή ζώνη μεταφοράς, στην περιοχή της Βόρειας Αφρικής και η οποία βρίσκεται μεμονωμένη και χωριστά από τη μετωπική δραστηριότητα (http://www.zamg.ac.at/).

Σε έρευνα 467 περιπτώσεων θερμών ζωνών μεταφοράς στην περιοχή της Ευρώπης, προέκυψε ότι σε ποσοστό πάνω από το 57% λαμβάνουν χώρα στην περιοχή της Βόρειας Αφρικής και της Μεσογείου, είναι κυρίως μεμονωμένες (όπως στην Εικ. 2.32.β), ενώ μόνο 15% εμφανίζονται στη δυτική, βόρεια και ανατολική Ευρώπη και σχετίζονται με μετωπικές δραστηριότητες *(www.zamg.ac.at)*.

Η ξηρή εισβολή (dry intrusion) είναι ένα ρεύμα αέρα καθίζησης από τα βορειοδυτικά προς νοτιοανατολικά και το οποίο χωρίζεται σε δύο κλάδους. Ο ένας καθιζάνει περισσότερο προς τα νοτιοανατολικά και ο άλλος ανέρχεται προς τα βορειοανατολικά (Εικ. 2.33).

Η ψυχρή ζώνη μεταφοράς (cold conveyor belt) είναι ένα ανερχόμενο σχετικά ρεύμα αέρα από τα ανατολικά-νοτιοανατολικά, το οποίο αρχικά είναι κάτω από τη θερμή ζώνη

μεταφοράς αλλά μετά αναδύεται από κάτω και εκτείνεται προς βόρειες διευθύνσεις (Εικ.2.33).(http://www.zamg.ac.at/)



Εικόνα 2.33: Κατακόρυφη διάταξη και σχετική θέση μεταξύ των τριών ζωνών μεταφοράς: Θερμή ζώνη μεταφοράς (κόκκινη καμπύλη), ψυχρή ζώνη μεταφοράς (μπλε διακεκομμένη καμπύλη) και ψυχρή εισβολή (κίτρινη καμπύλη) (πηγή: http://www.zamg.ac.at/).

Η θεωρία των ζωνών μεταφοράς στο ψυχρό μέτωπο ασχολείται κυρίως με δύο σχετικά ρεύματα, τη θερμή ζώνη μεταφοράς και την ψυχρή εισβολή. Στο θερμό μέτωπο χρησιμοποιεί τα σχετικά ρεύματα της θερμής και της ψυχρής ζώνης μεταφοράς, ενώ για το συνεσφιγμένο μέτωπο σχετίζονται και οι τρείς ζώνες μεταφοράς (http://www.zamg.ac.at/).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.

3.1. Δεδομένα

Για τη μελέτη και την ταξινόμηση των μετωπικών υφέσεων της παρούσης διατριβής χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες καιρού.

3.1.1. Δορυφορικά δεδομένα

Οι δορυφορικές εικόνες προέρχονται από τον γεωστάσιμο μετεωρολογικό δορυφόρο, δεύτερης γενιάς MSG (Meteosat Second Generation), Meteosat-9 της EUMETSAT (Ευρωπαϊκή Οργάνωση εκμετάλλευσης Μετεωρολογικών Δορυφόρων). Το κυριότερο όργανο των δορυφόρων MSG είναι ο απεικονιστής SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager), ο οποίος κατοπτεύει συνεχώς την περιοχή της Ευρώπης, του βορείου Ατλαντικού και της Αφρικής και στέλνει δεδομένα ανά 15 λεπτά σε 12 φασματικά κανάλια. Η χωρική διακριτική ικανότητα του είναι άκρως βελτιωμένη στο 1 Km για το κανάλι του ορατού υψηλής διακριτικότητας HRV (High Resolution Visible) και στα 3 Km για τα υπόλοιπα έντεκα φασματικά κανάλια.

Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι η ικανότητα του δορυφορικού ανιχνευτή να διακρίνει δύο αντικείμενα που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και ποσοτικά ισούται με την ελάχιστη απόσταση που μπορούν να έχουν δύο αντικείμενα, ώστε οι διαστάσεις τους να διακρίνονται χωριστά και καθαρά ή το ελάχιστο μέγεθος που πρέπει να έχει ένα αντικείμενο για να μπορεί να ανιχνευθεί (*Φείδας και Καρτάλης, 2003)*.

Για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής ελήφθησαν δορυφορικές εικόνες στα τρία βασικά κανάλια: α) στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), β) στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2).και γ) στο ορατό κανάλι υψηλής ευκρίνειας (High Resolution Visible) HRV. Τα τρία αυτά κανάλια θεωρούνται τα πιο βασικά για τη μελέτη και την ανάλυση της κατάστασης της

ατμόσφαιρας, μέσω των νεφικών σχηματισμών, της υγρασίας και της δομής των νεφών αυτής.

Παρακάτω περιγράφονται βασικά χαρακτηριστικά των τριών φασματικών καναλιών:

α. *Φασματικό κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8)*

Οι δορυφορικοί αισθητήρες στην περίπτωση αυτή μετρούν το σύνολο της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα. Καθώς η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, ουσιαστικά οι εικόνες στο υπέρυθρο περιγράφουν τη θερμοκρασία της κορυφής των νεφών ή της επιφάνειας της γης. Έτσι οι ψυχρότερες επιφάνειες εμφανίζονται με άσπρες ή ανοιχτές αποχρώσεις του γκρι (μετά την αναστροφή των χρωμάτων), ενώ οι θερμότερες με μαύρες ή σκούρες αποχρώσεις του γκρι.

Οι υψηλότερες κορυφές των νεφών, κατά συνέπεια και ψυχρότερες, εμφανίζονται με ανοιχτές αποχρώσεις και οι χαμηλότερες κορυφές με σκούρες αποχρώσεις. Η επιφάνεια της ξηράς και της θάλασσας, λόγω σημαντικής διαφοράς της θερμοχωρητικότητας των, θερμαίνονται και ψύχονται με διαφορετικό ρυθμό και έτσι εμφανίζουν συνήθως σημαντική αντίθεση (contrast) στη χρωματική κλίμακα του γκρι, η οποία εξαρτάται από την ώρα της ημέρας και την εποχή.

Στο κανάλι του υπερύθρου εύκολα διακρίνονται τα χαρακτηριστικά των νεφών ή άλλων επιφανειών όταν υπάρχει σημαντική θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ αυτών και του περιβάλλοντος και αντιστρόφως. π.χ. είναι δύσκολο να διακριθεί ένα χαμηλό νέφος (stratus) ή ομίχλη στο φάσμα του υπερύθρου, καθώς οι θερμοκρασίες τους είναι παρόμοιες με αυτές της επιφάνειας της γης. Το ίδιο συμβαίνει και σε περιοχές με χιονοκάλυψη, οι οποίες δεν είναι εύκολο να διακριθούν, διότι οι θερμοκρασίες αυτών είναι παρόμοιες με αυτές των νεφών ή ακόμη της γύρω περιοχής. Η άρση των περιορισμών αυτών επιτυγχάνεται με την σύγκριση των εικόνων στο υπέρυθρο κανάλι μιας περιοχής με τις αντίστοιχες εικόνες του ορατού φάσματος της ίδιας χρονικής στιγμής.

Τέλος η χρήση του θερμικού υπερύθρου (IR 10.8) επιλέγεται καθότι βρίσκεται στη φασματική περιοχή του θερμικού υπερύθρου που αντιστοιχεί στο «ατμοσφαιρικό

παράθυρο» (10-12 μm), όπου η θερμική υπέρυθρη ακτινοβολία κατά την διέλευσή της μέσα από την ατμόσφαιρα υφίσταται την ελάχιστη απορρόφηση. Ακόμη, στη φασματική περιοχή αυτή, η επιφάνεια της γης καθώς και τα πυκνά νέφη εκπέμπουν σχεδόν ως μέλανα σώματα.

β. Φασματικό κανάλι του ορατού (HRV)

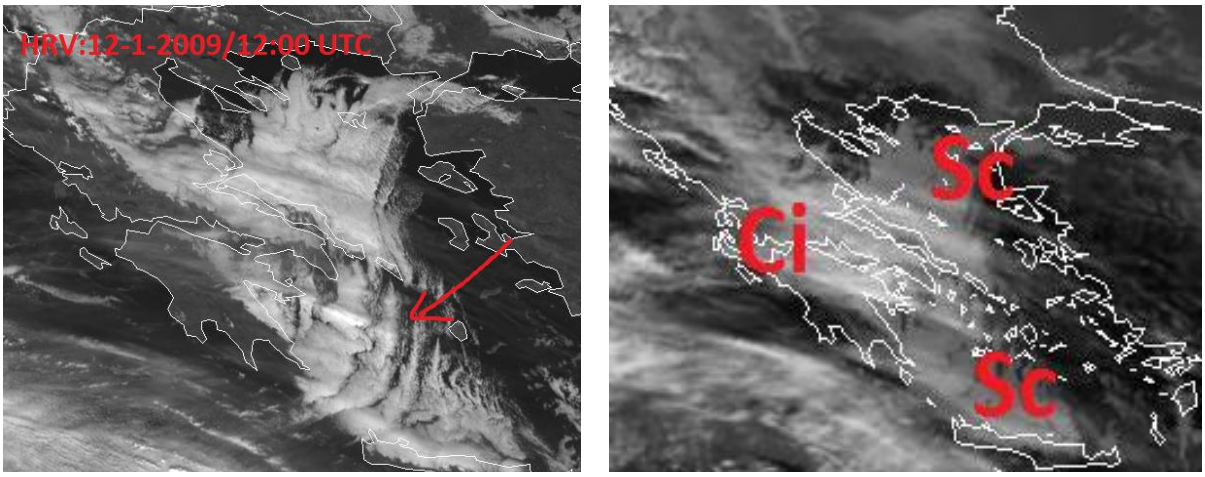
Στο κανάλι αυτό καταγράφεται η ηλιακή ακτινοβολία, με μήκη κύματος από 0.38 μm έως 0.72 μm, η οποία ανακλάται από την επιφάνεια της γης και σκεδάζεται από την ατμόσφαιρα. Μπορεί να θεωρηθεί ότι προσεγγίζει τη λευκάγεια (albedo) της γης. Περιοχές με μεγάλη λευκάγεια εμφανίζονται με λευκές αποχρώσεις του γκρι, ενώ αντίθετα περιοχές με μικρή λευκάγεια εμφανίζονται με σκούρες αποχρώσεις.

Τα νέφη εμφανίζουν μεγάλη ανακλαστικότητα όταν έχουν μεγάλο πάχος και μεγάλο περιεχόμενο σε νερό.π.χ.τα μετωπικά νέφη ή τα καταιγιδοφόρα νέφη. Επίσης το μικρό μέγεθος των υδροσταγόνων αυξάνει την ανακλαστικότητα, όπως π.χ. στα νέφη stratocumulus.

Η δορυφορική εικόνα στο κανάλι του ορατού παρέχει επίσης πληροφορίες για το πεδίο των ανέμων στα επιφανειακά στρώματα της ατμόσφαιρας. Έτσι σε περιοχές ενισχυμένων ανέμων τα χαμηλά νέφη εμφανίζονται υπό μορφή λωρίδων ή διαδρόμων (streets), σύμφωνα με τη διεύθυνση του ανέμου (Εικ.3.1.α)

Οι δορυφορικές εικόνες στο ορατό και υπέρυθρο κανάλι (Εικ.3.1.α και β αντίστοιχα), καλύπτουν τον ελλαδικό χώρο, την ίδια χρονική στιγμή και παρουσιάζουν τη νεφική κατάσταση, σύμφωνα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε καναλιού. Ειδικότερα τα νέφη στο ορατό κανάλι εμφανίζονται με πιο έντονες αποχρώσεις σε σχέση με το υπέρυθρο. Από τη σύγκριση των δύο εικόνων προκύπτει ότι τα νέφη αυτά είναι χαμηλά νέφη Stratocumulus (Sc), τα οποία συσχετίζονται με το βορειοανατολικό ρεύμα στην περιοχή του Αιγαίου. Επίσης στο υπέρυθρο κανάλι (Εικ.3.1.β) παρατηρούνται νέφη, τα οποία εμφανίζουν λευκές αποχρώσεις (ψυχρές κορυφές), άρα υψηλά, τα οποία δεν εμφανίζονται στο κανάλι του ορατού. Πρόκειται για αραιά υψηλά νέφη Cirrus, τα οποία είναι σχεδόν διαφανή στο ορατό φάσμα.

α) Ορατό (HRV) 12-1-09/12:00 UTC β) Υπέρυθρο (10.8) 12-1-09/12:00 UTC



*Εικόνα 3.1: α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του ορατού (*HRV*),στις 12-1-2009*/12:00 UTC, στην οποία διακρίνονται οι λωρίδες των νεφών, και *β) η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), στις 12-1-2009*/12:00 UTC, στην οποία εμφανίζονται τα νέφη Stratocumulus (Sc) και τα νέφη Cirrus(Ci). *(πηγή: Αρχείο δορυφορικών εικόνων του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Α.Π.Θ.).*

γ. Φασματικό κανάλι των υδρατμών (WV 6.2)

Στο κανάλι των υδρατμών καταγράφεται η ακτινοβολία στην περιοχή του φάσματος, όπου απορροφούν έντονα οι υδρατμοί. Για παράδειγμα ο δορυφόρος Meteosat καταγράφει την κατανομή υδρατμών κυρίως στην περιοχή από 5.7 έως 7.1 μm, όπου οι υδρατμοί παρουσιάζουν την μέγιστη απορρόφηση και κατά συνέπεια ακτινοβολούν έντονα.

Η ακτινοβολία που καταγράφεται στο κανάλι απορρόφησης των υδρατμών καθορίζεται από δύο παράγοντες: *το ολικό ποσό των υδρατμών της στήλης της ατμόσφαιρας και την κατακόρυφη κατανομή της* (*Φείδας και Καρτάλης, 2003)*.

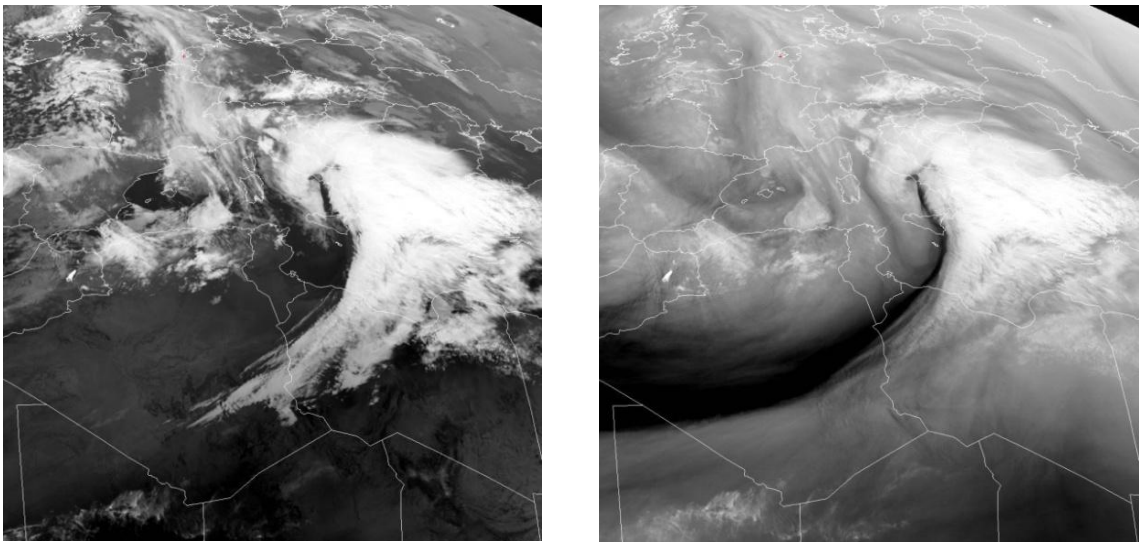
Μελέτες έχουν δείξει ότι η ακτινοβολία στο κανάλι των υδρατμών του Meteosat συχνά συσχετίζεται με το πεδίο της υγρασίας στο ατμοσφαιρικό στρώμα μεταξύ 600 και 300 hPa. Δεδομένου ότι η υγρασία στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας τροφοδοτείται από την επιφάνεια με ανοδικές κινήσεις, οι σκοτεινές ή οι ανοικτές αποχρώσεις στη δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών, αντιστοιχούν σε περιοχές

με καθοδικές ή ανοδικές κινήσεις αντίστοιχα, στη μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα (Santurette and Georgiev, 2005).

Τέλος οι δορυφορικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών βοηθούν στον εντοπισμό των αεροχειμάρρων. Επίσης ερμηνεύουν καλύτερα τις ατμοσφαιρικές διαδικασίες μεγάλης κλίμακας, οι οποίες συνδέονται με δυναμικά πεδία, όπως του απόλυτου ή δυναμικού στροβιλισμού.

Στην εικόνα 3.2 φαίνονται δύο δορυφορικές εικόνες της μετωπικής ύφεσης στις 5-3-2009/00:00 UTC. Η πρώτη (Εικ.3.2.α) είναι στο κανάλι του υπερύθρου *(IR 10.8)*, στην οποία διακρίνονται οι νεφικοί σχηματισμοί και οι έντονες λευκές αποχρώσεις που σχετίζονται με τις ψυχρές κορυφές των νεφών. Η δεύτερη εικόνα (Εικ.3.2.β) είναι στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2), και περιγράφει την κατανομή της υγρασίας στη μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα.

α) β)



Εικόνα 3.2: α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8),στις 5-3-2009/00:00 UTC, *β) δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2), στις 5-3-2009*/00:00 UTC *(πηγή: Αρχείο δορυφορικών εικόνων του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Α.Π.Θ.).*

3.1.2 Συνοπτικά δεδομένα

Για τη μελέτη της συνοπτικής κατάστασης της ατμόσφαιρας χρησιμοποιήθηκαν, ανά 6ωρο, συνοπτικοί χάρτες επιφανείας καθώς και χάρτες ανώτερης ατμόσφαιρας των 850 hPa, των 500 hPa, και των 300 hPa. Πηγή των χαρτών αυτών είναι το αρχείο του Metoffice (http://www2.wetter3.de/Archiv/ και (http://www2.wetter3.de/), αντίστοιχα.

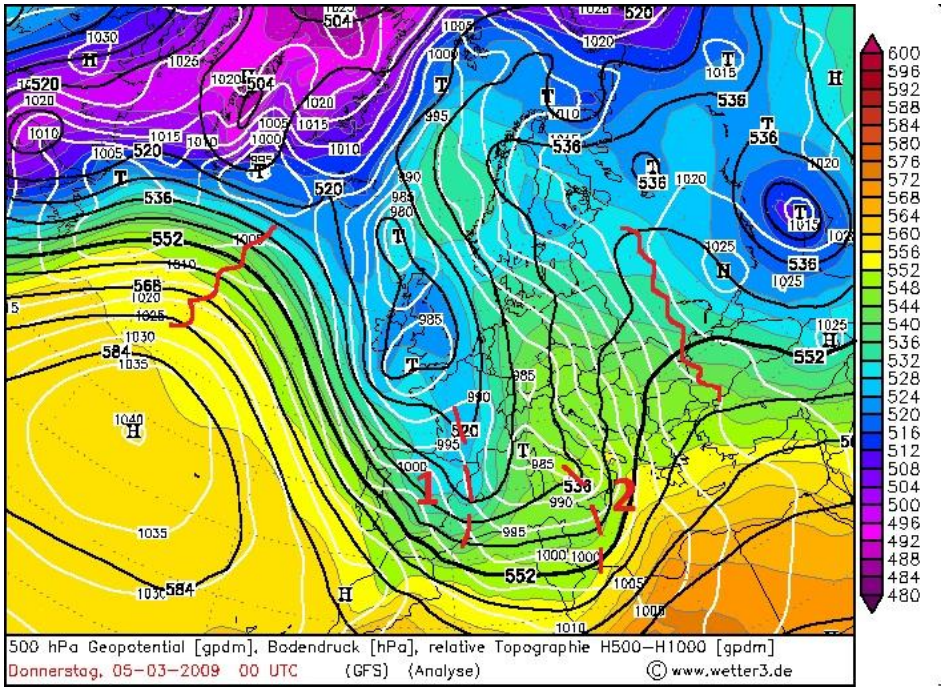
Παρακάτω αναφέρονται τα γενικά χαρακτηριστικά των συνοπτικών χαρτών.

α. Χάρτης ισοϋψών στο επίπεδο των 500 hPa.

Ο χάρτης αυτός περιγράφει την κατάσταση της ατμόσφαιρας στο επίπεδο των 500 hPa, το οποίο θεωρείται ότι έχει σχεδόν μηδενική απόκλιση. Οι ισοϋψείς είναι χαραγμένες ανά 80 γεωδυναμικά μέτρα, με βασική καμπύλη την 552, η οποία αντιστοιχεί στα 5520 γεωδυναμικά μέτρα. Οι αυλώνες (διακεκομμένες κόκκινες γραμμές) και οι εξάρσεις (συνεχείς τεθλασμένες κόκκινες γραμμές) συνδέονται με τα χαμηλά και τα υψηλά γεωδυναμικά ύψη αντίστοιχα, που παρουσιάζει η επιφάνεια των 500 hPa. Παράδειγμα στον χάρτη της Εικ.3.3 σημειώνεται ένας κύριος αυλώνας (1) στη δυτική Ευρώπη και ένας δευτερεύων (2) στα νοτιοδυτικά της Ιταλίας.

Με τη χρωματική κλίμακα του χάρτη εμφανίζονται οι ισοπαχείς μεταξύ των επιφανειών των 500 hPa και 1000 hPa, οι οποίες μετρώνται σε γεωδυναμικά μέτρα. Η απόσταση Δz μεταξύ δύο ισοβαρικών επιφανειών είναι ανάλογη της μέσης θερμοκρασίας του στρώματος του αέρα μεταξύ τους. Έχει υπολογιστεί (με την εφαρμογή της υδροστατικής εξίσωσης για τις δύο επιφάνειας των 1000 hPa και 500 hPa αντίστοιχα), ότι αν η μέση θερμοκρασία του αερίου στρώματος αυξηθεί κατά 1^0 C, το πάχος του αυξάνεται κατά 20 μέτρα περίπου.

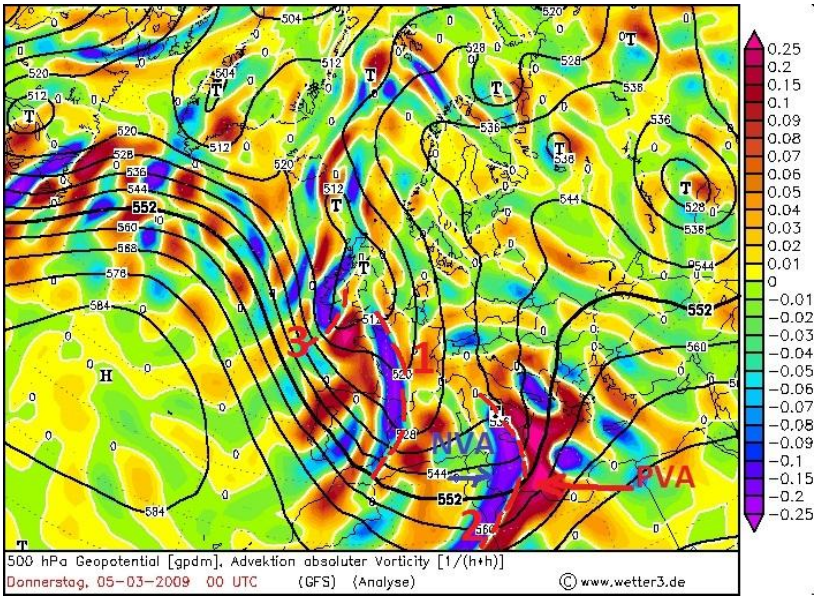
Οι άσπρες καμπύλες είναι ισοβαρείς (σε hPa), αναφέρονται στην κατανομή της βαρομετρικής πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας και σε συνδυασμό με τις ισοϋψείς παρέχουν πληροφορίες για τη σχετική θέση των κέντρων (χαμηλών ή υψηλών) της επιφάνειας και της ανώτερης ατμόσφαιρας(Εικ.3.3).



Εικόνα 3.3: Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa στις 5-3-2009/00:00 UTC. Οι μαύρες συνεχείς καμπύλες είναι οι ισοϋψείς (gpdm). Οι άσπρες συνεχείς καμπύλες είναι ισοβαρείς (hPa) και περιγράφουν την κατάσταση της βαρομετρικής πίεσης στην μέση στάθμη της θάλασσας. Σύμφωνα με τη χρωματική κλίμακα του χάρτη περιγράφονται οι ισοπαχείς (gpdm) μεταξύ των επιφανειών των 500 hPa και 1000 hPa.

β. Χάρτης μεταφοράς στροβιλισμού στο επίπεδο των 500 hPa.

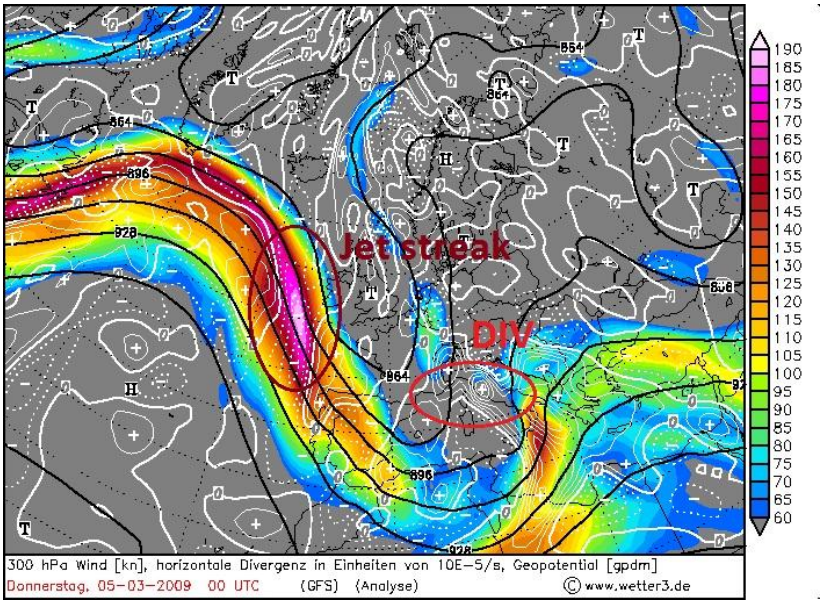
Ο στροβιλισμός είναι μια σημαντική παράμετρος στην δυναμική των ρευστών και αποτελεί στην ουσία ένα μέτρο της περιστροφής του ρευστού. Στην ατμόσφαιρα ο στροβιλισμός συνδέεται άμεσα με τις κατακόρυφες κινήσεις. Θετικές τιμές του στροβιλισμού σημαίνουν κυκλωνική περιστροφή, αντίθετα αρνητικές τιμές οδηγούν σε αντικυκλωνική περιστροφή. Στο επίπεδο των 500 hPa (ή στα 300 hPa), υπολογίζεται η μεταφορά στροβιλισμού και όπως φαίνεται στην εικόνα 3.4 οι περιοχές μπροστά από αυλώνες χαρακτηρίζονται από θετική μεταφορά στροβιλισμού, ενώ οι περιοχές πίσω από αυλώνες παρουσιάζουν αρνητική μεταφορά στροβιλισμού.



*Εικόνα 3.4: Χάρτης μεταφοράς στροβιλισμού των 500 hPa στις 5-3-2009/00:00 UTC. Οι μαύρες συνεχείς καμπύλες είναι ισοϋψείς (gpdm). Η χρωματική κλίμακα αντιστοιχεί στη μεταφορά απόλυτου στροβιλισμού (1/h*h). Ειδικότερα οι καφέ αποχρώσεις περιγράφουν τη θετική μεταφορά στροβιλισμού (Positive Vorticity Advection) PVA, ενώ αντίστοιχα οι αποχρώσεις του μπλε την αρνητική μεταφορά στροβιλισμού (Negative Vorticity Advection) NVA.*

γ. Χάρτης στο επίπεδο των 300 hPa.

Ο χάρτης αυτός είναι αντιπροσωπευτικός για το εντοπισμό του αεροχειμάρρου (Jet Stream), καθώς το ύψος της επιφάνειας των 300 hPa ανέρχεται περίπου στα 9000m. Η ένταση του αεροχειμάρρου υπολογίζεται σύμφωνα με την χρωματική κλίμακα, η οποία ξεκινά από 60 Kn και πάνω. Jet streak εμφανίζεται στις περιοχές όπου ο άνεμος παρουσιάζει τις μεγαλύτερες εντάσεις (Εικ.3.5). Οι μαύρες συνεχείς γραμμές αντιστοιχούν στις ισοϋψείς (gpdm) της επιφάνειας των 300 hPa. Οι συνεχείς άσπρες καμπύλες σχετίζονται με τις αποκλίσεις των αερίων μαζών στην ανώτερη ατμόσφαιρα, ενώ αντίστοιχα οι λευκές διακεκομμένες καμπύλες με τις συγκλίσεις των αερίων μαζών αντίστοιχα.



Εικόνα 3.5: Χάρτης των 300 hPa στις 5-3-2009/00:00 UTC. Οι μαύρες συνεχείς καμπύλες είναι ισοϋψείς (gpdm). Η ένταση του ανέμου στον αεροχείμαρρο εμφανίζεται σύμφωνα με την χρωματική κλίμακα του χάρτη ανά 5 Kn και για εντάσεις πάνω από τους 60 Kn. Οι συνεχείς άσπρες καμπύλες αντιστοιχούν σε απόκλιση (divergence) (10 E-5/s), ενώ οι διακεκομμένες άσπρες καμπύλες σε σύγκλιση Convergence. (10 E-5/s).

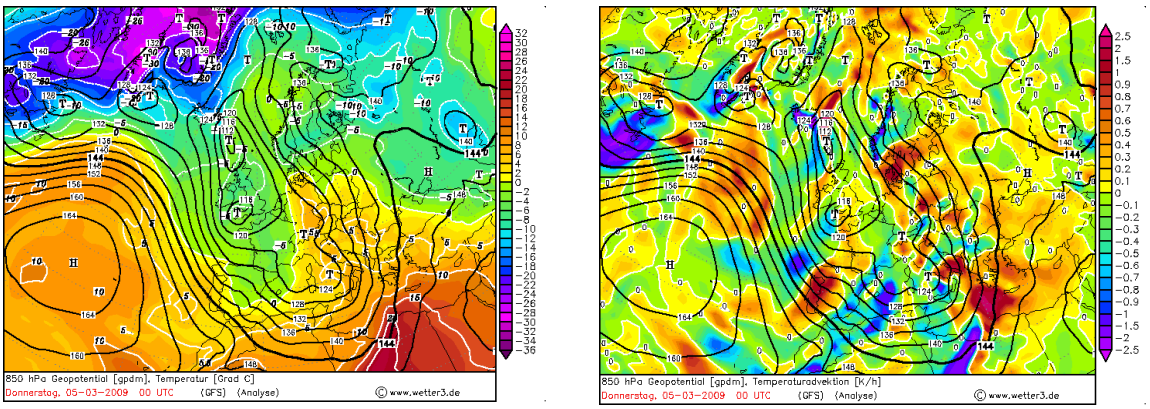
δ. Χάρτες στο επίπεδο των 850 hPa.

Οι χάρτες των 850 hPa είναι αντιπροσωπευτικοί για την κατανομή της θερμοκρασίας καθώς και τη μεταφορά θερμότητας κατά την οριζόντια έννοια (temperature advection) στο επίπεδο αυτό. Στον χάρτη (Εικ.3.6.α) εμφανίζονται οι ισοϋψείς (μαύρες συνεχείς καμπύλες), ανά 40 γεωδυναμικά μέτρα με βασική την ισοϋψή των 1440 γεωδυναμικών μέτρων (ισοϋψής 144). Οι ισόθερμες (άσπρες συνεχείς καμπύλες) εμφανίζονται ανά 5^0 *C*. Επίσης, σύμφωνα με τη χρωματική κλίμακα του χάρτη οι θετικές θερμοκρασίες εμφανίζονται ανά 2^0 *C* με αποχρώσεις του καφέ-κίτρινου, ενώ οι αρνητικές θερμοκρασίες εμφανίζονται με αποχρώσεις του μπλε-πράσινου.

Οι ψυχροί και οι θερμοί τομείς που παρατηρούνται στο χάρτη, καθώς και οι θερμοβαθμίδες που δημιουργούνται βοηθούν στον εντοπισμό των μετωπικών επιφανειών (επιφάνειες ασυνέχειας) και την τοποθέτηση των μετώπων στον χάρτη επιφανείας.

Στον χάρτη των θερμικών μεταφορών (Εικ.3.6.β) , φαίνονται ξανά οι ισοϋψείς (μαύρες καμπύλες), ενώ οι θερμές μεταφορές εμφανίζονται χρωματικά (σε ^{0}K/h) με τις αποχρώσεις του καφέ και αντίστοιχα οι ψυχρές μεταφορές εμφανίζονται με αποχρώσεις του μπλε.

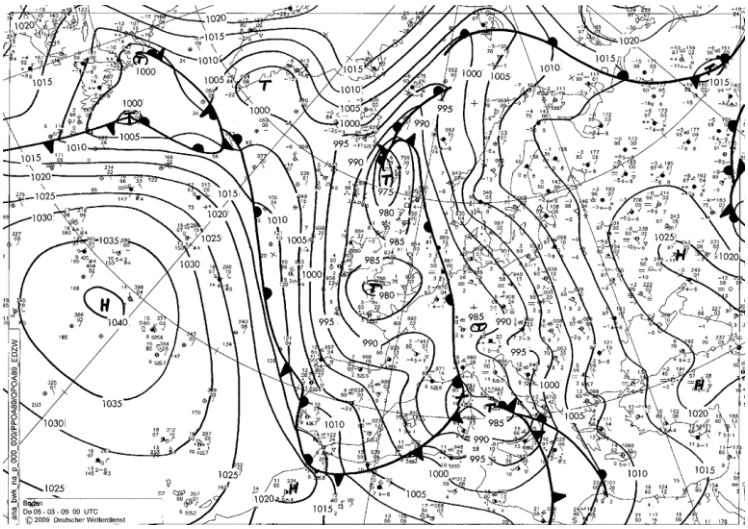
α) β)



Εικόνα 3.6: α) Χάρτης των 850 hPa στις 5-3-2009/00:00 UTC. Οι μαύρες συνεχείς καμπύλες είναι ισοϋψείς, ανά 40 γεωδυναμικά μέτρα. Οι λευκές συνεχείς καμπύλες είναι ισόθερμες, ανά 5^0 C, ενώ η χρωματική κλίμακα αναφέρεται σε περιοχές ίδιας θερμοκρασίας, ανά 2^0 C. β) Χάρτης των 850 hPa, στον οποίο απεικονίζονται οι θερμές μεταφορές (αποχρώσεις του καφέ), καθώς και οι ψυχρές μεταφορές (αποχρώσεις του μπλε) σε ^{0}K/h.

ε. Χάρτης επιφανείας

Στον χάρτη επιφανείας διακρίνονται οι θέσεις των κέντρων των χαμηλών και υψηλών πιέσεων στη μέση στάθμη της θάλασσας. Στον συγκεκριμένο χάρτη (Εικ.3.7) οι ισοβαρείς καμπύλες (μαύρες γραμμές) χαράσσονται ανά 5 hPa. Ο χάρτης επιφανείας είναι ένας σημαντικός χάρτης καθώς βασίζεται στα στοιχεία των συνοπτικών σταθμών επιφανείας και περιγράφει την πραγματική καιρική κατάσταση των περιοχών που καλύπτει. Εντοπίζονται οι θέσεις των αντικυκλώνων και των υφέσεων καθώς και οι θέσεις των μετώπων (ψυχρών, θερμών και συνεσφιγμένων ή και στάσιμων), ενώ η εκάστοτε βαροβαθμίδα μας δίνει σημαντικές πληροφορίες κυρίως για τους επιφανειακούς ανέμους καθώς για άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους (π.χ. υγρασία, θερμοκρασία κ.λ.π.), που αναφέρονται στα επιφανειακά στρώματα της ατμόσφαιρας.



Εικόνα 3.7: Χάρτης επιφανείας στις 5-3-2009/00:00 UTC. Στον χάρτη εμφανίζονται τα κέντρα των χαμηλών και υψηλών πιέσεων, οι ισοβαρείς (μαύρες καμπύλες) (hPa), καθώς και η θέση των μετωπικών δραστηριοτήτων.

3.2. Επεξεργασία δεδομένων και μεθοδολογία

3.2.1 Επεξεργασία δεδομένων

Αρχικά εντοπίστηκαν χρονικά οι μετωπικές υφέσεις (κατά την υποκειμενική έννοια) της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου, οι οποίες έλαβαν χώρα κατά τη χρονική διάρκεια από τον Οκτώβριο 2008 έως και τον Απρίλιο 2009 και επηρέασαν και την περιοχή της Ελλάδος. Η διαδικασία αυτή υλοποιήθηκε με την μελέτη των συνοπτικών χαρτών επιφανείας (οι οποίοι εκδίδονται ανά 6ωρο) και αντιστοιχούν στο παραπάνω χρονικό διάστημα.

Η διάρκεια μιας μετωπικής ύφεσης θεωρείται ότι ξεκινά από το πρόδρομο στάδιο αυτής (δηλ. πριν ακόμη αρχίσει η δημιουργία της) και φτάνει μέχρι το στάδιο της διάλυσής της. Έτσι η διάρκεια των υφέσεων που παρατηρήθηκαν ήταν από μία ημέρα έως και 3-4 ημέρες. Επίσης μια συγκεκριμένη ημέρα μπορεί να αναφέρεται στη διάλυση μιας ύφεσης αλλά ταυτόχρονα και στην αρχή μιας επόμενης καινούργιας ύφεσης.

Το επόμενο βήμα ήταν η λήψη δορυφορικών δεδομένων για τις αντίστοιχες ημέρες, οι οποίες ανέρχονται τελικώς στις 109 ημέρες. Τα δορυφορικά δεδομένα ελήφθησαν από το

αρχείο δεδομένων EUMETCAST του δορυφορικού σταθμού του τομέα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, ΑΠΘ, το οποίο είναι σε μορφή HRIT (High Rate Information Transmission) και LRIT (Low Rate Information Transmission).

Για την οπτικοποίηση και στη συνέχεια την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό XRIT2PIC (2008). Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που χειρίζεται XRIT/LRIT/AVHRR δεδομένα τα οποία μεταδίδονται από τη Eumetsat, μέσω δορυφόρου ή διαδικτύου. Η δορυφορική εικόνα μπορεί να εμφανιστεί άμεσα, καθώς η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται με τη χρήση απευθείας των ακατέργαστων αρχείων (raw), χωρίς την δημιουργία ενδιάμεσων αρχείων.

Τα πρωτογενή δορυφορικά δεδομένα παρέχονται ανά 15΄, για την παρούσα όμως διατριβή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ανά μία ώρα. Η χρήση του προγράμματος XRIT2PIC παρέχει τη δυνατότητα μελέτης των δορυφορικών δεδομένων είτε με τη μορφή μεμονωμένων εικόνων, είτε με τη μορφή βίντεο. Έτσι δημιουργήθηκαν ταινίες (animation) ανά 24ωρο για το κανάλι του υπερύθρου και το κανάλι των υδρατμών. Για το κανάλι του ορατού δεν δημιουργήθηκαν ταινίες, καθώς οι εικόνες του ορατού υπάρχουν μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιήθηκαν μεμονωμένες δορυφορικές εικόνες του ορατού (HRV), κυρίως των μεσημβρινών ωρών.

Για την ένωση των ημερήσιων ταινιών (animation) χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα VirtualDub.1.10.4, έτσι ώστε για κάθε ύφεση να υπάρχει μια ολοκληρωμένη ταινία, διευκολύνοντας έτσι τη μελέτη των συνοπτικών συστημάτων (εν προκειμένω των μετωπικών υφέσεων).

Οι συνοπτικοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτοί που αναφέρονται στην παραπάνω παράγραφο (3.1.2), οι οποίοι μελετήθηκαν ανά 6ωρο για τις αντίστοιχες ημέρες των μετωπικών υφέσεων. Ο κάθε χάρτης δίνει πληροφορίες για ξεχωριστές μετεωρολογικές παραμέτρους.

Για τις ανάγκες της διατριβής η μελέτη των υφέσεων έλαβε χώρα με τη χρήση ταυτόχρονων συνοπτικών χαρτών σε συνδυασμό και με τις αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες. Τελικός στόχος της εργασίας αυτής ήταν η κατηγοριοποίηση των μετωπικών

υφέσεων, δηλαδή η εύρεση κοινών χαρακτηριστικών των υφέσεων, τόσο στα δορυφορικά δεδομένα όσο και στα συνοπτικά.

3.2.2. Μεθοδολογία

Για την μελέτη των μετωπικών υφέσεων και την ταξινόμηση αυτών ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Αρχικά η κάθε μετωπική ύφεση μελετάται μέσα από το φασματικό κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). Οι δορυφορικές εικόνες είναι ανά μία ώρα και χρησιμοποιείται επίσης και η διαδοχική κίνηση αυτών (animation). Ο στόχος σε αυτό το στάδιο είναι η καταγραφή των νεφικών προτύπων (cloud patterns), όπως το σχήμα και η μορφή των νεφικών σχηματισμών, αλλά και η κίνηση αυτών. Επίσης συλλέγονται πληροφορίες για το είδος των νεφών (στρατόμορφα ή σωρειτόμορφα), το ύψος (μεσαία ή υψηλά), το μέγεθος, η διάταξη των νεφών μεταξύ τους κ.λ.π.

Αντίστοιχη μελέτη ακολουθεί και με τις δορυφορικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών, όπου εντοπίζονται η θέση του αεροχειμάρρου, οι ζώνες ψυχρής ή θερμής μεταφοράς, το κέντρο του χαμηλού κ.λ.π. Στη συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση της μετωπικής ύφεσης μέσω των χαρακτηριστικών της στο κανάλι του ορατού φάσματος. Ο συνδυασμός και των τριών καναλιών παρέχει αντικειμενικότερη προσέγγιση όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των νεφών, αλλά και της θερμοδυναμικής κατάστασης της ατμόσφαιρας.

Στη συνέχεια γίνεται η μελέτη των συνοπτικών χαρακτηριστικών της μετωπικής ύφεσης και η συσχέτιση αυτών με τις αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες. Ειδικότερα μελετάται ο τύπος κυκλοφορίας της ανώτερης ατμόσφαιρας, η θέση των αυλώνων, η θέση του αεροχειμάρρου, οι περιοχές απόκλισης κ.λ.π. και πώς οι παράμετροι αυτές συντελούν στην δημιουργία κυκλογέννεσης.

Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των υφέσεων μεταξύ τους και ταξινόμηση αυτών σε κατηγορίες με βάση τα κοινά χαρακτηριστικά στα δορυφορικά και συνοπτικά δεδομένα. Τα κοινά γενικά χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας καταγράφονται σε τρία βασικά στάδια της ζωής των μετωπικών υφέσεων που είναι: το αρχικό στάδιο, το στάδιο ανάπτυξης και το στάδιο ωρίμανσης. (περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφ.4, παρ.4.1).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των χαρακτηριστικών των μετωπικών υφέσεων, που έλαβαν χώρα στην περιοχή της Μεσογείου και επηρέασαν την Ελλάδα, κατά τη χρονική περίοδο από τον Οκτώβριο 2008 έως τον Απρίλιο 2009, με βασικό κριτήριο τη φωτοερμηνεία των αντίστοιχων εικόνων του μετεωρολογικού δορυφόρου Meteosat Second Generation (MSG). Επίσης παρουσιάζεται αναλυτικά η ταξινόμηση των εν λόγω υφέσεων, η οποία πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τα βάση τα δορυφορικά και συνοπτικά χαρακτηριστικά αυτών.

Μελετήθηκαν συνολικά τριάντα δύο (32) μετωπικές υφέσεις διαφορετικού κύκλου ζωής και διαφορετικών χαρακτηριστικών. Θα μπορούσε η κάθε μία από αυτές να αντιμετωπιστεί ως μια μοναδική περίπτωση. Ωστόσο επιχειρήθηκε στα πλαίσια αυτής της μελέτης να γίνει μια τυποποίηση ή διαφορετικά μια ταξινόμηση, βασισμένη στα χαρακτηριστικά των νεφών και της γενικής κυκλοφορίας της ανώτερης ατμόσφαιρας.

Η τυποποίηση εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό, από τη γεωγραφική περιοχή που ερευνάται, καθώς η μορφολογία και το γεωγραφικό πλάτος και μήκος συνδέονται άμεσα με την κυκλοφορία στην ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια και με τους νεφικούς σχηματισμούς.

Η περιοχή της Μεσογείου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της γεωγραφικής της θέσης και της ποικίλης μορφολογίας που τη διακρίνει. Πέραν των κυκλογεννέσεων που δημιουργούνται μέσα στην ίδια τη Μεσόγειο, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι υφέσεις που προέρχονται από τον Ατλαντικό ωκεανό καθώς επίσης και αυτές που γεννιούνται στην βόρεια Αφρική.

Η μορφή των νεφικών συστημάτων καθώς και η περαιτέρω ανάπτυξη αυτών σχετίζεται βεβαίως με την ανώτερη κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, μπορεί δε να παρέχει χρήσιμες ενδείξεις στον μετεωρολόγο αναφορικά με:

- τη δυνατότητα πρόβλεψης μιας κυκλογέννεσης σε σχετικά πρώιμο στάδιο
- τον πιθανό προσδιορισμό των περιοχών που θα επηρεάσει και ενδεχομένως το κέντρο της ύφεσης
- την πιθανή τροχιά της ύφεσης μέσω διαδοχικών δορυφορικών εικόνων.

Η μελέτη των υφέσεων έγινε από την αρχή της δημιουργίας τους μέχρι τη διάλυσή τους, διακρίνοντας τρία βασικά στάδια:

❖ *Το αρχικό ή πρόδρομο στάδιο (procursor)*

Το στάδιο αυτό αναφέρεται στη χρονική περίοδο πριν αρχίσει η διαδικασία ανάπτυξης μιας ύφεσης. Η εμφάνιση κάποιων ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τόσο στα συνοπτικά όσο και στα δορυφορικά δεδομένα μπορεί να αποτελέσουν ενδείξεις επικείμενης κυκλογέννεσης, γεγονός το οποίο αποκτά ιδιαίτερη σημασία στην πρόγνωση.

Η εμφάνιση π.χ. στις δορυφορικές εικόνες ενός νέφους τύπου φύλλου οδηγεί τις περισσότερες φορές στην δημιουργία κυκλωνικού συστήματος.

Η χρονική διάρκεια του αρχικού σταδίου ποικίλει και εξαρτάται από την συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας. Σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρείται ότι το σχήμα των νεφών στο αρχικό αυτό στάδιο μπορεί να διατηρείται ίδιο για αρκετό χρονικό διάστημα και πιθανόν και πάνω από μια ημέρα, καθώς τα νέφη κινούνται σύμφωνα με την ισχυρή ανώτερη ροή. Ωστόσο μια διαταραχή μικρού μήκους κύματος της ανώτερης ατμόσφαιρας, σε μια ορισμένη περιοχή αρκεί για να πυροδοτήσει την δημιουργία κυκλογέννεσης.

Οι κυριότερες νεφικές μάζες που μπορεί να εμφανιστούν στο πρόδρομο στάδιο μιας κυκλογέννεσης είναι:

1) Η νεφική μετωπική μάζα (Frontal cloud band) F.

2) Τα ενισχυόμενα σωρειτόμορφα νέφη (Cumulus) Cu ή νέφη τύπου κόμματος (Enhanced Cu or comma) C.

Τα νέφη F δημιουργούνται σε περιοχές ασυνέχειας, όπως αυτές του πολικού μετώπου, αλλά μπορούν και να είναι νέφη μετωπικής επιφάνειας που προκύπτει από μια μετωπική ύφεση στο στάδιο διάλυσης της.

Τα νέφη C εμφανίζονται στον ψυχρό τομέα μιας μετωπικής ζώνης και μπορεί να παίξουν σημαντικό ρόλο στην δημιουργία κυκλογέννεσης.

Η εμφάνιση καθώς και η πιθανή αλληλεπίδραση αυτών των κύριων νεφικών μαζών (F και C) οδηγούν στην δημιουργία κυκλογεννέσεων, που μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες.

- *Το στάδιο της ανάπτυξης (developing stage)*

Στο στάδιο αυτό συντελούνται όλες οι διαδικασίες που οδηγούν στην δημιουργία μιας ύφεσης. Η διάρκεια της ανάπτυξης καθώς και η ένταση κάθε ύφεσης είναι διαφορετική και εξαρτάται από την γενική κατάσταση στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Στις δορυφορικές εικόνες γενικά παρατηρείται διεύρυνση και ενίσχυση των νεφικών μαζών. Επίσης, εμφανίζονται καινούργια νέφη, που σχετίζονται με θερμές ή ψυχρές ζώνες μεταφοράς. Γενικά το σχήμα των νεφών τείνει να πάρει το σχήμα ανεπτυγμένου κόμματος.

Στα συνοπτικά χαρακτηριστικά παρατηρείται:

Πτώση της πίεσης στο κέντρο του χαμηλού στην επιφάνεια, η οποία οφείλεται στις διαδικασίες της σύγκλισης και απόκλισης των αερίων μαζών στην κατώτερη και ανώτερη ατμόσφαιρα, αντίστοιχα.

Ο σχηματισμός των μετωπικών επιφανειών, καθώς θερμές και υγρές αέριες μάζες εισέρχονται σε περιοχές ψυχρού αέρα.

Αύξηση των τιμών του στροβιλισμού και της θετικής μεταφοράς του στροβιλισμού.

- *Το στάδιο της ωρίμανσης και διάλυσης (maturing stage).*

Το στάδιο αυτό αποτελεί το τελευταίο στάδιο μιας μετωπικής ύφεσης. Η ύφεση έχει φτάσει στο μέγιστο σημείο της ανάπτυξης της, η πίεση στο κέντρο του χαμηλού αποκτά την μικρότερη τιμή ενώ σταδιακά αρχίζει να αυξάνει.

Το σχήμα των νεφών παίρνει τη μορφή ενός στροβίλου (vortex) στις περισσότερες των περιπτώσεων.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται αναλυτικά οι πέντε (5) βασικές κατηγορίες που προέκυψαν από την ταξινόμηση των μετωπικών υφέσεων της ανατολικής

Μεσογείου και οι οποίες επηρέασαν τη χώρα μας κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου 2008-09.

Αρχικά αναφέρονται τα γενικά χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας σε τρία βασικά χρονικά στάδια της ζωής μιας ύφεσης.

Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση μιας μετωπικής ύφεσης που ανήκει στην αντίστοιχη κατηγορία και η οποία αντιπροσωπεύει την πιο χαρακτηριστική περίπτωση. Η ανάλυση γίνεται με βάση τις δορυφορικές εικόνες στα τρία δορυφορικά κανάλια: Υπέρυθρο (10.8μm), Υδρατμών (06.2μm) και στο ορατό (HRV), καθώς και τους συνοπτικούς χάρτες.

Τέλος αναφέρονται οι υπόλοιπες μετωπικές υφέσεις που ταξινομούνται στην ίδια κατηγορία.

Τα ονόματα που δόθηκαν στις κατηγορίες, προήλθαν ή από κάποιο ιδιαίτερο γνώρισμα της συγκεκριμένης κατηγορίας ή από το όνομα κάποιας παρόμοιας κατηγορίας, που αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία, η οποία παρουσιάζει αντίστοιχα χαρακτηριστικά.

4.2. Μετωπικές υφέσεις «μεσημβρινού αυλώνα» (ανάπτυξη «βαροκλινικού φύλλου»).

Γενικά.

Η δημιουργία των υφέσεων αυτών αρχίζει με την εμφάνιση μιας νεφικής μάζας, γνωστή ως «βαροκλινικό φύλλο», το οποίο σταδιακά εξελίσσεται σε νέφος τύπου κόμματος. Οι μετωπικές υφέσεις της κατηγορίας αυτής ερμηνεύονται πολύ καλά και με την κλασσική θεωρία του νορβηγικού μοντέλου

Κυκλογεννέσεις που δημιουργούνται από την εξέλιξη μιας κύριας μετωπικής νεφικής μάζας (main frontal band) αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως «Meridional trough cyclogenesis» (Bader et al., 1995).

Τα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας που μελετάται και που αναφέρονται παρακάτω, παρουσιάζουν κοινά σημεία με αυτά της κατηγορίας «Meridional trough cyclogenesis» και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε και το αντίστοιχο όνομα.

Παρακάτω γίνεται μια περιγραφή των γενικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν οι υφέσεις αυτές κατά την διάρκεια της ζωής τους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται κάποια σχήματα καθώς και δορυφορικές εικόνες:

Τα σχήματα αναφέρονται στην συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας. Ειδικότερα, οι συνεχείς καμπύλες αντιστοιχούν σε ισοϋψείς στην επιφάνεια των 500 hPa. Τα βελάκια περιγράφουν την θέση του αεροχειμμάρου. Οι διακεκομμένες γραμμές αναφέρονται σε περιοχές αυλώνων (troughs), επίσης σημειώνονται τα μέτωπα όταν υπάρχουν. Οι περιοχές με γκρι χρώμα αντιπροσωπεύουν νεφικές μάζες (π.χ. Εικ.4.2.1).

Η δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) δίνει πληροφορίες για την κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα, ενώ η εικόνα στο υπέρυθρο (IR 10.8) αντίστοιχα, δίνει πληροφορίες για τους νεφικούς σχηματισμούς.

4.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων «μεσημβρινού αυλώνα».

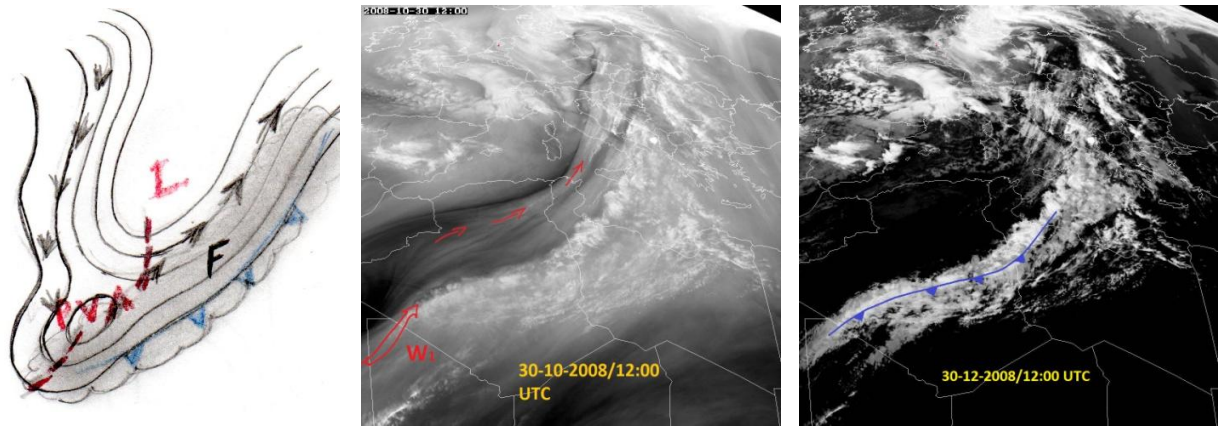
Α) ΑΡΧΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας

β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2)

γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.2.1: α) Η σχηματική παράσταση περιγράφει την μορφή των ισοϋψών στα 500 hPa, τη σχετική θέση του αεροχειμάρρου, της νεφικής μάζας F, καθώς επίσης και τη σχετική θέση του ψυχρού μετώπου στην επιφάνεια. β) Δορυφορική.εικόνα (WV 6.2), στις 30-10-08/12:00 UTC. γ) Δορυφορική εικόνα (IR 10.8), στις 30-10-08/12:00 UTC.

Στο αρχικό στάδιο, στην επιφάνεια των 500 hPa εμφανίζεται ένας βαθύς αυλώνας, ο οποίος καθιστά την κυκλοφορία μεσημβρινή. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι η εμφάνιση επίσης ενός δευτερεύοντα αυλώνα, ο οποίος βρίσκεται νότια-νοτιοδυτικά του κύριου αυλώνα, στην περιοχή του οποίου υπάρχει θετική μεταφορά στροβιλισμού (PVA) (Εικ. 4.2.1.α)).

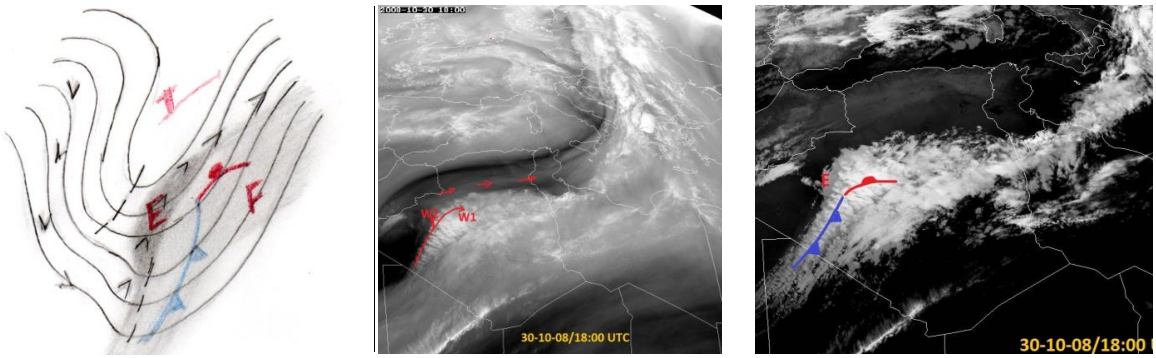
Η νεφική μάζα F (Frontal) βρίσκεται στα ανατολικά του κύριου αυλώνα της ανώτερης ατμόσφαιρας. Η μάζα αυτή σταδιακά παίρνει το σχήμα S (S-shape), ταυτόχρονα δε αρχίζει να διευρύνεται και να πλαταίνει, σχετίζεται δε με μια θερμή ζώνη μεταφοράς W_1. (Εικ. 4.2.1.β) Ο αεροχείμαρρος βρίσκεται στην πολική πλευρά της νέφωσης F (Εικόνα 4.2.1.α,και β).

Η νεφική μάζα F δημιουργείται κατά μήκος μιας μετωπικής επιφάνειας. Στην εικόνα 4.2.1.α,γ, φαίνεται η σχετική θέση του ψυχρού μετώπου.

Β) ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



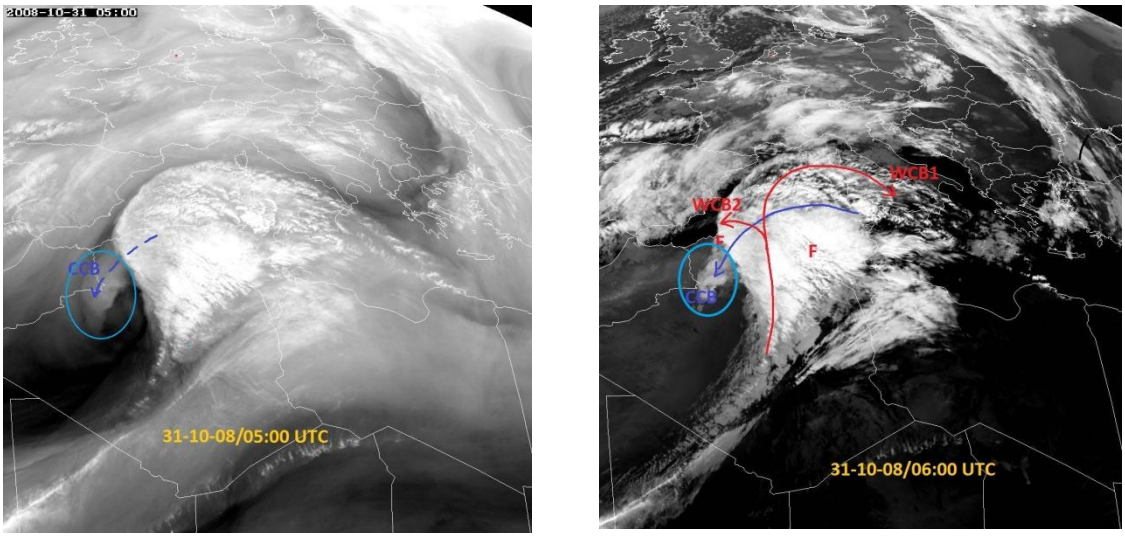
Εικόνα 4.2.2 *α) Η σχηματική παράσταση περιγράφει τις ισοϋψείς στα 500 hPa σε συνδυασμό με τις νεφικές μάζες E και F, τη μετωπική δραστηριότητα και τον αεροχείμαρρο. β) Δορυφορική.εικόνα (WV 6.2), στις 30-10-08/18:00 UTC. γ) Δορυφορική εικόνα (IR 10.8), στις 30-10-08/18:00 UTC.*

Στο στάδιο ανάπτυξης της κυκλονέννεσης, νέφη E (Emerged) αρχίζουν να αναδύονται κάτω από την αριστερή πλευρά της αρχικής νέφωσης (F). Κατά την εμφάνισή τους τα νέφη E είναι συνήθως θερμότερα από τα νέφη F, όπως προκύπτει από τις δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο, όπου εμφανίζονται με σκουρότερες αποχρώσεις του γκρι. (Εικόνα 4.2.2.γ) Σταδιακά όμως παίρνουν πιο φωτεινές αποχρώσεις καθώς αναπτύσσονται κατακόρυφα και οι κορυφές τους αρχίζουν να ψύχονται. Η εμφάνιση των νεφών E οφείλεται, σύμφωνα με τη θεωρία των ζωνών μεταφοράς, σε μια δευτερεύουσα ζώνη μεταφοράς (W2) (4.2.2.β).

Η εμφάνιση των νεφών E, απ**ο**τελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα μιας εξελισσόμενης κυκλογέννεσης. Ακόμη από τη στιγμή αυτή το χαμηλό στην επιφάνεια αρχίζει να βαθαίνει, ενώ εμφανίζονται και οι μετωπικές δραστηριότητες (ψυχρό και θερμό μέτωπο) (4.2.2.γ).

Σε κάποιες περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της ύφεσης παρατηρείται η εμφάνιση νεφών χαμηλού ύψους, τα οποία εμφανίζονται στην εικόνα του υπερύθρου με πιο σκούρες αποχρώσεις του γκρι (Εικ.4.2.3.β, περικλείονται στη γαλάζια κλειστή καμπύλη), και τα οποία συντελούν στην δημιουργία του «γάντζου» (Hook). Τα νέφη αυτά οφείλουν την εμφάνιση τους, σύμφωνα με την θεωρία των ζωνών μεταφοράς, σε μια ψυχρή ζώνη μεταφοράς, η οποία τοποθετείται κάτω από τις θερμές ζώνες μεταφοράς (Bader et al.,1995), (Εικ.4.2.3.α).

α) β)



Εικόνα 4.2.3: α) Δορυφορική εικόνα (WV 6.2) στις 31-10-08/05:00 UTC. Η μπλε διακεκομμένη καμπύλη περιγράφει την κατεύθυνση της ψυχρής ζώνης μεταφοράς ενώ η κλειστή γαλάζια καμπύλη περικλείει την υγρασία που αντιστοιχεί στα νέφη που προκύπτουν από την ψυχρή ζώνη μεταφοράς β) Δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο (IR 10.8), στις 31-10-08/06:00 όπου φαίνεται η σχετική θέση των ζωνών μεταφοράς. Με κόκκινο χρώμα οι θερμές και με μπλε χρώμα η ψυχρή ζώνη μεταφοράς αντίστοιχα.

Γενικά ο αέρας σε μια θερμή ζώνη μεταφοράς ανέρχεται, σχεδόν ισεντροπικά, καθώς ρέει από νότια προς βόρεια, ξεκινώντας από τα χαμηλά επίπεδα της ατμόσφαιρας και μπορεί να φτάσει και πάνω από το επίπεδο του αεροχειμάρρου. Περιστρέφεται αντικυκλωνικά προς τα κατάντη τμήματα της ροής, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις ένα τμήμα του ατμοσφαιρικού αέρα μπορεί να κινηθεί κυκλωνικά προς τα δυτικά πάνω από την ψυχρή

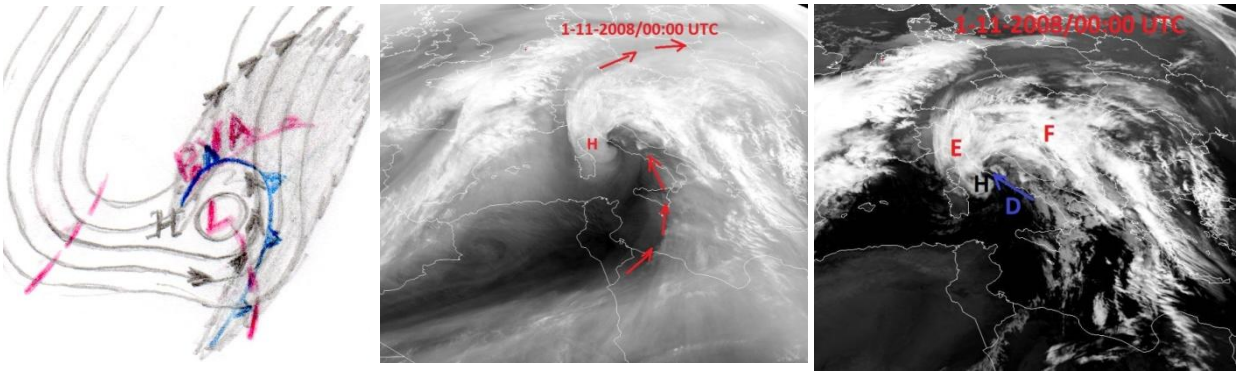
ζώνη μεταφοράς, σχηματίζοντας μια διαταραχή ψηλά στο θερμό τομέα (trough of warm air aloft) δημιουργώντας τη μορφή κόμματος (Djuric, 1994).

Ο αέρας στην ψυχρή ζώνη μεταφοράς, επίσης τείνει να ανέλθει καθώς ρέει από τα ανατολικά προς δυτικά ή από βορειοανατολικά προς νοτιοδυτικά κάτω από τη θερμή ζώνη μεταφοράς. Ξεκινά από τα χαμηλά επίπεδα της ατμόσφαιρας, αλλά δεν ανέρχεται σε υψηλά επίπεδα, όπως στη θερμή ζώνη μεταφοράς. (http://www.crh.noaa.gov/).

Γ) ΣΤΑΔΙΟ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.2.4: α) Σχηματική μορφή της ατμόσφαιρας στο στάδιο ωρίμανσης. Τα νέφη παίρνουν τη μορφή ενός γάντζου (H) και στην περιοχή αυτή υπάρχει θετική μεταφορά στροβιλισμού (PVA). β) Δορυφορική εικόνα (WV 6.2), στις 1-11-08/00:00 UTC, γ) Δορυφορική εικόνα (IR 10.8), στις 1-11-08/00:00 UTC.

Στο στάδιο ωρίμανσης, ψυχρός αέρας εισχωρεί προς το κέντρο της ύφεσης (στα μέσα και ανώτερα επίπεδα), συνέπεια του οποίου είναι η δημιουργία μιας ξηρής εγκοπής D (Dry slot), απουσία νεφών. (Εικόνα 4.2.4.γ).

Στη φάση αυτή το κέντρο του χαμηλού στην επιφάνεια κινείται προς την εσωτερική άκρη των νεφών E κάτω από τη ψυχρή εγκοπή, ενώ τα νέφη στο κέντρο του χαμηλού παίρνουν το σχήμα ενός γάντζου (Hook) (συμβολίζεται με H στην Εικόνα 4.2.4.).

Επίσης παρατηρείται διάσπαση στη συνέχεια του αεροχειμάρρου. Ακόμη η περιοχή κοντά στη περιοχή του «γάντζου» χαρακτηρίζεται από θετική μεταφορά στροβιλισμού (PVA). (Εικόνα 4.2.4.α).

4.2.2 Μετωπική ύφεση της 30ης - 31ης Οκτωβρίου 2008, και 1ης Νοεμβρίου 2008.

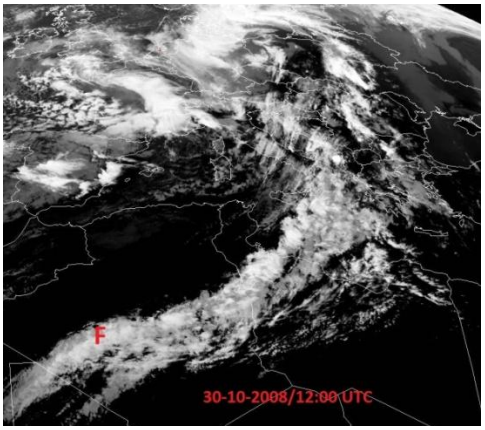
Η προέλευση της ύφεσης αυτής είναι η περιοχή της Σαχάρας (Εικ.4.2.5.α). Αρχή δημιουργίας της παραπάνω ύφεσης αποτελεί μια μακριά μετωπική ζώνη νεφών που ξεκινά από την κεντρική Μεσόγειο, τη θάλασσα των Σύρτεων και εκτείνεται στη βόρεια Αφρική. (4.2.5.α, στ). Στα νότια τμήματα της ζώνης αυτής δημιουργείται μία κύμανση (frontal wave), η οποία στη δορυφορική εικόνα αποτυπώνεται ως μία νέφωση σχήματος S και η οποία ενισχύεται καθώς περιστρέφεται κυκλωνικά. Η παραπάνω νέφωση αποτελεί ένδειξη ύπαρξης βαροκλινικής ζώνης στη περιοχή αυτή, αναφέρεται δε στη βιβλιογραφία ως «βαροκλινικό φύλλο» (baroclinic leaf).

Ο όρος «βαροκλινικό φύλλο» (baroclinic leaf) έχει εισαχθεί για τις κυμάνσεις αυτές που περιγράφουν νεφικούς σχηματισμούς στο υπέρυθρο και το ορατό φάσμα σε στάδια πριν την κυκλογέννεση. Τέτοια συστήματα συνδέονται με μια βαροκλινική ζώνη ή ένα ψυχρό μέτωπο (Santurette and Georgiev, 2005). Μελέτες έδειξαν ότι κυκλογεννέσεις λαμβάνουν χώρα κατά 75% στις περιπτώσεις εμφάνισης βαροκλινικού φύλλου (Bader at al., 1995).

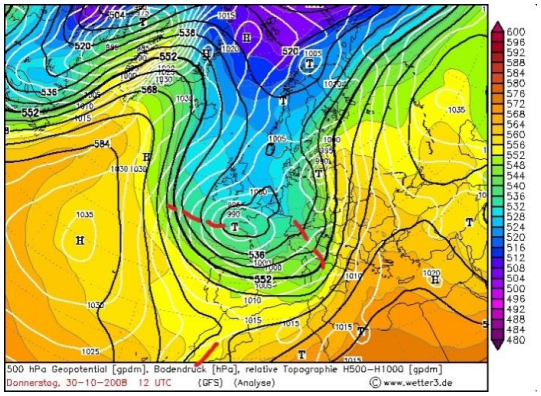
Στο χάρτη των 500 *hPa* (4.2.5.β) παρατηρείται ένας κύριος αυλώνας, μεσημβρινής συνιστώσας που καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της δυτικής Ευρώπης, ο οποίος εμφανίζει επιμέρους διαταραχές. Στην περιοχή της βορειοδυτικής Αφρικής (περιοχή Μαρόκου), εμφανίζεται ένας δευτερεύων αυλώνας, ο οποίος συνδέεται με την ανάπτυξη του βαροκλινικού φύλλου.

Στη δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) διακρίνεται η θέση του αεροχειμάρρου (σημειώνεται με κόκκινα βελάκια), στην πολική πλευρά και κατά μήκος της μετωπικής μάζας F. (Εικ. 4.2.5.γ). Στο χάρτη των 300 hPa (Εικ.4.2.5.δ) φαίνονται αντίστοιχα τα τμήματα του αεροχειμάρρου.

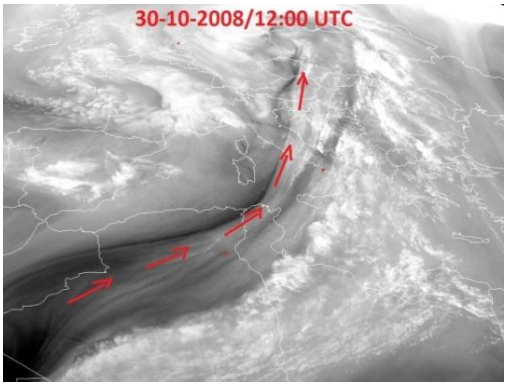
α)

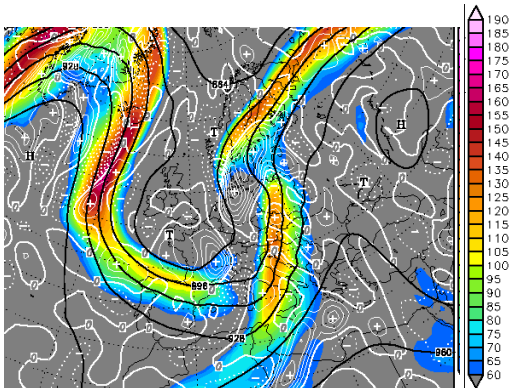


β)

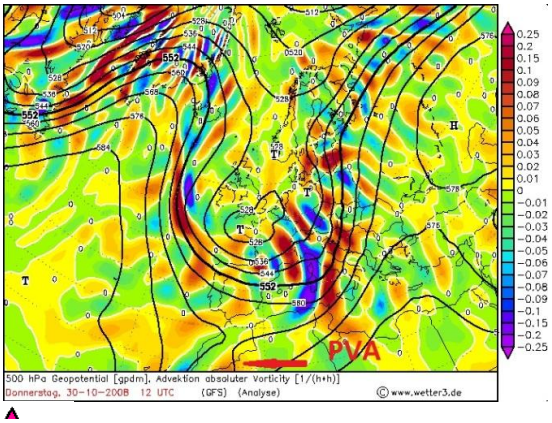


δ)

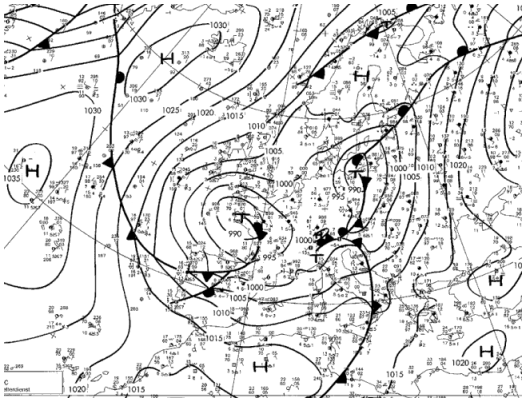




ε)



στ)



Εικόνα 4.2.5: Συνοπτικοί χάρτες και δορυφορικές εικόνες στις 30-10-2008/12:00 UTC: α) Δορυφορική εικόνα IR10.8, β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa, γ) Δορυφορική εικόνα WV 06.2, δ) Χάρτης ισοϋψών των 300 hPa. Στο χάρτη αυτό εμφανίζεται η θέση του αεροχειμάρρου, ενώ η ένταση του ανέμου, σύμφωνα με τη χρωματική κλίμακα (για εντάσεις μεγαλύτερες των 60 kt) αυξάνεται από τις μπλε αποχρώσεις στις καφέ αποχρώσεις, ε) Χάρτης μεταφοράς στροβιλισμού στα 500 hPa. Οι αποχρώσεις του μπλε αντιστοιχούν σε αρνητική μεταφορά στροβιλισμού (NVA) και οι αποχρώσεις του καφέ αντιστοιχούν σε θετική μεταφορά στροβιλισμού (PVA), στ) Χάρτης επιφανείας

Τέλος στον χάρτη μεταφοράς στροβιλισμού (Εικ.4.2.5.ε) οι περιοχές με θετική μεταφορά στροβιλισμού εμφανίζονται με καφέ χρώμα ενώ οι περιοχές με αρνητική μεταφορά στροβιλισμού με μπλε χρώμα. Η μέγιστη τιμή της μεταφοράς στροβιλισμού στο επίπεδο των 500 hPa, αποτελεί μια παράμετρο που συνδέεται απόλυτα με τυπικές μορφές νεφικών σχηματισμών, όπως την ανάπτυξη «νεφικού κυματισμού» (wave development), νέφη cumulus ή τύπου κόμματος που αναπτύσσονται στον ψυχρό τομέα, ταχεία κυκλογέννεση (rapid cyclogenesis), Jet streaks κ.λ.π. (http://www.zamg.ac.at/). Στην παρούσα περίπτωση κυκλογέννεσης η αρχόμενη αύξηση της θετικής μεταφοράς στροβιλισμού στην περιοχή του δευτερεύοντα αυλώνα (Εικ.4.2.5.ε, υπόδειξη με το κόκκινο βέλος), συσχετίζεται με την ανάπτυξη της νέφωσης «βαροκλινικού φύλλου».

Στο στάδιο της ανάπτυξης, το βαροκλινικό φύλλο, μετά από 18 ώρες, έχει διευρυνθεί και η αριστερή πλευρά του νέφους τύπου φύλλου (leaf cloud) παίρνει ξεκάθαρα τη μορφή του γράμματος S με ευδιάκριτα τα κυρτά και κοίλα τμήματα στο βόρειο και νότιο τμήμα του νέφους αντίστοιχα. Η ανατολική πλευρά του νέφους είναι ασαφής και τα νέφη εμφανίζουν ξέφτια, που οφείλονται στην ανώτερης ροή. (Εικ.4.2.6.α). Στην ίδια εικόνα τα νέφη στα νότια τμήματα (ουρά του νέφους) έχουν πιο σκούρο χρώμα, που σημαίνει ότι είναι πιο θερμά και άρα πιο χαμηλά.

Στην αριστερή πλευρά του νέφους (F) εμφανίζονται τα νέφη E, όπως φαίνονται στην εικόνα του υπερύθρου 10.8 μm (Εικ.4.2.6.α), τα οποία είναι πιο χαμηλά νέφη (σκουρότερη απόχρωση του γκρι) από τα νέφη F. Η εμφάνιση των νεφών E αποτελεί ένα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας και αποτελεί ένδειξη ότι η κυκλογέννεση είναι σε εξέλιξη. Τα νέφη E συνδέονται με τον δευτερεύοντα αυλώνα, ο οποίος βρίσκεται νοτιοανατολικά του κυρίως αυλώνα στο χάρτη των 500 hPa (Εικ.4.2.6.β) (διακεκομμένες κόκκινες γραμμές). Τα νέφη E σχηματίζονται με την παρουσία της δευτερεύουσας ζώνης μεταφοράς (W2), καθώς οι αέριες μάζες ανέρχονται και εκτονώνονται σχεδόν αδιαβατικά. Στην εικόνα 4.2.6.α οι κόκκινες καμπύλες περιγράφουν τις θερμές ζώνες μεταφοράς (W1 και W2) και η μπλε καμπύλη την ψυχρή ζώνη μεταφοράς, αντίστοιχα.

Στην δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2) (Εικ.4.2.6.γ) αποτυπώνεται επίσης το σχήμα S του νέφους. Η πολική πλευρά του νέφους είναι πολύ χαρακτηριστική και ευδιάκριτη, καθώς οριοθετείται από τον αεροχείμαρρο. Αποτελείται από ένα κυρτό και ένα κοίλο τμήμα, τα οποία διαχωρίζονται με το σημείο καμπής (infexion point) I, το σημείο όπου η ροή από κυκλωνική γίνεται αντικυκλωνική.

Στο κυρτό τμήμα του νέφους (πορτοκαλί βέλος) και κατά μήκος αυτού εμφανίζεται μια επιμήκης σκοτεινή ζώνη γειτονικά με το όριο του νέφους. Η ζώνη δηλώνει την βαθμίδα στην υγρασία που δημιουργείται λόγω του αεροχειμάρρου και με την πάροδο του χρόνου σταδιακά περιορίζεται.

Στο κοίλο μέρος του νέφους (γαλάζιο βέλος) εμφανίζεται μια σκοτεινή περιοχή με σαφή όρια. Στη περιοχή αυτή υπάρχει ανωμαλία της δυναμικής τροπόπαυσης, δηλ. μια αναδίπλωση της δυναμικής τροπόπαυσης (1,5 PVU), καθώς ξηρός στρατοσφαιρικός αέρας διεισδύει στην τροπόσφαιρα αυξάνοντας τις τιμές του δυναμικού στροβιλισμού στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Η έλλειψη της υγρασίας που χαρακτηρίζει τον ξηρό αέρα αποτυπώνεται ως μια σκοτεινή περιοχή,στην αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών.

Στην Εικόνα 4.2.6.ε. στο χάρτη μεταφοράς στροβιλισμού στα 500 hPa εμφανίζεται η ισχυρή θετική μεταφορά στροβιλισμού (αποχρώσεις του καφέ) στα ανατολικά τμήματα του δευτερεύοντα αυλώνα.

Η θετική μεταφορά στροβιλισμού στα κατάντη τμήματα του αυλώνα της ανώτερης ατμόσφαιρας συνδέεται με μεγάλες τιμές απόκλισης. Η απόκλιση των αερίων μαζών στην ανώτερη ατμόσφαιρα ενισχύει την σύγκλιση στην κατώτερη ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια τις ανοδικές κινήσεις και στη συνέχεια την δημιουργία των νεφών. Στην παρούσα περίπτωση αυτό εμφανίζεται στις δορυφορικές εικόνες με την εκρηκτική διεύρυνση των νεφών του «βαροκλινικού φύλλου» και την περαιτέρω ανάπτυξή τους (Εικ. 4.2.6.α,γ).

Το χαμηλό στην επιφάνεια (με πίεση 1010 hPa) αρχίζει να βαθαίνει και το κέντρο του βρίσκεται στο κέντρο καμπυλότητας του συστήματος κοντά στα χαμηλά νέφη. Στο

χάρτη επιφανείας (Εικ.4.2.6.στ.) εμφανίζονται οι μετωπικές δραστηριότητες (ψυχρό και θερμό μέτωπο).

Το ψυχρό μέτωπο στη δορυφορική εικόνα του υπερύθρου τοποθετείται στην κυκλωνική πλευρά του νέφους, χαρακτηρίζεται από λευκές ή ελαφρά γκρι αποχρώσεις, καθώς στο ψυχρό μέτωπο υπάρχουν ανεπτυγμένα νέφη, τα οποία στις εικόνες του υπερύθρου έχουν φωτεινές αποχρώσεις (ψυχρές κορυφές) (Εικ.4.2.6.α).

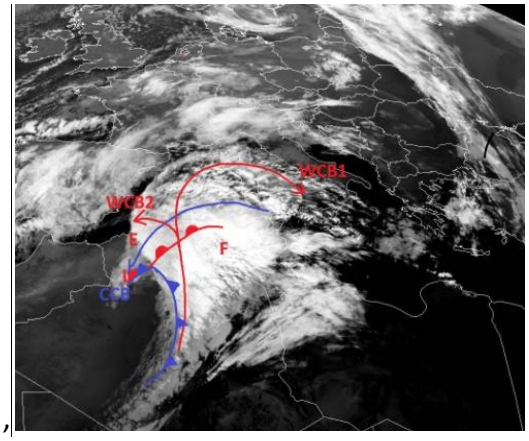
Το θερμό είναι πιο δύσκολο να εντοπιστεί και εξαρτάται από την συνοπτική κατάσταση. Γενικά εμφανίζεται σαν μια πλατιά ζώνη από μεσαία και υψηλά νέφη, χωρίς ιδιαίτερο σχήμα. Η θέση του εξαρτάται από την ύπαρξη ή μη υψηλής νέφωσης στη θερμή αέρια μάζα. Αν υπάρχει λίγη ή καθόλου υψηλή νέφωση στο θερμό τομέα της ύφεσης, τότε στην εικόνα του υπερύθρου τοποθετείται κοντά στην άκρη της μάζας των υψηλών νεφών που βρίσκεται προς τη θερμή αέρια μάζα. Αν υπάρχει υψηλή νέφωση στην θερμή αέρια μάζα της μετωπικής επιφάνειας, τότε η θέση του θερμού μετώπου είναι δύσκολο να προσδιοριστεί μόνο με τη νέφωση σε μια υπέρυθρη εικόνα (*Φείδας και Καρτάλης, 2003)*.

Στο στάδιο της ωρίμανσης, τα νέφη που προκύπτουν από τη ψυχρή ζώνη μεταφοράς και τα οποία εμφανίζονται με σκούρες αποχρώσεις του γκρι στο κανάλι των υδρατμών, παίρνουν σταδιακά το σχήμα ενός γάντζου (Εικ. 4.2.7.γ).

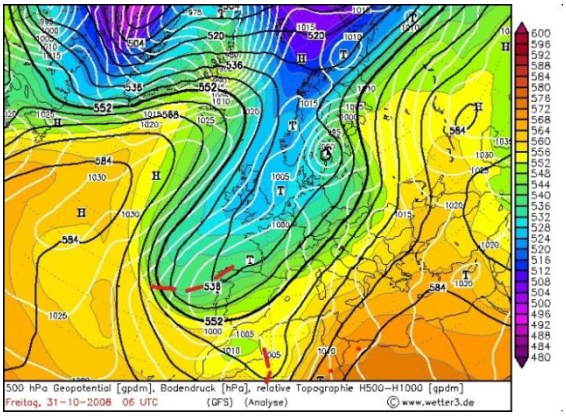
Η ύφεση βρίσκεται στο τελικό της στάδιο, όπου παρατηρείται η μέγιστη ανάπτυξη αυτής, λίγο πριν αρχίσει η διάλυσή της. Στο εσωτερικό του γάντζου υπάρχει μια ανέφελη περιοχή, η οποία είναι γνωστή ως «ξηρή εγκοπή» (Dry slot) (4.2.7.α).

Το κέντρο του χαμηλού (1000 hPa) εντοπίζεται στο εσωτερικό του γάντζου, κάτω από την ξηρή εγκοπή (Εικ.4.2.7.α,στ). Η θέση των μετώπων μπορεί να προσδιοριστεί, από την εικόνα στο υπέρυθρο σε συνδυασμό με τον χάρτη των 850 hPa, στον οποίο διακρίνονται η ψυχρή μεταφορά (cold advection) με μπλε αποχρώσεις και η θερμή μεταφορά (warm advection) με καφέ αποχρώσεις.

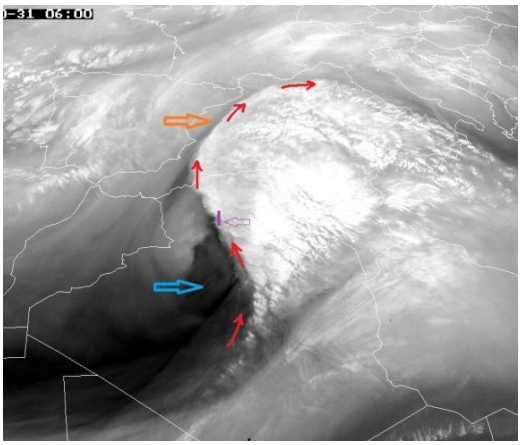
α)



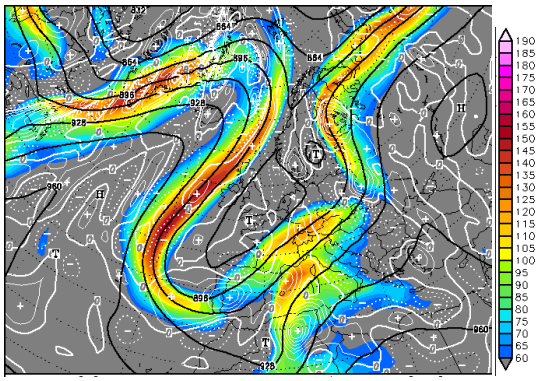
β)



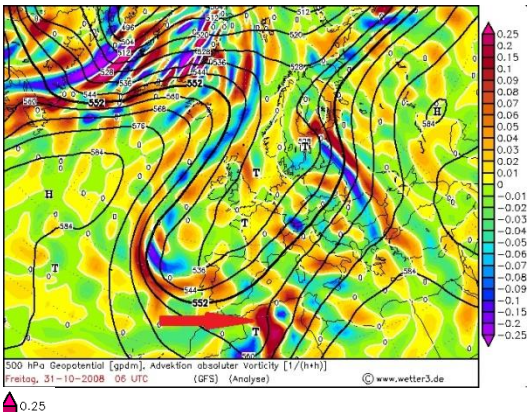
γ)



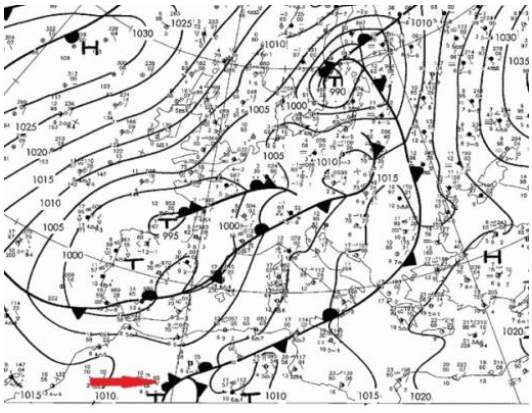
δ)



ε)

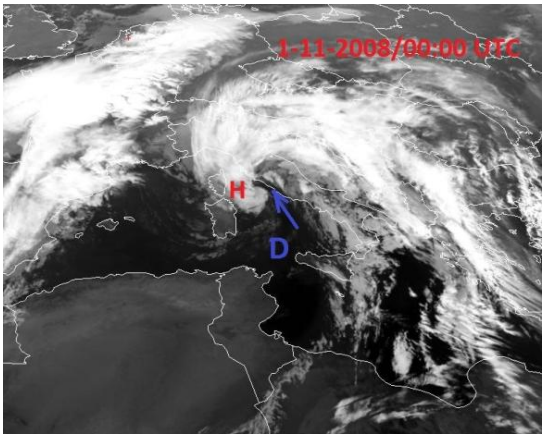


στ)

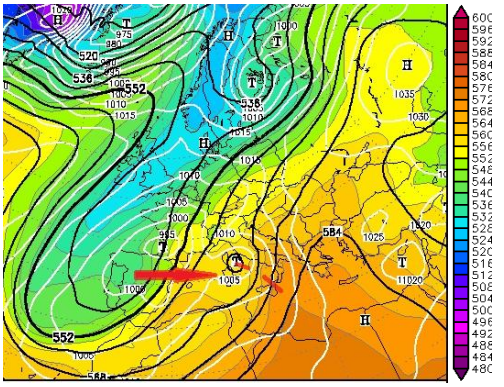


Εικόνα 4.2.6: Συνοπτικοί χάρτες και δορυφορικές εικόνες στις 31-10-2008/06:00 UTC: α) Δορυφορική εικόνα IR10.8, β) Χάρτης των 500 hPa, γ) Δορυφορική εικόνα WV 06.2, δ) Χάρτης των 300 hPa, ε) Χάρτης μεταφοράς στροβιλισμού στα 500 hPa στ) Χάρτης επιφανείας

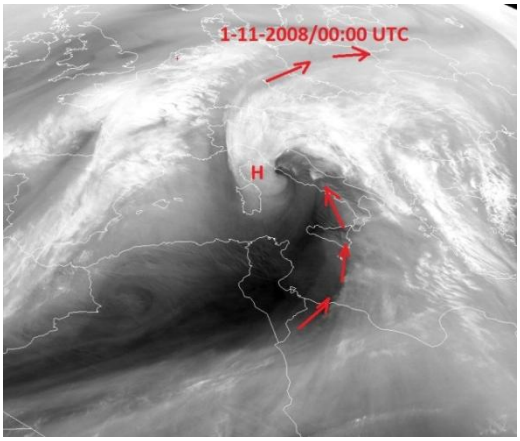
α)



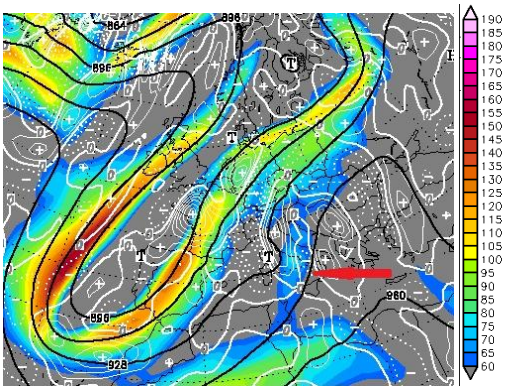
β)



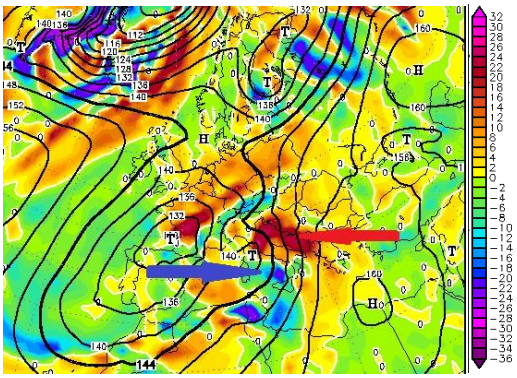
γ)



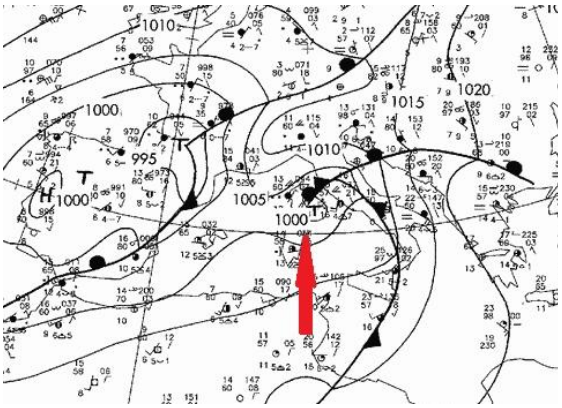
δ)



ε)



στ)



Εικόνα 4.2.7: Συνοπτικοί χάρτες και δορυφορικές εικόνες στις 01-11-2008/00:00 UTC: α) Δορυφορική εικόνα IR10.8, β) Χάρτης των 500 hPa, γ) Δορυφορική εικόνα WV 06.2, δ) Χάρτης των 300 hPa, ε) Χάρτης θερμικής μεταφοράς στα 850 hPa στ) Χάρτης επιφανείας

Επίσης στο στάδιο της ωρίμανσης παρατηρείται η διάσπαση του αεροχειμάρρου σε δύο τμήματα. (Εικ.4.2.7.γ)

Στον χάρτη των 500 hPa παρατηρείται, σε σχέση με το προηγούμενο στάδιο, μια εξομάλυνση των ισοϋψών στην περιοχή του δευτερεύοντα αυλώνα και παράλληλα αύξηση των γεωδυναμικών υψών (Εικ.4.2.7.β).

4.2.3. Άλλες μετωπικές υφέσεις που ταξινομούνται στην παραπάνω κατηγορία του Μεσημβρινού αυλώνα είναι οι εξής:

Η μετωπική ύφεση στις 6 Δεκεμβρίου 2008 (βλ. Παράρτημα, Εικ.1).

Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται στην εικόνα του υπερύθρου, νέφος με τη μορφή βαροκλινικού φύλλου αλλά πιο διευρυμένο. Σταδιακά κάτωθεν του βαροκλινικού φύλλου κάνουν την εμφάνισή τους χαμηλότερες νεφώσεις, η μορφή των οποίων παραπέμπει στην ύπαρξη μιας ζώνης ψυχρής μεταφοράς και οι οποίες οδηγούν στη δημιουργία του γάντζου στο κέντρο του χαμηλού. Στη συνέχεια παρατηρείται διάσπαση του αεροχειμάρρου κατά τη δημιουργία της σύσφιξης.

Η κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με τα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας. Στα 500 hPa παρατηρούνται ο κύριος αυλώνας μεσημβρινής συνιστώσας (λιγότερο οξύς και χωρίς κλειστό χαμηλό) καθώς και ο δευτερεύων αυλώνας που προκαλεί την κύμανση (leaf cloud). Στην επιφάνεια υπάρχει ύφεση παρόμοιας μορφής με την ύφεση της 30-31 Οκτωβρίου που αναλύθηκε παραπάνω, αλλά πιο ρηχή (1010 hPa).

Η προέλευση της ύφεσης αυτής είναι η Σαχάρα και η κίνησή της βόρεια-βορειοανατολικά, επηρεάζοντας τη χώρα μας.

Η μετωπική ύφεση στις 20-21 Ιανουαρίου 2009 (βλ. Παράρτημα, Εικ.2).

Τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων αυτής της ύφεσης είναι παρόμοια με τα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας (μεσημβρινού αυλώνα). Και η ύφεση αυτή δημιουργείται από την εξέλιξη ενός ευρύτερου βαροκλινικού φύλλου και στο κανάλι του

υπερύθρου φαίνονται αριστερά της νεφικού συστήματος τα χαμηλότερα νέφη, τα οποία αναπτύσσονται με την παρουσία των θερμών ζωνών μεταφοράς.

Στα συνοπτικά χαρακτηριστικά, η κατάσταση στα 500 hPa είναι ίδια, χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση του δευτερεύοντα αυλώνα.

Στο χάρτη επιφανείας αντίστοιχα εμφανίζεται μια περιοχή χαμηλών πιέσεων με την εμφάνιση της ισοβαρούς των 1005 hPa.

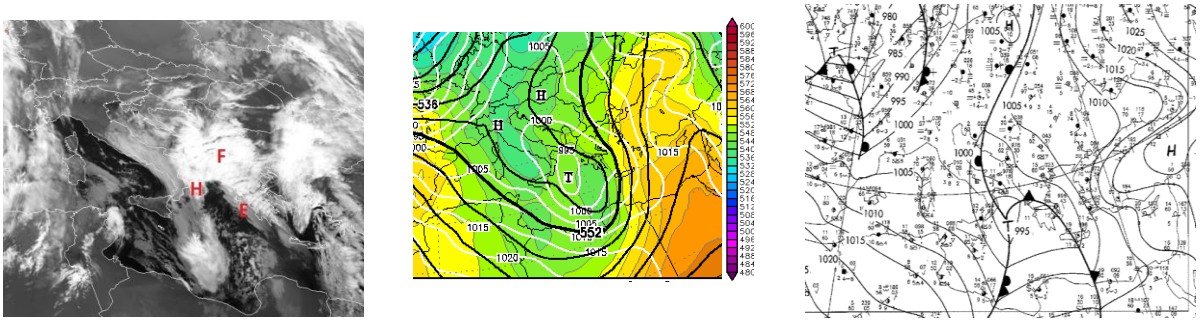
Η προέλευση και αυτής της ύφεσης είναι η Σαχάρα και η κίνησή της βόρεια, επηρεάζοντας με τα ανατολικά της τμήματα την Ελλάδα.

Η ύφεση στις 22 Ιανουαρίου 2009

Η ύφεση αυτή έχει κοινά στοιχεία με την κατηγορία υφέσεων «μεσημβρινού αυλώνα», κυρίως στο στάδιο της ανάπτυξης. Παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση η εμφάνιση των νεφών E(Emerged), καθώς και η δημιουργία γάντζου H (Εικ.4.2.9.α).

Στα συνοπτικά χαρακτηριστικά εμφανίζεται στην περίπτωση αυτή ένας οξύς αυλώνας, ο οποίος εμφανίζεται με μια μικρή κλίση ως προς τη μεσημβρινή διάταξη. Διαφοροποίηση υπάρχει στο γεγονός ότι δεν εμφανίζεται δευτερεύων αυλώνας (Εικ.4.2.9,β).

α) β) γ)



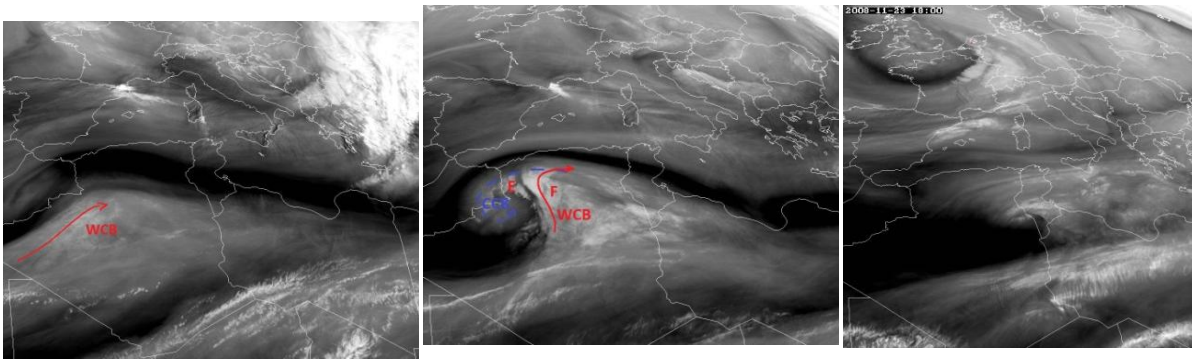
Εικόνα 4.2.9: α) Δορυφορική εικόνα IR10.8, στις 22-1-2009/23:00 UTC β) Χάρτης των 500 hPa, στις 23-1-2009/00:00 UTC και γ) Ο αντίστοιχος χάρτης επιφανείας στις 23-1-2009/00:00 UTC.

Η ύφεση στις 22, 23 και 24 Νοεμβρίου 2008.

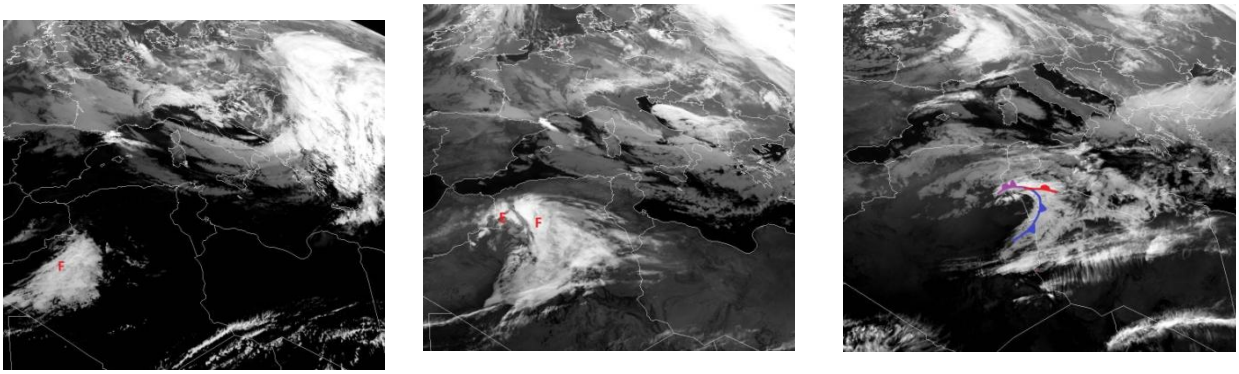
Η ύφεση αυτή προέρχεται από τη βορειοδυτική Αφρική, κινήθηκε βορειοανατολικά και επηρέασε την νότια Ελλάδα κατά το στάδιο της ωρίμανσης και διάλυσης αυτής.

Παρουσιάζει κοινά χαρακτηριστικά και στα συνοπτικά αλλά και στα δορυφορικά δεδομένα σε σχέση με τα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας «μεσημβρινού αυλώνα». Στην Εικόνα 4.2.8 φαίνονται τρείς διαδοχικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών και οι αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου. Στις εικόνες αυτές παρατηρείται η εξέλιξη ενός νέφους τύπου φύλλου (leaf cloud) σε μετωπική ύφεση, δηλ. εμφανίζεται η πορεία μιας κυκλογέννεσης της κατηγορίας «μεσημβρινού αυλώνα».

α)



β)



Εικόνα 4.2.8: α) Τρείς διαδοχικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2), στις 22-11-08/12:00 UTC, στις 23-11-08/00:00 UTC και στις 23-11-08/18:00 UTC, β) Οι αντίστοιχες εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8).

4.3 Μετωπικές υφέσεις με παράλληλα νέφη στο αρχικό στάδιο και συγκλίνουσα ροή (confluent flow) στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

Γενικά

Τα κυριότερα γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων αυτής της κατηγορίας είναι:

- Παράλληλη διάταξη νεφικών μαζών κατά τα πρώιμα στάδια της κυκλονέννεσης.
- Δημιουργία νέφους «κεφαλής» (head cloud).
- Συγκλίνουσα ροή (confluent flow) στα 500 hPa.

Η κατηγορία αυτή έχει αρκετά κοινά στοιχεία με την κατηγορία Flat trough confluent flow cyclogenesis (cloud head) (Bader et al., 1995), όπως η δημιουργία νέφους «κεφαλής» καθώς και η συγκλίνουσα ροή (confluen flow). Διαφοροποίηση υπάρχει στο ότι οι αυλώνες της ανώτερης ατμόσφαιρας στις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, εμφανίζουν πιο οξεία μορφή σε σχέση με αυτούς που περιγράφονται στη βιβλιογραφία.

Οι μετωπικές υφέσεις που ταξινομήθηκαν σε αυτήν την κατηγορία εμφανίζονται, σύμφωνα με τα δορυφορικά και συνοπτικά δεδομένα, να είναι καλά οργανωμένες και εκτεταμένες, επηρεάζοντας σημαντικά και τη χώρα μας.

Στο αρχικό στάδιο (precursor) των μετωπικών υφέσεων της παρούσας κατηγορίας εμφανίζονται τρείς διακριτές νεφικές μάζες, οι οποίες αποτελούνται από υψηλά κυρίως νέφη, εκτός των νεφών Ε που σε κάποιες περιπτώσεις είναι χαμηλότερα. Βρίσκονται σε μια διάταξη **παράλληλη μεταξύ τους** (Εικόνα 4.3.1.α,γ). Αυτό αποτελεί και ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής.

Οι νεφικές μάζες αυτές χαρακτηρίζονται με τα γράμματα F, E και N. *Η νέφωση F (Frontal)* μπορεί να συνδέεται με κάποια στάσιμη μετωπική δραστηριότητα ή σε κάποιες περιπτώσεις να προέρχεται από κάποια προγενέστερη υπό διάλυση ύφεση. *Τα νέφη E(Emerged)* εμφανίζονται προς την πολική πλευρά των νεφών F και μπορεί να φαίνονται ότι αναδύονται κάτω από τα νέφη F ή μπορεί να είναι και τελείως ανεξάρτητα. Συνήθως στις εικόνες του υπερύθρου εμφανίζονται με πιο σκούρες αποχρώσεις, που σημαίνει ότι έχουν πιο θερμές κορυφές, άρα είναι πιο χαμηλά νέφη σε σχέση με τα νέφη F. Νότια των νεφών F

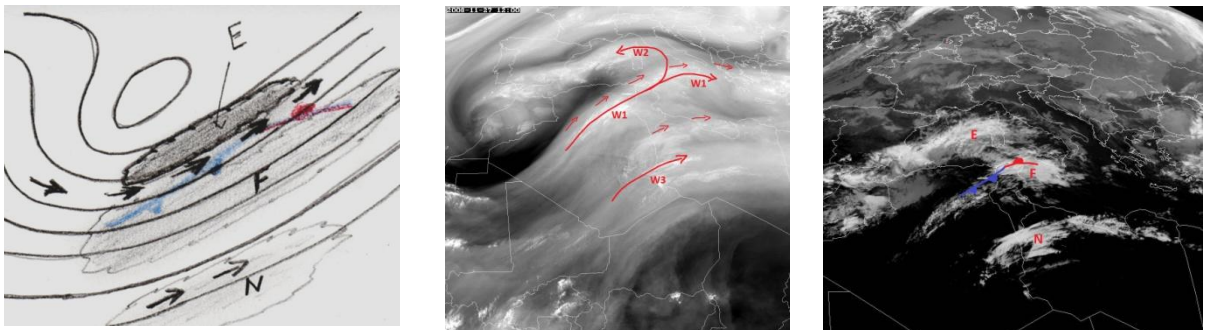
προς τη πλευρά του Ισημερινού εμφανίζεται μια καινούργια *νεφική μάζα N (New),* η οποία και αυτή κινείται σύμφωνα με τη γενική κυκλοφορία της ανώτερης ατμόσφαιρας (Εικ.4.3.1.α,γ). Σε κάποιες περιπτώσεις τα νέφη N μπορεί να εμφανιστούν μεταγενέστερα των νεφών F και E.

4.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων της κατηγορίας: «Παράλληλα νέφη-Συμβάλλουσα ροή».

Α) ΑΡΧΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.3.1: α) Η σχηματική παράσταση περιγράφει την μορφή των ισοϋψών στα 500 hPa, τη σχετική θέση του αεροχειμάρρου, των νεφικών μαζών F, E και N, καθώς επίσης και τη σχετική θέση της μετωπικής δραστηριότητας στην επιφάνεια. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) στις 27-11-08/12:00. UTC Τα τμήματα του αεροχειμάρρου εμφανίζονται με τα κόκκινα βελάκια, ενώ W_1, W_2 και W_3 αναφέρονται σε περιοχές θερμών ζωνών μεταφοράς. γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο (IR 10.8), στην οποία φαίνονται οι τρείς νεφικές μάζες (F, E και N), καθώς και η αρχόμενη μετωπική δραστηριότητα.

Ο αεροχείμαρρος εμφανίζεται στην πολική πλευρά των νεφών F, έτσι η πλευρά αυτή στις δορυφορικές εικόνες εμφανίζεται κυρτή με σαφή όρια. Μικρότερα τμήματα του αεροχειμάρρου μπορεί να παρατηρηθούν μεταξύ των νεφών N και F ή στην πολική πλευρά των νεφών E. (Εικ.4.3.1.β).

Σύμφωνα με τη θεωρία των ζωνών μεταφοράς, οι νεφώσεις F και N μπορεί να συνδεθούν με την ύπαρξη δύο θερμών ζωνών μεταφοράς W_1 και W_3 αντίστοιχα, οι οποίες έχουν αντικυκλωνική κίνηση. Οι νεφώσεις E δημιουργούνται από μια δευτερεύουσα ζώνη

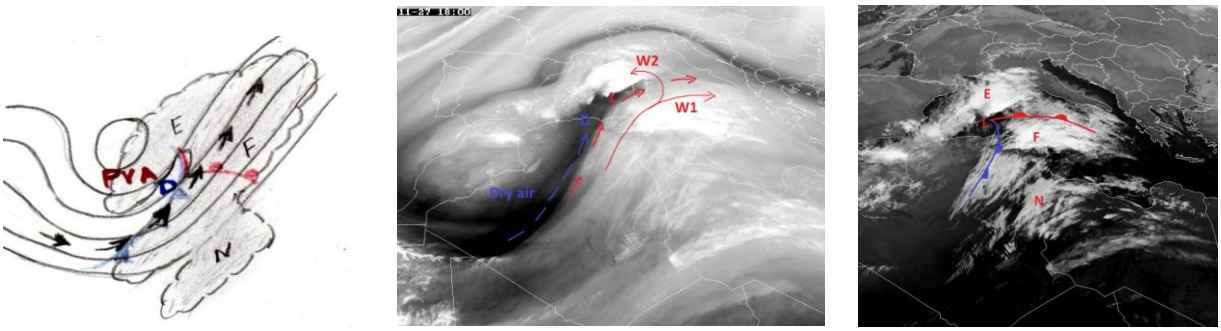
θερμής μεταφοράς W_2, η οποία προκύπτει από την W_1, αλλά έχει κυκλωνική κατεύθυνση (Εικ.4.3.1.β).

Γενικά μια ζώνη θερμής μεταφοράς, μεταφέρει θερμότητα και υγρασία από τα νοτιότερα γεωγραφικά πλάτη προς τα βορειότερα. Η μεταφορά αυτή λαμβάνει χώρα και προς την οριζόντια αλλά και προς την κατακόρυφη διεύθυνση. Οι αέριες μάζες ανέρχονται από τα χαμηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας (περίπου 850 hPa) και φτάνουν μέχρι και τα ανώτερα στρώματα αυτής (περίπου 300 hPa). Στα 300 hPa με την επίδραση των δυτικών ανέμων η θερμή ζώνη μεταφοράς στρέφεται προς τα ανατολικά (αντικυκλωνικά). Εν τω μεταξύ η κυκλοφορία του αέρα γύρω από το χαμηλό της ανώτερης ατμόσφαιρας και πίσω από το επιφανειακό χαμηλό στρέφει την αριστερή άκρη της θερμής ζώνης μεταφοράς προς τα δυτικά. Σαν αποτέλεσμα τα νέφη αποκτούν ένα σχήμα που μοιάζει με αυτό του γράμματος του αγγλικού αλφαβήτου S. Η μορφή αυτή του νέφους δηλώνει την ύπαρξη μιας θερμής ζώνης μεταφοράς (courseware.e-education.psu.edu).

Β) ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.3.2: α) Η σχηματική μορφή της ατμόσφαιρας, στην οποία συσχετίζονται η κυκλοφορία της ανώτερης ατμόσφαιρας και οι νεφικοί σχηματισμοί. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) στις 27-11-08/18:00. UTC. Ο αεροχείμαρρος εμφανίζεται με τα κόκκινα βελάκια, οι θερμές ζώνες μεταφοράς W_1, W_2, ενώ με μπλέ διακεκομμένη γραμμή περιγράφεται η ξηρή εισβολή. γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο (IR 10.8), στην οποία φαίνονται οι τρείς νεφικές μάζες (F, E και N), τα μέτωπα και το κέντρο του χαμηλού.

Στο στάδιο της ανάπτυξης (cyclogenesis under way) οι τρείς νεφικές μάζες (F,E και N), που αναλύθηκαν στο αρχικό στάδιο, σύμφωνα με τη ροή της ανώτερης ατμόσφαιρας, συγκλίνουν και σταδιακά συνενώνονται μεταξύ τους (Εικ. 4.3.2.α,γ). Οι παραπάνω νεφικές μάζες μπορεί να παραμείνουν σχεδόν στην ίδια μορφή για αρκετό χρονικό διάστημα, ακόμη και πάνω από 24 ώρες (Bader et al., 1995).

Τα νέφη Ε αρχίζουν σταδιακά να διευρύνονται προς την πολική πλευρά (βόρεια) των νεφών F, παίρνοντας ένα κυρτό σχήμα, γνωστό, ως νέφος «κεφαλής» (cloud head) (Εικ.4.3.2.γ) Στην εσωτερική πλευρά των νεφών Ε, συντελείται ισχυρή ανύψωση των αερίων μαζών, η οποία συνδέεται με την θερμή ζώνη μεταφοράς W_2 (Εικ. 4.3.2.β). Οι ανοικτές αποχρώσεις των νεφών αυτών στο κανάλι του υπερύθρου, καθώς και τα σαφώς καθορισμένα όρια τους δηλώνουν την ύπαρξη σωρειτόμορφων νεφών που προκύπτουν από κατακόρυφες ανοδικές κινήσεις (convection) (Εικ.4.3.2.γ).

Ανάμεσα από τα νέφη Ε και F, ξηρός στρατοσφαιρικός αέρας εισχωρεί στα ανώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας (dry insrusion), με αποτέλεσμα τη διάλυση των υψηλών νεφών. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται στις δορυφορικές εικόνες του υπερύθρου και στο κανάλι των υδρατμών, ως μια σκούρα περιοχή, χωρίς νέφη και υγρασία να μπαίνει υπό μορφή σφήνας πίσω από το ψυχρό μέτωπο και μπροστά από τα νέφη Ε της κεφαλής , γνωστή ως ξηρή σχισμή (dry slot) (Εικ.4.3.2).

Στο στάδιο αυτό της ανάπτυξης παρατηρείται μεγάλη πτώση της πίεσης στο κέντρο του χαμηλού, το οποίο τοποθετείται μπροστά από τα νέφη Ε της κεφαλής και κάτω από τη ξηρή σχισμή. Οι μετωπικές επιφάνειες ενισχύονται, ιδιαίτερα μπροστά από τα νέφη Ε.

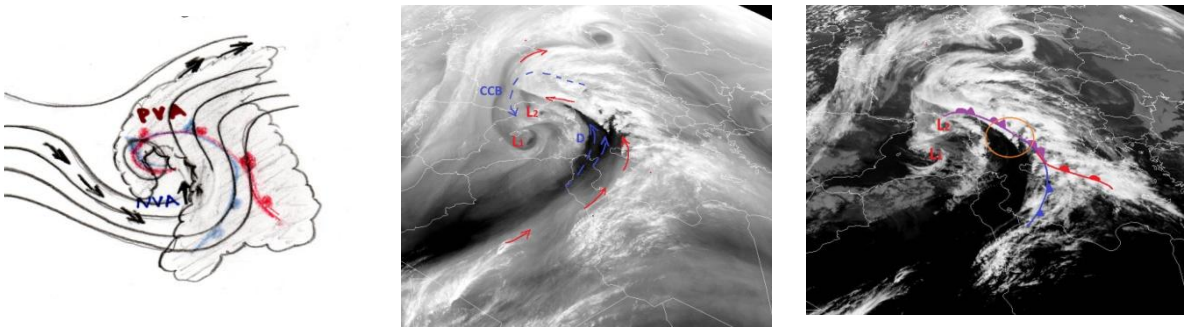
Γ) ΣΤΑΔΙΟ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

Στο στάδιο της ωρίμανσης (maturing stage) η ύφεση αποκτά την μέγιστη έντασή της. Καθώς η πίεση στο κέντρο του χαμηλού πέφτει, παρατηρείται η δημιουργία ενός «γάντζου» από τα νέφη της κεφαλής του συστήματος (Εικ.4.3.3.) Η διαδικασία αυτή ενισχύεται από τη ροή ατμοσφαιρικού αέρα μιας ψυχρής ζώνης μεταφοράς (cold conveyor belt) CCB (Εικ. 4.3.3.β). Η ψυχρή ζώνη μεταφοράς (Carlson, 1980) είναι μια ροή του αέρα, που χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες θερμοκρασίες και η οποία ρέει προς τα πίσω,

αντίθετα από τη σχετική κίνηση του συστήματος. Εμφανίζεται μπροστά από το θερμό μέτωπο και ανερχόμενη δημιουργεί τα χαμηλότερα νέφη που συνιστούν την κεφαλή του συστήματος.

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.3.3: α) Η σχηματική μορφή της ατμόσφαιρας, στην οποία συσχετίζονται η κυκλοφορία της ανώτερης ατμόσφαιρας και οι νεφικοί σχηματισμοί. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) στις 28-11-08/12:00. UTC. Ο αεροχείμαρρος εμφανίζεται με τα κόκκινα βελάκια, η ψυχρή ζώνη μεταφοράς (CCB) παριστάνεται με τη μπλε διακεκομμένη γραμμή.γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο (IR 10.8), στην οποία φαίνονται τα τρία μέτωπα (συνεσφιγμένο με μώβ χρώμα, ψυχρό με μπλε και το θερμό με κόκκινο χρώμα), καθώς επίσης και τα δύο κέντρα χαμηλών πιέσεων (L_1 και L_2). Η καμπύλη (πορτοκαλί χρώματος) υποδεικνύει την περιοχή νεφών με έντονη καταφόρυφη ανάπτυξη.

Ο αεροχείμαρρος διαιρείται σε δύο τμήματα και το κέντρο του χαμηλού βρίσκεται συνήθως στην έξοδο του κάτω τμήματος του αεροχειμάρρου. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να εμφανιστούν δύο κέντρα καμπυλότητας (L_1 και L_2) (Εικ.4.3.3.β,γ).

Στην περιοχή της ξηρής σχισμής (Εικ.4.3.3.β), όπου λαμβάνει χώρα εισροή ξηρού στρατοσφαιρικού αέρα, δημιουργείται σημαντική δυναμική αστάθεια με συνέπεια την δημιουργία νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης, τα οποία διακρίνονται στην εικόνα του υπερύθρου με έντονες λευκές αποχρώσεις και διακριτά όρια (Εικ.4.3.3.γ).

Ακόμη στο τελευταίο αυτό στάδιο, το νεφικό σύστημα αποκτά το σχήμα μιας συνοπτικής κλίμακας δίνης (Vortex). Σε μια ώριμη δίνη τα νέφη αναπτύσσονται σε μια σπειροειδή μορφή και η περιστροφή εκτείνεται σε όλα τα επίπεδα καθ΄ ύψος στην

τροπόσφαιρα. Σταδιακά ο θερμός αέρας που βρίσκεται μεταξύ του ψυχρού και του θερμού μετώπου αποκόπτεται, δημιουργώντας έτσι το συνεσφιγμένο μέτωπο (Εικ.4.3.3.γ).

4.3.2 Μετωπική ύφεση στις 27-28-29 Νοεμβρίου 2008.

Η προέλευση της ύφεσης αυτής είναι η βόρεια Αφρική (περιοχή της Σαχάρας) και η διάρκειά της τρείς ημέρες. Κινήθηκε βόρεια-βορειοανατολικά και επηρέασε τον ελλαδικό χώρο με τα νότια τμήματά της. Στην εικόνα 4.3.4 παρουσιάζονται συνοπτικοί χάρτες και δορυφορικές εικόνες που αντιστοιχούν στο αρχικό στάδιο της μετωπικής ύφεσης και αναφέρονται στην ίδια χρονική στιγμή (στις 27-11-2008/12:00 UTC).

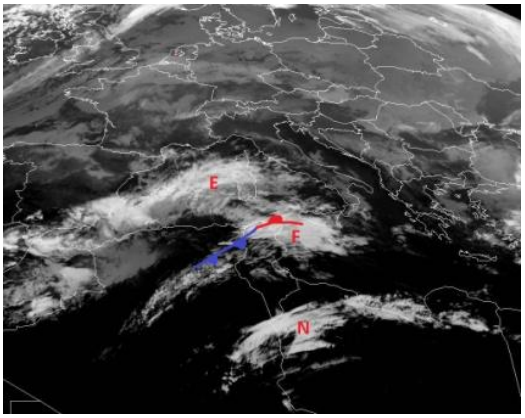
Στη δορυφορική εικόνα του θερμικού υπερύθρου (IR 10.8), καθώς και στην εικόνα του ορατού φάσματος (HRV) εμφανίζονται οι τρείς νεφικές μάζες E, F και N, οι οποίες βρίσκονται σε μια παράλληλη διάταξη μεταξύ τους (όπως αναφέρθηκε αναλυτικά στα γενικά χαρακτηριστικά της προηγούμενης παραγράφου). Η μορφή που εμφανίζουν οι νεφικές αυτές μάζες (στο υπέρυθρο και στο ορατό), με τα «ξέφτια» τους να ακολουθούν την ανώτερη ροή, δηλώνει ότι αποτελούνται κυρίως από στρατόμορφα νέφη (Εικ.4.3.4.α,ε).

Στην εικόνα του υπερύθρου τα νέφη F και N εμφανίζονται κυρίως με ανοιχτές αποχρώσεις, που σημαίνει ότι οι κορυφές τους είναι ψυχρές, άρα πρόκειται για υψηλά νέφη. Οι γκρι αποχρώσεις που φαίνονται σε περιοχές των νεφών E αντιστοιχούν σε πιο θερμά νέφη και κατά συνέπεια χαμηλότερα νέφη.

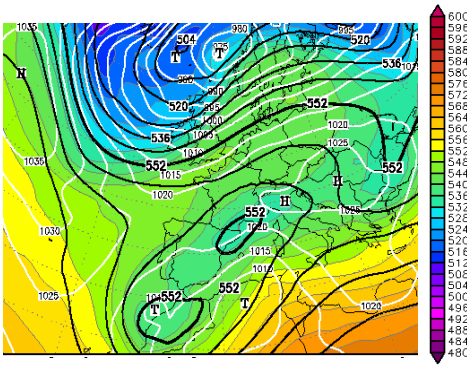
Στην κανάλι του ορατού τα νέφη εμφανίζονται με έντονες λευκές αποχρώσεις που σημαίνει ότι το πάχος των νεφών είναι μεγάλο. Διαφοροποίηση υπάρχει στην περιοχή του ψυχρού μετώπου, όπου τα νέφη δεν έχουν σημαντικό πάχος και γι αυτό μόλις που διακρίνονται (Εικ.4.3.4.ε).

Από την εικόνα στο κανάλι των υδρατμών προκύπτει ότι στην μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα υπάρχει γενικότερα αρκετή υγρασία, ακόμη και στις περιοχές όπου δεν υπάρχει συμπύκνωση και άρα δημιουργία νεφών (Εικ.4.3.3.γ). Στην ίδια εικόνα μπορεί να διακριθούν οι θερμές ζώνες μεταφοράς που συνδέονται με τις νεφικές μάζες (E, F και N). Ακόμη η θέση του αεροχείμαρρου σχεδόν οριοθετεί τις περιοχές των θερμών ζωνών μεταφοράς προς την πολική πλευρά αυτών.

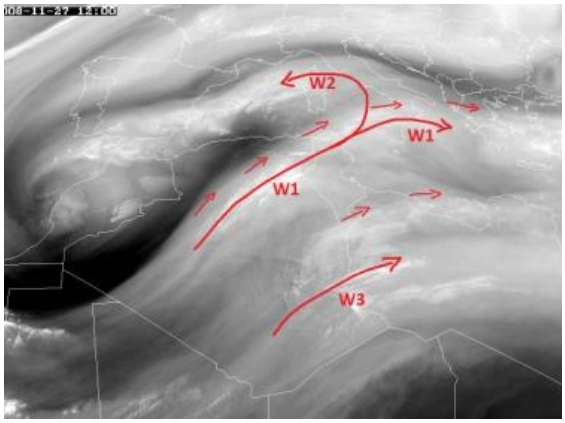
α)



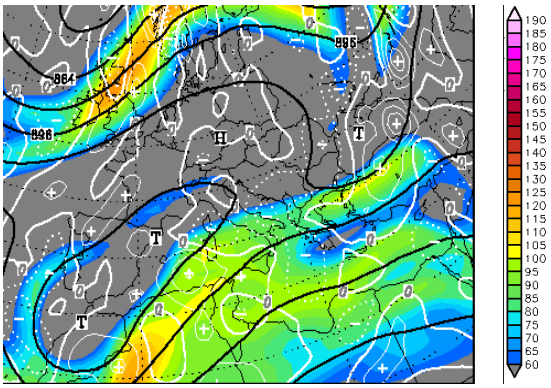
β)



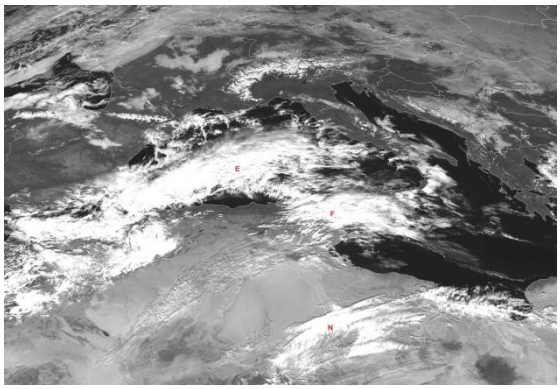
γ)



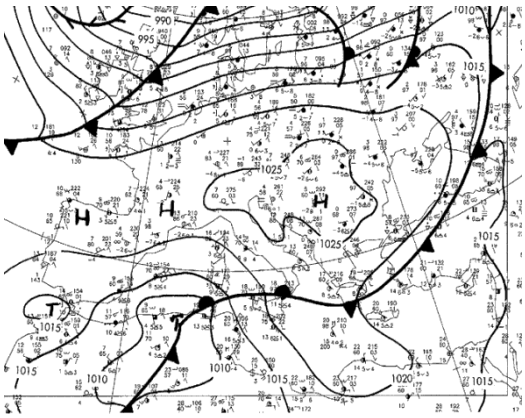
δ)



ε)



στ)



Εικόνα 4.3.4: Συνοπτικοί χάρτες και δορυφορικές εικόνες στις 27-11-2008/12:00 UTC: α) Δορυφορική εικόνα στο θερμικό υπέρυθρο IR 10.8, β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa, γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών WV 06.2, δ) Χάρτης των 300 hPa, ε) Δορυφορική εικόνα στο ορατό (HRV) και στ) Χάρτης επιφανείας

Στο χάρτη των 500 hPa διακρίνονται οι κλειστές ισοϋψείς των 5600 gpm. και των 5520 gpm στη ευρύτερη περιοχή της Ιβηρικής χερσονήσου(Εικόνα 4.3.4 β). Η ανώτερη ροή, όπως προκύπτει από τον ίδιο χάρτη είναι συγκλίνουσα στην περιοχή του αυλώνα, ο οποίος εμφανίζεται, σύμφωνα με τον χάρτη, στην βορειοδυτική Αφρική, στην περιοχή του Μαρόκου.

Στον χάρτη των 300 hPa (Εικ.4.3.4.δ) εμφανίζεται ο υποτροπικός αεροχείμαρρος στην περιοχή της Μεσογείου και βορειότερα (περιοχή της Αγγλίας) ο πολικός αεροχείμαρρος.

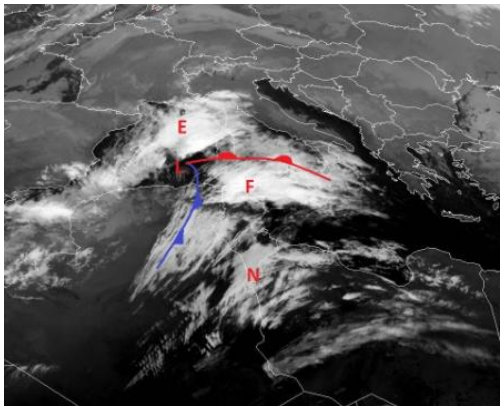
Στον χάρτη επιφανείας (Εικ.4.3.4.στ) παρατηρείται η ύπαρξη ενός βαρομετρικού χαμηλού με πιέσεις στο κέντρο του 1010 hPa στη βόρεια Αλγερία και Τυνησία. Επίσης διακρίνεται η μετωπική κύμανση που στις δορυφορικές εικόνες εμφανίζεται με τη μορφή των νεφών F.

Στο στάδιο της ανάπτυξης φαίνεται στην εικόνα του υπερύθρου (Εικ.4.3.5.α), η συνένωση των τριών νεφικών μαζών (F, E και N), καθώς και η δημιουργία του νέφους «κεφαλής». Οι κορυφές των νεφών εμφανίζονται με πιο έντονες αποχρώσεις που ερμηνεύεται ως περαιτέρω ανάπτυξη των νεφών καθ΄ ύψος (ψυχρότερες κορυφές). Στο χάρτη των 500 hPa παρατηρείται μια μικρότερη διαταραχή (short wave trough) SWT (Εικ.4.3.5. β), η οποία συνδέεται με την εξέλιξη της κυκλογέννεσης στο στάδιο αυτό.

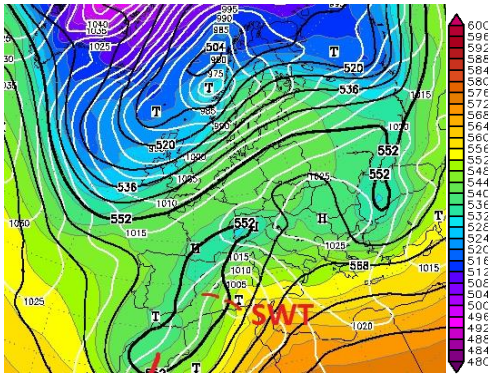
Στο κανάλι των υδρατμών (Εικ.4.3.5.γ), μπορεί να διακριθεί η θέση του τροπικού αεροχειμάρρου (κόκκινα βελάκια), ο οποίος βρίσκεται στην πολική πλευρά των νεφών F. Η θέση του αεροχειμάρρου διακρίνεται και στον χάρτη των 300 hPa (Εικ.4.3.5.δ), όπου μπορεί να εκτιμηθεί και η έντασή του σύμφωνα με τη χρωματική κλίμακα του χάρτη.

Στο χάρτη των 850 hPa (Εικ.4.3.5.ε), φαίνεται η θερμή μεταφορά στην ευρύτερη περιοχή της Τυνησίας που δημιουργεί τις θερμοβαθμίδες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία των μετωπικών επιφανειών του ψυχρού και του θερμού μετώπου. Έτσι, ο χάρτης των 850 hPa, δίνει πληροφορίες για την τοποθέτηση των μετώπων στον χάρτη επιφανείας (Εικ. 4.3.5.στ).

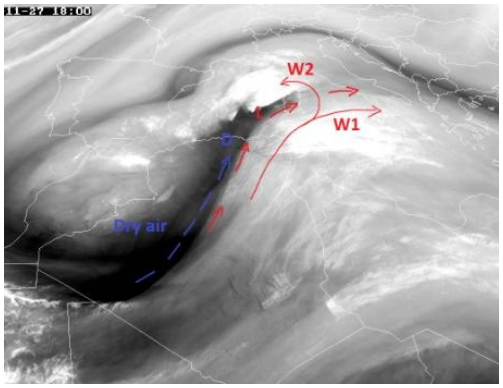
α)



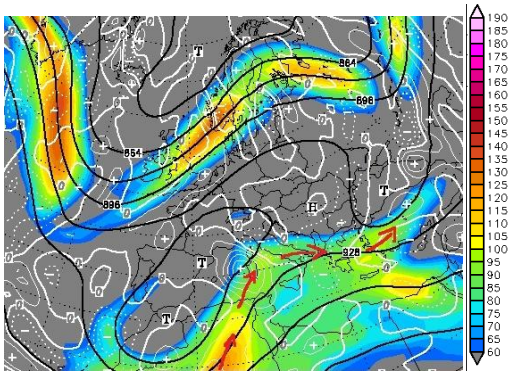
β)



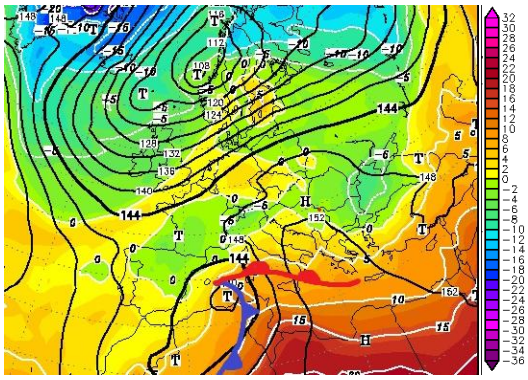
γ)



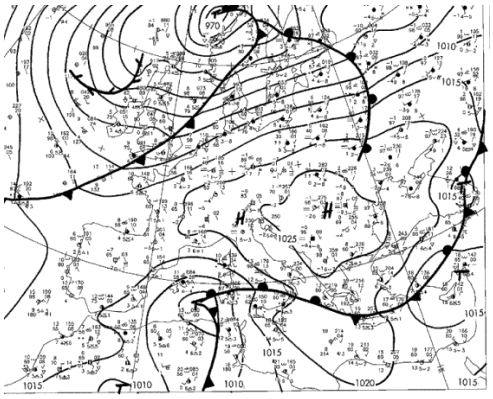
δ)



ε)



στ)



Εικόνα 4.3.5: Συνοπτικοί χάρτες και δορυφορικές εικόνες στις 27-11-2008/18:00 UTC α) Δορυφορική εικόνα IR10.8, β) Χάρτης των 500 hPa, γ) Δορυφορική εικόνα WV 06.2, δ) Χάρτης των 300 hPa ε) Χάρτης των 850 hPa και στ) Χάρτης επιφανείας.

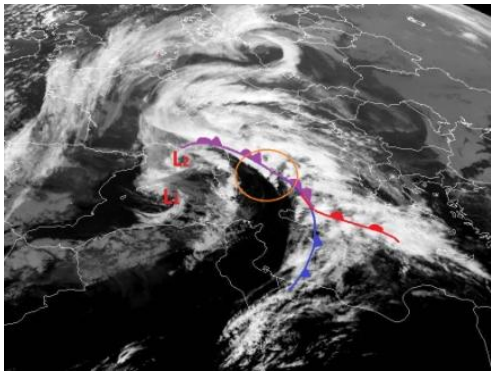
Ο χάρτης των 850 hPa δίνει σημαντικές πληροφορίες για τις θερμές και ψυχρές μεταφορές (warm and cold advection) στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Αυτό αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς οι θερμές μεταφορές στο επίπεδο αυτό αυξάνουν την αστάθεια της ατμόσφαιρας και οδηγούν σε ανοδικές κινήσεις του αέρα (rising air), ενώ αντίθετα οι ψυχρές μεταφορές αυξάνουν την ευστάθεια της ατμόσφαιρας και συνοδεύονται με καθοδικές κινήσεις του αέρα (sinking air)

Η θερμή μεταφορά (thermal advection) γίνεται μέγιστη όταν: α) οι ισόθερμες ή οι ισοϋψείς εμφανίζουν μεγάλη πυκνότητα μεταξύ τους και β) οι ισόθερμες είναι κάθετες στις ισοϋψείς. Ενώ αντίθετα, η θερμή μεταφορά γίνεται ελάχιστη όταν: α) οι ισόθερμες ή οι ισοϋψείς εμφανίζουν μικρή πυκνότητα μεταξύ τους και β) οι ισόθερμες είναι παράλληλες στις ισοϋψείς.

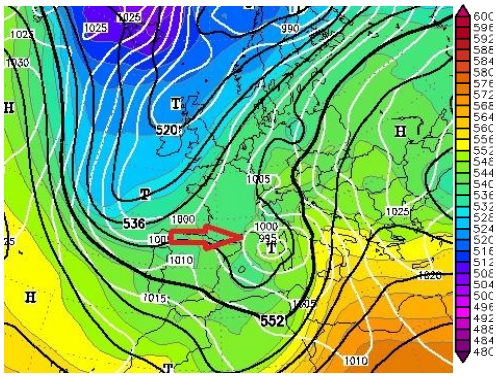
Στο τελευταίο **στάδιο**, αυτό **της ωρίμανσης** η ύφεση παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ανάπτυξη, πριν αρχίσει σταδιακά η διάλυσή της. Το σχήμα της είναι αυτό ενός μεγάλου στροβίλου (Vortex) και καθώς στροβιλίζεται καθ΄ ύψος, το σύστημα αρχίζει να κινείται αργά. Νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης εμφανίζονται κοντά στη περιοχή της ξηρής εισβολής (Εικ.4.3.6.α, πορτοκαλί καμπύλη), σε μορφή σφήνας. Τα νέφη αυτά οφείλονται στις έντονες ανοδικές κινήσεις (convection), λόγω δυναμικής αστάθειας στην περιοχή. ΄Οταν η ύφεση φτάσει στο σημείο της μέγιστης ανάπτυξης τότε το κέντρο του χαμηλού στην επιφάνεια συμπίπτει σχεδόν με το κέντρο του χαμηλού στην ανώτερη ατμόσφαιρα (Εικ.4.3.6.β, στ).

Γενικά η θέση του χαμηλού προσδιορίζεται στο κέντρο καμπυλότητας του συστήματος. Ακόμη μπορεί το χαμηλό της επιφάνειας να εμφανιστεί και λίγο πιο πίσω (δυτικότερα) από το χαμηλό της ανώτερης ατμόσφαιρας. Στην παρούσα ύφεση, σύμφωνα με τις δορυφορικές εικόνες παρατηρούνται δύο κέντρα καμπυλότητας (Εικ.4.3.6. α, γ).

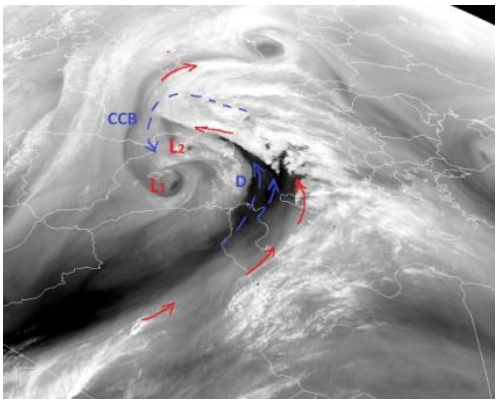
α)



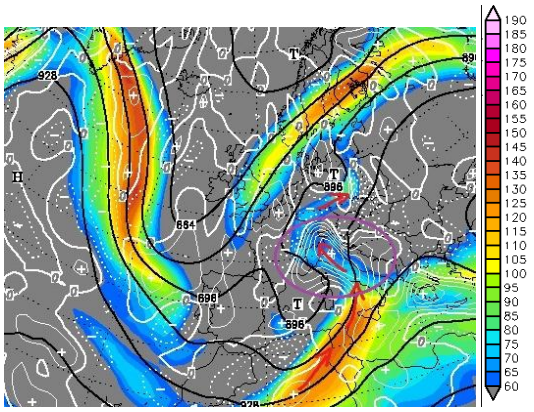
β)



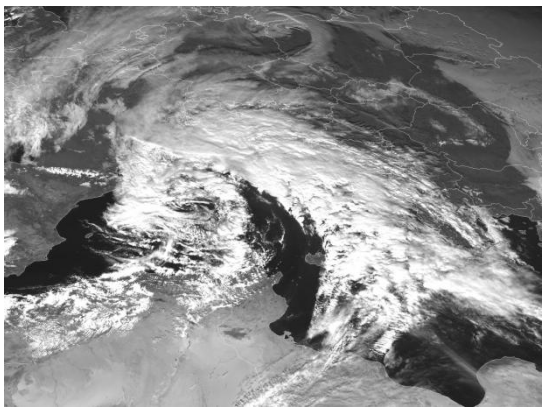
γ)



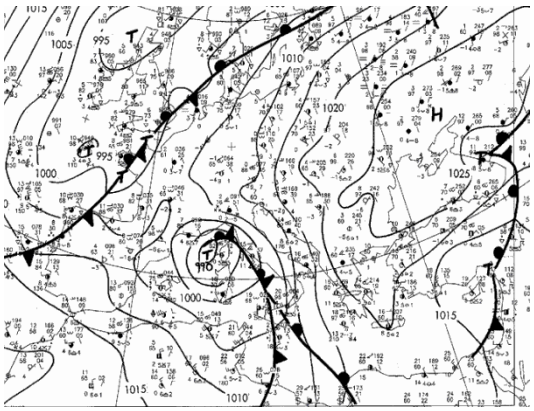
δ)



ε)



στ)



Εικόνα 4.3.6: Συνοπτικοί χάρτες και δορυφορικές εικόνες στις 28-11-2008/12:00 UTC α) Δορυφορική εικόνα IR 10.8, β) Χάρτης των 500 hPa, γ) Δορυφορική εικόνα WV 06.2, δ) Χάρτης των 300 hPa, ε) Δορυφορική εικόνα στο ορατό (HRV), στ) Χάρτης επιφανείας

Η πίεση στο κέντρο του χαμηλού στην επιφάνεια είναι 990 hPa (Εικ 4.3.6.στ), ενώ σημειώθηκε πτώση της πίεσης κατά 20 hPa, σε χρονική διάρκεια 18 ωρών (από τις 27-11-08/12:00 UTC έως τις 28-11-08/06:00 UTC). Στον χάρτη επιφανείας επίσης φαίνονται τα τρία μέτωπα (συνεσφιγμένο, ψυχρό και θερμό), τα οποία διακρίνονται και στις δορυφορικές εικόνες του υπέρυθρου και του ορατού.

Στο κανάλι των υδρατμών η περιοχή με μαύρη απόχρωση, πίσω από τον αεροχείμαρρο, είναι η περιοχή της ξηρής σχισμής (dry slot). Το μαύρο δηλώνει την απουσία υγρασίας στα μέσα και ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, λόγω της εισροής ξηρού στρατοσφαιρικού αέρα στην τροπόσφαιρα.

Στον χάρτη ισοϋψών της επιφανείας των 300 hPa, εκτός από τον προσδιορισμό της θέσης του αεροχειμάρρου, εντοπίζονται οι περιοχές απόκλισης (divergence) ή σύγκλισης (convergence) αντίστοιχα. Στον χάρτη (Εικ.4.3.6.δ), η περιοχή που περικλείεται στην καμπύλη (μωβ χρώματος) και η οποία βρίσκεται πάνω από το κέντρο του χαμηλού, παρουσιάζει αυξημένες τιμές απόκλισης. Απόκλιση των αερίων μαζών στην ανώτερη ατμόσφαιρα συνοδεύεται από σύγκλιση (convergence) των αερίων μαζών στην κατώτερη ατμόσφαιρα, κατά συνέπεια δημιουργούνται ανοδικές κινήσεις στην περιοχή αυτή (convection).

4.3.3 Άλλες μετωπικές υφέσεις που ταξινομούνται στην παραπάνω κατηγορία «παράλληλα νέφη-συμβάλλουσα ροή» είναι οι εξής:

Η μετωπική ύφεση στις 2-3-5 Δεκεμβρίου 2008 (βλ. Παράρτημα, Εικ.3)

Η δημιουργία της ύφεσης αυτής ξεκινά από τη βόρεια Αφρική-κεντρική Μεσόγειο. Η διάρκεια της ήταν τρείς ημέρες και κινήθηκε βόρεια, επηρεάζοντας την Ελλάδα.

Στη περίπτωση αυτής της υφέσεως τα νέφη N (που αναφέρονται στη παράγραφο με τα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής), δεν εμφανίζονται από την αρχή, αλλά μετά από 24 ώρες. Τα νέφη αυτά συνδέονται με μια θερμή ζώνη μεταφοράς (W_3). Επίσης τα νέφη F(Frontal), παρουσιάζουν μια πιο εκτεταμένη μορφή προς τα βόρεια καθώς συνδέονται με μετωπική δραστηριότητα που επεκτείνεται στη κεντρική Ευρώπη.

Παρατηρείται και σε αυτήν την περίπτωση δημιουργία «κεφαλής», όπου εμφανίζονται νέφη με έντονη κατακόρυφη ανάπτυξη στην περιοχή αυτή. Επίσης η διάσπαση του αεροχειμάρρου, στο στάδιο ωρίμανσης της ύφεσης είναι πιο εμφανής στο κανάλι των υδρατμών αλλά και στον χάρτη των 300 hPa.

Τα συνοπτικά χαρακτηριστικά συμφωνούν με τα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής.

Η μετωπική ύφεση στις 12-13-14 Ιανουαρίου 2009 (βλ. Παράρτημα, Εικ.4)

Η προέλευση της ύφεσης αυτής είναι η βόρεια Αφρική-κεντρική Μεσόγειος και η διάρκεια της, τρείς ημέρες. Κατά την βόρεια μετακίνησή της επηρέασε σημαντικά την Ελλάδα.

Τα δορυφορικά χαρακτηριστικά, καθώς και τα συνοπτικά χαρακτηριστικά της ύφεσης αυτής συμφωνούν με τα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας. Και στην περίπτωση αυτή παρατηρείται η εμφάνιση σωρειτόμορφων νεφών στο κέντρο του συστήματος, καθώς και η διάσπαση του αεροχειμάρρου. Επίσης εμφανίζονται δύο κέντρα καμπυλότητας στο ώριμο στάδιο της ύφεσης.

Η μετωπική ύφεση στις 3,4, και 5 Μαρτίου 2009.

Η προέλευση της ύφεσης είναι η δυτική Μεσόγειος-βόρεια Αφρική. Η διάρκειά της ήταν τρείς ημέρες. Για το χρονικό διάστημα που μελετήθηκε αποτελεί ίσως την ισχυρότερη μετωπική ύφεση της Μεσογείου, που επηρέασε την χώρα μας. Επίσης λόγω της έντονης αστάθειας που δημιουργήθηκε μετά την διέλευσή της, δημιουργήθηκε άλλη ύφεση, η οποία ανήκει στην επόμενη κατηγορία που αναλύεται παρακάτω (τύπου κόμματος ή ψυχρού τομέα).

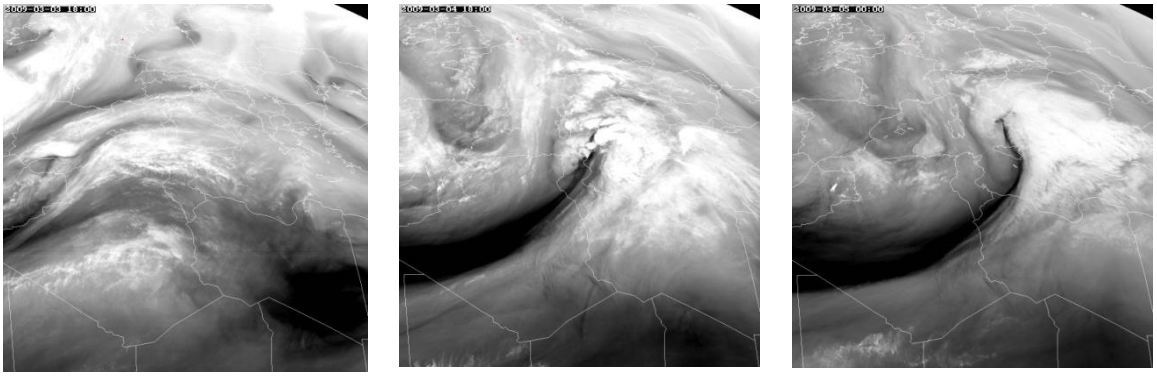
Η ύφεση αυτή παρουσιάζει κοινά στοιχεία που αφορούν κυρίως το αρχικό στάδιο (Εικ.4.3.7.α,δ), όπως η παράλληλη διάταξη των νεφών. Διαφέρει όμως στη ροή της ανώτερης ατμόσφαιρας η οποία είναι αποκλίνουσα (diffluent). Επίσης τα νέφη στις δορυφορικές εικόνες παρουσιάζουν έντονη ανακλαστικότητα και είναι συμπαγή, χωρίς κενά. Επίσης παρατηρείται έντονη εισροή στρατοσφαιρικού αέρα δημιουργώντας μια

μακριά ξηρή σχισμή (Εικ.4.3.7.γ,στ). Η δημιουργία κεφαλής υπάρχει αλλά δεν εμφανίζει την ίδια εικόνα με τις υπόλοιπες υφέσεις.

Η ύφεση αυτή κατατάχθηκε στην παρούσα κατηγορία κυρίως λόγω του αρχικού σταδίου δημιουργίας της.

α) Αρχικό στάδιο β) Στάδιο ανάπτυξης γ) Στάδιο ωρίμανσης

δ) Αρχικό στάδιο ε) Στάδιο ανάπτυξης στ) Στάδιο ωρίμανσης



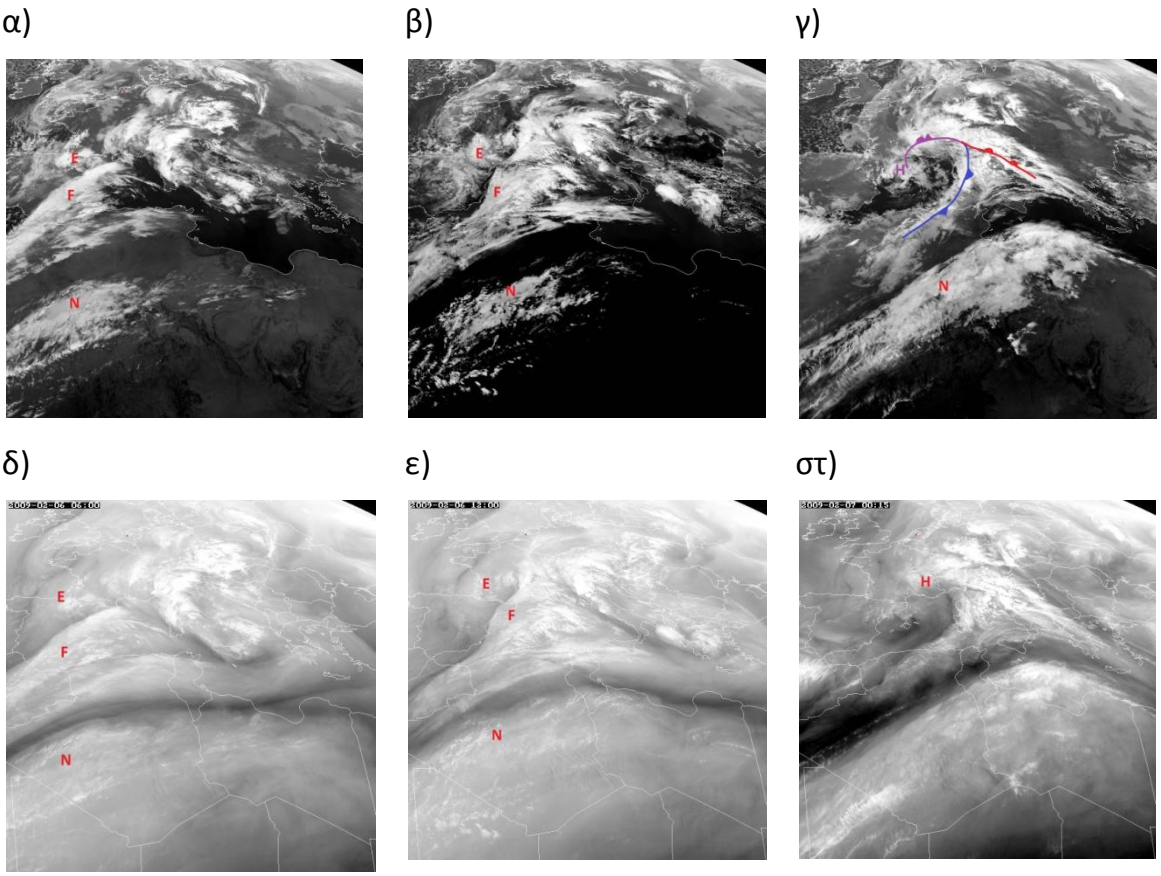
Εικόνα 4.3.7: Δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο (IR 10.8) και στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2), στα τρία βασικά στάδια εξέλιξης της μετωπικής ύφεσης (3-4-5/Μαρτίου/2009). α) IR 10.8 στις 3-3-2009/18:00 UTC, β) IR 10.8 στις 4-3-2009/18:00 UTC, γ) IR 10.8 στις 5-3-2009/00:00 UTC, δ) WV 06.2 στις 3-3-2009/18:00 UTC, ε) WV 06.2 στις 4-3-2009/18:00 και στ) WV 06.2 στις 5-3-2009/00:00.

Η μετωπική ύφεση στις 3, 4, και 5 Οκτωβρίου 2008 (βλ. Παράρτημα, Εικ.5)

Η προέλευση της ύφεσης αυτής είναι η δυτική Μεσόγειος-Βόρεια Αφρική και η διάρκειά της τρείς ημέρες.

Γενικά τα δορυφορικά δεδομένα της ύφεσης αυτής έχουν κοινά γνωρίσματα με τα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής. Διαφοροποίηση παρατηρείται στην εμφάνιση των νεφών Ν, τα οποία εμφανίζονται αρκετά νοτιότερα και με κάποια καθυστέρηση. Επίσης εμφανίζονται αρκετά νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης, τα οποία μοιάζουν με συστήματα μέσης κλίμακας. Αυτό μπορεί να ερμηνευτεί καθώς η ύφεση αυτή λαμβάνει χώρα νωρίς τον Οκτώβριο. Στα συνοπτικά χαρακτηριστικά και συγκεκριμένα στα 500 hPa, υπάρχει διαφοροποίηση κυρίως στο αρχικό στάδιο της ύφεσης, όπου η ροή εμφανίζεται ελαφρώς αποκλίνουσα.

Η μετωπική ύφεση στις 6, και 7 Φεβρουαρίου 2009.



Εικόνα 4.3.8: Δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο (IR 10.8) και στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2), σε τρία βασικά στάδια εξέλιξης της μετωπικής ύφεσης (6,7/Φεβρουαρίου/2009). α) IR 10.8 στις 6-2-2009/06:00 UTC, β) IR 10.8 στις 6-2-2009/12:00 UTC, γ) IR 10.8 στις 7-2-2009/00:00 UTC, δ) WV 06.2 στις 6-2-2009/06:00 UTC, ε) WV 06.2 στις 6-2-2009/12:00 και στ) WV 06.2 στις 7-2-2009/00:00.

Πρόκειται για μια ύφεση της δυτικής Μεσογείου, η οποία ξεκίνησε από τη βόρεια Αφρική και την Ιβηρική χερσόνησο. Αναπτύχθηκε στη δυτική Μεσόγειο και κινήθηκε βόρεια, ελαφρώς βορειοανατολικά, με αποτέλεσμα η Ελλάδα να επηρεαστεί μόνο από τα ανατολικά κράσπεδα αυτής.

Τα δορυφορικά χαρακτηριστικά παρουσιάζουν αρκετά κοινά σημεία στην αρχική διάταξη των νεφών, καθώς και στο τελικό στάδιο με τη δημιουργία «κεφαλής». Διαφοροποίηση υπάρχει στο γεγονός ότι τα νέφη Ν πλησιάζουν τα νέφη F, αλλά δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (Εικ.4.3.8).

Στα συνοπτικά χαρακτηριστικά, διαφοροποίηση υπάρχει στην μορφή της κυκλοφορίας των 500 hPa, η οποία είναι ελαφρώς αποκλίνουσα (diffluent), σε αντίθεση με τα γενικά συνοπτικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής.

4.4 Μετωπικές υφέσεις ψυχρού τομέα ή τύπου «κόμματος».

Γενικά

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας είναι η εμφάνιση νεφών C (Cloud) στον ψυχρό τομέα μιας μετωπικής νεφικής μάζας F (Frontal), τα οποία έχουν ή αποκτούν σταδιακά το σχήμα του «κόμματος» (comma cloud). Τα νέφη αυτά αναπτύσσονται και εξελίσσονται σε μία νέα μετωπική ύφεση, χωρίς να αλληλεπιδράσουν με την αρχική μετωπική νεφική μάζα.

Η απόσταση μεταξύ των νεφών C και F, παίζει σημαντικό ρόλο στην αλληλεπίδραση ή μη των δύο παραπάνω νεφικών μαζών. Από μελέτες προέκυψε ότι αν η απόσταση αυτή είναι μεγαλύτερη των 600 Km, τότε δεν υπάρχει αλληλεπίδραση των νεφικών μαζών ενώ αντίθετα αν είναι μικρότερη, τότε οι δύο νεφικές μάζες αλληλεπιδρούν. Με την χρήση των δορυφορικών εικόνων στη μελέτη των κυκλογεννέσεων προτάθηκε για την κρίσιμη απόσταση αλληλεπίδρασης ή μη των νεφικών μαζών C και F το όριο των 300 Km (Bader et al., 1995).

Στην κατηγορία μετωπικών υφέσεων, που αναλύεται στη παράγραφο αυτή, δεν υπάρχει αλληλεπίδραση των νεφικών μαζών C και F, όπως προαναφέρθηκε. Τα γενικά δε χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής είναι παρόμοια με αυτά της κατηγορίας “Cold air cyclogenesis”, όπως αναφέρεται από τους Bader et al.(1995). Διαφοροποίηση υπάρχει στην κυκλοφορία της ανώτερης ατμόσφαιρας. Ειδικότερα στην “Cold air cyclogenesis” η ροή χαρακτηρίζεται ως συγκλίνουσα (confluent), ενώ αντίθετα στις μετωπικές υφέσεις που μελετήθηκαν, η ροή είναι γενικά αποκλίνουσα (diffluent).

Σχετικά με την κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα και ειδικότερα στην επιφάνεια των 500 hPa, για τις υφέσεις αυτής της κατηγορίας, προέκυψαν τα εξής:

- Ο κύριος αυλώνας (main upper trough) είναι βαθύς, καθιστώντας την ανώτερη κυκλοφορία της ατμόσφαιρας σχεδόν μεσημβρινή. Επίσης παρατηρούνται μικρότερες διαταραχές (short wave troughs), που συνδέονται με την κατακόρυφη ανάπτυξη (convection) των νεφών C, αλλά και τη νεφική μετωπική μάζα F.

- Η ροή της κυκλοφορίας είναι κυρίως αποκλίνουσα (diffluent flow) ή συμμετρική ως προς τον άξονα του κυρίως αυλώνα (Long Wave Trough) LWT.
- Εμφάνιση κλειστού χαμηλού στο επίπεδο των 500 hPa.

4.4.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων της κατηγορίας: «ψυχρού τομέα ή τύπου κόμματος».

Α) ΑΡΧΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ

Στο αρχικό στάδιο αυτής της κατηγορίας μετωπικών υφέσεων, παρατηρούνται δύο νεφικές μάζες που χαρακτηρίζονται με τα γράμματα F και C (Εικ.4.4.1 α,γ). Η νεφική μάζα F (Frontal) είναι μια μετωπική νεφική μάζα που συνήθως προέρχεται από μία προγενέστερη ύφεση, η οποία βρίσκεται στο στάδιο της σύσφιξης. Τα νέφη F επίσης συνδέονται με μια ζώνη θερμής μεταφοράς (W_1) (Εικ.4.4.1.β).

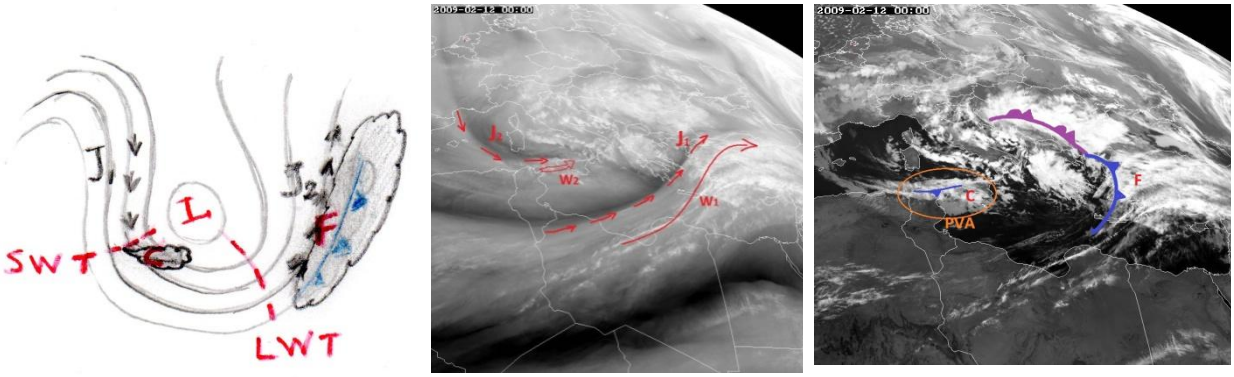
Τα νέφη C εμφανίζονται στον ψυχρό τομέα της μετωπικής μάζας F και συνδέονται με μια κύμανση (Short Wave Trough) SWT της ανώτερης ατμόσφαιρας (Εικ.4.4.1.α). Στην περιοχή, των νεφών C εμφανίζεται θετική μεταφορά στροβιλισμού (PVA) στο επίπεδο των 500 hPa. Το γεγονός αυτό συνδέεται με συγκλίσεις στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια ανοδικών κινήσεων (convection), που οδηγούν στην δημιουργία σωρειτόμορφων κυρίως νεφών, που η μορφή τους αποκτά σταδιακά το σχήμα του κόμματος (σημείο στίξης) (Εικ.4.4.1.γ). Τα νέφη C συνδέονται με μια δευτερεύουσα ζώνη θερμής μεταφοράς W_2 (Εικ.4.4.1.β).

Το κύριο τμήμα του αεροχειμάρρου (J_1) βρίσκεται κατά μήκος της νεφικής μάζας F, και προς την πολική πλευρά αυτής. ενώ ένα δευτερεύον τμήμα (J_2) σχετίζεται με τα νέφη C (Εικόνα 4.4.1.β). Τα νέφη C κινούνται με την κινητική ενέργεια του αεροχειμάρρου, η θέση του οποίου φαίνεται πολύ καλά στο κανάλι των υδρατμών. Σε αρκετές περιπτώσεις τα νέφη C στο κανάλι του υπερύθρου εμφανίζουν στην ουρά του κόμματος το σχήμα μιας διχάλας. Το σχήμα αυτό φανερώνει την ύπαρξη του αεροχειμάρρου.

Τα δύο τμήματα του αεροχειμάρρου J_1 και J_2, κινούνται κατά μια παράλληλη έννοια με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σημείο τομής, δηλ. δεν υπάρχει αλληλεπίδραση των νεφών C και F.

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.4.1: α) Σχηματική διάταξη της ατμόσφαιρας στο αρχικό στάδιο. Οι συνεχείς γραμμές αντιστοιχούν σε υσοϋψείς της επιφανείας των 500hPa, τα βελάκια προσδιορίζουν τη θέση του αεροχειμάρρου και οι περιοχές με το σκούρο γκρί αναφέρονται στις νεφικές μάζες F και C.αντίστοιχα. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2), στις 12-2-2009/00:00 UTC, στην οποία διακρίνονται τα τμήματα του αεροχειμάρρου J_1 και J_2 αντίστοιχα, καθώς και οι θερμές ζώνες μεταφοράς W_1 και W_2. γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8).

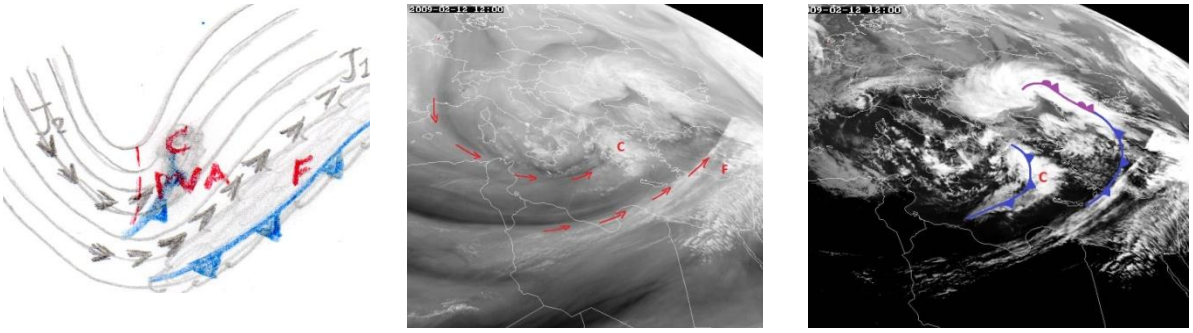
Β) ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Στο στάδιο της ανάπτυξης τα νέφη C παίρνουν ξεκάθαρα το σχήμα του «κόμματος» και κινούνται με τη βοήθεια του αεροχειμμάρου στα κατάντη τμήματα του αυλώνα της ανώτερης ατμόσφαιρας (Εικ.4.4.2.α). Στο στάδιο αυτό παρατηρείται σημαντική ανάπτυξη των νεφών κυρίως στη κεφαλή του «κόμματος» από σωρειτόμορφες νεφώσεις (ανεπτυγμένα Cu και CB). Η ανάπτυξη αυτή οφείλεται στη θετική μεταφορά στροβιλισμού PVA (Positive Vorticity Advection), που υπάρχει στην περιοχή (όπως προκύπτει από τους χάρτες μεταφοράς απόλυτου στροβιλισμού στην επιφάνεια των 500 hPa)

Η φωτεινότητα του νέφους κόμματος αυξάνεται από την ουρά προς την κεφαλή αυτού, που σημαίνει ότι στην κεφαλή οι κορυφές των νεφών είναι πιο ψυχρές και κατά συνέπεια πιο υψηλές (Εικ.4.4.2.γ). Χαρακτηριστικά είναι επίσης τα νέφη cirrus, τα οποία δημιουργούνται από τους άκμονες των σωρειτομελανιών (Cumulonimbus), που εμφανίζονται στα ανατολικά τμήματα του νέφους κόμματος, ακολουθώντας την ανώτερη κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. (Εικ.4.4.2.γ).

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.4.2: α) Σχηματική μορφή της ατμόσφαιρας, στην οποία φαίνεται η σχετική θέση των νεφικών μαζών σε σχέση με την ανώτερη ατμόσφαιρα, τις μετωπικές επιφάνειες καθώς και τον αεροχείμαρρο. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2), στις 12-2-2009/12:00 UTC, στην οποία διακρίνεται ο αεροχείμαρρος (κόκκινα βελάκια), καθώς και οι νεφικές μάζες C και F. γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), στην οποία διακρίνεται η ανάπτυξη του νέφους κόμματος (C), καθώς και οι μετωπικές δραστηριότητες (με μπλε και μωβ χρώμα).

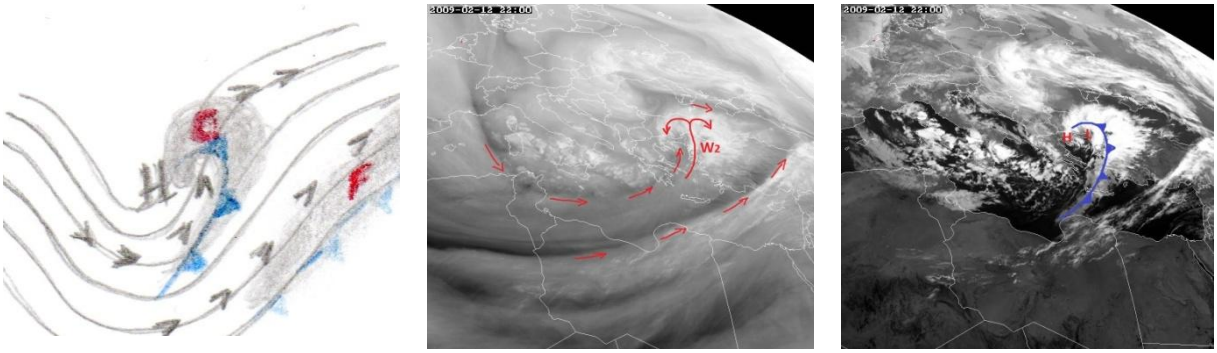
Γ) ΣΤΑΔΙΟ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

Στο στάδιο της ωρίμανσης, τα νέφη στην κορυφή του «κόμματος» αποκτούν το σχήμα του γάντζου (hook) (Εικ.4.4.3). Ο αεροχείμαρρος διασπάται σε δύο τμήματα (Εικ.4.4.3.β). Ακόμη η ζώνη θερμής μεταφοράς εμφανίζει δύο διαφορετικές ροές. Ένα τμήμα αυτής κατευθύνεται αντικυκλωνικά, ενώ ένα δεύτερο κινείται κυκλωνικά, ενισχύοντας την δημιουργία του γάντζου (Εικ.4.4.3.β).

Η ύφεση σε αυτή τη φάση βρίσκεται στη μεγαλύτερη ανάπτυξή της. Το κέντρο του χαμηλού σημειώνει τη μεγαλύτερη πτώση και τοποθετείται εσωτερικά του γάντζου, στο κέντρο καμπυλότητας του συστήματος. Επίσης η αρχική μετωπική μάζα F αρχίζει να διαλύεται.

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)

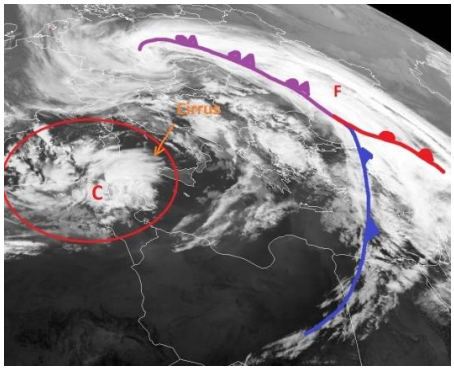


Εικόνα 4.4.3: α) Σχηματική μορφή της ατμόσφαιρας στο στάδιο της ωρίμανσης. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών(WV 06.2) στις 12-2-2009/22:00 UTC, στην οποία διακρίνεται ο αεροχείμαρρος (κόκκινα βελάκια), καθώς και η ζώνη θερμής μεταφοράς W_2. γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), στην οποία διακρίνεται η τελική μορφή του νέφους κόμματος, στο στάδιο της ωρίμανσης, με τη δημιουργία του «γάντζου».

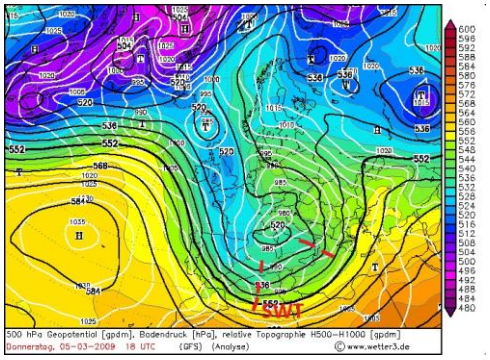
4.4.2 Μετωπική ύφεση στις 5-6-7 Μαρτίου 2009.

Η μετωπική ύφεση αυτή δημιουργήθηκε στον ψυχρό τομέα μιας προγενέστερης μετωπικής ύφεσης (3-4-5 Μαρτίου 2009), η οποία ήταν ιδιαίτερα ισχυρή και οργανωμένη και κινήθηκε ανατολικότερα της Ελλάδος. (Εικ.4.4.4.α). Η χαμηλότερη πίεση που σημειώθηκε στο κέντρο της ήταν 980 hPa (Εικ.4.4.4.στ). Στην περιοχή της Τυνησίας και βορειότερα αυτής εμφανίζονται τα νέφη C, τα οποία αποτελούνται κυρίως από σωρειτόμορφα και λιγότερα στρατόμορφα νέφη, όπως προκύπτει από τη μορφή, το σχήμα και τις ανοικτές αποχρώσεις που εμφανίζουν στην εικόνα του υπερύθρου (Εικ.4.4.4.α).

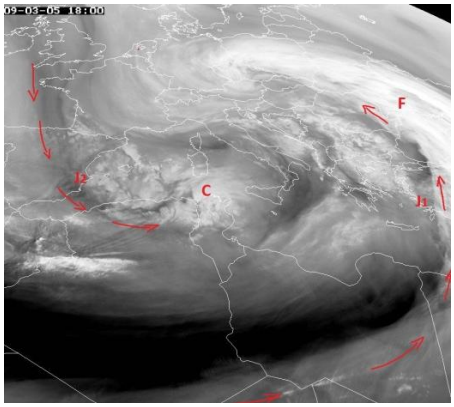
α)



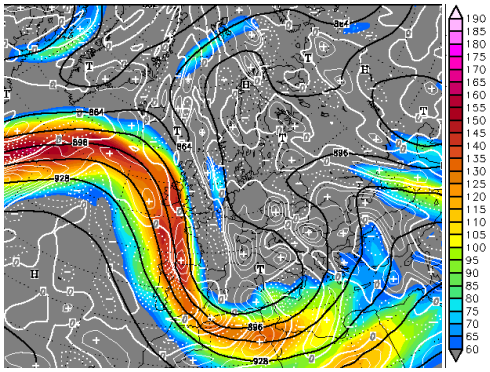
β)



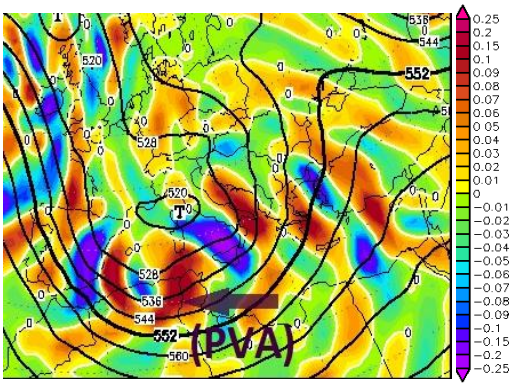
γ)



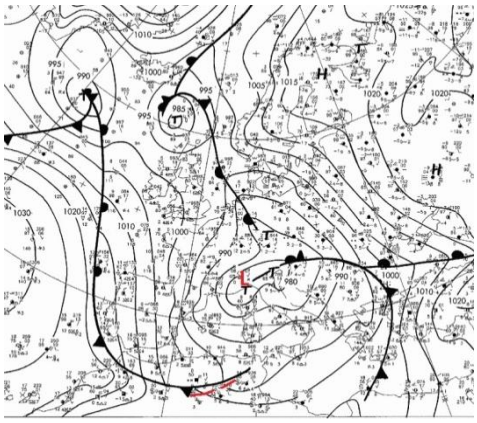
δ)



ε)



στ)



Εικόνα 4.4. 4: Δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες στις 5-3-2009/18:00 UTC. α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa. γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2). δ) Χάρτης ισοϋψών των 300 hPa. ε) Χάρτης μεταφοράς δυναμικού στροβιλισμού στα 500 hPa. στ) Χάρτης επιφανείας.

Στο χάρτη ισοϋψών των 500 hPa εμφανίζεται μια σχεδόν μεσημβρινή κυκλοφορία στην περιοχή της δυτικής Ευρώπης. Μια μικρότερης κλίμακας διαταραχή (Short Wave Trough,SWT), εμφανίζεται βορειοδυτικά της Τυνησίας, η οποία συσχετίζεται με την εμφάνιση των νεφών C (Εικ.4.4.4.β). Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό για την περιοχή των νεφών C αποτελεί, η ύπαρξη μεγίστου της θετικής μεταφοράς του δυναμικού στροβιλισμού (PVA) στην επιφάνεια των 500 hPa (Εικ.4.4.4.ε), γεγονός το οποίο συνδέεται με την κατακόρυφη ανάπτυξη των νεφών τύπου «κόμματος».

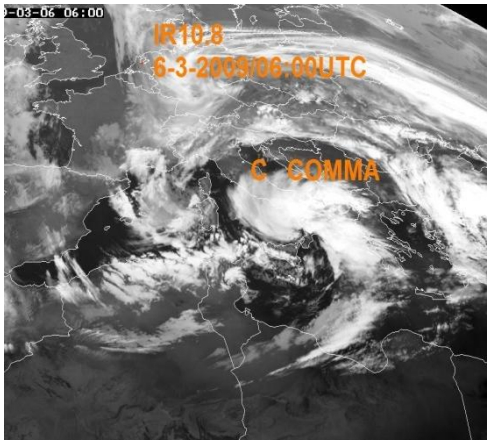
Στο κανάλι των υδρατμών (Εικ.4.4.4.γ) διακρίνεται ο αεροχείμαρρος J_1, ο οποίος βρίσκεται κατά μήκος της νεφικής μάζας F στη πολική πλευρά αυτής, καθώς και ο αεροχείμαρρος J_2, ο οποίος κινεί και τροφοδοτεί με ενέργεια τα νέφη C. Χαρακτηριστικά είναι τα νέφη Cirrus (Ci), που δημιουργούνται από τους άκμονες των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης (σωρειτομελανίες-cumulonimbus, CB) και κινούνται προς την κατεύθυνση των ισχυρών ανέμων της ανώτερης ατμόσφαιρας. (Εικ. 4.4.4.α).

Στο χάρτη επιφανείας τα νέφη C συνδέονται με μια κάμψη των ισοβαρών, η οποία στα επόμενα στάδια παίρνει τη μορφή ενός κλειστού βαρομετρικού χαμηλού (Εικ.4.4.4.στ).

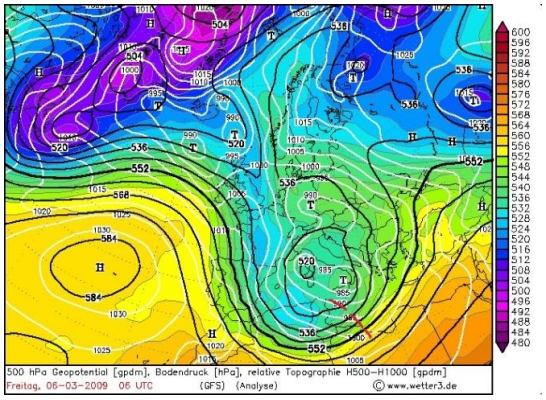
Στο στάδιο της ανάπτυξης τα νέφη C παίρνουν το σχήμα του «κόμματος» (Εικ.4.4.5.β), ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται μια εκρηκτική ανάπτυξη των νεφών κυρίως στη κεφαλή του «κόμματος» από σωρειτόμορφες νεφώσεις (ανεπτυγμένα Cu και CB). Αυτό προκύπτει από τη μορφή των νεφικών σχηματισμών, αλλά και από τις έντονες αποχρώσεις (λευκές) στις δορυφορικές εικόνες ορατού και υπέρυθρου (Εικ.4.4.5.α).

Η έντονη κατακόρυφη ανάπτυξη του νέφους «κόμματος» που παρατηρείται οφείλεται στη ζώνη θερμής μεταφοράς (Warm conveyor belt) WCB, η οποία μεταφέρει υγρές και θερμές αέριες μάζες από τα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας στην ανώτερη ατμόσφαιρα, κατά την κατακόρυφη αλλά και την οριζόντια έννοια (Εικ.4.4.5.γ).

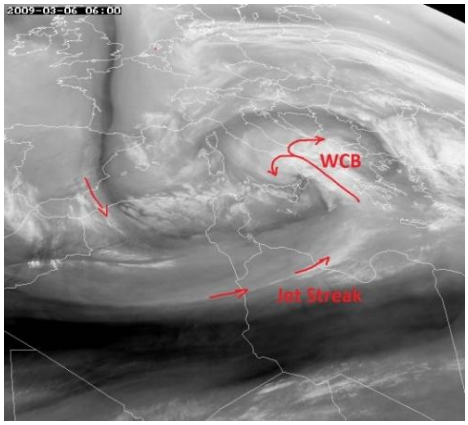
α)



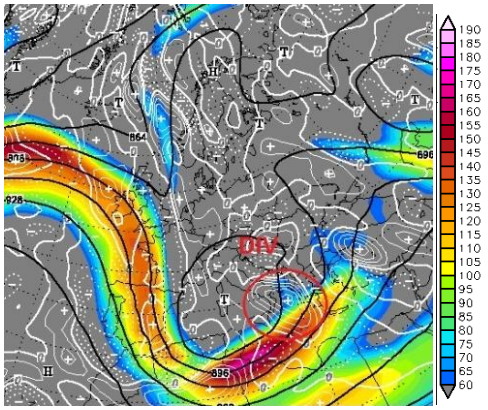
β)



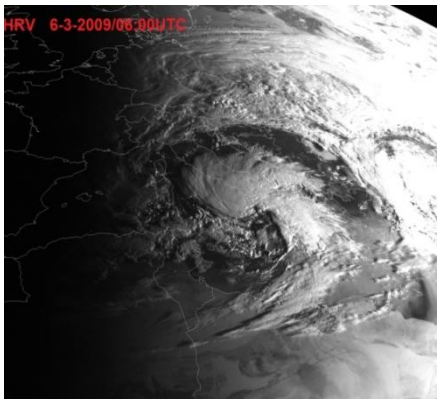
γ)



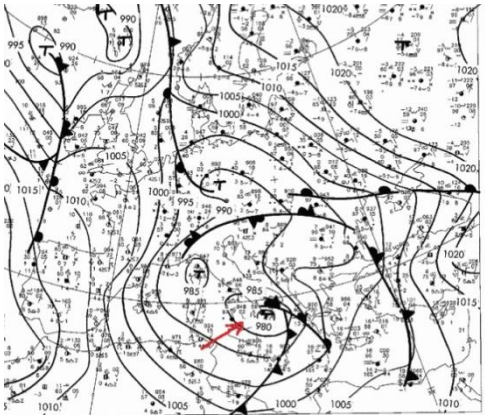
δ)



ε)



στ)



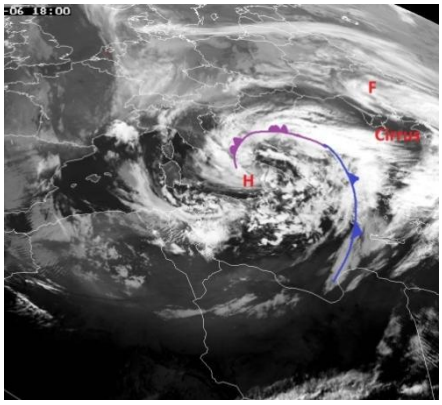
Εικόνα 4.4.5: Δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες στις 6-3-2009/06:00 UTC. α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa. γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2). δ) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa. ε) Χάρτης μεταφοράς απόλυτου στροβιλισμού στα 500 hPa. στ) Χάρτης επιφανείας.

Η ροή της θερμής ζώνης μεταφοράς (WCB) είναι γενικά αντικυκλωνική, σύμφωνα με την ροή της ανώτερης ατμόσφαιρας. Ωστόσο, στην κεφαλή του νέφους κόμματος, παρατηρείται ένα τμήμα της WCB να στρέφεται κυκλωνικά καθώς το σύστημα στροβιλίζεται κυκλωνικά γύρω από το κέντρο καμπυλότητάς του. Η κυκλωνική αυτή ροή οδηγεί στην δημιουργία του «γάντζου», ο οποίος είναι πιο εμφανής στο επόμενο στάδιο της ωρίμανσης.

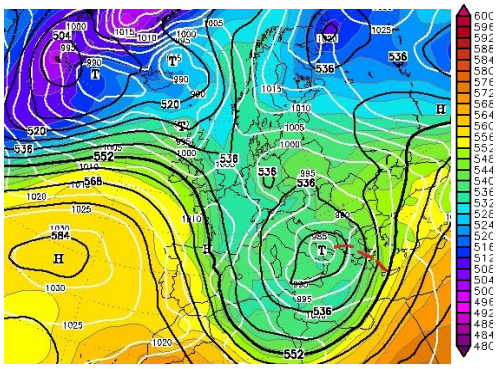
Στο χάρτη της επιφάνειας των 300 hPa, φαίνεται η θέση του αεροχειμάρρου. Στον ίδιο χάρτη, στην περιοχή της Τυνησίας και νοτιότερα αυτής οι εντάσεις του ανέμου είναι μέγιστες (>160 Kt), σύμφωνα με τη χρωματική κλίμακα του χάρτη. Στην περιοχή αυτή παρατηρείται η εμφάνιση ενός Jet Streak, το οποίο στις δορυφορικές εικόνες (IR και WV) εντοπίζεται από την ευδιάκριτη ινώδη μορφή (cloud fibres) που παρουσιάζουν τα νέφη cirrus (Εικ.4.4.5.α,γ). Στην αριστερή έξοδο του Jet Streak παρατηρούνται αυξημένες τιμές της απόκλισης (divergence) στην ανώτερη ατμόσφαιρα (Εικ.4.4.5.δ). Οι μεγάλες τιμές της απόκλισης στην ανώτερη ατμόσφαιρα συνοδεύονται με μεγάλες τιμές σύγκλισης στην επιφάνεια. ΄Ετσι ενισχύονται οι κατακόρυφες κινήσεις των αερίων μαζών με αποτέλεσμα την δημιουργία νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης

Στον χάρτη επιφανείας δημιουργείται κλειστό χαμηλό με πιέσεις στο κέντρο 980 hPa, ενώ συνοδεύεται και με μετωπική δραστηριότητα.(Εικ.4.4.5.στ). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η πίεση στην περιοχή του κόμματος από την αρχή της εμφάνισής του μέχρι την τελική ανάπτυξή του έπεσε κατά 15 hPa σε διάρκεια 12 ωρών περίπου (από 995 hPa στις 5-3-2009/18:00 UTC σε 980 hPa στις 6-3-2009/06:00 UTC).

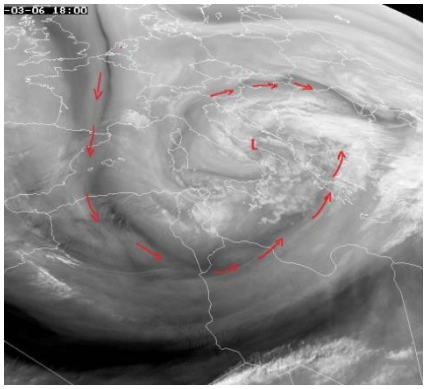
α)



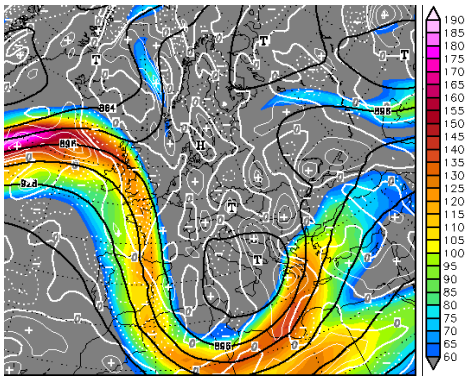
β)



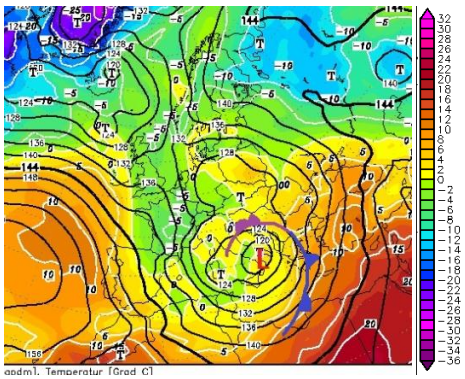
γ)



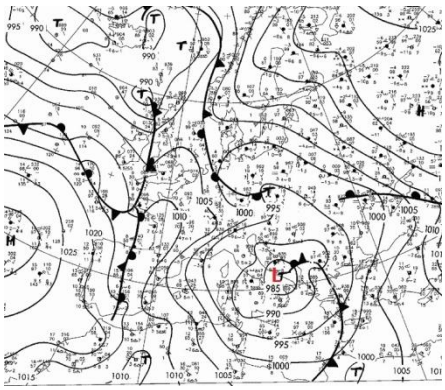
δ)



ε)



στ)



Εικόνα 4.4.6: Δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες στις 6-3-2009/18:00 UTC. α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa. γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2). δ) Χάρτης ισοϋψών των 300 hPa. ε) Χάρτης ισοϋψών και θερμοκρασιών στα 850 hPa. στ) Χάρτης επιφανείας.

Στο τελικό στάδιο της ωρίμανσης η μετωπική ύφεση έχει φτάσει στο μέγιστο της ανάπτυξής της. Τα νέφη στην «κεφαλή» του κόμματος αποκτούν το σχήμα του γάντζου (Hook) Η, ενώ η αρχική μετωπική μάζα F αρχίζει να διαλύεται (Εικ.4.4.6.α). Το νεφικό σύστημα στροβιλίζεται γύρω από το κέντρο καμπυλότητας και κινείται σταδιακά ανατολικά. Τα νέφη εμφανίζουν φωτεινές αποχρώσεις στην εικόνα του υπερύθρου και είναι ορατά τα «ξέφτια» που δημιουργούνται στα υψηλά νέφη (cirrus), λόγω των ενισχυμένων ανέμων της ανώτερης ατμόσφαιρας (Εικ.4.4.6.α).

Στα 500 hPa δημιουργείται ένα αποκομμένο χαμηλό με δύο κλειστές ισοϋψείς (5360 και 5280 gpm) (Εικ.4.4.6.β). Στην εικόνα των υδρατμών παρατηρείται η διάσπαση του αεροχειμάρρου (Εικ.4.4.6.γ).

Στον χάρτη επιφανείας η πίεση στο κέντρο του χαμηλού είναι 985 hPa (Εικ.4.4.6.στ). Η δημιουργία του ψυχρού μετώπου συνδέεται με την ψυχρή μεταφορά (cold advection) που εμφανίζεται στα 850 hPa (Εικ.4.4.6.ε).

4.4.3 Άλλες μετωπικές υφέσεις της κατηγορίας «ψυχρού τομέα ή τύπου κόμματος»

Η ύφεση της 12ης και 13ης Φεβρουαρίου 2009 (βλ.Παράρτημα, Εικ. 6)

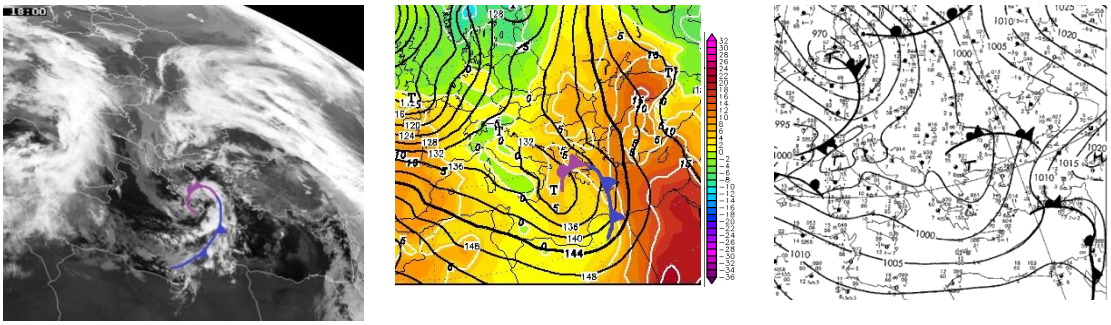
Η ύφεση αυτή παρουσιάζει τα ίδια δορυφορικά και συνοπτικά χαρακτηριστικά με αυτά της κατηγορίας που αναπτύχθηκε παραπάνω. Είναι μια τυπική ανάπτυξη τύπου «κόμματος», η οποία έλαβε χώρα στον ψυχρό τομέα μιας προηγηθείσας ύφεσης. Η αρχική μετωπική ύφεση αναπτύχθηκε στην κεντρική Ευρώπη και Μεσόγειο και κινήθηκε ανατολικότερα της Ελλάδος, ενώ η χαμηλότερη πίεση που σημειώθηκε στο κέντρο της ήταν 995 hPa. Η ανάπτυξη του «κόμματος» ξεκίνησε από την περιοχή της Τυνησίας και νότιας Ιταλίας και στην ανατολική του πορεία επηρέασε την περιοχή της χώρας μας.

Η ύφεση στις 23 Ιανουαρίου 2009

Παρατηρείται η δημιουργία «κόμματος» πίσω από μια σύσφιξη που προηγείται, με μικρότερες όμως εντάσεις. Πρόκειται για νέφη που αναπτύσσονται στο ψυχρό τομέα της σύσφιξης, εμφανίζονται αρχικά με πιο σκούρες αποχρώσεις στο υπέρυθρο είναι δηλαδή πιο

χαμηλά νέφη και καταλήγουν στη μορφή «κόμματος» με φωτεινές αποχρώσεις και σωρειτόμορφα στοιχεία. Ακόμη σύμφωνα με τη δορυφορική εικόνα και τον χάρτη των 850 hPa εμφανίζεται μετωπική δραστηριότητα (ψυχρό μέτωπο) (Εικ.4.4.7).

α) β) γ)

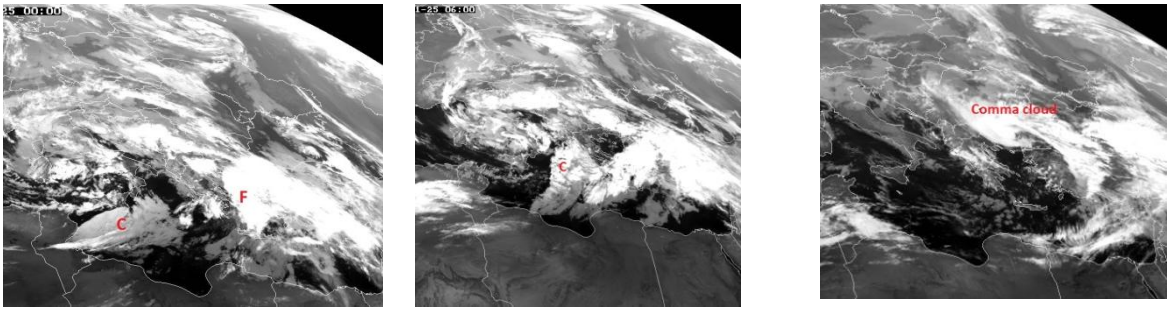


Εικόνα 4.4.7: α) Δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο (IR 10.8) στις 23-1-2009/18:00 UTC, στον οποίο σημειώνεται η μετωπική δραστηριότητα β) Ο αντίστοιχος χάρτης θερμικών μεταφορών (temperature advection) των 850 hPa, στον οποίο εμφανίζεται η θερμοβαθμίδα (με βάση τη χρωματική κλίμακα του χάρτη), στην περιοχή της μετωπικής δραστηριότητας, και γ) Ο αντίστοιχος χάρτης επιφανείας.

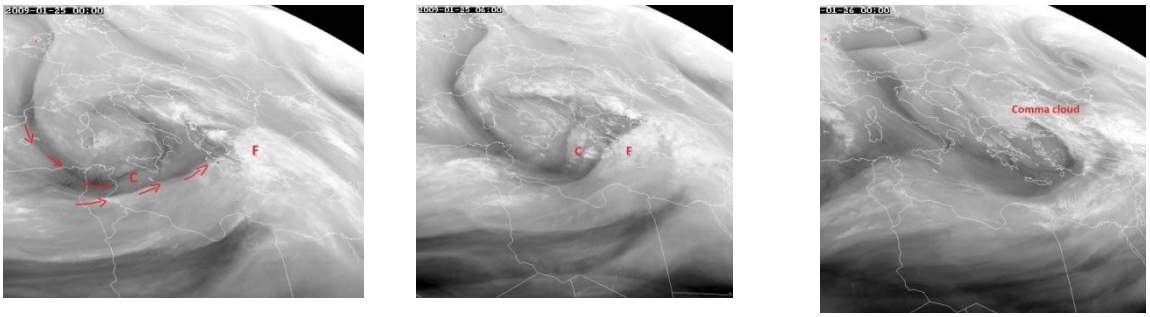
Η ύφεση στις 25 και 26 Ιανουαρίου 2009

Στην περίπτωση αυτή στον ψυχρό τομέα μιας μετωπικής ύφεσης, εμφανίζονται νεφώσεις (τύπου C), οι οποίες εξελίσσονται σε αναπτυγμένο νέφος τύπου κόμματος (comma cloud). Τα δορυφορικά χαρακτηριστικά της περίπτωσης αυτής συμφωνούν με τα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής. Στην παρακάτω εικόνα (Εικ.4.4.8) παρατίθενται διαδοχικές δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο κανάλι και στο κανάλι των υδρατμών, στις οποίες φαίνεται η εξέλιξη του νέφους κόμματος, καθώς και οι αντίστοιχοι συνοπτικοί χάρτες επιφανείας.

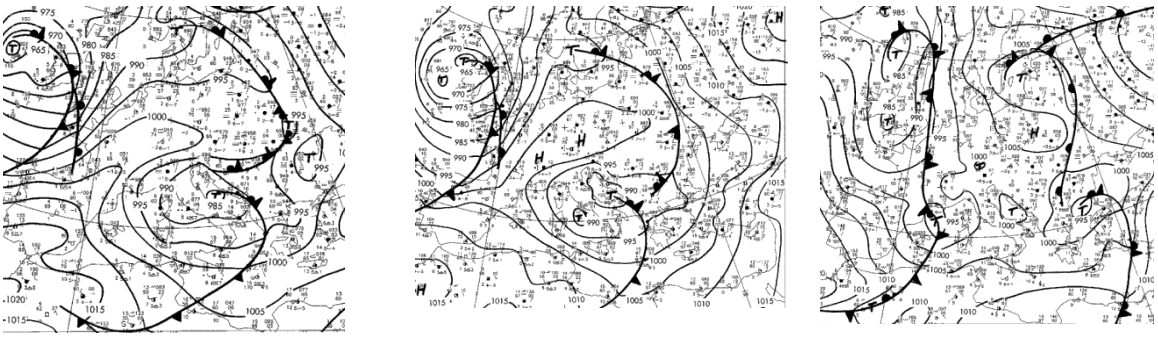
α)



β)



γ)



Εικόνα 4.4.8: α) Τρείς διαδοχικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), στις 25-1-09/00:00 UTC, στις 25-1-09/06:00 UTC και στις 26-1-09/00:00 UTC, β) Οι αντίστοιχες εικόνες στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2) και γ) Οι αντίστοιχοι χάρτες επιφανείας.

Η ύφεση στις 22 και 23 Φεβρουαρίου 2009.

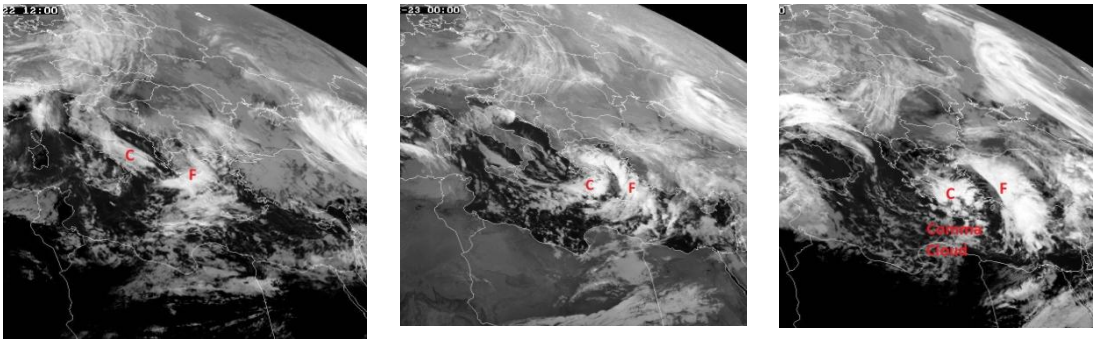
Η δημιουργία της ύφεσης αυτής ξεκίνησε από την Αδριατική, η κίνησή της ήταν νοτιοανατολική και επηρέασε κυρίως τα κεντρικά και νότια τμήματα της χώρα μας.

Παρουσιάζει κοινά στοιχεία στις δορυφορικές εικόνες με τα γενικά δορυφορικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής. Οι νεφικές μάζες στη περίπτωση αυτή είναι μικρότερης έκτασης και έντασης. Στην Εικόνα 4.4.9 (α,β, και γ), εμφανίζονται τρείς

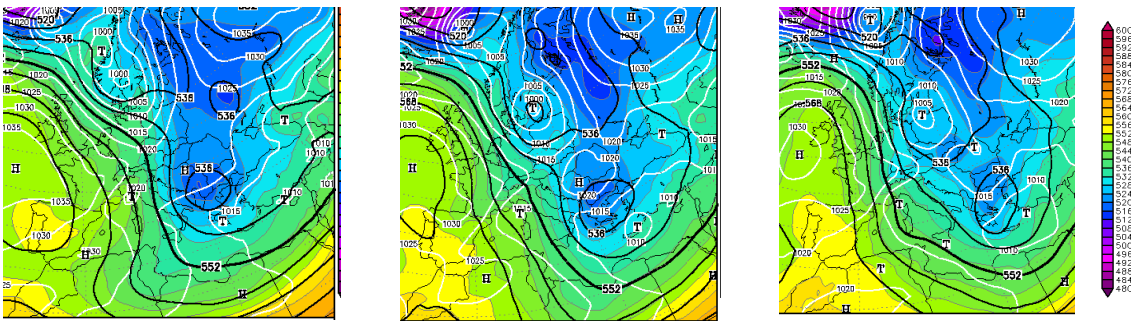
διαδοχικές δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου, στις οποίες εμφανίζονται τα νέφη F και C. Τα νέφη C, τα οποία βρίσκονται στον ψυχρό τομέα της νεφικής μάζας F, αναπτύσσονται σε νέφη τύπου κόμματος, χωρίς να αλληλεπιδράσουν με τα νέφη F.

Στα συνοπτικά χαρακτηριστικά και συγκεκριμένα στο επίπεδο των 500 hPa, εμφανίζονται κοινά χαρακτηριστικά, όπως: μεσημβρινή κυκλοφορία, αποκλίνουσα (diffluent) ροή, καθώς και δημιουργία κλειστού χαμηλού (Εικ.4.4.9.δ,ε,και στ).

α) β) γ)



δ) ε) στ)



Εικόνα 4.4.9: Τρείς διαδοχικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), α) στις 22-2-09/12:00 UTC, β) στις 23-2-09/00:00 UTC και γ) στις 23-2-09/12:00 UTC. Αντίστοιχοι χάρτες ισοϋψών των 500 hPa (γ,δ, και στ).

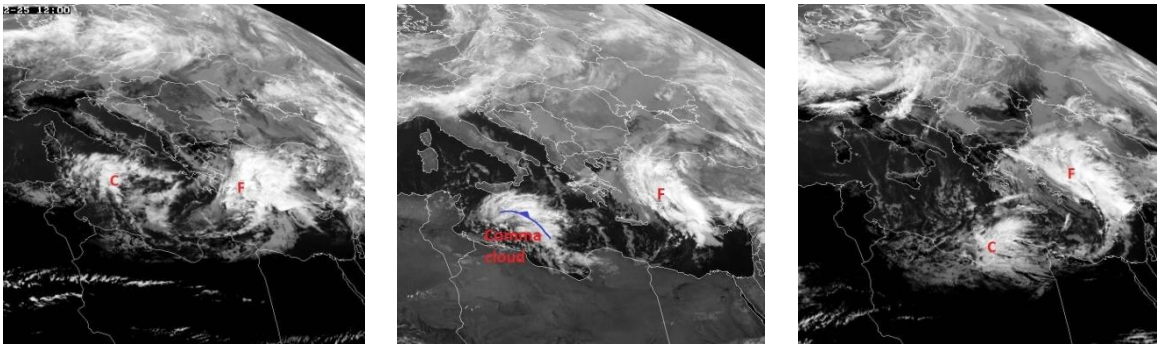
Η ύφεση στις 25 και 26 Φεβρουαρίου 2009

Πρόκειται για μια ύφεση της κεντρικής και ανατολικής Μεσογείου, η οποία επηρέασε τα νότια και ανατολικά τμήματα της χώρας μας.

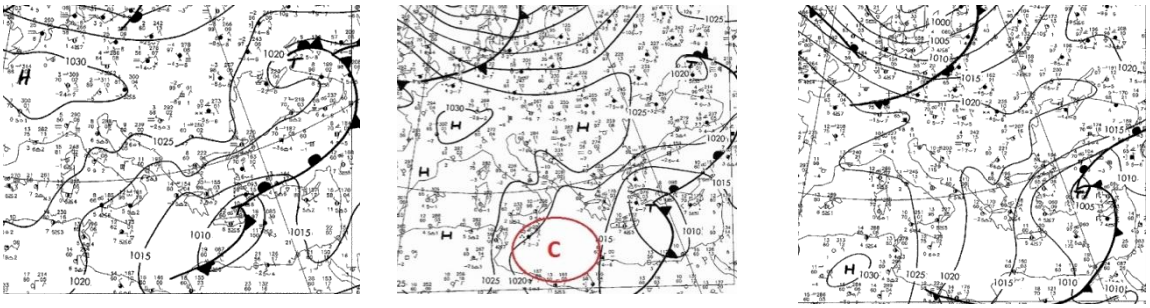
Στη περίπτωση αυτή αρχικά εμφανίζεται η μετωπική μάζα F, και στον ψυχρό τομέα αυτής τα νέφη C. Στην πορεία της εξέλιξης τα νέφη C αποκτούν το σχήμα του «κόμματος», ωστόσο στο τελικό στάδιο τα νέφη αυτά εξασθενούν και διασκορπίζονται (Εικ.4.4.10)

Στους αντίστοιχους χάρτες επιφανείας, περιγράφονται οι περιοχές των χαμηλών πιέσεων και των μετωπικών δραστηριοτήτων. Στη δορυφορική εικόνα στις 26-2-2009/00:00 *UTC* (Εικ.4.4.10.β), φαίνεται η νέφωση τύπου κόμματος (comma cloud), η οποία βρίσκεται βόρεια της Λιβύης στο κόλπο της Σύρτης.

α) **β)** **γ)**



δ) **ε)** **στ)**



Εικόνα 4.4.10: Τρείς διαδοχικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), α) στις 25-2-09/12:00 UTC, β) στις 26-2-09/00:00 UTC και γ) στις 26-2-09/12:00 UTC αντίστοιχα. Χάρτες επιφανείας (δ, ε και στ), οι οποίοι αντιστοιχούν στις ίδιες ημερομηνίες και ώρες των παραπάνω δορυφορικών εικόνων.

4.4.4. Υποκατηγορία.

Στις υφέσεις ψυχρού τομέα ή τύπου «κόμματος» μπορεί να ενταχθεί και η παρακάτω **μετωπική ύφεση στις 20 και 21 Μαρτίου 2009**. Η ύφεση αυτή παρουσιάζει εν

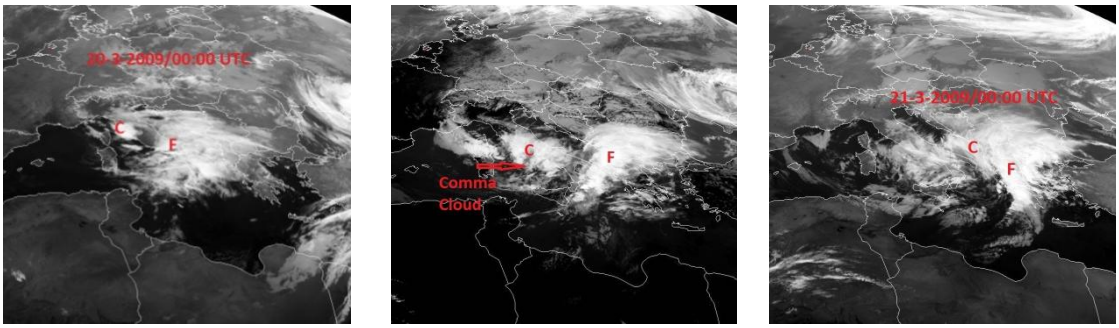
γένει τα ίδια χαρακτηριστικά στις δορυφορικές εικόνες με μια διαφοροποίηση στο τελικό στάδιο.

Εμφανίζονται και στη περίπτωση αυτή τα νέφη C στον ψυχρό τομέα μιας μετωπικής μάζας F, σταδιακά παίρνουν την μορφή ενός κόμματος, αλλά στο τελικό στάδιο πλησιάζουν την νεφική μάζα F και συνενώνονται (4.4.11.α,β και γ).

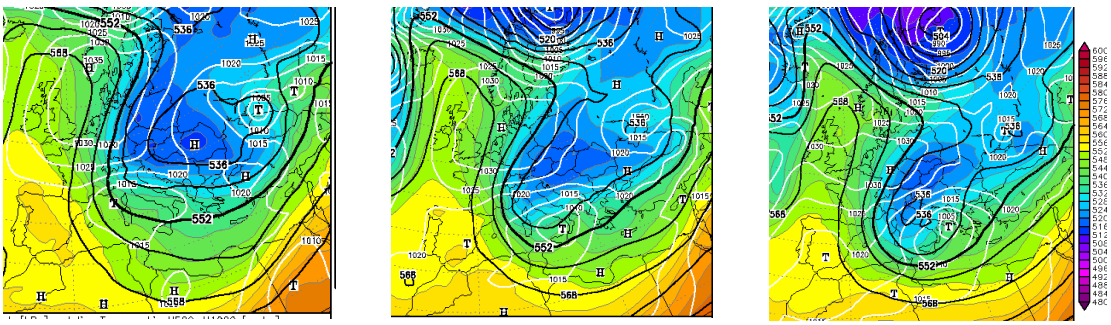
Όσον αφορά τα συνοπτικά χαρακτηριστικά δεν υπάρχουν εν γένει σημαντικές διαφοροποιήσεις. Η κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από μεσημβρινή γενικά συνιστώσα, παρατηρείται κλειστό χαμηλό και η ροή είναι γενικά αποκλίνουσα (diffluent) (Εικ.4.4.11.δ,ε και στ).

Η ύφεση αυτή εμφανίζεται και δημιουργείται στην κεντρική Μεσόγειο, συγκεκριμένα στην περιοχή της Τυρρηνικής θάλασσας και της νότιας Ιταλίας, και κατά την ανατολική της επέκταση επηρεάζει την περιοχή της Ελλάδας.

α) β) γ)



δ) ε) στ)



Εικόνα 4.4.11: Τρείς διαδοχικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), α) στις 20-3-09/00:00 UTC, β) στις 20-3-09/12:00 UTC και γ) στις 21-3-09/00:00 UTC αντίστοιχα. Χάρτες ισοϋψών των 500 hPa (δ, ε και στ), οι οποίοι αντιστοιχούν στις ίδιες ημερομηνίες και ώρες των παραπάνω δορυφορικών εικόνων.

4.5. Μετωπικές υφέσεις «μεσημβρινού αυλώνα με νέφη (C) στον ψυχρό τομέα».

Γενικά.

Στην κατηγορία αυτή τα ιδιαίτερα δορυφορικά χαρακτηριστικά είναι η εμφάνιση νεφών (C) στον ψυχρό τομέα μιας μετωπικής νεφικής μάζας F, η οποία νεφική μάζα F εξελίσσεται με παρόμοιο τρόπο, όπως στην κατηγορία των μετωπικών υφέσεων «μεσημβρινού αυλώνα» (Κεφ.4, παρ.4.2)(Εικόνα 4.5.1). Στην πολική πλευρά των νεφών F εμφανίζονται χαμηλότερα νέφη E (Emerged). Στην περίπτωση αυτή η κυκλογέννεση φαίνεται να λαμβάνει χώρα κάτωθεν των νεφών F.

Τα νέφη C που εμφανίζονται στον ψυχρό τομέα των F συνδέονται με μια διαταραχή ενός μεσημβρινού αυλώνα, κινούνται προς τα νέφη E, χωρίς εν γένει να συγχωνεύονται με αυτά. Η μη συγχώνευση των νεφών C με τα νεφη E αποτελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας υφέσεων.

Η κυκλοφορία στο επίπεδο των 500 hPa είναι μεσημβρινή και η ροή είναι κυρίως συμμετρική ως προς τον άξονα του αυλώνα.

Η κατηγορία αυτή έχει κοινά χαρακτηριστικά με την κατηγορία «Induced wave cyclogenesis» (Bader et al.,1995).

4.5.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων της κατηγορίας: «μεσημβρινού αυλώνα με νέφη (C) στον ψυχρό τομέα».

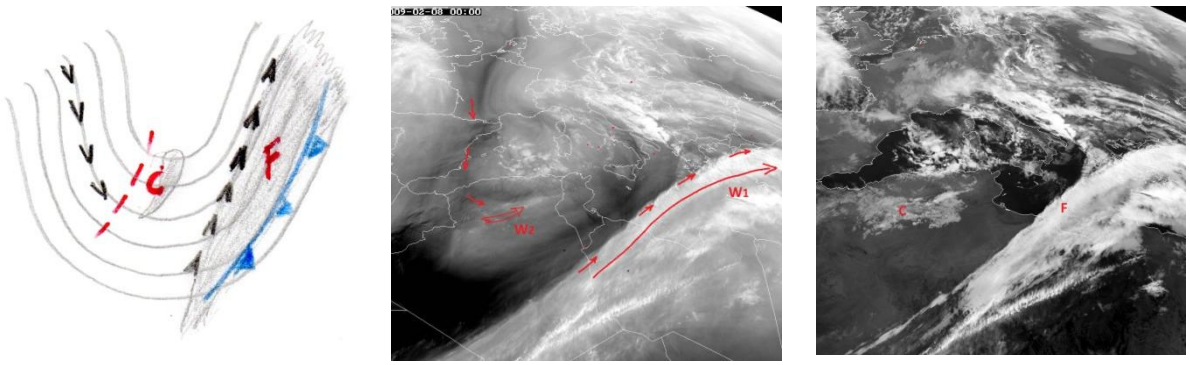
Α) ΑΡΧΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ

Στο αρχικό στάδιο εμφανίζονται οι δύο νεφικές μάζες F και C (Εικ.4.5.1.α,γ). Τα νέφη F που συνήθως είναι μια μετωπική μάζα σχετίζονται με μια θερμή ζώνη μεταφοράς W_1. Η πολική πλευρά αυτών αρχίζει να παίρνει το σχήμα S, ενώ χαρακτηριστική είναι η αιχμηρή άκρη (sharp edge) που εμφανίζεται στα υψηλά κυρίως νέφη (Εικ. 4.5.1.β,γ). Το αιχμηρό αυτό σχήμα της πολικής πλευράς της νέφωσης F είναι αποτέλεσμα μιας ζώνης παραμόρφωσης που δημιουργείται με την κατακόρυφη ανάπτυξη της θερμής ζώνης μεταφοράς σε συνδυασμό με τις αντίθετες καθοδικές κινήσεις από τα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας ή τα κατώτερα τμήματα της στρατόσφαιρας. Για τον λόγο αυτόν η ζώνη

παραμόρφωσης συμπίπτει με την περιοχή όπου εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές του ανέμου σε μια θερμή ζώνη μεταφοράς (Semple, 1998).

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.5.1: α) Σχηματική διάταξη στο αρχικό στάδιο της κατηγορίας «μεσημβρινού αυλώνα με νέφη C στον ψυχρό τομέα». Οι συνεχείς γραμμές αντιστοιχούν σε υσοϋψείς της επιφανείας των 500hPa, τα βελάκια προσδιορίζουν τη θέση του αεροχειμάρρου και οι περιοχές με το χρώμα γκρί αναφέρονται στις νεφικές μάζες F και C,αντίστοιχα. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8) στις 08-2-2009/00:00 UTC, στην οποία διακρίνονται τα τμήματα του αεροχειμάρρου (κόκκινα βελάκια), καθώς και οι θερμές ζώνες μεταφοράς W_1 και W_2. γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), στην οποία φαίνονται τα νέφη C και F.

Τα νέφη C εμφανίζονται στον ψυχρό τομέα της νεφικής μάζας F και βρίσκονται μπροστά από έναν αυλώνα της ανώτερης ατμόσφαιρας (500 hPa) (Εικ.4.5.1.α,γ). Συνήθως εμφανίζονται με μια λεπτή και διαμήκη μορφή. Ακόμη μπορεί να συσχετιστούν με μια δευτερεύουσα θερμή ζώνη μεταφοράς W_2 (Εικ.4.5.1.β).

Β) ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

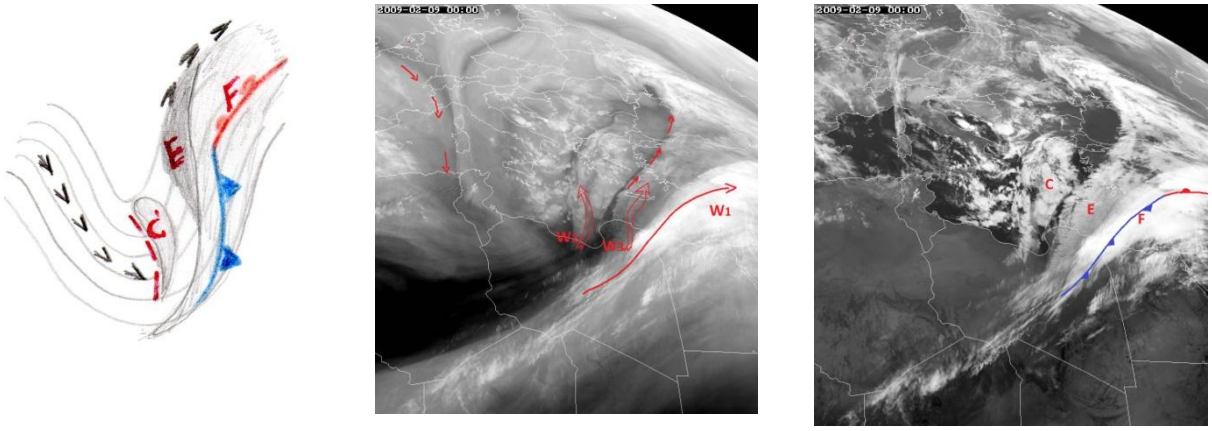
Στο στάδιο της ανάπτυξης, στην πολική πλευρά των νεφών F εμφανίζονται τα νέφη E, τα οποία παρουσιάζουν πιο σκούρες αποχρώσεις στην εικόνα του υπερύθρου, δηλαδή είναι χαμηλότερα νέφη σε σχέση με τα νέφη F (Εικ.4.5.2.α,γ). Τα νέφη E αναδύονται κάτω από τα νέφη F και διευρύνονται σταδιακά, οφείλουν δε τη δημιουργία τους σε μια τρίτη θερμή ζώνη μεταφοράς W_3, η οποία ξεκινά από χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας

κάτω από τα νέφη F (Εικ.4.5.2.β). Τα νέφη E δηλώνουν ότι μια ύφεση είναι σε εξέλιξη, η οποία λαμβάνει χώρα κάτω από τα νέφη F (Bader et al.,1995).

Τα νέφη C συνδέονται με τον αυλώνα της ανώτερης ατμόσφαιρας και πλησιάζουν σταδιακά την υπόλοιπη νεφική μάζα (Εικ.4.5.2.α,γ,).

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.5.2: α) Σχηματική διάταξη στο στάδιο ανάπτυξης της κατηγορίας «μεσημβρινού αυλώνα με νέφη C στον ψυχρό τομέα». Οι συνεχείς γραμμές αντιστοιχούν σε υσοϋψείς της επιφανείας των 500hPa. Διακρίνονται οι νεφικές μάζες F, E και C, καθώς επίσης η σχετική θέση του αυλώνα (διακεκομμένη γραμμή), η θέση του αεροχειμάρρου και η μετωπική δραστηριότητα. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8) στις 09-2-2009/00:00 UTC, στην οποία διακρίνονται τα τμήματα του αεροχειμάρρου (κόκκινα βελάκια), καθώς και οι θερμές ζώνες μεταφοράς W_1 , W_2 και W_3. γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), στην οποία φαίνονται τα νέφη C και F και E.

Γ) ΣΤΑΔΙΟ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

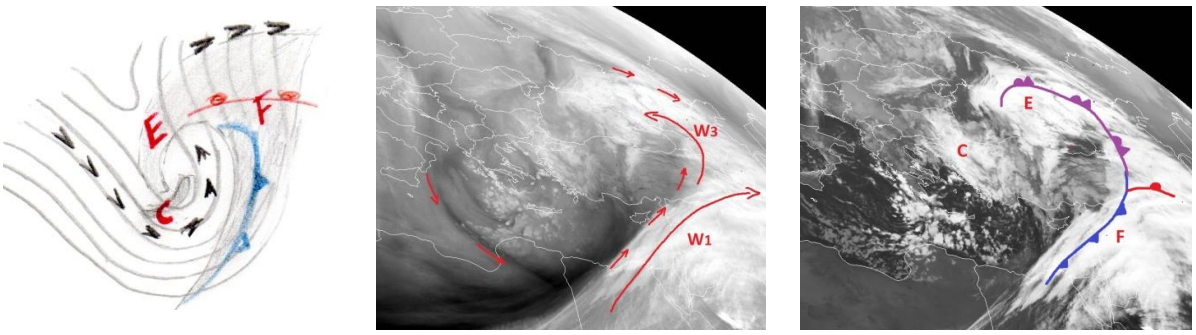
Στο στάδιο της ωρίμανσης, η ύφεση βρίσκεται στη μεγαλύτερη ανάπτυξή της. Τα νέφη C πλησιάζουν τα νέφη E, αλλά συνήθως δεν συγχωνεύονται μαζί τους (Εικ.4.5.3.γ). Μπορεί να συρρικνωθούν ή και να διαλυθούν σε μικρότερα τμήματα, τα οποία κινούνται σύμφωνα με τη ροή της ανώτερης κυκλοφορίας**.**

Στο κανάλι των υδρατμών διακρίνονται οι δύο θερμές μάζες μεταφοράς. Η W_1 αποτελεί τη βασική ζώνη μεταφοράς με κίνηση αντικυκλωνική ενώ η W_3 έχει κυκλωνική κίνηση και

συνδέεται με την ανάπτυξη των νεφών E που οδηγούν στην δημιουργία «γάντζου» (hook). Ακόμη παρατηρείται η διάσπαση του αεροχειμάρρου (Εικ.4.5.3.β).

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



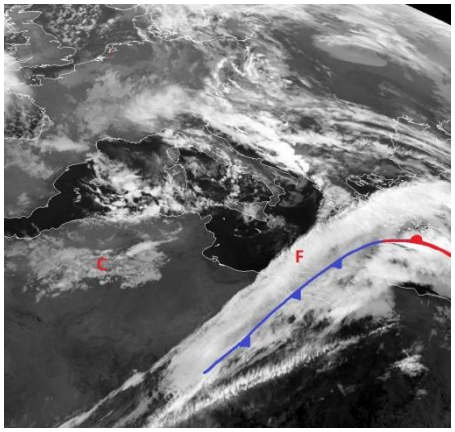
Εικόνα 4.5.3. α) Σχηματική μορφή της ατμόσφαιρας στο στάδιο της ωρίμανσης. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών(WV 06.2) στις 9-2-2009/18:00 UTC, στην οποία διακρίνεται ο αεροχείμαρρος (κόκκινα βελάκια), καθώς και οι ζώνες θερμής μεταφοράς W_1 και W_3. γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8).

4.5.2. Μετωπική ύφεση στις 8 και 9 Φεβρουαρίου 2009.

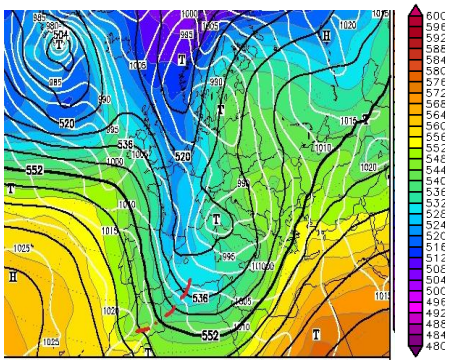
Η δημιουργία της μετωπικής ύφεσης αυτής ξεκινά από μια χαρακτηριστική θερμή ζώνη μεταφοράς, συνοπτικής κλίμακας, η οποία προέρχεται από τη βόρεια Αφρική και φτάνει μέχρι την Ελλάδα. Αυτή η θερμή ζώνη μεταφοράς συνδέεται με τη μετωπική νεφική μάζα F, η οποία έχει το σχήμα S και εμφανίζει έντονες αποχρώσεις στην εικόνα του υπερύθρου φάσματος, που σημαίνει ότι οι νεφώσεις που απεικονίζονται στην δορυφορική εικόνα είναι υψηλές. (Εικ.4.5.4.α).

Στην πολική πλευρά των νεφών F φαίνονται τα νέφη C (Εικ.4.5.4.α), τα οποία βρίσκονται ακριβώς μπροστά από μια διαταραχή ενός μεσημβρινού αυλώνα (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή στον χάρτη ισοϋψών των 500 hPa) (Εικ. 4.5.4.β). Τα νέφη C εμφανίζουν πιο σκούρες αποχρώσεις στην εικόνα του υπερύθρου, δηλ. οι κορυφές τους είναι θερμότερες σε σχέση με αυτές της νεφικής μάζας F. Το σχήμα τους εμφανίζει μια επιμήκη μορφή και κινούνται ανατολικά σύμφωνα με την ανώτερη κυκλοφορία (Εικ.4.5.4.α)

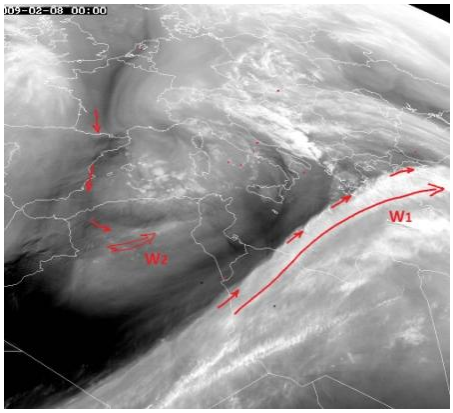
α)



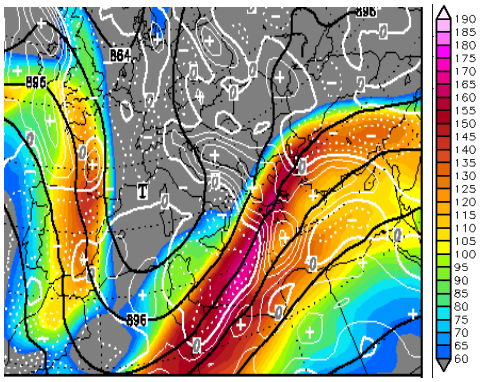
β)



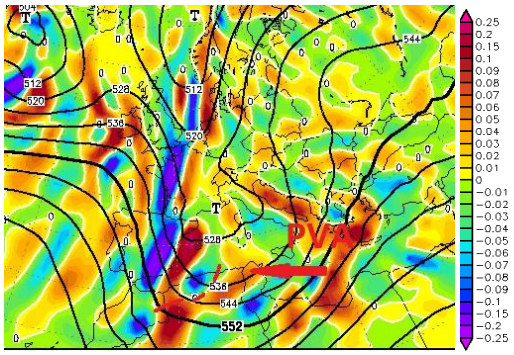
γ)



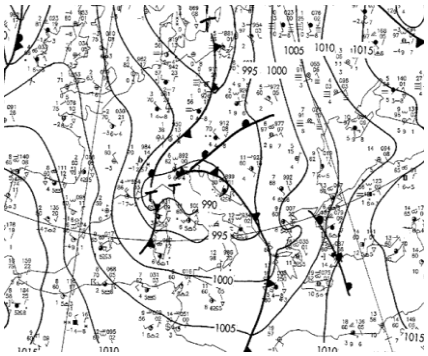
δ)



ε)



στ)



Εικόνα 4.5.4: Δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες στις 8-2-2009/00:00 UTC. α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa. γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2). δ) Χάρτης ισοϋψών των 300 hPa. ε) Χάρτης μεταφοράς δυναμικού στροβιλισμού στα 500 hPa. στ) Χάρτης επιφανείας.

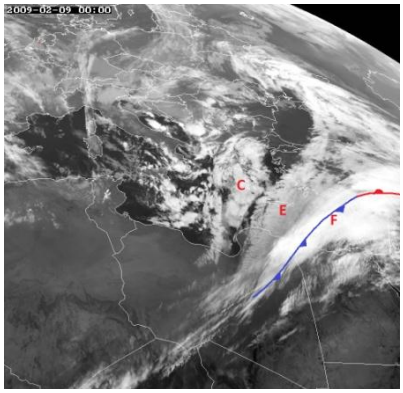
Στην εικόνα των υδρατμών (Εικ.4.5.4.γ.) διακρίνεται η υγρασία της μέσης και ανώτερης ατμόσφαιρας, ειδικότερα αυξημένη στην περιοχή της θερμής ζώνης μεταφοράς W_1. Η πολική πλευρά της ζώνης αυτής διακρίνεται από την έντονη βαθμίδα της υγρασίας και οριοθετείται με την παρουσία του αεροχειμάρρου (Εικ. 4.5.4.γ,μικρά κόκκινα βελάκια). Επίσης τα νέφη C συνδέονται με μια δευτερεύουσα ζώνη θερμής μεταφοράς W_2 και κινούνται με την ενέργεια του τμήματος του αεροχειμμάρου, όπως φαίνεται στην ίδια δορυφορική εικόνα.

Βορειοδυτικά των νεφών F εμφανίζονται διάσπαρτα νέφη, τα οποία προέκυψαν από τη διάλυση μιας προηγηθείσας μετωπικής ύφεσης της δυτικής Μεσογείου (Εικ.4.5.4.α) και αποτυπώνεται στον χάρτη επιφανείας με τη μετωπική δραστηριότητα που εμφανίζεται (Εικ.4.5.4.στ). Τα νέφη αυτά δεν συνδέονται ουσιαστικά με τη δημιουργία της κυκλογέννεσης που μελετάται.

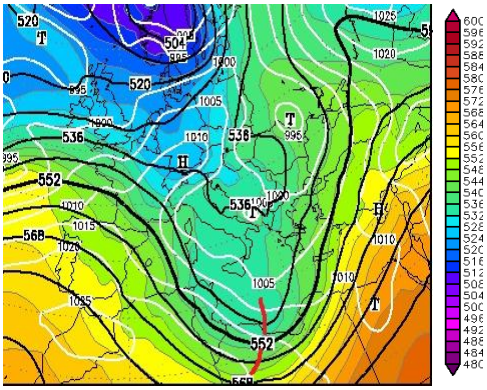
Στον χάρτη μεταφοράς δυναμικού στροβιλισμού στα 500 hPa (Εικ.4.5.4.ε.), παρατηρούνται μέγιστες τιμές της θετικής μεταφοράς στροβιλισμού (PVA) ακριβώς μπροστά από τον αυλώνα (σημειώνεται στο χάρτη με διακεκομμένη κόκκινη γραμμή), στα κατάντη τμήματα αυτού. Στην περιοχή αυτή δημιουργούνται ανοδικές κινήσεις (convection), οι οποίες οδηγούν στην δημιουργία των νεφών C. Έτσι η θετική μεταφορά στροβιλισμού μπροστά από τον αυλώνα συνδέεται άμεσα με τη δημιουργία των νεφών C.

Στο στάδιο της ανάπτυξης παρατηρείται η εμφάνιση νεφών E στην πολική πλευρά της νεφικής μάζας F, τα οποία είναι χαμηλότερα νέφη (σκουρότερες αποχρώσεις του γκρι στο υπέρυθρο φάσμα). Τα νέφη E (Emerged) αυτά αναδύονται κάτω από τα νέφη F και ουσιαστικά η κυκλογέννεση λαμβάνει χώρα κάτωθεν των νεφών F (Εικ.4.5.5.α). Τα νέφη E συνδέονται με μια τρίτη ζώνη θερμής μεταφοράς W_3, η οποία δημιουργείται από χαμηλότερα στρώματα από αυτά της κύριας ζώνης θερμής μεταφοράς W_1 (Εικ.4.5.5.γ). Επίσης η ζώνη θερμής μεταφοράς W_3 κινείται κυκλωνικά καθώς ανέρχεται, εν αντιθέσει με την αρχική ζώνη θερμής μεταφοράς W_1, η οποία κινείται αντικυκλωνικά.

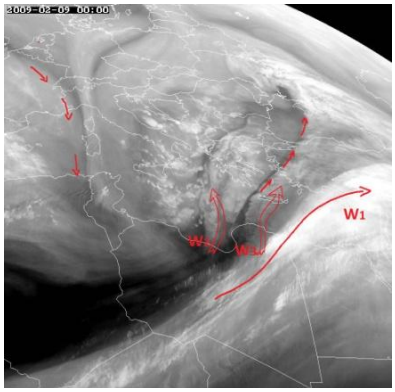
α)



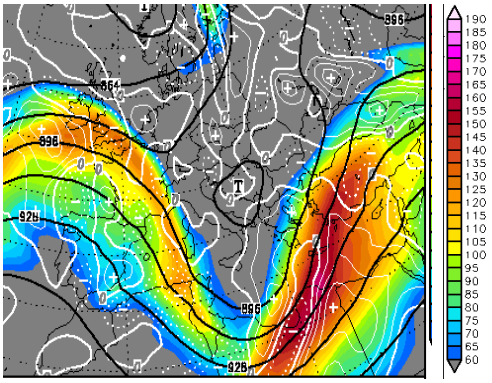
β)



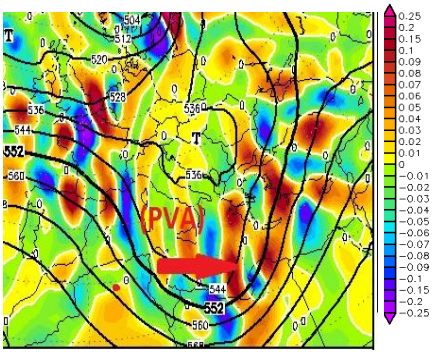
γ)



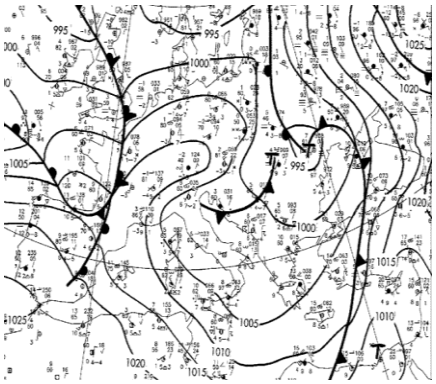
δ)



ε)



στ)



Εικόνα 4.5.5: Δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες στις 9-2-2009/00:00 UTC. α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa. γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2). δ) Χάρτης ισοϋψών των 300 hPa. ε) Χάρτης μεταφοράς δυναμικού στροβιλισμού στα 500 hPa. στ) Χάρτης επιφανείας.

Τα νέφη C έχουν αναπτυχθεί σημαντικά σε σχέση με το προηγούμενο στάδιο, και αυτό αποδεικνύεται και από τη φωτεινότητά τους, η οποία αυξάνει και υποδηλώνει ότι οι κορυφές τους έχουν γίνει πιο ψυχρές, άρα και πιο υψηλές. Ακόμη διευρύνονται και πλησιάζουν στα νέφη Ε.(Εικ.4.5.5.α).

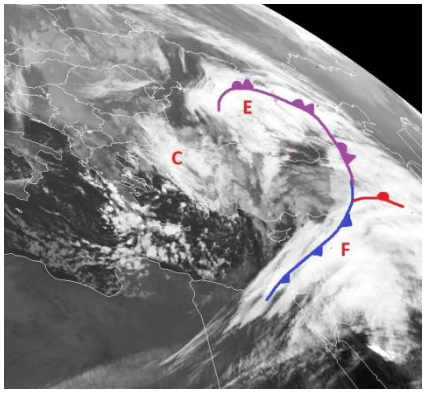
Τα νέφη C συνεχίζουν να βρίσκονται ακριβώς μπροστά από την ανώτερη διαταραχή των 500 hPa (Εικ.4.5.5.β), στην περιοχή όπου παρατηρούνται μέγιστες τιμές θετικής μεταφοράς στροβιλισμού PVA (Εικ.4.5.5.ε).

Στο τελικό στάδιο της ωρίμανσης τα νέφη Ε με την κυκλωνική κίνησή τους παίρνουν τη μορφή ενός γάντζου, ενώ καθώς αναπτύσσονται οι κορυφές του γίνονται ψυχρότερες, όπως προκύπτει και από τις ανοιχτές αποχρώσεις που εμφανίζουν στην εικόνα του υπερύθρου (Εικ.4.5.6.α). Από τη μορφή των νεφών στην εικόνα του υπερύθρου σε συνδυασμό με τις θερμικές μεταφορές στον χάρτη των 850 hPa (Εικ.4.5.6.ε) σχεδιάστηκαν οι μετωπικές δραστηριότητες.

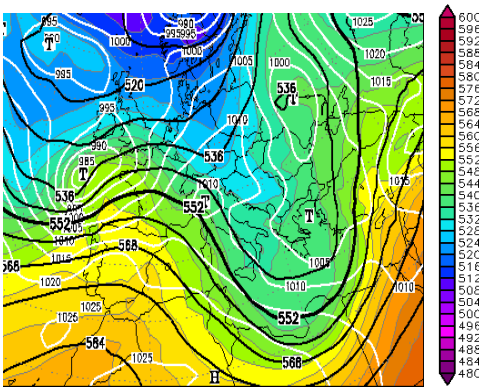
Τα νέφη C δεν συγχωνεύονται με τα υπόλοιπα νέφη πλησιάζουν αρκετά τα νέφη Ε, χωρίς όμως να συγχωνεύονται μεταξύ τους (Εικ.4.5.6.α).

Το κέντρο του χαμηλού (1000 hPa) στην επιφάνεια εντοπίζεται κάτω από τα νέφη Ε.

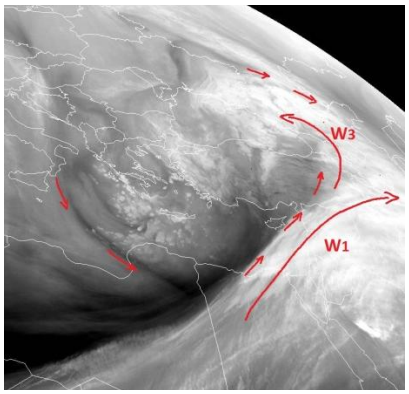
α)



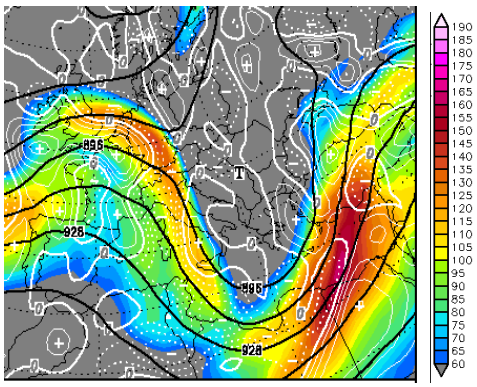
β)



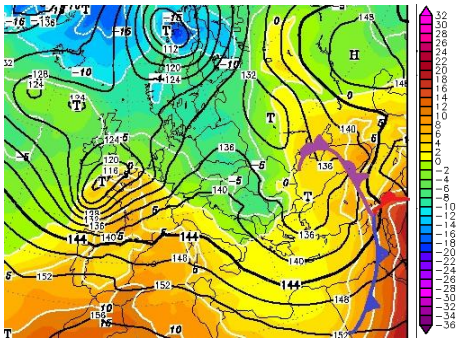
γ)



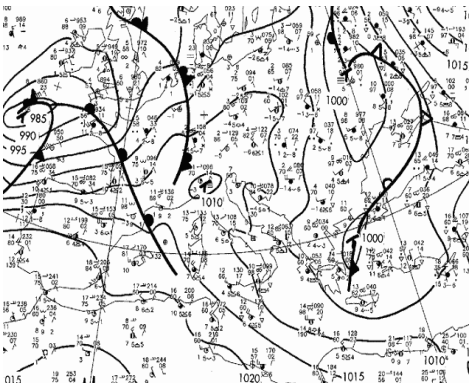
δ)



ε)



στ)



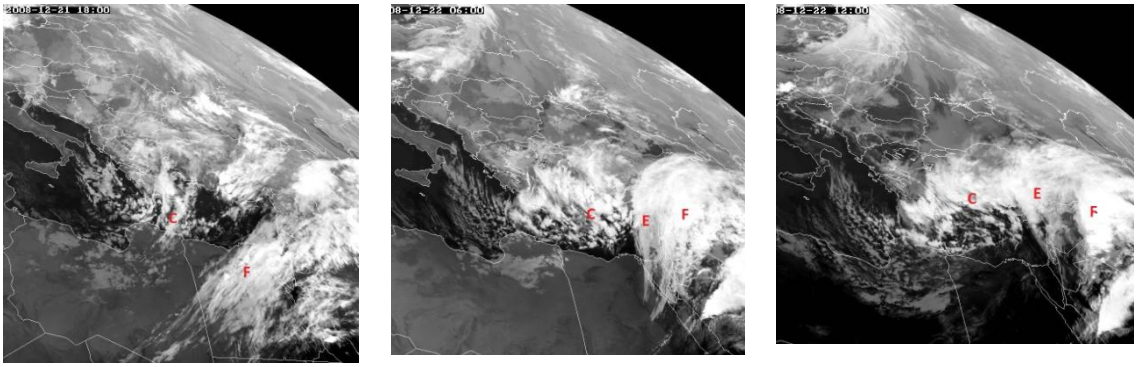
Εικόνα 4.5.6: Δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες στις 9-2-2009/18:00 UTC. α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa. γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2). δ) Χάρτης ισοϋψών των 300 hPa. ε) Χάρτης μεταφοράς δυναμικού στροβιλισμού στα 500 hPa. στ) Χάρτης επιφανείας.

4.5.3 Άλλες μετωπικές υφέσεις της κατηγορίας «μεσημβρινού αυλώνα με νέφη C στον ψυχρό τομέα»

- **Η ύφεση στις 21 και 22 Δεκεμβρίου 2008.**

Η ύφεση αυτή έλαβε χώρα στην ανατολική Μεσόγειο και επηρέασε τα νοτιοανατολικά τμήματα της Ελλάδας. Υπάρχει συμφωνία στα γενικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων. Στα 500 hPa παρατηρείται μεσημβρινός αυλώνας με διαφοροποίηση ως προς τη ροή, η οποία εμφανίζεται αποκλίνουσα ως προς τον άξονα του αυλώνα.

α) β) γ)



Εικόνα 4.5.7: Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), α) στις 21-12-08/18:00 UTC, β) στις 22-12-08/06:00 UTC και γ) στις 22-12-08/12:00 UTC.

Στην Εικόνα 4.5.7. φαίνονται τρείς δορυφορικές εικόνες, οι οποίες αντιστοιχούν στο αρχικό στάδιο (α), στο στάδιο ανάπτυξης (β) και στο στάδιο ωρίμανσης (γ) της εξέλιξης της ύφεσης που μελετάται. Διακρίνονται οι νεφικές μάζες F,C και E και οι σχετικές θέσεις μεταξύ τους, όπως αναλυτικά περιγράφονται στα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής (παρ.4.5.1.).

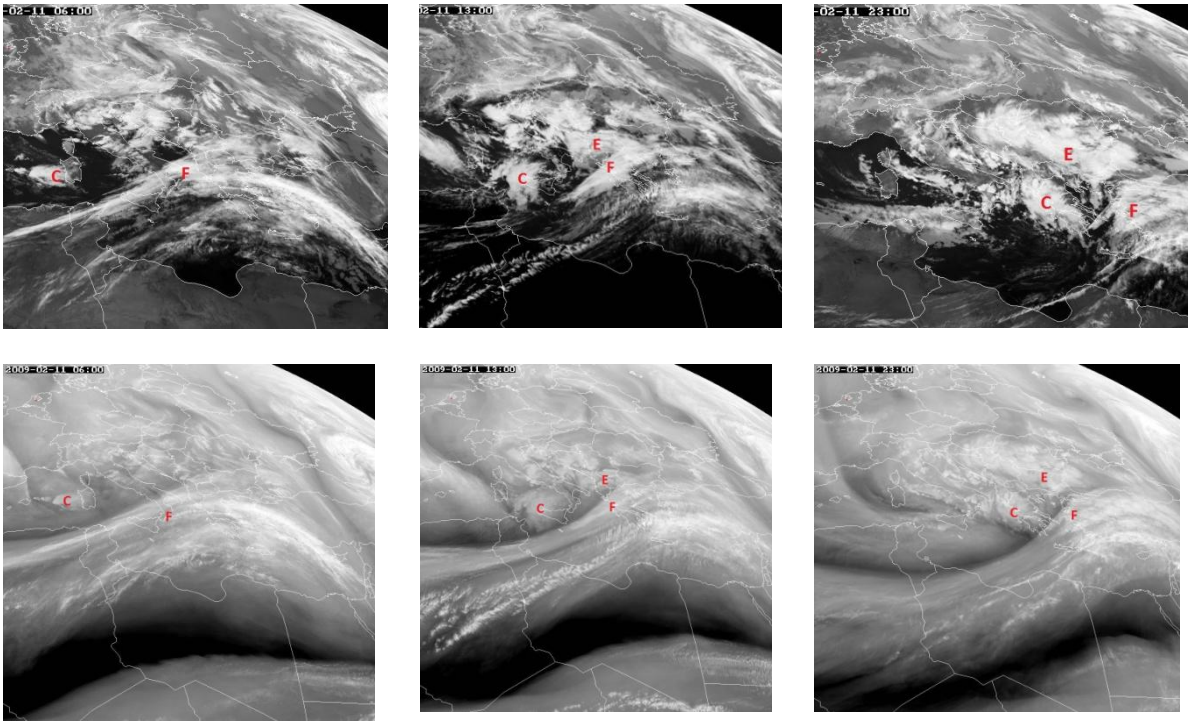
Η ύφεση στις 11 και 12 Φεβρουαρίου 2009.

Η ύφεση αυτή δημιουργήθηκε στην κεντρική Μεσόγειο, κινήθηκε ανατολικά και επηρέασε τη χώρα μας. Τα συνοπτικά χαρακτηριστικά συμφωνούν με τα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής. Στις δορυφορικές εικόνες εμφανίζεται η νεφική μάζα F, η οποία όμως αποτελείται από πιο αραιά νέφη. Στην πολική πλευρά των F και κάτω από

αυτά αναδύονται τα νέφη Ε, τα οποία αναπτύσσονται περαιτέρω και δημιουργούν την κυκλωνική μορφή της ύφεσης. Διαφοροποίηση υπάρχει στα νέφη C, όσον αφορά τη σχετική θέση τους με τις άλλες νεφικές μάζες.

Στην εικόνα 4.5.8. φαίνονται τρείς δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο και οι αντίστοιχες αυτών στο κανάλι των υδρατμών και αντιπροσωπεύουν τα τρία στάδια ανάπτυξης της ύφεσης, το αρχικό (α), της ανάπτυξης (β) και της ωρίμανσης(γ).

α) β) γ)



Εικόνα 4.5.8: Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου και οι αντίστοιχες εικόνες στο κανάλι των υδρατμών α) στις 11-2-09/06:00 UTC, β) στις 11-2-09/13:00 UTC και γ) στις 11-2-09/23:00 UTC.

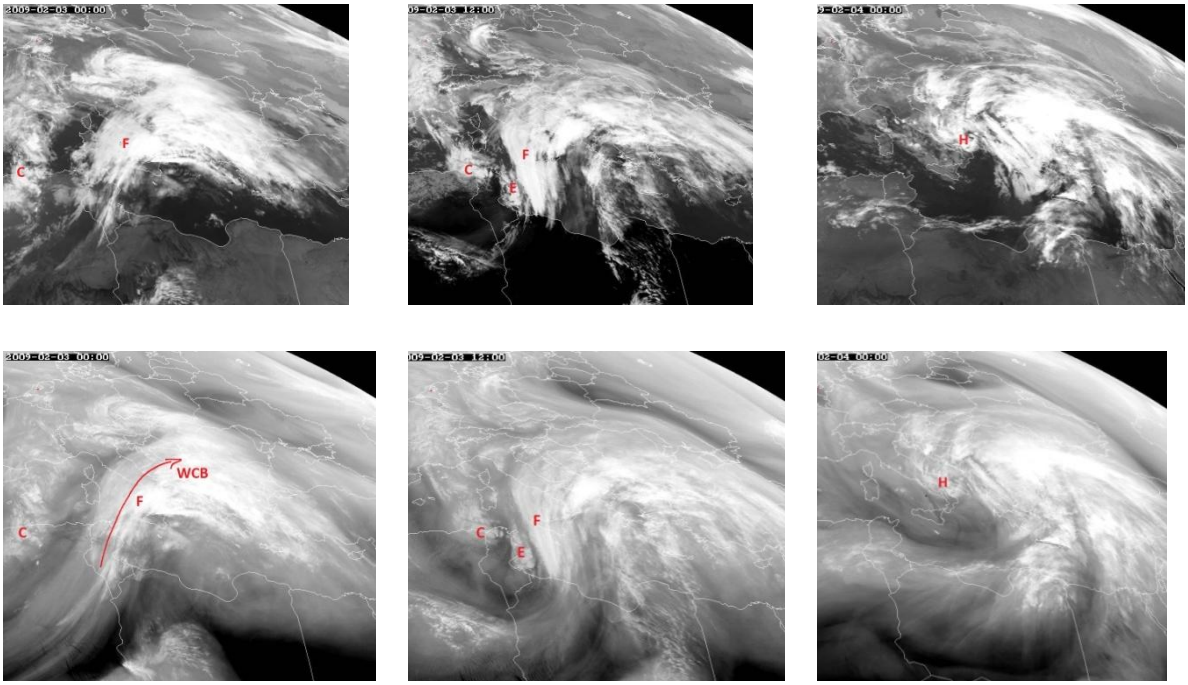
Η ύφεση 3ης και 4ης Φεβρουαρίου 2009

Η δημιουργία της ύφεσης αυτής ξεκίνησε από τη δυτική Μεσόγειο με ανατολική-βορειοανατολική κατεύθυνση, επηρεάζοντας και την περιοχή της Ελλάδος. Η νεφική μάζα F προέκυψε από τη σύσφιξη μιας προγενέστερης μετωπικής ύφεσης, η οποία πέρασε από τον Ατλαντικό στη δυτική Μεσόγειο. Επίσης τα νέφη F σχετίζονται με μια ζώνη θερμής μεταφοράς WCB (Εικ.4.5.9.α).

Στη περίπτωση αυτή παρατηρούνται κοινά δορυφορικά χαρακτηριστικά με τα γενικά χαρακτηριστικά της παραπάνω κατηγορίας, όπως η εμφάνιση των νεφικών μαζών F, E και C. Διαφοροποίηση υπάρχει στο τελικό στάδιο, όπου παρατηρείται αλληλεπίδραση μεταξύ των παραπάνω νεφικών μαζών, σε αντίθεση με τα γενικά χαρακτηριστικά.

Διαφοροποίηση επίσης υπάρχει και στα γενικά συνοπτικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα στην επιφάνεια των 500 hPa εμφανίζεται μια κυκλοφορία ενισχυμένου αποκομμένου χαμηλού σε αντίθεση με την μεσημβρινή κυκλοφορία που αναφέρεται στα γενικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας αυτής.

α) β) γ)



Εικόνα 4.5.9: Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου και οι αντίστοιχες εικόνες στο κανάλι των υδρατμών α) στις 3-2-09/00:00 UTC, β) στις 3-2-09/12:00 UTC και γ) στις 4-2-09/00:00 UTC.

4.6 Μετωπικές υφέσεις αποκομμένου χαμηλού (cut-off) με νέφη από νότια.

Γενικά

Η κατηγορία αυτή δεν αποτελεί την αντιπροσωπευτικότερη περίπτωση κυκλογεννέσεων, αλλά αναφέρεται σε μια κατηγορία μετωπικών υφέσεων της Μεσογείου, οι οποίες παρουσιάζουν τα παρακάτω κυριότερα χαρακτηριστικά.

- *Στα δορυφορικά δεδομένα:* α) Παρουσία νεφικού στροβίλου (Vortex), που αντιστοιχεί στο ώριμο στάδιο μιας μετωπικής ύφεσης και β) νέφη που εμφανίζονται νοτιότερα του στροβίλου και προκύπτουν από μια ζώνη θερμής μεταφοράς. Η αλληλεπίδραση των δύο αυτών νεφικών μαζών οδηγεί άλλες φορές στη δημιουργία μιας νέας μετωπικής ύφεσης και άλλες φορές στην ενίσχυση της ήδη υπάρχουσας σύσφιξης, χωρίς τη δημιουργία κυκλογέννεσης. Από τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν, σημαντικός παράγοντας για την πορεία της εξέλιξης είναι η ένταση και ο χρόνος εμφάνισης της ζώνης θερμής μεταφοράς.
- *Στα συνοπτικά χαρακτηριστικά:* Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι η ύπαρξη ενός αποκομμένου χαμηλού στην ανώτερη ατμόσφαιρα, το οποίο συνδέεται άμεσα με την ύπαρξη του στροβίλου (Vortex).

Αξιοσημείωτο είναι ότι οι υφέσεις αυτής της κατηγορίας, για το χρονικό διάστημα μελέτης, προέρχονται από τη δυτική Μεσόγειο, και είτε δημιουργούνται εκεί, είτε προέρχονται από τον Ατλαντικό ωκεανό και αναδιοργανώνονται μέσα στην Μεσόγειο.

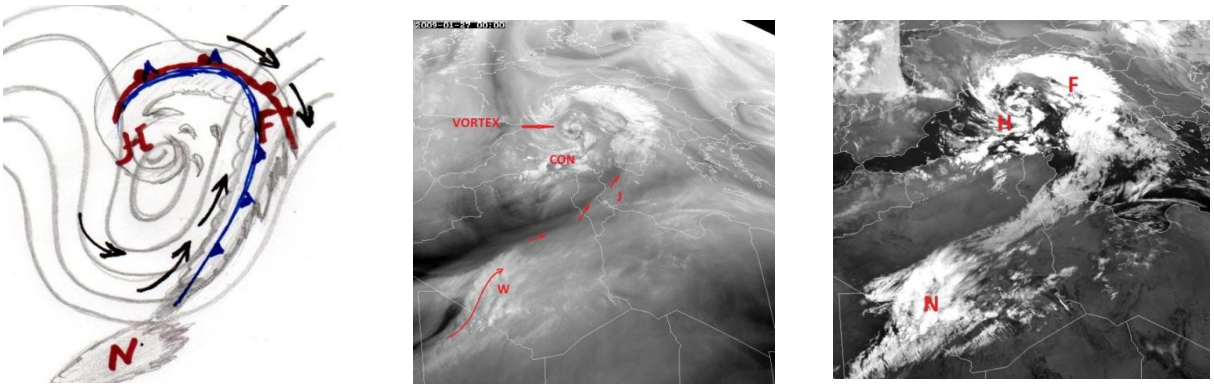
4.6.1 Γενικά χαρακτηριστικά των μετωπικών υφέσεων της κατηγορίας «αποκομμένου χαμηλού (cut-off) με νέφη από νότια».

Α) ΑΡΧΙΚΟ ΣΤΑΔΙΟ

Στο αρχικό στάδιο αυτής της κατηγορίας που μελετάται εμφανίζεται μια μετωπική ύφεση στο στάδιο ωρίμανσης, η οποία έχει τη μορφή ενός μεγάλου στροβίλου (Vortex) (Εικ.4.6.1). Ένας στρόβιλος (vortex) χαρακτηρίζεται από μια κυκλωνική περιστροφή μέσης ή συνοπτικής κλίμακας, η οποία συνδέεται συνήθως με ένα αποκομμένο χαμηλό της ανώτερης ατμόσφαιρας.

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.6.1: α) Σχηματική διάταξη στο αρχικό στάδιο της κατηγορίας αποκομμένου χαμηλού (Cut-off). Οι συνεχείς γραμμές αντιστοιχούν σε υσοϋψείς της επιφανείας των 500 hPa, τα βελάκια προσδιορίζουν τη θέση του αεροχειμάρρου. Οι νεφικές μάζες περιγράφονται με τα γράμματα F,N και H και αντιστοιχούν στη μετωπική μάζα F (Frontal), σε μια νέα μάζα που εμφανίζεται από νότια N (New) και στα νέφη της κεφαλής H (Head).αντίστοιχα. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2), στις 27-1-09/00:00 UTC και γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8) στις 27-1-2009/00:00 UTC

Γενικά στο στάδιο ωρίμανσης ενός στροβίλου (Vortex) τα νέφη αναπτύσσονται σε ένα σπιράλ σχηματισμό καθώς η περιστροφή επεκτείνεται σε όλα τα επίπεδα της τροπόσφαιρας, ενώ όλο το σύστημα κινείται με αργό ρυθμό (Bader 1995).

Η περιοχή κοντά στο κέντρο του στροβίλου γενικά χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές δυναμικού στροβιλισμού (PV), οι οποίες συνδέονται με χαμηλά ύψη της τροπόπαυσης. Οι περιοχές αυτές στις δορυφορικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών (WV) εμφανίζονται με σκούρες ή μαύρες αποχρώσεις και αυτό ερμηνεύεται με την διείσδυση ξηρού στρατοσφαιρικού αέρα στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας (Κεφ.2, παρ.2.4.4.). Καθώς η κυκλωνική περιστροφή αυξάνεται με την εμφάνιση των μέγιστων τιμών PV, ο υγρός αέρας περιστρέφεται γύρω από τον ξηρό σε μορφή σπείρας.

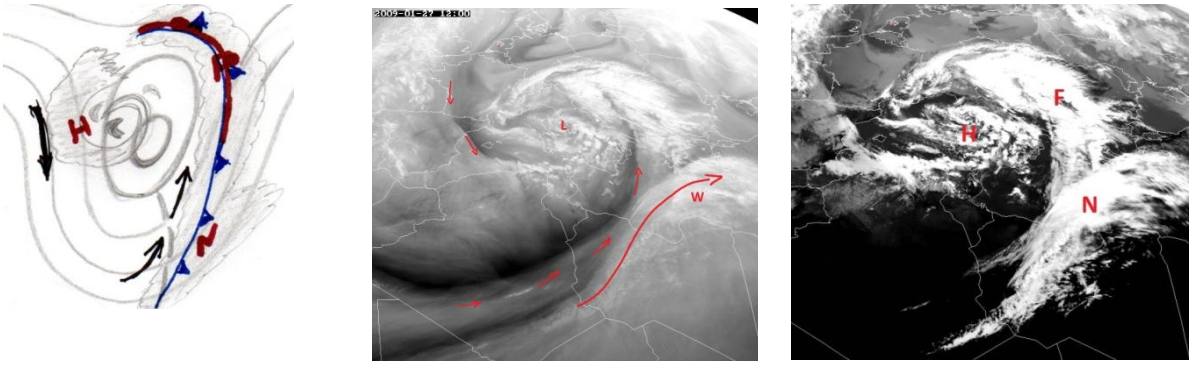
Κοντά στο κέντρο στροβιλισμού παρατηρούνται διάσπαρτα σωρειτόμορφα νέφη, τα οποία εμφανίζουν έντονες ή λευκές αποχρώσεις στο κανάλι του υπερύθρου με σαφή όρια (Εικ.4.6.1.γ). Αυτό δεικνύει ότι στην περιοχή αυτή ευνοούνται οι κατακόρυφες κινήσεις (convection), και αυτό αποτυπώνεται και στο κανάλι των υδρατμών (Εικ.4.6.1.β). Η εν λόγω περιοχή αποτελεί την «κεφαλή» Η (Head) του συστήματος.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα των υφέσεων αυτής της κατηγορίας είναι η εμφάνιση των νεφών N (New) στα νοτιοδυτικά τμήματα της αρχικής μετωπικής ύφεσης και συγκεκριμένα στην επέκταση της ουράς του ψυχρού μετώπου (Εικ.4.6.1). Τα νέφη αυτά δημιουργούνται από μια ζώνη θερμής μεταφοράς W (Εικ.4.6.1.β). Σε κάποιες περιπτώσεις δεν είναι εμφανής η παρουσία τους από το αρχικό στάδιο.

Β) ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α) Σχηματική μορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.6.2: α) Σχηματική διάταξη στο στάδιο ανάπτυξης της κατηγορίας αποκομμένου χαμηλού (Cut-off) . β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2), στις 27-1-09/12:00 UTC και γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8) στις 27-1-2009/12:00 UTC

Στο στάδιο της ανάπτυξης της ύφεσης τα νέφη της κεφαλής (Η} αποκόπτονται από την κυρίως μετωπική μάζα και στροβιλίζονται γύρω από το κέντρο του χαμηλού. Η

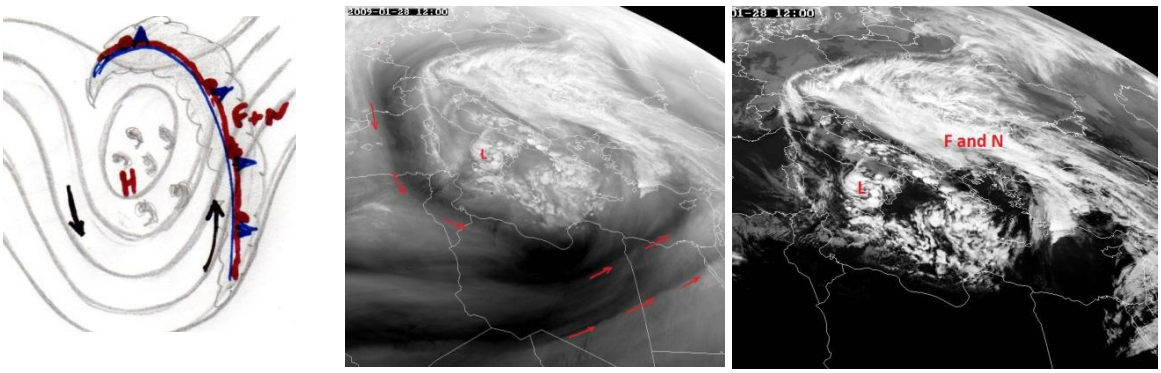
μετατόπιση του συστήματος γενικά είναι πολύ μικρή, καθώς τα συστήματα που συνδέονται με αποκομμένα χαμηλά στην ανώτερη ατμόσφαιρα εμφανίζονται σχεδόν στάσιμα.

Τα νέφη N που βρίσκονται νοτιότερα της μετωπικής μάζας F με την κινητική ενέργεια του αεροχειμάρρου (Εικ.4.6.2.β) μετακινούνται βόρεια, διευρύνονται και πλησιάζουν τα νέφη F.

Γ) ΣΤΑΔΙΟ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

Συνοπτικά χαρακτηριστικά **Δορυφορικά** **χαρακτηριστικά**

α)Σχηματικήμορφή ατμόσφαιρας β) Κανάλι των υδρατμών (WV 6.2) γ) Υπέρυθρο (IR 10.8)



Εικόνα 4.6.3: α) Σχηματική διάταξη στο τελευταίο στάδιο της κατηγορίας αποκομμένου χαμηλού (Cut-off) . β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2), στις 28-1-09/12:00 UTC και γ) Η αντίστοιχη δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8) στις 28-1-2009/12:00 UTC

Στο τελευταίο στάδιο τα νέφη F και N συγχωνεύονται μεταξύ τους και αποτελούν πλέον μια ενιαία νεφική μάζα. Τα νέφη της κεφαλής, τα οποία είναι κυρίως σωρειτόμορφα νέφη, εμφανίζονται διάσπαρτα στον ψυχρό τομέα της μετωπικής νεφικής μάζας F και στροβιλίζονται γύρω από το κέντρο του χαμηλού (L). Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να εμφανιστούν δύο κέντρα στροβιλισμού (Εικ.4.6.3).

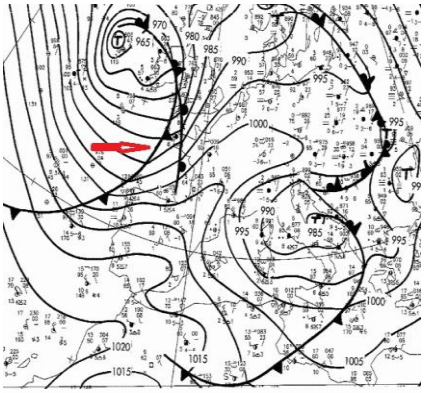
4.6.2. Μετωπική ύφεση στις 27 και 28 Ιανουαρίου 2009.

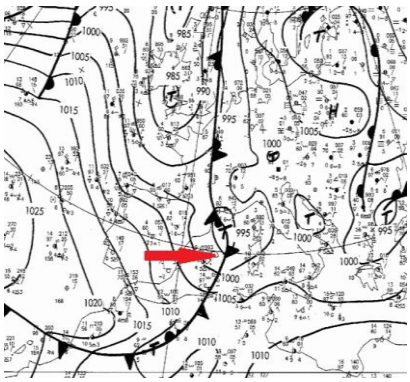
Προέλευση της ύφεσης (27,28-1-2009).

Η μετωπική ύφεση αυτή προκύπτει από την εξέλιξη μιας μετωπικής ύφεσης του Ατλαντικού, η οποία πέρασε, μέσω του Βισκαϊκού κόλπου, στη δυτική Μεσόγειο.

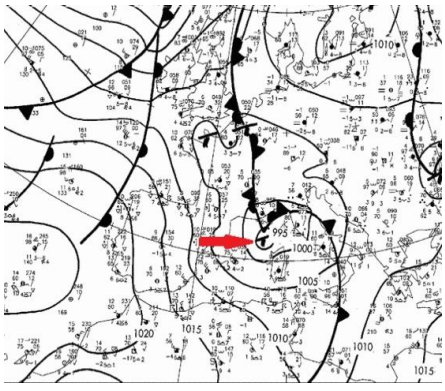
Συγκεκριμένα στις 25-1-2009/00:00 UTC παρατηρείται μια μετωπική ύφεση στον Ατλαντικό στην περιοχή της δυτικής Αγγλίας και δυτικής Γαλλίας, όπως αυτή εμφανίζεται στον αντίστοιχο χάρτη επιφανείας (Εικ.4.6.4.α). Μετά από 24 ώρες, η παραπάνω ύφεση κατά την νοτιοανατολική της κίνηση εμφανίζεται στην περιοχή της δυτικής Μεσογείου, όπου εκεί αρχίζει να αναδιοργανώνεται (Εικ.4.6.4.β και γ). Τελικά στις 27-1-2009/00:00 UTC, η εν λόγω ύφεση φτάνει σε στάδιο ωρίμανσης, δημιουργώντας ένα συνεσφιγμένο μέτωπο, ενώ η πίεση στο κέντρο του χαμηλού είναι 995 hPa (Εικ.4.6.4.δ).

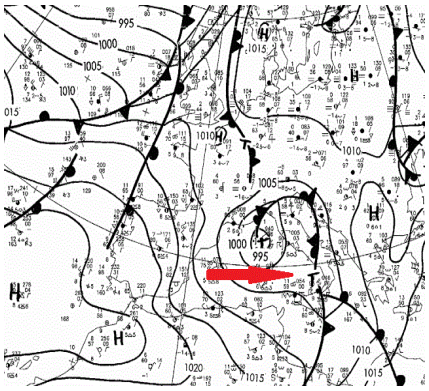
α) β)





γ) δ)



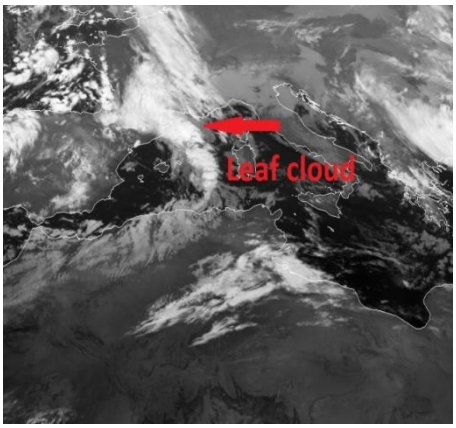


Εικόνα 4.6.4: Διαδοχικοί χάρτες επιφανείας. α) στις25-1-2009/00:00 UTC, β) στις 26-1-2009/00:00 UTC γ) στις 26-1-2009/18:00 UTC και δ) στις 27-1-2009/00:00 UTC αντίστοιχα.

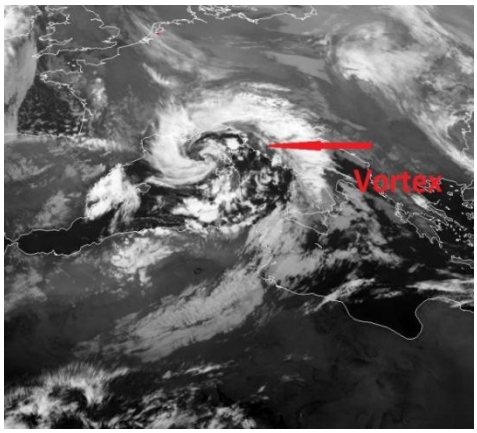
Την εξέλιξη της παραπάνω ύφεσης παρουσιάζουν και οι δύο δορυφορικές εικόνες στο υπέρυθρο κανάλι (IR 10.8), στις 26-1-2009/00:00 και στις 26-1-2009/18:00 αντίστοιχα (Εικ.4.6.5.α και β). Στην πρώτη εικόνα παρατηρείται η αναδιοργάνωση της ύφεσης στη Λιγυρική θάλασσα με την παρουσία του νέφους τύπου φύλλου (leaf cloud) ενώ στη δεύτερη, η ύφεση έχει πλήρως αναπτυχθεί σε έναν μεγάλο στρόβιλο (Vortex).

Στους αντίστοιχους χάρτες των 500 hPa (Εικ.4.6.5.γ και δ) φαίνεται ότι το πέρασμα της μετωπικής ύφεσης του Ατλαντικού στη Μεσόγειο συσχετίζεται με έναν οξύ αυλώνα, μεσημβρινής συνιστώσας, της ανώτερης ατμόσφαιρας καθώς και η δημιουργία του στροβίλου συσχετίζεται με το αποκομμένο χαμηλό της ανώτερης ατμόσφαιρας.

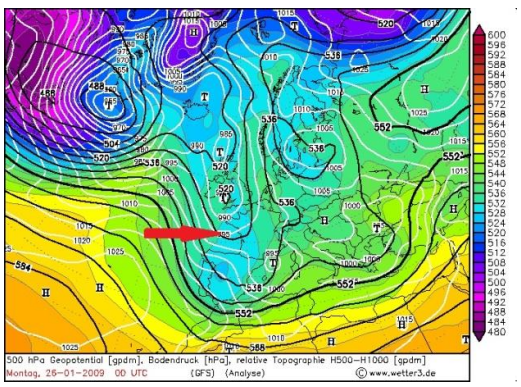
α)



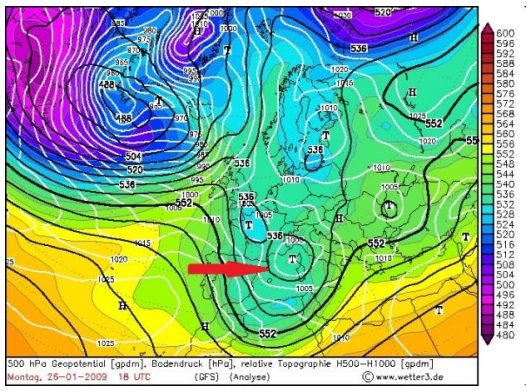
β)



γ)



δ)



Εικόνα 4.6.5: α) Δορυφορική εικόνα IR 10.8 στις 26-1-2009/00:00 UTC, β) Δορυφορική εικόνα IR 10.8 στις 26-1-2009/18:00 UTC, γ) Χάρτης των 500 hPa στις 26-1-2009/00:00 UTC και δ) Χάρτης των 500 hPa στις 26-1-2009/18:00 UTC

Η παραπάνω ύφεση μέχρι το στάδιο αυτό ουσιαστικά δεν έχει επηρεάσει την ελλαδικό χώρο, ωστόσο το τελικό στάδιο αυτής αποτελεί την αρχή μιας νέας ύφεσης (όπως περιγράφεται παρακάτω), η οποία θα επηρεάσει και την περιοχή της Ελλάδος.

Ανάλυση της ύφεσης (27,28-1-2009).

Στην εικόνα του υπερύθρου IR 10.8 (Εικ.4.6.6.α) φαίνεται μια μετωπική ύφεση στο στάδιο της σύσφιξης. Διακρίνονται τα τρία μέτωπα (ψυχρό, θερμό και συνεσφιγμένο). Οι αποχρώσεις των νεφών γενικά είναι έντονες εκτός από τα νέφη που βρίσκονται στην «ουρά» του ψυχρού μετώπου, οι οποίες εμφανίζονται πιο σκούρες γκρι. Η δημιουργία «κεφαλής» είναι εμφανής, η οποία αποτελείται από διάσπαρτα σωρειτόμορφα νέφη (ανοιχτές αποχρώσεις, σαφή όρια). Το γεγονός αυτό δηλώνει ότι επικρατούν σημαντικές ανοδικές κινήσεις (convection) στην περιοχή αυτή. Επίσης ψυχρές κορυφές εμφανίζουν και τα νέφη στην περιοχή της κύριας μετωπικής μάζας F (Frontal), στην περιοχή της σύσφιξης.

Νοτιοδυτικά της παραπάνω ύφεσης, στη συνέχεια του ψυχρού μετώπου εμφανίζονται τα νέφη N (New) (Εικ.4.6.6.α), οι κορυφές των οποίων εμφανίζονται στο κανάλι του υπερύθρου με σχετικά ανοιχτές αποχρώσεις δηλαδή είναι ψυχρές. Σε συνδυασμό με τη μορφή τους προκύπτει ότι πρόκειται για υψηλές νεφώσεις, κυρίως στρατόμορφες. Ακόμη τα νέφη N σχετίζονται με μια ζώνη θερμής μεταφοράς (Warm Conveyor Belt) W και εμφανίζουν αντικυκλωνική κίνηση (Εικ.4.6.6.γ).

Στον αντίστοιχο χάρτη των 500 hPa (Εικ.4.6.6.β) υπάρχει ένας οξύς αυλώνας με μια κλειστή ισοϋψή αυτή των 5360 γεωδυναμικών μέτρων.

Στον χάρτη μεταφοράς στροβιλισμού στα 500 hPa (Εικ.4.6.6.ε) οι μέγιστες τιμές θετικής μεταφοράς στροβιλισμού PVA αποτυπώνονται με αποχρώσεις του καφέ. Περιοχές με μέγιστες τιμές PVA εμφανίζονται στα κατάντη τμήματα του αυλώνα, καθώς και στην αριστερή έξοδο του αεροχειμάρρου, που τοποθετείται στην περίπτωση αυτή, στην περιοχή της νότιας Ιταλίας. Στις περιοχές αυτές παρατηρούνται αυξημένες τιμές απόκλισης

(divergence), όπως φαίνεται και στο χάρτη των 300 hPa (Εικ.4.6.6.δ, συνεχείς άσπρες καμπύλες).

Στον χάρτη επιφανείας (4.6.6.στ), οι θέσεις των μετωπικών δραστηριοτήτων συμπίπτει με τα δορυφορικά δεδομένα. Η πίεση στο κέντρο του χαμηλού είναι 995 hPa.

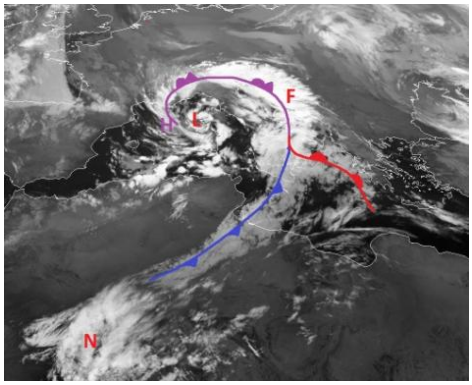
Στο επόμενο στάδιο τα νέφη Ν κινούνται με την κινητική ενέργεια του αεροχειμάρρου βόρεια-βορειοανατολικά και πλησιάζουν τη νεφική μάζα F (Εικ.4.6.7.α). Στο στάδιο αυτό η ζώνη θερμής μεταφοράς W, η οποία αποτελεί την αιτία δημιουργίας των νεφών Ν, διευρύνεται σημαντικά και εμφανίζει σημαντική υγρασία στα μέσα και ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας (Εικ. 4.6.7.γ).

Στη δορυφορική εικόνα του ορατού (Εικ.4.6.7.ε) παρατηρείται ότι τα νέφη Ν δεν παρουσιάζουν σημαντική φωτεινότητα και αυτό δηλώνει ότι είναι νέφη αραιά κατά συνέπεια πιο διαφανή στην ορατή ακτινοβολία. Η σύγκριση των δύο δορυφορικών εικόνων (υπερύθρου και ορατού) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για υψηλά και αραιά νέφη cirrus, καθώς αυτά εμφανίζονται με έντονες λευκές αποχρώσεις στο υπέρυθρο κανάλι ενώ στο ορατό δεν παρουσιάζουν μεγάλη ανακλαστικότητα.

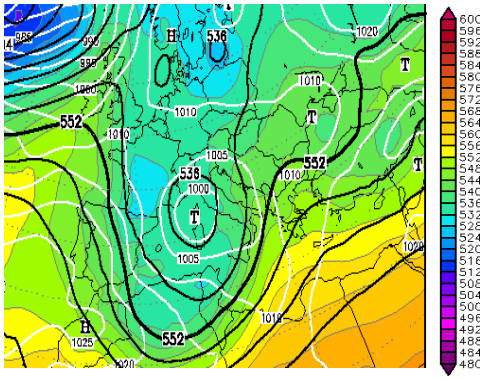
Επίσης στο στάδιο αυτό παρατηρείται ότι τα νέφη της κεφαλής αποκόπτονται από το σύστημα και περιστρέφονται γύρω από το κέντρο του χαμηλού (Εικ. 4.6.7 α,γ και ε).

Στο χάρτη των 500 hPa παρατηρείται ενίσχυση του αποκομμένου χαμηλού με την εμφάνιση και δεύτερης κλειστής ισοϋψούς των 5440 g.m (Εικ.4.6.7.β), ενώ στον χάρτη επιφανείας στο κέντρο του χαμηλού εμφανίζεται η ισοβαρής των 1000 hPa, δηλαδή αρχίζει σταδιακά να πληρούται (Εικ.4.6.7.στ).

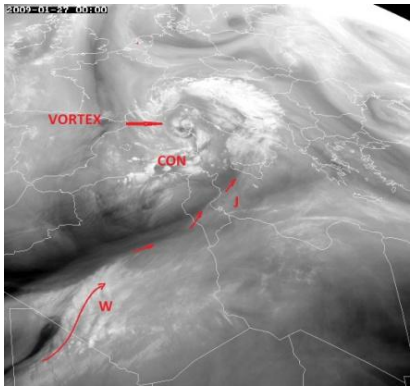
α)



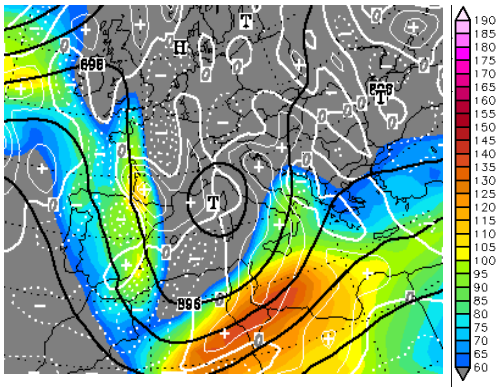
β)



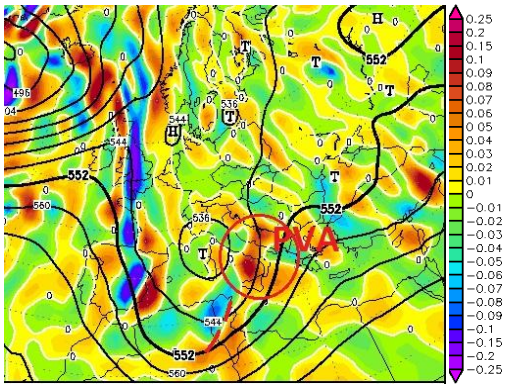
γ)



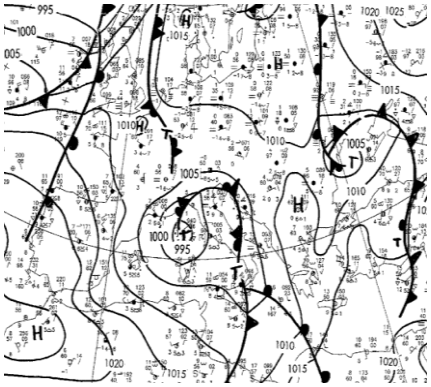
δ)



ε)

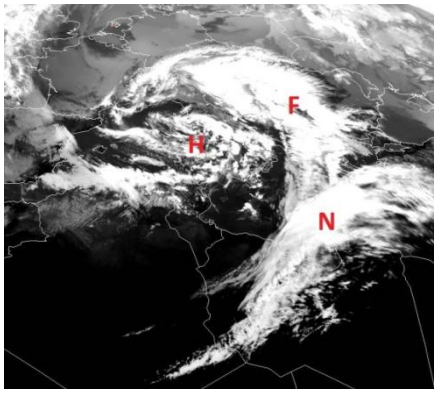


στ)

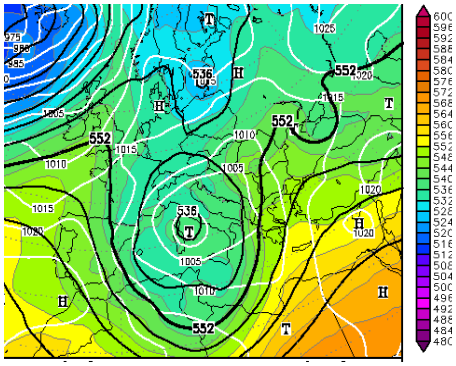


Εικόνα 4.6.6: Δορυφορικές εικόνες και Συνοπτικοί χάρτες στις 27-1-2009/00:00 UTC. α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa. γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2). δ) Χάρτης ισοϋψών των 300 hPa. ε) Χάρτης μεταφοράς στροβιλισμού στα 500 hPa. στ) Χάρτης επιφανεία

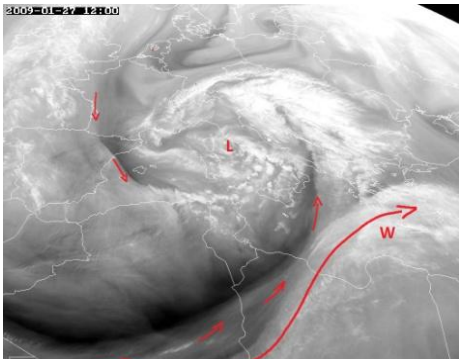
α)

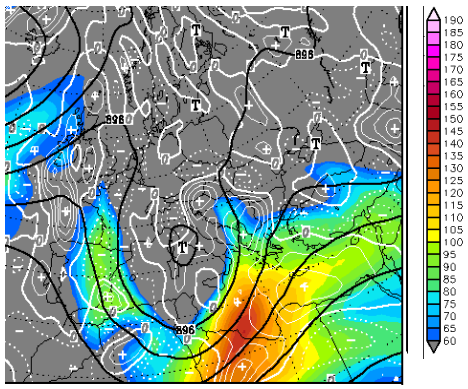


β)

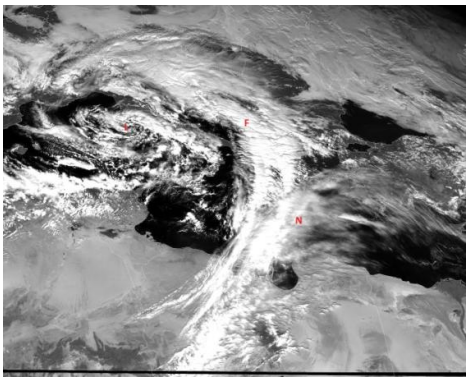


γ)

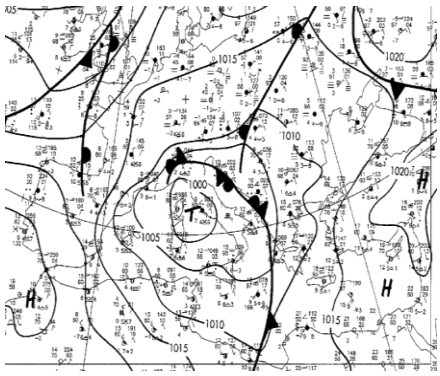




ε)



στ)



Εικόνα 4.6.7: Δορυφορικές εικόνες και Συνοπτικοί χάρτες στις 27-1-2009/12:00 UTC. α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa. γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2). δ) Χάρτης ισοϋψών των 300 hPa. ε) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του ορατού (HRV). στ) Χάρτης επιφανείας.

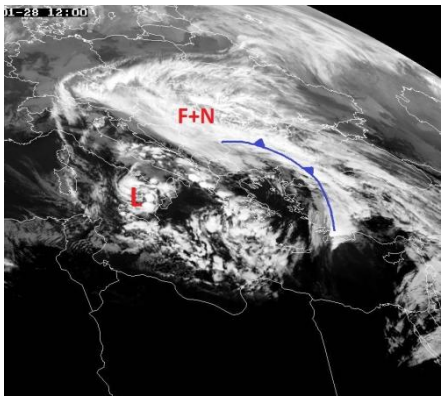
Στο τελευταίο στάδιο της ύφεσης τα νέφη N και F συγχωνεύονται, ενώ τα νέφη της κεφαλής περιστρέφονται γύρω από το κέντρο του χαμηλού στο ψυχρό τομέα της ύφεσης, χωρίς να αλληλεπιδρούν με τη μετωπική νεφική μάζα (Εικ. 4.6.8.α).

Το κέντρο του χαμηλού στην επιφάνεια βρίσκεται βόρεια της Σικελίας, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τις δορυφορικές εικόνες (Εικ.4.6.8), καθώς αποτελεί το κέντρο στροβιλισμού των νεφικών σχηματισμών. Επίσης και στην ανώτερη ατμόσφαιρα (Εικ.4.6.8.β) το κέντρο του χαμηλού βρίσκεται αντίστοιχα στην ίδια περίπου περιοχή.

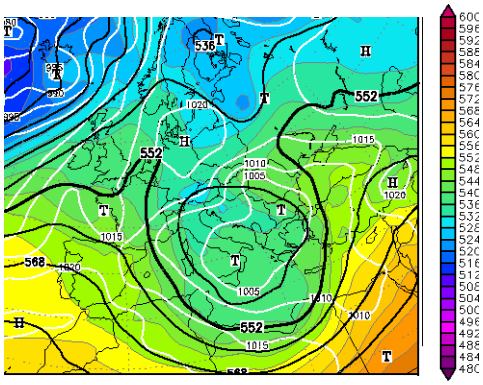
Η περιοχή της Ελλάδος, στο στάδιο αυτό, επηρεάζεται από διάσπαρτες σωρειτόμορφες νεφώσεις, ενώ ανατολικότερα στην περιοχή της Τουρκίας εμφανίζεται η δραστηριότητα ενός ψυχρού μετώπου (Εικ.4.6.8.α και στ).

Τέλος παρατηρείται σταδιακή άνοδος των πιέσεων στην επιφάνεια (Εικ.4.6.8.στ), καθώς και των υψών στο επίπεδο των 500 hPa (Εικ.4.6.8.β).

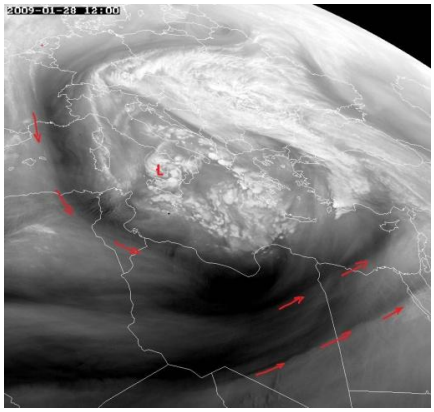
α)



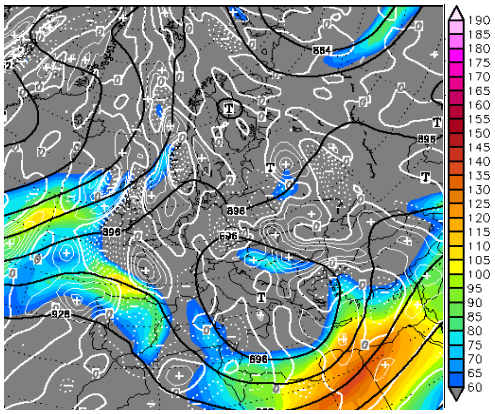
β)



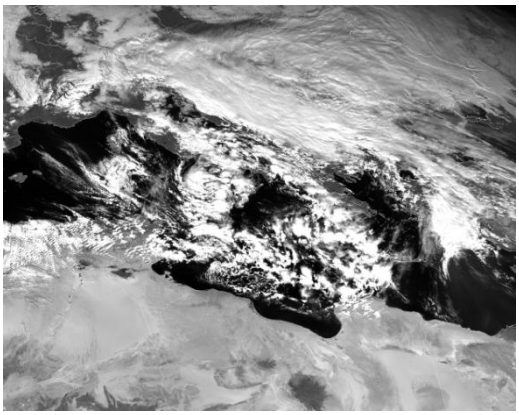
γ)



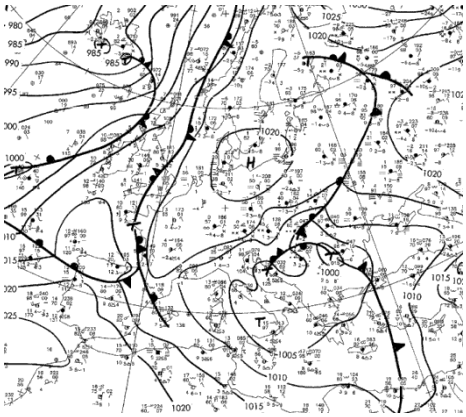
δ)



ε)



στ)

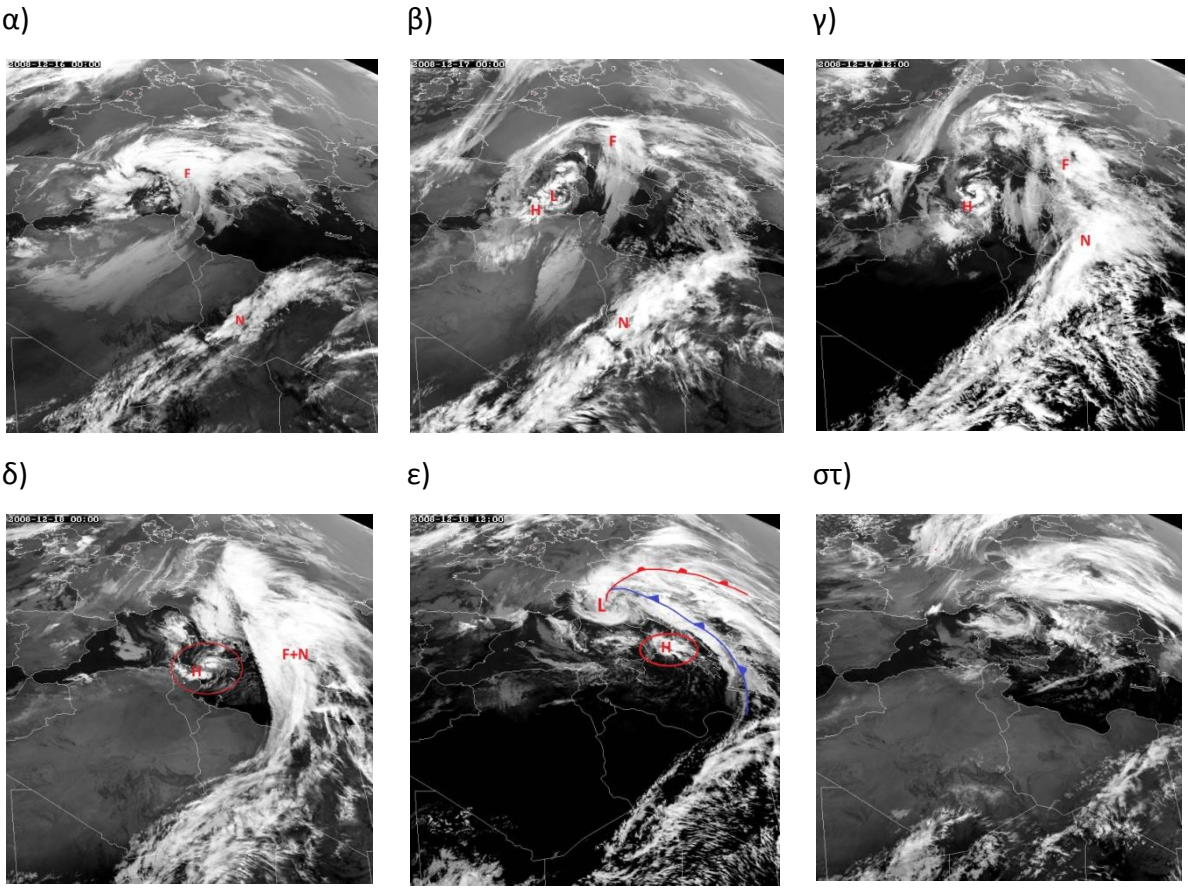


Εικόνα 4.6.8: Δορυφορικές εικόνες και Συνοπτικοί χάρτες στις 28-1-2009/12:00 UTC. α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa. γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2). δ) Χάρτης ισοϋψών των 300 hPa. ε) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του ορατού (HRV). στ) Χάρτης επιφανείας.

4.6.3. Άλλες μετωπικές υφέσεις της κατηγορίας «αποκομμένου χαμηλού με νέφη από νότια»

Η ύφεση της 16ης, 17ης και 18ης Δεκεμβρίου 2008.

Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μια ύφεση, η οποία προέρχεται από τον Ατλαντικό και η οποία στη συνέχεια περνάει στη Μεσόγειο. Η εμφάνιση της ύφεσης αυτής στις δορυφορικές εικόνες έχει τη μορφή ενός μεγάλου στροβίλου με ευδιάκριτη τη δημιουργία «κεφαλής» (Εικ.4.6.9.α και β). Συνδέεται με την κυκλοφορία ενός αποκομμένου χαμηλού της ανώτερης ατμόσφαιρας (Εικ.4.6.10 α και β). Από νότια αυτής εμφανίζεται μια νεφική μάζα Ν, συνοπτικής κλίμακας, η οποία συνδέεται με μια ζώνη θερμής μεταφοράς.

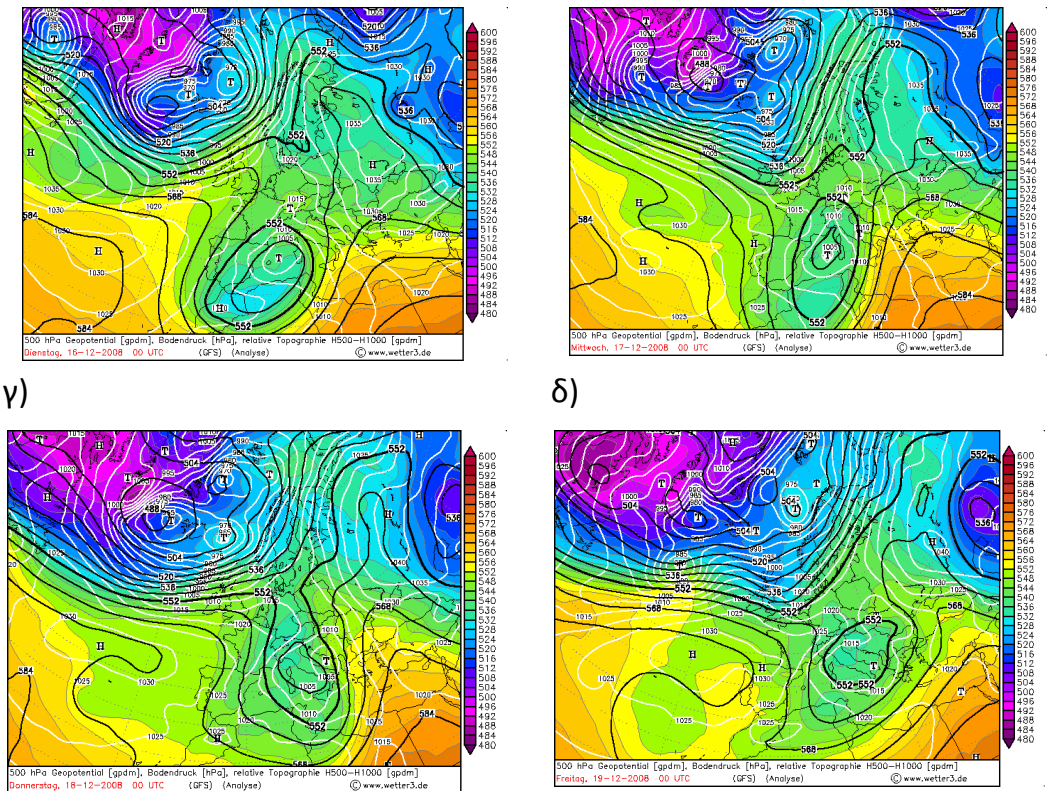


Εικόνα 4.6.9: Διαδοχικές δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8). α) Στις 16-12-2008/00:00 UTC, β) στις 17-12-2008/00:00 UTC, γ) στις 17-12-2008/12:00 UTC, δ) στις 18-12-2008/00:00 UTC, ε) στις 18-12-2008/12:00 UTC και στ) στις 19-12-2008/00:00 UTC.

Στη συνέχεια τα νέφη Ν συγχωνεύονται με τη νεφική μάζα F (Εικ.4.6.9.γ) και οδηγούν στην δημιουργία μιας νέας μετωπικής ύφεσης (Εικ 4.6.9.δ και ε). Τα νέφη της κεφαλής (Η) της προγενέστερης ύφεσης στροβιλιζόμενα στον ψυχρό τομέα της ύφεσης σταδιακά πλησιάζουν την μετωπική μάζα, χωρίς όμως να αλληλεπιδρούν με αυτή. Στο τελικό στάδιο (Εικ.4.6.9.στ) αρχίζει η διάλυση της ύφεσης.

Από την αλληλουχία των δορυφορικών εικόνων (Εικ. 4.6.9) προκύπτει ότι η αρχική ύφεση της δυτικής Μεσογείου δεν επηρεάζει ουσιαστικά τον Ελλαδικό χώρο, ενώ η περαιτέρω εξέλιξη με την παρουσία των νεφών Ν, οδηγεί στη δημιουργία μιας νέας μετωπικής ύφεσης, η οποία επηρεάζει σημαντικά όλη την Ελλάδα.

α) *β)*



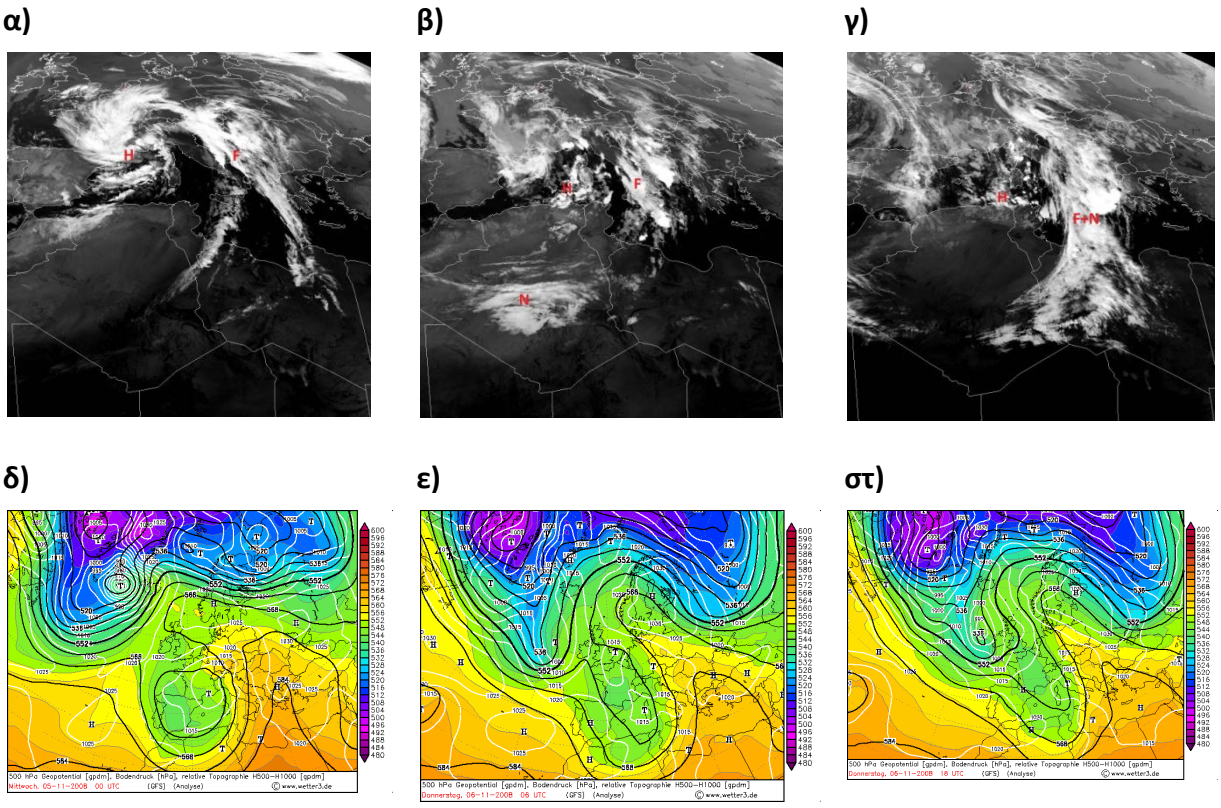
γ) *δ)*

Εικόνα 4.6.10: Διαδοχικοί χάρτες ισοϋψών των 500 hPa. α) Στις 16-12-2008/00:00 UTC, β) στις 17-12-2008/00:00 UTC, γ) στις 18-12-2008/00:00 UTC και δ) στις 19-12-2008/00:00 UTC.

Η ύφεση της 5ης-6ης-7ης Νοεμβρίου 2008.

Πρόκειται για μια ύφεση, που λαμβάνει χώρα στη δυτική Μεσόγειο και τη δυτική Ευρώπη. Στην εικόνα του υπερύθρου (IR 10.8) (Εικ.4.6.11.α) διακρίνεται η μετωπική μάζα F, καθώς και τα νέφη της κεφαλής Η της ύφεσης. Τα νέφη στροβιλίζονται υπό την μορφή ενός Vortex, ενώ συσχετίζονται με το αποκομμένο χαμηλό που παρατηρείται στην ανώτερη ατμόσφαιρα (Εικ.4.6.11.δ).

Καθώς η «κεφαλή» του συστήματος αποκόπτεται, τα νέφη Ν, που εμφανίζονται μετά από 24 ώρες (Εικ.4.6.11.β) συγχωνεύονται με τα νέφη της μετωπικής μάζας (Εικ.4.6.11.γ).



Εικόνα 4.6.11: Διαδοχικές δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου IR 10.8.(α, β, και γ) και οι αντίστοιχοι χάρτες ισοϋψών των 500 hPa (δ,ε και στ),τις 5-11-2008/00:00 UTC, στις 6-11-2008/06:00 UTC και στις 6-11-2008/18:00 UTC αντίστοιχα.

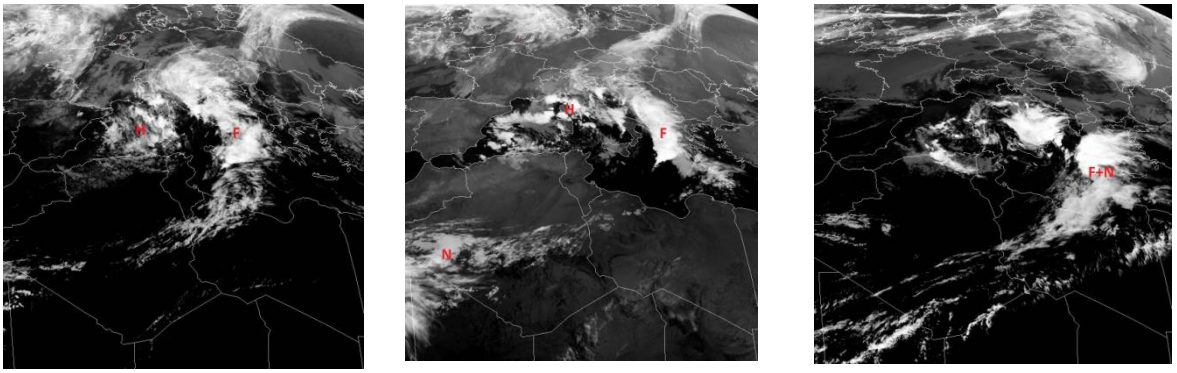
Στην περίπτωση αυτή δεν παρατηρείται η δημιουργία μιας καινούργιας ύφεσης. Η συγχώνευση των νεφών N και F οδηγεί σε μια περαιτέρω ενίσχυση της σύσφιξης, η οποία καθώς κινείται αργά ανατολικά επηρεάζει και τον Ελλαδικό χώρο.

Διαφοροποίηση παρατηρείται στην ανώτερη κυκλοφορία των 500 hPa, όπου αποκομμένο χαμηλό εμφανίζεται μόνο στο αρχικό στάδιο (Εικ.4.6.11.α), ενώ στη συνέχεια εμφανίζεται ένας οξύς αυλώνας χωρίς να υπάρχει κλειστή ισοϋψής (Εικ.4.6.11.β,γ).

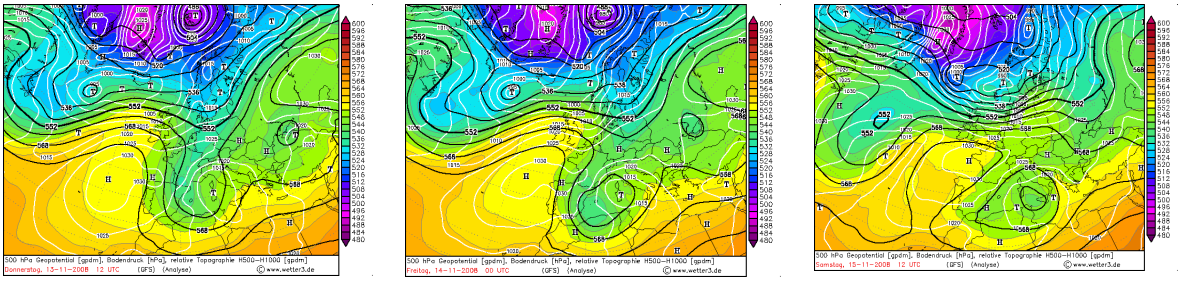
Η ύφεση της 13ης-14ης-15ης Νοεμβρίου 2008.

Η ύφεση αυτή προέρχεται από την περιοχή του Ατλαντικού. Στην περιοχή της δυτικής Μεσογείου αναδιοργανώνεται (Εικ.4.6.12.α) αποκτώντας τη μορφή ενός μεγάλου στροβίλου. Μετά από 12 ώρες εμφανίζονται τα νέφη N (Εικ.4.6.12.β), τα οποία τελικά θα συγχωνευτούν με τα νέφη της νεφικής μάζας F στο τελικό στάδιο της εξέλιξης (Εικ.4.6.12.γ).

α) β) γ)



δ) ε) στ)



Εικόνα 4.6.12: Διαδοχικές δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου IR 10.8.(α, β, και γ) και οι αντίστοιχοι χάρτες ισοϋψών των 500 hPa (δ,ε και στ),τις 13-11-2008/12:00 UTC, στις 14-11-2008/00:00 UTC και στις 15-11-2008/12:00 UTC αντίστοιχα.

Η κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα έχει και εδώ ως κύριο χαρακτηριστικό την εμφάνιση ενός αποκομμένου χαμηλού (Εικ.4.6.12.δ,ε,στ).

4.7 Αταξινόμητες μετωπικές υφέσεις.

Γενικά

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της μελέτης αυτής, κάθε ύφεση θα μπορούσε να αποτελεί από μόνη της μια μοναδική ξεχωριστή περίπτωση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της.

Ωστόσο με βάση τα γενικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν πρωτίστως από την ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων, σε συνδυασμό με τα συνοπτικά δεδομένα, προέκυψαν οι παραπάνω πέντε κατηγορίες ταξινόμησης.

Κάποιες όμως από τις μετωπικές υφέσεις που έλαβαν χώρα κατά την χρονική περίοδο μελέτης (Οκτώβριος 2008-Απρίλιος 2009), δεν ταξινομήθηκαν σε καμιά από τις παραπάνω κατηγορίες. Πρόκειται για έξι (6) υφέσεις, οι οποίες εν συντομία περιγράφονται παρακάτω.

Μεταξύ των υφέσεων αυτών παρατηρήθηκαν κάποια κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους, χωρίς όμως να αποτελούν κάποια ιδιαίτερη κατηγορία.

Η ύφεση στις 10 και 11 Δεκεμβρίου 2008.

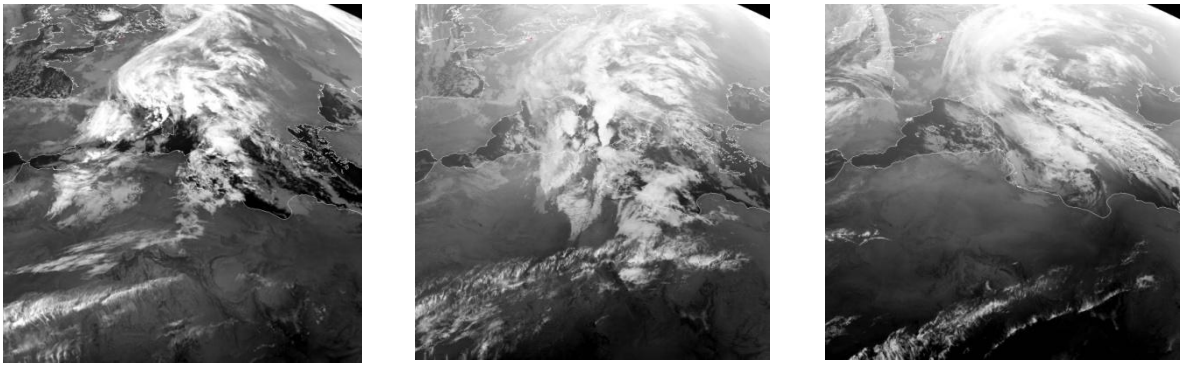
Πρόκειται για μια μετωπική ύφεση της δυτικής Μεσογείου, η οποία κινήθηκε ανατολικά και επηρέασε την Ελλάδα στο τελευταίο στάδιο της, υπό τη μορφή σύσφιξης, όπως φαίνεται και στους χάρτες επιφανείας (Εικ.4.7.1,γ).

Τα γενικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων (Εικ.4.7.1,γ), δεν παρουσιάζουν ομοιότητες με αυτά των κατηγοριών που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

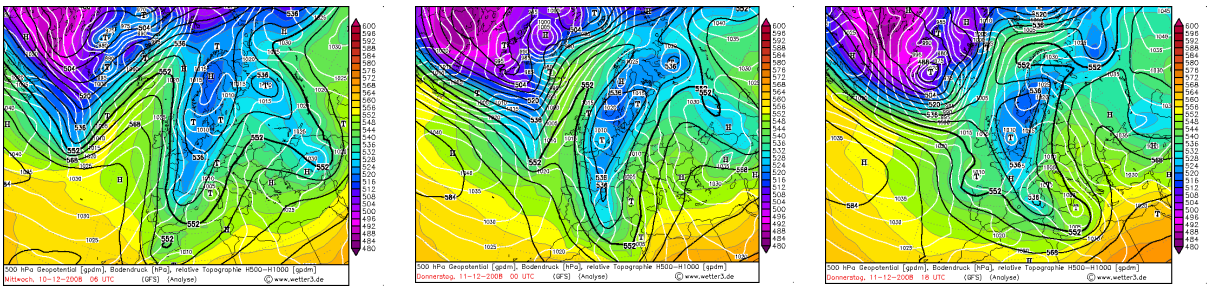
Η κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται αρχικά από ένα οξύ μεσημβρινό αυλώνα, ο οποίος επηρεάζει την δυτική Ευρώπη. Στη συνέχεια παρατηρείται σταδιακή εξασθένιση της μεσημβρινής συνιστώσας του αυλώνα, η οποία συνοδεύεται με την ανατολική μετατόπιση αυτού (Εικ.4.7.1,β).

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

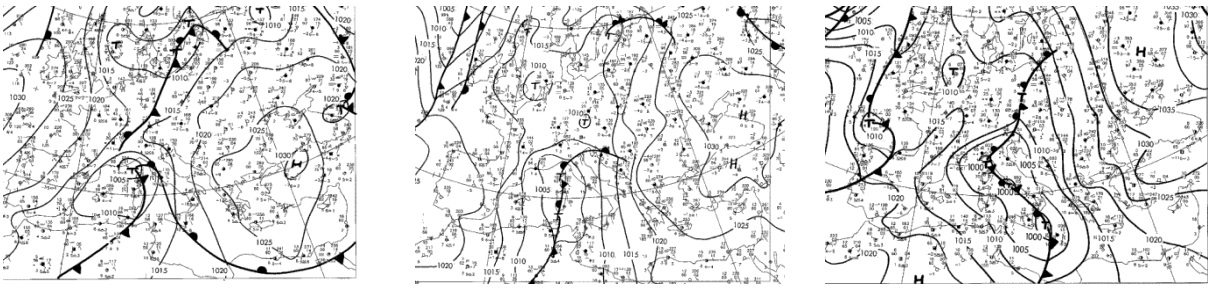
α)



β)



γ)



Εικόνα 4.7.1.: α) Τρείς διαδοχικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), στις 10-12-08/06:00 UTC, στις 11-12-08/00:00 UTC και στις 11-12-08/18:00 UTC. β) Αντίστοιχοι χάρτες ισοϋψών των 500 hPa και γ) Χάρτες επιφανείας στις αντίστοιχες ώρες και ημερομηνίες.

Η ύφεση στις 13 Απριλίου 2009

Η ύφεση αυτή έλαβε χώρα στην κεντρική Μεσόγειο και κινήθηκε ανατολικά, επηρεάζοντας και τη χώρα μας.

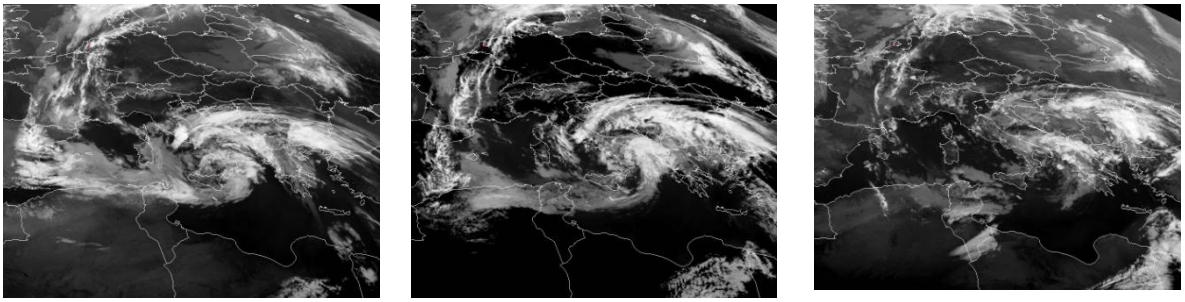
Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται η εμφάνιση ενός στροβίλου (Vortex) στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου (Εικ.4.7.2,α). Η εμφάνιση της δίνης αυτής είναι πιο χαρακτηριστική στο κανάλι των υδρατμών (Εικ.4.7.2,β), όπου εμφανίζονται με μαύρο

χρώμα οι ξηρές σχισμές, περιοχές που ο στρατοσφαιρικός ξηρός αέρας διεισδύει στα στρώμα της τροπόσφαιρας.

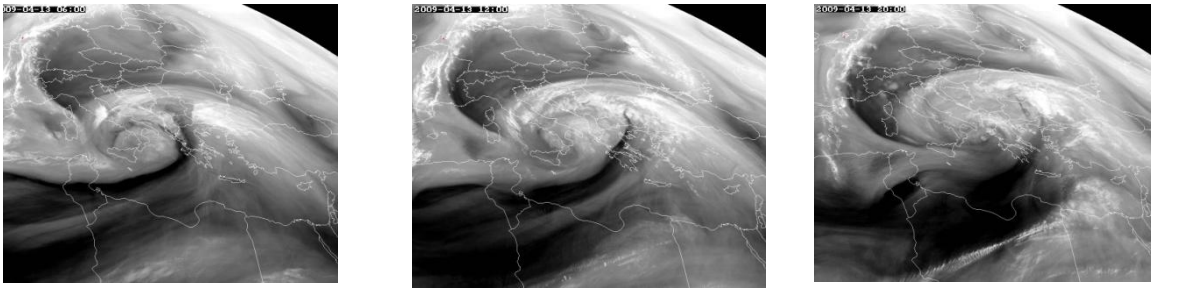
Ο στρόβιλος αυτός συνδέεται με ένα αποκομμένο χαμηλό στο επίπεδο των 500 hPa, το οποίο ουσιαστικά βρίσκεται μέσα σε μια έξαρση των ισοϋψών.

Τα γενικά δορυφορικά, αλλά και συνοπτικά χαρακτηριστικά της παρούσας ύφεσης δεν συσχετίζονται με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των κατηγοριών που αναπτύχθηκαν παραπάνω.

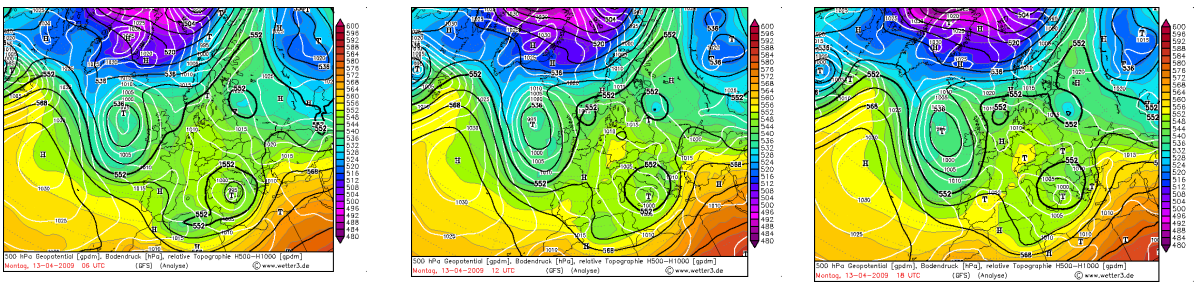
α) **γ)**



β)



γ)



Εικόνα 4.7.2: α) Τρείς διαδοχικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου (IR 10.8), στις 13-4-09/06:00 UTC, στις 13-4-09/12:00 UTC και στις 13-4-09/20:00 UTC αντίστοιχα. β) Οι αντίστοιχες εικόνες στο κανάλι των υδρατμών (WV 06.2), και γ) Χάρτες ισοϋψών των 500 hPa, στις 13-4-09/06:00 UTC, 13-4-09/12:00 UTC και στις 13-4-09/18:00 UTC αντίστοιχα.

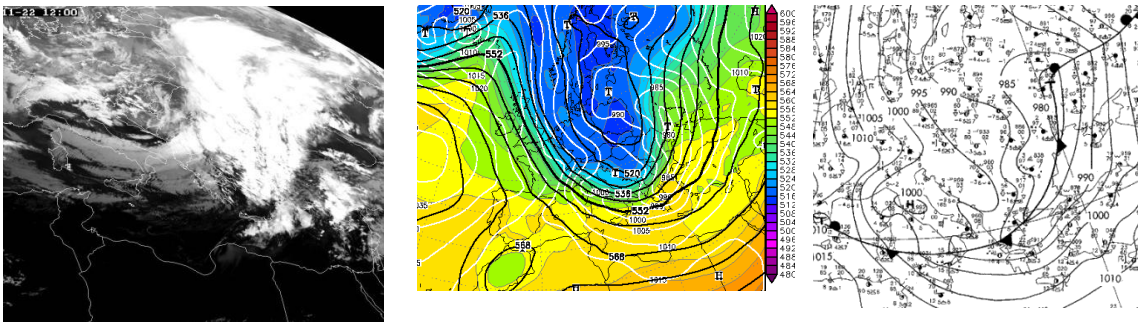
Η ύφεση στις 22 και 23 Νοεμβρίου 2008 και

Η ύφεση στις 17,18 και 19 Φεβρουαρίου 2009.

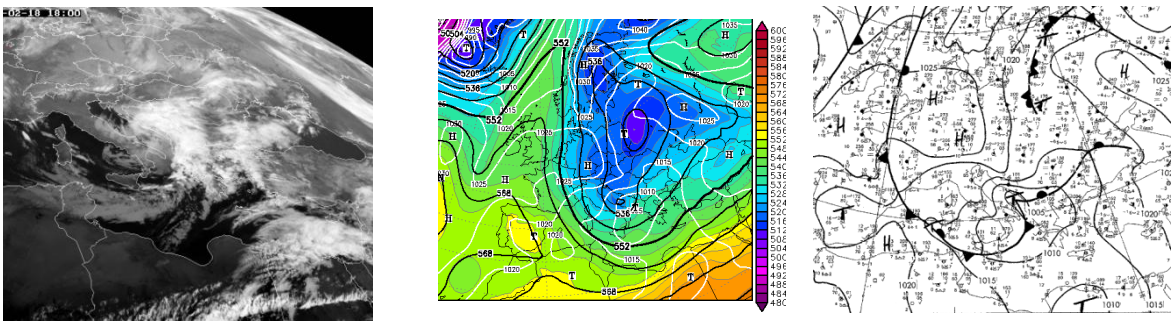
Οι δύο παραπάνω υφέσεις δεν παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά με κάποια από τις κατηγορίες που προέκυψαν από την ταξινόμηση, ωστόσο μεταξύ αυτών των δύο υπάρχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά, όπως αναφέρονται παρακάτω:

Στα δορυφορικά δεδομένα εμφανίζεται ο σχηματισμός ευδιάκριτου στροβίλου (Vortex), ευρέως συνοπτικής κλίμακας και η δημιουργία «γάντζου» (Hook). Επίσης χαρακτηριστική η εμφάνιση στις δορυφορικές εικόνες των μετωπικών δραστηριοτήτων και κυρίως του ψυχρού μετώπου, το νότιο τμήμα του οποίου χαρακτηρίζεται από χαμηλότερα νέφη, τα οποία απεικονίζονται με πιο σκούρες αποχρώσεις του γκρι (4.7.3.α,δ).

α) 22-11-2008/12:00 UTC β) γ)



δ) 18-2-2009/18:00 UTC ε) στ)



Εικόνα 4.7.3: α) Δορυφορική εικόνα (IR 10.8),στις 22-11-2008/12:00 UTC, β) ο αντίστοιχος χάρτης των ισοϋψών στα 500 hPa, γ) ο αντίστοιχος χάρτης επιφανείας, δ) Δορυφορική εικόνα (IR 10.8),στις 18-2-2009/18:00 UTC, ε) ο αντίστοιχος χάρτης των ισοϋψών στα 500 hPa, και στ) ο αντίστοιχος χάρτης επιφανείας.

Στα συνοπτικά χαρακτηριστικά στην ανώτερη ατμόσφαιρα εμφανίζεται έξαρση στη δυτική Ευρώπη, ανατολικά της οποίας παρατηρείται μεσημβρινός αυλώνας με τη δημιουργία στην πορεία αποκομμένου χαμηλού. Η ροή στο επίπεδο των 500 hPa, εμφανίζεται να είναι αποκλίνουσα (4.7.3.β,ε).

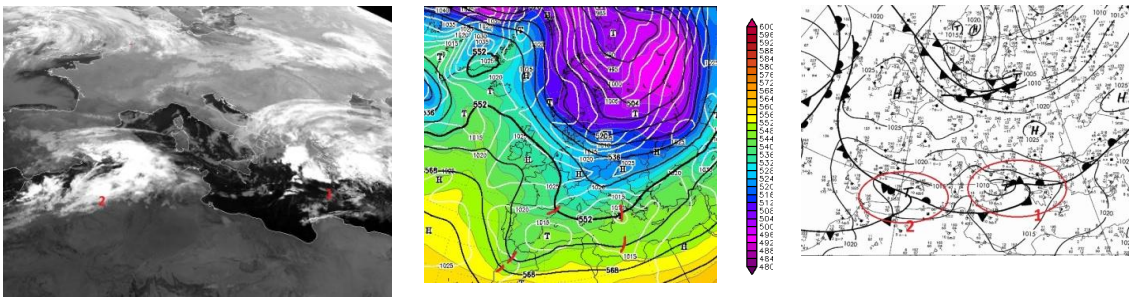
Στον χάρτη επιφανείας δεν προκύπτουν κοινά χαρακτηριστικά καθώς στην πρώτη περίπτωση παρατηρείται ένα εκτεταμένο χαμηλό με το κέντρο του στα 980 hPa, ενώ στη δεύτερη περίπτωση το χαμηλό είναι πιο περιορισμένο και αβαθές (1005 hPa), ενώ βορειοδυτικά αυτού υπάρχει εκτεταμένος αντικυκλώνας στην δυτική και κεντρική Ευρώπη (4.7.3.γ,στ).

Η ύφεση στις 2 και 3 Ιανουαρίου 2009 και

Η ύφεση στις 4 και 5 Ιανουαρίου 2009.

Οι υφέσεις αυτές δημιουργήθηκαν στην περιοχή της δυτικής Μεσογείου, κινήθηκαν ανατολικά επηρεάζοντας και την περιοχή της Ελλάδος (4.7.4.α). Οι υφέσεις αυτές εμφανίζονται στα κράσπεδα ενός αντικυκλώνα της δυτικής-κεντρικής Ευρώπης (Εικ.4.7.4,γ). Στο επίπεδο των 500 hPa , παρατηρείται στην βόρεια Ευρώπη ένας ευρύς αυλώνας, ενώ οι δευτερεύουσες διαταραχές μικρότερης κλίμακας (Εικ. 4.7.4,β κόκκινες διακεκομμένες γραμμές) συνδέονται με την εμφάνιση των μετωπικών υφέσεων

α) β) γ)



Εικόνα 4.7.4: α) Δορυφορική εικόνα (IR 10.8),στις 4-1-2009/00:00 UTC, β) ο αντίστοιχος χάρτης των ισοϋψών στα 500 hPa, γ) ο αντίστοιχος χάρτης επιφανείας.

Τα νέφη στις δορυφορικές εικόνες των παραπάνω υφέσεων γενικά εμφανίζονται αρχικά στην μορφή τύπου φύλλου (leaf cloud), τα οποία αναπτύσσονται κυκλωνικά. Γενικά είναι περιορισμένης έκτασης και στο τελικό στάδιο των υφέσεων παρατηρούνται αρκετά σωρειτόμορφα νέφη (έντονες λευκές αποχρώσεις και σαφή όρια) (4.7.4.α).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Γενικά

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά τριανταδύο (32) μετωπικών υφέσεων της Μεσογείου, οι οποίες επηρέασαν τη χώρα μας, κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου 2008-09 (Οκτώβριος 2008-Απρίλιος 2009). Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα (ανά μια ώρα) σε τρία φασματικά κανάλια και συνοπτικοί χάρτες (ανά 6ωρο) για 109 ημέρες.

Οι μετωπικές υφέσεις της παραπάνω χρονικής περιόδου ταξινομήθηκαν σε πέντε(5) βασικές κατηγορίες με βάση τα δορυφορικά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τα συνοπτικά χαρακτηριστικά αυτών.

Οι κατηγορίες που προέκυψαν είναι οι παρακάτω:

1. *Μετωπικές υφέσεις μεσημβρινού αυλώνα*.

   Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται πέντε (5) περιπτώσεις.

2. *Μετωπικές υφέσεις με παράλληλα νέφη στο αρχικό στάδιο και συγκλίνουσα ροή στην ανώτερη ατμόσφαιρα.*

   Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται έξι (6) περιπτώσεις.

3. Μετωπικές υφέσεις ψυχρού τομέα ή τύπου «κόμματος».

   Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται έξι (7) περιπτώσεις

4. *Μετωπικές υφέσεις μεσημβρινού αυλώνα με νέφη (C) στον ψυχρό τομέα.*

   Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται έξι (4) περιπτώσεις.

5. *Μετωπικές υφέσεις αποκομμένου χαμηλού με νέφη από νότια.*

   Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται έξι (4) περιπτώσεις.

Αταξινόμητες μετωπικές υφέσεις προέκυψαν έξι (6), οι οποίες δεν παρουσίασαν κάποια κοινά χαρακτηριστικά με τις παραπάνω πέντε κατηγορίες.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν μπορούν να διαχωριστούν σε γενικά συμπεράσματα που απορρέουν από το σύνολο της διατριβής αυτής, αλλά και σε ειδικά συμπεράσματα, τα οποία προκύπτουν από την κάθε κατηγορία ταξινόμησης.

5.2 Γενικά συμπεράσματα

- Η φωτοερμηνεία των δορυφορικών εικόνων, στα τρία φασματικά κανάλια (υπέρυθρο IR 10.8, υδρατμών WV 6.2 και ορατό υψηλής ευκρίνειας HRV), έδωσε σημαντικές πληροφορίες για τις μετωπικές υφέσεις που μελετήθηκαν σε αυτή την εργασία. Πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά των νεφικών σχηματισμών (σχήμα, μορφή, είδος και ύψος νεφών κ.λ.π.), αλλά και για τη δομή της ατμόσφαιρας. Η παρακολούθηση της ατμόσφαιρας, μέσω διαδοχικών εικόνων (animation), παρείχε επιπλέον πληροφορίες για τη θέση και την κίνηση των νεφών και βοήθησε στη μελέτη όλων των σταδίων της ζωής μιας μετωπικής ύφεσης.
- Η ταυτόχρονη μελέτη των μετωπικών υφέσεων, μέσω δορυφορικών εικόνων και των αντίστοιχων συνοπτικών χαρτών καιρού, οδηγεί στην αντικειμενικότερη προσέγγιση των φαινομένων αυτών, καθώς τα στοιχεία που προκύπτουν από τις δορυφορικές εικόνες και από τους συνοπτικούς χάρτες καιρού λειτουργούν συμπληρωματικά μεταξύ τους.
- Οι δορυφορικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών (WV), παρέχουν πληροφορίες βασικά για την δομή της υγρασίας στη μέση και ανώτερη ατμόσφαιρα, αλλά και για τη θερμοδυναμική δομή αυτής. Έτσι επιτυγχάνεται μια καλύτερη ερμηνεία των σημαντικών ατμοσφαιρικών διαδικασιών, μεγάλης κλίμακας, οι οποίες συνδέονται με δυναμικά πεδία όπως ο στροβιλισμός, μεταφορά στροβιλισμού, δυναμικός στροβιλισμός, ανωμαλίες δυναμικής τροπόπαυσης κ.λ.π.).Τα χαρακτηριστικά του αεροχειμάρρου σχετίζονται με βαροκλινικές ζώνες της ατμόσφαιρας.

  Οι ανωμαλίες της δυναμικής τροπόπαυσης συνδέονται με την εισροή ξηρού στρατοσφαιρικού αέρα στην τροπόσφαιρα (σκούρα απόχρωση στην δορυφορική

εικόνα WV), δημιουργώντας συνθήκες δυναμικής αστάθειας ενισχύοντας έτσι τις ανοδικές κινήσεις (convection).

Επίσης η δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών δίνει πληροφορίες για τη δομή της τροπόσφαιρας πριν ακόμη υπάρξει συμπύκνωση και δημιουργία νεφών και αυτό βοηθά στην έγκαιρη πρόβλεψη ενδεχόμενης κυκλογέννεσης.

- Οι δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου (10.8) δίνουν πληροφορίες που αφορούν το ύψος, το σχήμα, την έκταση, το είδος και τη δομή των νεφών (σε συνδυασμό και με την εικόνα στο ορατό κανάλι). Τα υψηλά νέφη (Cirrus) περιγράφουν και τη ροή της ανώτερης ατμόσφαιρας.

  Η εικόνα των νεφικών σχηματισμών στο κανάλι του υπερύθρου αποτελεί το κύριο κριτήριο ταξινόμησης των μετωπικών υφέσεων στις κατηγορίες που προέκυψαν.

- Στη δημιουργία των μετωπικών υφέσεων καθοριστικό ρόλο παίζουν η εμφάνιση και η εξέλιξη τεσσάρων διακριτών νεφικών μαζών, όπως αναφέρονται παρακάτω:

  - Η μετωπική νεφική μάζα F (Frontal), η οποία δηλώνει στην ουσία την

    παρουσία μιας βαροκλινικής ζώνης. Βρίσκεται στη θερμή πλευρά του πολικού αεροχειμάρρου και συνδέεται συνήθως με κάποιο στάσιμο μέτωπο ή κάποια σύσφιξη (γενικά με συνθήκες ασυνέχειας). Εμφανίζεται με το σχήμα του γράμματος S και αποτελεί το γνωστό σχηματισμό τύπου φύλλου (leaf cloud).

  - Τα νέφη C (Cloud), νέφη κυρίως σωρειτόμορφα (cumulus) ή νέφη τύπου κόμματος, τα οποία εμφανίζονται στον ψυχρό τομέα προς τη πολική πλευρά του αεροχειμάρρου. Τα νέφη αυτά υποδηλώνουν δυναμική αστάθεια και στην περιοχή αυτών παρατηρείται θετική μεταφορά στροβιλισμού (PVA). Συνήθως στην επιφάνεια (SFC) κάτω από τα νέφη C μπορεί να υπάρχει ένα κέντρο χαμηλών πιέσεων ή ένας επιφανειακός αυλώνας. Αντίστοιχα στην επιφάνεια των 500 hPa, στην περιοχή των νεφών C, εμφανίζεται ένας δευτερεύων αυλώνας, ο οποίος συνδέεται άμεσα με την παρουσία των νεφών αυτών.

Οι νεφώσεις τύπου F και C μπορεί να ποικίλουν ως προς τη μορφή ή το μέγεθος από περίπτωση σε περίπτωση. Η σχετική δε θέση των νεφικών σχηματισμών F και C καθορίζουν και την πορεία εξέλιξης μιας κυκλογέννεσης.

- Τα νέφη E (Emerged), τα οποία εμφανίζονται να αναδύονται κάτωθεν των νεφών F, είναι κυρίως μεσαία νέφη και σηματοδοτούν την ανάπτυξη μια κυκλογέννεσης και τέλος
- Τα νέφη N (New), τα οποία αποτελούν μια καινούργια νεφική μάζα, η οποία εμφανίζεται στην περιοχή της Μεσογείου και συνήθως προέρχεται από τη βόρεια Αφρική. Τα νέφη αυτά είναι συνήθως μεγάλης κλίμακας και είναι αποτέλεσμα μιας θερμής ζώνης μεταφοράς, κατά την οποία ατμοσφαιρικές αέριες μάζες, συνοπτικής κλίμακας, ανέρχονται, μεταφέροντας υγρασία και θερμότητα στα ανώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας, δημιουργώντας έτσι σημαντικές συνθήκες ασταθείας.

  Η εμφάνιση αυτών των νεφών διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην δημιουργία και την εξέλιξη των μετωπικών υφέσεων της Μεσογείου, όπως στις υφέσεις της $2^{ης}$, $4^{ης}$ και $5^{ης}$ κατηγορίας που αναπτύχθηκαν.

- Η χρήση των συνοπτικών χαρτών της ανώτερης ατμόσφαιρας (500 hPa) σε συνδυασμό με τη δορυφορική εικόνα, επιβεβαιώνει την άποψη ότι η μορφή των νεφικών σχηματισμών αντανακλά τη δομή της ανώτερης ατμόσφαιρας. Π.χ. η δημιουργία κεφαλής στο ώριμο στάδιο μιας κυκλογέννεσης συνδέεται άμεσα με την ύπαρξη ενός ξεκάθαρου αποκομμένου χαμηλού στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Επίσης η εμφάνιση δευτερευουσών διαταραχών (Short wave troughs) συνδέονται άμεσα με την εμφάνιση νεφών C (cumulus ή comma cloud) ($3^{η}$ κατηγορία), καθώς και την εμφάνιση των νεφών E(Emerged) ($1^{η}$ και $4^{η}$ κατηγορία) και ουσιαστικά αποτελούν την αφορμή για την έναρξη μιας κυκλογέννεσης, δηλ. την εκδήλωση ασταθείας σε ένα περιβάλλον μιας λανθάνουσας ισορροπίας.
- Σε περιπτώσεις όπου εμφανίζεται ισχυρή ξηρή εισβολή (dry intrusion) ξηρού στρατοσφαιρικού αέρα, εμφανίζονται γύρω από αυτή, ενισχυμένα σωρειτόμορφα

νέφη. Τα νέφη αυτά εμφανίζονται με έντονες ανοιχτές αποχρώσεις στο ορατό και το υπέρυθρο φάσμα, έχουν σαφή και διακριτά όρια, σε σφηνοειδή μορφή. Λόγω της αυξημένης υγρασίας στα ανώτερα στρώματα που παρουσιάζουν τα νέφη αυτά, εμφανίζονται και στο κανάλι των υδρατμών. Η δημιουργία των νεφών αυτών οφείλεται στις συνθήκες δυναμικής αστάθειας που δημιουργούνται με την εισβολή στρατοσφαιρικών αερίων μαζών (με υψηλές τιμές δυναμικού στροβιλισμού PVU) στην περιοχή της τροπόσφαιρας (με χαμηλές τιμές δυναμικού στροβιλισμού PVU).

- Οι υφέσεις που επηρέασαν την Ελλάδα κατά την περίοδο μελέτης και εμφάνισαν πολύ καλά οργανωμένη μορφή και μεγάλης έκτασης, σύμφωνα με τις δορυφορικές εικόνες, ήταν κυρίως υφέσεις που προέρχονταν από την περιοχή της βόρειας Αφρικής.

  Οι υφέσεις του Ατλαντικού που επηρέασαν την χώρα μας ήταν λίγες περιπτώσεις και μόνο όταν υπήρξε αναδιοργάνωση εκ νέου των υφέσεων στην περιοχή της Μεσογείου ($5^{η}$ κατηγορία).

5.3. Ειδικά συμπεράσματα για τις κατηγορίες ταξινόμησης των μετωπικών υφέσεων.

Πρώτη κατηγορία (μεσημβρινού αυλώνα)

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των μετωπικών υφέσεων του μεσημβρινού αυλώνα αποτελεί η εμφάνιση ενός «βαροκλινικού φύλλου», το οποίο σηματοδοτεί την αρχή μιας νέας κυκλογέννεσης. Η διεύρυνση και η περαιτέρω εξέλιξη του νεφικού σχηματισμού αυτού οδηγεί στη δημιουργία της καινούργιας μετωπικής ύφεσης.

Η δημιουργία των μετωπικών υφέσεων αυτών ερμηνεύεται πολύ καλά με την κλασική θεωρία του Νορβηγικού μοντέλου.

Οι υφέσεις που ταξινομήθηκαν στην κατηγορία αυτή εμφανίζουν κοινή περιοχή προέλευσης, την περιοχή της βόρειας Αφρικής.

Δεύτερη κατηγορία (παράλληλα νέφη-συγκλίνουσα ροή).

Οι νεφώσεις (κυρίως στρατόμορφες) που παρατηρούνται στο κανάλι του υπερύθρου, με μια σχεδόν παράλληλη διάταξη μεταξύ τους , αποτελούν ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας και μπορεί να βοηθήσει στην έγκαιρη πρόβλεψη κυκλογεννέσεων.

Οι νεφώσεις αυτές συνδέονται με θερμές ζώνες μεταφοράς, οι οποίες διακρίνονται πολύ καλά στο κανάλι των υδρατμών ως περιοχές με αυξημένη υγρασία και συγκεκριμένο προσανατολισμό. Οι διαδοχικές εικόνες παρέχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της εξέλιξης των κυκλογεννέσεων περαιτέρω.

Οι μετωπικές υφέσεις της κατηγορίας αυτής που μελετήθηκαν είναι γενικά ισχυρές (καλά οργανωμένες), με έντονες αποχρώσεις στα φασματικά κανάλια και δημιουργία νέφους «κεφαλής» κατά το στάδιο της ωρίμανσης.

Η προέλευσή τους είναι κυρίως η βόρεια Αφρική και κατά δεύτερο η δυτική Μεσόγειος.

Τρίτη κατηγορία (ψυχρού τομέα ή τύπου «κόμματος»).

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η δημιουργία νέφους τύπου «κόμματος». Οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν έλαβαν χώρα στο ψυχρό τομέα πάντα μιας προηγηθείσας σύσφιξης. Οι περιοχές που εμφανίζονται και αναπτύσσονται τα νέφη κόμματος (comma cloud) είναι περιοχές που χαρακτηρίζονται από δυναμική αστάθεια (περιοχές με θετική μεταφορά στροβιλισμού στην ανώτερη ατμόσφαιρα) και συνδέονται πάντα με μικρού μήκους κύματος διαταραχές της ανώτερης ατμόσφαιρας.

Στις δορυφορικές εικόνες τα νέφη εμφανίζουν αρχικά τη μορφή τύπου φύλλου (leaf cloud) το οποίο αναπτύσσεται και παίρνει το σχήμα του κόμματος. Η σύνδεση του νέφους αυτού με τον αεροχείμαρρο εμφανίζεται συνήθως με μια «διχάλα», που εμφανίζεται στην ουρά του νέφους. Οι αποχρώσεις των νεφών της κεφαλής του νέφους κόμματος είναι γενικά έντονες, καθώς αποτελούνται κυρίως από σωρειτόμορφες νεφώσεις σε αντίθεση με τα νέφη της ουράς που είναι συνήθως πιο σκουρόχρωμες (χαμηλότερα νέφη). Η έκταση

καθώς και η ένταση των νεφών κόμματος σχετίζονται και είναι ανάλογες της έντασης της προηγηθείσας μετωπικής ύφεσης.

Δεν παρατηρήθηκαν περιπτώσεις ανοικτού κόμματος (αποκοπή του νέφους της κεφαλής), στην κατηγορία αυτή.

Οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν εμφανίζονται στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου και κυρίως νότιας Ιταλίας και περιοχή Τυνησίας και κινούνται ανατολικά-βορειοανατολικά.

Τέταρτη κατηγορία (μεσημβρινού αυλώνα με νέφη (C) στον ψυχρό τομέα).

Στη περίπτωση αυτή υπάρχει αλληλεπίδραση τριών νεφικών μαζών, χωρίς όμως τελικώς να συγχωνεύονται. Σημαντικό ρόλο παίζει και εδώ η νέφωση που προκύπτει από μια εκτεταμένη ζώνη θερμής μεταφοράς της Μεσογείου. Η νέφωση αυτή είναι συνήθως μεγάλης συνοπτικής κλίμακας, εμφανίζει αρχικά το σχήμα S και έχει στρωματόμορφα χαρακτηριστικά.

Οι υφέσεις της κατηγορίας είναι λίγες για τη χρονική περίοδο που μελετήθηκε και δεν παρουσιάζουν συγκεκριμένη περιοχή εμφάνισης καθότι παρατηρήθηκαν από την δυτική μέχρι την ανατολική Μεσόγειο.

Πέμπτη κατηγορία (αποκομμένου χαμηλού).

Οι υφέσεις αυτές είναι μια ιδιαίτερη κατηγορία και αφορά υφέσεις του Ατλαντικού και της δυτικής Μεσογείου που αναδιοργανώνονται μέσα στη Μεσόγειο, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν έτσι και την περιοχή της Ελλάδος.

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών, όσον αφορά την ανώτερη κυκλοφορία είναι η ύπαρξη ενός αποκομμένου χαμηλού. Στις περιπτώσεις αυτές εμφανίζονται οι αρχικές υφέσεις οι οποίες έχουν το σχήμα ενός εκτεταμένου στροβίλου με νέφη κεφαλής. Παρατηρείται αποκοπή της κεφαλής και στη συνέχεια αναδιοργάνωση με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας καινούργιας ύφεσης που τελικά επηρεάζει και τον ελλαδικό χώρο.

Οι υφέσεις αυτές είναι σχετικά περιορισμένες για το χρονικό διάστημα μελέτης.

5.4. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής και την επίτευξη των βασικών και επιμέρους στόχων αυτής, μπορούν να τεθούν οι παρακάτω προτάσεις για την περαιτέρω έρευνα:

- ✓ Μελέτη μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος για την αντικειμενικότερη προσέγγιση.
- ✓ Μελέτη των ισχυρότερων κυκλογεννέσεων της Μεσογείου, με πιο ευδιάκριτα χαρακτηριστικά, για την καλύτερη σύγκριση μεταξύ τους. Και

Αντίστοιχη έρευνα και για άλλους τύπους καιρού (όπως μικτού τύπου καιρού ή αντικυκλωνικές καταστάσεις –εντοπισμός περιοχών με ομίχλη), οι οποίοι και αυτοί επηρεάζουν σημαντικά τη χώρα μας κατά την ψυχρή περίοδο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Ahrens, C.D., 2009. "*Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate and the Environment".* Brooks/Cole, Belmont, CA 94002, USA. (Ninth Edition), 549 pp.

Bader, M. J., Forbes, G. S., Grant, J. R., Lilley, R. B. E., Waters, A. J.,. 1995. "*Images in weather forecasting. A practical guide for interpreting satellite and radar imagery".* University Press, Cambridge, 499 pp.

Browning, K.A., and F.F.Hill, 1985: Mesoscale analysis of a polar trough intersecting with a polar front. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc., **111,** 445-462.*

Browning, K., 1986: Conceptual Models of Precipitation Systems*. Meteorological office, Bracknell, Berkshire RG12 25Z, UK, pp 23-41.*

Browning, K.A., 1990: Organization of clouds and precipitation in extratropical cyclones. *Extratropical Cyclones*, Eric Palmen Memorial Volume, C. W. Newton and E. O. Holopainen, Eds., Amer. Meteor. Soc., 129-153.

Carlson, T.N., 1980: Airflow through midlatitude cyclones and the comma cloud pattern*. Mon.Wea.Rev., **108,** 1498-1509.*

Conway, E.D. and The Maryland Space Grant Consortium, 1997: "*An Introduction to Satellite image Interpretation*", The Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland 21218-4363, 249 pp.

Djuric, D., 1994: "*Weather Analysis",* Prentice Hall, 304 pp.

Evans, S. M., D. Keyser, L. F. Bosart, and G. M. Lackmann, 1994: A satellite-derived classification scheme for rapid maritine cyclogenesis*. Mon. Wea. Rev., **122**, 1381-1416.*

Holton, J.R., 2004: "*An Introduction to Dynamic Meteorology*", Fourth Edition, Elsevier Academic Press. California 92101-4495, USA and London WCIX 8RR, UK, 535 pp.

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

Hoskins, B., 1997: A potential vorticity view of synoptic development, *Meteor.Appl., **4,** 325-334.*

McLennan, N.and L. Neil, 1988: Marine bombs program (phase II). *Atmospheric Environment Service Pacific Region Tech. Rep. 88-002.*

McGinnigle, J. B., M. V. Young and M. J. Bader, (1988): The development of instant occlusions in the North Atlantic. *Meteor. Mag., **117**, pp. 325-341.*

Santurette, P., C.G. Georgiev, 2005: "*Weather Analysis and Forecasting: Applying Satellite Water Vapor Imagery and Potential Vorticity Analysis*". ISBN: 0-12-619262-6. Academic Press, Burlington, MA, San Diego, London. Copyright ©, Elsevier Inc. 179 pp.

Sutcliffe, R. C., 1960: Depressions, Fronts and air-mass modification in the Mediterranean. *Meteorologisce Abdandlungen, Band IX, Heft 1, pp. 135-144.*

Shapiro, M.A., and D.Keyser, 1990: Fronts, jet streams and the tropopause. *Extratropical Cyclones*, The Erik Palmen Memorial Volume, C. W. Newton and E. O. Holopainen, *Eds., Amer.Meteor.Soc., 167-191.*

Semple, A.T., 1998: "*Conceptual Models of Cyclogenesis". A review and unification of conceptual models used to describe the structure and evolution of mid-latitude cyclones.* UK Meteorological Office/Joint Centre for Mesoscale Meteorology.

Young, M.V., 1994: A classification scheme for cyclone life-cycles: applications in analysis and short-period forecasting. The Life Cycles of Extratropical Cyclones, *Vol. III, Bergen Symposium, 27 June-1 July 1994, 380-385.*

Zillman, J. W., and P.G.Price, 1972: On the thermal structure of mature Southern Ocean cyclones. *Aust.Meteor.Mag., **20**, 34-48.*

Ελληνική Βιβλιογραφία

Ανθης, Α., 2004: Τα νέα δορυφορικά προγράμματα των Ευρωπαϊκών Μετεωρολογικών Δορυφόρων MSG και EPS, *Α.Τ.Α., Περιφερειακό Μετεωρολογικό Κέντρο*.

Γκουντουβά Ε., 2004: Συμβολή στη μελέτη των βροχομετρικών συστημάτων στη Μεσόγειο, *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Διατριβή ειδίκευσης Π.Μ.Σ., σελ.132.*

Ευθυμιάδης, Κ., Α. Σιακαβάρα, Ε. Παπαδημητράκη-Χλίχλια και Ι. Τσουκαλάς, 2009: *«Βασική Θεωρία Ηλεκτρομαγνητισμού».* Εκδόσεις Μέθεξις, Θεσσαλονίκη, σελ.289.

Ζερεφός, Χ., 2009: «*Εισαγωγικά Μαθήματα στη Φυσική της Ατμόσφαιρας*». Αθήνα, εκδόσεις Παπασωτηρίου, σελ.213.

Καρακώστας, Θ., 2014: «*Γενική και Δυναμική Μετεωρολογία».* Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Καρακώστας, Θ., 2008: «*Εισαγωγή στη Συνοπτική και Δυναμική Μετεωρολογία»,* Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Καρακώστας, Θ., Α.Φλόκας, Ε.Φλόκα, Ο.Κακαλιάγκου και Χ.Ρίζου, 1992: Μελέτη των συνοπτικών καταστάσεων στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου*, πρακτικά $1_{ου}$ Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας-Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη (σελ.469-477).*

Cartalis, C, N. Chrysoulakis, H. Feidas and N.Pitsitakis, 2004: Categorization of cold period weather types in Greece on the basis of the photointerpretation of NOAA/AVHRR imagery*, International Journal of Remote Sensing, vol.25, No 15, 2951-2977.*

Κολοβός, Β., 2012: Μελέτη νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης θερινής περιόδου για την Ελλάδα με χρήση δορυφορικών εικόνων*, διατριβή ειδίκευσης Π.Μ.Σ. του Α.Π.Θ., σελ.125.*

Μακρογιάννης, Τ., Χ. Σαχσαμάνογλου, 2004: «*Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας*», Θεσσαλονίκη, εκδόσεις Χάρις Ε.Π.Ε.,σελ.414.

Μαχαίρας, Π., 2004: «*Μαθήματα Δυναμικής και εφαρμοσμένης Κλιματολογίας».* Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Α.Π.Θ.

Μαχαίρας, Π., Χ. Μπαλαφούτης, 1984: *«Γενική Κλιματολογία με στοιχεία Μετεωρολογίας»,* Θεσσαλονίκη, University studio press, σελ. 338.

Μπάης, Α., Δ. Μπαλής και Κ.Τουρπάλη, 2011: «*Φυσική της ατμόσφαιρας-Σημειώσεις»*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής, Εργαστήριο Φυσικής της ατμόσφαιρας.

Xoplaki, E., 2002: Climate variability over the Mediterranean, *Universitaet Bern Schweiz. Διδακτορική διατριβή.*

Πυθαρούλης, Ι., 2008: «*Σημειώσεις Συνοπτικής Μετεωρολογίας».* Τμήμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Α.Π.Θ.

Φείδας, Χ., Κ. Καρτάλης, 2003: *«Σημειώσεις του μαθήματος Δορυφορική Μετεωρολογία-Κλιματολογία».* Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας.

Φλόκας, Α., 1992: «*Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*», Θεσσαλονίκη, εκδόσεις ΖΗΤΗ, σελ.465.

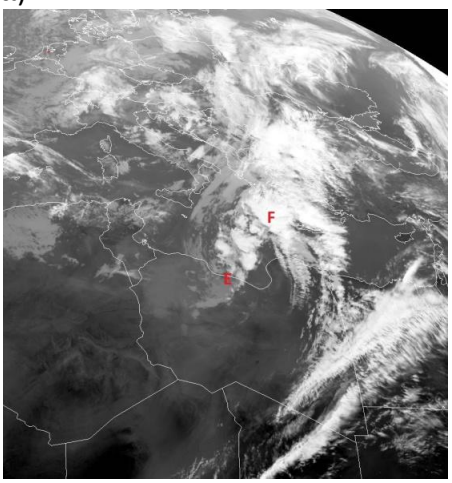
Ηλεκτρονικές διευθύνσεις.

- *http://www.zamg.ac.at/*
- http://www.eumetsat.int/
- *https://www.wmo.int/*
- *http://www.eumetrain.org*
- http://www.crh.noaa.gov/
- http://www.metlink.org/
- XRIT2PIC manual (release 2008.06): http://www.alblas.demon.nl/wsat/software/man_xrit2pic.html.

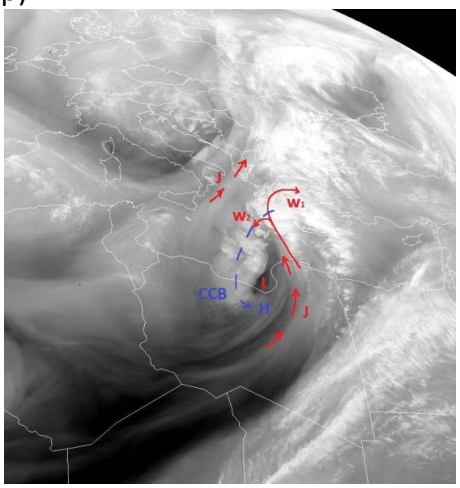
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Μετωπική ύφεση στις 6 Δεκεμβρίου 2008

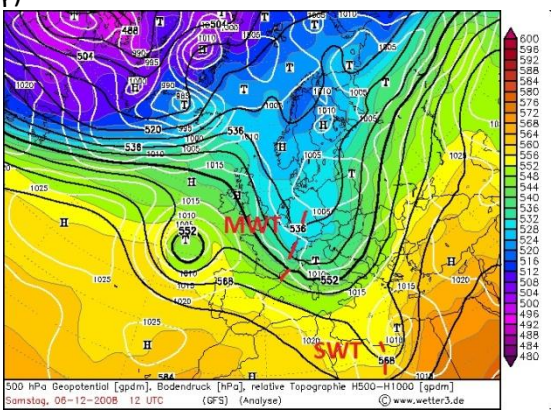
α)



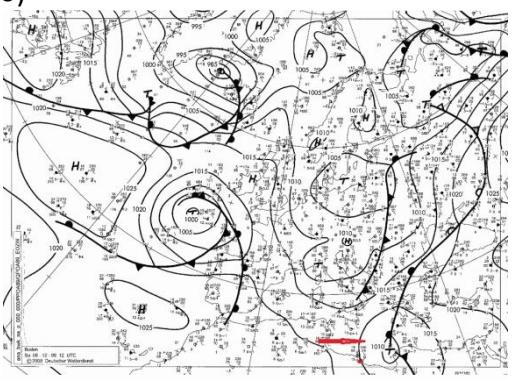
β)



γ)



δ)

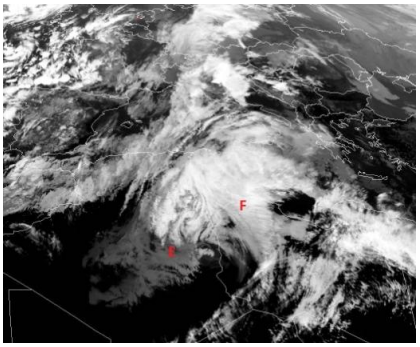


Εικόνα 1: Δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες στις 6-12-2008/12:00 UTC.

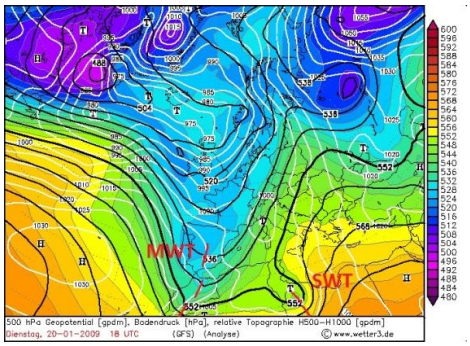
α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου IR 10.8, στην οποία παρουσιάζεται η ανάπτυξη των νεφών (F) (βαροκλινικό φύλλο), καθώς και τα χαμηλότερα νέφη Ε που εμφανίζονται στην ψυχρή πλευρά των νεφών F. β) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών WV 6.2, στην οποία διακρίνονται οι θερμές ζώνες μεταφοράς (W_1 και W_2, κόκκινες συνεχείς καμπύλες) με αντικυκλωνική και κυκλωνική φορά αντίστοιχα καθώς και η ψυχρή ζώνη μεταφοράς (CCB, μπλε διακεκομμένη καμπύλη), η οποία συντελεί στην δημιουργία του γάντζου (H). Το κέντρο του χαμηλού (L) στην επιφάνεια τοποθετείται κάτω από τη ξηρή εγκοπή. Επίσης στην ίδια εικόνα παρατηρείται η διάσπαση του αεροχειμάρρου (J, κόκκινα βελάκια). γ) Συνοπτικός χάρτης των 500 hPa, στον οποίο διακρίνεται ο κύριος μεσημβρινός αυλώνας MWT (Mainly Wave Trough) καθώς και ο δευτερεύων αυλώνας SWT (Sort Wave Trough), ο οποίος σχετίζεται με την ανάπτυξη του βαροκλινικού φύλλου. δ) Συνοπτικός χάρτης επιφανείας, στον οποίο εμφανίζεται το κέντρο του χαμηλού (βόρεια Αφρική, περιοχή κόλπου των Σύρτεων).

Μετωπική ύφεση στις 20 και 21 Ιανουαρίου 2009

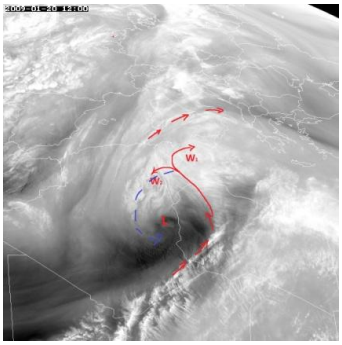
α)



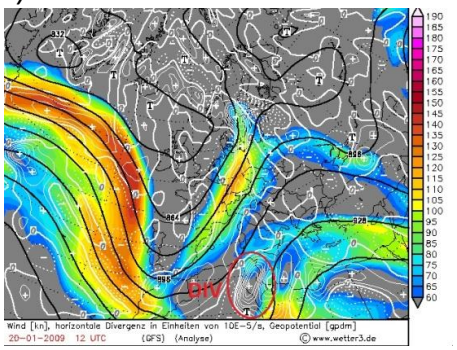
β)



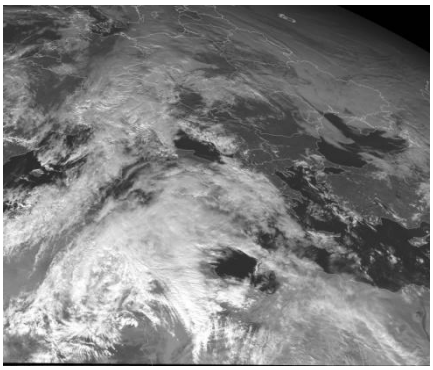
γ)



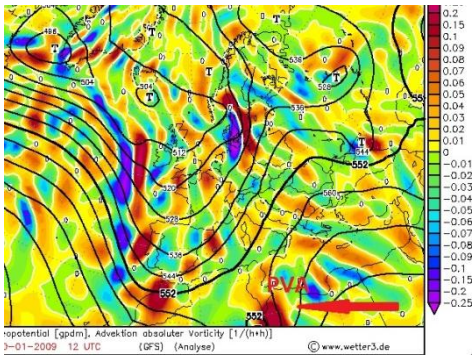
δ)



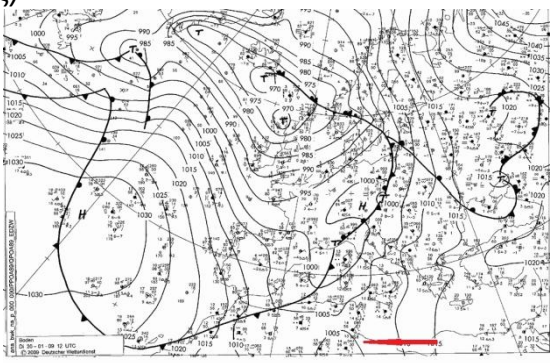
ε)



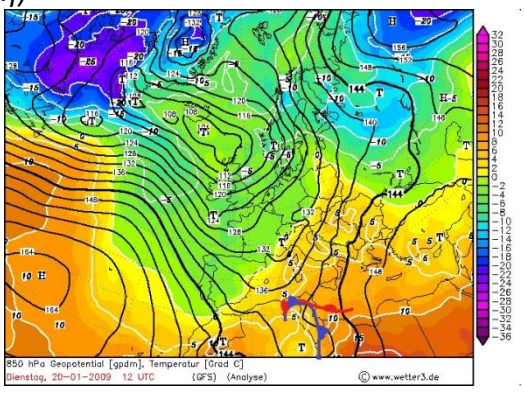
στ)



ζ)



η)



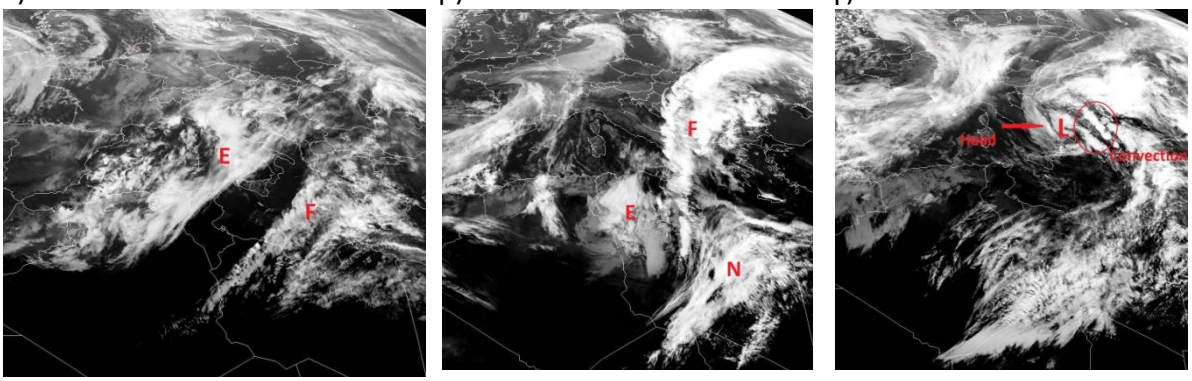
Εικόνα 2: Δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες στις 20-1-2009/12:00 UTC:

α) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του υπερύθρου IR 10.8, στην οποία φαίνεται η ανάπτυξη ενός βαροκλινικού φύλλου (νέφη F), αλλά και η εμφάνιση των νεφών E (με πιο σκούρες αποχρώσεις του γκρι). β) Χάρτης ισοϋψών των 500 hPa, στον οποίο διακρίνεται ο κύριος μεσημβρινός αυλώνας MWT (Mainly Wave Trough) καθώς και ο δευτερεύων αυλώνας SWT (Sort Wave Trough), ο οποίος σχετίζεται με την ανάπτυξη του βαροκλινικού φύλλου. γ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών WV 6.2, στην οποία διακρίνονται οι θερμές ζώνες μεταφοράς (W_1 και W_2, κόκκινες συνεχείς καμπύλες) με αντικυκλωνική και κυκλωνική φορά αντίστοιχα, καθώς και η ψυχρή ζώνη μεταφοράς (CCB, μπλε διακεκομμένη καμπύλη), η οποία συντελεί στην δημιουργία του γάντζου. Το κέντρο του χαμηλού (L) στην επιφάνεια τοποθετείται κάτω από τη ξηρή εγκοπή. Επίσης στην ίδια εικόνα παρατηρείται η διάσπαση του αεροχειμάρρου (κόκκινα βελάκια). δ) Χάρτης ισοϋψών των 300 hPa, στον οποίο φαίνεται η θέση του αεροχειμάρρου και η περιοχή αποκλίσεων (κόκκινη κλειστή καμπύλη).ε) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του ορατού (HRV), όπου παρατηρείται μεγάλη ανακλαστικότητα (ανοιχτές αποχρώσεις) στην περιοχή της ανάπτυξης του βαροκλινικού φύλλου.στ) Χάρτης μεταφοράς στροβιλισμού των 500 hPa, στον οποίο εμφανίζεται η θετική μεταφορά στροβιλισμού (PVA) στα κατάντη τμήματα του δευτερεύοντα αυλώνα.ζ) Συνοπτικός χάρτης επιφανείας, στον οποίο εμφανίζεται χαμηλές πιέσεις στην περιοχή της Τυνησίας. η) Συνοπτικός χάρτης των 850 hPa, όπου παρατηρούνται οι θερμικές μεταφορές (advection) στο επίπεδο αυτό.

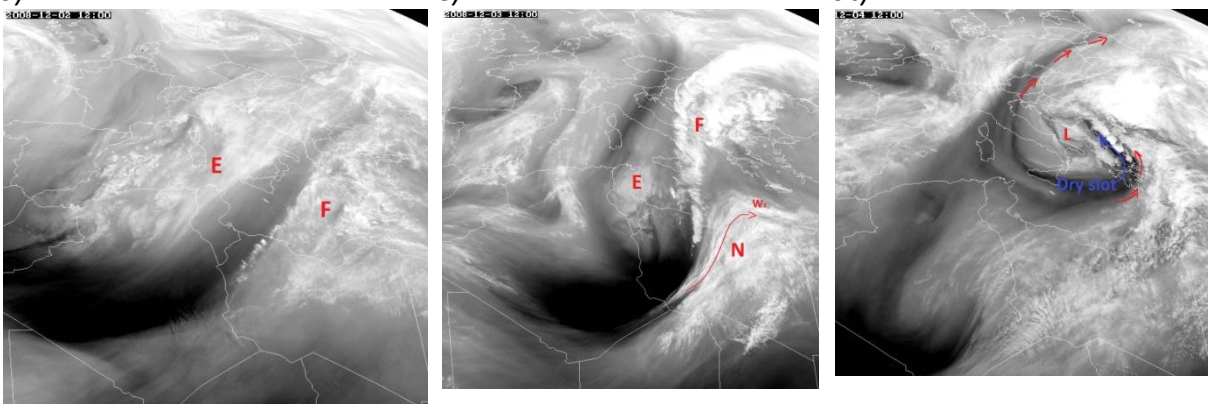
Μετωπική ύφεση στις 2, 3 και 4 Δεκεμβρίου 2008

Αρχικό στάδιο (2-12-2009/12:00 UTC) **Ανάπτυξη (3-12-2009/12:00 UTC)** **Ωρίμανση (4-12-2009/12:00 UTC)**

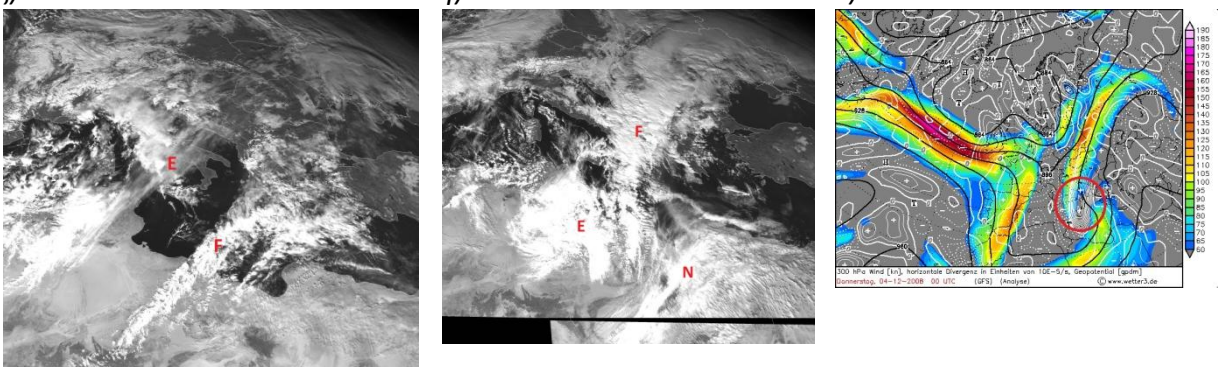
α) β) γ)



δ) ε) στ)



ζ) η) θ)



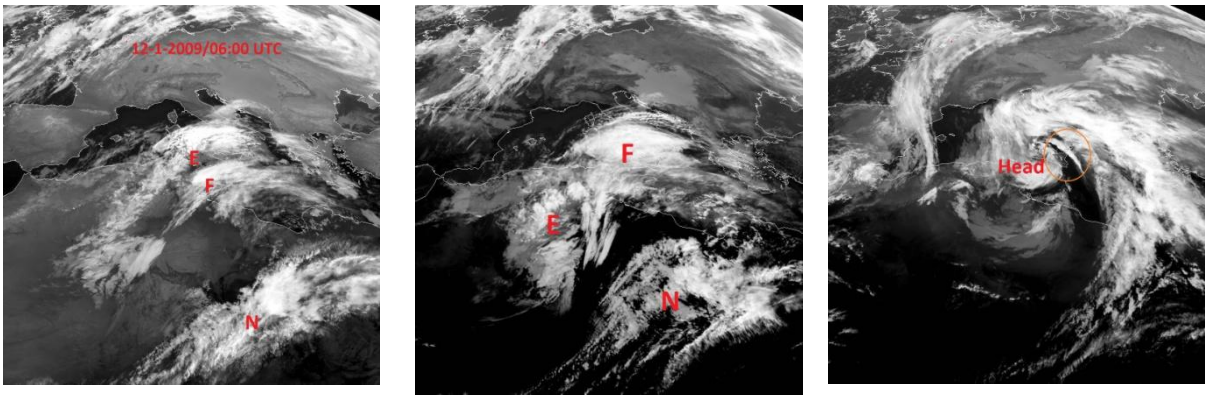
Εικόνα 3: Δεδομένα για την μετωπική ύφεση 2,3 και 4 Δεκεμβρίου 2008 σε τρία βασικά στάδια αυτής (αρχικό, ανάπτυξης και ωρίμανσης):

α) Δορυφορική εικόνα του υπερύθρου IR 10.8 στις 2-12-2008/12:00 UTC, όπου εμφανίζονται οι νεφικές μάζες E και F, σε μια παράλληλη διάταξη μεταξύ τους. β) Δορυφορική εικόνα του υπερύθρου IR 10.8 στις 3-12-2008/12:00 UTC, στην οποία εμφανίζεται από νότια και η νεφική μάζα N. γ) Δορυφορική εικόνα του υπερύθρου IR 10.8 στις 4-12-2008/12:00 UTC, όπου φαίνεται το νέφος «κεφαλής» (Head) κατά το στάδιο ωρίμανσης, καθώς και η περιοχή αναπτύξεων (convection) (κλειστή κόκκινη καμπύλη).δ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2), στις 2-12-2008/12:00 UTC.

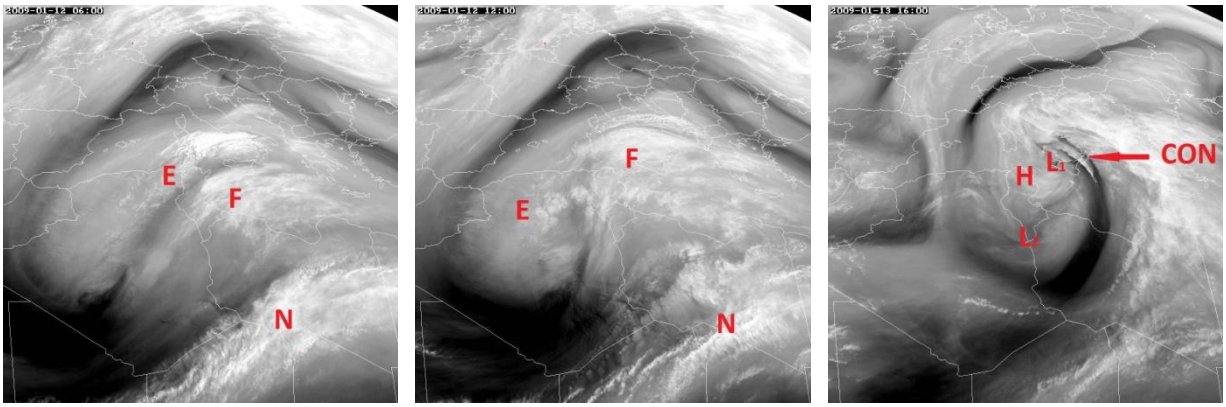
*ε) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2), στις 3-12-2008/12:00 UTC, στην οποία απεικονίζονται οι νεφώσεις E, F και N. Τα νέφη N συνδέονται με τη θερμή ζώνη μεταφοράς W_3 (κόκκινη καμπύλη).στ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2), στις 4-12-2008/12:00 UTC, όπου διακρίνεται η ξηρή σχισμή (dry slot) (μπλε καμπύλη) και η διάσπαση του αεροχειμάρρου (κόκκινα βελάκια), κατά το στάδιο της ωρίμανσης της μετωπικής ύφεσης αυτής.*ζ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του ορατού (HRV), στις 2-12-2008/12:00 UTC).η) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι του ορατού (HRV), στις 3-12-2008/12:00 UTC).θ) Συνοπτικός χάρτης των 300 hPa, στον οποίο φαίνεται η περιοχή με σημαντική απόκλιση (κόκκινη καμπύλη), η οποία αντιστοιχεί στη περιοχή του κέντρου του χαμηλού, καθώς και η διάσπαση του αεροχειμάρρου.

Μετωπική ύφεση στις 12,13 και 14 Ιανουαρίου 2009.

α) β) γ)



δ) ε) στ)

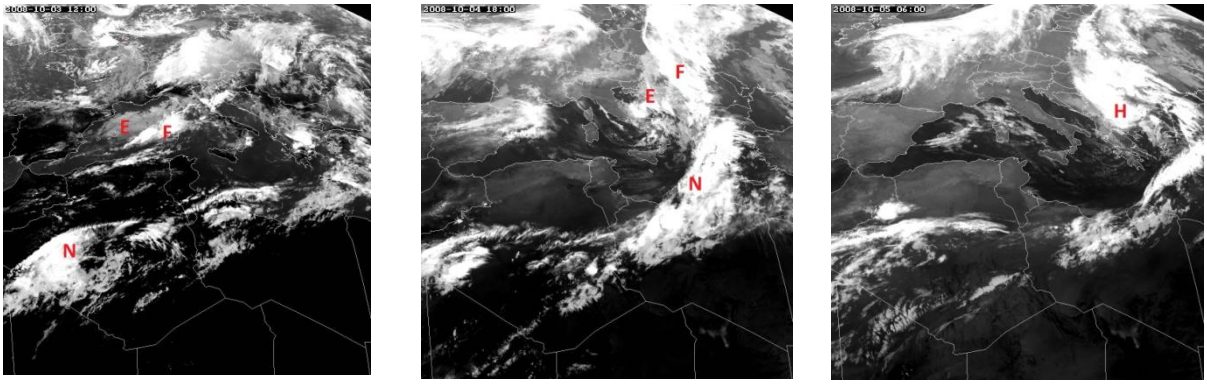


Εικόνα 4: α) Δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο 10.8, στις 12-1-2009/06:00 UTC, όπου εμφανίζονται οι νεφικές μάζες E, F και N. σε παράλληλη διάταξη μεταξύ τους, β) Δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο 10.8, στις 12-1-2009/12:00 UTC, όπου παρατηρείται διεύρυνση των νεφικών μαζών, αλλά και ταυτόχρονα σύγκλιση μεταξύ των, γ) Δορυφορική εικόνα στο υπέρυθρο 10.8, στις 13-1-2009/16:00 UTC, στην οποία διακρίνονται ο σχηματισμός κεφαλής του συστήματος καθώς και η περιοχή νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης (convection) (πορτοκαλί καμπύλη), δ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2), στις 12-1-2009/06:00 UTC, ε) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2), στις 12-1-2009/12:00 UTC και στ) Δορυφορική εικόνα στο κανάλι των υδρατμών (WV 6.2), στις 13-1-2009/16:00 UTC, στην οποία είναι εμφανής η διάσπαση του αεροχειμάρρου. Στην ίδια εικόνα εμφανίζονται δύο κέντρα στροβιλισμού (L_1 και L_2).

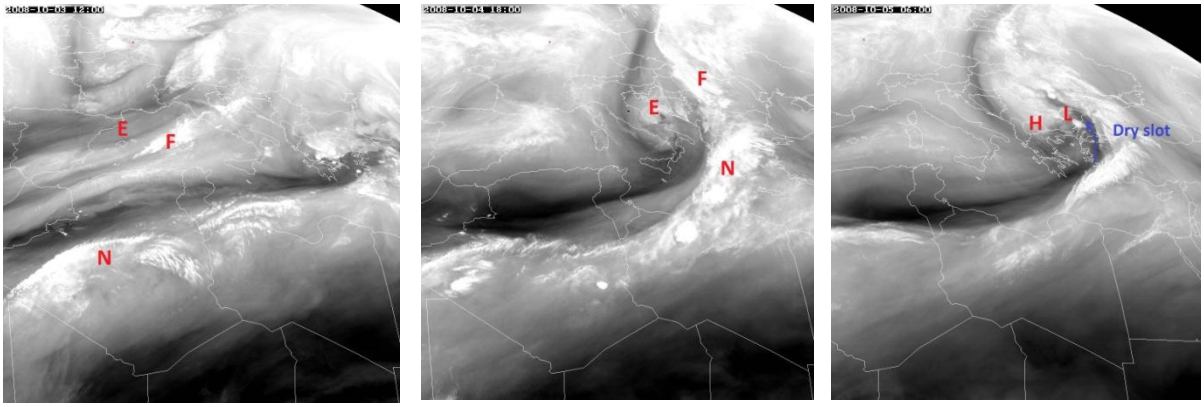
Μετωπική ύφεση στις 3,4 και 5 Οκτωβρίου 2008

3-10-2008/12:00 UTC 4-10-2008/18:00 UTC 5-10-2008/06:00 UTC

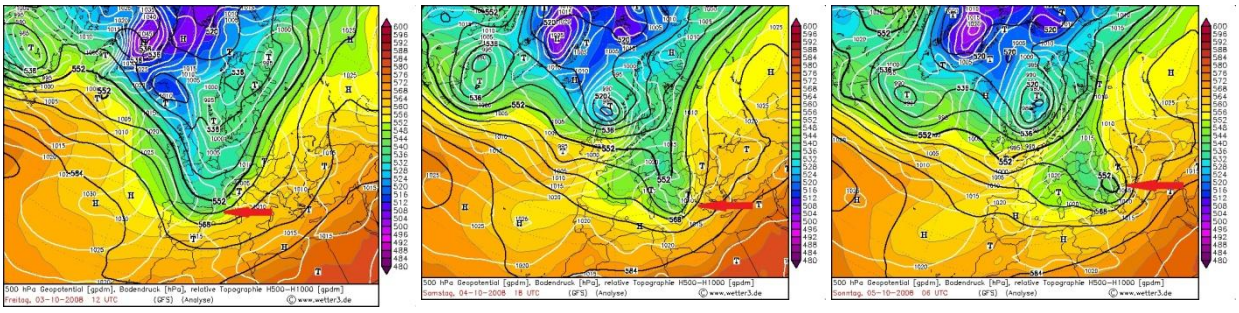
α)



β)



γ)

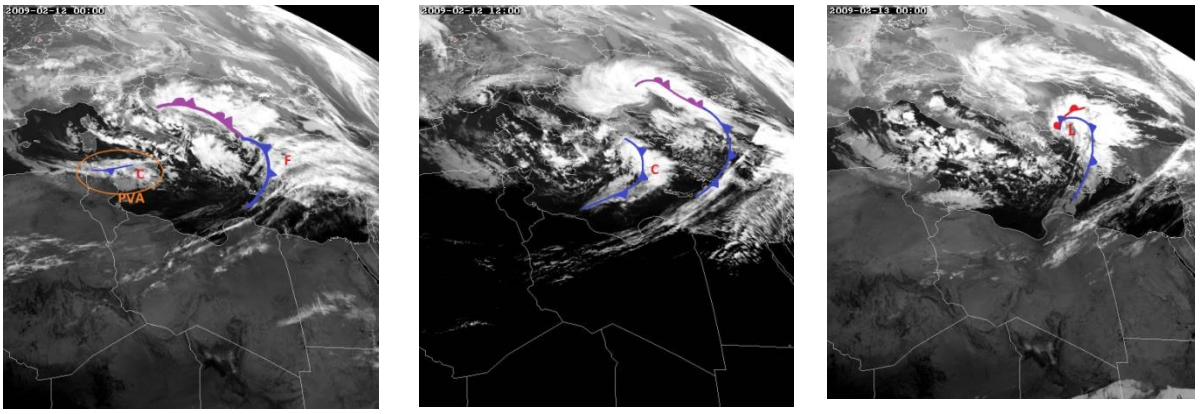


Εικόνα 5: Δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες σε τρία στάδια εξέλιξης της παραπάνω μετωπικής ύφεσης. α) Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου 10.8 IR, στις 3-10-2008/12:00 UTC, 4-10-2008/18:00 UTC και 5-10-2008/06:00 UTC αντίστοιχα, β) Οι αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών WV 6.2 και γ) οι αντίστοιχοι συνοπτικοί χάρτες των 500 hPa.

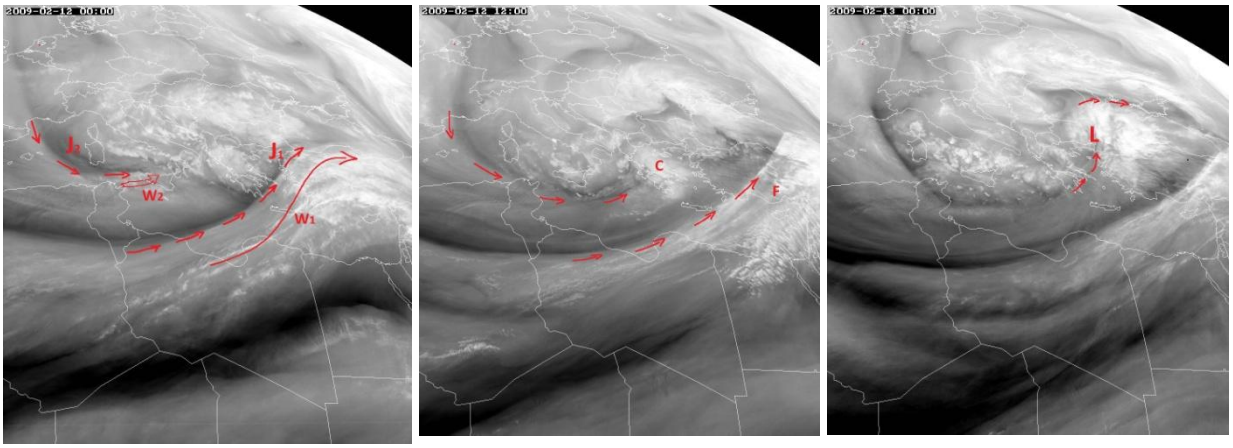
Μετωπική ύφεση στις 12 και 13 Φεβρουαριου 2009

12-2-2009/00:00 UTC 12-2-2009/12:00 UTC 13-2-2009/00:00 UTC

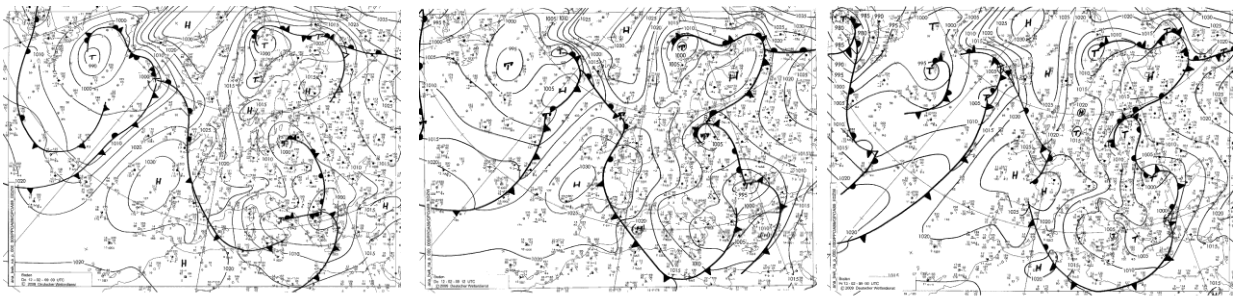
α)



β)



γ)



Εικόνα 6: Δορυφορικές εικόνες και συνοπτικοί χάρτες σε τρία στάδια εξέλιξης της παραπάνω μετωπικής ύφεσης. α) Δορυφορικές εικόνες στο κανάλι του υπερύθρου 10.8 IR, στις 12-2-2009/00:00 UTC, 12-2-2009/12:00 UTC και 13-2-2009/00:00 UTC αντίστοιχα, β) Οι αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες στο κανάλι των υδρατμών WV 6.2 και γ) οι αντίστοιχοι συνοπτικοί χάρτες επιφανείας.