



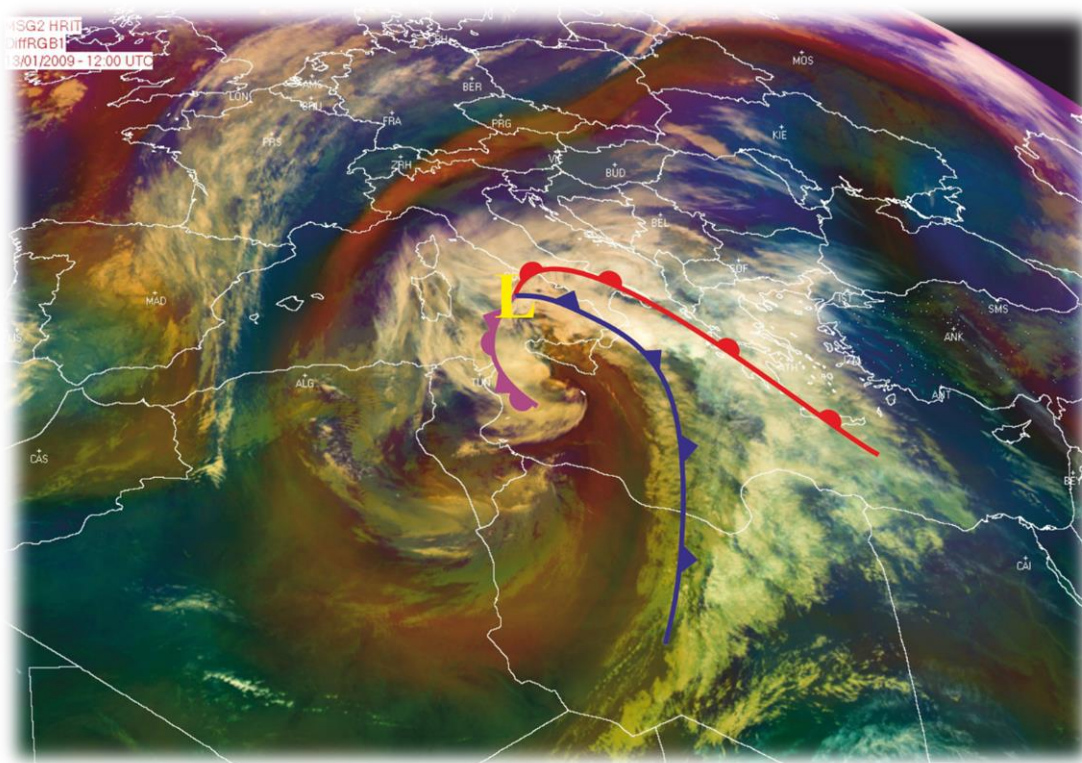
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Φοιτητής: **Δημήτριος Μητρόπουλος**
Επιβλέπων Καθηγητής: **Χαράλαμπος Φείδας**

ΑΕΜ:4453



Θεσσαλονίκη 2013

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Εργαστήριο Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΜΕ
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

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

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

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
I. Εισαγωγή	5
II. Θεωρητικό υπόβαθρο	6
II.α. Αναγνώριση και ανάλυση των νεφών	6
II.α.α. Βασική ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων	6
II.α.β. Ερμηνεία των εικόνων στο κανάλι του ορατού	7
II.α.γ. Ερμηνεία των εικόνων στο κανάλι του υπερύθρου	8
II.α.δ. Ερμηνεία των εικόνων στο κανάλι των υδρατμών	9
II.β. Βασικά χαρακτηριστικά των νεφών στις δορυφορικές εικόνες	11
III. Δεδομένα	14
III.α. Πηγές δεδομένων	14
1. Ύφεση	16
1.1 Ανάλυση Χαρτών	16
1.2 Ανάλυση Δορυφορικών Εικόνων	23
1.3 Συμπεράσματα	29
2. Αεροχείμαρρος	30
2.1 Ανάλυση Χαρτών	30
2.2 Ανάλυση Δορυφορικών Εικόνων	35
2.3 Συμπεράσματα	40
3. Ατμοσφαιρική Σκόνη	41
3.1 Ανάλυση Χαρτών	41
3.2 Ανάλυση Δορυφορικών Εικόνων	46
3.3 Συμπεράσματα	54
4. Ορογραφικά νέφη	55
4.1 Ανάλυση Χαρτών	55
4.2 Ανάλυση Δορυφορικών Εικόνων	59
4.3 Συμπεράσματα	66
5. Ψυχρό μέτωπο	67
5.1 Ανάλυση Χαρτών	69
5.2 Ανάλυση Δορυφορικών Εικόνων	74
5.3 Συμπεράσματα	81
Βιβλιογραφία	84

Περίληψη

Σε αυτή τη μελέτη καταβάλλεται μία προσπάθεια ανάλυσης και περιγραφής διαφόρων χαρακτηριστικών καιρικών συστημάτων που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή της Μεσογείου θάλασσας την περίοδο 2008-2012 και τη συσχέτιση αυτών με τη συνοπτική κατάσταση που επικρατεί. Τα στοιχεία της μελέτης αυτής συλλέγονται από τη σειρά γεωστατικών δορυφόρων Meteosat του ευρωπαϊκού οργανισμού Eumetsat και επεξεργάζονται από το λογισμικό MSGView σε διάφορα μήκη κύματος του ορατού και υπέρυθρου ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Επίσης, στη μελέτη παρουσιάζονται στοιχεία μικροφυσικής των νεφών και επιδράσεις των καιρικών φαινομένων στον άνθρωπο. Το κύριο μέρος της μελέτης περιλαμβάνει 5 περιπτώσεις καιρικών φαινομένων στη Μεσόγειο θάλασσα. Μία ύφεση στην κεντρική Μεσόγειο, ένας αεροχειμάρρος στη νότια Μεσόγειο, ένα ψυχρό μέτωπο στη βόρεια Ιταλία, και μία εισβολή σκόνης από τη Σαχάρα προς την Ελλάδα, Βουλγαρία και Τουρκία.

Η κάθε περίπτωση χωρίζεται σε 3 σκέλη:

1. Ανάλυση της συνοπτικής κατάστασης της περιοχής μελέτης με χάρτες επιφανείας, ισοβαρείς χάρτες των 850mb, 500mb και 200mb όπου απεικονίζονται, εκεί που χρειάζεται, η πίεση, η θερμοκρασία, η μεταφορά θερμότητας, ο δυνητικός στροβιλισμός, η θέση του αεροχειμάρρου, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, η ολική βροχόπτωση, ο δείκτης διαθέσιμης δυνητικής ενέργειας σύγκλισης (CAPE) και γραφήματα υετού, ανέμου, τεφιγράμματα κλπ.

2. Ανάλυση δορυφορικών εικόνων σε διάφορα κανάλια εκπομπής (ορατό, υπέρυθρο, κοντινό υπέρυθρο, υδρατμών) και συνδυασμό αυτών (RGB και DiffRGB εικόνες). Επίσης, χρησιμοποιούνται και εικόνες επικάλυψης (μάσκες) πάνω στις δορυφορικές εικόνες για προσδιορισμό επιπλέον χαρακτηριστικών των ατμοσφαιρικών συστημάτων πάνω στην ίδια εικόνα. Ακόμη, γίνεται ανάλυση κινούμενων εικόνων (animations) για την καλύτερη αντίληψη της κίνησης και τάσης προς μετακίνηση των φαινομένων.
3. Στο τελικό στάδιο αναφέρονται τα συμπεράσματα της ανάλυσης. Κυρίως δείχνεται η σύνδεση της κατάστασης που επικρατεί από τα δεδομένα των χαρτών και των πληροφοριών που απορρέουν από την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων. Ουσιαστικά στο 3^ο σκέλος της ανάλυσης πραγματοποιείται η σύνδεση και σύνοψη των σκελών 1 και 2.

Τέλος, έχει δημιουργηθεί μία βιβλιοθήκη πολυμέσων για την προβολή των βίντεο από τους αναγνώστες της έντυπης μορφής της διπλωματικής εργασίας στον ακόλουθο σύνδεσμο: <https://www.dropbox.com/sh/sfen7tz12fqkxb6/-OTY3MOJY9>.

I. Εισαγωγή

Η μελέτη της μετεωρολογίας με χρήση δορυφορικών εικόνων βασίζεται στην τηλεπισκόπηση (remote sensing), δηλαδή στη διαδικασία λήψης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο με τη χρήση ανιχνευτικών συσκευών που δε βρίσκονται σε επαφή με το αντικείμενο παρατήρησης (Φείδας και Καρτάλης, 2003). Η παρακολούθηση μέσω τηλεπισκόπησης αποτελεί μια σύγχρονη και μοντέρνα μέθοδο, με πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα. Καταρχήν καθίσταται δυνατή η κάλυψη πολύ μεγάλων εκτάσεων. Επίσης, το επίπεδο των πληροφοριών που καταγράφονται ποικίλει, ανάλογα με τις χωρικές και φασματικές ιδιότητες

του ανιχνευτή. Οι δυνατότητες χρήσης πολλών καναλιών αλλά και ενίσχυσης της αντίθεσης των τόνων μιας απεικόνισης ανάλογα με το στόχο, έχουν ως αποτέλεσμα τη μελέτη μιας ευρείας κλίμακας ιδιοτήτων, του ίδιου στόχου.

Οι δορυφορικές φωτογραφίες δίνουν πληροφορίες κυρίως για τα νέφη. Εκτός από την κατάλληλη επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων και εξαγωγή συμπερασμάτων για τα νέφη (φωτοερμηνεία), οι δορυφορικές εικόνες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την εκτίμηση διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση και οι άνεμοι καθ' ύψος.

II. Θεωρητικό υπόβαθρο

II.α. Αναγνώριση και ανάλυση των νεφών

Τα νέφη στις δορυφορικές εικόνες δίνουν σημαντικές πληροφορίες για τη δομή της ατμόσφαιρας. Αρκετά νεφικά συστήματα αναγνωρίζονται στις δορυφορικές εικόνες με βάση τον τύπο τους, τα χαρακτηριστικά των νεφών και κυρίως με βάση τη συμπεριφορά τους σε μία σειρά διαδοχικών εικόνων. Η αναγνώριση των νεφικών συστημάτων, συνήθως επιτυγχάνεται οπτικά με τη βοήθεια των μεθόδων της επεξεργασίας εικόνας. Στην περίπτωση αυτή όμως, η ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων και η απόκτηση των πληροφοριών που αυτές περιέχουν, εξαρτάται από τις γνώσεις, την πείρα και τις ικανότητες του αναλυτή. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί αυτοματοποιημένοι μέθοδοι προσδιορισμού των χαρακτηριστικών των νεφικών συστημάτων στις δορυφορικές εικόνες [1].

II.α.α. Βασική ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων

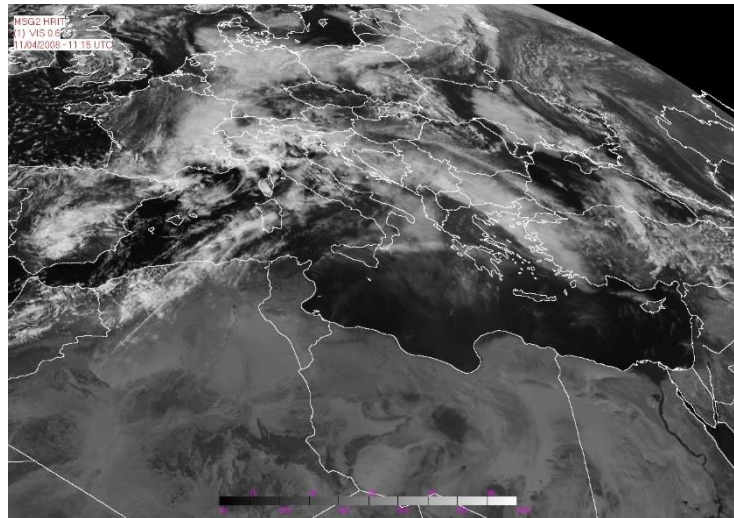
Γενικά, παρέχονται δορυφορικά δεδομένα 12 διαφορετικών φασματικών περιοχών. Κάθε φασματική περιοχή αντιστοιχεί σε ένα δορυφορικό κανάλι.

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στα κανάλια του ορατού (κανάλι 1 0.6μm), του υπεριώθρου (κανάλι 9 10.8μm) και των υδρατμών (κανάλι 5 και 6 στα 6.2μm και 7.3μm αντίστοιχα). Επίσης, γίνεται εκτενής χρήση του καναλιού υψηλής ανάλυσης του ορατού, HRVIS (High Resolution Visible). Σημαντικό στοιχείο της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη με βάση τη χρωματική σύνθεση καναλιών (RGB), με σκοπό τον εντοπισμό νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης, τη μελέτη στοιχείων μικροφυσικής των νεφών και την ανίχνευση σκόνης και ηφαιστειακής στάχτης. Επίσης, η χρωματική σύνθεση αποτελεί μέσω επιβεβαίωσης πληροφοριών που είναι δυνατό να προκύψουν από άλλα κανάλια. Κυρίως χρησιμοποιούνται οι συνδυασμοί «Καταιγίδες» (με συνδυασμό 5-6, 4-9, 3-1), «Αέριες Μάζες» (με συνδυασμό 5-6, 8-9, 5i) και «Ατμοσφαιρική Σκόνη ή Ηφαιστειακή Στάχτη» (με συνδυασμό 10-9, 9-7, 9). Τέλος, χρήσιμο εργαλείο αποτελεί η μελέτη μιας σειράς διαδοχικών εικόνων (animation-βίντεο), απ' όπου παρατηρείται η οριζόντια και κατακόρυφη κίνηση των νεφών.

II.α.β. Ερμηνεία των εικόνων στο κανάλι του ορατού

Οι εικόνες στο κανάλι του ορατού (VIS) (Εικόνα I.1) καταγράφουν την ακτινοβολία με μήκη κύματος από 0.38 έως 0.72μm, η οποία ανακλάται τόσο από τις κορυφές των νεφών όσο και από την επιφάνεια της γης και σκεδάζεται από την ατμόσφαιρα. Η λαμπρότητα στις VIS εικόνες μπορεί να θεωρηθεί, κατά προσέγγιση, ότι εκφράζει τη λευκάγεια της γης. Περιοχές με μεγάλη λευκάγεια εμφανίζονται με ανοικτές αποχρώσεις του γκρι στην εικόνα, ενώ οι περιοχές με μικρή λευκάγεια εμφανίζονται με σκούρες αποχρώσεις. Η λαμπρότητα ενός νέφους στην εικόνα επηρεάζεται τόσο από την ανακλαστικότητα του, όσο και από την γωνιακή θέση του νέφους σε σχέση με το δορυφόρο και τον Ήλιο. Η ανακλαστικότητα με τη σειρά της εξαρτάται από το πάχος του νέφους, το περιεχόμενο του νέφους σε νερό και τη σύσταση του νέφους (υδροσταγόνες ή παγοκρύσταλλοι) (Rao et.al., 1990). Συγκεκριμένα, νέφη που έχουν μεγάλο πάχος, μεγάλες ποσότητες

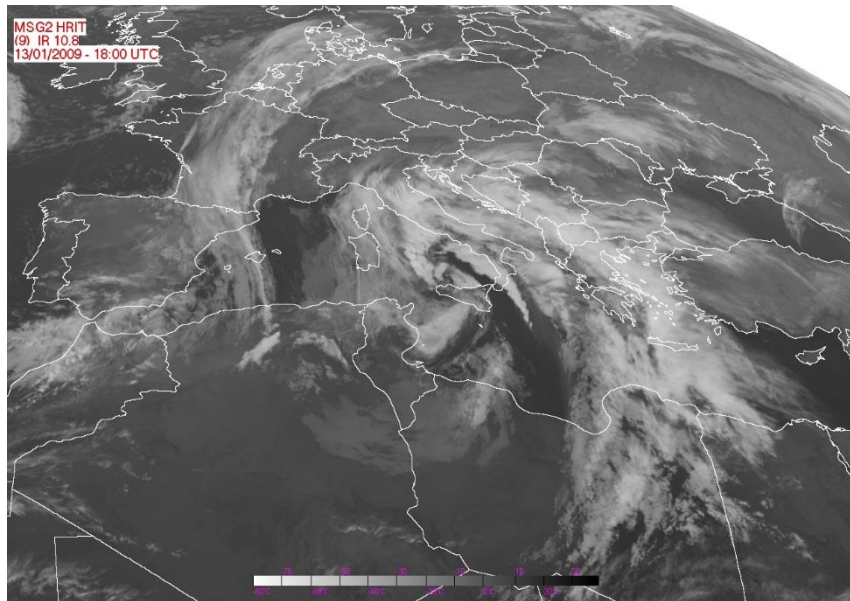
νερού ή πάγου και μικρό ή μεσαίο μέγεθος υδροσταγονιδίων έχουν μεγάλη ανακλαστικότητα και αντιστροφή.



Εικόνα I.1. Δορυφορική εικόνα (Ορατό 0.6μm)

II.α.γ. Ερμηνεία των εικόνων στο κανάλι του υπέρυθρου

Οι αισθητήρες στο κανάλι του υπέρυθρου καταγράφουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει η επιφάνεια της γης, τα νέφη και η ατμόσφαιρα. Το ποσό της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας σύμφωνα με το νόμο των Stefan-Boltzmann $F_M = \epsilon_{\text{ολ}} \sigma T^4$ εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τον ολικό συντελεστή εκπομπής $\epsilon_{\text{ολ}}$ της πηγής. Οι εικόνες στο κανάλι του υπέρυθρου (IR), κυρίως των μετεωρολογικών δορυφόρων, εμφανίζουν με ανοικτές αποχρώσεις τις ψυχρές περιοχές και με σκούρες αποχρώσεις τις θερμές (Εικόνα I.2). Η σύμβαση αυτή επιτρέπει την εύκολη σύγκριση των VIS και IR εικόνων. Η επιφάνεια της γης και η ατμόσφαιρα ακτινοβολούν με μία ισοδύναμη θερμοκρασία μέλανος σώματος ίση με 250 K, ενώ η μέγιστη ενέργεια της ακτινοβολίας εκπέμπεται περίπου στα 10μm. Σε αυτό το μήκος κύματος η επιφάνεια της γης και τα πυκνά νέφη με μεγάλο πάχος θεωρούνται μέλανα σώματα ($\epsilon_{\text{ολ}} \approx 1$) και κατά συνέπεια οι τιμές της ακτινοβολίας μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε θερμοκρασία λαμπρότητας με βάση τον νόμο των Stefan-Boltzmann.

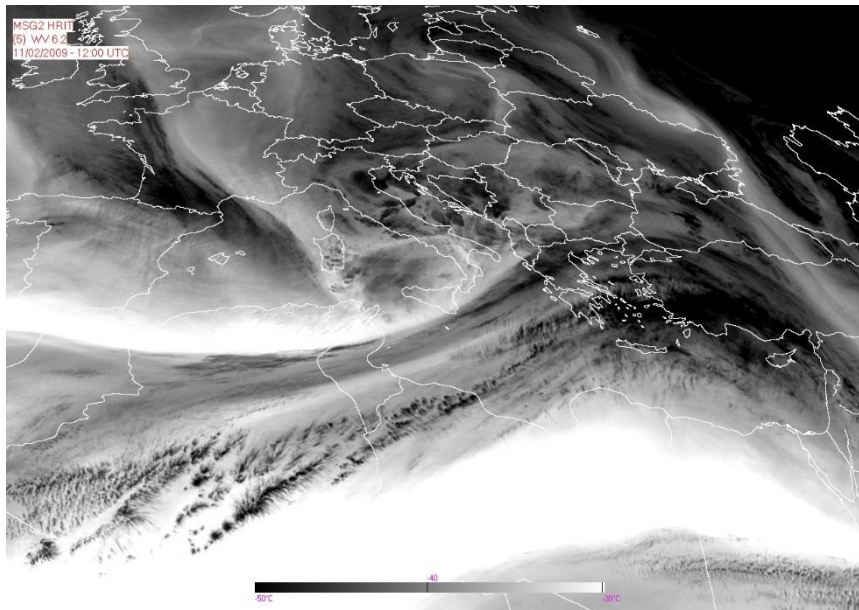


Εικόνα Ι.2. Δορυφορική εικόνα (Υπέρυθρο 10.8μm)

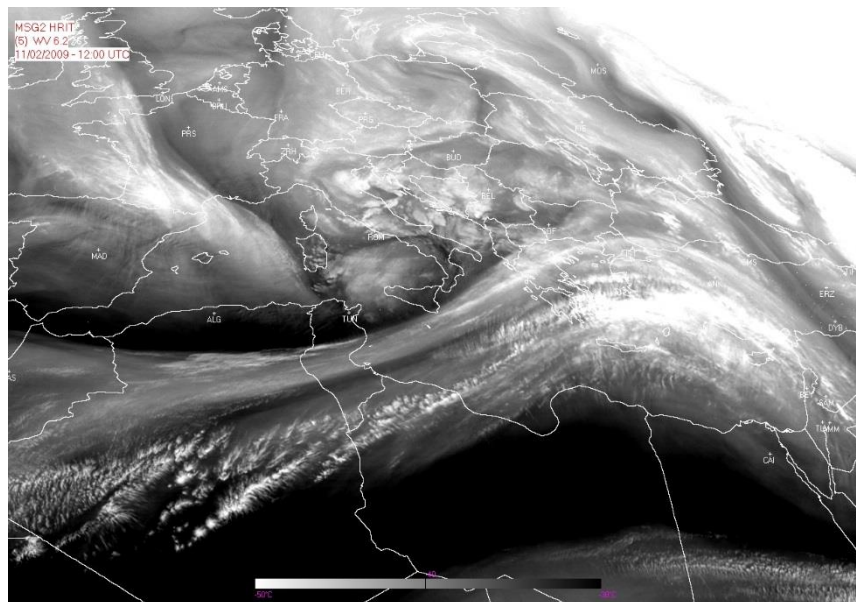
ΙΙ.α.δ. Ερμηνεία των εικόνων στο κανάλι των υδρατμών

Στις εικόνες του καναλιού των υδρατμών καταγράφεται στο δορυφορικό αισθητήρα ακτινοβολία με μήκος κύματος 5.7-7.1μm, περιοχή όπου απορροφούν έντονα οι υδρατμοί και κατά συνέπεια ακτινοβολούν έντονα (Φείδας και Καρτάλης, 2003). Η ακτινοβολία αυτή εξαρτάται από το ολικό ποσό των υδρατμών της στήλης της ατμόσφαιρας και από την κατακόρυφη κατανομή της. Συγκεκριμένα, όταν ο αέρας στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα είναι σχετικά ξηρός, τότε δεν απορροφά εξ' ολοκλήρου την ακτινοβολία των «θερμών υδρατμών» της κατώτερης ατμόσφαιρας και ο δορυφορικός αισθητήρας καταγράφει ακτινοβολία υψηλής σχετικά θερμοκρασίας (ανοιχτοί τόνοι του γκρι). Για παράδειγμα, στην εικόνα Ι.3.α., η περιοχή χαμηλής υγρασίας στη Λιβύη εμφανίζεται λευκή. Θεωρώντας όμως, ότι ισχύει η ίδια παραδοχή με τις εικόνες στο κανάλι του θερμικού υπέρυθρου (αντιστροφή), υψηλή θερμοκρασία αντιστοιχεί σε σκούρους τόνους του γκρι και αντιστρόφως. Άρα στην περίπτωση της ξηρής μέσης και ανώτερης τροπόσφαιρας, στην εικόνα θα επικρατούν σκούροι τόνοι του γκρι. Αντίθετα στην περίπτωση της υγρής μέσης και ανώτερης

τροπόσφαιρας ο δορυφορικός αισθητήρας θα καταγράφει την ακτινοβολία που εκπέμπουν τα ανώτερα και επομένως ψυχρότερα στρώματα, με αποτέλεσμα στη δορυφορική εικόνα να επικρατούν ανοιχτοί τόνοι του γκρι. Τέλος, οι περιοχές εμφάνισης του αεροχειμάρρου εμφανίζονται ως στενές, επιμήκεις και σκούρες περιοχές, επειδή οι ισχυροί άνεμοι μειώνουν αισθητά την υγρασία στην ανώτερη τροπόσφαιρα (Εικόνα I.3.β.).



Εικόνα I.3.α. Δορυφορική εικόνα (Απορρόφησης υδρατμών 6.2μm)



Εικόνα I.3.β. Δορυφορική εικόνα (Απορρόφησης υδρατμών 6.2μm)
Ανεστραμμένη εικόνα.

II.β. Βασικά χαρακτηριστικά των νεφών στις δορυφορικές εικόνες

Νέφη [2]	Χαρακτηριστικό σχήμα ή δομή	Ορατό	Υπέρυθρο
Cumulus (Cu)	Συναντώνται οργανωμένα ή μεμονωμένα σε ανοιχτές κυψέλες	Λευκά ή ανοιχτά γκρι με όχι ομοιόμορφη εμφάνιση. Τα πιο ανεπτυγμένα είναι πιο λευκά.	Παρουσιάζουν ανομοιομορφία στους τόνους του γκρι που μπορεί να είναι από πολύ ανοιχτό γκρι ως ελαφρά σκούρο, ανάλογα με το βαθμό ανάπτυξής τους.
Tower Cumulus (TCu)	Ακανόνιστης μορφής στοιχεία ή σύνολα στοιχείων. Συνήθως οργανώνονται σε γραμμές ή σε ανοιχτές κυψελοειδής μορφές	Λευκά	Λευκά. Ο βαθμός φωτεινότητας τους εξαρτάται από το ύψος τους.
Cumulonimbus (Cb)	Σφαιρική, τριγωνική ή μορφή καρότου εξαρτώμενη από την κατακόρυφη κατανομή του ανέμου. Στην κατεύθυνση του ανέμου έχει μη διακριτά όρια ενώ στην αντίθετη τα όρια είναι πολύ διακριτά.	Λαμπερά λευκά. Αφήνουν σκιά στα κατώτερα νέφη ή στην επιφάνεια.	Είναι λαμπερά λευκά και εμφανίζονται είτε μεμονωμένα είτε κατά ομάδες. Τα μεμονωμένα με άκμωνα έχουν μεγαλύτερη επιφάνεια από την αντίστοιχη εικόνα τους στο ορατό.

Πίνακας I.1 Χαρακτηριστικά των νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης στο ορατό και υπέρυθρο κανάλι του Meteosat (Φείδας και Καρτάλης, 2003).

Νέφη	Χαρακτηριστικό σχήμα ή δομή	Ορατό	Υπέρυθρο
Stratus (St)	Ομαλές κορυφές. Απότομα όρια καθοριζόμενα από την τοπογραφία.	Ομοιόμορφη και συνεχής γκρι περιοχή με αρκετά σαφή όρια. Όταν είναι λεπτά αντιστοιχούν σε μη ομοιόμορφο τόνο του γκρι.	Σκούρα γκρι απόχρωση, που είναι σχεδόν όμοια, μέχρι λίγο πιο ανοιχτό από αυτό της γύρω (ακάλυπτης από St) περιοχής. Το βράδυ όμως είναι δυνατό να εμφανίζονται πιο σκοτεινά σε σχέση με τη γύρω περιοχή. Δύσκολη η ανίχνευσή τους πάνω από τη θάλασσα την ημέρα σε σχέση με την ξηρά όπου οι θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες.
Stratocumulus (Sc)	Το μέγεθός τους κυμαίνεται ανάλογα με το ύψος της αναστροφής. Η κατακόρυφη ανάπτυξη τους περιορίζεται από αναστροφή με αποτέλεσμα να εκτείνονται σε πλάτος και να αποκτούν στρωματόμορφα χαρακτηριστικά.	Λευκά ή ανοιχτά γκρι με όχι τόσο ομοιόμορφη εμφάνιση. Είτε σε κλειστές κυψέλες είτε μεμονωμένα, εμφανίζονται λευκότερα στο κέντρο τους. Αν το μέγεθος των κυψελών είναι μικρότερο από τη διακριτική ικανότητα του αισθητήρα, εμφανίζονται ομαλά και διάχυτα.	Σκούρα γκρι, όμως πιο ανοιχτά από την ομίχλη και τα St, παρουσιάζουν όψη ομοιόμορφου συνεχούς στρώματος, που είναι πιο ανοιχτό από τη γύρω περιοχή. Κυψελοειδής μορφή μη διακριτή. Πολύ δύσκολα διακρίνονται όταν οι κορυφές τους βρίσκονται χαμηλά.

Πίνακας Ι.2. Χαρακτηριστικά των χαμηλών νεφών στο ορατό και υπέρυθρο κανάλι του Meteosat (Φείδας και Καρτάλης, 2003).

Νέφη	Χαρακτηριστικό σχήμα ή δομή	Ορατό	Υπέρυθρο
Alto cumulus (Ac)	Εμφανίζονται ανομοιόμορφα ή ραβδωτά, ανάλογα με το πάχος του στρώματος. Η κυψελοειδής δομή των Ac είναι πολύ μικρή για να διακριθούν από τα As.	Παρουσιάζουν ενδιάμεσους τόνους του γκρι. Διακρίνονται πολύ δύσκολα γιατί καλύπτονται συνήθως από ανώτερα νέφη. Απουσίας όμως CiF νεφών ή σε ανέφελο ουρανό έχουν σχεδόν λευκή, ανομοιόμορφη εμφάνιση. Με ανέφελο ουρανό είναι δυνατό να διακριθούν τα ορογραφικά Ac.	Ομοιόμορφοι μέσοι τόνοι του γκρι ανάλογα με το ύψος τους. Αναγνωρίζονται πολύ δύσκολα, γιατί βρίσκονται συνήθως κάτω από Cirriform (CiF) νέφη.
Altostratus (As)	Ομαλές κορυφές με ξεφτισμένες ομαλές άκρες συχνά σε στρώματα.	Ελαφρύ γκρι. Διακρίνονται πολύ δύσκολα γιατί καλύπτονται συνήθως από ανώτερα νέφη. Απουσίας όμως CiF νεφών ή σε ανέφελο ουρανό, έχουν σχεδόν λευκή, ομοιόμορφη εμφάνιση.	Ομοιόμορφοι μέσοι τόνοι του γκρι ανάλογα με το ύψος τους. Αναγνωρίζονται πολύ δύσκολα, γιατί βρίσκονται συνήθως κάτω από Cirriform (CiF) νέφη. Μπορεί να εμφανίζονται σκοτεινότερα από τη γύρω χιονοσκεπή περιοχή στις πολικές περιοχές.

Πίνακας Ι.3. Χαρακτηριστικά των μεσαίων νεφών στο ορατό και υπέρυθρο κανάλι του Meteosat (Φείδας και Καρτάλης, 2003).

Νέφη	Χαρακτηριστικό σχήμα ή δομή	Ορατό	Υπέρυθρο
Cirrus (Ci)	Ζωνική ινώδης δομή, μήκους 50-100km.	Σκοτεινοί τόνοι του γκρι μέχρι γκρι ανάλογα με την υποκείμενη επιφάνεια.	Ανοιχτοί τόνοι του γκρι. Η ινώδης μορφή δεν είναι διακριτή όπως στο ορατό.
Cirrostratus (Cs)	Ομαλές και ομοιόμορφες κορυφές. Μερικές φορές έχουν ινώδη εμφάνιση.	Εμφανίζονται με ανοιχτό γκρι όταν είναι σχετικά λεπτά και λευκότερα καθώς αυξάνει το πάχος τους.	Κυμαίνεται από λευκό ως γκρι. Δύσκολο να διακριθούν από τα μεσαία νέφη.

Πίνακας I.4. Χαρακτηριστικά των υψηλών νεφών στο ορατό και υπέρυθρο κανάλι του Meteosat (Φείδας και Καρτάλης, 2003).

III. Δεδομένα

III.a. Πηγές δεδομένων

Δορυφορικά δεδομένα

Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιούνται στη μελέτη αυτή προέρχονται από το μετεωρολογικό δορυφόρο Meteosat (Meteorological Satellite) 9, ο οποίος λειτουργεί υπό την αιγίδα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EUMETSAT). Πηγή των δεδομένων είναι το αρχείο του δορυφορικού σταθμού λήψης του Μετεωροσκοπείου του ΑΠΘ και τη βάση δεδομένων της ιστοσελίδας της EUMETSAT. Πρόκειται για γεωστάσιμο δορυφόρο δεύτερης γενιάς (Meteosat Second Generation, MSG). Κύριο χαρακτηριστικό των γεωστάσιμων δορυφόρων είναι ότι έχουν την ίδια περίοδο περιστροφής με τη Γη, 24 ώρες, και κινούνται σε σταθερή απόσταση από τη Γη. Με τον τρόπο αυτό ο δορυφόρος βρίσκεται στάσιμος πάνω από μια συγκεκριμένη περιοχή της Γης. Ο συγκεκριμένος δορυφόρος βρίσκεται σε απόσταση 35786 km από την επιφάνεια της Γης. Το βασικό όργανο ενός μετεωρολογικού δορυφόρου είναι το ραδιόμετρο. Σε αυτό φτάνει η ενέργεια που εκπέμπεται από τη Γη και την ατμόσφαιρα προς το διάστημα. Χωρική διακριτική ικανότητα ενός δορυφόρου είναι η ικανότητα

του ανιχνευτή να διακρίνει δυο αντικείμενα που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και ποσοτικά ισούνται με τη μικρότερη απόσταση που μπορούν να έχουν, ώστε οι διαστάσεις τους να διακρίνονται χωριστά και καθαρά. Επίσης, ορίζεται ως το ελάχιστο μέγεθος ενός αντικειμένου ώστε αυτό να μπορεί να ανιχνευθεί (Φείδας και Καρτάλης, 2003). Η χωρική διακριτική ικανότητα του δορυφόρου MSG2 ή (METEOSAT 9) είναι 3 km και η χρονική διακριτική ικανότητα (σχετίζεται με τη συχνότητα λήψης εικόνων για την ίδια περιοχή), 15 min. Στο ορατό κανάλι υψηλής ανάλυσης, HRVIS (High Resolution Visible), η χωρική διακριτική ικανότητα είναι 1 km. Ο αισθητήρας του δορυφόρου καταγράφει ακτινοβολία προερχόμενη από την ατμόσφαιρα αλλά και την επιφάνεια της Γης. Με χρήση ειδικών φίλτρων, σε ορισμένες περιοχές του φάσματος αναλύεται η ενέργεια που φτάνει στο ραδιόμετρο, σε ενέργεια οφειλόμενη σε αντίστοιχες περιοχές του φάσματος. Η ενέργεια κάθε περιοχής μετατρέπεται σε ηλεκτρικό ρεύμα, η ένταση του οποίου είναι ανάλογη με την ενέργεια που δέχθηκε το ραδιόμετρο. Με διάφορες τεχνικές, η ενέργεια αυτή ψηφιοποιείται και εκπέμπεται για λήψη από τους σταθμούς λήψης. Αναλυτικά, οι περιοχές του φάσματος που χρησιμοποιούνται στη δορυφορική μετεωρολογία παρατίθενται στον πίνακα I.5.

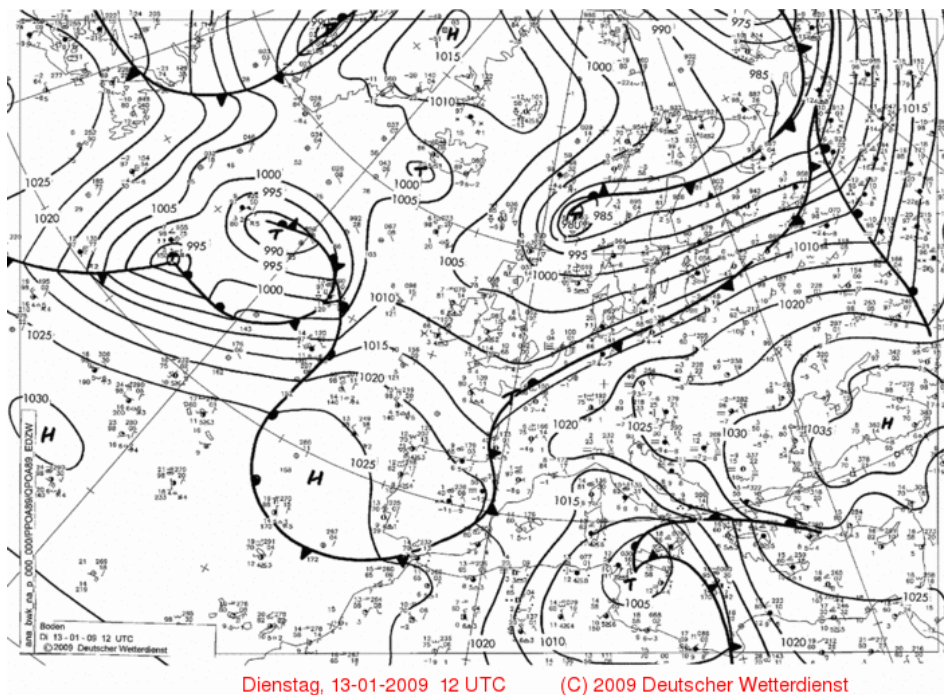
Κανάλι	Εύρος μm	Ενεργό μm	Φασματική περιοχή
1	0.56-0.71	0.6	Ορατό (Κόκκινο)
2	0.71-0.95	0.8	Εγγύς υπέρυθρο
3	1.44-1.79	1.6	Μέσο υπέρυθρο
4	3.40-4.20	3.9	Θερμικό υπέρυθρο
5	5.35-7.15	6.2	Υδρατμών
6	6.85-7.85	7.3	Υδρατμών
7	8.30-9.10	8.7	Θερμικό υπέρυθρο
8	9.46-9.94	9.7	Θερμικό υπέρυθρο (O_3)
9	9.80-11.80	10.8	Θερμικό υπέρυθρο
10	11.0-13.0	12	Θερμικό υπέρυθρο
11	13.04-13.76	13.4	Θερμικό υπέρυθρο (CO_2)
12	0.50-0.90	0.7	Υψηλής ανάλυσης ορατό

Πίνακας I.5. Εύρος μηκών κύματος, ενεργό μήκος κύματος (μm) και αντίστοιχη φασματική περιοχή των καναλιών του δορυφορικού αισθητήρα του Meteosat 9.

1. Ύφεση

1.1 Ανάλυση Χαρτών

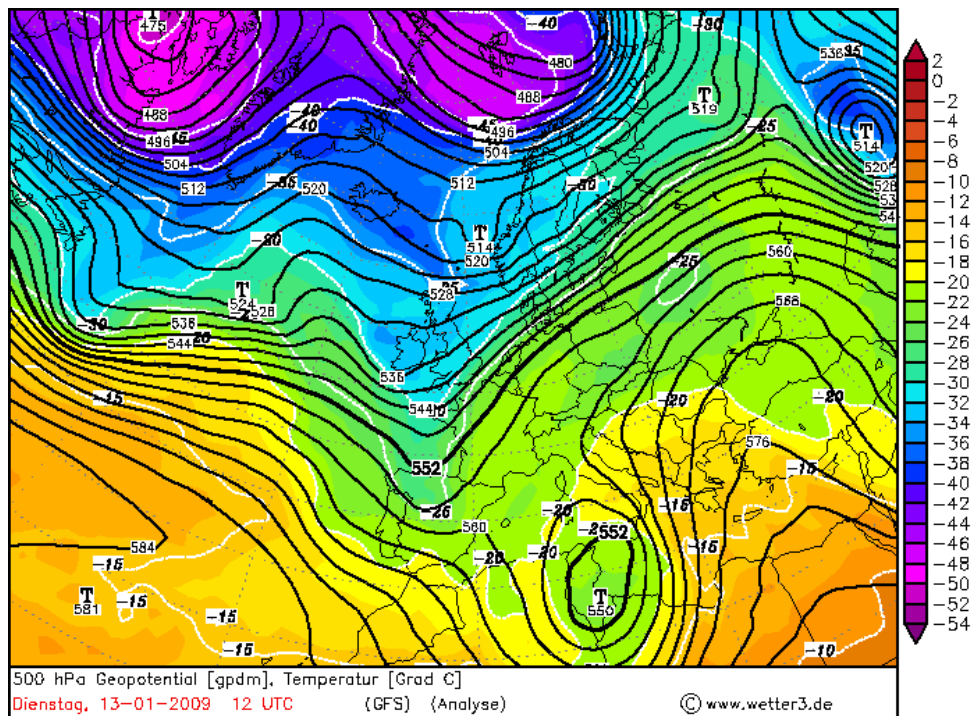
Στις 13 Ιανουαρίου του 2009 στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου παρατηρείται μία ατμοσφαιρική ύφεση που επηρεάζει κυρίως τη νότια Ιταλία, Σικελία, τα Επτάνησα και τη δυτική Ελλάδα.



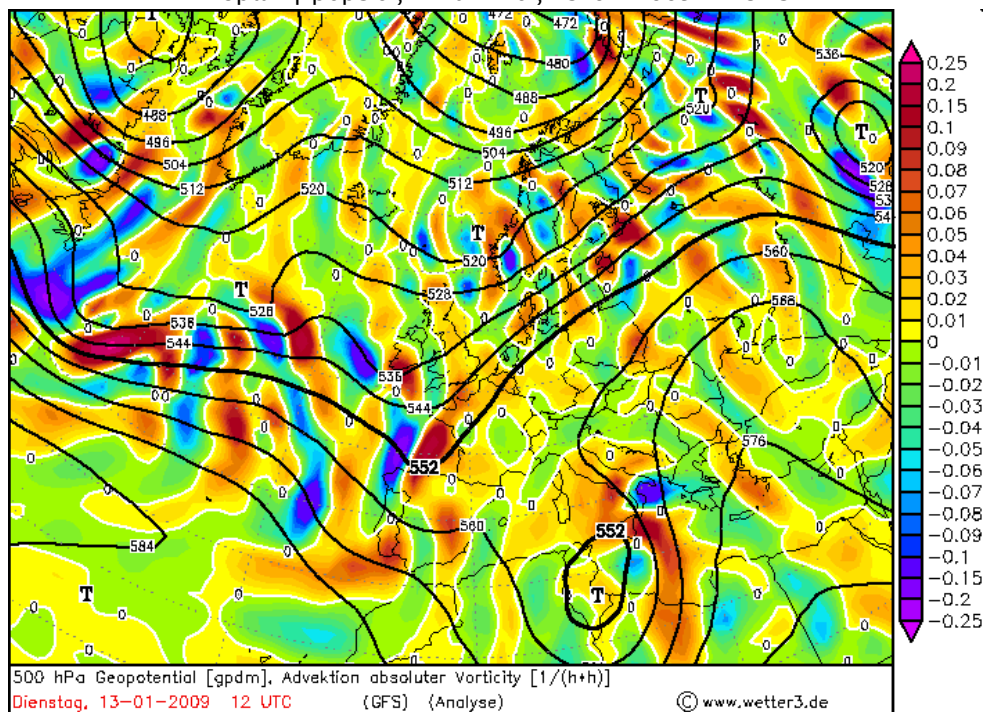
Χάρτης 1.1. Συνοπτικός χάρτης επιφανείας.
Ευρώπη - βόρειος Ατλαντικός 13-01-2009 12 UTC.

Ο συνοπτικός χάρτης επιφανείας (Χάρτης 1.1), δείχνει ένα καλά αναπτυγμένο χαμηλό βαρομετρικό που έχει κέντρο στα νοτιοδυτικά της Σικελίας. Το ψυχρό μέτωπο της ύφεσης εκτείνεται νοτιοανατολικά του κέντρου της ύφεσης και πάνω από τις ακτές της Αφρικής αποκτά διεύθυνση βορρά-νότου. Το θερμό μέτωπο της ύφεσης εκτείνεται ανατολικά μέχρι τα

νότια παράλια της Μικράς Ασίας. Η ελάχιστη ατμοσφαιρική πίεση της ύφεσης φαίνεται πως είναι γύρω στα 1002 hPa. Οι πυκνές ισοβαρείς στο Ιόνιο, δείχνουν μία σχετικά μεγάλη ένταση ανέμων νοτιοανατολικής κατεύθυνσης.

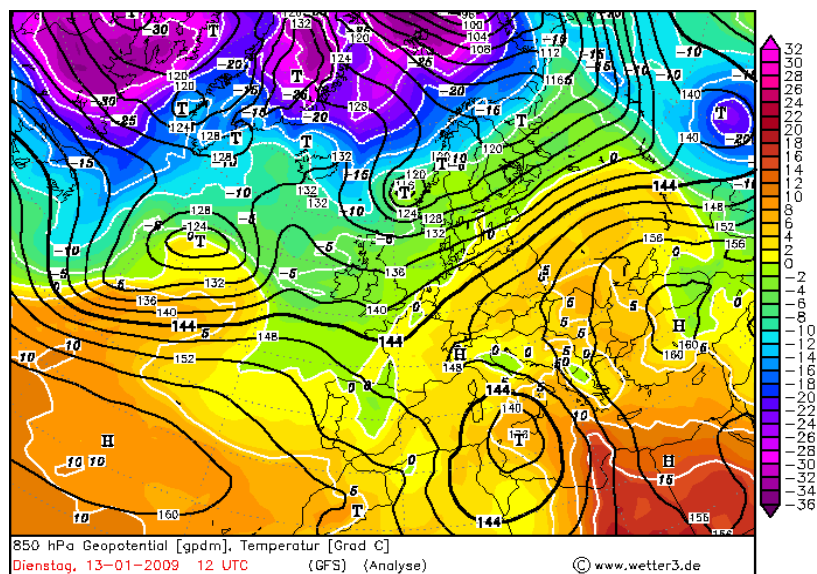


Χάρτης 1.2. Χάρτης θερμοκρασίας στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 13-01-2009 12 UTC

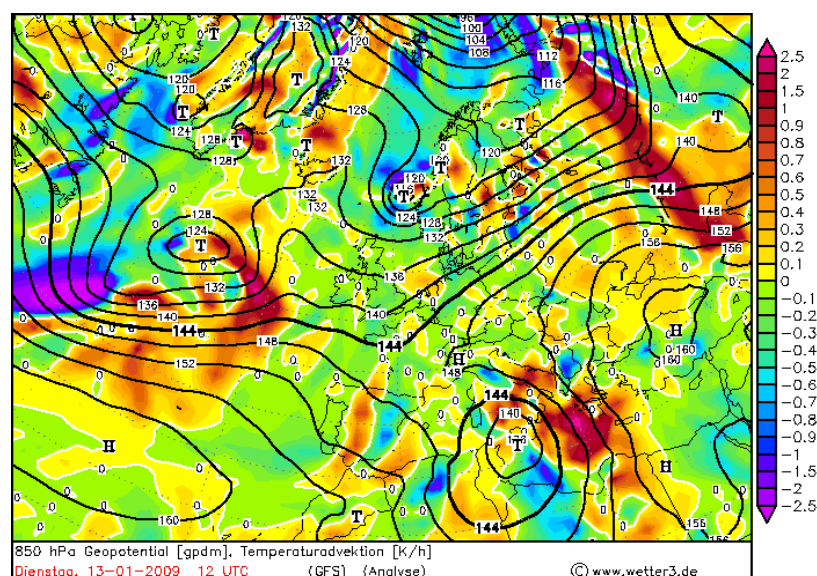


Χάρτης 1.3. Χάρτης οριζόντιας μεταφοράς στροβιλισμού στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 13-01-2009 12 UTC

Στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 hPa (Χάρτης 1.2 και 1.3), παρατηρείται μία ψυχρή λίμνη (cut-off low) που φαίνεται πως αρχίζει να αποκόπτεται. Επίσης, η ροή της κυκλοφορίας είναι μεσημβρινή καθώς ένας βαθύς αυλώνας κατεβαίνει νότια μέχρι τη Σαχάρα. Η ροή πάνω από το Ιόνιο πέλαγος είναι ισχυρή από νότια κατεύθυνση. Πρέπει να επισημανθεί ότι υπάρχει μία απόκλιση των αερίων μαζών πάνω από τη κεντρική Μεσόγειο όπου μας υποδεικνύει ότι στην επιφάνεια θα υπάρχει σύγκλιση και ανοδικές κινήσεις. Επίσης, βλέπουμε ότι η ύφεση στον αυλώνα δεν είναι ακριβώς πάνω από το χαμηλό της επιφάνειας, αλλά νοτιοδυτικότερα.

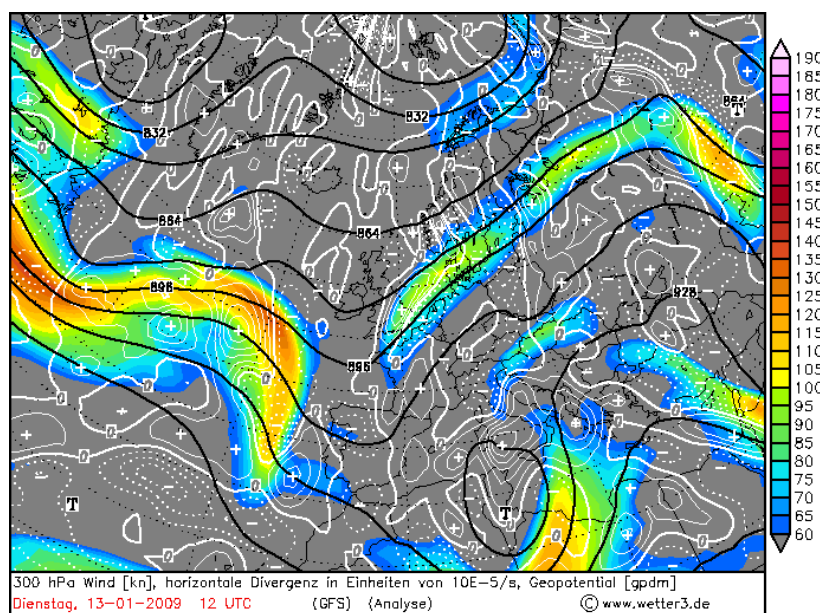


Χάρτης 1.4. Χάρτης Θερμοκρασίας στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 850 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 13-01-2009 12 UTC



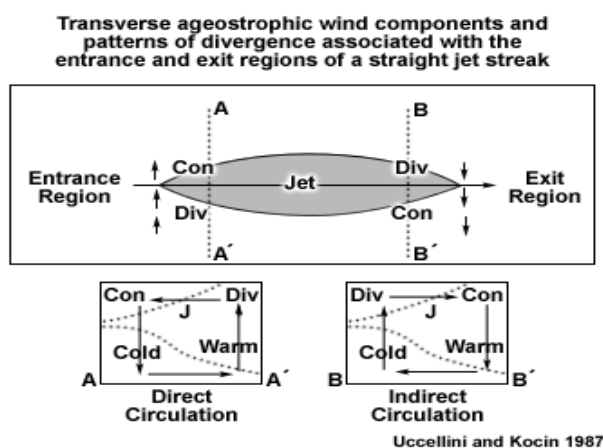
Χάρτης 1.5. Χάρτης Οριζόντιας μεταφοράς θερμότητας στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 850 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 13-01-2009 12 UTC

Στην ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa υπάρχει μία εισβολή θερμής αέρας μάζας κατά μήκος του ψυχρού μετώπου και εκτείνεται σε σχεδόν όλο το θερμό τομέα της ύφεσης (Χάρτης 1.5). Η θερμότητα που μεταφέρεται από τη βορειοανατολική Αφρική προς τα βορειοδυτικά, όπως φαίνεται στους χάρτες 1.4 και 1.5, πιθανόν να τροφοδοτεί σε ενέργεια την ύφεση, καθώς η οριζόντια μεταφορά θερμότητας είναι θετική.



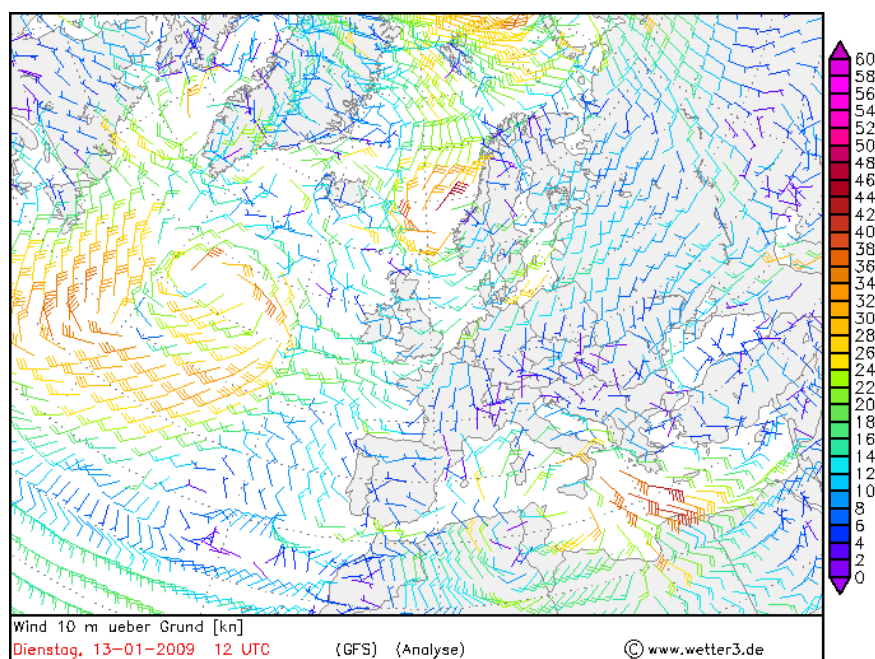
Χάρτης 1.6. Χάρτης ανέμων και απόκλισης αερίων μαζών στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 300 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 13-01-2009 12 UTC

Στην ισοβαρική επιφάνεια των 300 hPa στην κεντρική Μεσόγειο φαίνεται και εκεί ότι υπάρχει απόκλιση αερίων μαζών από το εμπρόσθιο-αριστερό άκρο του υποτροπικού αεροχειμάρρου [3] όπως φαίνεται στον συνημμένο χάρτη 1.6, και συνεπώς παρατηρείται σύγκλιση και ανοδικές κινήσεις στην επιφάνεια (σχήμα 1.1).



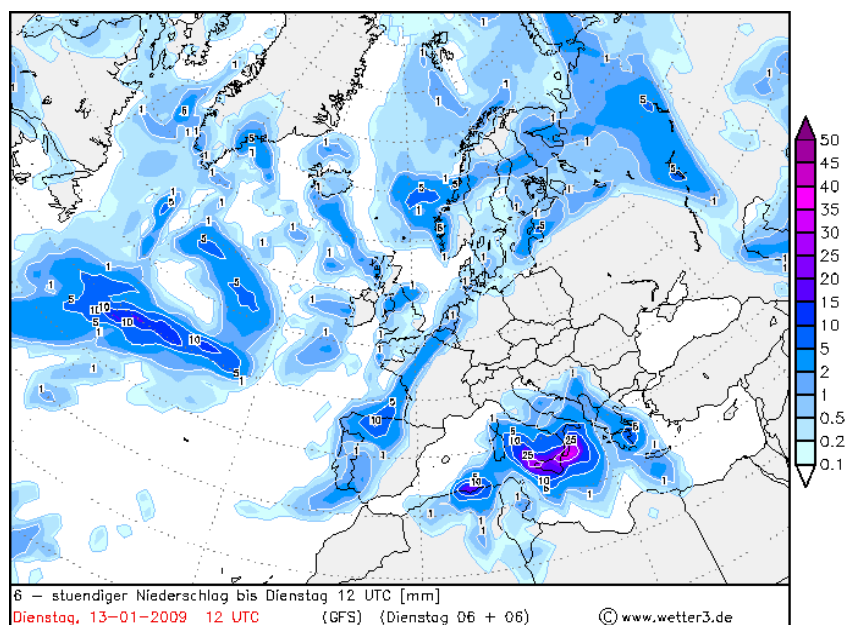
Σχήμα 1.1. Σύγκλισεις και αποκλίσεις αέρας μάζας στην είσοδο και έξοδο ενός αεροχειμάρρου. Επάνω εικόνα: Κάτοψη του αεροχειμάρρου.

Κάτω εικόνες: Κατακόρυφες τομές AA' και BB' του αεροχειμάρρου.



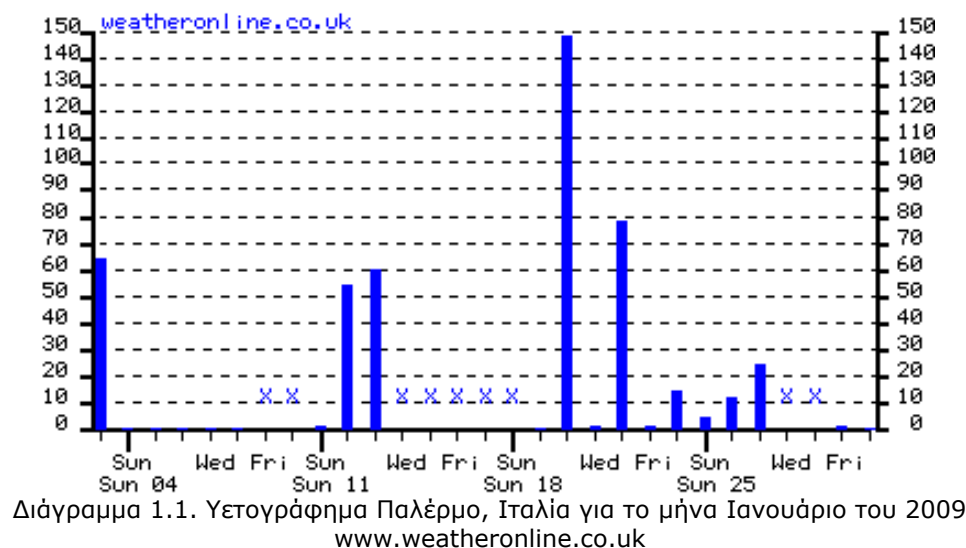
Χάρτης 1.7. Χάρτης έντασης και κατεύθυνσης ανέμων στο ύψος των 10 μέτρων.
Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός.
13-01-2009 12 UTC

Ο χάρτης ανέμων (Χάρτης 1.7) στα 10m μας δείχνει ότι πνέουν ισχυροί νοτιοανατολικοί άνεμοι νοτιοδυτικά και δυτικά της Κρήτης. Η έντασή τους φτάνει μέχρι και τους 45 κόμβους. Επίσης, βρίσκονται στην περιοχή του ψυχρού μετώπου οι μεγαλύτερες ταχύτητες.

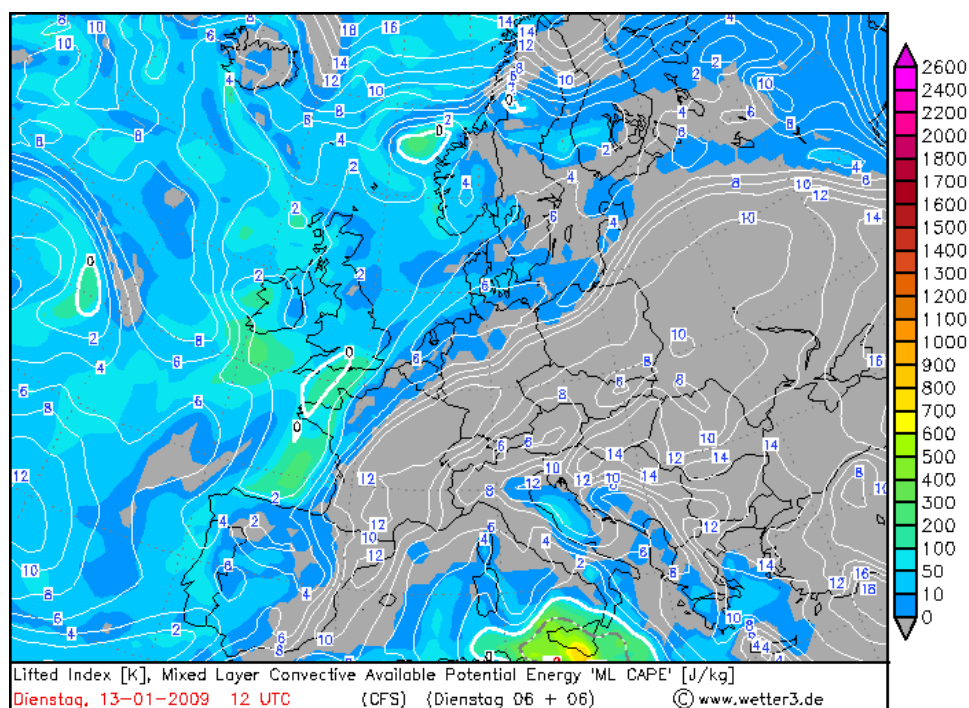


Χάρτης 1.8. Χάρτης συνολικής ποσότητας κατακρημνισμάτων.
Ευρώπη - βόρειος Ατλαντικός 13-01-2009 12 UTC.

Στον χάρτη ολικής βροχόπτωσης (Χάρτης 1.8) φαίνεται πως η μέγιστη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει στο κέντρο της ύφεσης και πιο συγκεκριμένα στον θερμό τομέα.



Όπως φαίνεται στο υετογράφημα του διαγράμματος 1.1, στο Παλέρμο της Ιταλίας τις μέρες 12 και 13 Ιανουαρίου καταγράφηκαν ύψη βροχής 55mm και 60mm αντίστοιχα. Αυτό είναι ένα ακόμη στοιχείο που μας δείχνει την μεγάλη ποσότητα, αυτής της ύφεσης, σε νερό.



Χάρτης 1.9. Χάρτης δείκτη CAPE.
 Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός, 13-01-2009 12 UTC

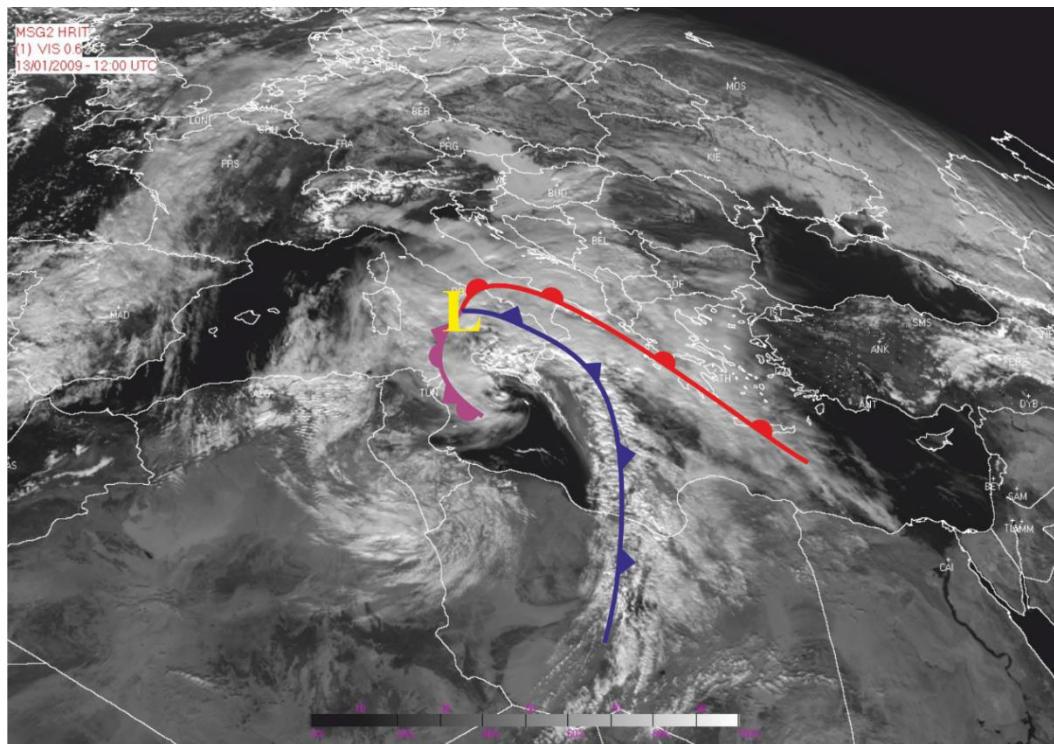
Τέλος, παρατηρείται ότι ο δείκτης CAPE¹, όπως φαίνεται στο χάρτη 1.9, δεν είναι τόσο ισχυρός ώστε να δώσει έντονες ανοδικές κινήσεις για την προϋπόθεση καταιγίδας καθώς οι τιμές του φτάνουν μέχρι την τιμή των 800 J/kg που δίνουν οριακή αστάθεια [4] της αέριας μάζας και συνεπώς η ραγδαιότητα της βροχόπτωσης θα είναι γενικά ήπιας έντασης σε όλη την έκταση του νεφικού σχηματισμού, με στρωματομορφα νέφη Stratocumulus και Nimbostratus. Δηλαδή προκύπτει ότι, σύμφωνα και με το υετογράφημα του διαγράμματος 1.1, η βροχόπτωση κατανεμήθηκε περίπου όλο το εικοσιτετράωρο και δεν εκδηλώθηκαν μεμονωμένα επεισόδια ραγδαίας βροχόπτωσης.

¹ CAPE ορίζεται ως η δυναμική ενέργεια που θα αποκτούσε ένα πακέτο αέρα ανερχόμενο κατά ορισμένη απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα. Μονάδα μέτρησης του CAPE είναι το 1 J/kg.

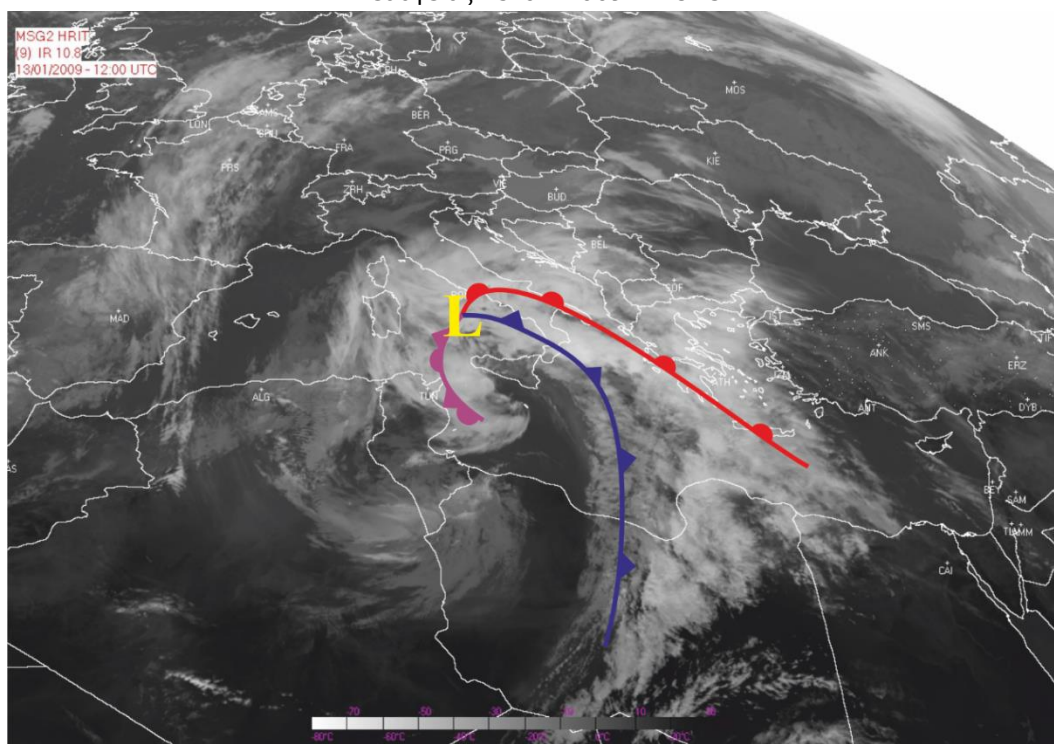
Ο CAPE αποτελεί δείκτη ατμοσφαιρικής αστάθειας, εκφράζοντας το ποσό της θετικής άνωσης που χαρακτηρίζει ένα ορισμένο πακέτο αέρα. Μεγαλύτερες τιμές του CAPE υποδεικνύουν μεγαλύτερη ευκολία στις κατακόρυφες κινήσεις, άρα μεγαλύτερη αστάθεια.

Τιμές του CAPE μικρότερες των 1000 J/kg υποδεικνύουν συνθήκες ασθενούς θερμικής αστάθειας, ενώ όταν ο CAPE είναι μεταξύ 1000 και 2500 J/kg η θερμική αστάθεια αυξάνεται. Όταν ο CAPE > 2500 J/kg τότε επικρατούν συνθήκες ισχυρής θερμικής αστάθειας.

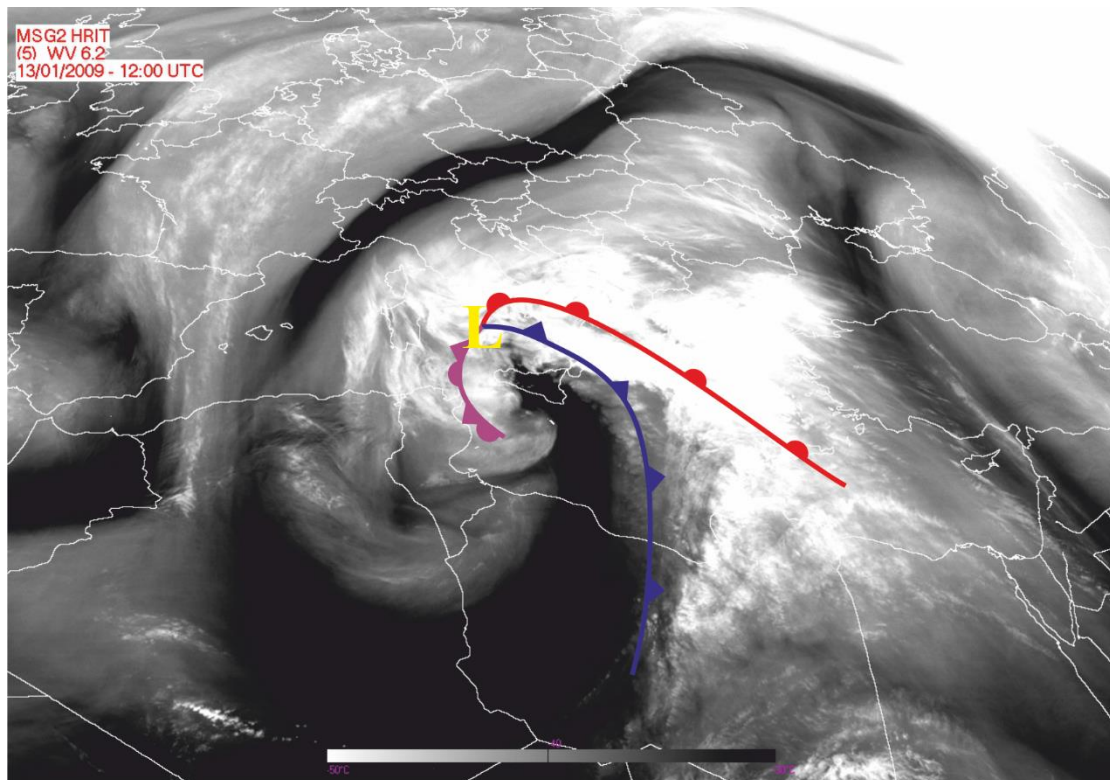
1.2 Ανάλυση Δορυφορικών Εικόνων



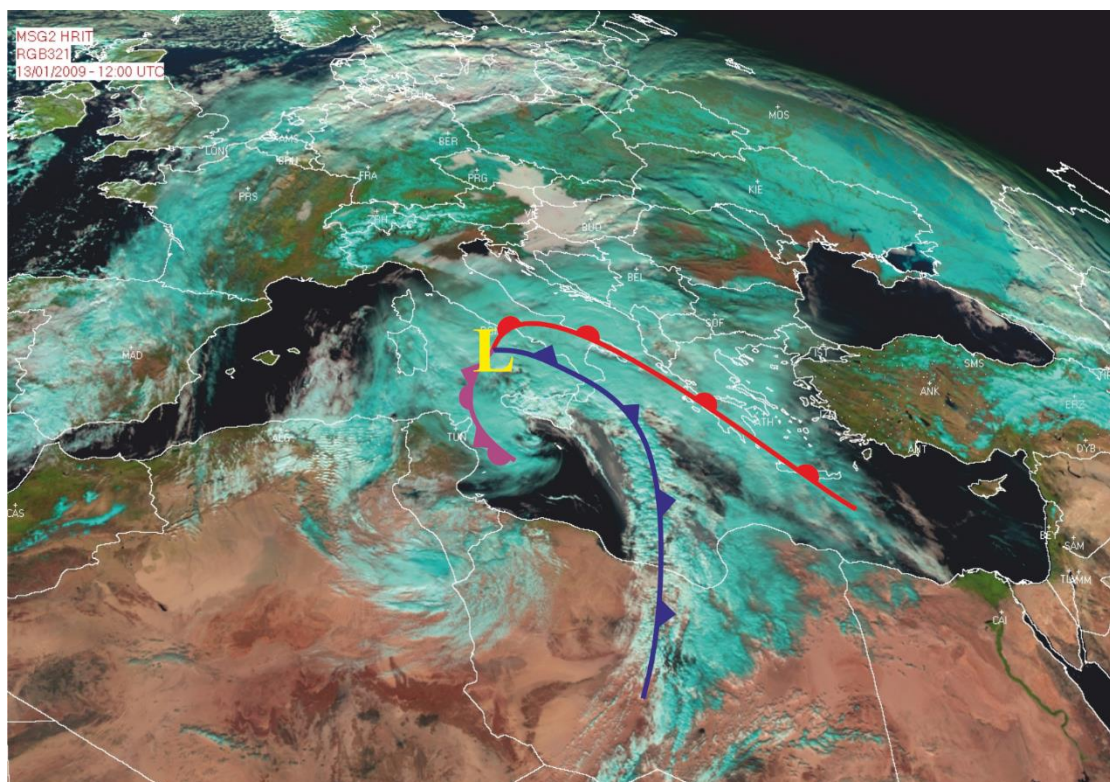
Εικόνα 1.1. Δορυφορική εικόνα (Ορατό 0.6μm).
Μεσόγειος 13-01-2009 12 UTC



Εικόνα 1.2. Δορυφορική εικόνα (Υπέρυθρο 10.8μm).
Μεσόγειος 13-01-2009 12 UTC



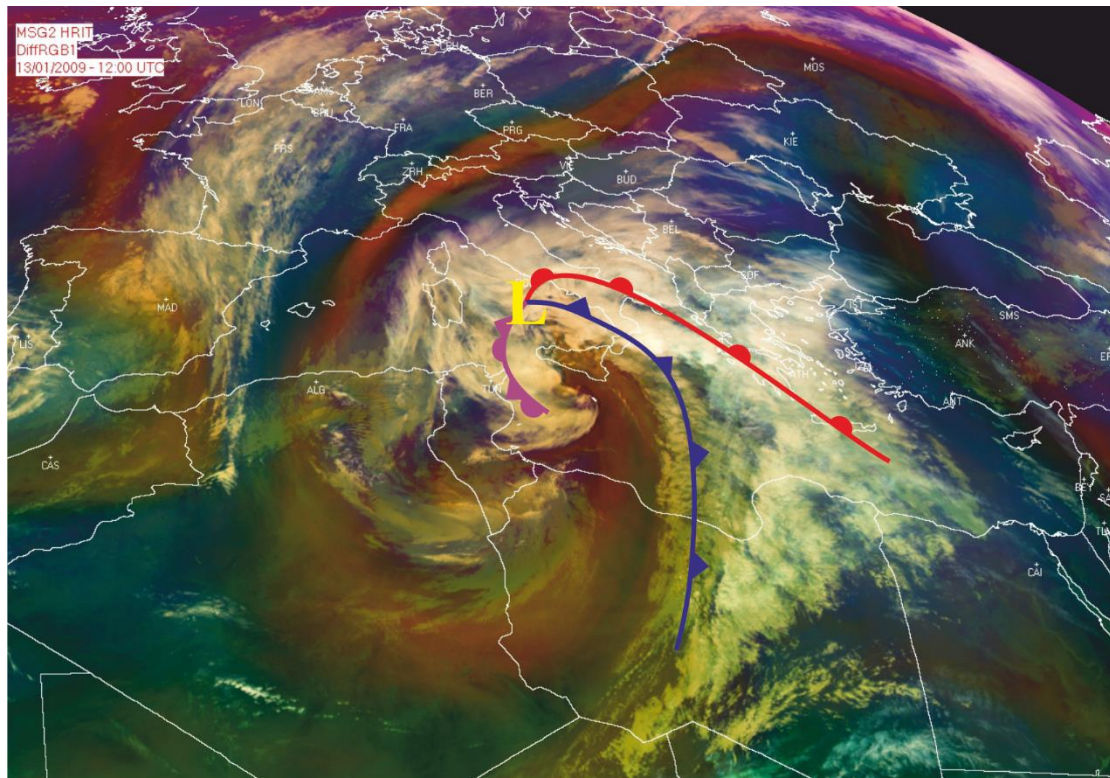
Εικόνα 1.3. Δορυφορική εικόνα (Απορρόφηση υδρατμών 6.2μm).
Μεσόγειος 13-01-2009 12 UTC.



Εικόνα 1.4. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (RGB 3-2-1).
Μεσόγειος 13-01-2009 12 UTC.

Στην εικόνα 1.4 φαίνεται η νεφοκάλυψη στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο, την Ιταλία και τα νότια και δυτικά Βαλκάνια. Επίσης φαίνεται

ευκρινώς το ψυχρό μέτωπο με τα σύννεφα κατακόρυφης ανάπτυξης (στην προκειμένη περίπτωση είναι cumulus congestus, εξαιτίας της χαμηλής έντασής τους στο υπέρυθρο φάσμα όπως φαίνεται στην εικόνα 1.2. Ακόμη στην βόρεια Αλγερία παρατηρούνται lee waves (βλ. και εικόνα 1.1 και 1.4). Στον χάρτη των 850hPa (Χάρτης 1.4) φαίνεται από τις ισοβαρείς ότι η κατεύθυνση ανέμου είναι από βόρεια στην περιοχή της βόρειας Αλγερίας και κάθετη στην παράταξη των lee waves.[5]

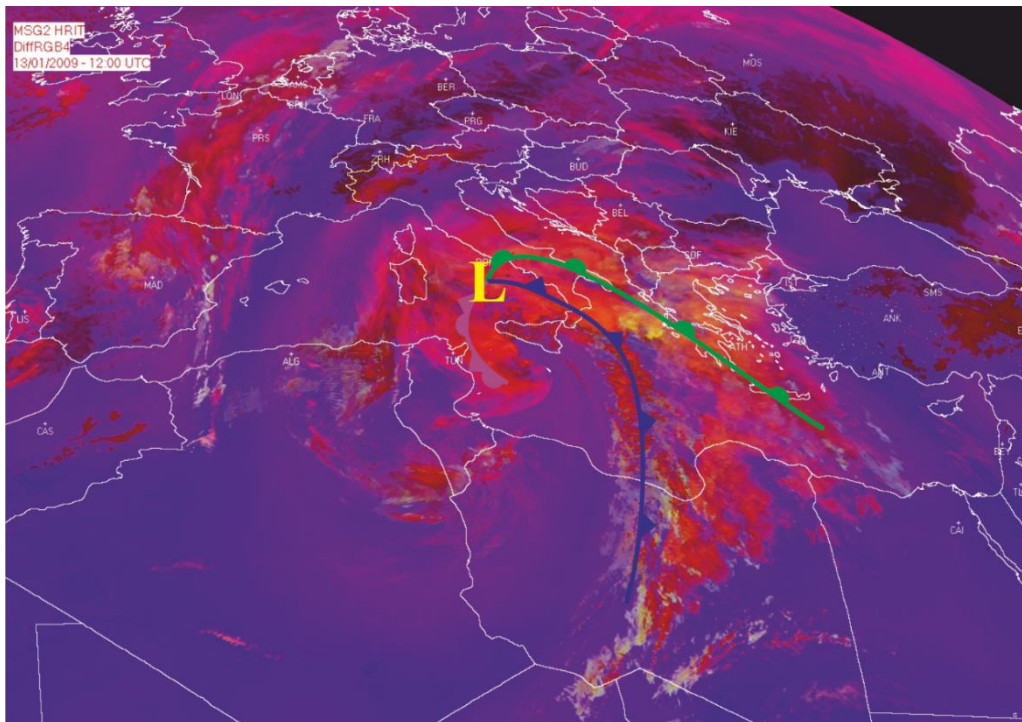


Εικόνα 1.5. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (Αέριες Μάζες) Μεσόγειος 13-01-2009 12 UTC.

Στην δορυφορική εικόνα των αερίων μαζών (εικόνα 1.5) φαίνεται η μείξη των αερίων μαζών (με πράσινο χρώμα η θερμή αέρια μάζα και με μπλε χρώμα η ψυχρή) από τον υποτροπικό και τον πολικό αεροχείμαρρο, και η εισροή τους στο κέντρο της ύφεσης που τροφοδοτείται (η θέση των αεροχειμάρρων φαίνεται καλύτερα στην εικόνα 1.3 – περιοχές με μεγάλη αντίθεση υγρασίας). Με κόκκινο χρώμα σημειώνεται η μεταφορά δυνητικού στροβιλισμού. Η έντονη μεταφορά φαίνεται και στο χάρτη 1.3.

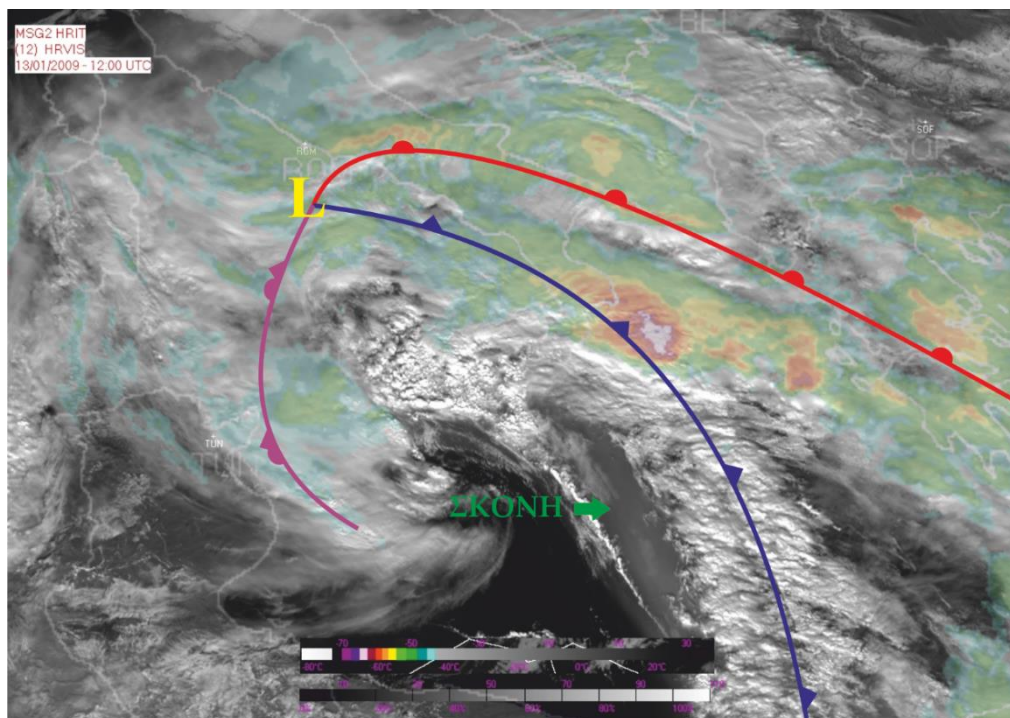
Από αυτή τη δορυφορική εικόνα συμπεραίνεται ότι λόγω της έντονης μείξης των αερίων μαζών, η ύφεση τροφοδοτείται με ενέργεια (Χάρτης 1.5) και υδρατμούς και αυτό της δίνει τη δυνατότητα να προσφέρει μεγάλη

ποσότητα κατακρημνισμάτων για μεγάλο χρονικό διάστημα όπως φαίνεται και στο υετογράφημα του διαγράμματος 1.1.



Εικόνα 1.6. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (Καταιγίδες)
Μεσόγειος 13-01-2009 12 UTC.

Στην εικόνα 1.6 παρατηρείται στην περιοχή του Ιονίου πελάγους έντονη σύγκλιση των αερίων μαζών και ανύψωση, καθώς και έντονες βροχοπτώσεις. Η σύγκλιση υποδηλώνεται στο χάρτη 1.6 με την απόκλιση των αερίων μαζών στο εμπρόσθιο-αριστερό μέρος του αεροχείμαρρου [3, 6] και την παρουσία του ψυχρού μετώπου. Επίσης, λόγω του περάσματος του θερμού και μετά του ψυχρού μετώπου, η ανύψωση αυτή ενισχύεται. Εν συνεχεία, η έντονη βροχόπτωση επιβεβαιώνεται από την ολική βροχόπτωση στο χάρτη 1.8 και στο διάγραμμα 1.1.



Εικόνα 1.7. Δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης.
Κεντρική Μεσόγειος 13-01-2009 12 UTC.

Στην δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης της εικόνας 1.7, παρατηρούνται περισσότερες και μεγαλύτερες λεπτομέρειες όσον αφορά τη δομή και την υφή των νεφών. Επίσης, έχει προστεθεί μία μάσκα επικάλυψης, πάνω από την εικόνα (sandwich method) [7] που δείχνει τις θερμοκρασίες των κορυφών των νεφών και επιβεβαιώνει, και αυτή η εικόνα, τις έντονες κατακόρυφες κινήσεις στο δυτικό Ιόνιο. Οι θερμοκρασίες αγγίζουν και τους -80°C στα overshooting tops². Επιπροσθέτως, τα νέφη που βρίσκονται και αναπτύσσονται κατά μήκος του ψυχρού μετώπου δεν είναι τόσο υψηλά, όπως δηλώνει και η μάσκα επικάλυψης των χαμηλών θερμοκρασιών και πιθανόν να είναι towering cumulus, αλλά όχι cumulonimbus καθώς η θερμοκρασία των σωρειτόμορφων νεφών είναι μεγαλύτερη των -45°C .



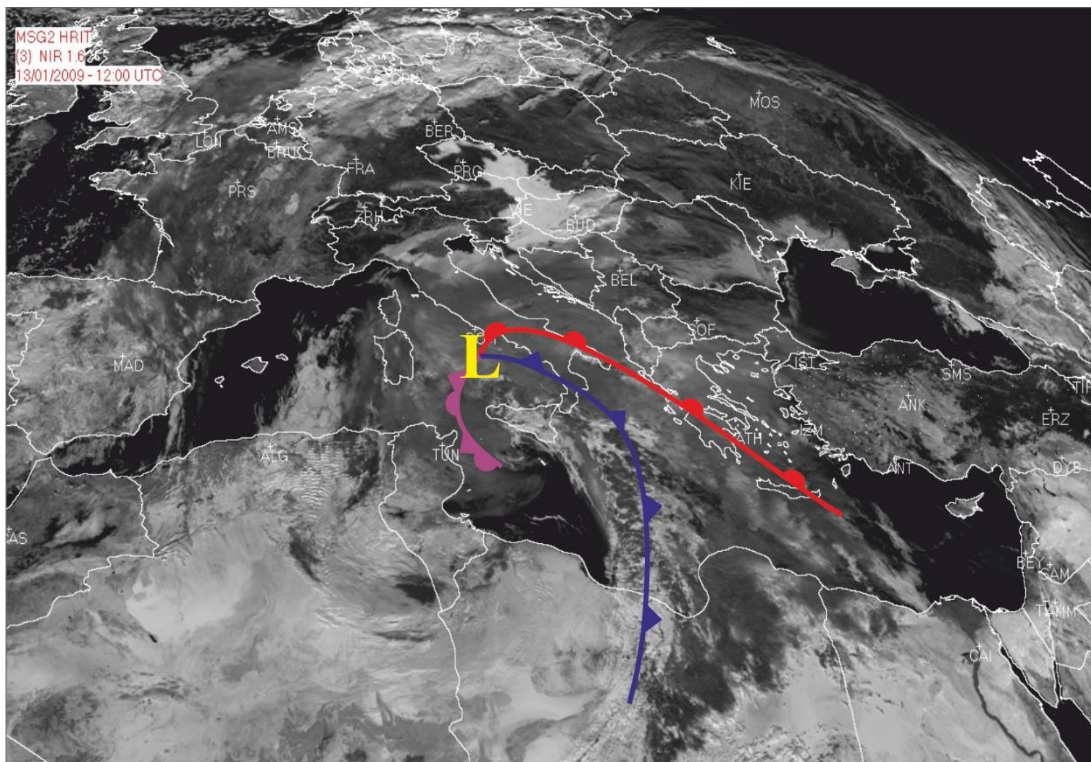
DiffRGB2MSG2_200901132345.H5.mpg

Βίντεο 1.1. Απεικόνιση εισροής σκόνης από τη Σαχάρα.
Κεντρική Μεσόγειος-Βόρεια Αφρική 13-01-2009.
(Διπλό κλικ στο εικονίδιο για άνοιγμα)

² Overshooting top είναι μία δομοειδής προεξοχή όπου εκτινάσσεται έξω από την κορυφή του αμονιού του σωρειτομελανία. Όταν ένα overshooting top είναι παρόν επί 10 λεπτά ή περισσότερο, είναι μία ένδειξη ότι η καταιγίδα είναι έντονη.

Στην απεικόνιση του βίντεο 1.1., παρατηρείται μία εισροή σκόνης (με χρώμα magenta) από τη βόρεια Αφρική μέσω του ψυχρού μετώπου με κατεύθυνση το κέντρο της ύφεσης. Αυτό είχε ως συνέπεια να δημιουργηθούν λασποβροχές – blood rains [8] οι οποίες δεν προκάλεσαν σοβαρές ζημιές καθώς δεν υπάρχουν αναφορές πολιτών γι' αυτό το περιστατικό.

Επιπροσθέτως, στο βίντεο επιβεβαιώνεται η μεγάλης διάρκειας βροχόπτωση στο Παλέρμο της Σικελίας, όπου τις 22 από τις 24 ώρες καταγράφηκε υετός. Επιπλέον, η σκόνη φαίνεται και στην υψηλής ανάλυσης εικόνα 1.7.



Εικόνα 1.8. Δορυφορική εικόνα (Κοντινό υπέρυθρο 1.6μm)
Μεσόγειος 13-01-2009 12 UTC.

Στην εικόνα 1.8 φαίνεται ότι στην περιοχή της ύφεσης τα νέφη αποτελούνται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από παγοκρύσταλλους καθώς οι παγοκρύσταλλοι σε αυτό το φάσμα (1.6μm) απορροφούν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία, σε σχέση με τις υδροσταγόνες, και έτσι τα νέφη απεικονίζονται πιο σκοτεινά. Όμως, στην επιφάνεια δεν είναι δυνατόν να υπάρξουν χιονοπτώσεις καθώς οι θερμοκρασίες είναι υψηλές και ως εκ τούτου το χιόνι λιώνει πριν φτάσει στην επιφάνεια. Αυτό φαίνεται από την

ισοβαρική επιφάνεια των 850mb (Χάρτης 1.4), καθώς οι θερμοκρασίες στην περιοχή ενδιαφέροντος κυμαίνονται μεταξύ 10°C και 15°C.

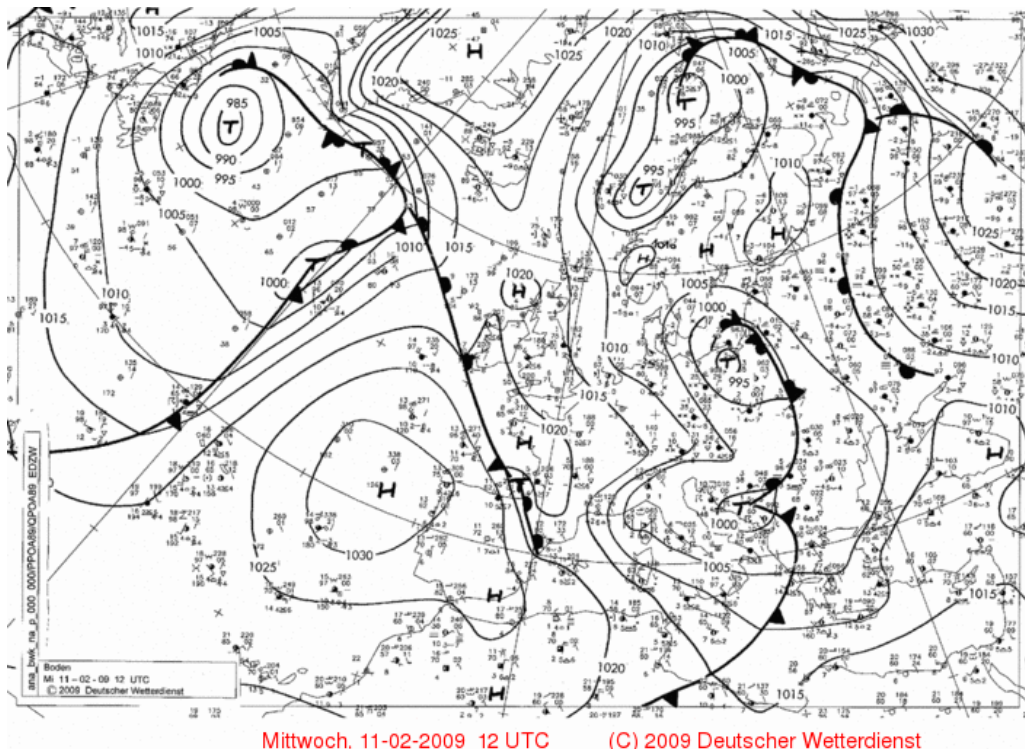
1.3 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, στην περίπτωση αυτή έχουμε μία αποκοπτόμενη ψυχρή λίμνη, η οποία ακόμα τροφοδοτείται με ενέργεια και υγρασία από τη γενική κυκλοφορία, αλλά και με επιπλέον ενέργεια από τις αέριες μάζες της βόρειας Αφρικής. Παρόλο που οι δείκτες αστάθειας έδιναν μέτριες τιμές για την κατάσταση της ατμόσφαιρας, οι δορυφορικές φωτογραφίες έδειξαν μεγάλου ύψους κατακόρυφα νέφη στην περιοχή του Ιονίου πελάγους με overshooting tops και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Παρ' όλα αυτά, από τις χαμηλές θερμοκρασίες δεν προέκυψε χιόνι στην επιφάνεια καθώς οι θερμοκρασίες εκεί ήταν πολύ υψηλότερες των 0°C. Επιπροσθέτως, η διάρκεια των βροχοπτώσεων ήταν μεγάλη και ορισμένες φορές με μεγάλες εντάσεις όταν κάποιο ή κάποια cumulonimbus βρισκόταν στην περιοχή. Τέλος, στο συνδυασμό χρωμάτων στις δορυφορικές εικόνες φαίνεται η παρουσία σκόνης που εισρέει από την Σαχάρα στο κέντρο της ύφεσης δίνοντας με τη σειρά της λασποβροχές.

2. Αεροχειμάρρος

2.1 Ανάλυση Χαρτών

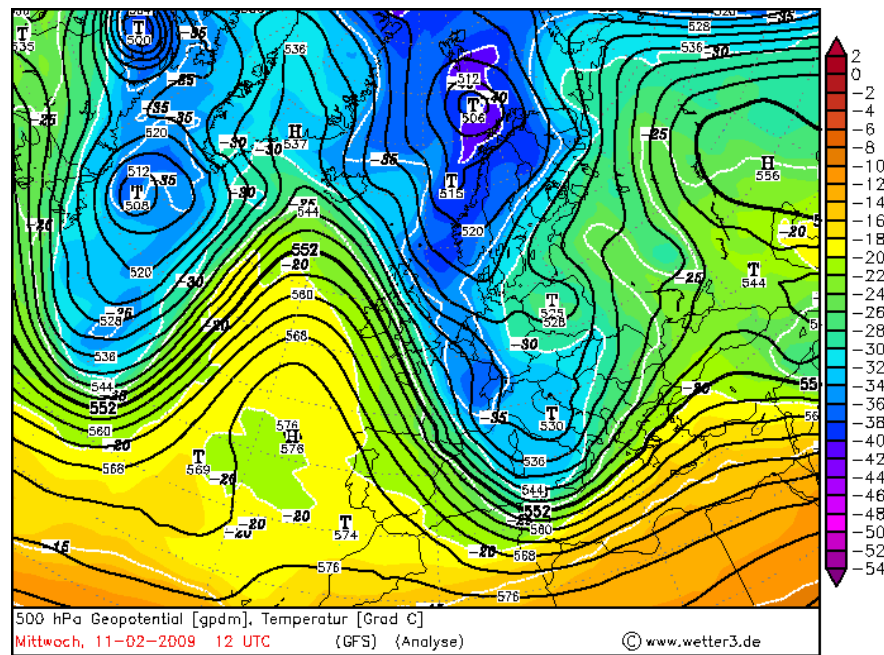
Στις 11 Φεβρουαρίου του 2009 παρατηρείται εμφάνιση μίας τυπικής περίπτωσης του υποτροπικού αεροχειμάρρου στην περιοχή της Μεσογείου.



Χάρτης 2.1. Συνοπτικός Χάρτης Επιφανείας.

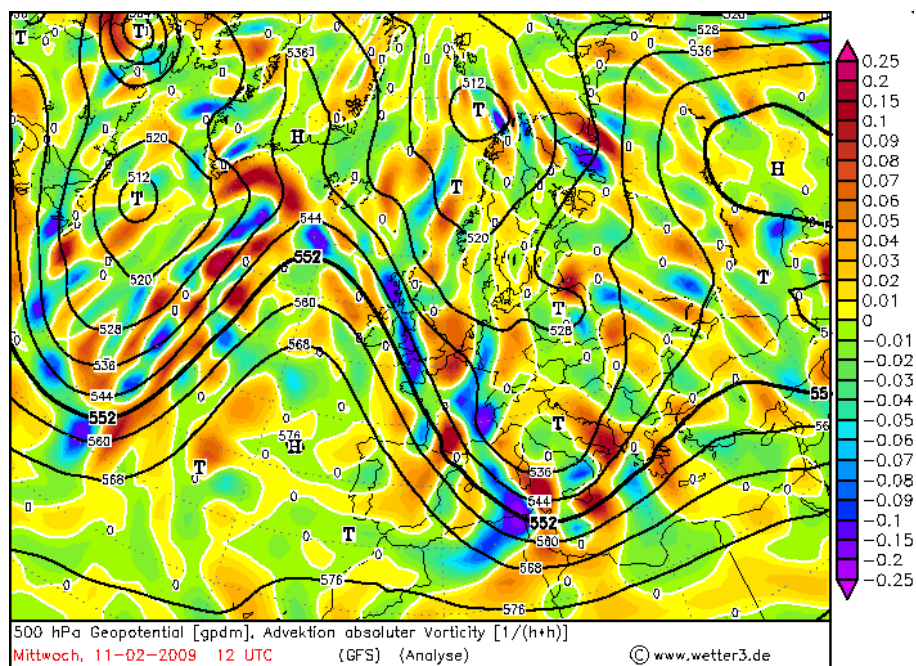
Ευρώπη – Βόρειος Ατλαντικός 11-02-2009 12 UTC

Ο συνοπτικός χάρτης επιφανείας (Χάρτης 2.1), δείχνει τη διέλευση ενός ψυχρού μετώπου από την κεντρική Μεσόγειο προς την ανατολική. Συγκεκριμένα το ψυχρό αυτό μέτωπο εκτείνεται από τις περιοχές νότια της Τυνησίας μέχρι τα βορειοδυτικά Βαλκάνια. Η ατμοσφαιρική πίεση στο κέντρο του χαμηλού, που βρίσκεται στο βόρειο άκρο του ψυχρού μετώπου, είναι περίπου 997 hPa. Σύμφωνα με τις ισοβαρείς του χάρτη 2.1, η ένταση των ανέμων αυξάνεται με την διέλευση του μετώπου.

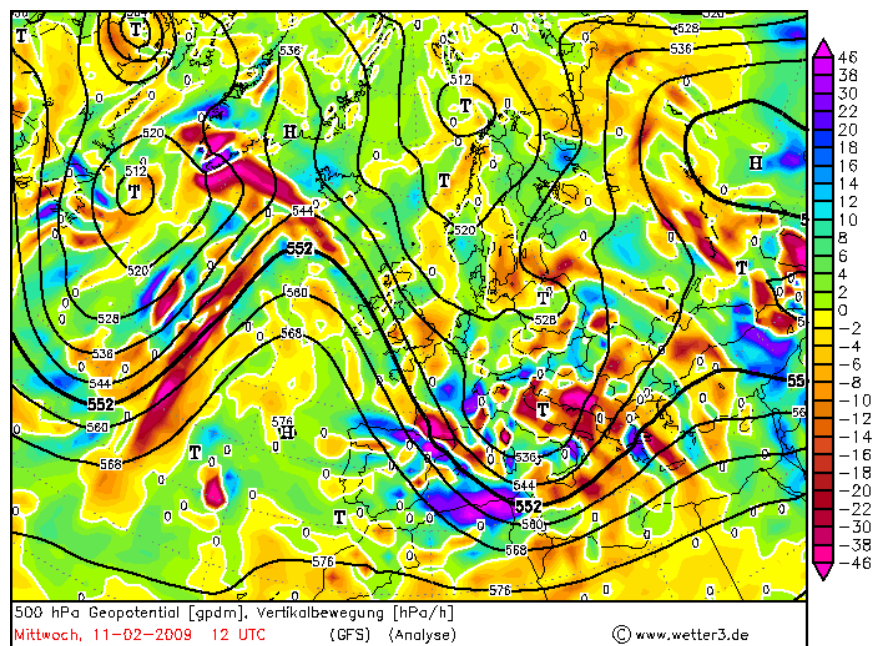


Χάρτης 2.2. Χάρτης θερμοκρασίας στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 11-02-2009 12 UTC

Στο χάρτη 2.2 φαίνεται ότι η ροή της ανώτερης ατμόσφαιρας έχει μία έντονη μεσημβρινή συνιστώσα με μεγάλου πλάτους κύματα Rossby [9, 10]. Στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου, εισέρχεται ένας αυλώνας, όπου νοτιοανατολικά του, παρατηρείται απόκλιση αερίων μαζών το οποίο υποδηλώνει ανοδικές κινήσεις κοντά στην επιφάνεια [11] όπως φαίνεται και με την παρουσία του ψυχρού μετώπου στην περιοχή (Χάρτης 2.1).

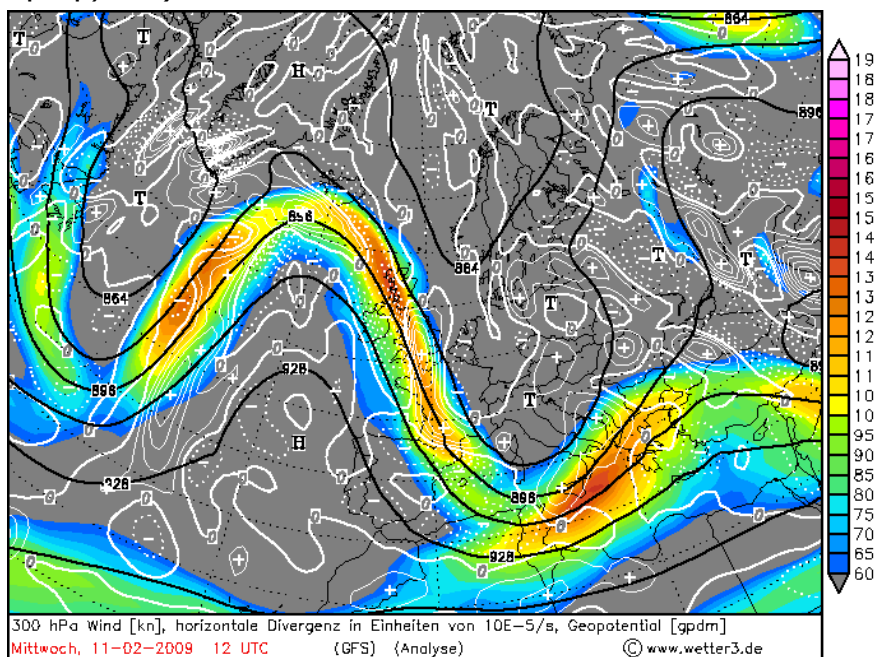


Χάρτης 2.3. Χάρτης οριζόντιας μεταφοράς στροβιλισμού στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 11-02-2009 12 UTC



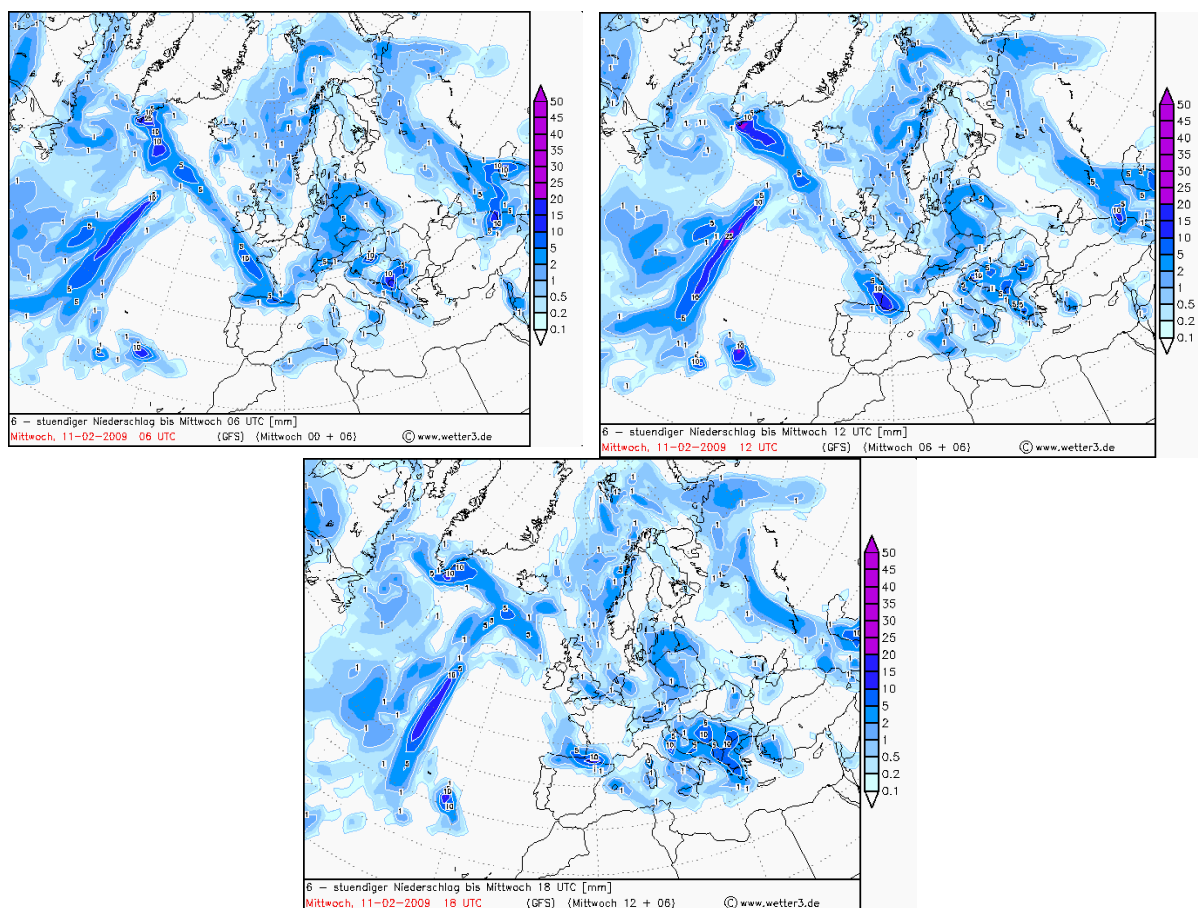
Χάρτης 2.4. Χάρτης κατακόρυφων κινήσεων στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 11-02-2009 12 UTC

Στους χάρτες 2.3 και 2.4 φαίνεται η έντονη μεταφορά δυνητικού στροβιλισμού, η οποία είναι ένας παράγοντας που συντελεί στην κυκλονογένεση (κόκκινο χρώμα) και οι ανοδικές κινήσεις στην ίδια περιοχή (κόκκινο χρώμα) αντίστοιχα. Οι μεγαλύτερης έντασης κατακόρυφες κινήσεις λαμβάνουν χώρα στην περιοχή των δυτικών Βαλκανίων όπου βρίσκεται το χαμηλό (Χάρτης 2.1).



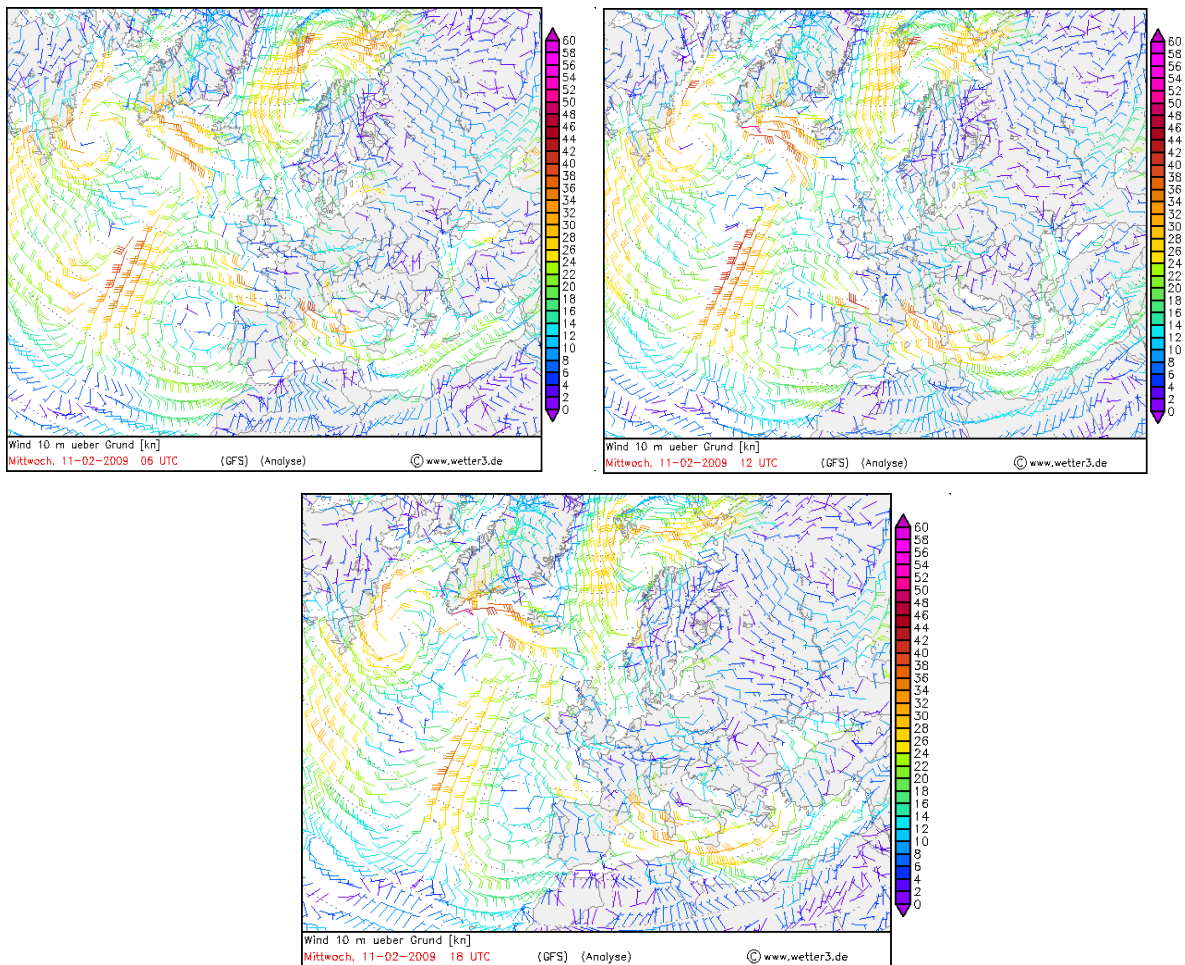
Χάρτης 2.5. Χάρτης ανέμων και απόκλισης αερίων μαζών στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 300 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 11-02-2009 12 UTC

Στο ύψος του αεροχειμάρρου (Χάρτης 2.5), επιβεβαιώνεται και σε αυτή την επιφάνεια (των 300 hPa), η οριζόντια απόκλιση των αερίων μαζών με την ύπαρξη του χαμηλού ακριβώς κάτω από το εμπρόσθιο-αριστερό τμήμα (σύμφωνα με τη φορά κίνησης του ανέμου) του αεροχειμάρρου.



Χάρτες 2.7. Χάρτες ολικής βροχόπτωσης
Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός
11-02-2009 6,12,18 UTC

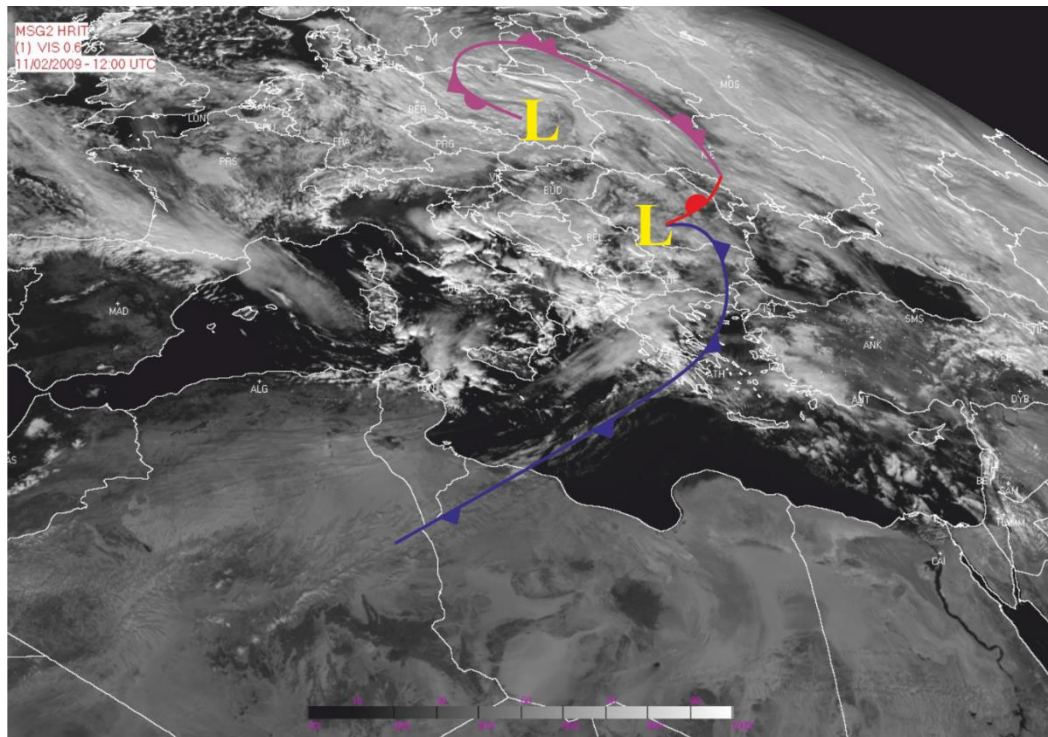
Θεωρητικά, όπως φαίνεται και από το σχήμα 1.1, στο βόρειο ημισφαίριο η ολική βροχόπτωση λαμβάνει χώρα στην δυτική πλευρά του αεροχειμάρρου, ενώ στο ανατολικό τμήμα επικρατούν χαμηλά ύψη υετού. Αυτό παρατηρείται και στην διαδοχή των χαρτών ολικής βροχόπτωσης (Χάρτες 2.7) όπου καθώς διαδίδεται ο αεροχείμαρρος προς τα ανατολικά, η βροχόπτωση τον ακολουθεί παραμένοντας σταθερά, κυρίως, στο δυτικό του τμήμα.



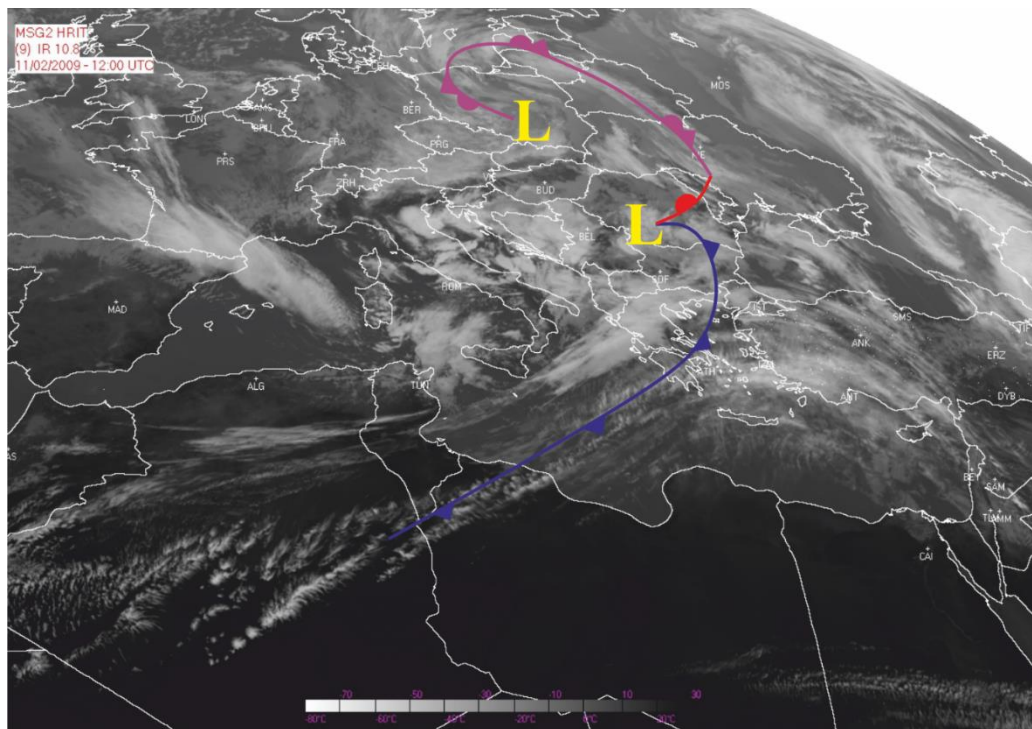
Χάρτες 2.8. Χάρτες έντασης και κατεύθυνσης ανέμων στο ύψος των 10 μέτρων.
 Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός.
 11-02-2009 6,12,18 UTC

Το ίδιο μοτίβο όπως του υετού παρατηρείται και στον άνεμο στο ύψος των 10m (Χάρτες 2.8). Δηλαδή οι άνεμοι με το πέρασμα του αεροχειμάρρου (δυτικά του), αυξάνουν σε ένταση, φτάνοντας μέχρι και τους 40 κόμβους. Παράλληλα, αλλάζει η κατεύθυνσή τους από νοτιοδυτική σε βόρειο-βορειοδυτική.

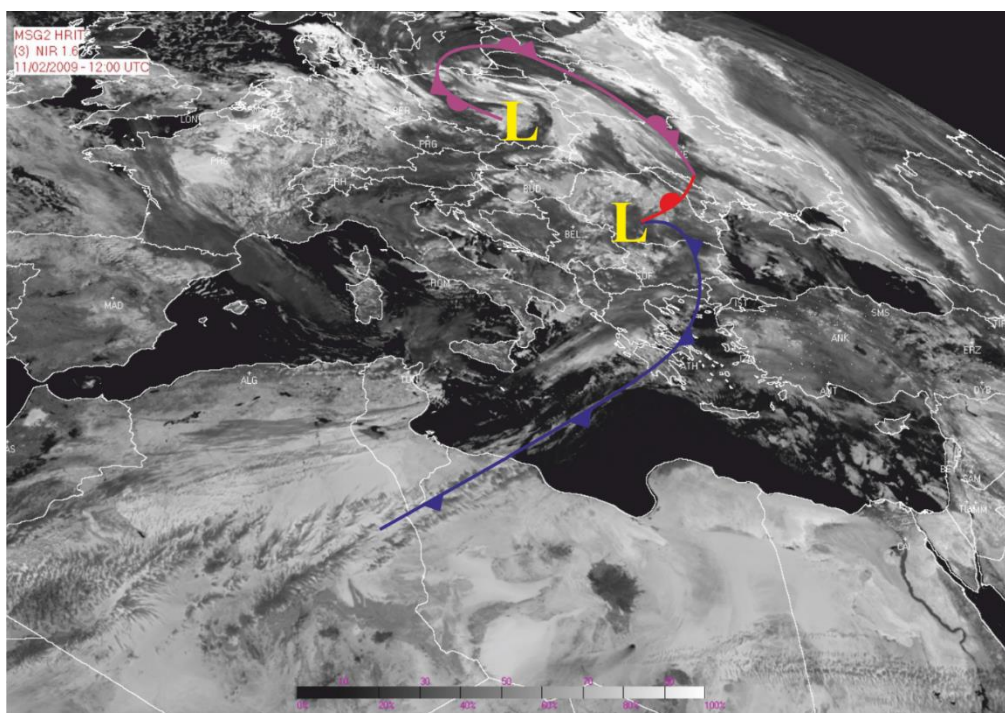
2.2 Ανάλυση Δορυφορικών Εικόνων



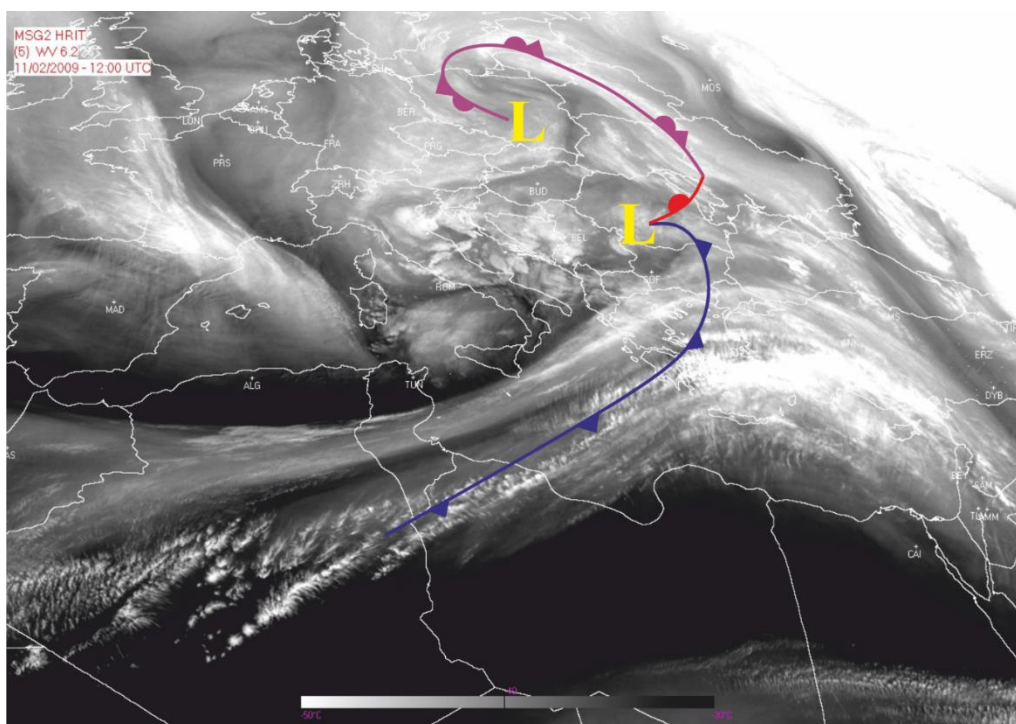
Εικόνα 2.1. Δορυφορική εικόνα (Ορατό 0.6μm).
Μεσόγειος 11-02-2009 12 UTC



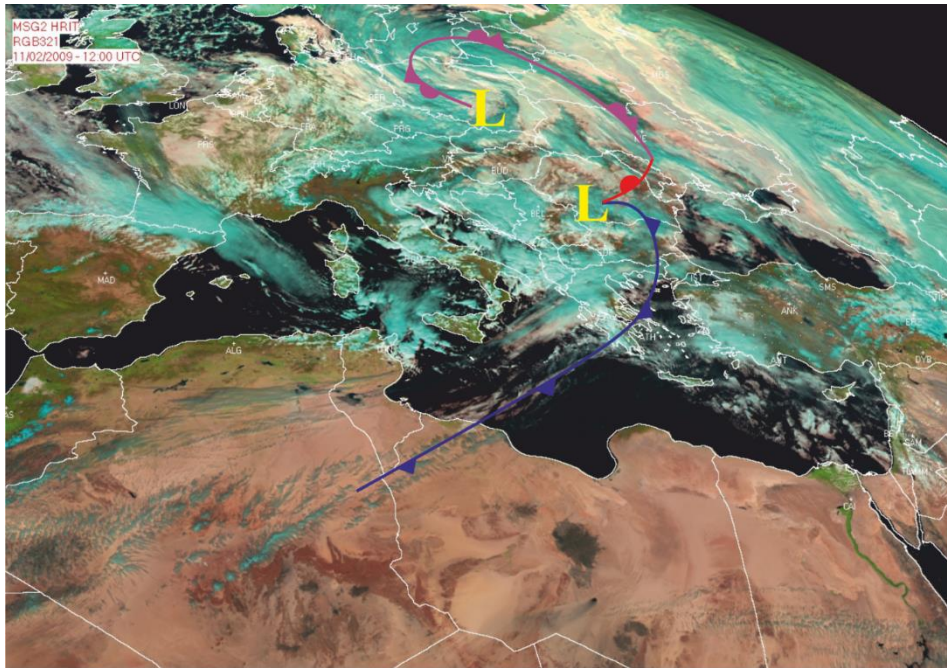
Εικόνα 2.2. Δορυφορική εικόνα (Υπέρυθρο 10.8μm).
Μεσόγειος 11-02-2009 12 UTC



Εικόνα 2.3. Δορυφορική εικόνα (Κοντινό Υπέρυθρο 1.6μm).
Μεσόγειος 11-02-2009 12 UTC

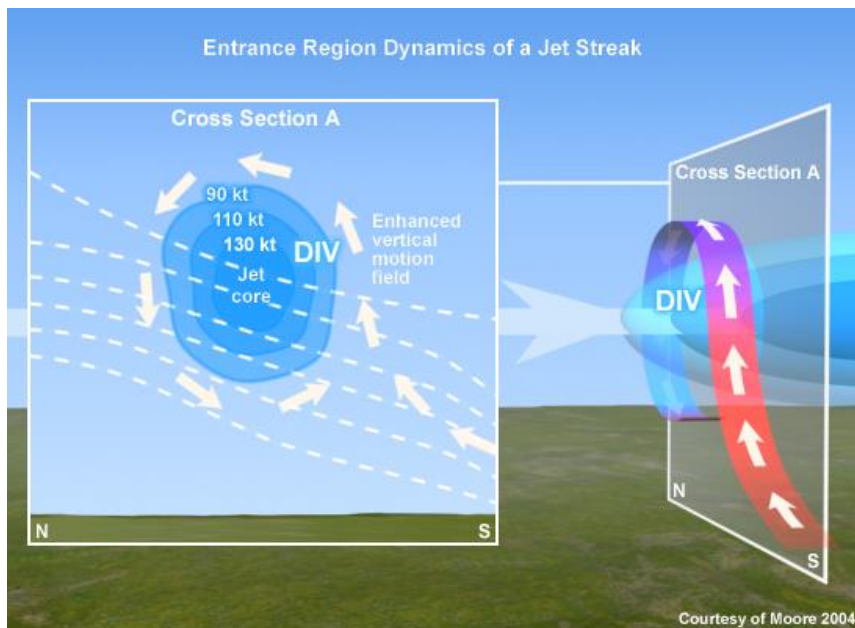


Εικόνα 2.4. Δορυφορική εικόνα (Απορρόφηση Υδατμών 6.2μm).
Μεσόγειος 11-02-2009 12 UTC

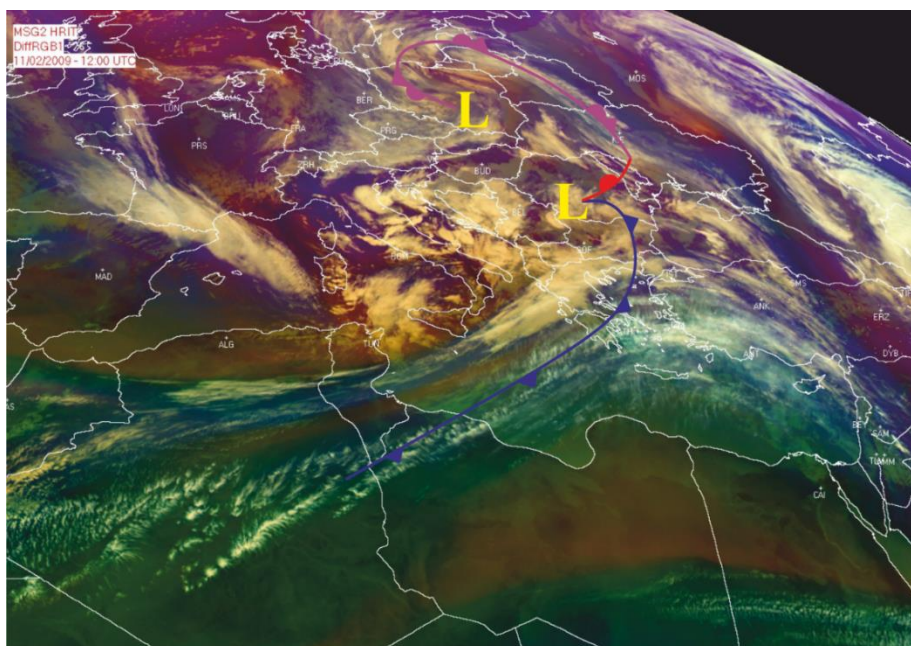


Εικόνα 2.5. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (RGB 3-2-1).
Μεσόγειος 11-02-2009 12 UTC

Στις παραπάνω δορυφορικές φωτογραφίες παρατηρείται το ίχνος του αεροχείμαρρου με εμφάνιση cirrus fibratus [12] στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου και της Αλγερίας. Επίσης, πάλι στην περιοχή της Αλγερίας φαίνεται η ροή γύρω από τον αεροχείμαρρο στον κατακόρυφο άξονα [3], όπως απεικονίζεται και στο σχήμα 2.1, με towering cumulus στη νότια πλευρά και βύθιση της υγρασίας [13] σε χαμηλότερα επίπεδα (Εικόνα 2.4) με απουσία νέφωσης.

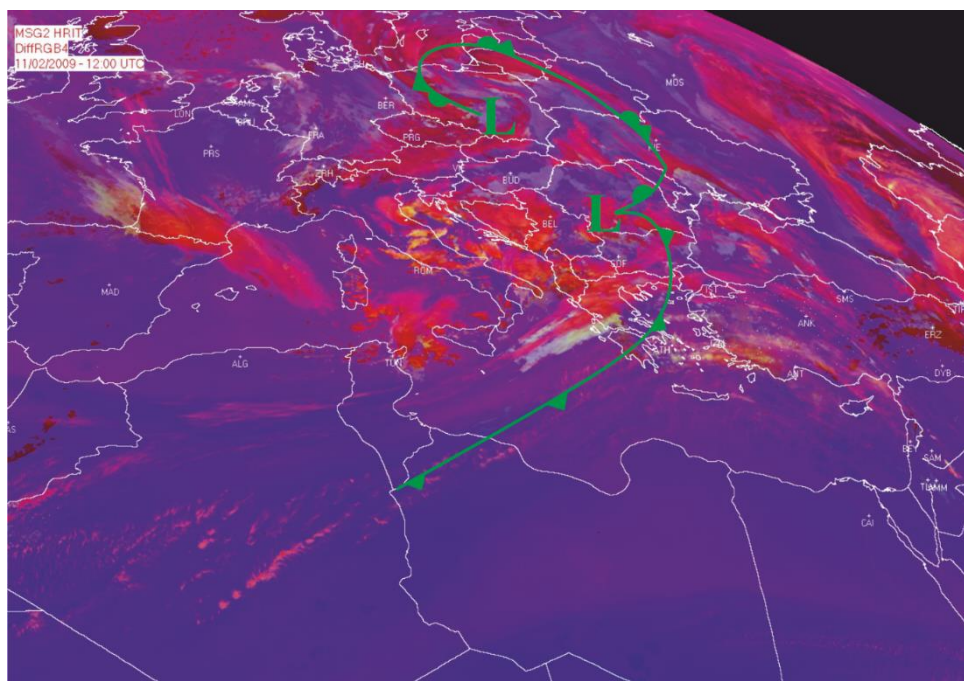


Σχήμα 2.1. Σχηματική παράσταση της κυκλοφορίας του ατμοσφαιρικού αέρα γύρω από τον αεροχείμαρρο στο κατακόρυφο επίπεδο.



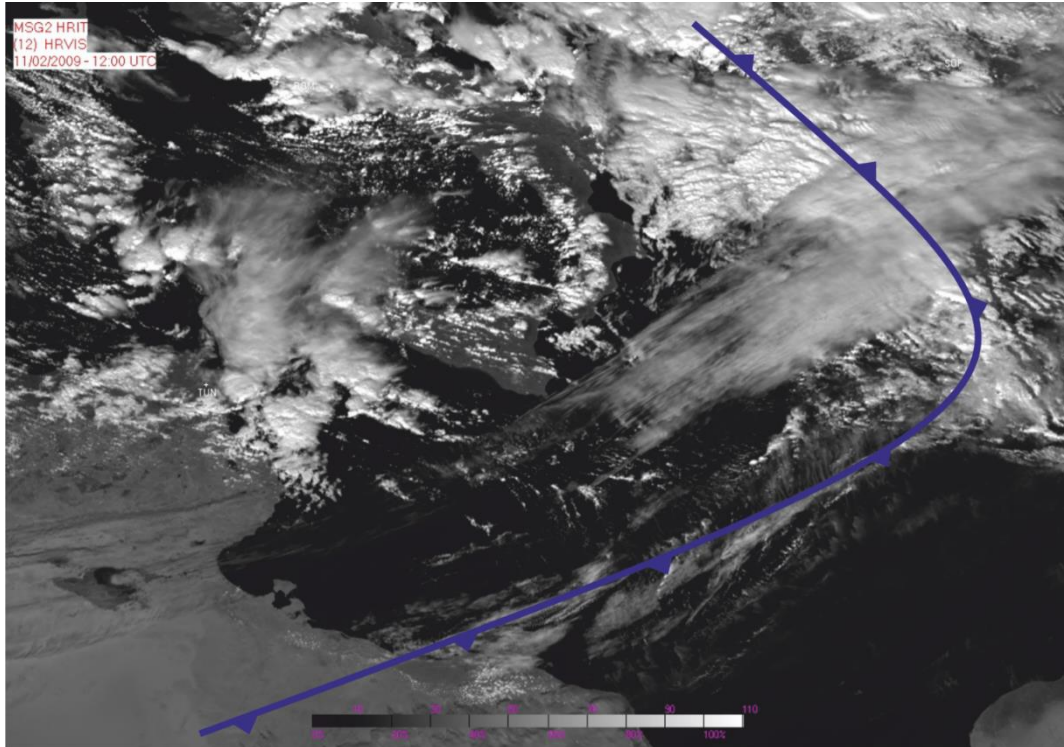
Εικόνα 2.6. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (Αέριες Μάζες)
Μεσόγειος 11-02-2009 12 UTC

Όσον αφορά τις θερμοκρασίες των αερίων μαζών (Εικόνα 2.6), ο αεροχειμαρρος φαίνεται ως διαχωριστικό όριο και λειτουργεί σαν φράγμα ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ τους. Βόρεια του αεροχειμαρρου (με κυανό χρώμα) λαμβάνουν χώρα οι ψυχρές αέριες μάζες, ενώ νότια υπάρχουν οι θερμές (με πράσινο χρώμα).



Εικόνα 2.7. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (Καταιγίδες)
Μεσόγειος 11-02-2009 12 UTC

Σε επιβεβαίωση των προηγούμενων παρατηρήσεων, οι κατακόρυφες κινήσεις είναι παρούσες δυτικά του αεροχειμάρρου (με κόκκινο χρώμα) και οι συγκλίσεις είναι έντονες στην περιοχή της Αδριατικής θάλασσας και της βορειο-κεντρικής Ιταλίας (με πορτοκαλί χρώμα).



Εικόνα 2.8. Δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης.
Κεντρική Μεσόγειος 11-02-2009 12 UTC.

Στην εικόνα υψηλής ανάλυσης της εικόνας 2.8 και του βίντεο 2.1, παρατηρείται ότι με το πέρασμά του, ο αεροχειμάρρος (τα νέφη cirrus) συναντά κυρίως στρωματόμορφα νέφη όπως altostratus, stratus, αλλά και altocumulus, stratocumulus, όπως παρατηρούνται τα lee waves στην περιοχή της Τουρκίας. Καθώς σαρώνει αυτά τα νέφη και με το πέρασμα του ψυχρού μετώπου ο αεροχειμάρρος αφήνει πίσω του νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης τύπου cumulus congestus και cumulonimbus.



HRVISMSG2_200902112345.H5.mpg

Βίντεο 2.1. Κίνηση του αεροχειμάρρου και παράλληλη αλλαγή της υψής και δομής των νεφών με το πέρασμά του.
Κεντρική Μεσόγειος 11-02-2009
(Διπλό κλικ στο εικονίδιο για άνοιγμα)

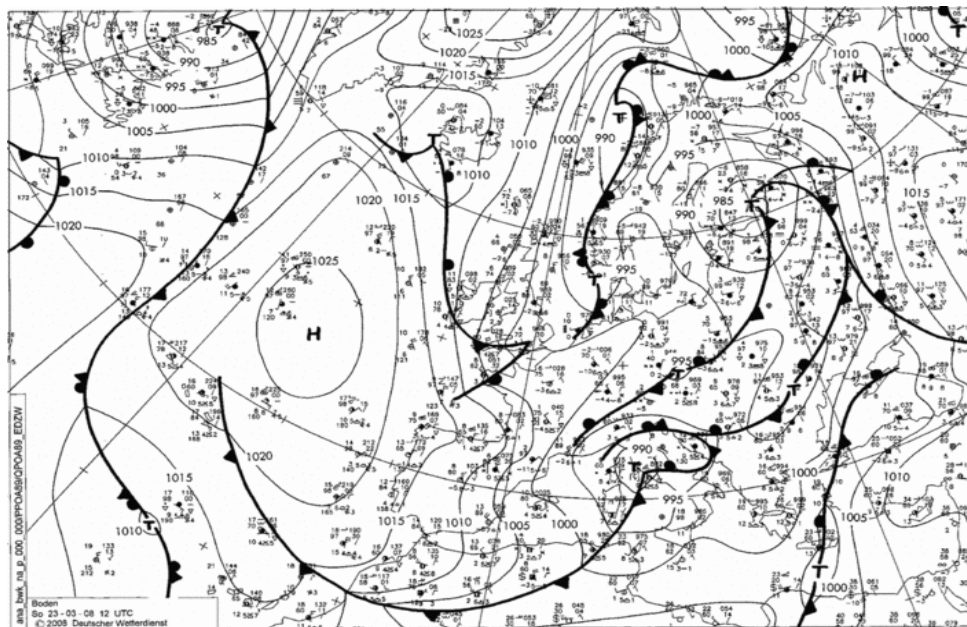
2.3 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι ο αεροχειμάρρος, όπως παρατηρείται από τους προγνωστικούς χάρτες σε σχέση με τις δορυφορικές φωτογραφίες του Meteosat, συμπεριφέρεται ως ένα διαχωριστικό όριο μεταξύ δύο αερίων μαζών διαφορετικών θερμοκρασιών, που εμποδίζει την μεταξύ τους ανταλλαγή ενέργειας. Επίσης, πριν το πέρασμα του αεροχειμάρρου από την ανώτερη ατμόσφαιρα, οι κατακόρυφες κινήσεις ήταν ελάχιστες με παρουσία στρωματομόρφων νεφών, μερική παρουσία υετού και μικρές ποσότητες υγρασίας. Ενώ με την πάροδο του αεροχειμάρρου, η ατμόσφαιρα γίνεται ασταθής και παρατηρούνται νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης με μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό και άνεμοι έντασης που φτάνουν κατά τόπους τους 40 κόμβους. Τέλος, παρατηρείται μία έντονη συσχέτιση του αεροχειμάρρου με το ψυχρό μέτωπο, δηλαδή της ανώτερης τροπόσφαιρας με την επιφάνεια.

3. Ατμοσφαιρική Σκόνη

Στις 23 Μαρτίου του 2008 μία τυπική, συνοπτική κατάσταση της περιόδου της άνοιξης επικρατούσε πάνω από την Ευρώπη, χαρακτηριζόμενη από μία ψυχρή μεσημβρινή ροή από τη Γροιλανδία διαμέσου της δυτικής και κεντρικής Ευρώπης στις ακτές της βορείου Αφρικής με μεταφορά ξηρού και θερμού αέρα προς τα Βαλκάνια. Σε αυτήν την έντονη νοτιοδυτική ροή αέρα, μεγάλες ποσότητες σωματιδίων σκόνης ανυψώθηκαν από τη βόρεια Αφρική και μεταφέρθηκαν από την περιοχή της Λιβύης προς την Ελλάδα, την Τουρκία και την Βουλγαρία.

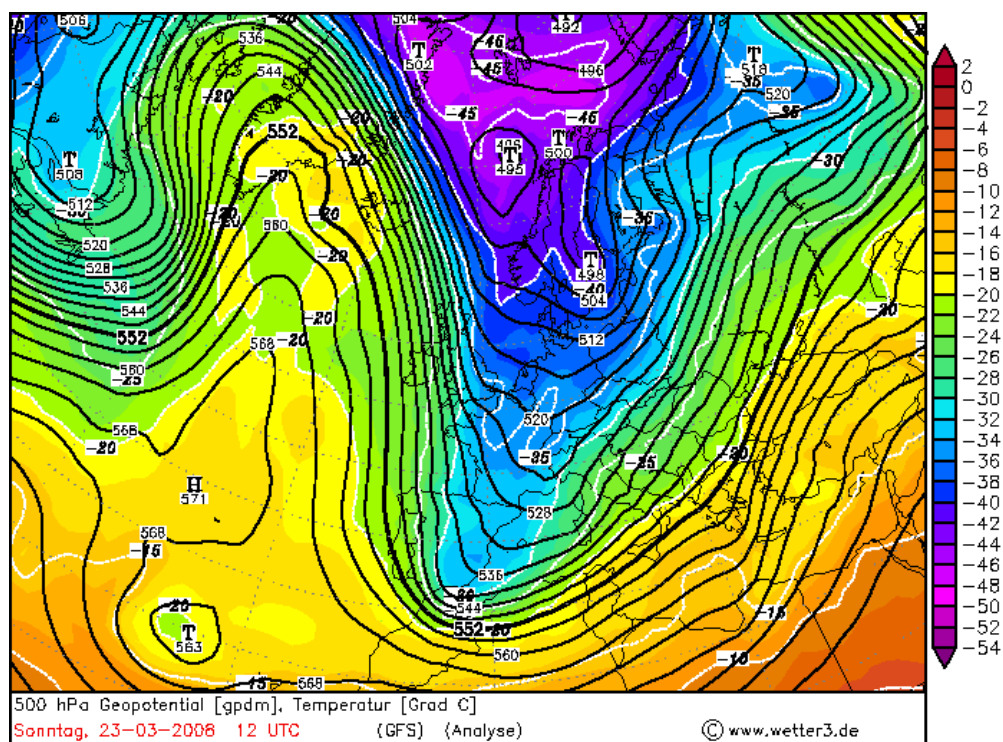
3.1 Ανάλυση Χαρτών



Sonntag, 23-03-2008 12 UTC (C) 2008 Deutscher Wetterdienst

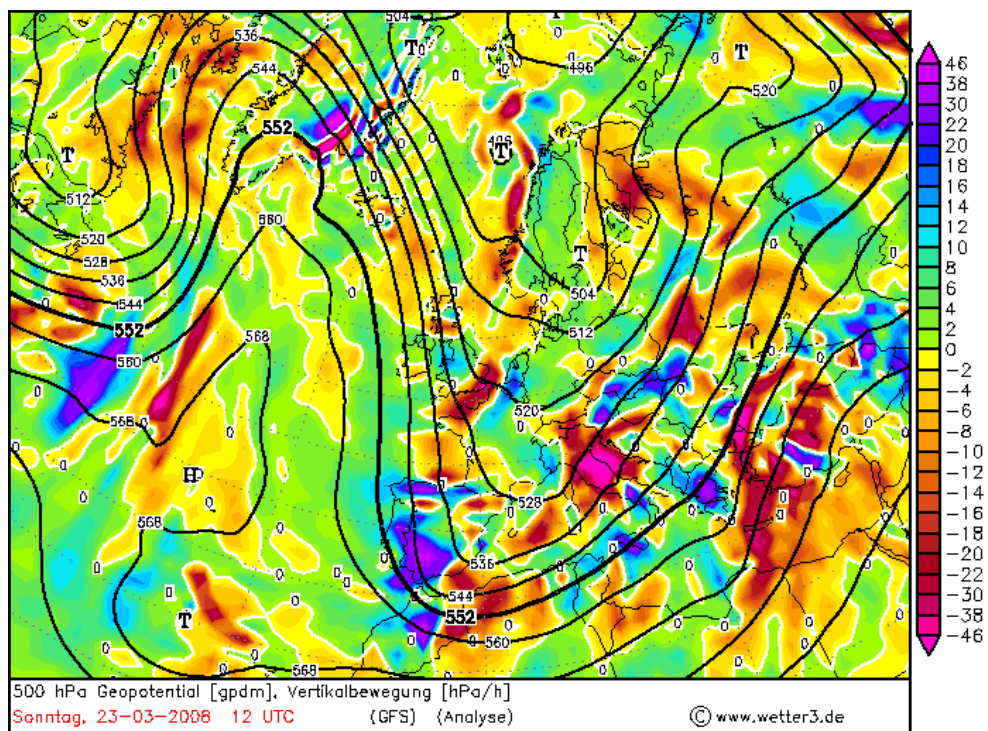
Χάρτης 3.1. Συνοπτικός χάρτης επιφανείας.
Ευρώπη - βόρειος Ατλαντικός 23-03-2008 12 UTC.

Στην περιοχή μελέτης, δηλαδή στην ανατολική Μεσόγειο, το Αιγαίο, τα ανατολικά Βαλκάνια την Μικρά Ασία και τον Εύξεινο Πόντο παρατηρείται από το χάρτη επιφανείας (Χάρτης 3.1) ένα χαμηλό νότια της Κρήτης με ατμοσφαιρική πίεση γύρω στα 995 με 1000 hPa. Βόρεια και νότια του χαμηλού εκτείνονται δύο μέτωπα, το νότιο είναι ένα ψυχρό μέτωπο που εκτείνεται από τις ακτές της βόρειας Αφρικής μέχρι τη Σαχάρα και το βόρειο μέτωπο εκτείνεται από την Κρήτη μέχρι το Βόσπορο, όπου εκεί καμπυλώνεται και αποκτά μια διεύθυνση νοτιοδυτική-βορειοανατολική.

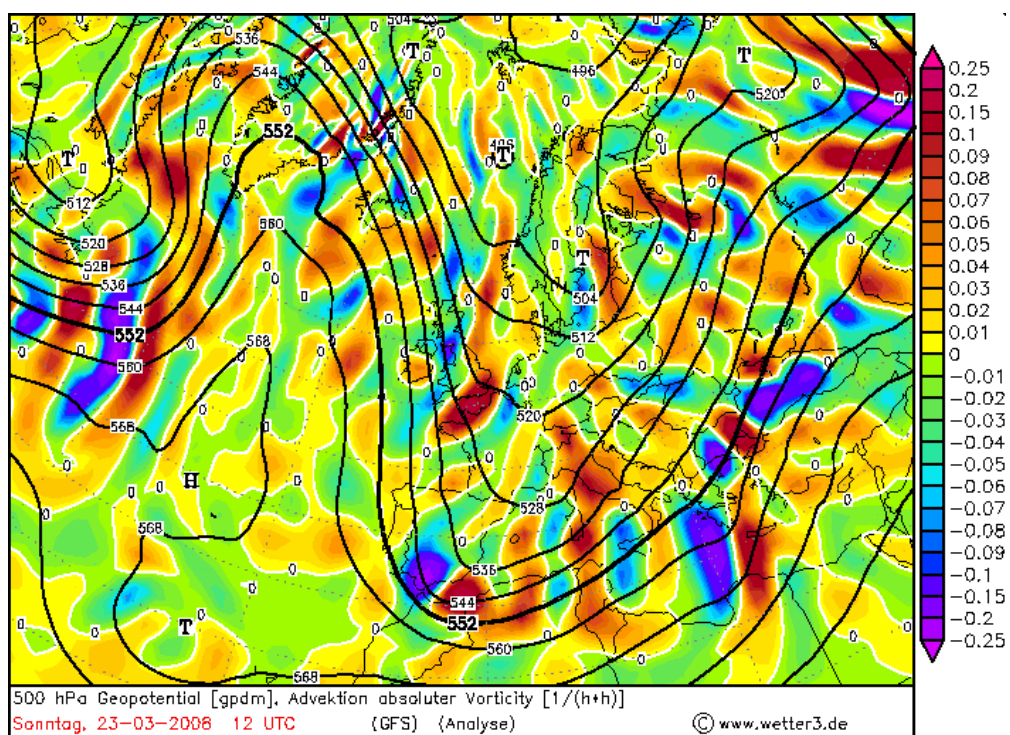


Χάρτης 3.2. Χάρτης θερμοκρασίας στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 23-03-2008 12 UTC

Στον χάρτη ανώτερης ατμόσφαιρας των 500 hPa (Χάρτης 3.2) παρατηρείται ο μεγάλου πλάτους αυλώνας και συγκεκριμένα στο ανατολικό του μέρος φαίνεται ο μειωμένου πλάτους αυλώνας (short-wave trough), που θα δώσει το έναυσμα για την συνοπτική κατάσταση αυτής της μελέτης. Η ροή της ανώτερης ατμόσφαιρας, στην περιοχή μελέτης του φαινομένου, προέρχεται από τα νοτιοδυτικά.



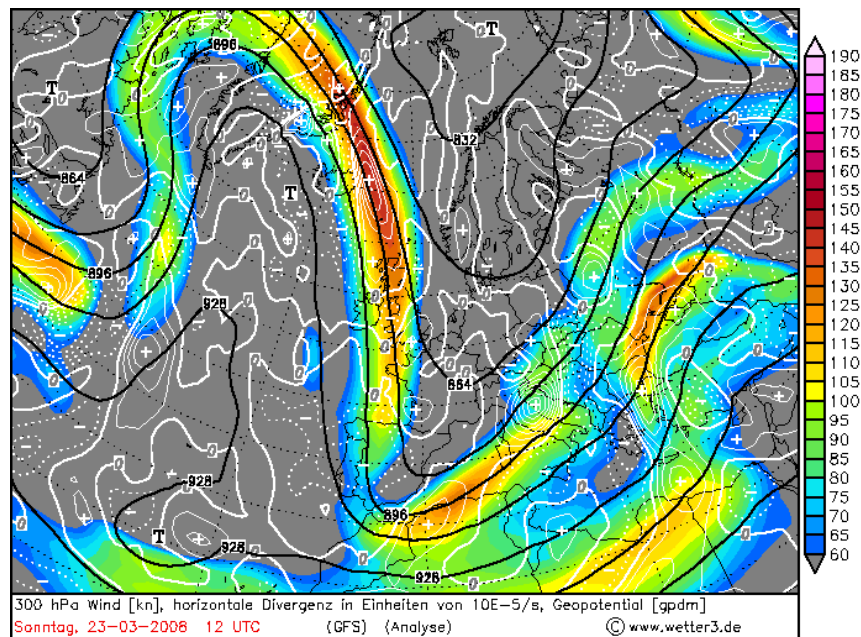
Χάρτης 3.3. Χάρτης κατακόρυφων κινήσεων στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 23-03-2008 12 UTC



Χάρτης 3.4. Χάρτης μεταφοράς στροβιλισμού στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 23-03-2008 12 UTC

Στους παραπάνω χάρτες 3.3 και 3.4, στο ανατολικό σκέλος του αυλώνα μικρού πλάτους, παρατηρείται η μεταφορά θετικού στροβιλισμού [14] και οι έντονες ανοδικές κινήσεις. Αυτά τα δύο στοιχεία μας υποδεικνύουν ότι στην

περιοχή θα λάβει χώρα κακοκαιρία, δηλαδή διαστήματα με βροχόπτωση και μεγάλης έντασης ανέμους.

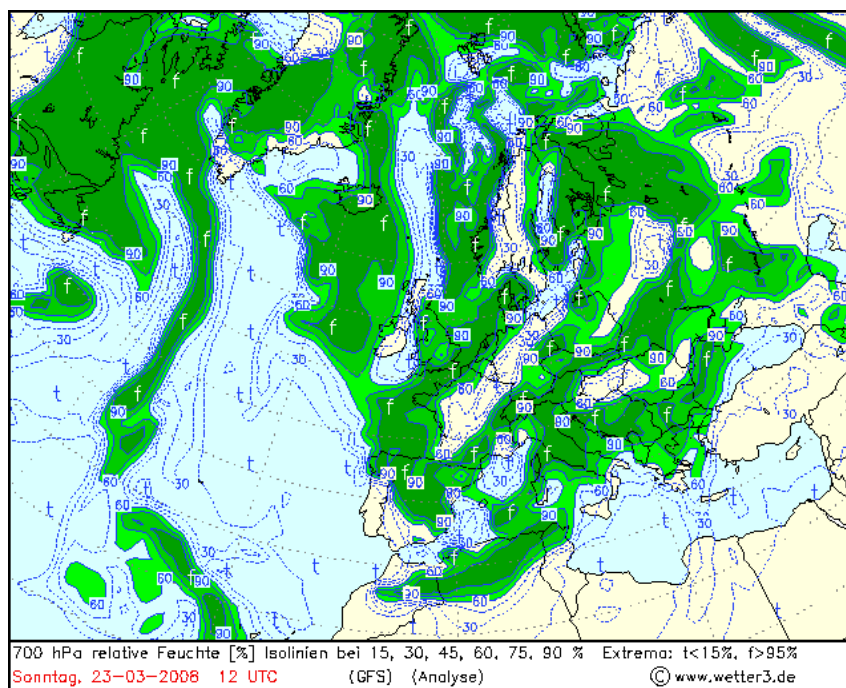


Χάρτης 3.5. Χάρτης ανέμων και απόκλισης αερίων μαζών στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 300 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 23-03-2008 12 UTC

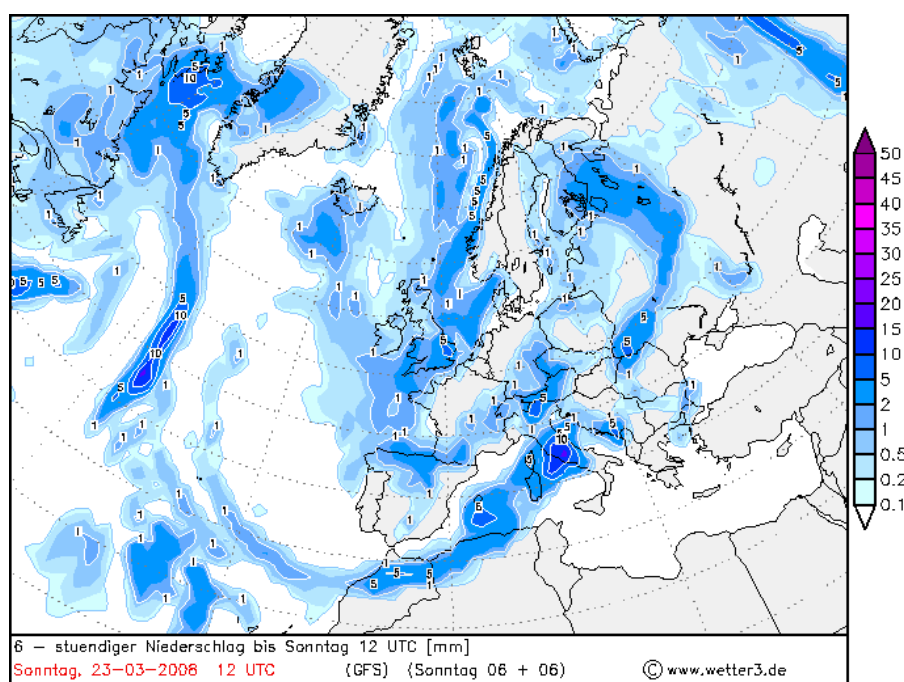
Στον χάρτη 3.5, στην ισοβαρική επιφάνεια των 300 hPa, στο ανατολικό σκέλος του short-wave trough παρατηρείται η ύπαρξη ενός σκέλους του αεροχειμάρρου, το οποίο συμβάλει με τη σειρά του στο σύστημα της κυκλωνογένεσης (Σχήμα 1.1).

Στον χάρτη της σχετικής υγρασίας στα 700 hPa (Χάρτης 3.6), διακρίνεται μία διείσδυση της σχετικής υγρασίας από την περιοχή του Αιγαίου προς τη έρημο Σαχάρα. Αργότερα, στις δορυφορικές φωτογραφίες, αυτή η περιοχή θα επιβεβαιωθεί ως ο αγωγός της ατμοσφαιρικής σκόνης από τη Σαχάρα.

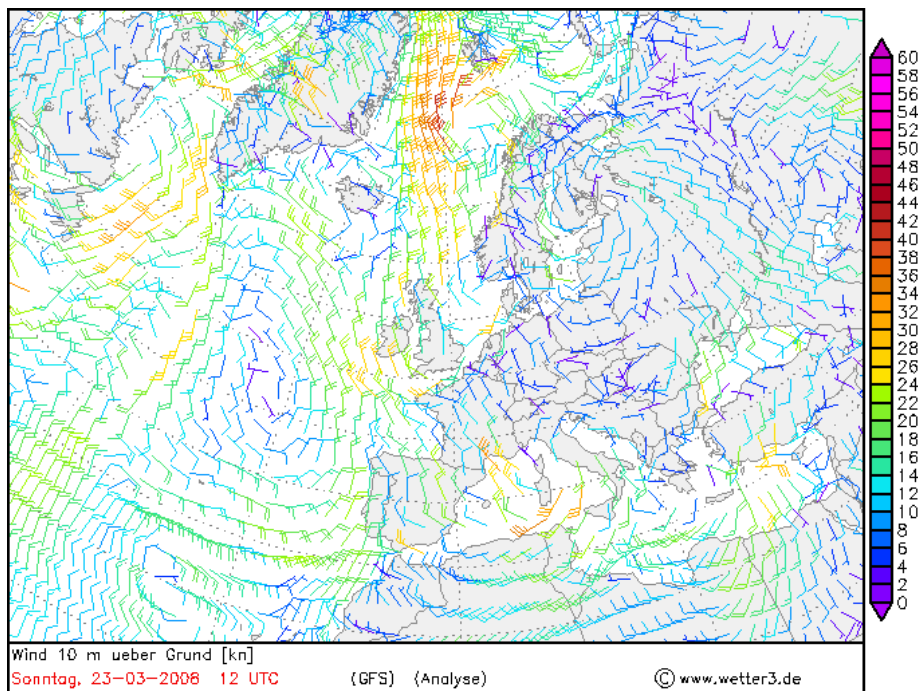
Αξίζει να σημειωθεί ότι η υγρασία αυτή δεν είναι επαρκής για την πρόκληση βροχόπτωσης (Χάρτης 3.7).



Χάρτης 3.6. Χάρτης σχετικής υγρασίας στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 700 hPa.
 Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 23-03-2008 12 UTC



Χάρτης 3.7. Χάρτης ολικής βροχόπτωσης στην επιφάνεια.
 Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός
 23-03-2008 12 UTC

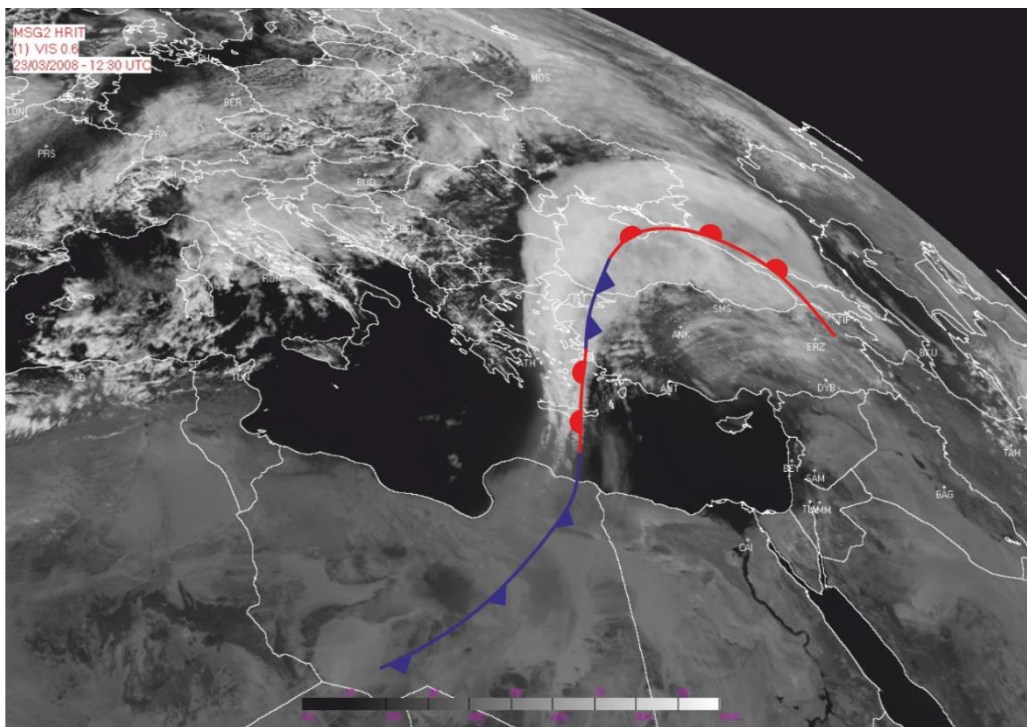


Χάρτης 3.8. Χάρτης έντασης και κατεύθυνσης ανέμων
στο ύψος των 10 μέτρων.
Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 23-03-2008 12 UTC

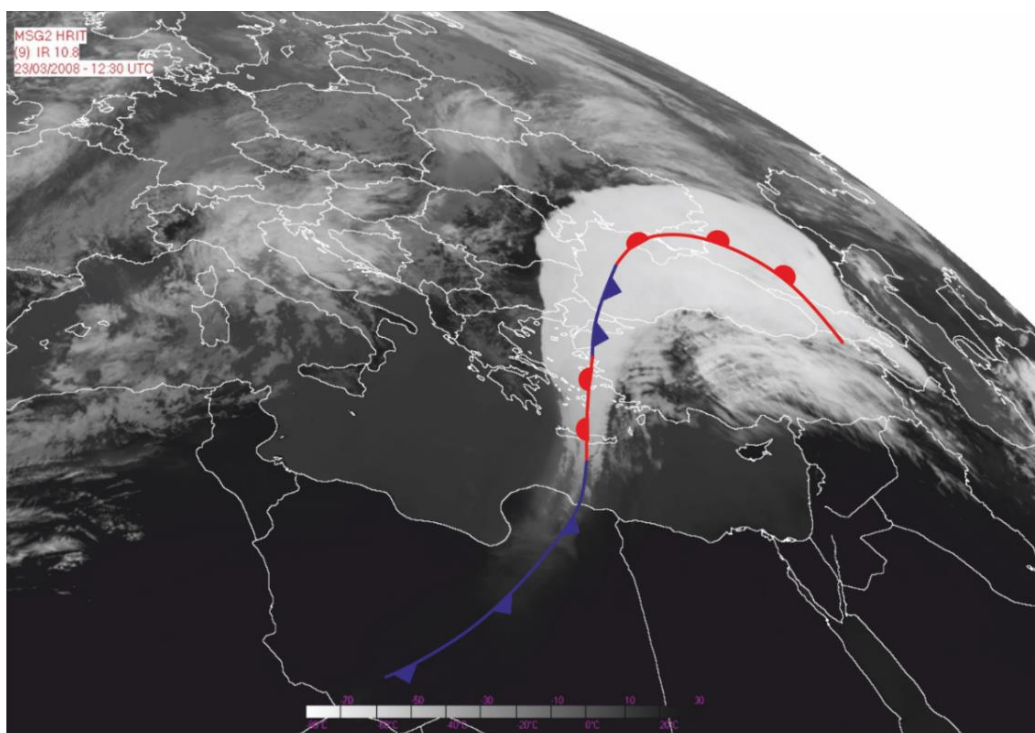
Στον χάρτη επιφανείας των ανέμων (Χάρτης 3.8), παρατηρούνται μεγάλης έντασης νοτιοδυτικοί και νότιοι άνεμοι στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου. Σε εκείνη την περιοχή βρίσκεται και το μέτωπο που κατευθύνεται προς τα ανατολικά (Χάρτης 3.1).

3.2 Ανάλυση Δορυφορικών Εικόνων

Σύμφωνα με τη μελέτη των Duncan Axisa et al. [15] κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν εναέριες μετρήσεις αερολυμάτων πάνω από την ευρύτερη περιοχή της Κωνσταντινούπολης, βγήκαν συμπεράσματα για το πως η ατμοσφαιρική σκόνη που εισρέει μέσα στο νεφικό σχηματισμό επηρεάζει τα κατακρημνίσματα χρονικά και τοπικά. Τα συμπεράσματα θα αναλυθούν στις παρακάτω δορυφορικές εικόνες.

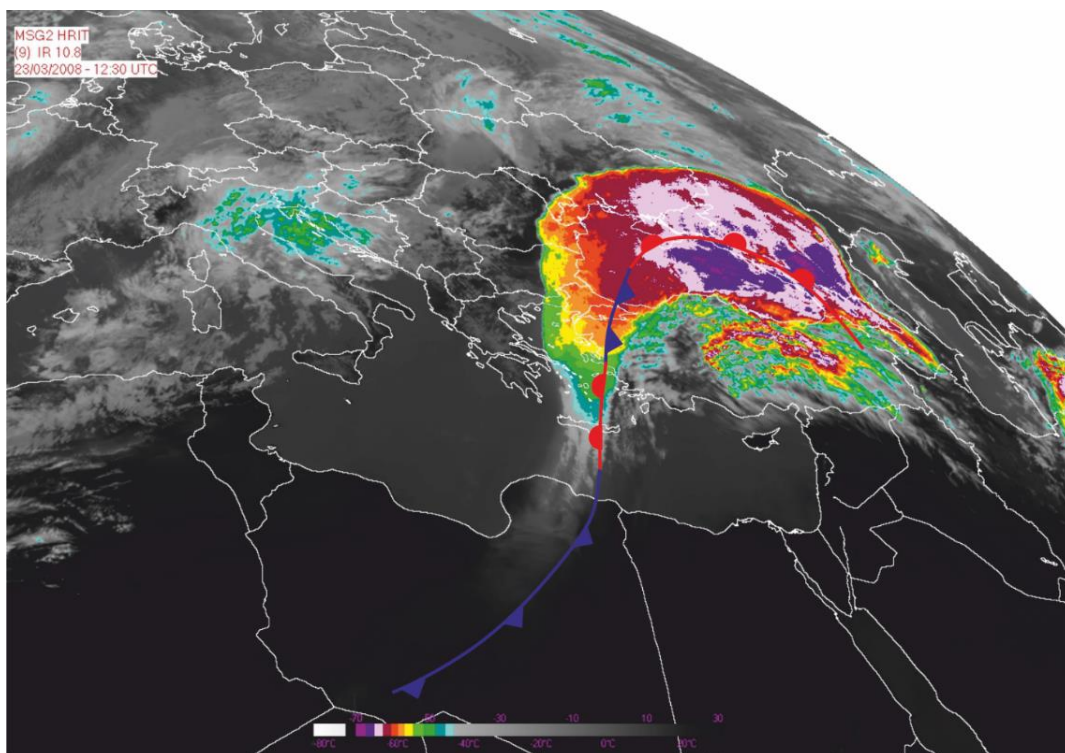


Εικόνα 3.1. Δορυφορική εικόνα (Ορατό 0.6μm).
Μεσόγειος 23-03-2008 12:30 UTC

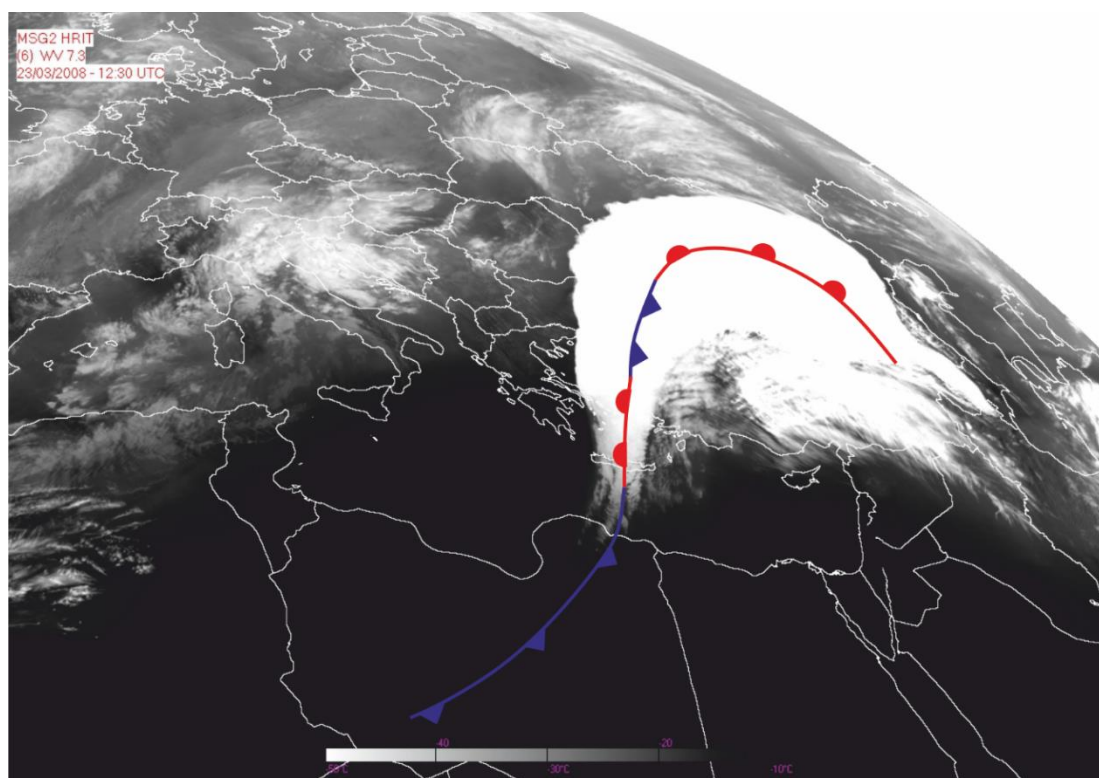


Εικόνα 3.2. Δορυφορική εικόνα (Υπέρυθρο 10,8μm).
Μεσόγειος 23-03-2008 12:30 UTC

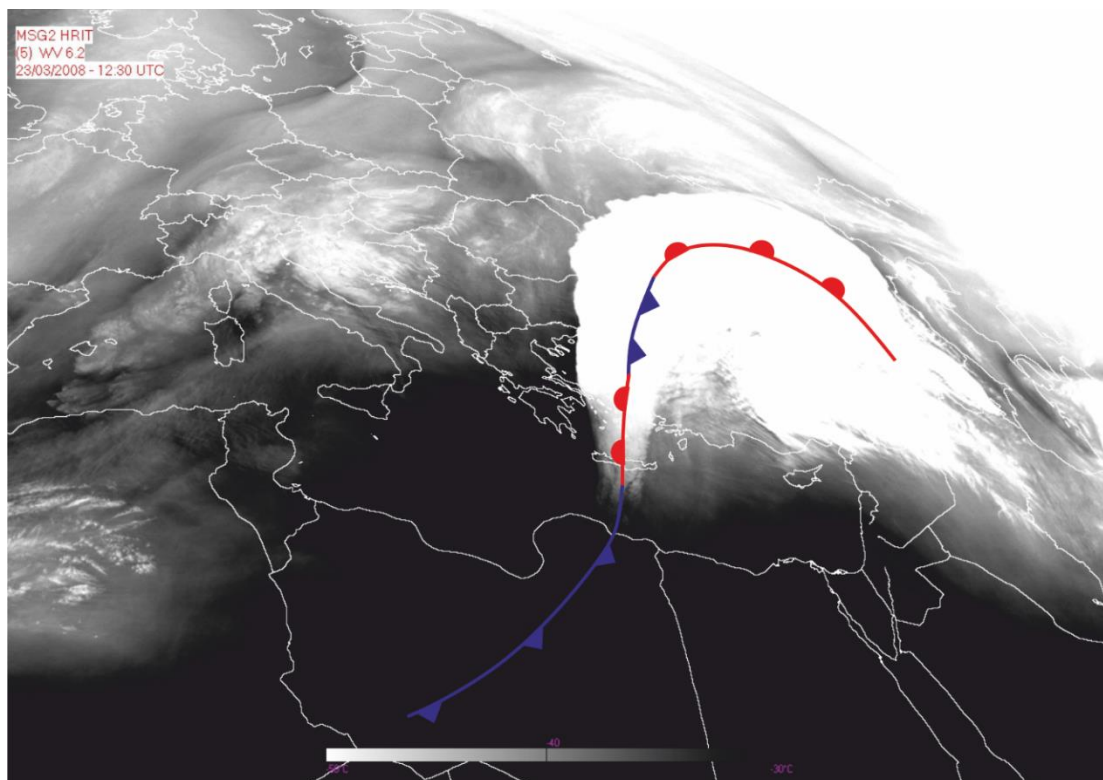
Αναλύοντας τις δορυφορικές εικόνες (Εικόνες 3.1 και 3.2), βλέπουμε μία νεφική ασπίδα με τη θερμή ζώνη μεταφοράς της να εκτείνεται από το Λιβυκό πέλαγος μέχρι τη Μαύρη θάλασσα.



Εικόνα 3.3. Δορυφορική εικόνα με μάσκα επικάλυψης θερμοκρασιών των κορυφών των νεφών (Υπέρυθρο 10.8μm).
Μεσόγειος 23-03-2008 12:30 UTC



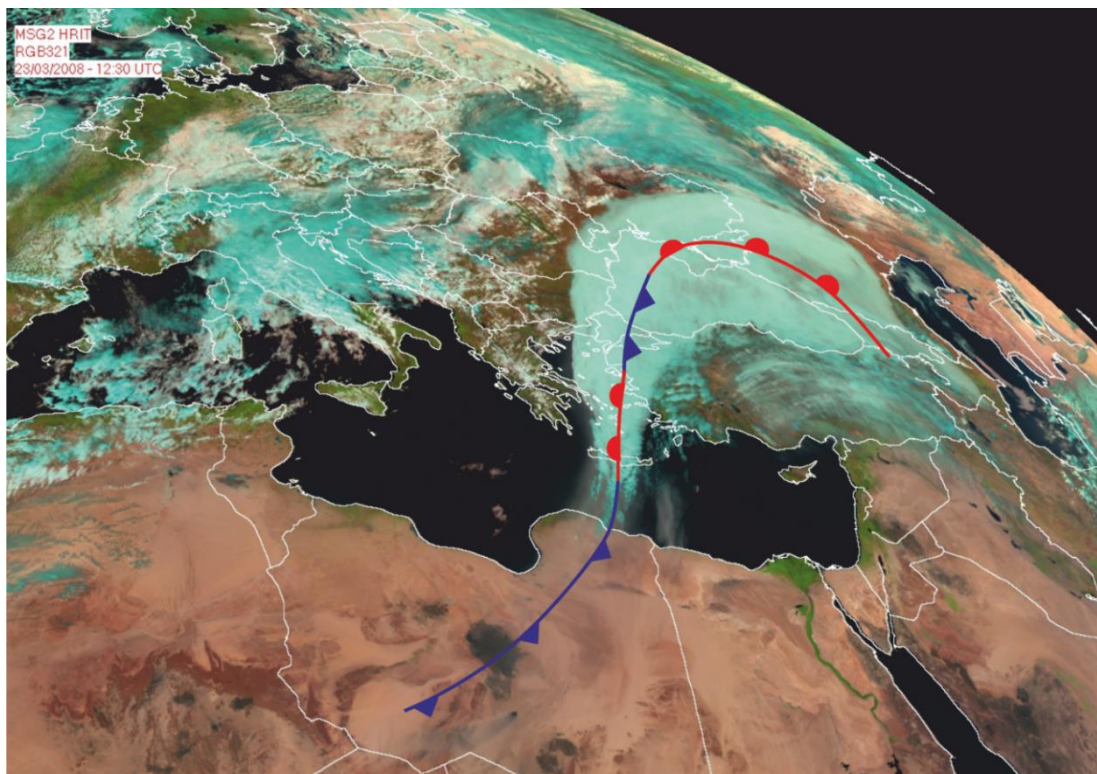
Εικόνα 3.4. Δορυφορική εικόνα (Απορρόφηση υδρατμών 7.3μm).
Μεσόγειος 23-03-2008 12:30 UTC



Εικόνα 3.5. Δορυφορική εικόνα (Απορρόφηση υδρατμών 6.2μm).
Μεσόγειος 23-03-2008 12:30 UTC

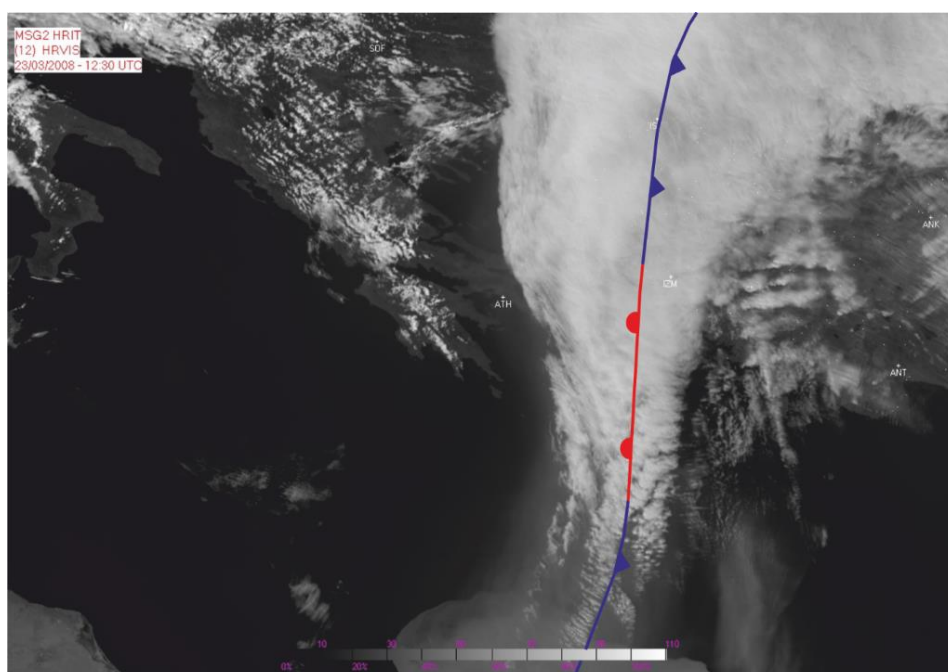
Στις εικόνες 3.3, 3.4 και 3.5 αποδεικνύεται η εισροή του αεροχείμαρρου χαμηλών υψομέτρων (low-level jet) με τη μορφή της θερμής ζώνης μεταφοράς προς μεγαλύτερα υψόμετρα [16].

Αρχικά στην εικόνα 3.3, οι κορυφές των νεφών ανεβαίνουν σε υψόμετρο σταθερά από την περιοχή της Κρήτης όπου αρχίζουν να φαίνονται μέχρι τη νεφική ασπίδα πάνω από τον Εύξεινο Πόντο. Στη συνέχεια, στην εικόνα απορρόφησης υδρατμών των 7.3μm (Εικόνα 3.4), η ορατότητα του δορυφόρου μπορεί να φτάσει μέχρι την επιφάνεια των 550 mb και παρατηρεί τους υδρατμούς που βρίσκονται συγκεκριμένα στην περιοχή των ακτών της Λιβύης, ενώ στο φάσμα απορρόφησης των υδρατμών της εικόνας 3.5, η ορατότητα του δορυφόρου φτάνει περίπου μέχρι την ισοβαρική επιφάνεια των 350 mb και ο δορυφόρος δεν παρατηρεί υγρασία σε αυτό το ύψος πάνω από τις ακτές της Λιβύης. Άρα αυτό αποδεικνύει ότι ο αεροχείμαρρος χαμηλών υψομέτρων ανέρχεται από την περιοχή της Σαχάρας και διεισδύει μέσα στη νεφική ασπίδα τροφοδοτώντας την με θερμότητα, υγρασία, αλλά και σκόνη όπως θα δειχθεί αργότερα.



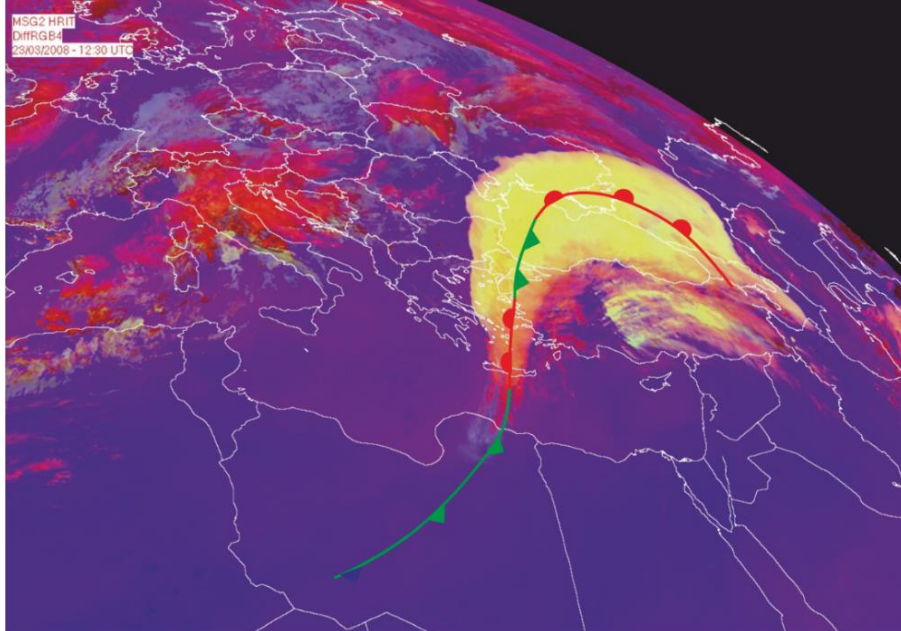
Εικόνα 3.6. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (RGB 3-2-1)
Μεσόγειος 23-03-2008 12:30 UTC

Στην πολυφασματική εικόνα της εικόνας 3.6, φαίνεται με φυσικό χρώμα η σκόνη πάνω από το Λιβυκό πέλαγος. Η σκόνη λαμβάνει χώρα και νοτιότερα, αλλά σε αυτήν την εικόνα δεν φαίνεται καθώς η σκόνη έχει την ίδια απόχρωση με το χρώμα της ερήμου.



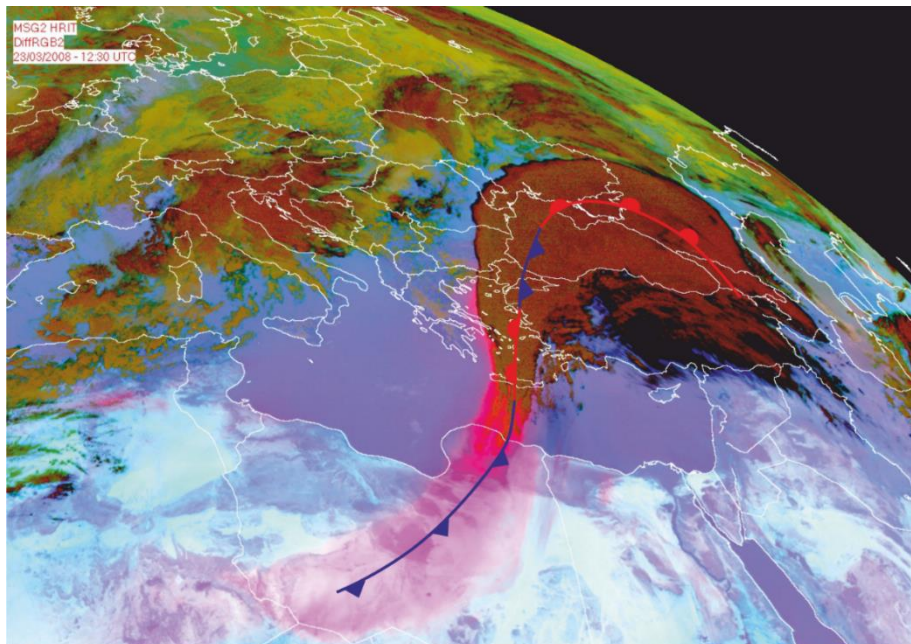
Εικόνα 3.7. Δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης,
Ανατολική Μεσόγειος – Αιγαίο 23-03-2008 12:30 UTC.

Η ευκρινέστερη δορυφορική φωτογραφία της εικόνας 3.7, μας δείχνει ότι τα νέφη είναι σωρειτόμορφα (altocumulus, cumulus congestus και cumulonimbus) και οι κορυφές τους έχουν μεγαλύτερα υψόμετρα καθώς προχωράμε βορειότερα (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.8. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (Καταιγίδες)
Μεσόγειος 23-03-2008 12:30 UTC.

Μία άλλη ένδειξη των κατακόρυφης ανάπτυξης νεφών είναι η εικόνα 3.8, όπου με πορτοκαλοκίτρινο χρώμα σηματοδοτείται η έντονη ανύψωση των νεφών.



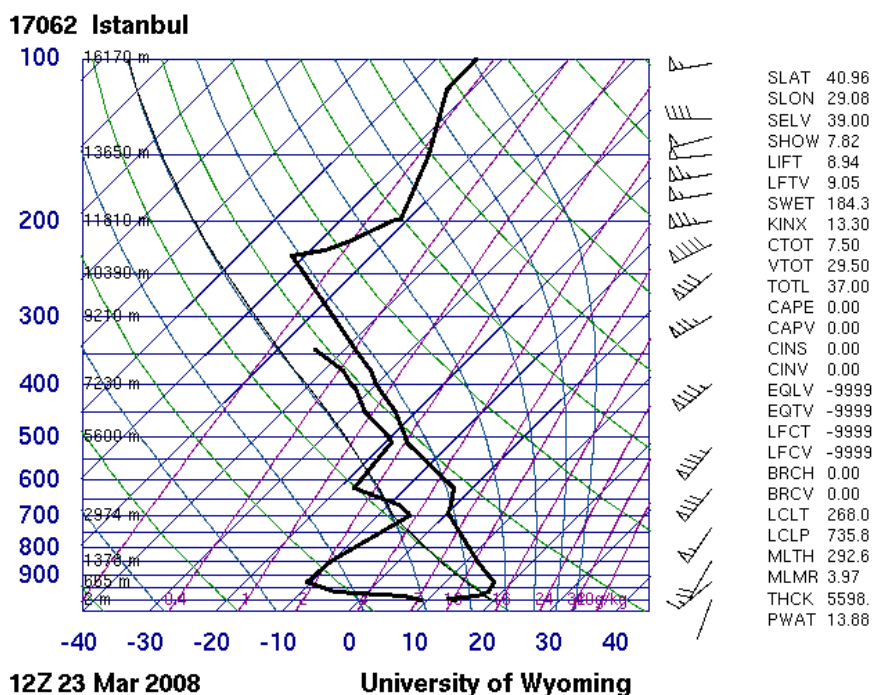
Εικόνα 3.9. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (Ατμοσφαιρική Σκόνη)
Μεσόγειος 23-03-2008 12:30 UTC.

Από τις σημαντικότερες δορυφορικές εικόνες αυτής της ενότητας είναι η δορυφορική φωτογραφία της εικόνας 3.8, όπου αναδεικνύεται πολύ καθαρά η ύπαρξη σκόνης (χρώμα magenta), η οποία εισρέει διαμέσου της ζώνης μεταφοράς μέσα στον κύριο νεφικό σχηματισμό. Σύμφωνα με την εργασία των Duncan Axisa et al. 2008, ένα ερευνητικό αεροσκάφος απογειώθηκε από την περιοχή της Κωνσταντινούπολης στις 12:30 UTC και παρατήρησε ότι, κάτω από τη βάση των νεφών (περίπου 3800 μέτρα υψόμετρο), παρουσιάστηκαν virga με παρουσία παγοκρυστάλλων στους οποίους η ατμοσφαιρική σκόνη λειτούργησε ως πυρήνας συγκέντρωσης. Είναι σίγουρη η παρουσία σκόνης σε αυτό το ύψος γιατί σύμφωνα με την ραδιοβόλιση (Διάγραμμα 3.1) εκείνης της ημέρας, ο αεροχείμαρρος χαμηλών υψομέτρων, που είναι ο αγωγός της ατμοσφαιρικής σκόνης, παρατηρείται σε αυτό το ύψος με ταχύτητα 85 κόμβων και κατεύθυνση 220° όπως αναφέρθηκε και στο χάρτη 3.2

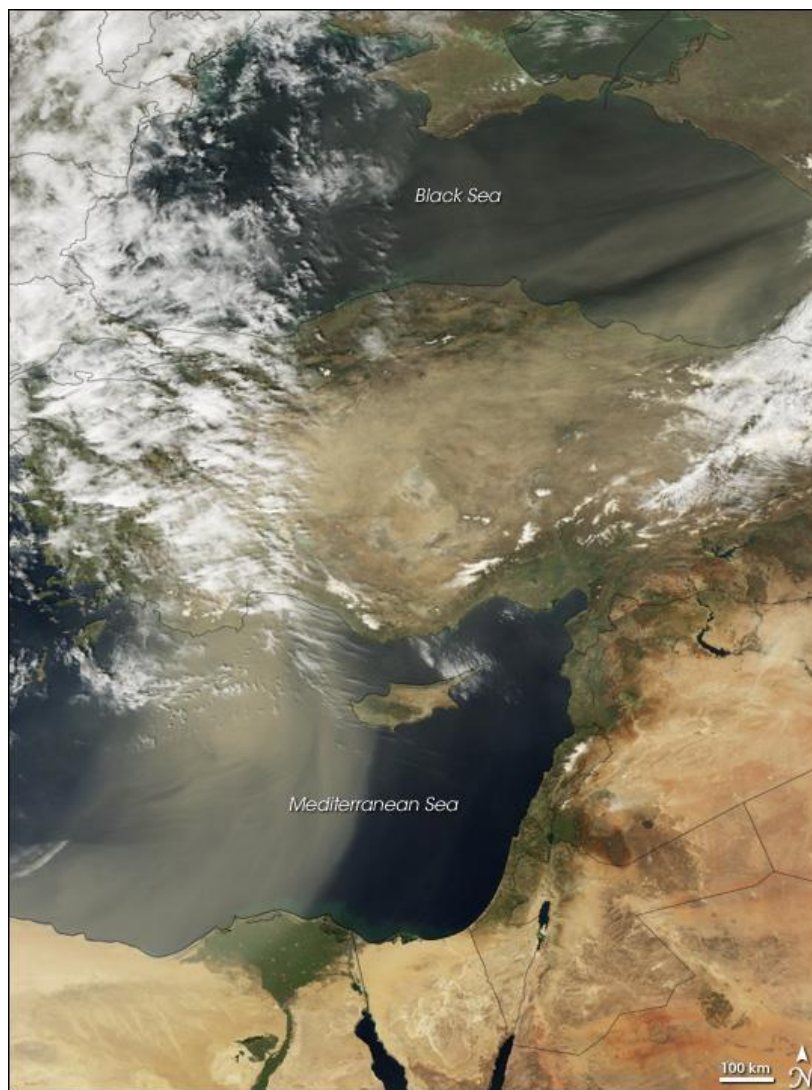


2008_03_221600-240800_m9_rgb_dust_loop.mpg

Βίντεο 3.1. Πρόοδος του φαινομένου από τις 22 μέχρι τις 24 Μαρτίου (Ατμοσφαιρική Σκόνη).
Ανατολική Μεσόγειος 23-03-2008
(Διπλό κλικ στο εικονίδιο για άνοιγμα)



Διάγραμμα 3.1. Ραδιοβόλιση Κωνσταντινούπολης (Διάγραμμα skew-T)
23-03-2008 12 UTC



Εικόνα 3.10. Δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης (true color) από το δορυφόρο πολικής τροχιάς Terra με το όργανο Modis της Nasa. Ανατολική Μεσόγειος – Εύξεινος Πόντος 24-03-2008

Στην προηγούμενη φωτογραφία (Εικόνα 3.10) του πολικού δορυφόρου Terra της Nasa, φαίνεται πως την επόμενη μέρα από αυτήν που έγινε η μελέτη (δηλ. στις 24/03/2008), η διαδρομή της σκόνης έφτανε μέχρι τη Μαύρη θάλασσα όπως υπέθεταν και οι προηγούμενες δορυφορικές εικόνες.

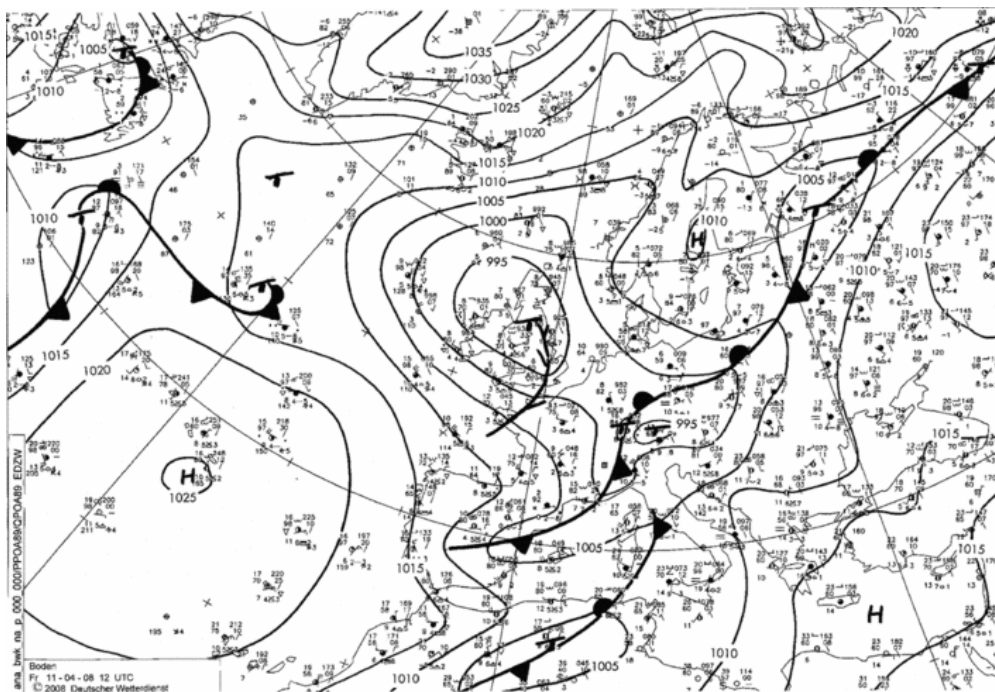
3.3 Συμπεράσματα

Εν κατακλείδι, στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και του Εύξεινου Πόντου λαμβάνει χώρα μία ύφεση η οποία σχηματίζει μία νεφική ασπίδα με διακριτή τη θερμή ζώνη μεταφοράς και την ζώνη παραμόρφωσής της [17]. Μέσω της ζώνης μεταφοράς όπου ξεκινά από την περιοχή της ερήμου Σαχάρας, με τη βοήθεια του αεροχειμάρρου χαμηλού υψομέτρου, βαθμιαία ανέρχεται σκόνη περίπου στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 600 hPa και στη συνέχεια εισέρχεται μέσα στο νεφικό σχηματισμό όπου και λειτουργεί ως πυρήνας συμπύκνωσης των υδροσταγονιδίων, προκαλώντας παράλληλα τη δημιουργία λασποβροχών όπως αναφέρθηκε σε σταθμούς στην Βουλγαρία και την Τουρκία. Την επόμενη μέρα (24/3/2008) καθώς έχει εξασθενίσει ο αυλώνας μικρού μήκους κύματος, διαλύεται η νέφωση, αλλά παραμένει η ατμοσφαιρική σκόνη, η οποία έχει φτάσει μέχρι τη Σιβηρία.

4. Ορογραφικά νέφη

Στις 11 Απριλίου του 2008, στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου κάνει την εμφάνισή του ένας επιμήκης νεφικός σχηματισμός που ξεκινά από το ηφαίστειο της Αίτνας της νήσου Σικελίας και εκτείνεται ανατολικά μέχρι το Ιόνιο πέλαγος. Επίσης, ο νεφικός αυτός σχηματισμός παρουσιάζει έντονες κατακόρυφες κινήσεις. Σκοπός της μελέτης της συγκεκριμένης περίπτωσης είναι η εξακρίβωση αν το νέφος αυτό προκλήθηκε από ηφαιστειακή έκρηξη της Αίτνας ή από ορογραφικά νέφη [18] που προκλήθηκαν από τη γενική ροή της μέσης τροπόσφαιρας σε συνάρτηση με την μορφολογία της Αίτνας ή από κάποια συνοπτική κατάσταση (μέτωπο, ύφεση) που επικρατούσε στην περιοχή.

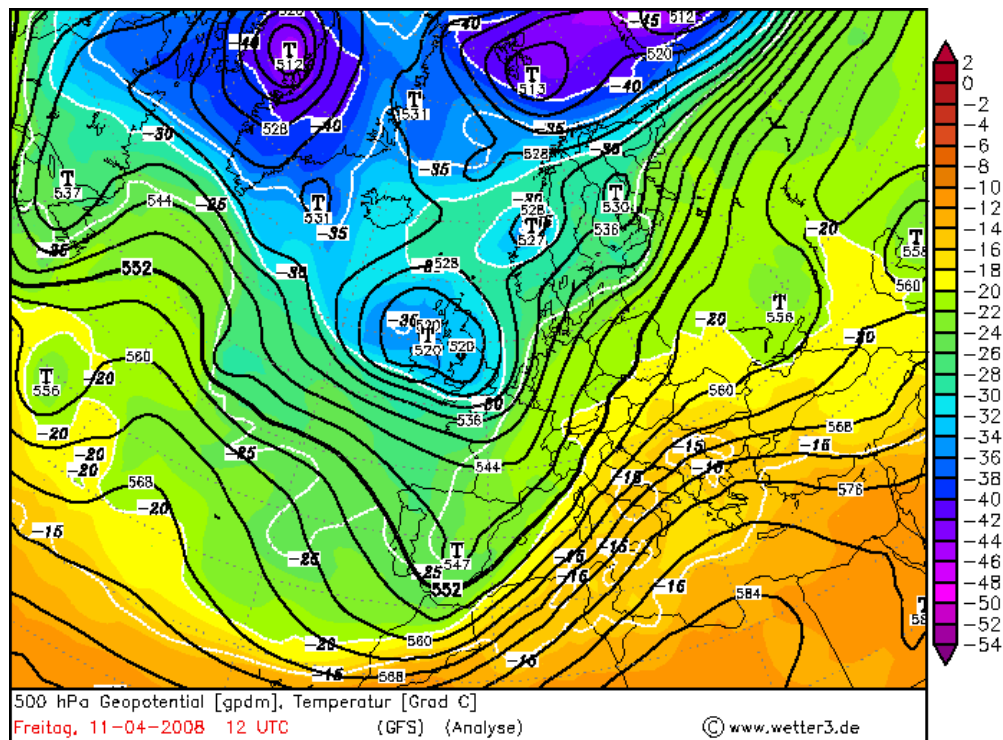
4.1 Ανάλυση Χαρτών



Freitag, 11-04-2008 12 UTC (C) 2008 Deutscher Wetterdienst

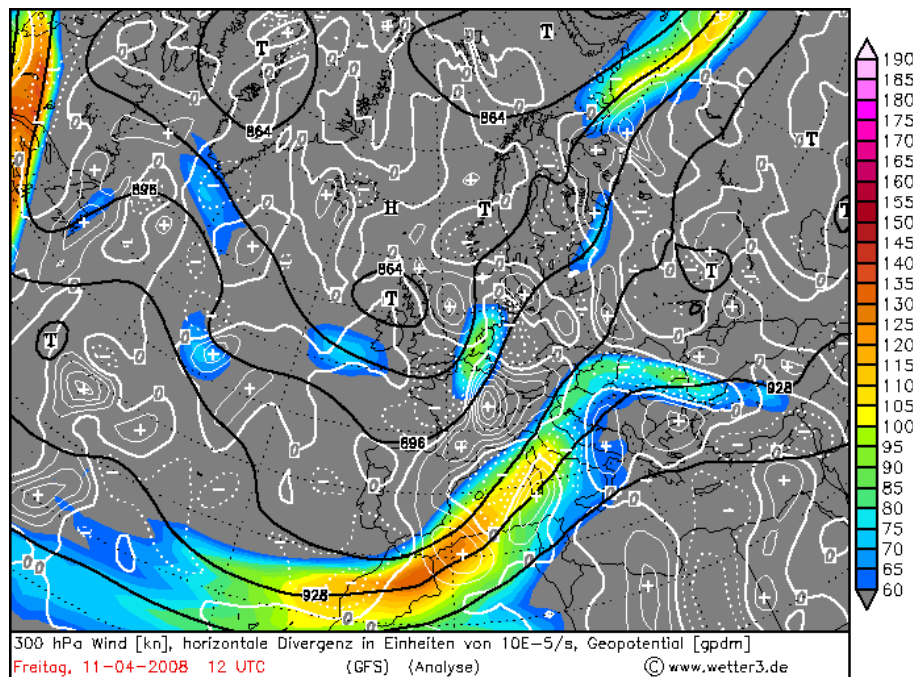
Χάρτης 4.1. Συνοπτικός χάρτης επιφανείας.
Ευρώπη - βόρειος Ατλαντικός 11-04-2008 12 UTC.

Στο συνοπτικό χάρτη επιφανείας (Χάρτης 4.1) παρατηρείται ένα χαμηλό βαρομετρικό στην περιοχή της Αλγερίας, όπου βορειοανατολικά του εκτείνεται ένα θερμό μέτωπο που μεταβαίνει σε ψυχρό και φτάνει μέχρι την κεντρική Ιταλία. Επίσης, στην ανατολική Μεσόγειο, υπάρχει ένα υψηλό βαρομετρικό και στην περιοχή των Αζορών νήσων ένα ακόμη υψηλό, το οποίο είναι πιο έντονο και φτάνει μέχρι τα 1026 hPa. Στην περιοχή μελέτης όπου βρίσκεται ο νεφικός σχηματισμός που αναφέρθηκε παραπάνω, δεν παρατηρείται κάποιο μέτωπο ή χαμηλό που μπορεί να προκαλέσει κάποια νέφωση. Επίσης, η ένταση των ανέμων είναι χαμηλή και η κατεύθυνσή τους μεταβλητή.



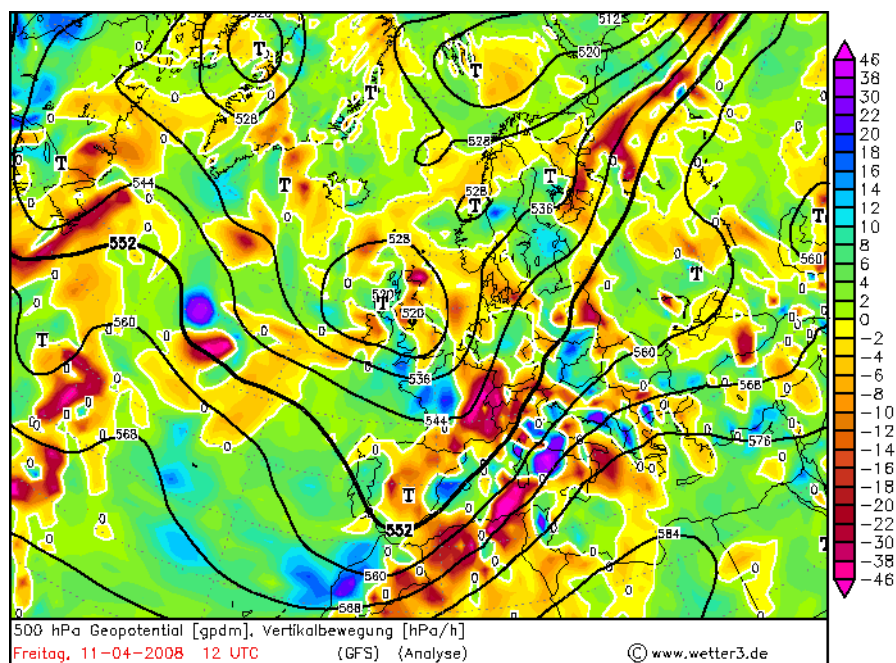
Χάρτης 4.2. Χάρτης θερμοκρασίας στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 11-04-2008 12 UTC

Στο χάρτη ανώτερης ατμόσφαιρας των 500 hPa (Χάρτης 4.2) η περιοχή μελέτης βρίσκεται κάτω από την έντονη κυκλοφορία (υψηλές ταχύτητες) της ατμόσφαιρας με κατεύθυνση ανέμων από τα νοτιοδυτικά. Ακόμη, βρίσκεται κοντά στη ζώνη θετικού στροβιλισμού [19] που υπάρχει λόγω της παρουσίας του αυλώνα στη δυτική Ευρώπη.



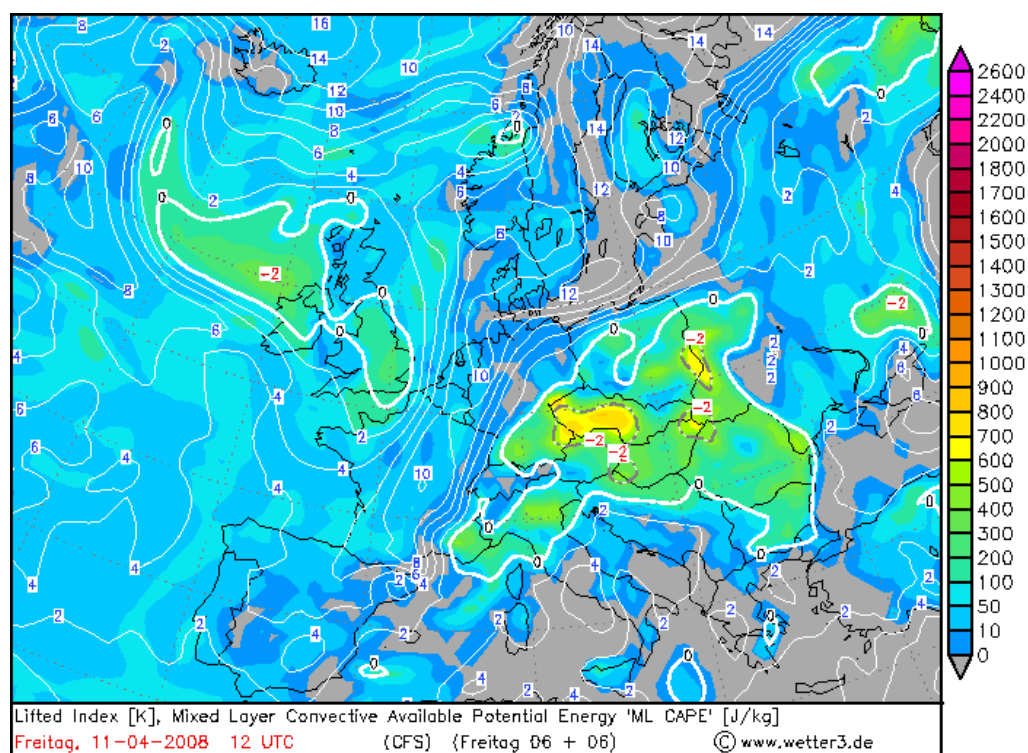
Χάρτης 4.3. Χάρτης ανέμων και απόκλισης αερίων μαζών στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 300 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 11-04-2008 12 UTC

Όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες περιπτώσεις, η περιοχή δεξιά και πάνω του αεροχειμάρρου, στην έξοδό του δηλαδή, παρουσιάζει καθοδικές κινήσεις (Σχήμα 1.1). Όμως, όπως παρουσιάζεται στο χάρτη της θέσης του αεροχειμάρρου, η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε μία ζώνη με μηδενικές κατακόρυφες κινήσεις. Αυτό δείχνει μία ευστάθεια στη ανώτερη και μέση τροπόσφαιρα.



Χάρτης 4.4. Χάρτης κατακόρυφων κινήσεων στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 11-04-2008 12 UTC

Η ευστάθεια επιβεβαιώνεται και από το χάρτη 4.4, στον οποίο οι κατακόρυφες κινήσεις δείχνονται εξίσου μηδενικές.

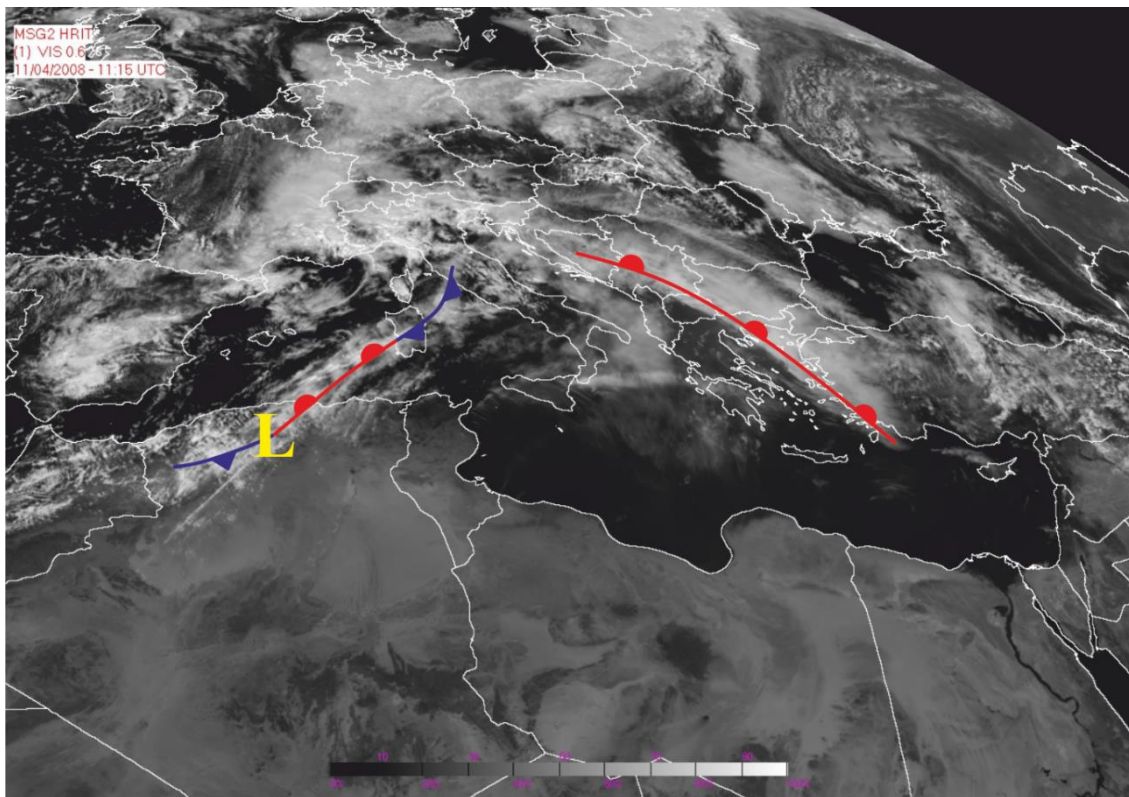


Χάρτης 4.4. Χάρτης δείκτη CAPE.
Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός, 11-04-2008 12 UTC

Μία επιπρόσθετη ένδειξη είναι ο δείκτης CAPE (Χάρτης 4.4). Σε αυτό το χάρτη δεν υπάρχει ένδειξη για άνοδο αερίων μαζών λόγω κάποιου θερμικού αιτίου καθώς η διαθέσιμη δυνητική ενέργεια για την πρόκληση καταιγίδας ή καταιγίδων είναι ελάχιστη έως μηδενική.

Έτσι με τις παραπάνω αποδείξεις, αποκλείεται το ενδεχόμενο για την ύπαρξη κάποιου συνοπτικού (μέτωπο, ύφεση) ή θερμικού αιτίου.

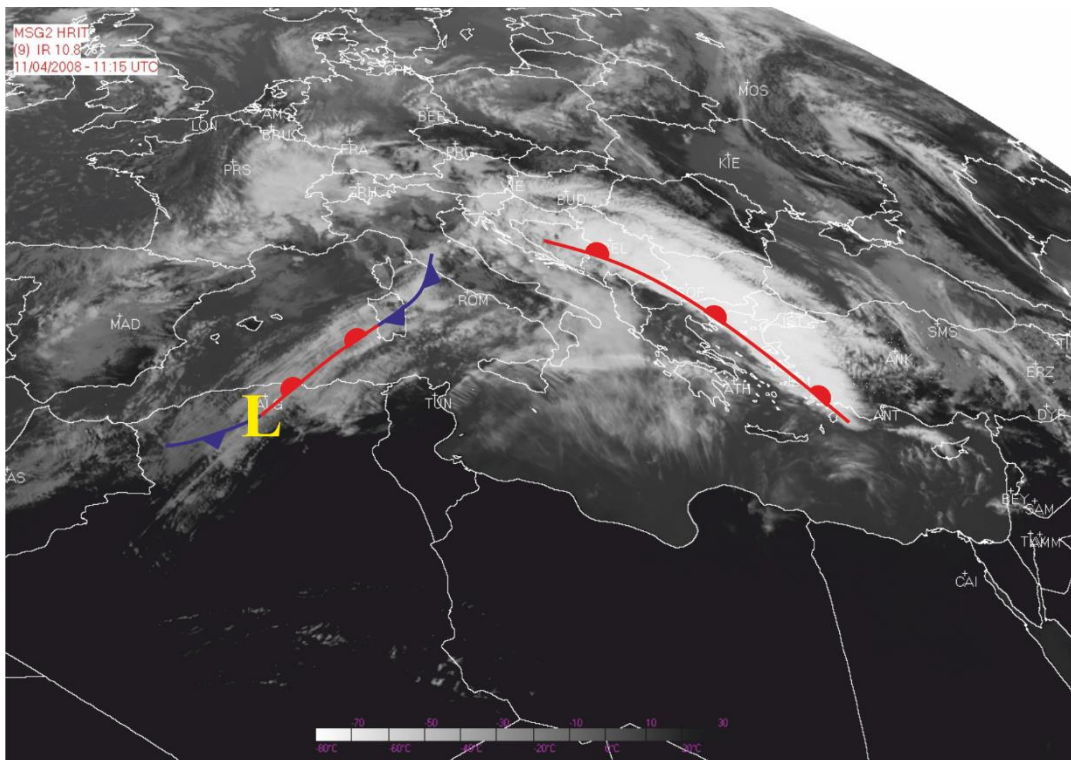
4.2 Ανάλυση Δορυφορικών Εικόνων



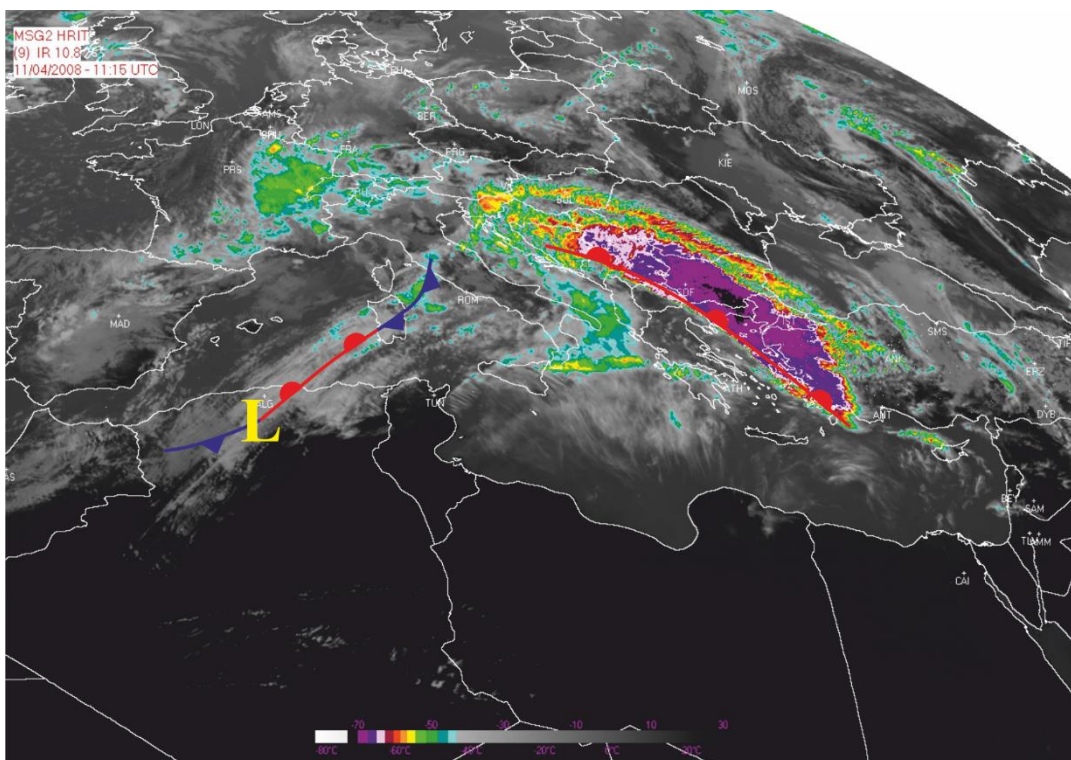
Εικόνα 4.1. Δορυφορική εικόνα (Ορατό 0.6μm).
Μεσόγειος, 11-04-2008 11:15 UTC

Στην πρώτη δορυφορική εικόνα (Εικόνα 4.1) εμφανίζεται ένα μέτωπο που δεν παρουσιάζεται στο χάρτη επιφανείας (Χάρτης 4.1). Είναι ένα θερμό μέτωπο που εκτείνεται από τα βορειοδυτικά Βαλκάνια μέχρι τα Δωδεκάνησα. Κυρίως φαίνεται ο επιμήκης νεφικός σχηματισμός της μελέτης. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, ξεκινά περίπου από την περιοχή της Αίτνας και φτάνει μέχρι το Ιόνιο πέλαγος με μήκος 450km και πλάτος περίπου 40km.

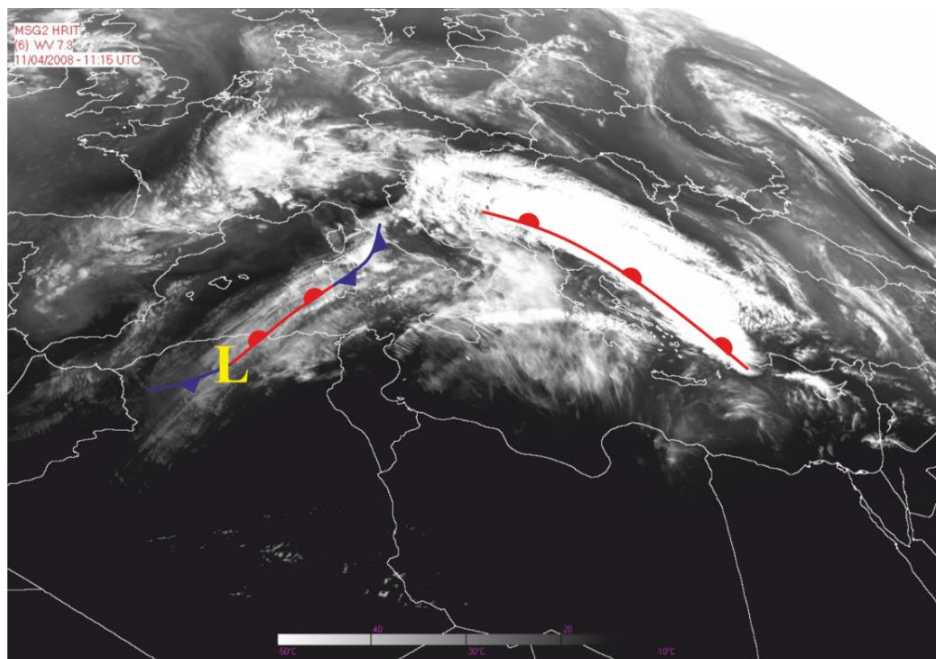
Στο φάσμα του υπερύθρου (Εικόνα 4.2) φαίνεται πως ο νεφικός σχηματισμός αποκτά λίγο μεγαλύτερα ύψη από τα περιβάλλοντα νέφη, αλλά όχι ουσιαστική διαφορά (Εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.2. Δορυφορική εικόνα (Υπέρυθρο 10.8μm).
Μεσόγειος 11-04-2008 11:15 UTC

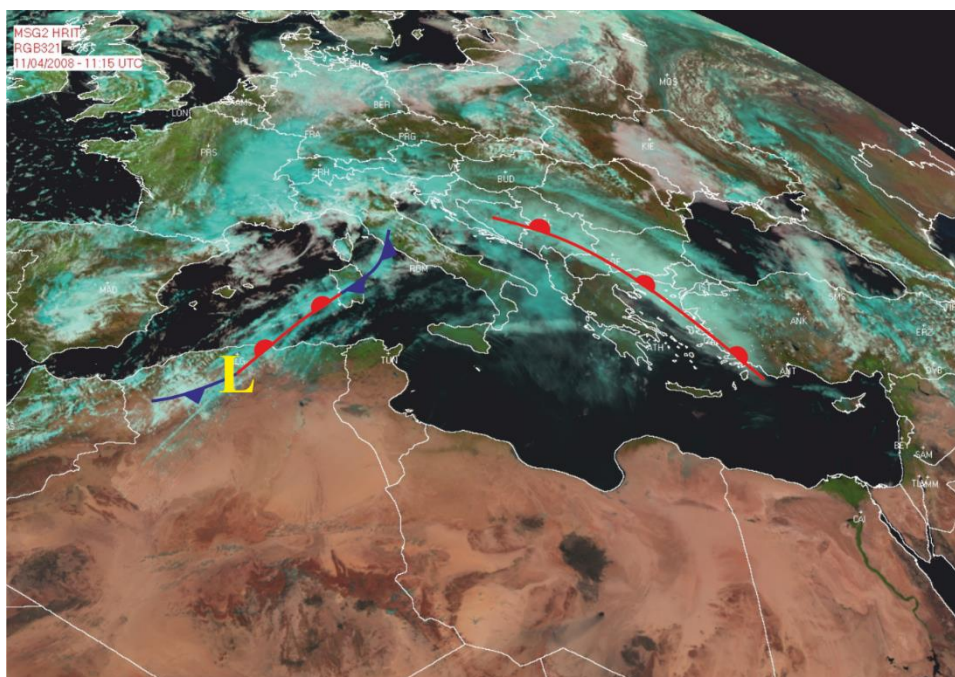


Εικόνα 4.3. Δορυφορική εικόνα με μάσκα επικάλυψης θερμοκρασιών
των κορυφών των νεφών (Υπέρυθρο 10,8μm).
Μεσόγειος 11-04-2008 11:15 UTC



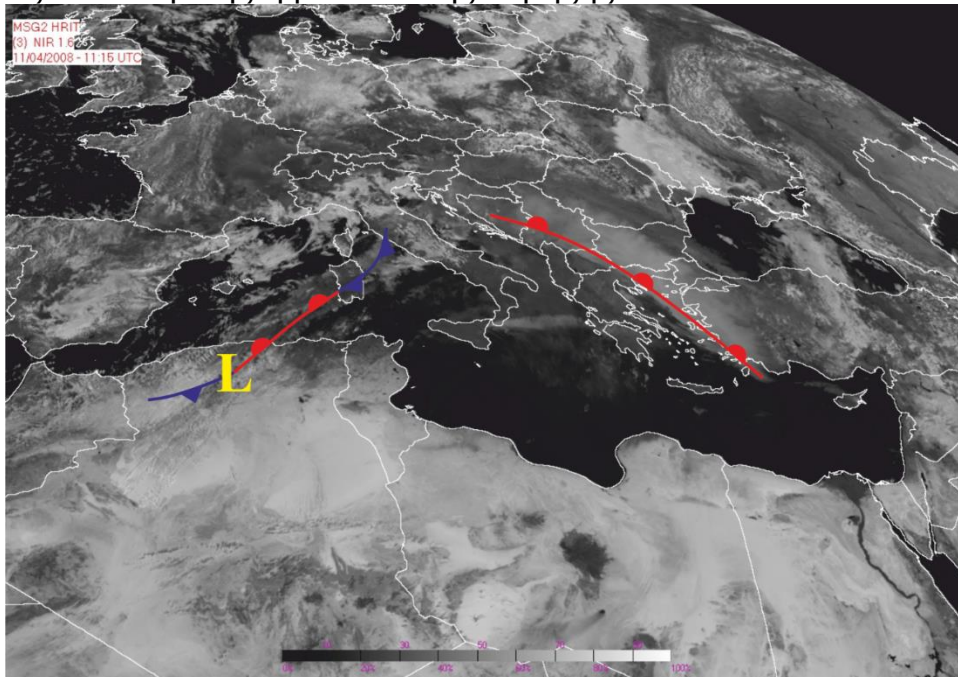
Εικόνα 4.4. Δορυφορική εικόνα (Απορρόφηση υδρατμών 7.3μm).
Μεσόγειος 11-04-2008 11:15 UTC

Στη δορυφορική φωτογραφία του φάσματος απορρόφησης υδρατμών με μήκος κύματος 7.3μm (Εικόνα 4.4), παρατηρείται ότι ο επιμήκης νεφικός σχηματισμός στο ύψος της μέσης τροπόσφαιρας, έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση υδρατμών από τα περιβάλλοντα νέφη, γεγονός που είναι υπέρ της ηφαιστειακής έκρηξης καθώς τα αέρια του ηφαιστείου είναι πλούσια σε υδρατμούς.

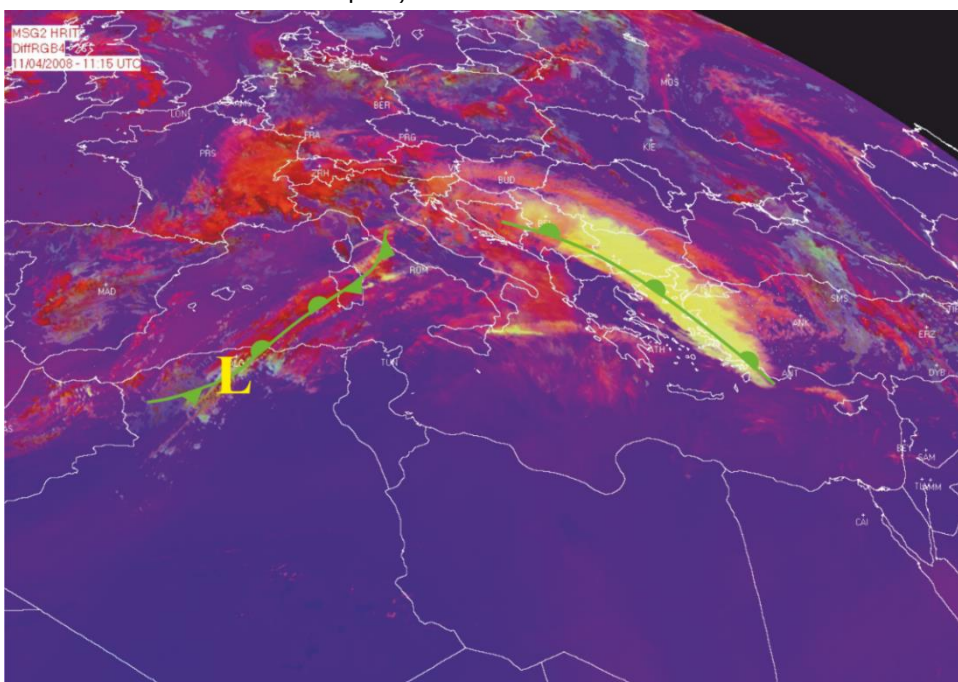


Εικόνα 4.5. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (RGB 3-2-1)
Μεσόγειος 11-04-2008 11:15 UTC

Στην πολυφασματική εικόνα (RGB 3-2-1) το νέφος της μελέτης έχει μεγαλύτερη φωτεινότητα (ανακλαστικότητα) πράγμα που οφείλεται στο κανάλι 3 με μήκος κύματος 1.6μm (Εικόνα 4.6). Σε αυτό το μήκος κύματος, οι παγοκρύσταλλοι απορροφούν περισσότερο φως και τα νέφη που τους περιέχουν είναι πιο σκοτεινά. Άρα ο νεφικός σχηματισμός της μελέτης περιλαμβάνει υδροσταγονίδια. Επομένως, είναι πιο θερμός, πράγμα που δηλώνει ξανά υπέρ της ηφαιστειακής έκρηξης.

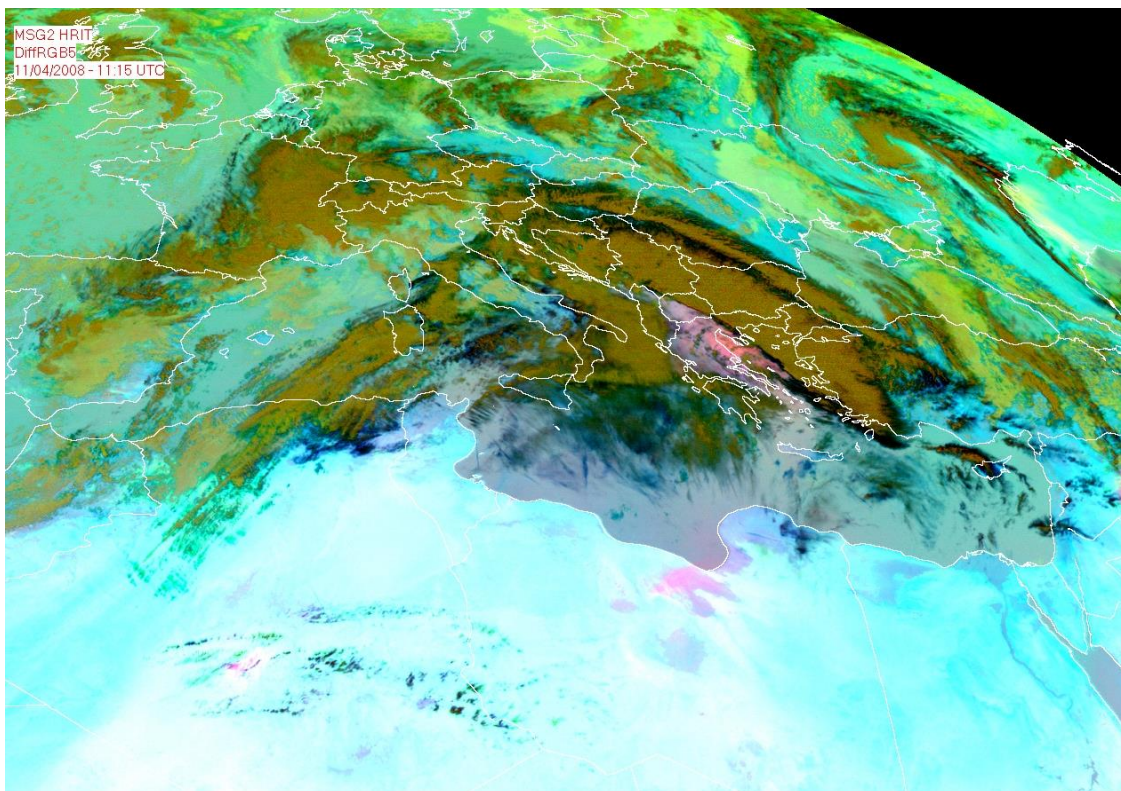


Εικόνα 4.6. Δορυφορική εικόνα (Κοντινό Υπέρυθρο 1.6μm).
Μεσόγειος 11-04-2008 11:15 UTC



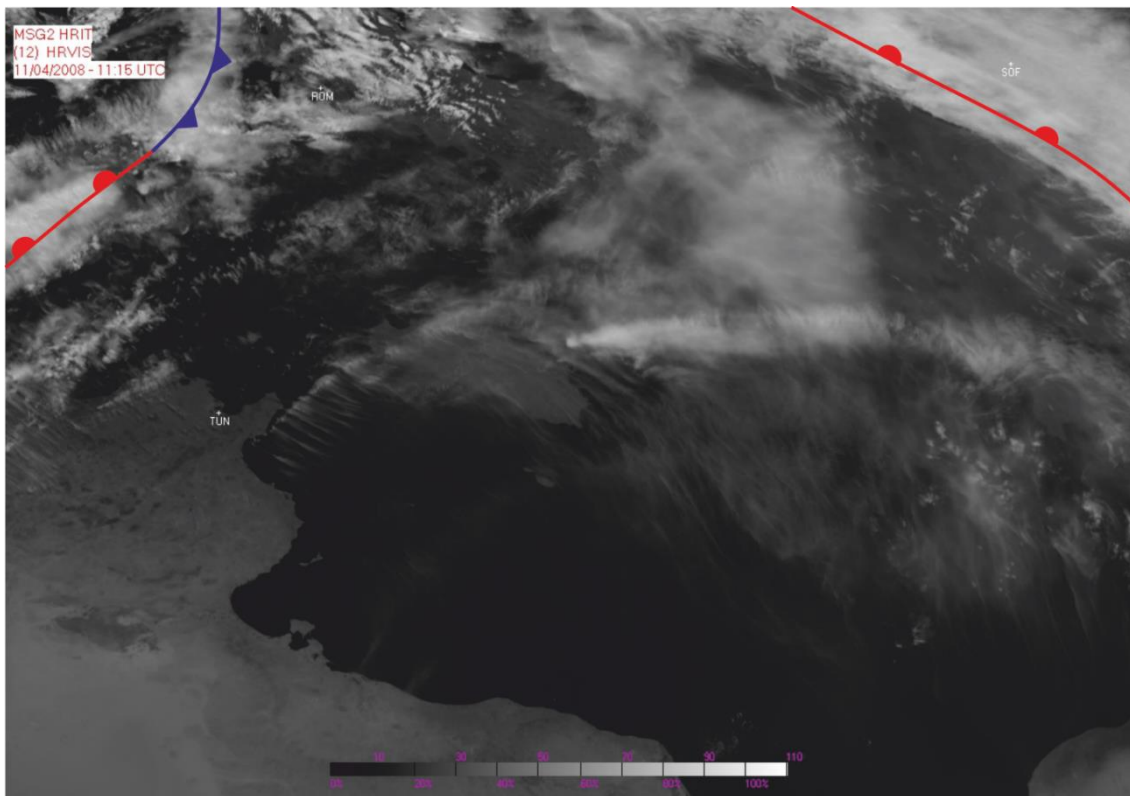
Εικόνα 4.7. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (Καταιγίδες)
Μεσόγειος 11-04-2008 11:15 UTC.

Μία από της σημαντικότερες δορυφορικές εικόνες της μελέτης της περίπτωσης είναι η πολυφασματική φωτογραφία της εικόνας 4.7. Σε αυτή τη φωτογραφία φαίνονται οι έντονες κατακόρυφες κινήσεις στο νέφος (πορτοκαλοκίτρινα χρώματα). Αυτή η εικόνα ήταν που δημιούργησε το ερώτημα για το αν το νέφος προκλήθηκε από ηφαιστειακή έκρηξη ή από ορογραφικά νέφη. Με τη βοήθεια της εικόνας 4.3 υποδεικνύεται ότι το νέφος φτάνει μέχρι το ύψος των 10 με 11 χιλιομέτρων καθώς η θερμοκρασία του κυμαίνεται γύρω στους -55°C . Αυτό το στοιχείο είναι υπέρ των ορογραφικών νεφών καθώς μία έκρηξη που θα εκτίναζε μία ηφαιστειακή στήλη ως το ύψος των 10-11 χιλιομέτρων θα είχε καταγραφεί.



Εικόνα 4.8. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (Ηφαιστειακή στάχτη)
Μεσόγειος 11-04-2008 11:15 UTC.

Μία άλλη ένδειξη υπέρ των ορογραφικών νεφών είναι η απουσία ηφαιστειακής στάχτης (Εικόνα 4.8). Αν παρουσιαζόταν στάχτη, τότε στην περιοχή μελέτης θα υπήρχε ένα πορτοκαλοκόκκινο χρώμα.



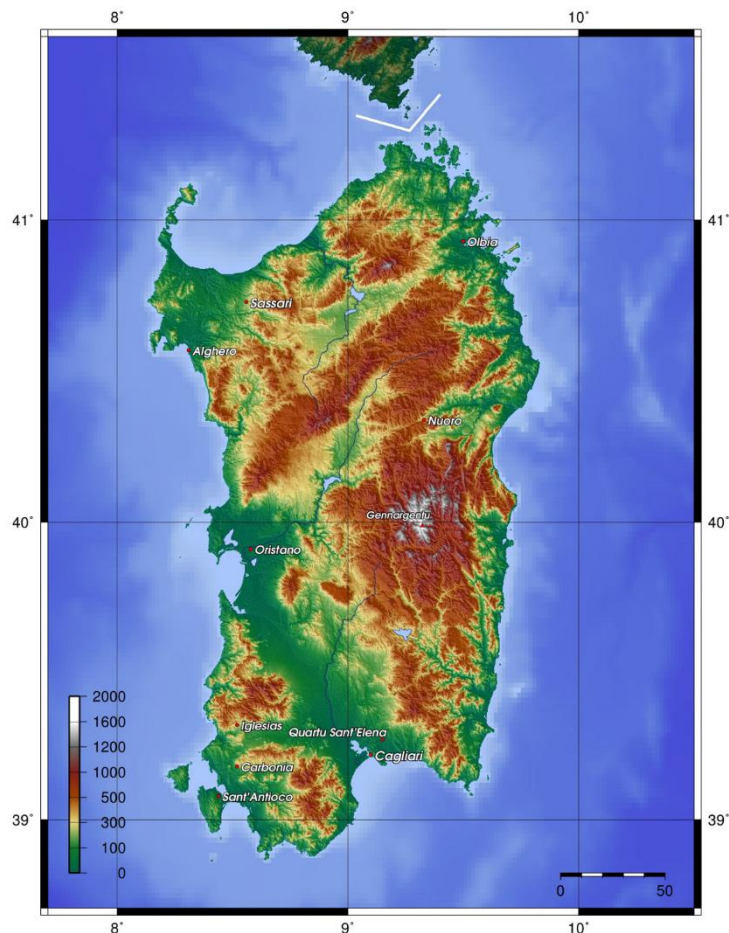
Εικόνα 4.9. Δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης.
Κεντρική Μεσόγειος 11-04-2008 11:15 UTC.



2008_04_11_0530-1230_m9_rgb_convection_loop.mpg

Βίντεο 4.1. Πρόοδος του φαινομένου με πολυφασματικές εικόνες (Κатаιγίδες).
Κεντρική Μεσόγειος 11-04-2008
(Διπλό κλικ στο εικονίδιο για άνοιγμα)

Στο παραπάνω συνημμένο βίντεο, παρατηρείται ότι όχι μόνο στην περιοχή της Αίτνας παρατηρούνται ανοδικές κινήσεις, της πολυφασματικής εικόνας των καταιγίδων, αλλά και σε αντίστοιχα ορεινά μέρη που έχουν στα ανατολικά τους θαλάσσια περιοχή, δηλαδή δεν επηρεάζονται από την μορφολογία περαιτέρω. Αυτά τα δύο μέρη είναι η περιοχή της ανατολικής Σαρδηνίας όπου βρίσκεται το υψηλότερο όρος της, το Gennargentu, και η περιοχή της Μάνης με το όρος Ταΰγετος. Στον παρακάτω τοπογραφικό χάρτη (Χάρτης 4.5) φαίνεται η ορεινή περιοχή της ανατολικής Σαρδηνίας. Παρ' όλα αυτά το παράδειγμα της Σαρδηνίας δεν είναι τόσο αξιόπιστο καθώς μπορεί να επηρεάζεται και από το ψυχρό μέτωπο που επικρατεί στην περιοχή.



Χάρτης 4.5. Τοπογραφικός χάρτης Σαρδηνίας.



2008_04_11_0600-1545_m9_ch12_loop.mpg

Βίντεο 4.2 Βίντεο υψηλής ανάλυσης
Κεντρική Μεσόγειος 11-04-2008
(Διπλό κλικ στο εικονίδιο για άνοιγμα)

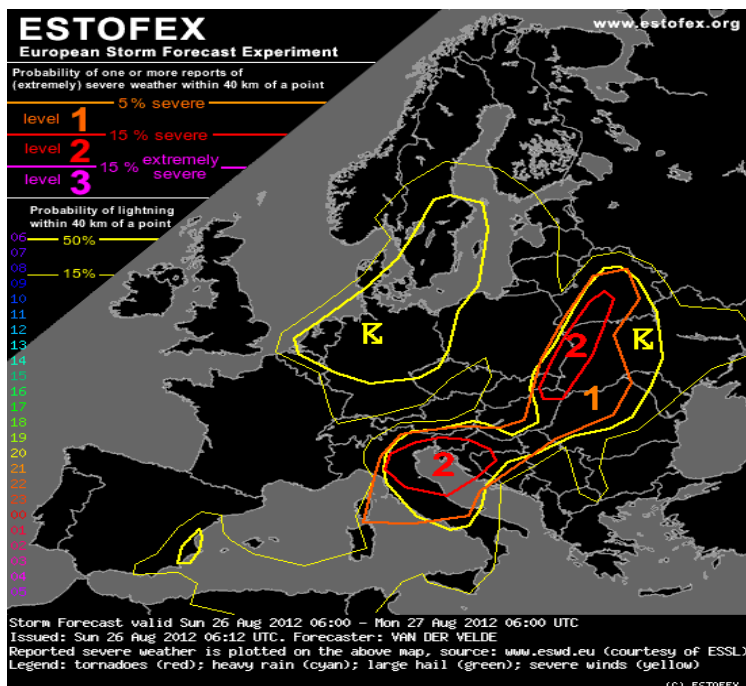
Με το βίντεο υψηλής ανάλυσης (Βίντεο 4.2) αποδεικνύεται χωρίς αμφιβολία, ότι το νεφικό σύστημα δημιουργήθηκε από τη δράση ορογραφικών κυμάτων. Στο βίντεο παρατηρείται ότι ο επιμήκης νεφικός σχηματισμός δεν αρχίζει ακριβώς πάνω από τον κρατήρα της Αίτνας, αλλά μερικά δεκάδες χιλιόμετρα ανατολικότερα. Το όρος Αίτνα φαίνεται ως μία λευκή κηλίδα (χιονοκαλυμμένη κορυφή) η οποία μένει ακίνητη σε σχέση με το υπόλοιπα νέφη.

4.3 Συμπεράσματα

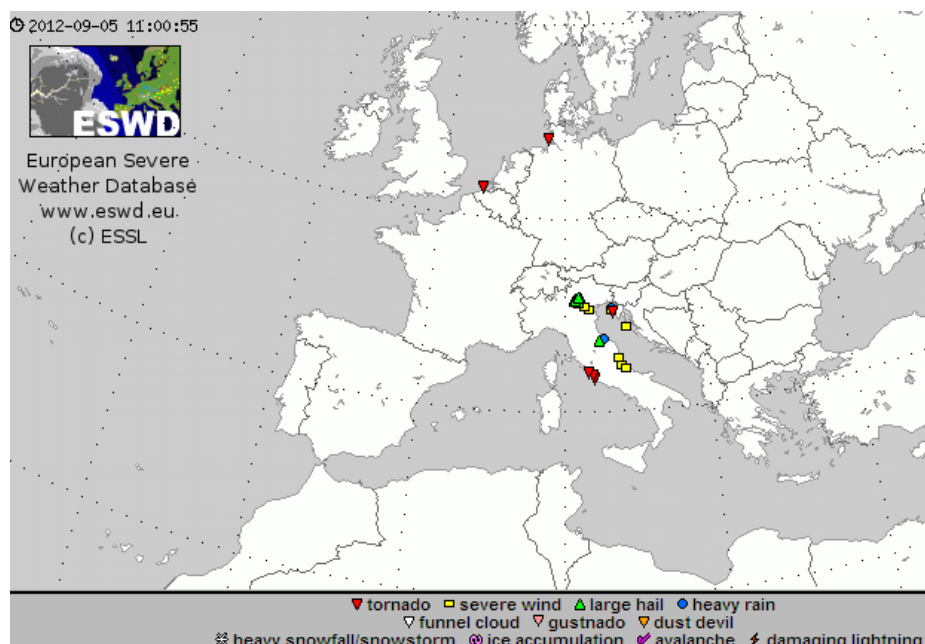
Ανακεφαλαιώνοντας, αντικείμενο της περίπτωσης είναι η αναγνώριση της φύσης του επιμήκους στενού νεφικού σχηματισμού που εκτείνεται από την περιοχή της Σικελίας και πιο συγκεκριμένα από την περιοχή του ηφαιστείου της Αίτνας μέχρι της δυτικές ακτές της Ελλάδας. Στη μελέτη διερωτάται αν ο νεφικός σχηματισμός προκλήθηκε από μία έκρηξη του ηφαιστείου, αν προκλήθηκε από κάποιο συνοπτικό αίτιο (μέτωπο ή ύφεση) ή από ορογραφικά κύματα. Η μελέτη λοιπόν, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ο νεφικός σχηματισμός είναι ορογραφικά νέφη. Αυτό ισχύει διότι στην περιοχή δεν λάμβανε χώρα κάποιο μέτωπο ή ύφεση. Το CAPE ήταν ελάχιστο ώστε να προκληθεί καταιγίδα από θερμικά ή άλλα αίτια. Ακόμη, υπάρχει μία ευστάθεια στην ατμόσφαιρα καθώς δεν υπάρχουν κατακόρυφες κινήσεις. Τα νέφη βρίσκονται στο ύψος των 10-11km, επομένως αν ήταν τόσο ισχυρή η ηφαιστειακή έκρηξη για να φτάσει σε τέτοιο υψόμετρο θα είχε καταγραφεί. Επιπροσθέτως, στην πολυφασματική δορυφορική εικόνα όπου αναγνωρίζεται η ύπαρξη στάχτης, δεν υπάρχει καμία ένδειξη της. Ένα ακόμη στοιχείο είναι ότι παρατηρούνται παρόμοια (μικρότερου μεγέθους) νέφη και σε άλλα μέρη της Μεσογείου, όπως στην οροσειρά της Σαρδηνίας και το όρος Ταϋγκετος στη Μάνη. Τέλος, στις εικόνες υψηλής ανάλυσης, παρατηρείται ότι το νεφικό σύστημα δεν ξεκινά ακριβώς από τον κρατήρα του ηφαιστείου της Αίτνας, αλλά μερικά χιλιόμετρα (περίπου 20km) ανατολικότερα αποδεικνύοντας αδιαμφισβήτητα την παρουσία ορογραφικών νεφών στην περιοχή.

5. Ψυχρό μέτωπο

Σύμφωνα με το ESTOFEX (www.estofex.org), ένα ψυχρό μέτωπο, το οποίο άρχισε να εισβάλλει στη δυτική ευρωπαϊκή ενδοχώρα το Σάββατο 25 Αυγούστου 2012, τυλίχτηκε γύρω από της Άλπεις το βράδυ της 26ης Αυγούστου και μετά κινήθηκε περαιτέρω προς την Πολωνία, τη Σλοβακία, την Ουγγαρία, τη βόρεια Ιταλία και τα δυτικά Βαλκάνια. Το μέτωπο έδωσε ένα τέλος στο κύμα καύσωνα που μαστίζε την Ιταλία και τις μεσογειακές χώρες για εβδομάδες. Καθώς ο αέρας μπροστά από το ψυχρό μέτωπο ήταν θερμός και υγρός, με τιμές CAPE που κυμαίνονταν μεταξύ 1500-2200 j/kg (στην υπήνεμη πλευρά των Άλπεων), το ESTOFEX είχε εκδώσει ένα βαθμό επικινδυνότητας 2ης κατηγορίας (Εικόνα 5.1) για μέρη της βόρειας Ιταλίας, Κροατίας και Σλοβενίας. Αυτό το επίπεδο κινδύνου πιθανόν πιστοποιήθηκε, καθώς η βάση δεδομένων του European Severe Weather Database για αυτή τη μέρα (26 Αυγούστου 2012) έδειξε τις αναφορές για μεγάλου μεγέθους χαλάζι και έντονους ανέμους στην κοιλάδα του Πάδου και κατά μήκος της ακτογραμμής της Ιταλίας από την πλευρά της Αδριατικής θάλασσας, αλλά και ένα ανεμοστρόβιλο κατηγορίας F1 [20] κοντά στο διεθνές αεροδρόμιο της Ρώμης και τις ακτές της Κροατίας (Εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.1. Πιθανότητα μίας ή περισσότερων αναφορών (εξαιρετικά) έντονης κακοκαιρίας σε απόσταση 40 χιλιομέτρων από σημείο παρατήρησης.

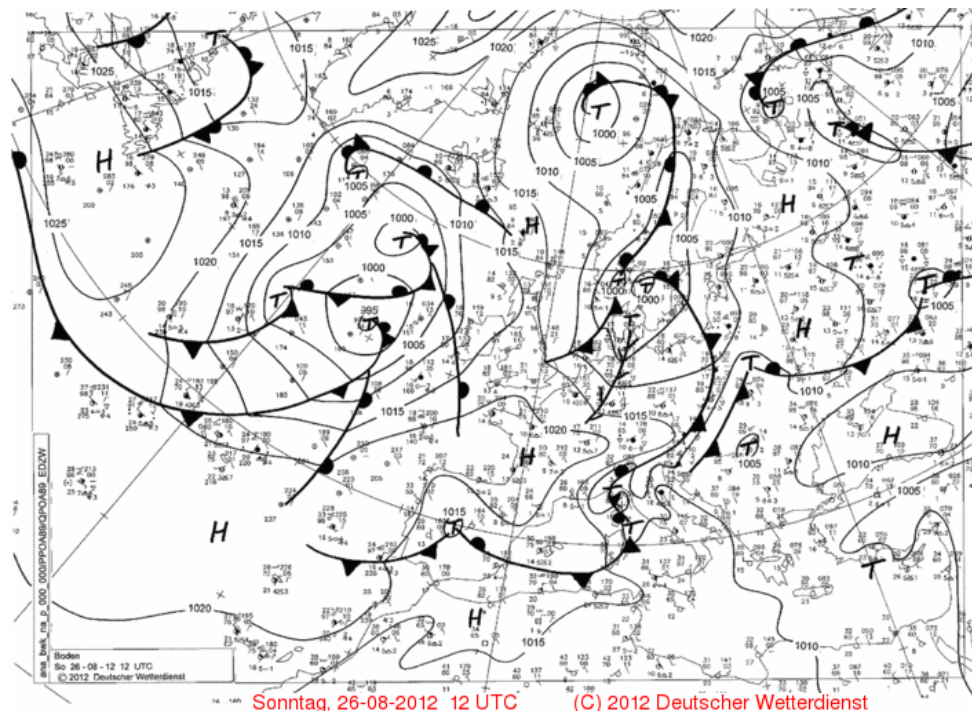


Εικόνα 5.2. Χάρτης αναφορών έντονων καιρικών φαινομένων
Ευρώπη 26-08-2012

Κατά τη διαδρομή του μετώπου προς τα νότια, ενεργοποιούνται αρκετές έντονες καταιγίδες με overshooting tops και convective outflow boundaries. Αργότερα, κατά το απόγευμα, όταν το ψυχρό μέτωπο φτάνει στην χερσόνησο Γκαργκάνο (Gargano peninsula), ένα δεύτερο κύμα καταιγίδων δημιουργείται στην βορειοανατολική Ιταλία και καθαρίζει την κοιλάδα του Πάδου από την περισσευούμενη υγρασία η οποία δεν είχε αφαιρεθεί με το πέρασμα του ψυχρού μετώπου. Αυτό το δεύτερο σύστημα σωρειτομελανιών (κατακόρυφα νέφη Cb) πιθανόν σχετίζεται με το πέρασμα του upper level trough.

Η τροφοδοσία των έντονων καταιγίδων σε μεγάλες ποσότητες υγρασίας, που θα μελετηθεί αργότερα, πιθανόν προκλήθηκε από την παρουσία ενός ατμοσφαιρικού ποταμού [21] με προέλευση την περιοχή του Ατλαντικού ωκεανού.

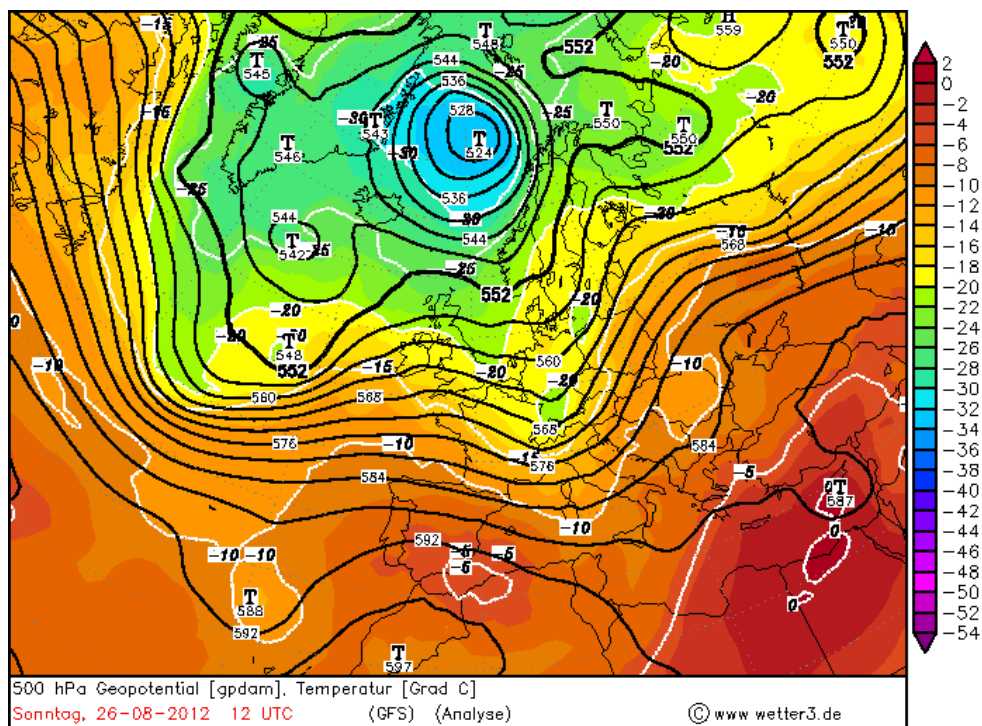
5.1 Ανάλυση Χαρτών



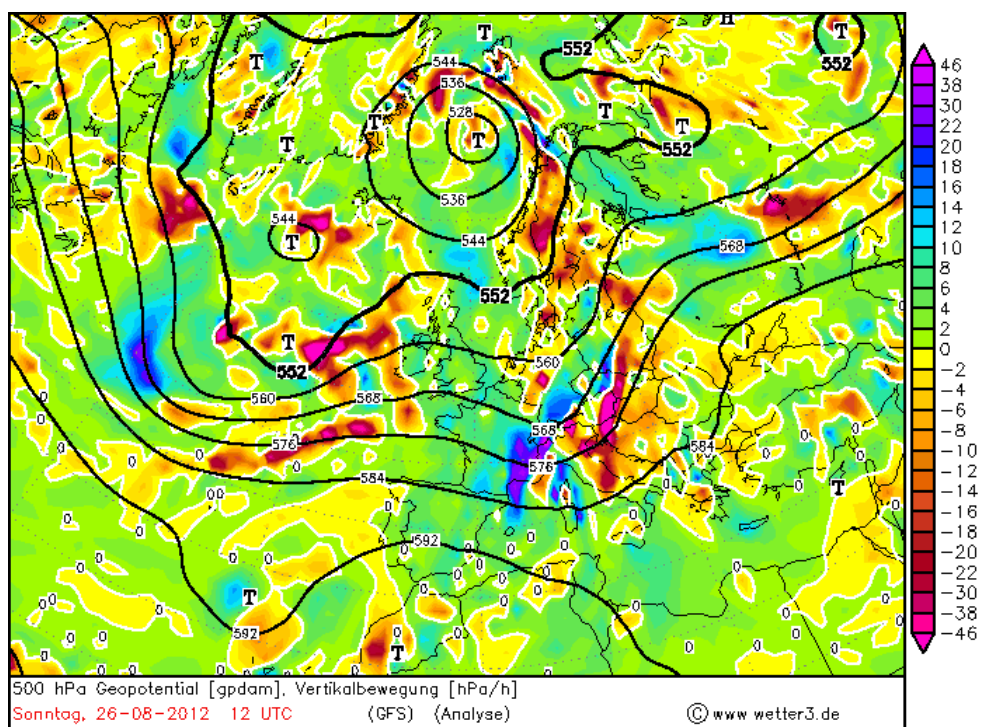
Χάρτης 5.1. Συνοπτικός χάρτης επιφανείας.
Ευρώπη – βόρειος Ατλαντικός 26-08-2012 12 UTC.

Στη συνοπτική ανάλυση του χάρτη επιφανείας (Χάρτης 5.1) λαμβάνει χώρα ένα κέντρο χαμηλής πίεσης στην περιοχή της Κορσικής, που βορειοανατολικά του εκτείνεται ένα θερμό μέτωπο που μεταβαίνει σύντομα σε ψυχρό και εκτείνεται μέχρι τη Βαλτική θάλασσα. Νότια και νοτιοδυτικά του χαμηλού εκτείνεται ένα ψυχρό μέτωπο που διασχίζει όλη τη δυτική Μεσόγειο και καταλήγει στην ενδοχώρα της Ισπανίας. Όπως θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση παρακάτω, θα παρατηρηθεί ότι το κέντρο της ύφεσης δεν βρίσκεται στην πραγματικότητα σε αυτή τη θέση, αλλά ανατολικότερα στην Αδριατική θάλασσα.

Στο χάρτη 5.2 ενδιαφέρον παρουσιάζει ο χαμηλού πλάτους αυλώνας στη δυτική Ευρώπη με τη ζώνη μεταφοράς θετικού στροβιλισμού στην περιοχή της Αδριατικής και της κεντρικής Ευρώπης. Η ροή της ανώτερης τροπόσφαιρας είναι περίπου ζωνική στη δυτική Μεσόγειο με αλλαγή κατεύθυνσης, πάνω από την Αδριατική, σε νοτιοδυτική.

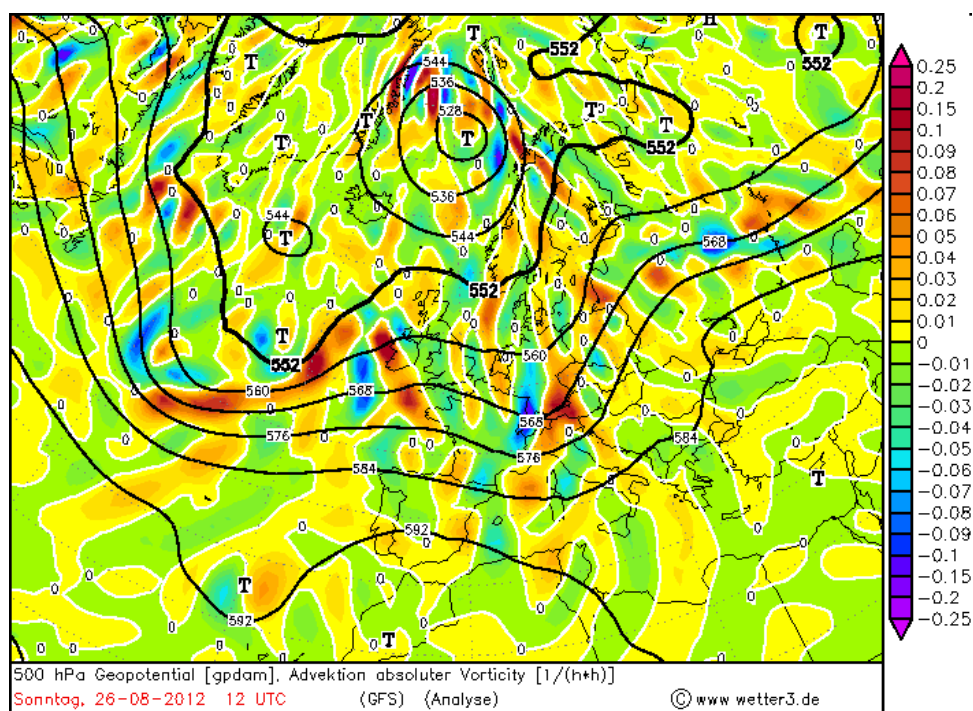


Χάρτης 5.2. Χάρτης θερμοκρασίας στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 26-08-2012 12 UTC



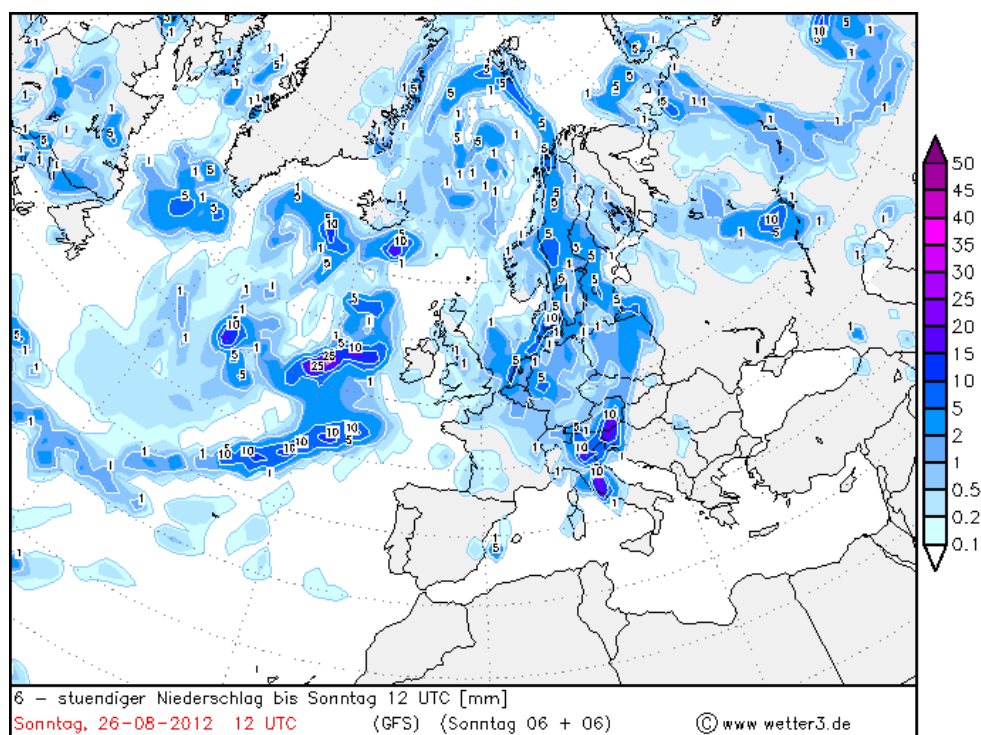
Χάρτης 5.3. Χάρτης κατακόρυφων κινήσεων στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 26-03-2008 12 UTC

Στο χάρτη 5.3 φαίνονται οι πολύ έντονες ανοδικές κινήσεις που δηλώνουν την ύπαρξη νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης και πιθανή την παρουσία καταιγίδων.



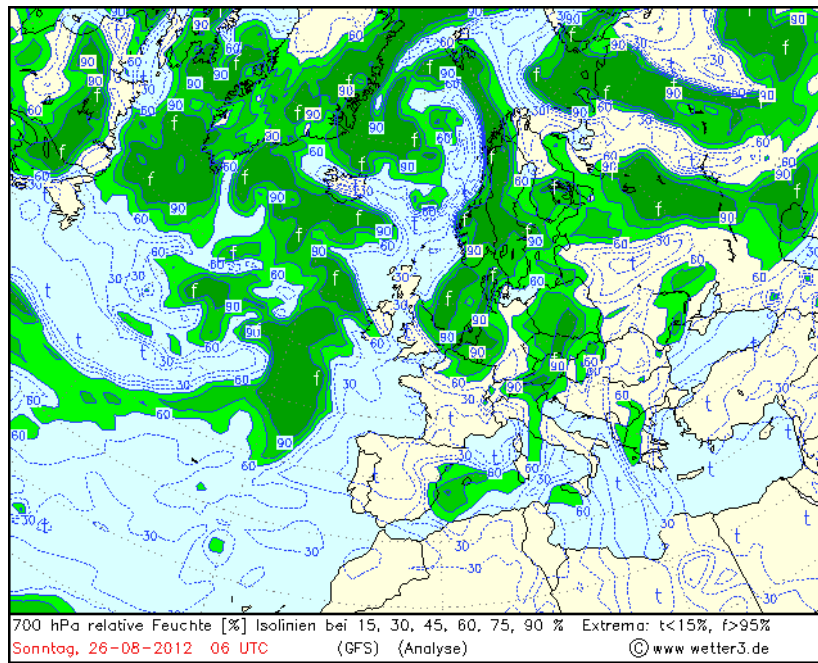
Χάρτης 5.4. Χάρτης μεταφοράς στροβιλισμού στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 26-08-2012 12 UTC

Στο χάρτη 5.4 επιβεβαιώνεται η παρουσία ζώνης μεταφοράς θετικού στροβιλισμού όπως είχε υποπτευθεί από τη θέση του αυλώνα (Χάρτης 5.2).

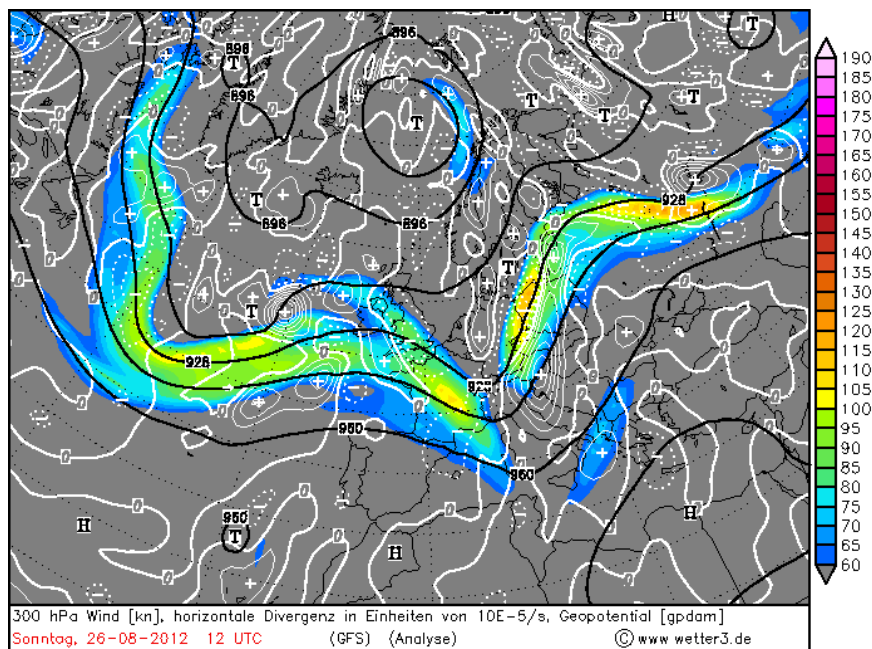


Χάρτης 5.5. Χάρτης ολικής βροχόπτωσης στην επιφάνεια. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 26-12-2012 12 UTC

Η ολική βροχόπτωση (Χάρτης 5.5) μας δείχνει την μεγάλη περιεκτικότητα σε υδρατμούς στην περιοχή μελέτης. Αυτή η μεγάλη ποσότητα πιθανόν τροφοδοτείται από μία μεγάλη πηγή υδρατμών όπως ο Ατλαντικός ωκεανός. Οι ατμοσφαιρικοί ποταμοί είναι οι στενοί διάδρομοι που μεταφέρουν αυτήν την υγρασία συνεχώς, αυξάνοντας παράλληλα την ένταση των φαινομένων.



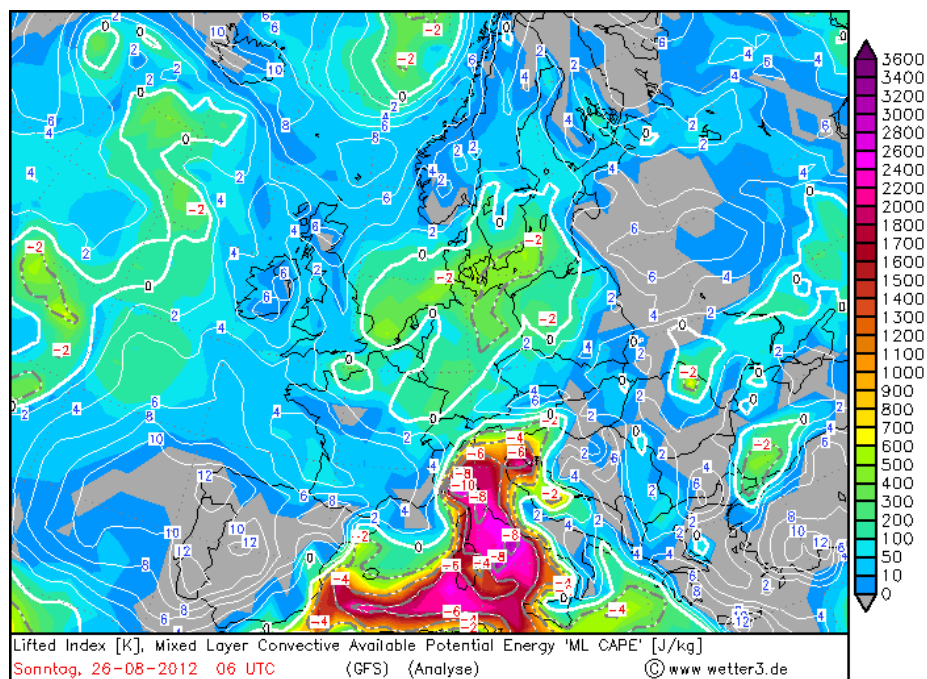
Χάρτης 5.6. Χάρτης σχετικής υγρασίας στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 700 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 26-08-2012 06 UTC



Χάρτης 5.7. Χάρτης ανέμων και απόκλισης αερίων μαζών στο γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 300 hPa. Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός 26-08-2012 12 UTC

Το ίχνος του ατμοσφαιρικού ποταμού παρατηρείται στον χάρτη σχετικής υγρασίας (Χάρτης 5.6) κατά μήκος του ψυχρού μετώπου με υψηλές τιμές μέχρι και 95% σχετική υγρασία. Πάνω από το Τυρρηνικό πέλαγος παρατηρούνται χαμηλές τιμές, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι ο ατμοσφαιρικός ποταμός παύει να υπάρχει, αλλά αλλάζει υψόμετρο και δεν παρατηρείται σε αυτό το γεωδυναμικό ύψος (700 hPa).

Στην ανάλυση της ανώτερης τροπόσφαιρας (Χάρτης 5.7), αξιοσημείωτη είναι η ύπαρξη πολύ έντονων ανοδικών κινήσεων στην περιοχή μελέτης και πιο συγκεκριμένα στη βόρεια Αδριατική. Αυτές οι ανοδικές κινήσεις μεγάλης έντασης μπορούν να δώσουν overshooting tops σε σημεία των σωρειτομελανιών.

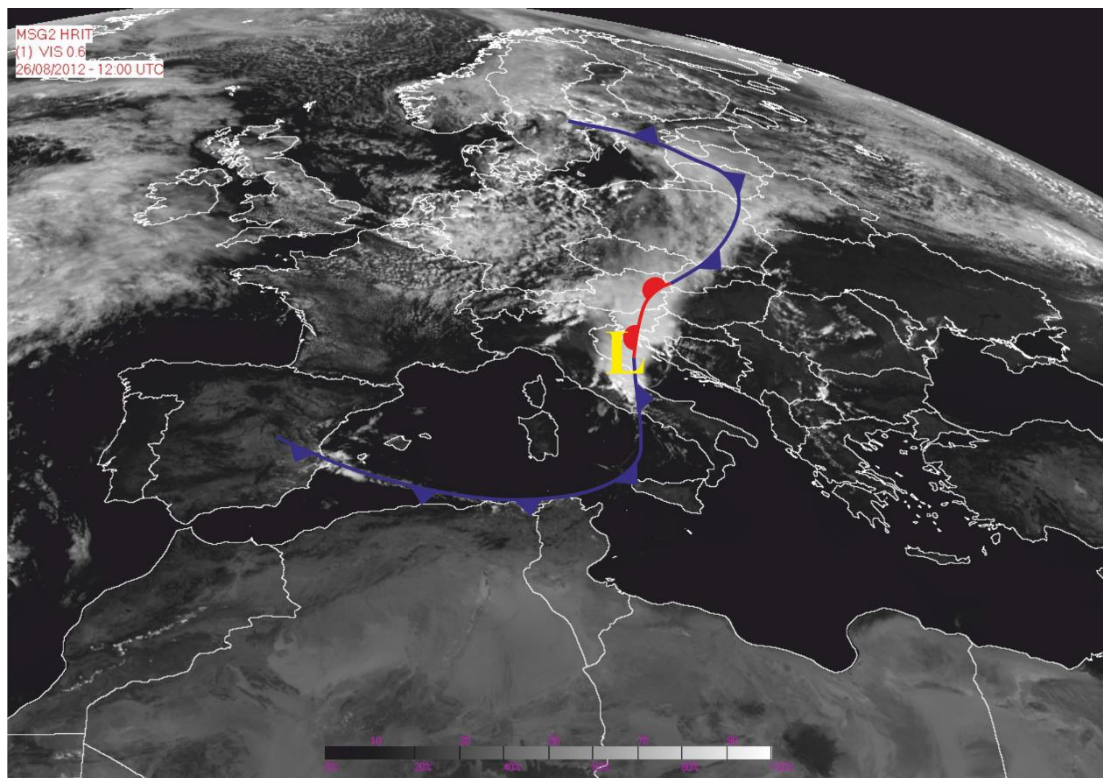


Χάρτης 5.8. Χάρτης δείκτη CAPE.
Ευρώπη-βόρειος Ατλαντικός, 26-08-2012 06 UTC

Προηγουμένως αναφέρθηκε η πηγή μεγάλης ποσότητας υγρασίας της ύφεσης, η οποία ήταν ο Ατλαντικός ωκεανός που μεταφερόταν μέσω του ατμοσφαιρικού ποταμού. Αυτό όμως που δικαιολογεί την ραγδιότητα των φαινομένων που συνοδεύει η ύφεση είναι το C.A.P.E.(Convective Available Potential Energy). Ο δείκτης CAPE (Χάρτης 5.8), στην περιοχή μελέτης για εκείνη την ημέρα, μπορεί να πάρει τιμές μέχρι και 2800j/kg. Αυτό είναι ένα στοιχείο που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι θα ακολουθήσουν έντονα καιρικά φαινόμενα στην περιοχή. Επιπροσθέτως, ακόμη και ο δείκτης CAPE

έχει υψηλές τιμές κατά μήκος του ατμοσφαιρικού ποταμού και του ψυχρού μετώπου, επομένως ακόμα και στην περιοχή της δυτικής Μεσογείου μπορεί να λάβει μέρος καταιγιδοφόρα δραστηριότητα.

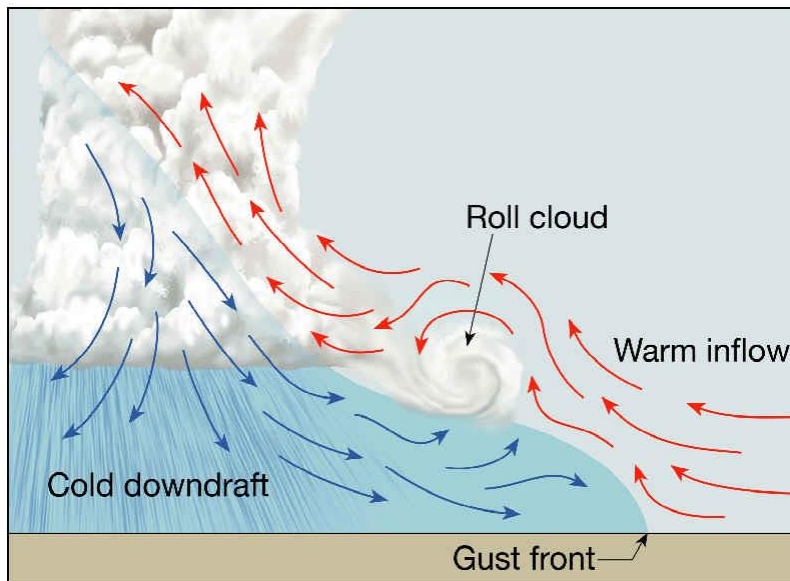
5.2 Ανάλυση Δορυφορικών Εικόνων



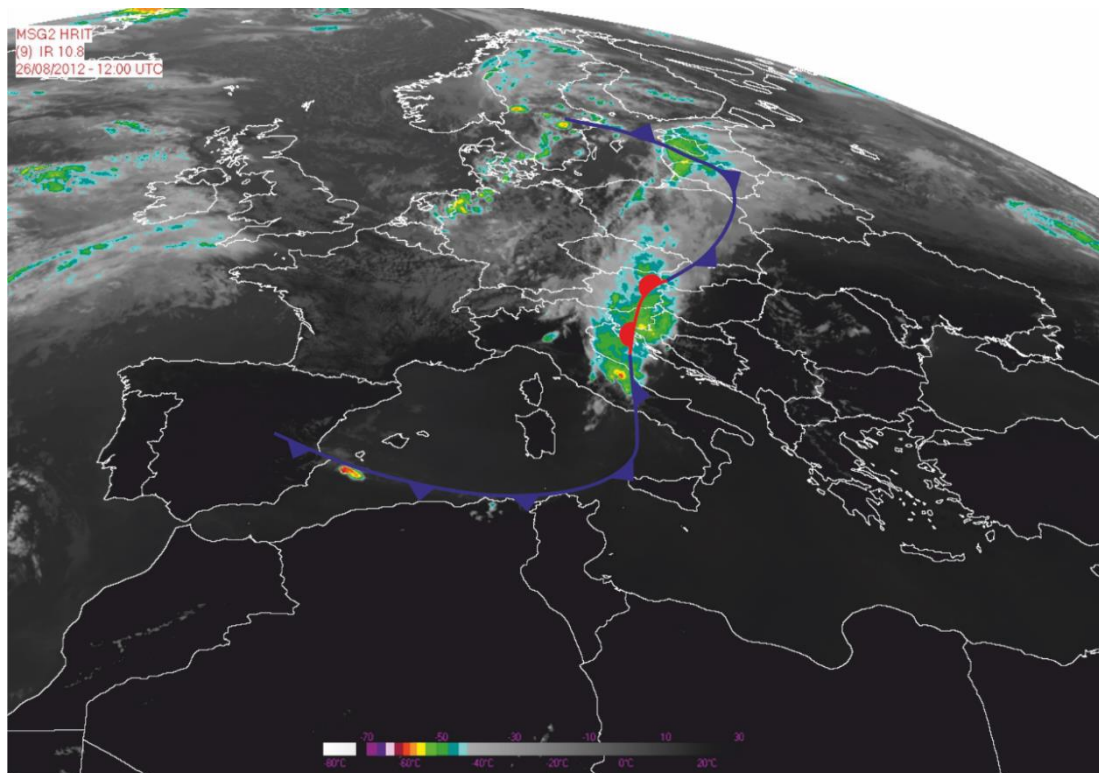
Εικόνα 5.3. Δορυφορική εικόνα (Ορατό 0.6μm).
Μεσόγειος. 26-08-2012 12 UTC

Με την πρώτη ματιά, στις δορυφορικές εικόνες παρατηρείται ότι η θέση της ύφεσης και των μετώπων είναι εμφανώς μετατοπισμένη. Στη δορυφορική εικόνα 5.3 παρατηρείται ένας νεφικός σχηματισμός, που εκτείνεται από την κεντρική Ιταλία μέχρι και την Αυστρία, με υψηλές ανακλαστικότητες. Αυτό συμφωνεί με την ύπαρξη νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης που υποτέθηκαν προηγουμένως από τους χάρτες πρόγνωσης. Επιπλέον, παρατηρείται ένα roll cloud [22] κατά μήκος του ψυχρού μετώπου το οποίο χρησιμοποιεί την υγρασία του ατμοσφαιρικού ποταμού και

δημιουργεί σωρειτόμορφα νέφη. Το roll cloud πιθανώς προκαλείται από τα downdrafts της ύφεσης (Σχήμα 5.1).

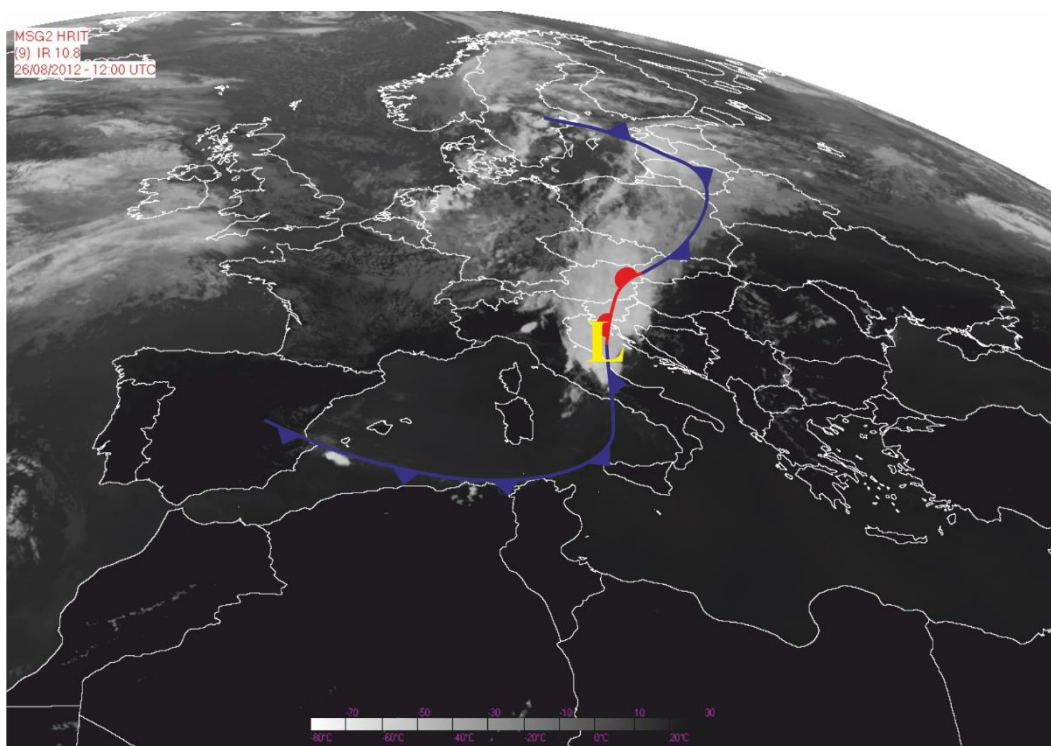


Σχήμα 5.1. Σχηματική αναπαράσταση τρόπου γένεσης ενός roll cloud.

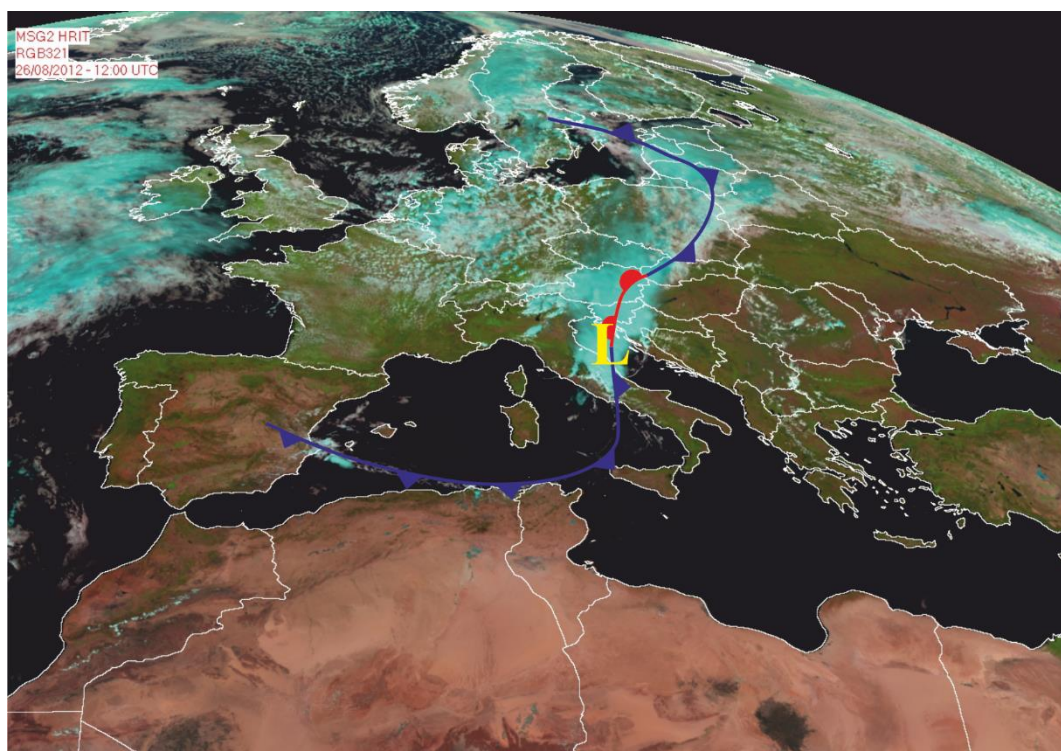


Εικόνα 5.4. Δορυφορική εικόνα με μάσκα επικάλυψης θερμοκρασιών των κορυφών των νεφών (Υπέρυθρο 10.8μm). Μεσόγειος 26-08-2012 12 UTC

Στις υπέρυθρες δορυφορικές εικόνες (Εικόνα 5.4 και 5.5) παρατηρούνται, με τη βοήθεια της μάσκας των θερμοκρασιών, χαμηλές θερμοκρασίες μέχρι και -64°C (210 K) όπου για την περίοδο του Αυγούστου, αυτή η θερμοκρασία αντιστοιχεί στα 12 km υψόμετρο. Επομένως, είναι πιθανή η παρουσία overshooting tops κατά τόπους.



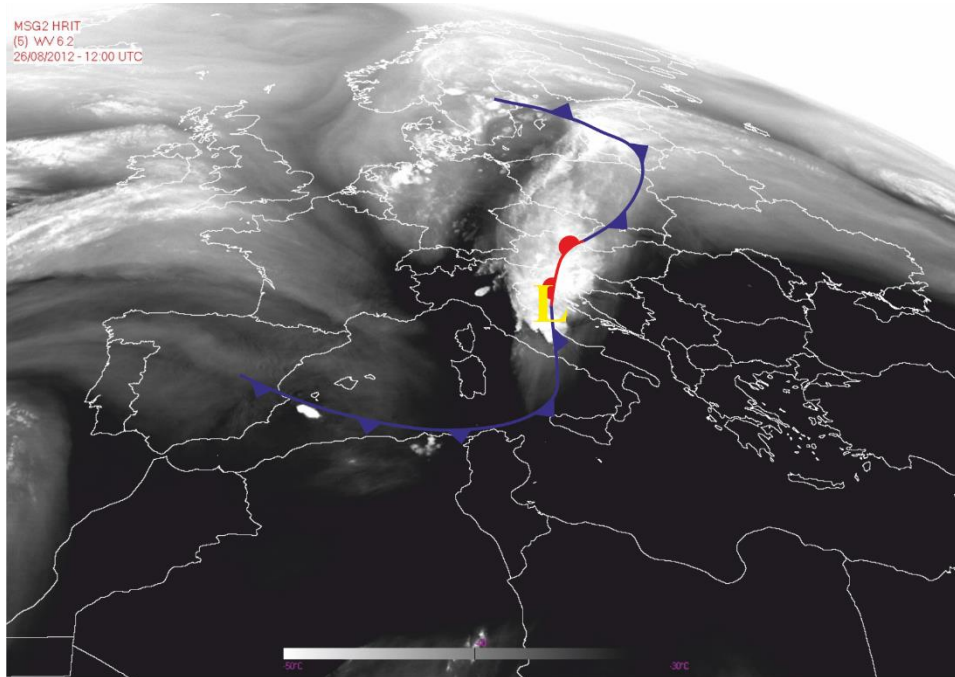
Εικόνα 5.5. Δορυφορική εικόνα (Υπέρυθρο 10.8μm).
Μεσόγειος 26-08-2012 12 UTC



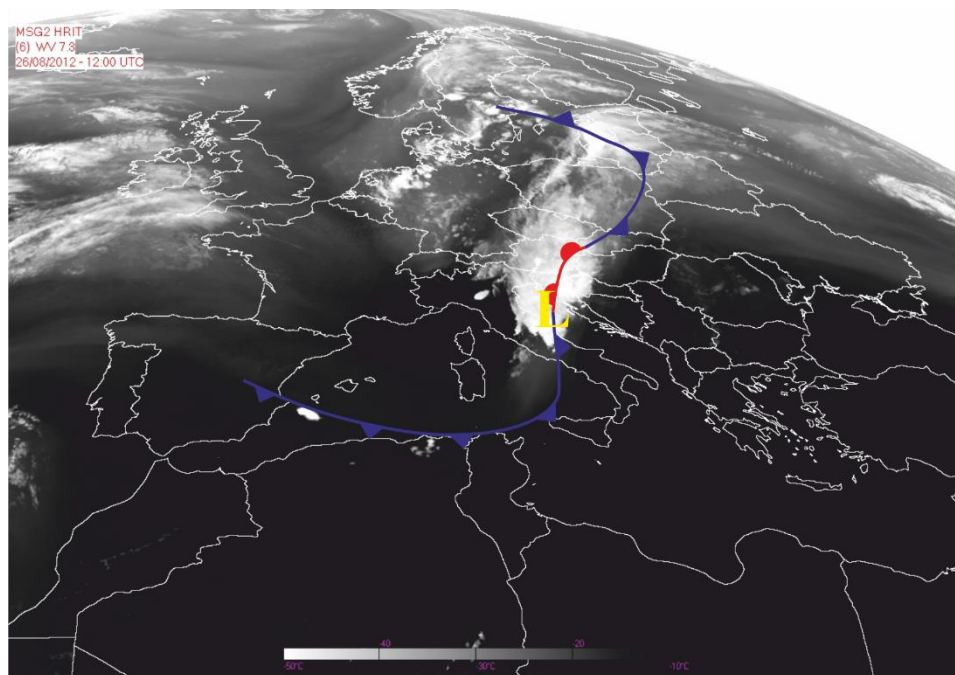
Εικόνα 5.6. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (RGB 3-2-1)
Μεσόγειος 26-08-2012 12 UTC

Στις δορυφορικές εικόνες απορρόφησης υδρατμών (Εικόνες 5.7 και 5.8) φαίνεται η σύνδεση της ύφεσης με τον ατμοσφαιρικό ποταμό. Αυτό παρατηρείται συγκεκριμένα νότια του κύριου νεφικού σχηματισμού όπου

γίνεται η εισροή των υδρατμών. Παρόμοια περίπτωση είναι και η περίπτωση με την ατμοσφαιρική σκόνη που αναλύθηκε προηγουμένως. Επομένως, είναι δυνατή και η παρουσία ενός low-level jet, ο οποίος συλλέγει την υγρασία από το ύψος των 700 hPa και τη μεταφέρει στα ύψη των ισοβαρικών επιφανειών των 550 hPa (WV 7.3 μ m) και 350 hPa (WV 6.2 μ m).

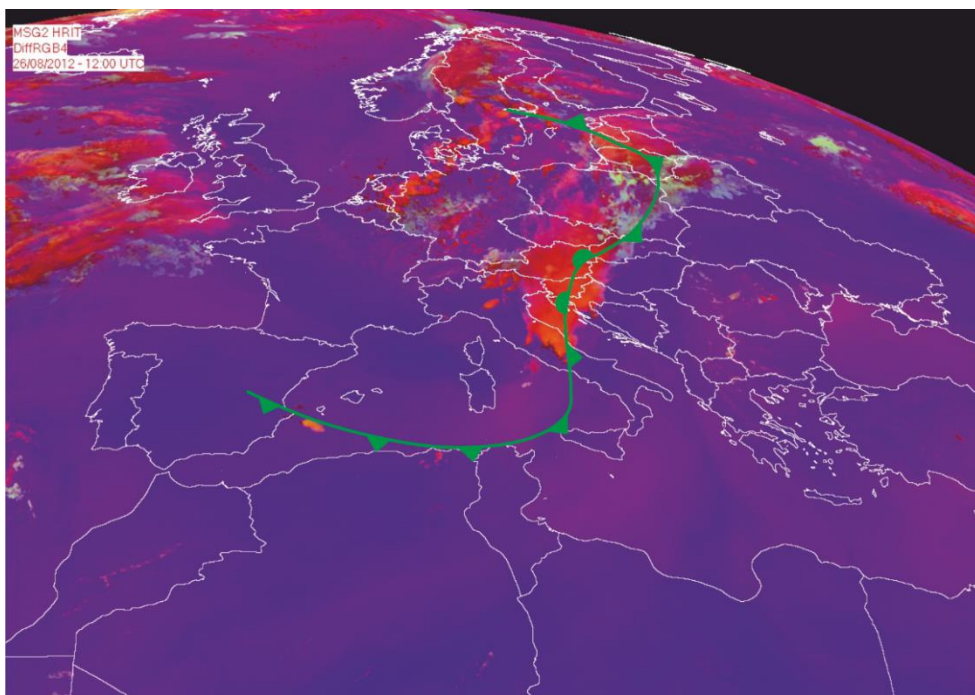


Εικόνα 5.7. Δορυφορική εικόνα (Απορρόφηση υδρατμών 6.2 μ m). Μεσόγειος 26-08-2012 12 UTC

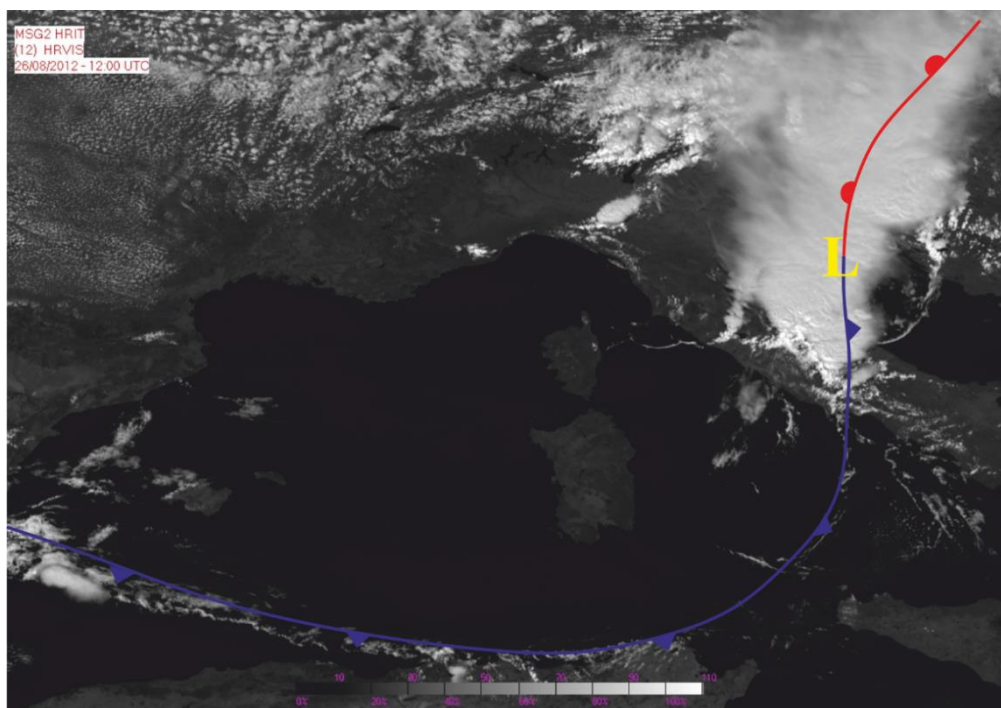


Εικόνα 5.8. Δορυφορική εικόνα (Απορρόφηση υδρατμών 7.3 μ m) Μεσόγειος 26-08-2012 UTC

Στην πολυφασματική εικόνα των καταιγίδων (Εικόνα 5.9) αποδεικνύεται ότι η ένταση των φαινομένων είναι μεγάλη καθώς σε αυτό το συνδυασμό χρωμάτων τα νέφη σε ορισμένα σημεία εμφανίζονται με πορτοκαλοκίτρινα χρώματα δείχνοντας έντονη καταιγιδοφόρο δραστηριότητα και επιβεβαιώνοντας τις αναφορές του European Severe Weather Database.

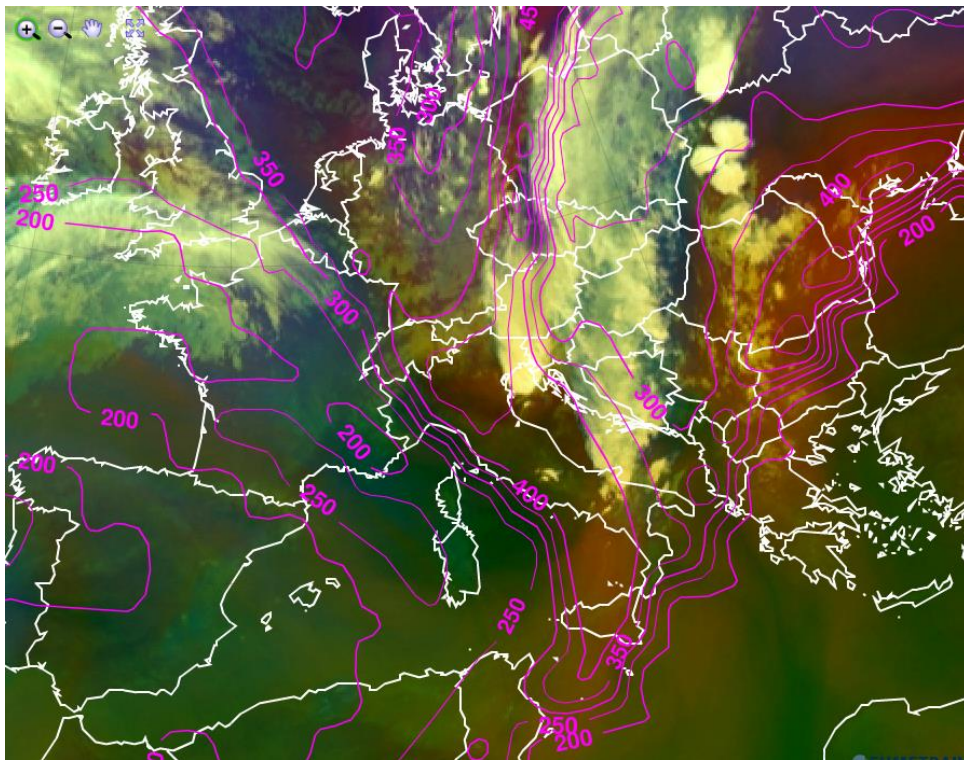


Εικόνα 5.9.Δορυφορική πολυφασματική εικόνα (Καταιγίδες)
Μεσόγειος 26-08-2012 12 UTC.



Εικόνα 5.10. Δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης.
Κεντρική Μεσόγειος 26-08-2012 12 UTC.

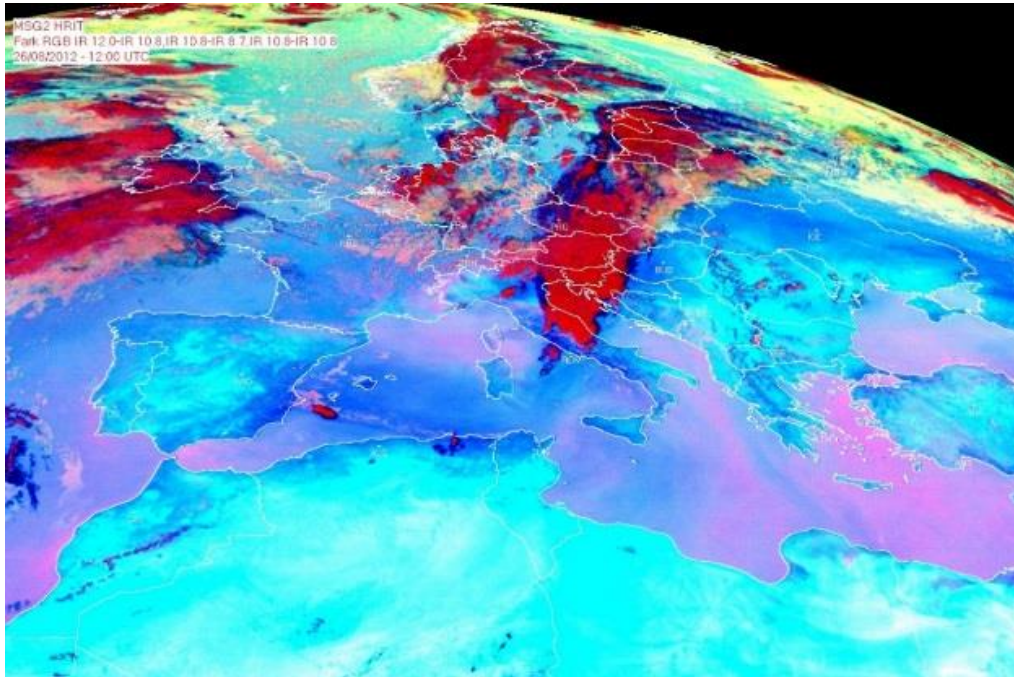
Στην δορυφορική εικόνα υψηλής ανάλυσης (Εικόνα 5.10) διακρίνονται και άλλα roll clouds, ανάμεσα από την Κορσική και την Ιταλία και στην Αδριατική, τα οποία είναι σίγουρα αποτέλεσμα των downdrafts των νεφών Cb καθώς συνδέονται με αυτά. Επιπλέον, στην κοιλάδα του Πάδου, σημειώνεται αστάθεια που δεν φαίνεται να συνδέεται με την ύφεση. Αυτό πιθανόν οφείλεται στην παρουσία του upper level trough (Εικόνα 5.11) το οποίο ακολουθεί το ψυχρό μέτωπο. Αυτό όμως δεν αρκεί για τη δημιουργία των Cb. Με την πάροδο του ψυχρού μετώπου, η υγρασία απομακρύνεται-καταναλώνεται από τις καταιγίδες. Όμως, σε διάφορες περιοχές της Ιταλίας και της Μεσογείου, έχουν απομείνει σημαντικές ποσότητες υγρασίας για την τροφοδότηση νέων καταιγίδων, όπως η καταιγίδα στην κοιλάδα του Πάδου (Εικόνα 5.10). Οι παραμένουσες ποσότητες υγρασίας φαίνονται στις δορυφορικές πολυφασματικές εικόνες 5.12 και 5.13 όπου η υγρασία απεικονίζεται με κυανή απόχρωση. Επίσης, γίνεται ορατό το ίχνος του ατμοσφαιρικού ποταμού στη θέση όπου έχει εντοπιστεί νωρίτερα.



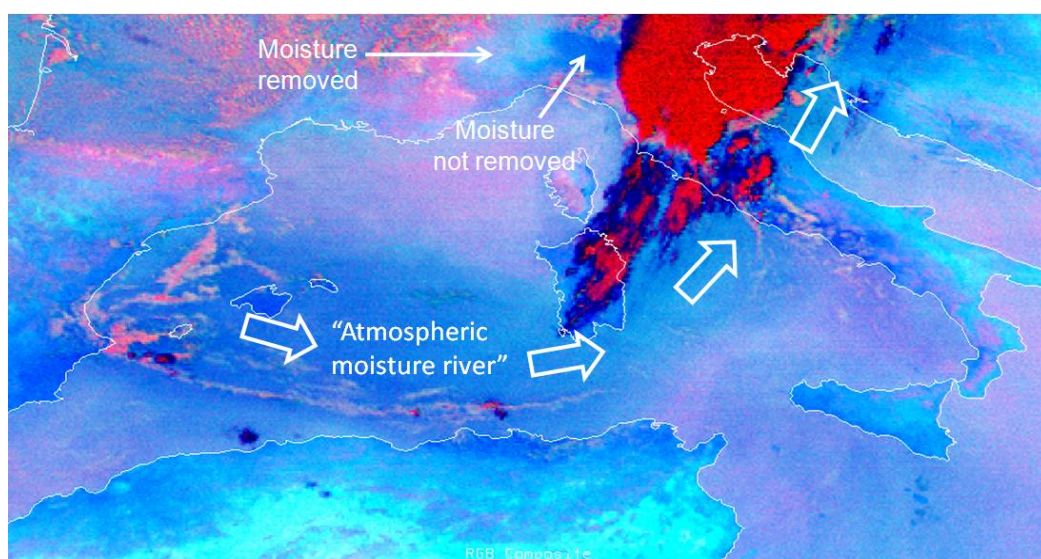
Εικόνα 5.11. Πολυφασματική Εικόνα (Αέριες Μάζες) – Ύψη θετικού στροβιλισμού 1.0 Ευρώπη - Μεσόγειος 26-08-2012 18 UTC.

Οι εικόνες 5.12 και 5.13 είναι παράγωγα του συνδυασμού χρωμάτων ανίχνευσης της ατμοσφαιρικής σκόνης με μερικές τροποποιήσεις. Οι τροποποιήσεις αυτές είναι η αλλαγή του εύρους εισαγωγής των ακτίνων για

να ληφθεί καλύτερη αντίθεση μεταξύ ξηρού και υγρού αέρα. Το εύρος για την κόκκινη ακτίνα (IR12.0 - IR10.8) είναι -3 με 0 K (αντί από -4 με 2 K), το εύρος για την πράσινη ακτίνα (IR10.8 - IR8.7) είναι 0 με 4 K (αντί από 0 με 15 K) και το εύρος για την κυανή ακτίνα (IR10.8) είναι 223 με 300 K (αντί από 261 με 289 K). Αυτά τα στενότερα εύρη για τις κόκκινες και πράσινες ακτίνες βελτιστοποιούν την αντίθεση μεταξύ των διαφορετικών αερίων μαζών (αλλά βεβαίως με το κόστος της απώλειας αντίθεσης για άλλα χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα τα νέφη σκόνης).



Εικόνα 5.12. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα-τροποποιημένη (Ηφαιστειακή στάχτη) Μεσόγειος 26-08-2012 12 UTC.



Εικόνα 5.13. Δορυφορική πολυφασματική εικόνα-τροποποιημένη (Ηφαιστειακή στάχτη) Μεσόγειος 26-08-2012 09 UTC.



2012_08_251800-270000-m9_rgb_dustmod_loop.mpg

Βίντεο 5.1. Πρόοδος του φαινομένου με τροποποιημένες πολυφασματικές
εικόνες (Ηφαιστειακή στάχτη).
Μεσόγειος 25-08-2012 18 UTC μέχρι 27-08-2012 00 UTC.
(Διπλό κλικ στο εικονίδιο για άνοιγμα)

Το βίντεο των πολυφασματικών εικόνων δίνει λεπτομέρειες για την ατμοσφαιρική υγρασία ανά διάστημα 15 λεπτών. Δείχνει πως ο υγρός αέρας ωθείται ανατολικά, και πως ο ξηρός αέρας ωθείται στην περιοχή της Μεσογείου, ξεκινώντας από τον κόλπο του Λέοντα (Γαλλία) και μετά προχωρεί γρήγορα προς την κατεύθυνση της Κορσικής και της Σαρδηνίας και από κει στην ιταλική ενδοχώρα. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν μερικοί θύλακες υγρού αέρα που παραμένουν χαμηλά στα κατάντη των υψηλότερων οροσειρών αφού το ψυχρό μέτωπο έχει περάσει, είτε επειδή οι οροσειρές διαμορφώνουν την τοπική ροή του αέρα και της πίεσης (περιλαμβάνοντας lee στροβίλους, όπως της Κορσικής στην εικόνα 5.12) ή επειδή ο ξηρός αέρας, μετά το πέρασμα του μετώπου, δεν κατέρχεται στην κοιλάδα όπως συμβαίνει και με τη μεγάλη κοιλάδα του Πάδου.

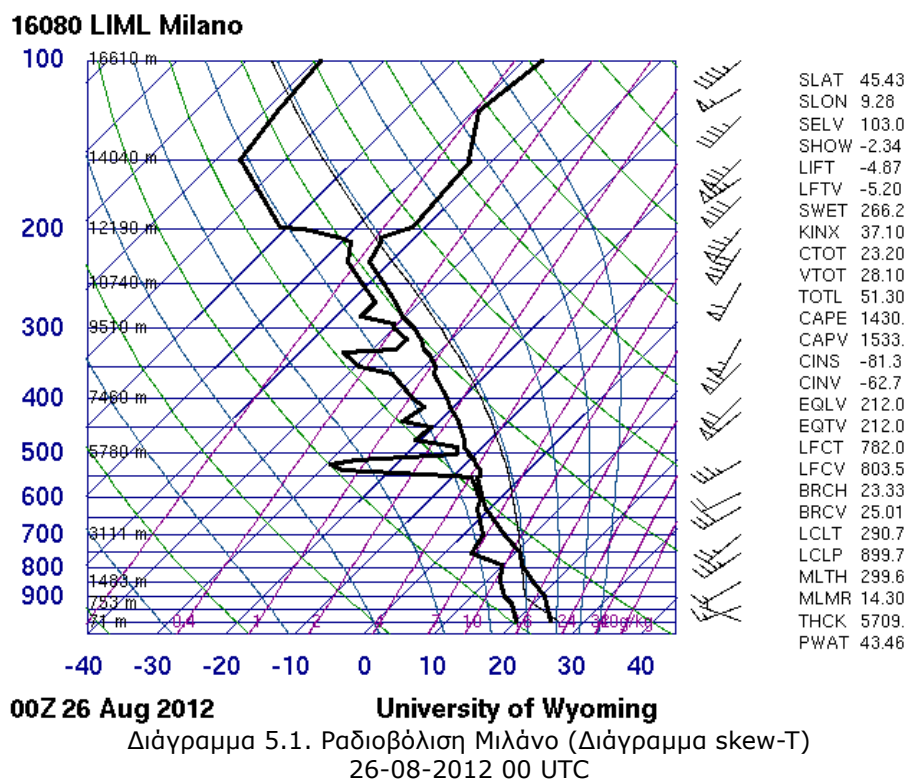
5.3 Συμπεράσματα

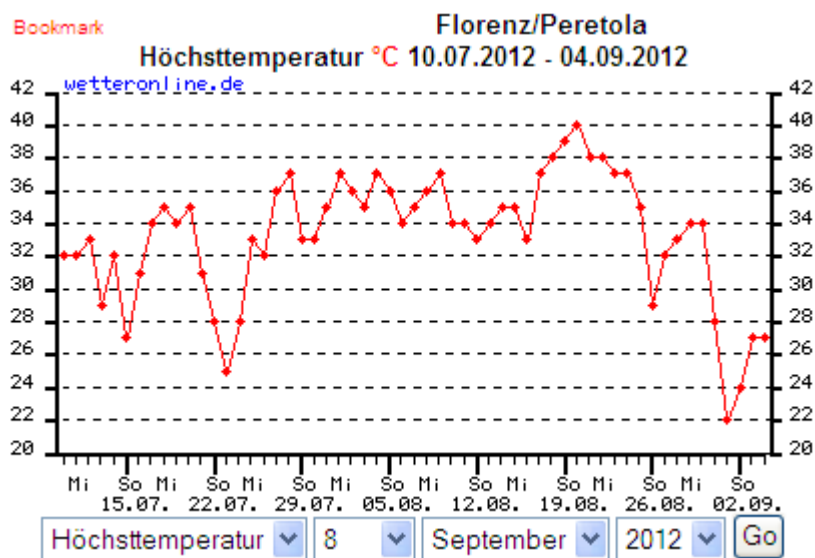
Συνοψίζοντας, το αντικείμενο αυτής της περίπτωσης είναι η μελέτη ενός ψυχρού μετώπου το οποίο, με το πέρασμά του, προκάλεσε έντονα καιρικά φαινόμενα όπως μεγάλης διαμέτρου χαλάζι, ριπές ανέμων από τα downdrafts, έντονη βροχόπτωση, ακόμη και ανεμοστρόβιλους κατηγορίας F1. Η καταιγιδοφόρα δραστηριότητα που προκλήθηκε από το μέτωπο είχε 2 χαρακτηριστικά που της προσέφεραν αυτήν την ένταση. Πρώτον, είναι το μεγάλο δυναμικό αστάθειας (Διάγραμμα 5.1) που επικρατούσε στην περιοχή φέρνοντας έντονες κατακόρυφες κινήσεις και δημιουργία νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης που φτάνουν μέχρι το ύψος των 12 km. Δεύτερον, είναι η μεγάλη ποσότητα υγρασίας, μπροστά από το μέτωπο, που

τροφοδότησε το καταιγιδοφόρο σύστημα δίνοντας έτσι μεγάλα ύψη βροχής στην περιοχή της Αδριατικής, της βόρειας Ιταλίας και των βόρειων βαλκανίων. Αυτή η μεγάλη τροφοδοσία σε υδρατμούς οφείλεται στην παρουσία ενός ατμοσφαιρικού ποταμού που κινείται παράλληλα και μπροστά από το μέτωπο και προσφέρει στην ύφεση ποσότητες υδρατμών ασυνήθιστες για μία ύφεση των μέσων γεωγραφικών πλατών.

Αργότερα, με το πέρασμα του πρώτου κύματος καταιγίδων, δημιουργείται πάλι αστάθεια και δημιουργία καταιγιδοφόρας δραστηριότητας στη βόρεια Ιταλία και κυρίως στην κοιλάδα του Πάδου. Αυτό οφείλεται σε δύο ακόμη λόγους. Καταρχήν, η υγρασία, μετά το πέρασμα του ψυχρού μετώπου δεν εκπλύθηκε εντελώς, αλλά παρέμειναν σημαντικές ποσότητές της, κυρίως στην κοιλάδα του Πάδου, για την δημιουργία καταιγίδων. Επίσης, έπρεπε να δημιουργηθούν ξανά συνθήκες αστάθειας στην περιοχή. Αυτό ανέλαβε να το κάνει ο upper level trough.

Μετά από τα δύο γεγονότα κακοκαιρίας η θερμοκρασία έπεσε αισθητά όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.2, δίνοντας ένα τέλος στο κύμα καύσωνα που έπληττε τις περιοχές της κεντρικής Μεσογείου.





Διάγραμμα 5.2. Διάγραμμα μέγιστων θερμοκρασιών για την περίοδο
10-07-2012 με 04-09-2012
Φλωρεντία - Ιταλία

Βιβλιογραφία

1. Καρτάλης, Κ., Φεΐδας, Χ., Αρχές & εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. 2006.
2. Κολοβός, Β., Φεΐδας, Χ., Μελέτη νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης θερινής περιόδου για την Ελλάδα με χρήση δορυφορικών εικόνων. 2012.
3. Moore, J.T. and G.E. Vanknowe, *The Effect of Jet-Streak Curvature on Kinematic Fields*. Monthly Weather Review, 1992. **120**(11): p. 2429-2441.
4. Bannon, P.R., *Atmospheric Available Energy*. Journal of the Atmospheric Sciences, 2012. **69**(12): p. 3745-3762.
5. Fritz, S., *The Significance of Mountain Lee Waves as Seen from Satellite Pictures*. Journal of Applied Meteorology, 1965. **4**(1): p. 31-37.
6. Hakim, G.J. and L.W. Uccellini, *Diagnosing Coupled Jet-Streak Circulations for a Northern Plains Snow Band from the Operational Nested-Grid Model*. Weather and Forecasting, 1992. **7**(1): p. 26-48.
7. Setvák, M., Charvát, Z., Valachová, M., Bedka, K., *Blended "Sandwich" image products in nowcasting*. The 2012 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Sopot, Poland, 2012.
8. White, J.R., R.S. Cervený, and R.C. Balling, *Seasonality in European Red Dust/"Blood" Rain Events*. Bulletin of the American Meteorological Society, 2011. **93**(4): p. 471-476.
9. Straus, D.M., R.S. Lindzen, and A.M. DaSilva, *The Characteristic Rossby Frequency*. Journal of the Atmospheric Sciences, 1987. **44**(7): p. 1100-1105.
10. Dickinson, R.E., *Rossby Waves--Long-Period Oscillations of Oceans and Atmospheres*. Annual Review of Fluid Mechanics, 1978. **10**(1): p. 159-195.
11. Thorncroft, C.D. and B.J. Hoskins, *Frontal Cyclogenesis*. Journal of the Atmospheric Sciences, 1990. **47**(19): p. 2317-2336.
12. Dowling, D.R. and L.F. Radke, *A Summary of the Physical Properties of Cirrus Clouds*. Journal of Applied Meteorology, 1990. **29**(9): p. 970-978.
13. Schmetz, J., et al., *An Introduction to Meteosat Second Generation (MSG)*. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002. **83**(7): p. 977-992.
14. Landers, H., *VORTICITY DISTRIBUTION AND ADVECTION IN THE LOWER AND MIDDLE TROPOSPHERE*. Journal of Meteorology, 1956. **13**(6): p. 511-520.
15. Teller, A., et al., *Aerosol-cloud interactions over Istanbul, Turkey and central Saudi Arabia*.
16. Bonner, W.D., S. Esbensen, and R. Greenberg, *Kinematics of the Low-Level Jet*. Journal of Applied Meteorology, 1968. **7**(3): p. 339-347.
17. Ostdiek, V. and W. Blumen, *Deformation Frontogenesis: Observation and Theory*. Journal of the Atmospheric Sciences, 1995. **52**(9): p. 1487-1500.
18. Hines, C.O., *On Ray Paths in Mountain Waves*. Journal of the Atmospheric Sciences, 1988. **45**(2): p. 323-326.
19. Spengler, T. and J. Egger, *Potential Vorticity Attribution and Causality*. Journal of the Atmospheric Sciences, 2012. **69**(8): p. 2600-2607.
20. McDonald, J.R., *T. Theodore Fujita: His Contribution to Tornado Knowledge through Damage Documentation and the Fujita Scale*. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001. **82**(1): p. 63-72.
21. Lavers, D.A. and G. Villarini, *The nexus between atmospheric rivers and extreme precipitation across Europe*. Geophysical Research Letters, 2013. **40**(12): p. 3259-3264.
22. Jackson, P., *ROLL CLOUD ASSOCIATED WITH A COLD FRONT*. Weather, 1964. **19**(12): p. 383-386.