
1^η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ

ΧΑΡΤΩΝ ΚΑΙΡΟΥ

1. Εισαγωγή

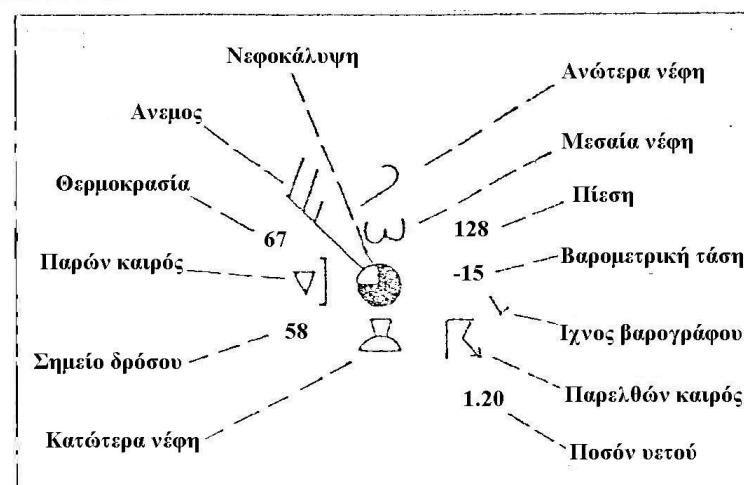
Την πρώτη ύλη για την ανάλυση και την πρόγνωση της καιρικής κατάστασης αποτελούν τα δεδομένα των παρατηρήσεων που γίνονται καθημερινά στην επιφάνεια του εδάφους αλλά και καθ ύψος. Σε ολόκληρη την υδρόγειο υπάρχει ένα εκτεταμένο δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών στους οποίους γίνονται σε όλη την διάρκεια του εικοσιτετράωρου (κάθε τρεις ή έξι ώρες) συγχρονισμένες παρατηρήσεις επιφάνειας. Επίσης πολλοί από τούς σταθμούς αυτούς εκτελούν δύο φορές το εικοσιτετράωρο (00.00GMT και 12.00GMT) ραδιοβολίσεις με την βοήθεια των οποίων συλλέγονται στοιχεία για την δομή της ατμόσφαιρας καθ ύψος. Τα παρατηρούμενα στην επιφάνεια στοιχεία είναι τα εξής:

1. Ατμοσφαιρική πίεση και τάση τριώρου (μεταβολή πίεσης τις τρεις ώρες πριν την παρατήρηση).
2. Θερμοκρασία αέρα.
3. Θερμοκρασία δρόσου.
4. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου.
5. Ποσότητα και είδη νεφών.
6. Υετός (βροχή, χαλάζι, χιόνι). Επίσης αναφέρεται και η ένταση του υετού.
7. Αστραπή (όταν μία βροχόπτωση συνοδεύεται από κεραυνούς ή αστραπές χαρακτηρίζεται σαν καταιγίδα).
8. Ομίχλη.
9. Δροσιά ή πάχνη.
10. Παρασυρόμενο (από τον άνεμο) χιόνι ή άμμος.
11. Στους θαλάσσιους σταθμούς επί πλέον παρατηρείται και η κατάσταση της θάλασσας.

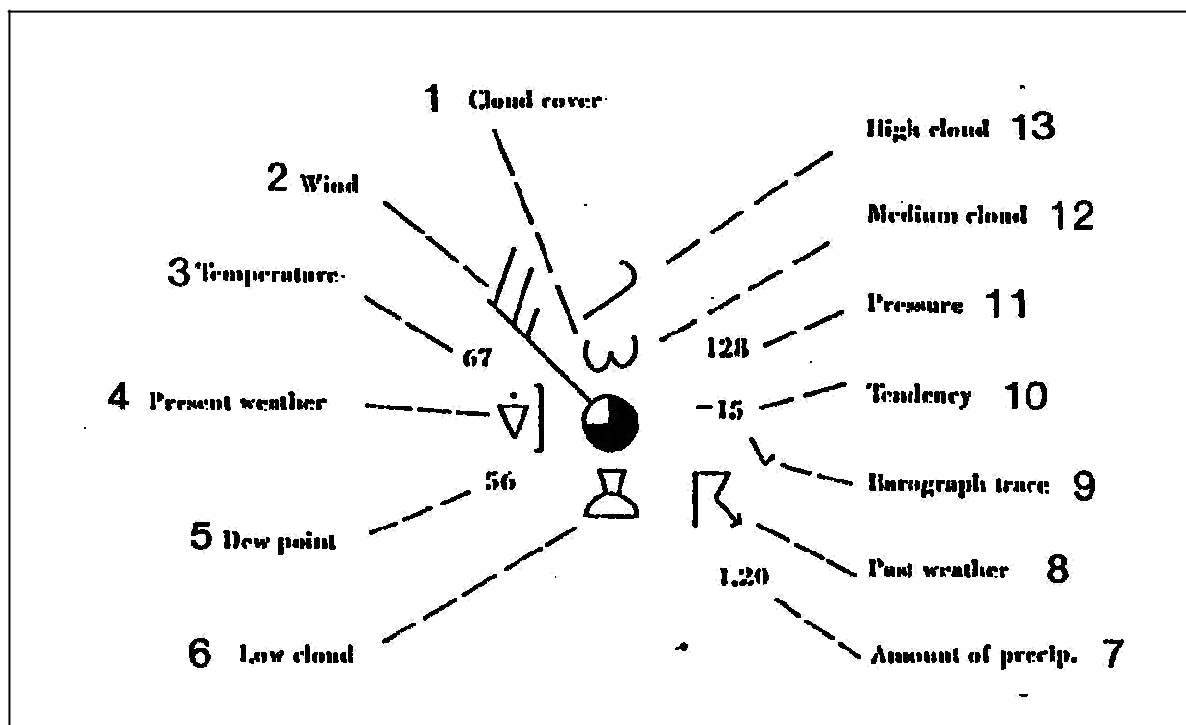
Τα δεδομένα των παρατηρήσεων, αφού πρώτα η πίεση υποστεί τις γνωστές αναγωγές (υψόμετρο μηδέν, θερμοκρασία 0°C και κανονική βαρύτητα) αποστέλλονται κωδικοποιημένα στα κέντρα πρόγνωσης καιρού. Στα κέντρα αυτά τα στοιχεία αποκωδικοποιούνται και καταγράφονται είτε σαν σύμβολα (νέφη, αστραπές, βροχή κ.λ.π) είτε σαν αριθμοί (P,T,Td, κ.λ.π) επάνω σε ειδικούς χάρτες (Σχήμα 1).

Οι χάρτες αυτοί είναι απλοί γεωγραφικοί χάρτες που καλύπτουν είτε ολόκληρο το ημισφαίριο, είτε ένα τμήμα αυτού που ενδιαφέρει ιδιαίτερα την περιοχή στην οποία θα

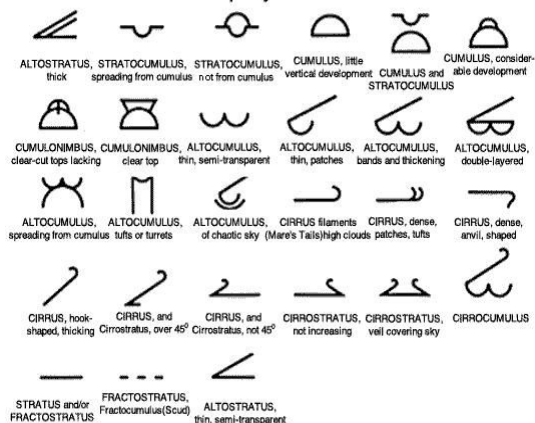
γίνει η ανάλυση και πρόγνωση της καιρικής κατάστασης. Επάνω στους χάρτες είναι σημειωμένες οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών παρατηρήσεων κάθε ένας από τους οποίους έχει έναν κωδικό αριθμό. Παρατηρήσεις στέλνονται επίσης και από πλοία των οποίων οι θέσεις εντοπίζονται κάθε φορά στους χάρτες. Μετά την καταγραφή των στοιχείων χαράζονται οι χάρτες καιρού επιφάνειας.



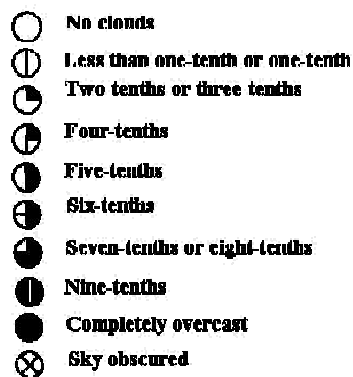
1. Ποσοστό νεφοκάλυψης.
2. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου.
3. Θερμοκρασία (π.χ. $67^{\circ}\text{F} = 29.5^{\circ}\text{C}$).
4. Παρών καιρός.
5. Θερμοκρασία δρόσου (π.χ. $56^{\circ}\text{F} = 13^{\circ}\text{C}$).
6. Χαμηλά νέφη.
7. Ποσότητα (ύψος υετού) (π.χ. 1.20 cm).
8. Προηγούμενος καιρός (π.χ. καταιγίδα).
9. Πορεία πίεσης (Τρεις τελευταίες ώρες).
10. Τάση τριώρου (Μεταβολή πίεσης τις τρεις ώρες που προηγήθηκαν της παρατήρησης ($15 = 1.5 \text{ hPa}$)).
11. Ατμοσφαιρική πίεση (π.χ. $128 = 1012.8 \text{ hPa}$).
12. Μέσα νέφη.
13. Ανώτερα νέφη.



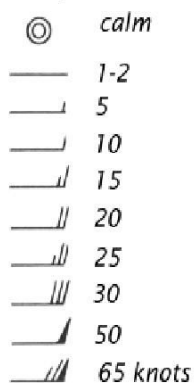
Weather map Symbols for Clouds



Total Sky Cover

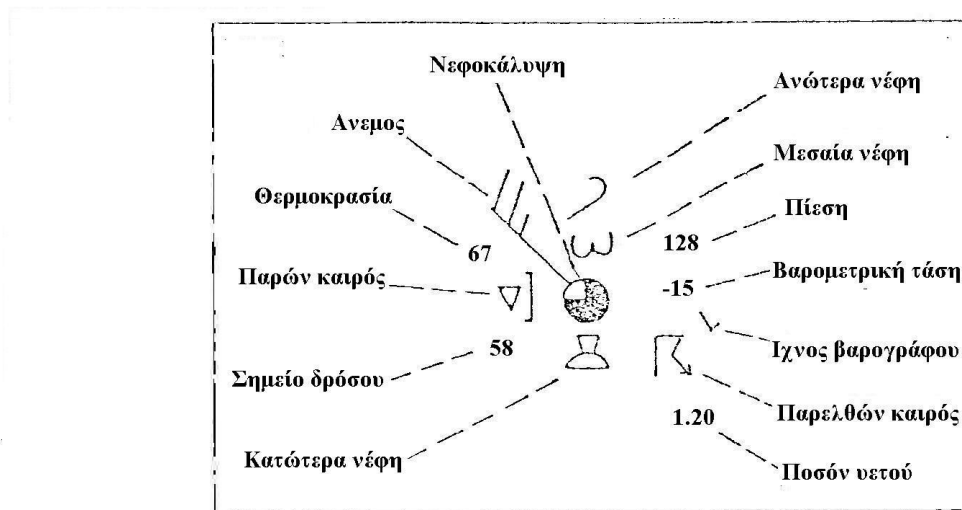


Wind Speed



Σχήμα 1. Σταθμός επιφάνειας (κύκλος) και μετεωρολογικές παρατηρήσεις.

1. Ποσοστό νεφοκάλυψης.
2. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου.
3. Θερμοκρασία (π.χ. $67^{\circ}\text{F} = 29.5^{\circ}\text{C}$).
4. Παρών καιρός.
5. Θερμοκρασία δρόσου (π.χ. $56^{\circ}\text{F} = 13^{\circ}\text{C}$).
6. Χαμηλά νέφη.
7. Ποσότητα (ύψος υετού) (π.χ. 1.20 cm).
8. Προηγούμενός καιρός (π.χ. καταιγίδα).
9. Πορεία πίεσης (Τρεις τελευταίες ώρες).
10. Τάση τριώρου (Μεταβολή πίεσης τις τρεις ώρες που προηγήθηκαν της παρατήρησης ($15 = 1.5 \text{ hPa}$)).
11. Ατμοσφαιρική πίεση (π.χ. 128 = 1012.8 hPa)
12. Μέσα νέφη.
13. Ανώτερα νέφη.



Σχήμα 1. Παράδειγμα απεικόνισης σταθμού και δεδομένων σε ένα χάρτη επιφάνειας.

Τα στοιχεία που συλλέγονται καθ' ύψος από τις ραδιοβολίδες (πίεση, θερμοκρασία, υγρασία, διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου) μεταβιβάζονται στα προγνωστικά κέντρα και αξιοποιούνται κατ' ανάλογο τρόπο όπως και τα στοιχεία επιφάνειας.

2. Χάρτες επιφάνειας.

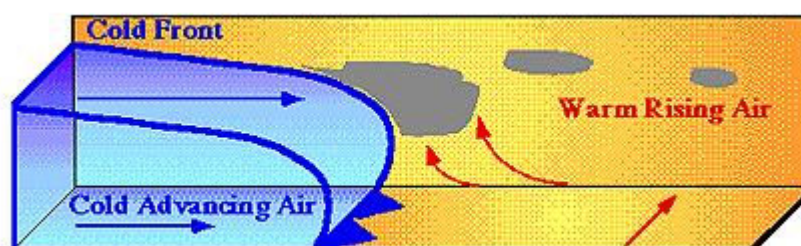
Το βασικότερο στοιχείο για τους χάρτες επιφάνειας είναι η βαρομετρική πίεση. Με την βοήθεια των δεδομένων πίεσης χαράσσονται οι ισοβαρείς καμπύλες, δηλαδή οι καμπύλες που ενώνουν τους τόπους με την ίδια ανηγμένη βαρομετρική πίεση. Επίσης πάνω στους χάρτες επιφάνειας προσδιορίζονται οι θέσεις των τυχόν υπάρχοντων μετώπων.

Τα μέτωπα δημιουργούνται όταν συναντηθούν δύο αέριες μάζες με διαφορετικά

χαρακτηριστικά. Η μεταξύ τους διαχωριστική επιφάνεια ονομάζεται **μετωπική επιφάνεια** και η τομή μιας τέτοιας επιφάνειας με το οριζόντιο επίπεδο λέγεται **μέτωπο**..

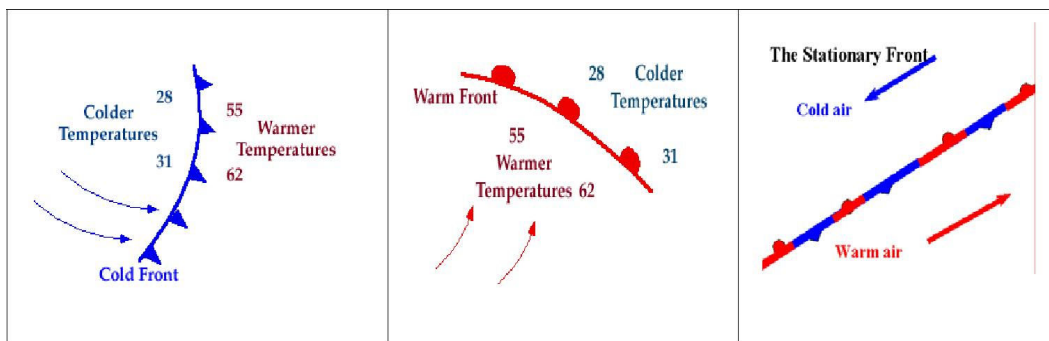
Πίνακας 1. Σύμβολα καιρού: 1 Νεφοκάλυψης (σε όγδοα), 2 Είδους νεφών, 3 Βαρομετρικής τάσης, 4 Βροχόπτωσης και άλλων φαινομένων και 5 Μορφών χιονόπτωσης.

1	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9									
2	Ci Cc Cs Ac Ns Sc St Cb As (αραιά) As (πυκνά) Cu (χαμηλά) Cu (πυκνά)									
3	/ Σταθερή άνοδος Λ Άνοδος και μεγαλύτερη πτώση ~ Ακανόνιστη πτώση Λ Πτώση και μικρότερη άνοδος									
4	≡ Ομίχλη ☼ Ψιγάλα • Βροχή ~ Πάγωμα * Χιόνι ∞ Ξηρή αχλός (haze) = Υγρή αχλός (mist) Δ Χαλάζι ▽ Ομβρός ⌞ Καταιγίδα ☼ Κονιορτο (αμμο) θύελλα ⬆ Παρασυρόμενο χιόνι x x Τελείωσε την προηγούμενη ώρα [x x Πόκνωσε την προηγούμενη ώρα x x Αραίωσε την προηγούμενη ώρα									
5	* Ελαφρά διαλείπουσα χιόν ** Ελαφρά συνεχής χιόν * Μέτρια διαλείπουσα χιόν * * Μέτρια συνεχής χιόν ** Ισχυρά διαλείπουσα χιόν ** Ισχυρά συνεχής χιόν									



Σχήμα 2. Το μέτωπο ορίζεται σαν η μεταβατική ζώνη ανάμεσα σε δύο αέριες μάζες διαφορετικής πυκνότητας.

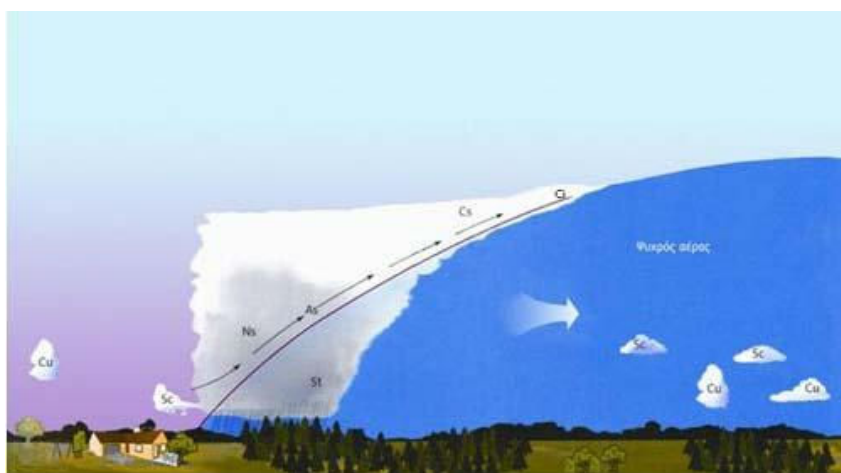
Όταν σε ένα κινούμενο μέτωπο προηγείται η θερμή αέρια μάζα και την ακολουθεί η ψυχρή, το μέτωπο ονομάζεται **ψυχρό (cold front)**. Στην αντίθετη περίπτωση, το μέτωπο ονομάζεται **θερμό (warm front)**. Όταν το μέτωπο δεν παρουσιάζει σημαντική μετακίνηση, χαρακτηρίζεται ως **στάσιμο (stationary front)**.



Σχήμα 3. Η χαρακτηριστική εμφάνιση ενός ψυχρού, ενός θερμού και ενός στάσιμου μετώπου.

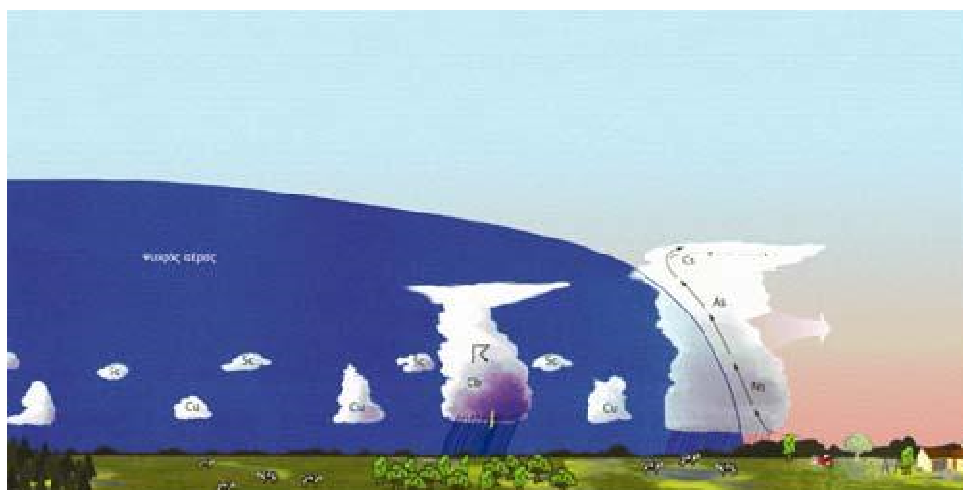
Παρατηρείται η περίπτωση ένα ψυχρό μέτωπο, κατά τη γρήγορη μετακίνησή του, να συναντά ένα αργά κινούμενο θερμό, οπότε ο θερμός αέρας να εκτοπίζεται από την επιφάνεια του εδάφους και τα δύο μέτωπα γίνονται ένα. Τότε, το μέτωπο ονομάζεται συνεσφιγμένο (occluded front). Στους χάρτες καιρού το θερμό μέτωπο συμβολίζεται με ημικύκλια (μαύρα ή κόκκινα) προς την κατεύθυνση της κίνησης, το ψυχρό μέτωπο με τρίγωνα (μαύρα ή μπλε), το στάσιμο μέτωπο με συνδυασμό ημικυκλίων και τριγώνων με αντίθετους προσανατολισμούς, ενώ το συνεσφιγμένο μέτωπο με συνδυασμό ημικυκλίων και τριγώνων προς την κατεύθυνση της κίνησης.

Το θερμό μέτωπο συνοδεύεται από ένα εκτεταμένο νεφικό σύστημα κατά μήκος του. Τα είδη νεφών που βλέπει ο κάθε παρατηρητής με το πέρασμα ενός θερμού μετώπου κατά σειρά είναι Cirrus, Cirrostratus, Altostratus, Nimbostratus, Cumulonimbus. Επομένως ύπαρξη νεφών τύπου Cirrus προμηνύει την έλευση θερμού μετώπου, ενώ η άφιξη των Altostratus, Nimbostratus, Cumulonimbus θα φέρει άστατο καιρό και κακοκαιρία, αφού αυτά είναι βροχοφόρα, χιονοφόρα και καταιγιδοφόρα. Ένας παρατηρητής που θα βρεθεί στην πορεία ενός θερμού μετώπου, θα παρατηρήσει τη χαρακτηριστική νέφωση που προηγείται, εν συνεχεία βροχή μέτριας έντασης αλλά μεγάλης διάρκειας. Με το πέρασμα του μετώπου θα διαπιστώσει άνοδο της θερμοκρασίας, στροφή των ανέμων και σημαντική βελτίωση του καιρού, ο οποίος γίνεται αίθριος πίσω από το μέτωπο.



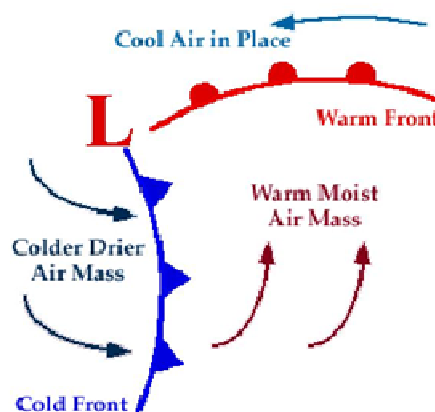
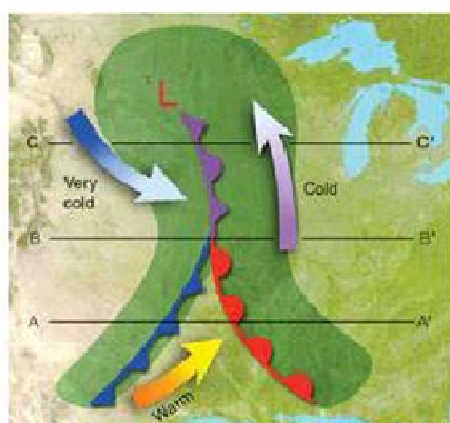
Σχήμα 4. Η νέφωση και τα χαρακτηριστικά καιρού που συνοδεύουν ένα θερμό μέτωπο

Τα ψυχρά μέτωπα οδηγούν στον σχηματισμό ογκωδών νεφών τύπου Stratocumulus, Cumulonimbus, Nimbostratus και Altostratus και φέρουν και αυτά άστατο καιρό και καταιγίδες. Το στάσιμο μέτωπο έχει κατακόρυφη δομή παρόμοια μ' αυτή του θερμού, όπως και οι καιρικές συνθήκες που το συνοδεύουν. Πολλές φορές, εκατέρωθεν του στάσιμου μετώπου πνέουν άνεμοι παράλληλοι στο μέτωπο



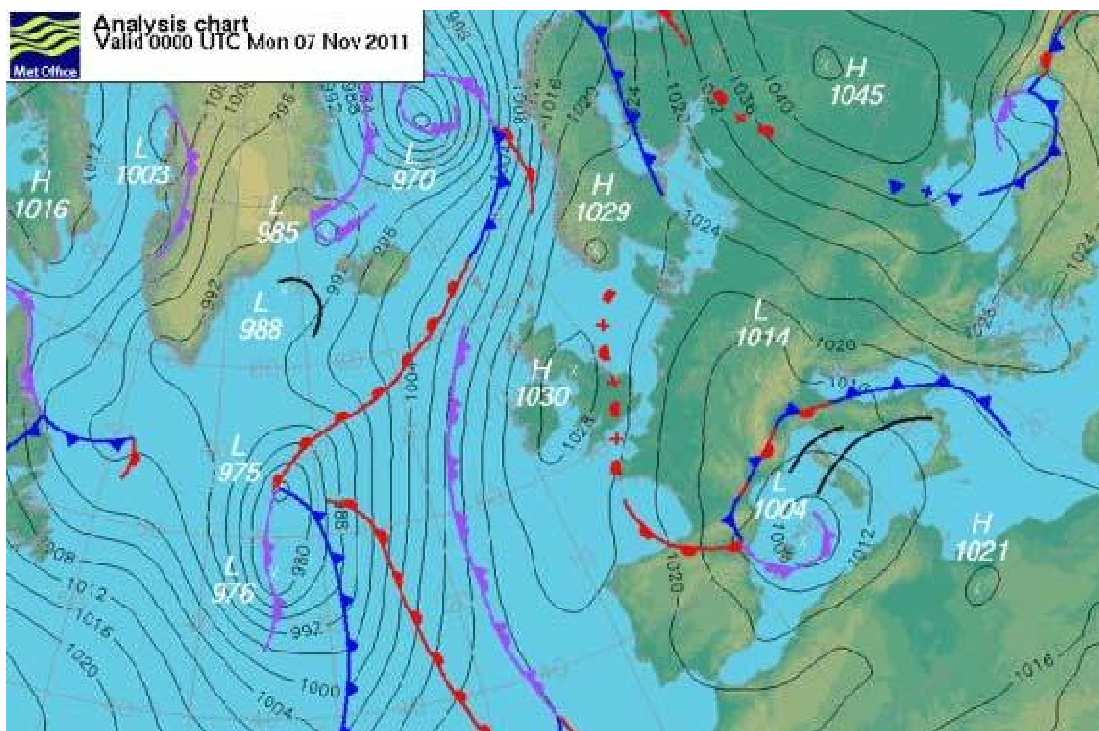
Σχήμα 5. Η νέφωση και τα χαρακτηριστικά καιρού που συνοδεύουν ένα ψυχρό μέτωπο.

Οι υφέσεις δημιουργούνται συνήθως κατά μήκος εκτεταμένων μετωπικών ζωνών και συνήθως κινούνται από δυτικά προς ανατολικά με εκτροπή προς ΒΑ ή ΝΑ. Κάθε ύφεση περιλαμβάνει δύο μέτωπα, ένα ψυχρό και ένα θερμό. Το τμήμα μεταξύ των μετώπων ονομάζεται θερμός τομέας. Ο θερμός αέρας εκτείνεται σαν γλώσσα προς το κέντρο της ύφεσης, όπου η πίεση είναι και μικρότερη, ενώ ο ψυχρός αέρας καταλαμβάνει την υπόλοιπη περιοχή της ύφεσης. Τα καιρικά φαινόμενα που συνοδεύουν μία ύφεση είναι παρόμοια με αυτά που συνοδεύουν το ψυχρό και το θερμό μέτωπο, δηλαδή σύστημα κακοκαιρίας. Ο κύκλος ζωής μιας ύφεσης, κρατά 5 έως 7 ημέρες και μετά διαλύεται. Ο κύριος όγκος της νέφωσης αναπτύσσεται κυρίως μπροστά από το θερμό μέτωπο και σε μια πιο στενή λουρίδα στο ψυχρό μέτωπο και πίσω από αυτό. Συνήθως μέσα στο θερμό τομέα δεν υπάρχει νέφωση και ο καιρός είναι αίθριος.



Σχήμα 6. Ο σχηματισμός μιας ύφεσης.

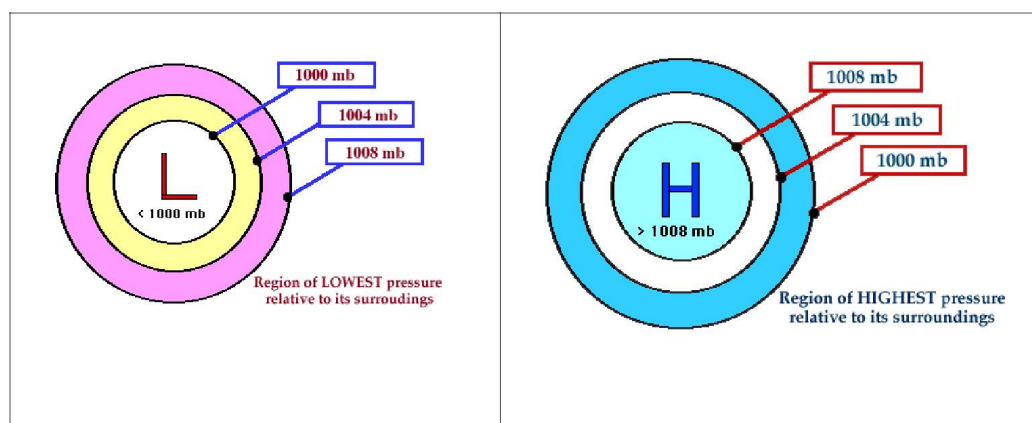
Κατά την χάραξη των χαρτών καιρού λαμβάνεται μέριμνα ώστε να εξαλείφονται τυχόν εσφαλμένα δεδομένα των σταθμών. Τέτοια δεδομένα μπορεί να οφείλονται σε σφάλματα που έγιναν είτε κατά τις παρατηρήσεις είτε κατά την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση των στοιχείων. Επιπλέον είναι δυνατόν ορισμένοι σταθμοί, λόγω της ειδικής τοπογραφικής τους θέσης (π.χ. σε μία κοιλάδα), να παρέχουν δεδομένα τα οποία δεν είναι αντιπροσωπευτικά της γενικής συνοπτικής κατάστασης της περιοχής που ανήκουν. Η εξάλειψη των εσφαλμένων δεδομένων γίνεται μέσω σύγκρισης αυτών με δεδομένα των γειτονικών σταθμών και εκτίμησης του κατά πόσον είναι δυνατόν να συμφωνούν αυτά με την όλη διαδοχή των μεγάλης κλίμακας καθώς και των τοπικών καιρικών φαινομένων. Οι ισοβαρείς καμπύλες χαράσσονται ανά 5hPa κυρίως στους ημισφαιρικούς χάρτες ή ανά 4hPa στους χάρτες που καλύπτουν μικρότερη έκταση (Σχ.7), ξεκινώντας πάντοτε από τα 1000 hPa: 990hPa, 995hPa, 1000hPa, 1005hPa, 1010hPa, ή 992hPa, 996hPa, 1000hPa, 1004hPa, 1008hPa, κ.λ.π.



Σχήμα 7. Τυπικός χάρτης επιφάνειας όπου φαίνονται οι ισοβαρείς καμπύλες και τα υπάρχοντα μέτωπα.

Οι ισοβαρείς καμπύλες δίνουν την κατανομή των βαρομετρικών πιέσεων στην επιφάνεια και έτσι προσδιορίζεται η τυχόν ύπαρξη βαρομετρικών συστημάτων πάνω σε αυτή. Τα συστήματα αυτά μπορούν να διακριθούν σε δύο γενικές κατηγορίες. 1) στα βαρομετρικά χαμηλά, 2) στους αντικυκλώνες. Εάν η κατανομή της βαρομετρικής πίεσης σε μια περιοχή είναι τέτοια ώστε οι ισοβαρείς επιφάνειας να έχουν την μορφή κλειστών καμπυλών με την πίεση να ελαττώνεται από την περιφέρεια προς το κέντρο τότε στην περιοχή αυτή υπάρχει ένα βαρομετρικό χαμηλό. Αντίθετα αν σε μία περιοχή οι ισοβαρείς είναι κλειστές καμπύλες με την πίεση να αυξάνει από την περιφέρεια προς το κέντρο

στην περιοχή αυτή υπάρχει ένας αντικυκλώνας.



Σχήμα 8. Η ύπαρξη βαρομετρικών συστημάτων στην επιφάνεια προσδιορίζεται από την κατανομή των βαρομετρικών πιέσεων, όπως αυτή φαίνεται από τις ισοβαρείς καμπύλες.

3. Χάρτες καθ' ύψος

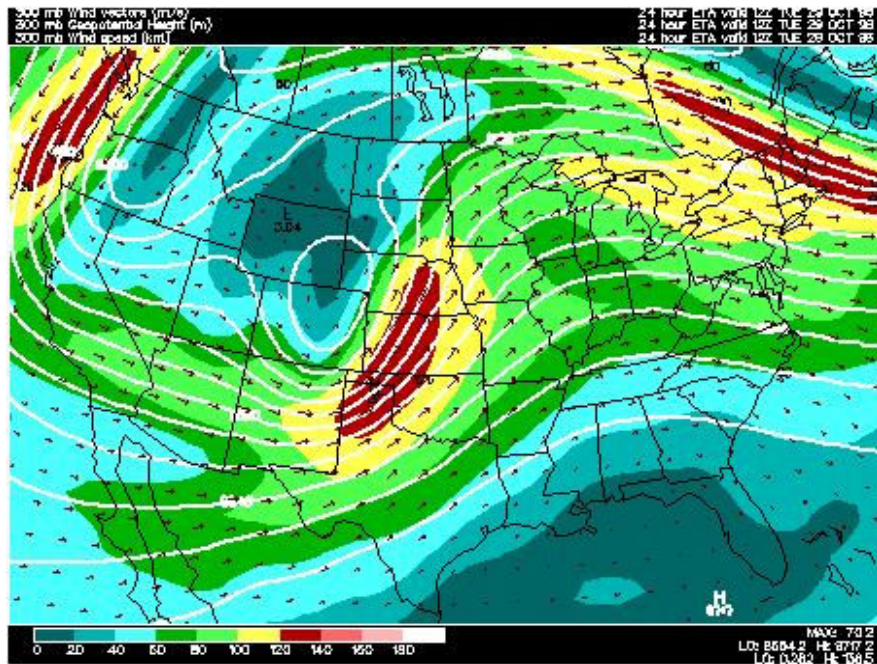
Εκτός από τους χάρτες επιφάνειας, απαραίτητη για την ανάλυση και την πρόγνωση του καιρού είναι και η χάραξη των χαρτών σε διάφορα ύψη μέσα στην τροπόσφαιρα. Οι χάρτες αυτοί χαράσσονται με την βοήθεια των δεδομένων των ραδιοβολίσεων.

Οι χάρτες καθ' ύψος διαφέρουν βασικά από τους χάρτες επιφάνειας κατά το γεγονός ότι αυτοί δεν κατασκευάζονται με την χάραξη ισοβαρών καμπύλων πάνω σε επιφάνειες σταθερού ύψους, αλλά με την χάραξη ισοϋψών καμπύλων, δηλαδή καμπύλων σταθερού γεωδυναμικού ύψους, πάνω σε ισοβαρικές επιφάνειες. Το γεωδυναμικό ύψος (GH) ορίζεται από τον τύπο:

$$GH = H \frac{g(\phi)}{g_0}$$

όπου H το ύψος, ϕ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και $g_0 = g(45^\circ)$. Το γεωδυναμικό ύψος μετριέται σε γεωδυναμικά μέτρα (gm). Οι ισοβαρικές επιφάνειες μπορούν να θεωρηθούν σαν επίπεδα σε ένα σύστημα ισοβαρικών συντεταγμένων.

Για την χάραξη των χαρτών καθ' ύψος χρησιμοποιούνται πάντοτε καθορισμένες ισοβαρικές επιφάνειες, οι οποίες ονομάζονται βασικές ισοβαρικές επιφάνειες. Οι επιφάνειες αυτές είναι των 850 hPa, 700hPa, 500hPa, 300hPa (Σχ. 9), 200hPa και των 100hPa (1hPa=1mb). π.χ η χάραξη των ισοϋψών στα 850hPa γίνεται συνήθως κάθε 40 ή 60 γεωδυναμικά μέτρα (gm), έχοντας σαν βασική την ισοϋψή των 1520gm. Πάνω από κάθε σταθμό που έχει γίνει ραδιοβόλιση αναφέρονται σε δεκάμετρα τα ύψη της ισοβαρικής αυτής επιφάνειας. Κάνοντας παρεμβολές μεταξύ των σταθμών βρίσκουμε και ενώνουμε όλους τους τόπους πάνω από τους οποίους το γεωδυναμικό ύψος της ισοβαρικής επιφάνειας των 850 hPa είναι το ίδιο, π.χ. 1520, 1560 gm κ.λ.π. Επειδή συχνά τα δεδομένα είναι ελλιπή, κατά την χάραξη των ισοϋψών εκμεταλλευόμαστε το γεγονός ότι σε ύψη άνω των 1000m δεν υπάρχει τριβή και ο άνεμος είναι με αρκετά καλή προσέγγιση γεωστροφικός.



Σχήμα 9. Ένας χαρακτηριστικός χάρτης καθ' ύψος (300mbs) στον οποίο διακρίνονται οι ισοϋψείς καμπύλες, δηλαδή οι καμπύλες σταθερού γεωδυναμικού ύψους.

Επομένως θα διευθύνεται παράλληλα στις ισοϋψείς έχοντας αριστερά του τα χαμηλά ύψη. Αφού λοιπόν οι διευθύνσεις των ανέμων δίνονται από τις ραδιοβολίσεις, τις χρησιμοποιούμε για τον προσδιορισμό της διεύθυνσης των ισοϋψών εκεί όπου δεν υπάρχουν δεδομένα. Ανάλογα χαράζονται και οι ισοϋψείς των λοιπών ισοβαρικών επιπέδων. Ο λόγος για τον οποίο προτιμάται η χάραξη ισοϋψών καμπύλων πάνω σε ισοβαρικές επιφάνειες είναι ο εξής: αν είχαμε χαράξει ισοβαρείς καμπύλες πάνω σε ισοϋψή επίπεδα ο γεωστροφικός άνεμος στην ανυσματική μορφή θα δινόταν από την σχέση:

$$\vec{V}_g = \frac{1}{\rho f} \hat{k} \times \vec{\nabla}_z p$$

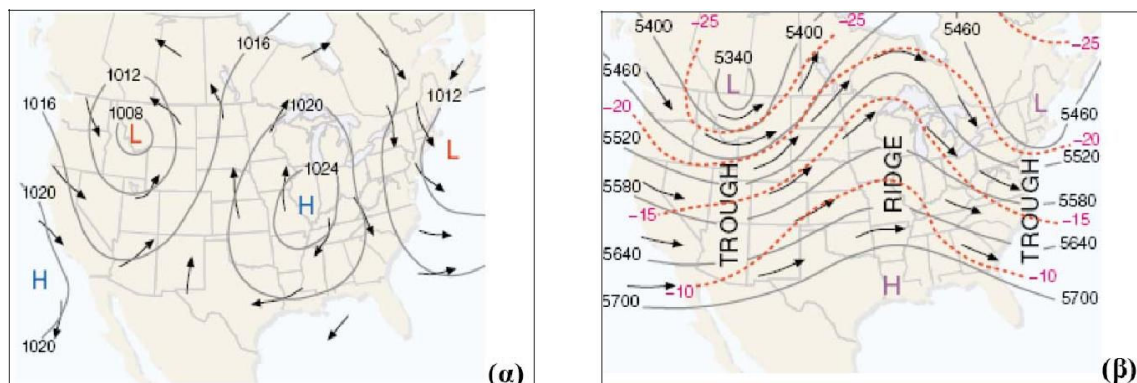
δηλαδή η αριθμητική του τιμή θα εξαρτιόταν από την πυκνότητα ρ του ατμοσφαιρικού αέρα η οποία ελαττώνεται εκθετικά με το ύψος. Αντίθετα, πάνω σε μια ισοβαρική επιφάνεια ο γεωστροφικός άνεμος δίνεται από την σχέση:

$$\vec{V}_g = \frac{g}{f} \hat{k} \times \vec{\nabla}_p z$$

δηλαδή για δεδομένη βαθμίδα μεταβολής του ύψους της ισοβαρικής επιφάνειας έχουμε τον ίδιο γεωστροφικό άνεμο, ανεξαρτήτως της πίεσης (και επομένως της ατμοσφαιρικής πυκνότητας) στην οποία αντιστοιχεί αυτή.

Δύο από τα κυριότερα βασικά επίπεδα είναι των 850 hPa και των 500 hPa. Οι χάρτες των 850hPa χρησιμεύουν για την ανάλυση των αερίων μαζών από θερμοκρασιακής πλευράς και για την πρόγνωση των μεταβολών θερμοκρασίας στους διαφόρους τόπους. Οι χάρτες των 500 hPa χρησιμεύουν για τον προσδιορισμό των βαρομετρικών συστημάτων καθ' ύψος και την πρόγνωση της εξέλιξής τους. Οι ισοϋψείς στον χάρτη

των 500hPa, παρουσιάζουν τα χαμηλά και υψηλά όπως περίπου οι ισοβαρείς στους χάρτες επιφάνειας. Παρουσιάζουν ακόμα τις σφήνες υφέσεως και σφήνες έξαρσης. Συγκεκριμένα, στις περιοχές που υπάρχουν χαμηλά (L) εμφανίζονται οι σφήνες ύφεσης, ενώ στις περιοχές των υψηλών (H) υπάρχουν οι σφήνες έξαρσης.



Σχήμα 10. Εικόνα βαρομετρικών συστημάτων που επικρατούν (α) στην επιφάνεια και (β) στο ύψος των 500 hPa. Τα βέλη δείχνουν την διεύθυνση του ανέμου. Με διακεκομμένες γραμμές στον χάρτη των 500 hPa φαίνονται οι ισόθερμες σε °C.

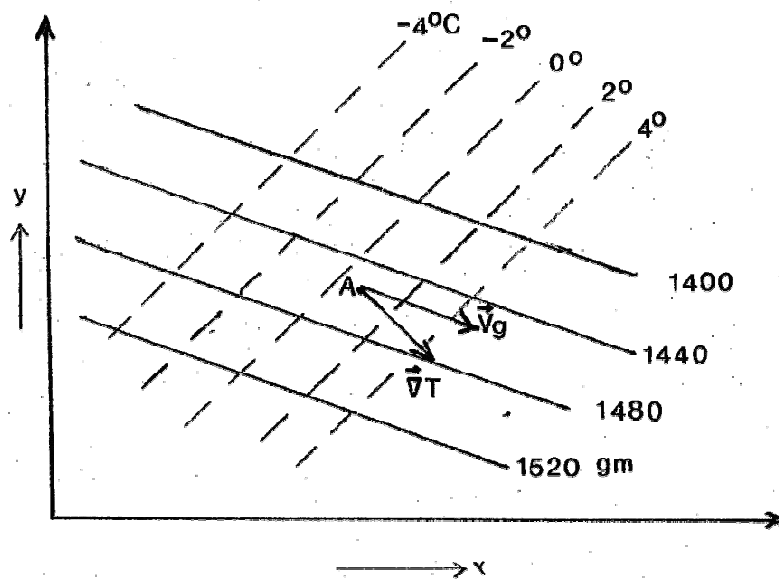
4. Η έννοια της Μεταφοράς

Έστω ότι σε μία ισοβαρική επιφάνεια (π.χ των 850 hPa) η κατανομή των θερμοκρασιών σε μία εκτεταμένη μάζα αέρα (π.χ 1000x1000 km²) δίνεται σε κάποια στιγμή από τις ισόθερμες του Σχήματος 11. Έστω ακόμη ότι στην περιοχή αυτή επικρατεί ένα ομοιόμορφο ρεύμα αέρα με ταχύτητα V_g (γεωστροφικός άνεμος). Αν δεχθούμε ότι δεν υπάρχουν επιδράσεις που θα μπορούσαν να προκαλέσουν μεταβολές στο πεδίο των θερμοκρασιών της αέριας μάζας, τότε το τελευταίο θα κινείται σύμφωνα με τον άνεμο παραμένοντας αναλλοίωτο. Έτσι στο Σχ.11 βλέπουμε εύκολα ότι κατά την κίνηση της αέριας μάζας λόγω του ανέμου οι ισόθερμες θα μετατοπίζονται παράλληλα προς την διεύθυνση τους και με ταχύτητα ίση με την προβολή της ταχύτητας V_g του ανέμου προς την διεύθυνση που είναι κάθετη στις ισόθερμες (διεύθυνση θερμοβαθμίδας). Τα παραπάνω όμως συνεπάγονται ότι σε οποιοδήποτε τόπο A, της περιοχής που αντιπροσωπεύεται στο Σχήμα 11, η θερμοκρασία θα πέφτει συνεχώς. Η διεργασία αυτή που παρουσιάζεται, σε πιο σύνθετη βέβαια μορφή, πολύ συχνά μέσα στην τροπόσφαιρα και κυρίως στα εύκρατα γεωγραφικά πλάτη ονομάζεται "μεταφορά θερμοκρασίας" (temperature advection). Η μεταφορά ορίζεται από τον τύπο:

$$M = -\vec{V}_g \cdot \vec{\nabla} T = -|\vec{V}_g| |\vec{\nabla} T| \cos(\phi)$$

όπου ϕ η γωνία των ανυσμάτων $\vec{V}_g$ και $\vec{\nabla} T$.

Όταν ισχύει $M < 0$, δηλαδή η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων $\vec{V}_g$ και $\vec{\nabla} T$ είναι μικρότερη των 90°, τότε υπάρχει ψυχρή μεταφορά, ενώ όταν ισχύει $M > 0$, δηλαδή $180^\circ \geq \phi > 90^\circ$ τότε υπάρχει θερμή μεταφορά. Όταν $\phi = 90^\circ$, δεν υπάρχει μεταφορά ($M = 0$).



Σχήμα 11. Για την εκτίμηση του είδους της επικρατούσας μεταφοράς σε έναν τόπο, γίνεται η χάραξη των ισόθερμων και των ισοϋψών.

Στο παράδειγμα του Σχ. 11 υπάρχει "ψυχρή μεταφορά". Η μεταφορά εκφράζει τον χρονικό ρυθμό με τον οποίο μεταβάλλεται η θερμοκρασία σε ένα τόπο Α. Π.χ αν δεχθούμε ότι $\vec{V}_g = 50 \text{ km/hr}$ και $\vec{\nabla} T = 4^\circ\text{C}/100\text{km}$ και $\phi = 60^\circ$, τότε η μεταβολή της

θερμοκρασίας στον τόπο Α θα είναι: -1°C/hr . Η μεταφορά θερμοκρασίας είναι το κύριο

δυναμικό αίτιο από το οποίο προκαλούνται οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στα μέσα γεωγραφικά πλάτη μέσα σε χρονικά διαστήματα της τάξης του ενός εικοσιτετραώρου ή ακόμη και λίγων ωρών. Στον Ελληνικό χώρο για παράδειγμα είναι αρκετά συνηθισμένο

το φαινόμενο να μεταφέρονται με ένα νοτιο-νοτιοδυτικό ρεύμα θερμές αέριες μάζες από

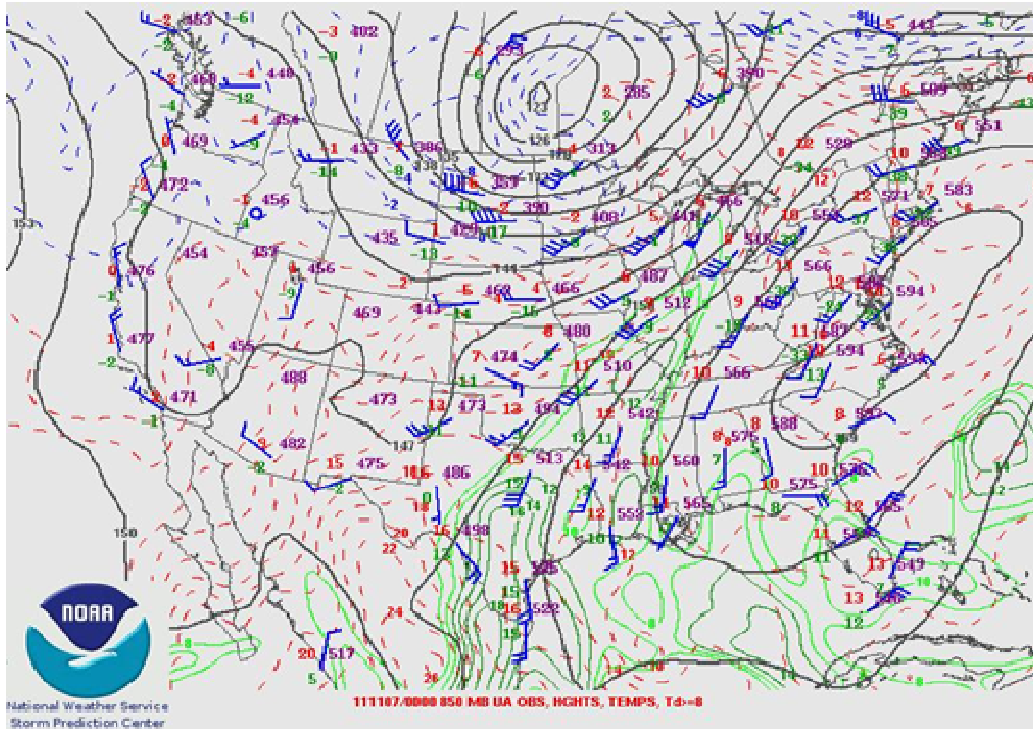
το Βόρειο τμήμα της Αφρικανικής Ηπείρου που καλύπτεται από την έρημο της Σαχάρας με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να διατηρείται για μερικές ημέρες αρκετούς βαθμούς πάνω από τις αντίστοιχες μέσες εποχιακές τιμές. Ανάλογα ένα ψυχρό

Βορειο-Βορειοανατολικό ρεύμα που προέρχεται από την Βορειοανατολική Ευρώπη ή

την Αρκτική Ρωσία είναι δυνατόν να προκαλεί κυρίως κατά την ψυχρή περίοδο έντονη ψυχρή μεταφορά και σημαντικά χαμηλότερες θερμοκρασίες από τις μέσες εποχιακές.

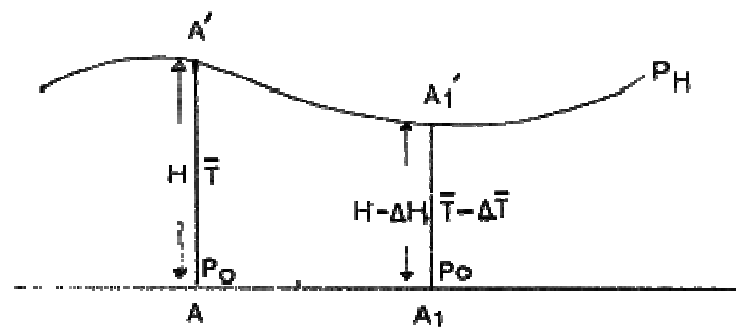
Πάνω από ένα τόπο Α (Σχ. 13), το ύψος Η μιάς ισοβαρικής επιφάνειας ΡΗ δίνεται από την σχέση:

$$H = \frac{R_d \bar{T}}{g} \ln \frac{p_0}{p_H}$$



Σχήμα 12. Ένας χαρακτηριστικός χάρτης των 850 mbs όπου φαίνονται οι ισοϋψείς (με μαύρο χρώμα) και οι ισόθερμες (με κόκκινο χρώμα) καμπύλες.

όπου T η μέση θερμοκρασία του αερίου στρώματος μεταξύ της ισοβαρικής επιφάνειας και του εδάφους πάνω από τον τόπο Α και P_0 η πίεση επιφάνειας στον τόπο Α



Σχήμα 13. Η εξάρτηση του ύψους μιας ισοβαρικής επιφάνειας από τη μέση θερμοκρασία του αερίου στρώματος που παρεμβάλλεται μεταξύ της επιφάνειας και του εδάφους.

Από την σχέση αυτή προκύπτει ότι μία μεταβολή $\Delta \bar{T}$ της μέσης θερμοκρασίας του αερίου στρώματος προκαλεί μεταβολή ΔH του ύψους της ισοβαρικής επιφάνειας P_H που ισούται με

$$\Delta H = \frac{R_d \Delta \bar{T}}{g} \ln \frac{p_0}{p_H}$$

η οποία όπως γίνεται φανερό είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η πίεση της θεωρουμένης ισοβαρικής επιφάνειας P_H . Για τον λόγο αυτό τα ύψη των ισοβαρικών επιφανειών (και επομένως και τα γεωδυναμικά ύψη) που αντιστοιχούν σε μικρές πιέσεις (δηλαδή των ισοβαρικών επιφανειών που βρίσκονται σε μεγάλα γενικώς ύψη στην τροπόσφαιρα) παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις.

Η εξέταση της μεταφοράς θερμοκρασίας γίνεται στους χάρτες των 850 hPa για τρεις βασικούς λόγους: Πρώτον διότι οι χάρτες αυτοί βρίσκονται πάνω από το οριακό στρώμα και επομένως ο άνεμος εκεί είναι πλέον γεωστροφικός (δεν υπάρχει τριβή). Δεύτερον διότι η θερμοκρασία στο ύψος αυτό δεν επηρεάζεται από τις μικροκλιματικές θερμοκρασιακές μεταβολές (λόγω αναγλύφου κ.λ.π) ώστε να είναι αντιπροσωπευτική της θερμοκρασιακής κατανομής σε μεγάλη γεωγραφική κλίμακα, δηλαδή τουλάχιστον 500x500Km² (Συνοπτική κλίμακα) και τρίτον διότι οι θερμοκρασιακές μεταβολές στην επιφάνεια αυτή εξαρτούν άμεσα την αντίστοιχη μεταβολή στην επιφάνεια του εδάφους λόγω του σχετικά μικρού ύψους στο οποίο βρίσκεται.

5. Παράδειγμα χαρτών επιφάνειας και ύψους.

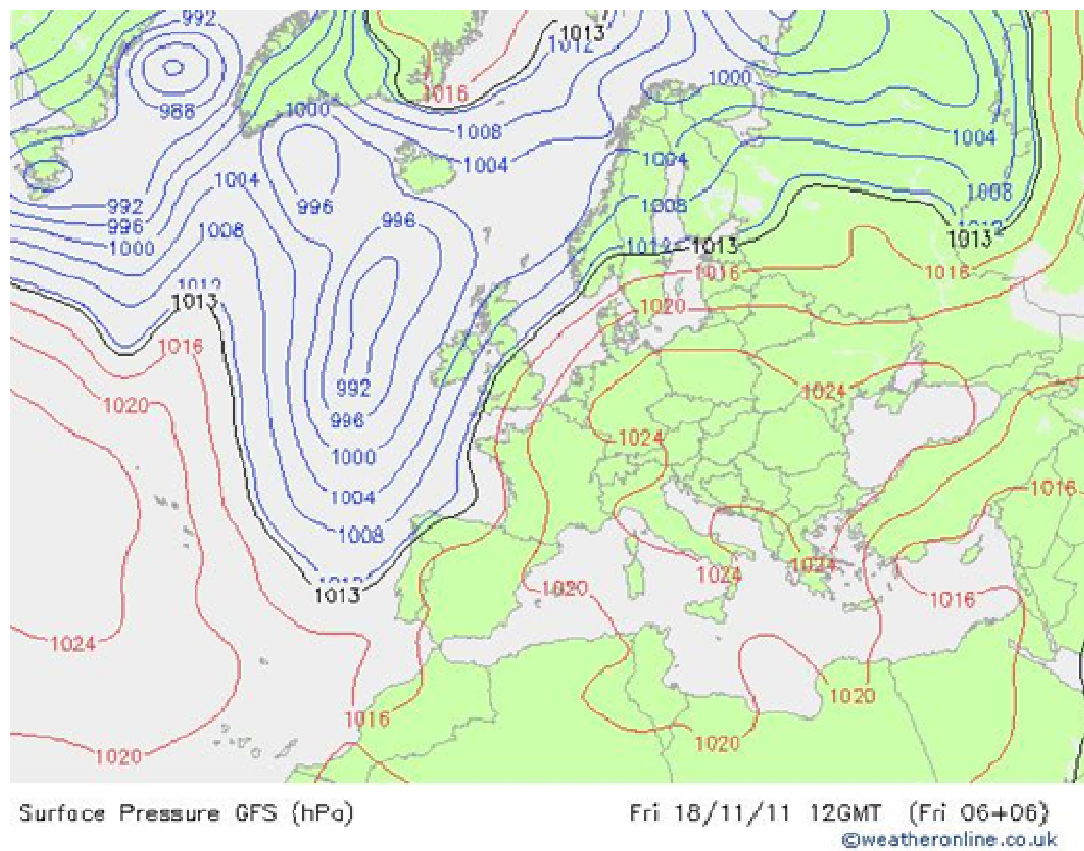
Στα σχήματα 14 – 16, δίνονται αντίστοιχα οι χάρτες επιφάνειας, 850 hPa και 500 hPa για την 18/11/2011.

Στον χάρτη επιφάνειας (Σχ. 14α) είναι χαραγμένες οι ισοβαρείς καμπύλες που δείχνουν τις περιοχές χαμηλών και υψηλών πιέσεων στην επιφάνεια. Στον χάρτη 14β, αποτυπώνονται μαζί με τις ισοβαρείς τα υπάρχοντα βαρομετρικά συστήματα και μέτωπα. Για παράδειγμα, παρατηρείται ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων στα δυτικά της Ιρλανδίας και ένα εκτεταμένο σύστημα υψηλών πιέσεων πάνω από την κεντρική Ευρώπη. Μία σειρά από μέτωπα έχουν ως αποτέλεσμα την παρουσία νέφωσης και την δημιουργία βροχής στα Ν και τμήματα της Αγγλίας.

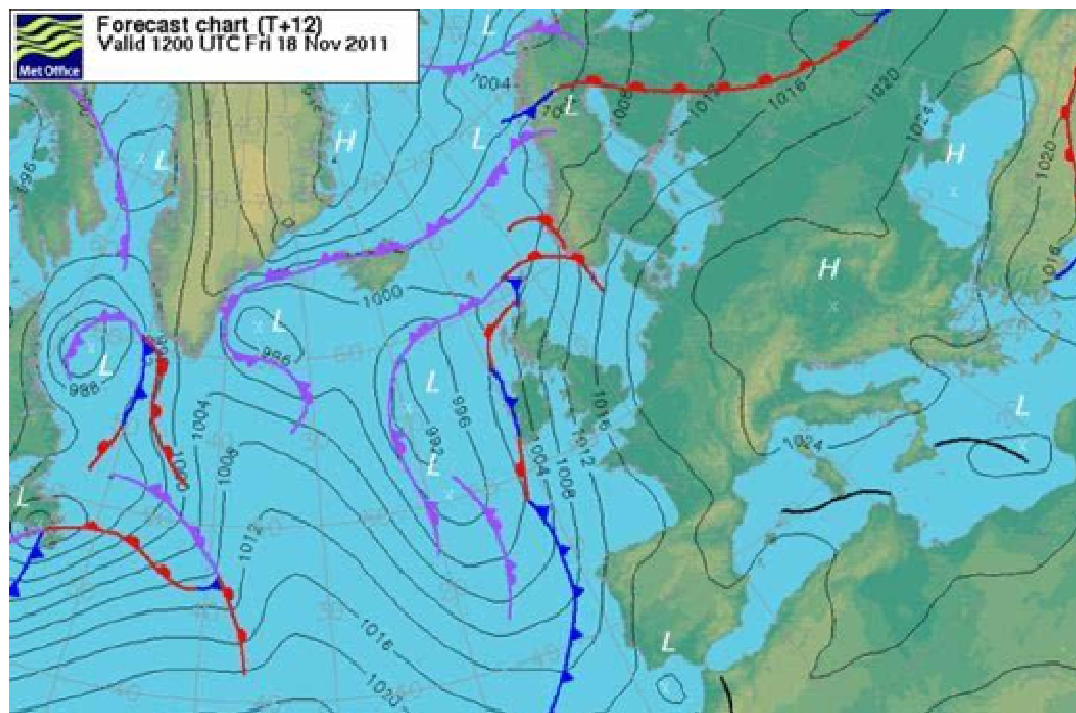
Στον χάρτη 850hPa του Σχήματος 15α, φαίνονται με συνεχείς μαύρες καμπύλες οι ισοϋψείς, ενώ με διακεκομμένες γραμμές οι ισόθερμες ανά 5 βαθμούς Κελσίου. Όταν οι ισοϋψείς και οι ισόθερμες τέμνονται, θα υπάρχει οριζόντια μεταφορά θερμής ή ψυχρής αέρας μάζας, πράγμα που δείχνει τις μεταβολές της θερμοκρασίας που αναμένονται σε κάθε περιοχή. Αυτό επιβεβαιώνεται στο Σχήμα 15β με την χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιείται.

Στον χάρτη των 500 hPa της 18/11/2011 (Σχήμα 16α), η κατανομή των ισοϋψών δείχνει την ύπαρξη σφηνών ύφεσης ή έξαρσης, από την εξέλιξη των οποίων εξαρτάται η συμπεριφορά των συστημάτων στην επιφάνεια. Για παράδειγμα, στα της Αγγλίας παρατηρούμε μία ιδιαίτερα εκτεταμένη σφήνα υφέσεως, ενώ στην περιοχή της Σκανδιναβίας φαίνεται μία σφήνα έξαρσης. Οι πυκνές ισοϋψείς καμπύλες στον χάρτη των 500hPa υποδηλώνουν την παρουσία ανέμου με υψηλές ταχύτητες, όπως φαίνεται

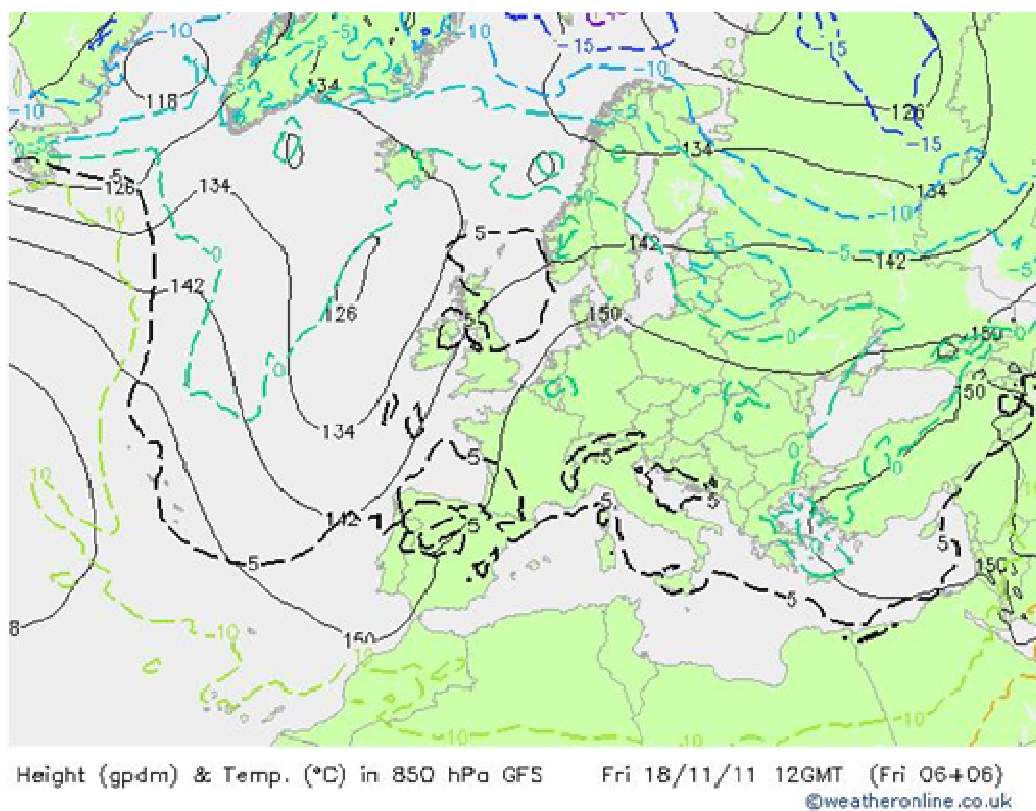
στο Σχήμα 16β.



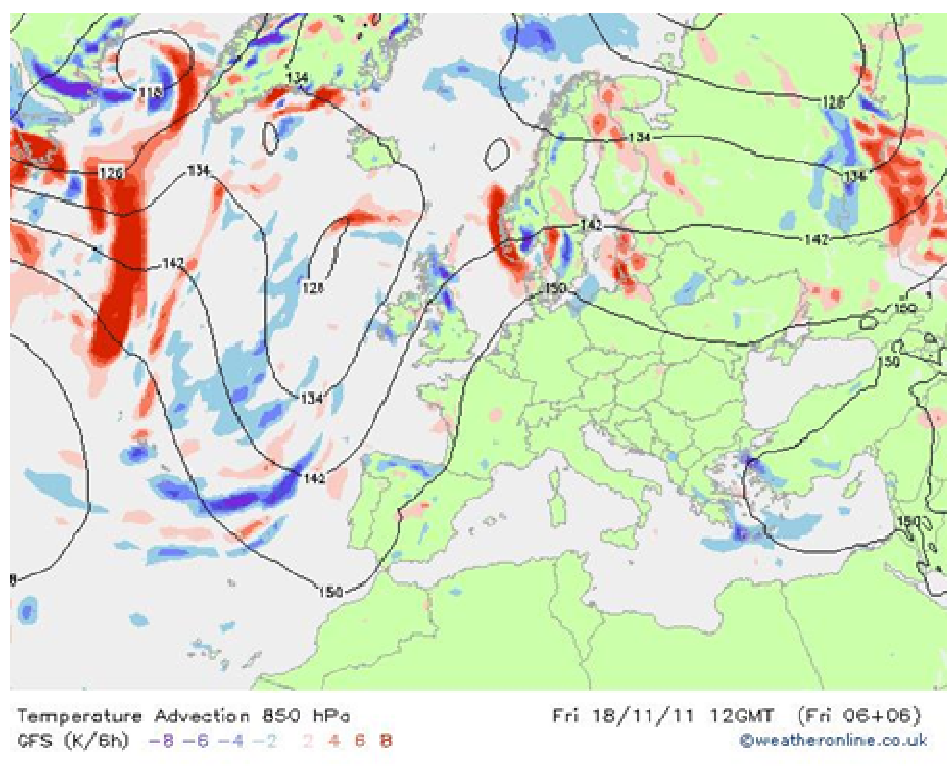
Σχήμα 14α. Χάρτης επιφάνειας για την 18/11/2011.



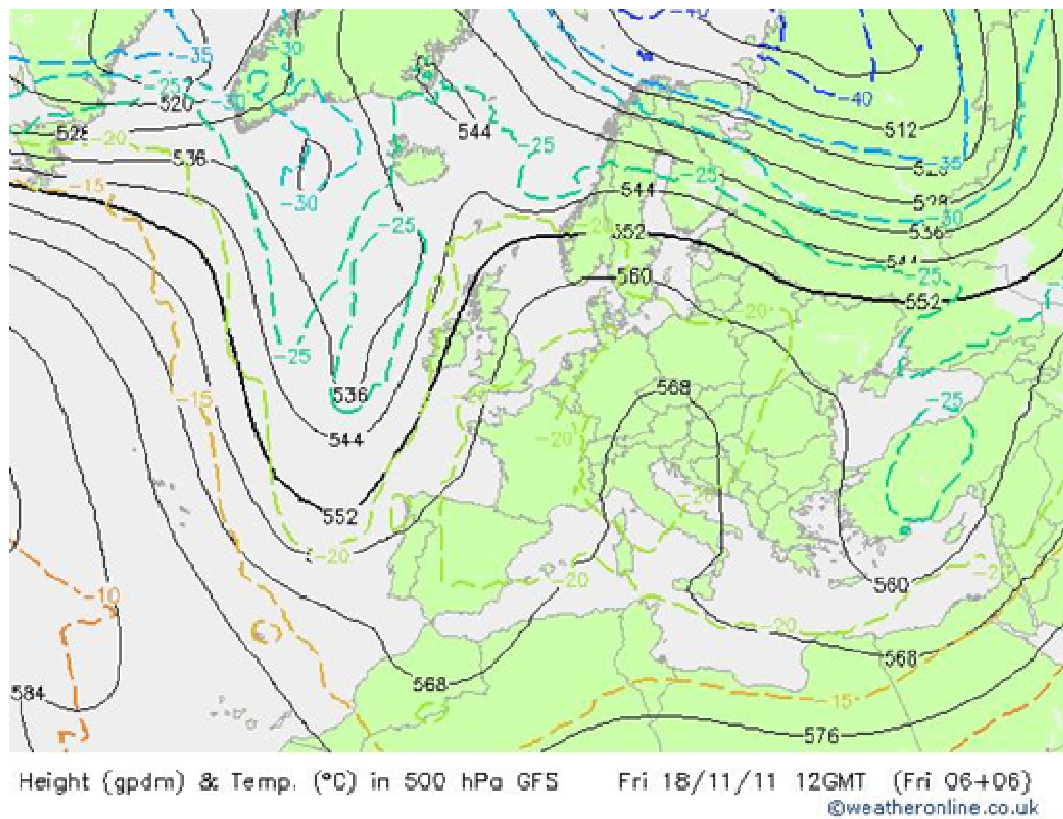
Σχήμα 14β. Χάρτης επιφάνειας με σημειωμένα τα βαρομετρικά συστήματα και μέτωπα.



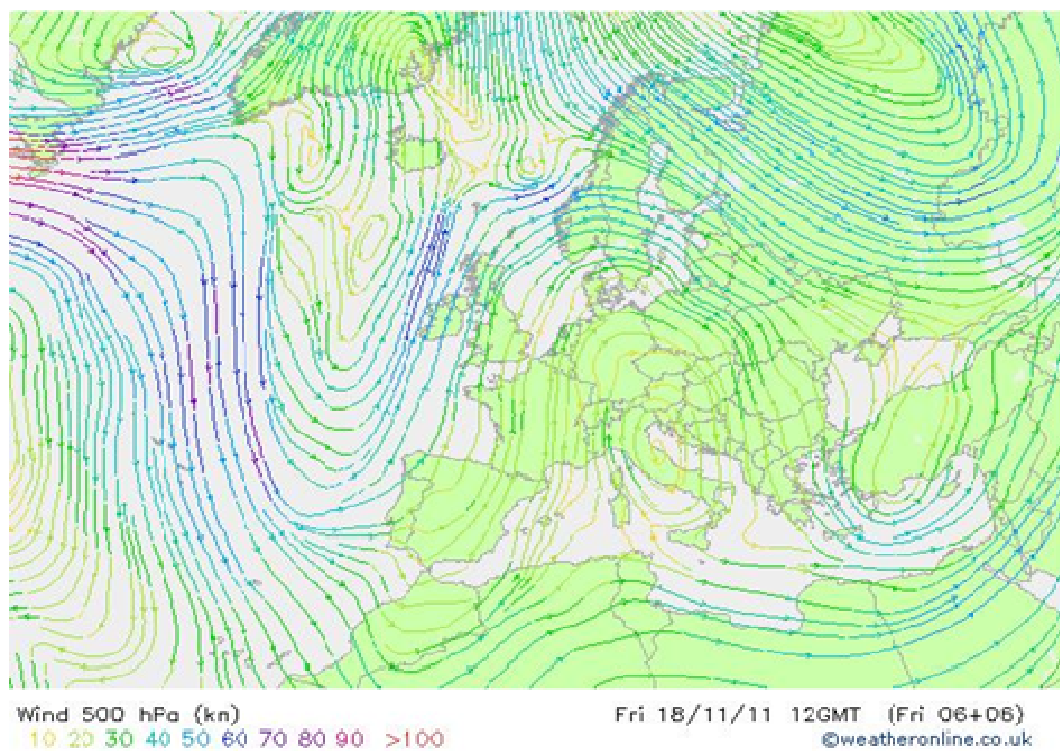
Σχήμα 15α. Χάρτης 850hPa για την 18/11/2011.



Σχήμα 15β. Χάρτης 850hPa που δείχνει την ψυχρή και θερμή μεταφορά αερίων μαζών.



Σχήμα 16α. Χάρτης 500hPa για την 18/11/2011



Σχήμα 16β. Χάρτης 500hPa που δείχνει το πεδίο ταχυτήτων του ανέμου.

ΟΔΗΓΙΕΣ για την ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ της ΑΣΚΗΣΗΣ

1. Από την ιστοσελίδα <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsfaxbra.html> κατεβάστε το χάρτη επιφανείας της προηγούμενης μέρας, δηλώνοντας κατάλληλα την ημερομηνία. Στο χάρτη αυτό:
 - Σημειώστε τη θέση ενός ψυχρού και ενός θερμού μετώπου. Τι καιρικά φαινόμενα εκδηλώνονται πριν τη διέλευση του κάθε μετώπου.
 - Σημειώστε τη θέση ενός χαμηλού και ενός αντικυκλώνα. Σχεδιάστε τη διεύθυνση του ανέμου σε καθένα σύστημα.
 - Ποια παράμετρο παριστάνουν οι ισοπληθείς γραμμές του χάρτη;
2. Στην ιστοσελίδα <http://weather.uwyo.edu/upperair/uamap.html> πατήστε το «maps» στα δεξιά της σελίδας και κατεβάστε το χάρτη των 850 hPa για τη σημερινή ημερομηνία, δηλώνοντας κατάλληλα την ισοβαρική επιφάνεια των 850 hPa και την περιοχή “Europe” (προσοχή: μη δηλώνετε την επιλογή «observations»)
 - Σημειώστε ένα σημείο όπου η μεταφορά θερμοκρασίας είναι ψυχρή.
 - Σημειώστε ένα σημείο όπου η μεταφορά θερμοκρασίας είναι θερμή.
 - Σημειώστε ένα σημείο όπου η μεταφορά θερμοκρασίας είναι μηδενική.
3. Στην ίδια ιστοσελίδα <http://weather.uwyo.edu/upperair/uamap.html> κατεβάστε τον ισοβαρικό χάρτη των 500 hPa για τη σημερινή ημερομηνία, δηλώνοντας κατάλληλα το χάρτη “500 hPa” και την περιοχή “Europe” (προσοχή: μη δηλώνετε την επιλογή «observations»)
 - Σημειώστε τη θέση μιας trough (σφήνα ύφεσης) και μιας Ridge (σφήνα έξαρσης).
 - Σημειώστε το διάνυσμα του ανέμου σε ένα σημείο A όπου οι ισοπληθείς απέχουν μεταξύ τους και σε ένα σημείο B όπου οι ισοπληθείς είναι πολύ κοντά. Σε ποιο από τα δύο σημεία ο άνεμος έχει μεγαλύτερη ταχύτητα και γιατί;
 - Ποια παράμετρο παριστάνουν οι ισοπληθείς γραμμές του χάρτη και σε ποια μονάδα μέτρησης;