



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

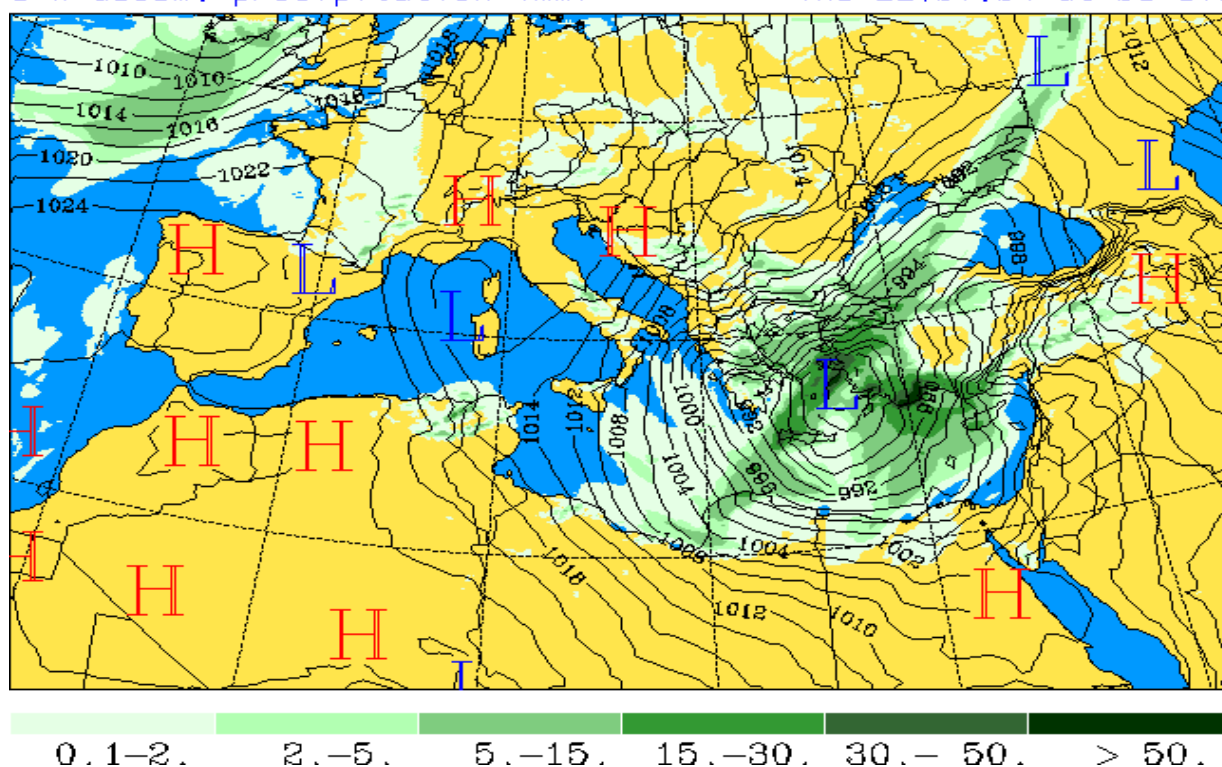
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ – ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΣΟΠΡΟΘΕΣΜΩΝ ΠΡΟΓΝΩΣΕΩΝ ΚΑΙΡΟΥ

AUTH/MET.&CLIM. lab. – UOA/AM&WFG
6-h accum. precipitation (mm)

SKIRON NonHydrostatic
Thu 22.01.04 at 06 UTC



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΑΠΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΥΘΑΡΟΥΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΑΠΘ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΜΑΡΤΙΟΣ 2009

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι σύγχρονες μέθοδοι μεσοπρόθεσμων προγνώσεων καιρού αποτελούν τις διαδικασίες πρόγνωσης στις οποίες βασίζεται σήμερα η πρόγνωση(2-7 ημερών) του καιρού των μετεωρολογικών προγνωστικών κέντρων.

Η πρόγνωση του καιρού είναι μια διαδικασία που σήμερα βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στα αποτελέσματα των αριθμητικών μοντέλων. Τα μοντέλα επιλύουν ένα σύνολο προγνωστικών εξισώσεων οι οποίες περιγράφουν τη δυναμική και τις φυσικές διεργασίες της ατμόσφαιρας και τα αποτελέσματα των οποίων μεταφράζονται σε πρόγνωση μελλοντικού καιρού.

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται η διαδικασία της πρόγνωσης του καιρού. Περιγράφονται τα μέρη που απαρτίζουν τα ατμοσφαιρικά αριθμητικά μοντέλα(προγνωστικές εξισώσεις, παραμετροποιήσεις φυσικών διεργασιών, δεδομένα εισόδου), τα διαθέσιμα προγνωστικά προϊόντα και οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των προγνώσεων. Επίσης αναλύονται οι διάφορες μέθοδοι στοχαστικών προγνώσεων, οι οποίες αποτελούν τα πιο σύγχρονα εργαλεία μεσοπρόθεσμης πρόγνωσης καιρού, καθώς και τα διαθέσιμα προϊόντα τους.

ABSTRACT

The modern methods of medium range weather forecasting constitute the processes followed nowadays by the meteorological centers in order to predict the weather conditions 2 – 7 days in advance.

The weather forecasting is a process that is almost exclusively based on the numerical models. The models resolve a set of prognostic equations which describe the dynamics and the physical processes of the atmosphere and their results are translated as the future weather conditions.

In this study, the procedure at weather forecasting is discussed. The components of the atmospheric numerical models (prognostic equations, physical parameterizations, input data), available forecast fields and the factors that affect the quality of their predictions are being described. Moreover, the various ensemble forecasting techniques – which constitute the state of the art tools in medium range weather forecasting – and their outputs are being analysed.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	9
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΙΡΟΥ.....	13
Γενικά.....	13
Πρόγνωση καιρού.....	13
Διαδικασία της πρόγνωσης καιρού.....	14
Παράδειγμα πρόγνωσης καιρού 24-36 ωρών.....	15
4. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ.....	21
Γενική περιγραφή.....	21
Βασικές εξισώσεις.....	22
Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η πρόγνωση του καιρού.....	26
Είδη μελετών όπου χρησιμοποιούνται τα αριθμητικά μοντέλα.....	26
Μέθοδοι επίλυσης προγνωστικών εξισώσεων.....	27
Μέθοδος σημείων πλέγματος	28
Φασματικές μέθοδοι	29
4.6 Είδη μοντέλων πρόγνωσης καιρού.....	30
4.7 Φυσικές διεργασίες – παραμετροποιήσεις	31
4.8 Το μοντέλο περιορισμένης περιοχής Σκίρων	34
4.8.1 Περιοχή ολοκλήρωσης του μοντέλου.....	35
4.8.2 Οριακές συνθήκες στο κάτω όριο των αριθμητικών μοντέλων.....	37
4.8.2.1 Χαρακτηριστικά επιφάνειας.....	38
4.8.3 Πρότυπη γεωμετρία και δυναμική.....	42
4.8.4 Φυσικές παραμετροποιήσεις.....	43
4.8.5 Δεδομένα εισόδου	44
4.8.6 Υπολογιστική Ισχύς	44
4.8.7 Αποτελέσματα	44

5. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ	48
Γενικά στοιχεία	48
Μέθοδος των φτωχών.....	51
Μέθοδος LAF	51
5.4 Μέθοδος BGM.....	52
5.5 Μέθοδος EPS	53
5.6 Ευαίσθητες περιοχές – μοναδιαία διανύσματα.....	53
5.7 Προϊόντα του συστήματος στοχαστικής πρόγνωσης.....	54
5.7.1 Οριζόντιες τομές.....	55
5.7.1.1 Προγνώσεις με χρήση της επιχειρησιακής ανάλυσης και των Διαταραγμένων αρχικών συνθηκών.....	55
5.7.1.2 Μέσος όρος και τυπική απόκλιση ομαδοποιημένων στοχαστικών προγνώσεων	57
5.7.1.3 Χάρτες πιθανοτήτων.....	58
5.7.1.4 Προϊόντα tube.....	62
5.7.1.5 Δείκτης πρόγνωσης ακραίων φαινομένων EFI.....	63
5.7.2 Χρονοσειρές.....	67
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
• ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ανθρώπινη κοινωνία ένα μεγάλο μέρος των καθημερινών μας δραστηριοτήτων είτε στο ψυχαγωγικό είτε στον επαγγελματικό μας τομέα επηρεάζεται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά. Υπάρχουν πέραν αυτών όμως τομείς ιδιαίτερα στη σύγχρονη εποχή όπου η πρόγνωση του καιρού δεν αποτελεί απλά πολύτιμη πληροφορία αλλά καθίσταται και αναγκαία.

Τέτοιοι τομείς είναι:

α) Εναέριες και θαλάσσιες μεταφορές:

Ο σχεδιασμός πτήσεων των αεροπλάνων ώστε να αποφύγουν τυχόν ατμοσφαιρικές διαταραχές καθώς και η προσγείωσή τους είναι άμεσα συνδεδεμένος με τον καιρό και την πρόγνωσή του.

Επίσης ο σχεδιασμός της πορείας των πλοίων γίνεται πάντα σε συνάρτηση με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά, ώστε να αποφεύγονται όσον το δυνατόν περισσότερο οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες για την ασφαλή πλεύση των πλοίων.

β) Γεωργία:

Οι εργασίες του γεωργού που αποβλέπουν στην προστασία του φυτού από παγετό και άλλες άσχημες καιρικές συνθήκες έχουν άμεση σχέση με τη πρόγνωση του καιρού. Αλλά και πέραν αυτών ο καθορισμός των κατάλληλων συνθηκών για άρωση, σπορά, ψεκασμό και θερισμού συνδέεται επίσης άμεσα με τον καιρό και την πρόγνωση του.

γ) Πλημμύρες:

Η πρόγνωση των βροχών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την αποφυγή πλημμυρών σε κατοικημένες περιοχές με το να ληφθούν έγκαιρα τα κατάλληλα μέτρα.

δ) Ενέργεια:

Οι εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας θεωρούν την πληροφορία των μετεωρολογικών συνθηκών των επόμενων ημερών ή και μηνών ιδιαίτερα αξιοποιήσιμη για τον καθορισμό της ζήτησης και την ρύθμιση της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Όλες αυτές οι σύγχρονες απαιτήσεις για χρονικά ευρύτερη πρόγνωση καιρού έχουν ωθήσει την επιστημονική κοινότητα στη διερεύνηση των δυνατοτήτων αξιοπιστης εκτίμησης της ατμοσφαιρικής κατάστασης για χρονικές περιόδους που κυμαίνονται στα όρια μεταξύ 2 – 3 ημερών έως 3 ή και 6 μηνών. Αν και η βελτίωση της βραχυπρόθεσμης πρόγνωσης καιρού τυγχάνει ευρείας αποδοχής η δυνατότητα επέκτασης της προγνωσιμότητας σε μεσοπρόθεσμες και εποχιακές προγνώσεις αποτελεί αντικείμενο

εκτεταμένης μελέτης. Ο καθορισμός των ορίων αξιόπιστης πρόγνωσης δεν είναι ακόμη διακριτός. Η χαοτική συμπεριφορά της ατμόσφαιρας επιφέρει σημαντικές τροποποιήσεις στις χρονικά εξελισσόμενες τροχιές των αέριων μαζών. Η απόσταση $D(t)$ του χρόνου ανάμεσα σε δύο τροχιές με ελαφρά διαφορετικές αρχικές θέσεις $D(0)$ αυξάνει εκθετικά με το χρόνο σύμφωνα με τη σχέση : $D(t)=D(0)e^{\lambda t}$ όπου λ αντιστοιχεί στον εκθέτη Lyapunov. Η εμφάνιση τουλάχιστον ενός θετικού εκθέτη λ καταδεικνύει τη χαοτική συμπεριφορά του συστήματος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αέριες μάζες με πολύ κοντινές αρχικές θέσεις εκκίνησης εμφανίζουν αποκλίσεις στις τροχιές τους που υπερβαίνουν τα 1000km με το πέρας λίγων ημερών.

Η πρόγνωση του καιρού είναι δυνατή σήμερα χάρη στην ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων αριθμητικής πρόγνωσης του καιρού και την ταχεία εξέλιξη των υπολογιστών. Αυτά τα μοντέλα προσεγγίζουν βασικούς νόμους της ατμοσφαιρικής φυσικής και χρησιμοποιούν σαν αρχικές συνθήκες τα δεδομένα που συλλέγονται καθημερινά από τους μετεωρολογικούς σταθμούς. Ουσιαστικά, πρόκειται για μία προέκταση των τρεχουσών μετεωρολογικών παρατηρήσεων στο μέλλον. Η αξιοπιστία της πρόγνωσης είναι αρκετά καλή, αλλά μειώνεται όσο πιο μακριά στο μέλλον βρίσκεται ο χρόνος που αναφέρεται η πρόγνωση

Είναι γεγονός πάντως ότι όλοι οι ειδικοί συμφωνούν ότι όσο και να βελτιωθούν τα μοντέλα πάντοτε θα υπάρχει στη πρόγνωση ένα ποσοστό αποτυχίας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η ατμόσφαιρα είναι γενικά ένα χαοτικό σύστημα. Δηλαδή ένα σύστημα με πολύ μεγάλο αριθμό μεταβλητών των οποίων η μελλοντική συμπεριφορά είναι αδύνατον να καθοριστεί ολοκληρωτικά. Επίσης και το ότι η γνώση της ακριβούς κατάστασης της ατμόσφαιρας σε μια δεδομένη χρονική στιγμή είναι πρακτικά αδύνατο να καθοριστεί έχει ως αποτέλεσμα πάντα να υπάρχουν αβεβαιότητες στον καθορισμό των αρχικών συνθηκών, ο ρόλος των οποίων είναι καθοριστικής σημασίας στη πρόβλεψη της εξέλιξης ενός φαινομένου. Έτσι καταβάλλονται συνεχώς προσπάθειες που έχουν ως στόχο όχι την απόλυτη επιτυχία(100%)της πρόγνωσης του καιρού αλλά στη συνεχή βελτίωση του ποσοστού επιτυχίας.

Αυτός ο στόχος οδηγεί τους επιστήμονες στο να προσπαθούν να κατανοήσουν όλο και περισσότερο τον μηχανισμό των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, όπως και των φυσικών νόμων που την διέπουν, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις της ατμόσφαιρας με την υδρόσφαιρα και τη βιόσφαιρα. Στόχος αυτής της προσπάθειας βέβαια είναι η βελτίωση των μοντέλων, βελτίωση που θα οδηγήσει στην όλο και πιο αξιόπιστη και πρόγνωση του καιρού.

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η περιγραφή των στοιχείων που προσδιορίζουν ένα αριθμητικό μοντέλο και των παραγόντων από τους οποίους ένα μοντέλο επηρεάζεται, καθώς επίσης και των αποτελεσμάτων(προγνωστικοί χάρτες)που προκύπτουν από τη λύση του. Επίσης περιγράφεται η διαδικασία της στοχαστικής πρόγνωσης, η οποία εμφανίζεται σήμερα να είναι η πιο αξιόπιστη μέθοδος για την πρόγνωση του καιρού και γίνεται αναφορά στα προϊόντα που παίρνουμε από αυτή τη μέθοδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ιστορικά η πρόγνωση του καιρού εμφανίζεται για πρώτη φορά στην αρχαία Ελλάδα. Στα συγγράμματα του Αριστοτέλη του Ίππαρχου του Ιπποκράτη κ.α. μαθαίνουμε ότι οι πρώτοι Έλληνες φιλόσοφοι πέτυχαν να ερμηνεύσουν πολλά μετεωρολογικά φαινόμενα και να προχωρήσουν και μέχρι τη στατιστική πρόγνωση του καιρού χάρη στη σύνταξη ημερολογίων.

Οι Αθηναίοι πριν 2500 χρόνια είχαν ανακαλύψει την ανάγκη για τη δημιουργία ειδικής υπηρεσίας με μοναδικό σκοπό την πρόγνωση του καιρού. Στην Αθηναϊκή δημοκρατία ένα μεγάλο μέρος των αποφάσεων παίρνονταν απευθείας από το λαό(εκκλησία του δήμου)γεγονός που σήμαινε συγκέντρωση του λαού στο ύπαιθρο. Έτσι κάθε μέρα στην αγορά πάνω σε ειδική μαρμάρινη πλάκα οι Αθηναίοι τοποθετούσαν το δελτίο καιρού της ημέρας το γνωστό σαν “παράπηγμα” που προφανώς μερικοί ειδικοί με εμπειρικό τρόπο συνέτασαν.

Στο διάστημα που μεσολάβησε από τον 5^ο αιώνα π.χ. ως την εφεύρεση του θερμομέτρου από το Γαλλιλαίο στα τέλη του 16^{ου} αιώνα και του βαρομέτρου από τον Τορρικέλι το 1645 δεν σημειώθηκε σχεδόν καμιά εξέλιξη στα πεδία της μετεωρολογίας και της κλιματολογίας. Η εφεύρεση ωστόσο αυτών των δύο οργάνων αποτέλεσε ορόσημο στην ιστορία της μετεωρολογίας και σηματοδότησε την αρχή της περιόδου που χαρακτηρίστηκε ως “αρχή της επιστημονικής μετεωρολογίας και διήρκεσε περίπου ως το 1850. Ο πρώτος συνοπτικός χάρτης της πίεσης στην επιφάνεια σχεδιάστηκε από το Γερμανό μετεωρολόγο Brandes το 1820.

Σημαντικό ρόλο στη μετέπειτα πορεία έπαιξαν η εφεύρεση του τηλεγράφου το 1845 που επέτρεψε τη μετάδοση των παρατηρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Οι πρώτοι συνοπτικοί χάρτες καιρού με δεδομένα πραγματικού χρόνου συντάχθηκαν Λονδίνο το 1851.

Η αρχή ωστόσο για αντικειμενική κατά το δυνατόν πρόγνωση του καιρού οφείλεται στο εξής ιστορικό γεγονός: στις 14 Νοεμβρίου του 1854 ενώ διαρκούσε ο Κριμαϊκός πόλεμος ο Γαλλικός στόλος υπέστη πολύ μεγάλες ζημιές μπροστά από τη Σεβαστούπολης εξαιτίας μιας κακοκαιρίας. Ο αστρονόμος Le Verrier που κλήθηκε να ερευνήσει το θέμα διαπίστωσε ότι η κακοκαιρία αυτή προήλθε από τον Ατλαντικό

ωκεανό και είχε περάσει πάνω από όλη την κεντρική Ευρώπη πριν καταλήξει στην περιοχή της Σεβαστούπολης.

Έτσι η πρόταση του Le Verrier ήταν περίπου η εξής: “αν υπήρχε μια υπηρεσία που θα πληροφορούσε το στόλο για την άφιξη της κακοκαιρίας θα είχαν αποφευχθεί οι απώλειες...”. Η πρόταση του αυτή έγινε τελικά δεκτή από τη Γαλλική κυβέρνηση και έτσι η Γαλλία ίδρυσε τη πρώτη μετεωρολογική υπηρεσία το 1855 και ακολούθησαν η Αγγλία, η Ολλανδία, οι ΗΠΑ, η Γερμανία, η Ιταλία και άλλες χώρες. Υποχρέωση των μετεωρολογικών υπηρεσιών των διάφορων κρατών ήταν η διενέργεια συστηματικών μετεωρολογικών παρατηρήσεων με σκοπό τη πρόγνωση του καιρού στη συνέχεια.

Κατά τη διάρκεια λοιπόν της περιόδου 1850 – 1920 που αποκαλείται εμπειρική περίοδος οι μετεωρολογικοί οργανισμοί διευρύνθηκαν έτσι ώστε να παρέχουν προγνώσεις για το κοινό, τη γεωργία, της μεταφορές κ.α. Το 1878 ιδρύθηκε ο διεθνής μετεωρολογικός οργανισμός(International Meteorological Organization), ο οποίος το 1950 μετονομάστηκε σε παγκόσμιο μετεωρολογικό οργανισμό(WNO). Το κύριο εργαλείο ήταν οι χάρτες βαρομετρικής πίεσης στην επιφάνεια. Υπήρχαν όμως ελάχιστες πληροφορίες για την ανώτερη ατμόσφαιρα και οι προγνώσεις σχεδόν εξολοκλήρου εμπειρικές.

Ο Bjerknes το 1904 ήταν ο πρώτος που αναγνώρισε ότι η αριθμητική πρόγνωση του καιρού είναι εφικτή. Το 1922 πρώτος ο μαθηματικός Λιούις Φράι Ρίτσαρντσον συνέλαβε την ιδέα της περιγραφής των φυσικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις της υδροδυναμικής και των ρευστών(www.emy.gr). Στην εργασία του «Η πρόβλεψη του καιρού με αριθμητικές μεθόδους» περιέγραφε τις μαθηματικές μεθόδους μέσω των οποίων ο άνθρωπος θα μπορούσε να προβλέψει την εξέλιξη του καιρού με τα τεχνικά μέσα της εποχής εκείνης. Η ιδέα του απαιτούσε την ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού ανθρώπων, οι οποίοι χρησιμοποιώντας χαρτί, μολύβι και αριθμομηχανές γραφείου, θα έλυναν τις μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν τις κινήσεις της ατμόσφαιρας και θα προέβλεπαν την εξέλιξη του καιρού. Υπολόγισε ότι θα χρειαζόνταν 64000 άνθρωποι προκειμένου να επιτευχθεί η πρόβλεψη του καιρού. Είχε μάλιστα διατυπώσει την άποψη ότι ίσως στο μακρινό μέλλον το ανθρώπινο γένος θα είχε τη δυνατότητα να προχωρεί στους υπολογισμούς γρηγορότερα από ότι προχωρεί ο καιρός. Προφητικά λόγια, μόνο που το μακρινό μέλλον ήταν μόλις 30 χρόνια μετά.

Το 1949 οι Jules Charney, R. Fjortoft και John von Neumann πραγματοποίησαν την πρώτη 48-ωρών πρόγνωση καιρού τρέχοντας ένα βαροτροπικό μοντέλο στον Η/Υ

ENIAC. Η ακρίβεια της πρόγνωσης των Charney, Fjortoft, Von Neumann ήταν συγκρίσιμη με εκείνη των πιο ικανών προγνωστών, οι οποίοι μέσω εμπειρίας αντιλαμβάνονταν τον καιρό της επόμενης ημέρας. Εκείνη την εποχή ο Λόρεντζ – ο μεγάλος αυτός πρωτοπόρος της αριθμητικής πρόγνωσης – εργαζόταν στο M.I.T. (Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης) και είχε την εξής άποψη:

«Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα, είναι γνωστές εδώ και πολύ καιρό. Αφού η αριθμητική θεωρία σχεδιάζει ακριβείς διαδρομές για διαστημόπλοια και πυραύλους και προβλέπει τις ακριβείς τροχιές των πλανητών, γιατί να μην χρησιμοποιηθεί και στην πρόβλεψη του καιρού;»

Τα προβλήματα που συνάντησε ο Λόρεντζ ήταν πολλά και πάνω από όλα είχε να αντιμετωπίσει το επιστημονικό κατεστημένο που θεωρούσε τις απόψεις του ακραίες. Όμως μετά από συνεχείς προσπάθειες και με τα πενιχρά τεχνολογικά μέσα της εποχής κατάφερε με τον “πρωτόγονο” υπολογιστή του να δημιουργήσει ένα απλό μοντέλο της ατμόσφαιρας.

Στα επόμενα χρόνια ο επιστημονικός κόσμος γέμισε ελπίδες για τη δυνατότητα πρόγνωσης του καιρού. Ακολούθησαν αρκετές προσπάθειες έως ότου το 1980 η αριθμητική πρόγνωση του καιρού γίνει πλέον μια αναμφισβήτητη πραγματικότητα. Οι μεγαλύτερες επιτυχίες για την ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων καιρού εκείνη την περίοδο, είχαν σημειωθεί στο Ρέντινγκ της Αγγλίας, μια επαρχιακή πόλη λίγο έξω από το Λονδίνο όπου στεγαζόταν και συνεχίζει να στεγάζεται το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων (E.C.M.W.F.- European Center for Medium - Range Weather Forecasts). Οι Ευρωπαίοι έδειξαν την πρωτοπορία τους στο συγκεκριμένο τομέα εγκαθιστώντας τον υπερυπολογιστή CRAY και προσλαμβάνοντας το καλύτερο επιστημονικό προσωπικό των κρατών μελών του ECMWF. Στην άλλη άκρη του Ατλαντικού ανάλογες προσπάθειες κατέβαλαν και οι Αμερικάνοι. Ο υπερυπολογιστής που διέθεταν - ένας Cyber 205 της Control Data – εκτελούσε εκατομμύρια πράξεις το δευτερόλεπτο και επέλυε τα συστήματα των 500.000 εξισώσεων του μοντέλου σε σύντομο χρονικό διάστημα. Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά και τα μηνύματα συνεχώς πιο αισιόδοξα.

Από τότε μέχρι σήμερα έχουν περάσει σχεδόν 20 χρόνων συνεχών προσπαθειών και η πρόοδος που έχει σημειωθεί θεωρείται αλματώδης. Σ’ αυτό έχει συμβάλλει σημαντικά και η εξέλιξη των υπερυπολογιστών οι οποίοι σήμερα πλέον διαθέτουν ένα μεγάλο

αριθμό επεξεργαστών τεραστίων δυνατοτήτων. Η ταχύτητα ενός μόνο επεξεργαστή μετριέται πλέον σε Megaflop (Ένα Megaflop είναι ένα εκατομμύριο πράξεις το δευτερόλεπτο). Η ατμόσφαιρα προσομοιώνεται συνεχώς με πιο ρεαλιστικό τρόπο αφού οι αριθμητικές μέθοδοι διαρκώς βελτιώνονται, το πλέγμα των σημείων γίνεται ολοένα και πιο πυκνό, τα υπό μελέτη στρώματα της ατμόσφαιρας αυξάνονται, εισάγονται λεπτομερείς πληροφορίες ορογραφίας, βλάστησης και τύπου εδάφους κτλ . Με τον τρόπο αυτό τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε είναι συνεχώς πιο αξιόπιστα και πιο αναλυτικά. Βέβαια θα πρέπει να τονιστεί ότι με τα μοντέλα καιρού η επιστήμη απλά προσπαθεί να προσεγγίσει ένα πολύ σύνθετο πρόβλημα όσο καλύτερα μπορεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΑΙΡΟΥ

3.1 Γενικά

Για την καλύτερη κατανόηση της μεθοδολογίας πρόγνωσης καιρού καθώς και του ρόλου που έχουν τα αριθμητικά μοντέλα σε αυτήν κρίθηκε σκόπιμο να αναλυθεί συνοπτικά η διαδικασία που ακολουθείται για τη πρόγνωση του καιρού καθώς και να αναφερθούν ορισμένα βασικά στοιχεία θεωρίας.

Καιρός

Με τον όρο καιρός εννοούμε τη φυσική κατάσταση της κατώτερης ατμόσφαιρας(τροπόσφαιρας) που επικρατεί σε μια ορισμένη χρονική περίοδο πάνω σε ένα ορισμένο γεωγραφικό χώρο. Η κατάσταση αυτή προσδιορίζεται από τις τιμές των διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων(ατμοσφαιρική πίεση, θερμοκρασία αέρα, υγρασία, άνεμος κ.α.)οι οποίες αποτελούν μια μορφή μέσων τιμών για ένα μικρό χρονικό διάστημα το οποίο αποτελεί το ανώτερο όριο ζωής του σχετικού ατμοσφαιρικού συστήματος(π.χ. βαρομετρικό χαμηλό ή υψηλό) που καθορίζει αυτές τις παραμέτρους.

3.2 Πρόγνωση καιρού

Με τον όρο πρόγνωση του καιρού εννοούμε την διαδικασία της πρόβλεψης της εξέλιξης κάποιας φυσικής κατάστασης της τροπόσφαιρας, πρόβλεψη δηλαδή των μελλοντικών μετεωρολογικών παραμέτρων της ατμόσφαιρας. Αν η πρόγνωση αυτή αφορά τις επόμενες 6 ώρες τότε η πρόγνωση αυτή χαρακτηρίζεται ως πρόγνωση πολύ μικρής διάρκειας (very short range), αν αφορά τις επόμενες 1 – 2 μέρες χαρακτηρίζεται ως πρόγνωση βραχείας διάρκειας (short range), ενώ αν αφορά τις επόμενες 2 – 7 ημέρες χαρακτηρίζεται ως πρόγνωση μεσοπρόθεσμης διάρκειας (medium range)

Το αντικείμενο της καθημερινής πρόγνωσης του καιρού από τα εθνικά μετεωρολογικά κέντρα αναφέρεται στα εξής : ποσοστά νέφωσης (αίθριος ή νεφελώδης καιρός),τοπικές

βροχές – χιονοπτώσεις ή όχι, ορατότητα, επιφανειακός άνεμος(ταχύτητα, διεύθυνση ανέμου), κατάσταση θαλασσών και θερμοκρασία αέρος(στα 2μ πάνω από το έδαφος).

3.3 Διαδικασία της πρόγνωσης καιρού

Όπως αναφέραμε προηγουμένως ο καιρός σε μια ορισμένη χρονική στιγμή πάνω σε ένα τόπο περιγράφεται από τις μετεωρολογικές παραμέτρους οι οποίες προκύπτουν κάθε φορά από το ατμοσφαιρικό σύστημα που επικρατεί.

Με τη γνώση των παραπάνω στοιχείων σε κάθε εθνικό μετεωρολογικό κέντρο γίνεται η διαδικασία της σύνταξης και ανάλυσης των χαρτών α)επιφάνειας και β)ανώτερης ατμόσφαιρας.

Η διαδικασία της πρόγνωσης του καιρού περιλαμβάνει δύο στάδια: α)την κατασκευή προγνωστικών χαρτών καιρού και διαγραμμάτων και β)την ερμηνεία αυτών των προγνωστικών χαρτών σε μελλοντικό καιρό.

Για την κατασκευή προγνωστικών χαρτών απαιτείται η εφαρμογή διάφορων μαθηματικών μοντέλων(αριθμητικά μοντέλα).Τη βάση των αριθμητικών μοντέλων αποτελεί ένα σύστημα εξισώσεων κίνησης της ατμόσφαιρας. Από την επίλυση αυτού του συστήματος διαφορικών εξισώσεων με αριθμητικές μεθόδους προκύπτει ο τρόπος που θα μεταβληθεί ένα ορισμένο ατμοσφαιρικό σύστημα στο μέλλον. Στη συνέχεια όλες οι παραπάνω μεταβολές που τα μοντέλα προβλέπουν ότι θα συμβούν στο μέλλον απεικονίζονται σε χάρτες καιρού(προγνωστικοί χάρτες),διαδικασία που γίνεται με προγράμματα σε Η/Υ. Σε γενικές γραμμές η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Με βάση μετεωρολογικές παρατηρήσεις δημιουργούμε ένα δίκτυο σημείων μέσα στην ατμόσφαιρα όπου για κάθε σημείο και για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι γνωστές οι τιμές των παραμέτρων που θέλουμε να μελετήσουμε και μελλοντικά. Έχοντας τώρα με την επίλυση των εξισώσεων του παραπάνω συστήματος τις μεταβολές ως προς το χρόνο των υπομελέτη παραμέτρων σε όλα τα παραπάνω σημεία του δικτύου και για μια δεδομένη χρονική στιγμή, βρίσκουμε κατόπιν τις μελλοντικές τιμές των παραμέτρων αυτών για τα επόμενα χρονικά διαστήματα των: 24,36,48,72 ή και περισσότερων ωρών. Έτσι μπορούμε με τη χρήση πάντα ηλεκτρονικών υπολογιστών να κάνουμε νέους χάρτες καιρού που θα αναφέρονται στην κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από τη συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή για τις επόμενες 24 ή 36 ή 48 ή 72 ώρες. Δηλαδή με άλλα λόγια μπορούμε να κάνουμε τους λεγόμενους προγνωστικούς χάρτες καιρού.

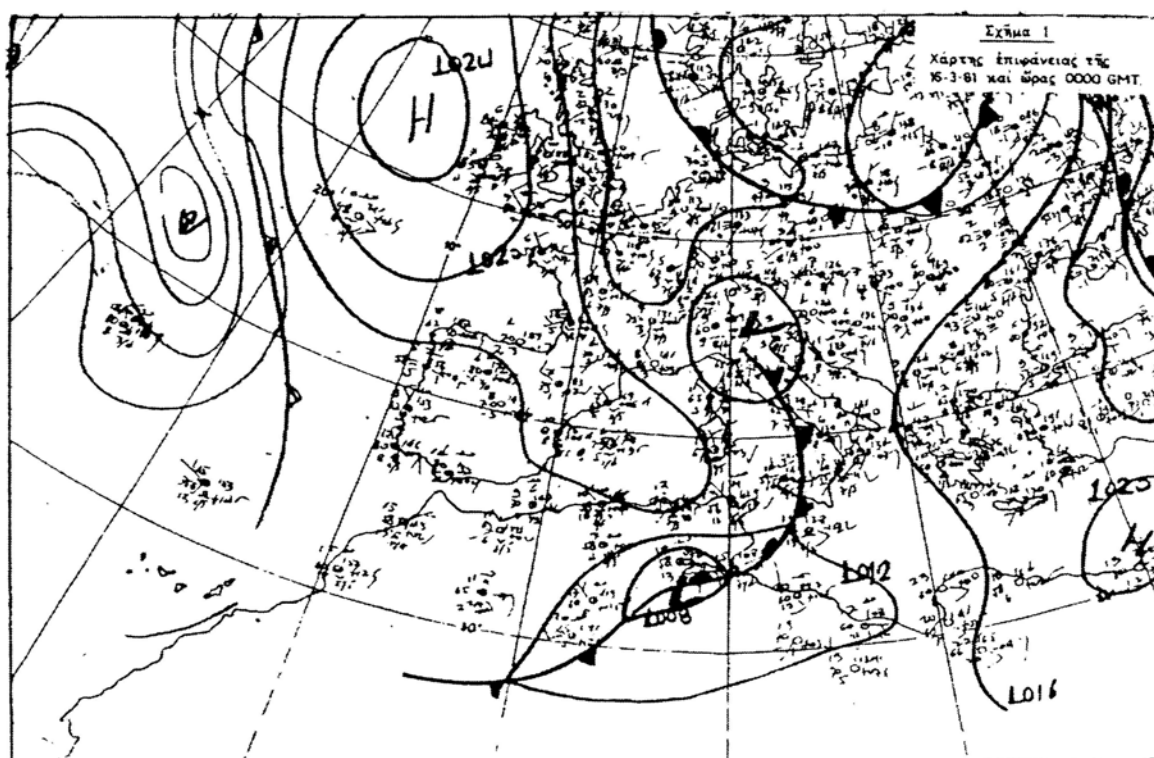
Η σωστή ερμηνεία των προγνωστικών αυτών χαρτών για τον καιρό πάνω από μια ορισμένη περιοχή είναι και ευθύνη των μετεωρολόγων του εθνικού μετεωρολογικού κέντρου της χώρας αυτής.

Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι στην καθημερινή πράξη οι μετεωρολόγοι δεν βασίζονται μόνο στους προγνωστικούς χάρτες που πολλές φορές διορθώνουν κατά την κρίση τους αλλά και στην πείρα τους σε ότι αφορά την συμπεριφορά των καιρικών συστημάτων γενικά πάνω από την αντίστοιχη χώρα. Επίσης θα πρέπει να αποφασίσουν τι βαρύτητα θα δώσουν στα επιμέρους στοιχεία της πρόγνωσης όπως είναι: η νέφωση, η βροχή, η θερμοκρασία, ο άνεμος ώστε τελικά να έχουμε μια εκτίμηση για την ακρίβεια της πρόγνωσης στο σύνολό της. Έτσι μια πρόγνωση μπορεί να είναι επιτυχής π.χ. για τη νέφωση και τον άνεμο όμως ανεπιτυχής για τη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία.

3.4 Παράδειγμα πρόγνωσης του καιρού 24 – 36 ωρών.

Για την καλύτερη κατανόηση του γενικού προβλήματος της πρόγνωσης του καιρού αναφέρεται παρακάτω ένα παράδειγμα πρόγνωσης καιρού 24 – 36 ωρών στη χώρα μας, όπως ακριβώς περιγράφεται σε σχετικό δημοσίευμα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας(Ε.Μ.Υ), από τον Δρ. Ν.ΠΡΕΖΕΡΑΚΟ.(Τ.Ι. Μακρογιάνης, Χ.Σ. Σαχσαμάνογλου 1993)

Στο σχήμα 3.1 απεικονίζεται ο χάρτης καιρού επιφάνειας της 16 – 3 – 1981 και ώρας 00.00 U.T.C (χάρτης ανάλυσης)

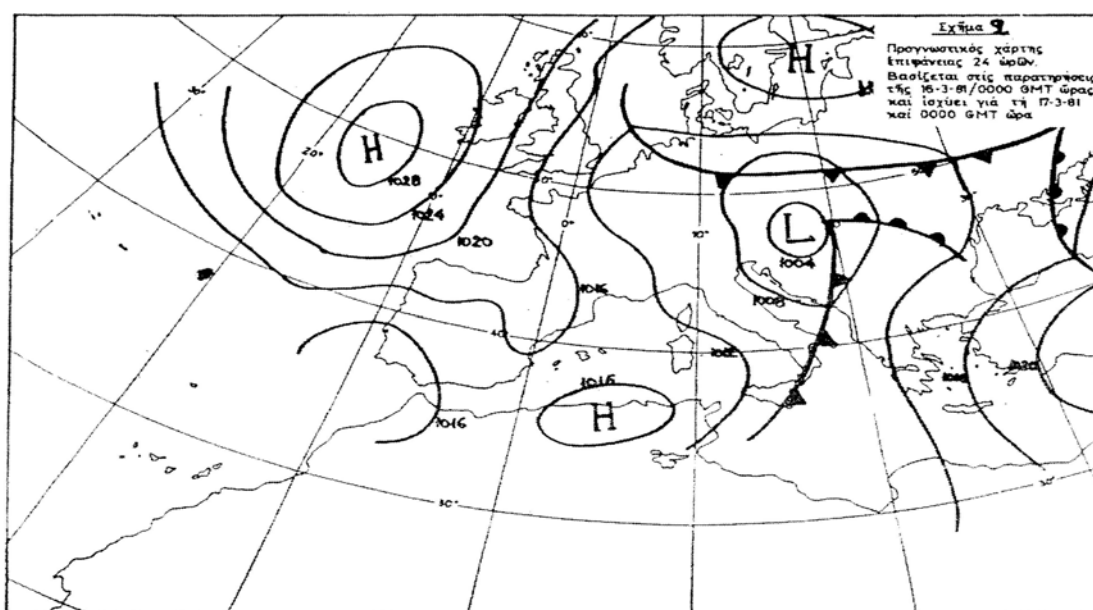


Σχ.3.1.χάρτης επιφάνειας στις 16/03/81 και ώρας 0000 U.T.C.(Τ.Ι. Μακρογιάννης, Χ.Σ. Σαχσαμάνογλου, 1993)

Ο χάρτης αυτός έγινε στο κέντρο πρόγνωσης του καιρού της Ε.Μ.Υ. Όπως είναι φανερό στη χώρα μας, κατά την ώρα αυτή δεν επικρατεί κάποιο αξιόλογο βαρομετρικό σύστημα.

Στην περιοχή όμως της Β. Ιταλίας και της Τυνησίας υπάρχουν βαρομετρικά συστήματα, ενώ ο μεταξύ τους χώρος ελέγχεται από ένα ψυχρό μέτωπο. Η Βόρεια επίσης ηπειρωτική Ευρώπη ελέγχεται και από θερμό και ψυχρό μέτωπο. Νοτιοανατολικά της χώρας μας επικρατούν υψηλές πιέσεις.

Με δεδομένα τα στοιχεία που έδωσαν το χάρτη αυτό (σχήμα 3.1) προέκυψε, από κάποιο μεγάλο Ευρωπαϊκό κέντρο, ο προγνωστικός χάρτης επιφάνειας 24 ωρών (σχήμα 3.2). Ο χάρτης αυτός ισχύει δηλ. για την επόμενη μέρα 17 – 3 – 1981 και ώρα 00.00 U.T.C

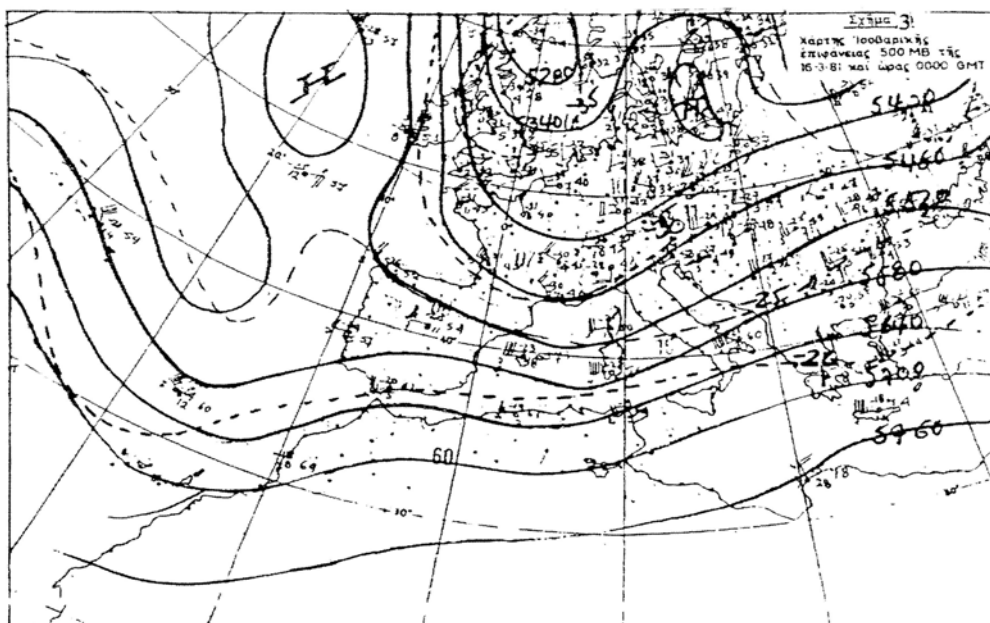


Σχ.3.2. Προγνωστικός χάρτης επιφάνειας 24 ωρών. Βασίζεται στις παρατηρήσεις της 16/03/81 ώρας 0000 U.T.C και ισχύει για τη 17/03/81 και ώρα 0000 U.T.C. .(Τ.Ι. Μακρογιαννης, Χ.Σ. Σαχσαμανογλου, 1993)

Σύμφωνα με το χάρτη αυτό, που έγινε με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη μεθοδολογία που αναπτύξαμε παραπάνω, το χαμηλό της Β. Ιταλίας προβλέπεται να προχωρήσει αναλικά, έτσι ώστε η πιθανότητα να επηρεάσει τον καιρό της χώρας μας παρουσιάζεται αυξημένη.

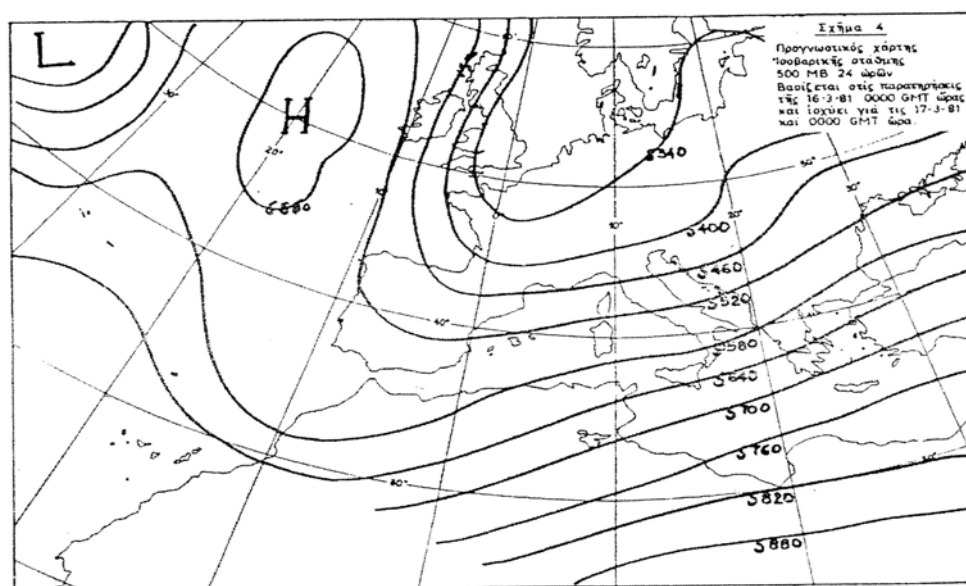
Σ' ό,τι αφορά τώρα την συνοπτική κατάσταση της ελεύθερης ατμόσφαιρας παρατηρείται ότι: στην ισοβαρική επιφάνεια των 500 mb για την ίδια μέρα και ώρα (16 – 3 – 1981, 00.00 U.T.C). Στο σχήμα 3.3 φαίνεται ότι υπάρχει ένας αυλώνας στην περιοχή του κόλπου του Λέοντα που εκτείνεται ως τα δυτικά της Τυνησίας, ενώ μια έξαρση μόλις

έχει περάσει από τη χώρα μας. Η ροή με άλλα λόγια πάνω από τη χώρα μας είναι περισσότερο ζωνική.



Σχ.3.3. Προγνωστικός χάρτης ισοβαρικής επιφάνειας 500 MB της 16/03/81 και ώρας 0000 U.T.C (οι γραμμές στους χάρτες αυτούς λέγονται ισοϋψείς και οι αριθμοί 5400, 5460 ... αναφέρονται στο γεωδυναμικά ύψη, ενώ οι διακοπτόμενες γραμμές λέγονται ισόθερμες καμπύλες και οι αριθμοί -20, -25... σημαίνουν $^{\circ}\text{C}$). (Τ.Ι. Μακρογιαννης, Χ.Σ. Σαχσαμανογλου, 1993)

Στο σχήμα 3.4 εξάλλου απεικονίζεται ο προγνωστικός χάρτης της ισοβαρικής επιφάνειας των 500 mb που βασίζεται στον προηγούμενο χάρτη και ισχύει έτσι για την επόμενη ακριβώς μέρα και ίδια ώρα.



Σχ.3.4. Προγνωστικός χάρτης ισοβαρικής στάθμης 500 MB 24 ωρών. Βασίζεται στις παρατηρήσεις της 16/03/81 ώρας 0000 GMT και ισχύει για τη 17/03/81 και ώρα 0000 U.T.C. (Τ.Ι. Μακρογιαννης, Χ.Σ. Σαχσαμανογλου, 1993)

Όπως είναι φανερό ο αυλώνας που ήταν στη γραμμή του κόλπου του Λέοντα – Τυνησίας προβλέπεται να μετατοπιστεί δυτικότερα πάνω στην Ιβηρική χερσόνησο ενώ ένας νέος αυλώνας αρχίζει να σχηματίζεται στη γραμμή Αλβανίας – Σερβίας-Κροατίας .

Τα παραπάνω συνοπτικά στοιχεία μαζί με άλλες πληροφορίες επέβαλαν στο προγνωστικό κέντρο της Ε.Μ.Υ να δώσει στις 13.00 τοπική ώρα της 16 – 3 – 1981 την παρακάτω πρόγνωση καιρού:

<<Σήμερα 16 – 3 – 1981, στην Βόρεια Ελλάδα, στην αρχή προβλέπονται νεφώσεις με λίγες βροχές αλλά γρήγορα ο καιρός θα βελτιωθεί. Στην υπόλοιπη χώρα προβλέπεται καλός καιρός με αραιές νεφώσεις. Τις πρωινές ώρες η ορατότητα θα είναι τοπικά περιορισμένη. Οι άνεμοι θα πνέουν από νότιες διευθύνσεις ασθενείς μέχρι μέτριοι. Η θάλασσα θα είναι λίγο ταραγμένη και στο Αιγαίο τοπικά ταραγμένη. Η θερμοκρασία θα κυμανθεί στα πεδινά της κεντρικής και Βόρειας χώρας από 9 μέχρι 19 °C ενώ στα πεδινά της υπόλοιπης χώρας από 12 μέχρι 22 °C . Ειδικότερα:

α) Για την ΑΤΤΙΚΗ: σήμερα 16 – 3 – 1981 και αύριο 17 – 3 – 1981 προβλέπονται αραιές νεφώσεις. Οι άνεμοι θα πνέουν από νότιες διευθύνσεις ασθενείς έως μέτριοι. Η θάλασσα στο Σαρωνικό και νότιο Ευβοϊκό θα είναι λίγο ταραγμένη. Η θερμοκρασία θα κυμανθεί στην Αθήνα από 12 μέχρι 22 °C.

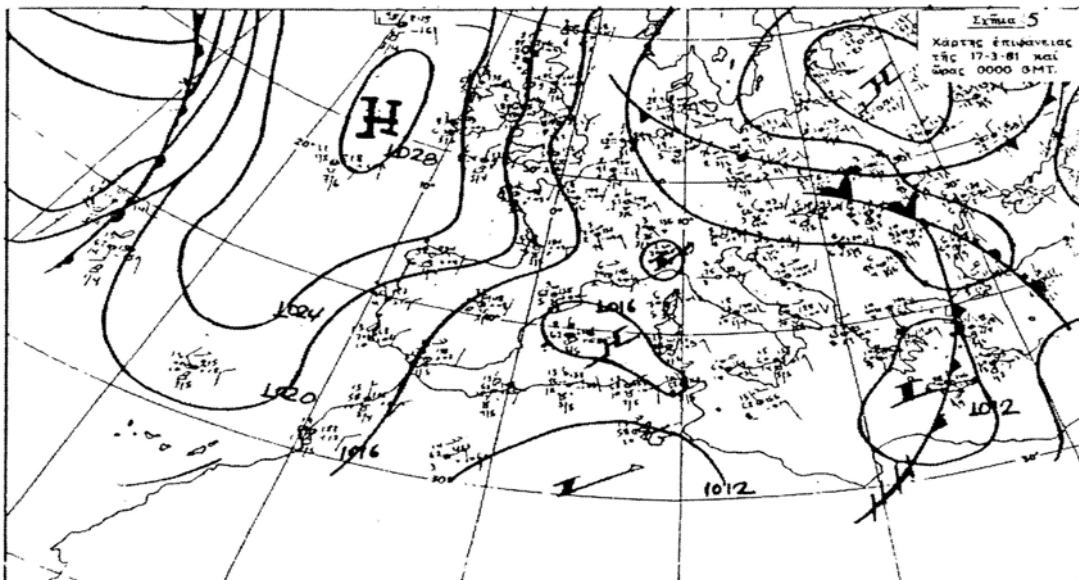
β) Για τη Θεσσαλονίκη σήμερα 16 – 3 – 1981 προβλέπονται νεφώσεις με παροδική βροχή. Αύριο 17 – 3 – 1981 προβλέπονται στην αρχή νεφώσεις με πιθανότητα βροχής αλλά γρήγορα ο καιρός θα βελτιωθεί. Οι άνεμοι θα πνέουν από νότιες διευθύνσεις ασθενείς μέχρι μέτριοι. Η θάλασσα στο Θερμαϊκό θα είναι λίγο ταραγμένη. Η θερμοκρασία στην πόλη θα κυμανθεί από 10 μέχρι 18 °C .

Αν θελήσουμε τώρα να επαληθεύσουμε την πρόγνωση αυτή να δούμε δηλαδή το κατά πόσο ήταν πετυχημένη ή όχι παρατηρούμε τα εξής:

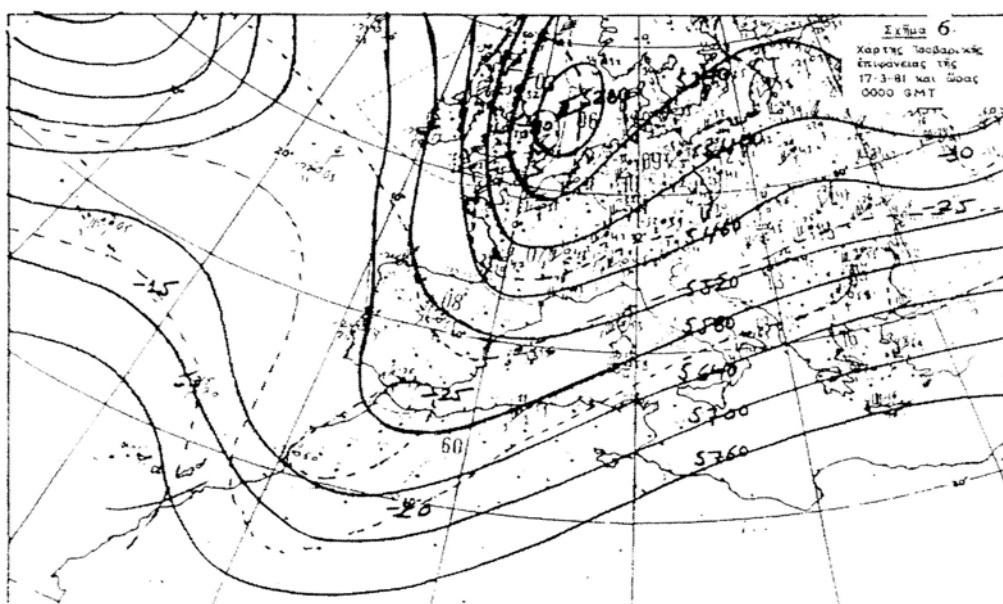
Για την Αθήνα, τα στοιχεία της 17 – 3 – 1981 δείχνουν ότι είχαμε μια σχεδόν άριστη πρόγνωση.

Σ' ό, τι αφορά όμως την Θεσσαλονίκη τα ίδια στοιχεία έδειξαν ότι είχαμε μια ανεπιτυχή, κακή πρόγνωση. Η βροχή για την οποία έδινε πιθανότητα η πρόγνωση δεν εμφανίστηκε, στη θερμοκρασία η απόκλιση ήταν για μεν την ελάχιστη 3 °C, για δε την μέγιστη 1 °C και στον άνεμο υπήρχε μερική επιτυχία. Το ερώτημα είναι ποια είναι η αιτία?

Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται οι πραγματικοί χάρτες καιρού για την 17 – 3 – 1981



Σχ.3.5.χάρτης επιφάνειας στις 17/03/81 και ώρας 0000 U.T.C. (Τ.Ι. Μακρογιαννης, Χ.Σ. Σαχσαμανογλου, 1993)



Σχ.3.6.χάρτης ισοβαρικής επιφάνειας 500 hpa στις 17/03/81 και ώρας 0000 U.T.C. (Τ.Ι. Μακρογιαννης, Χ.Σ. Σαχσαμανογλου, 1993)

Συγκρίνοντας τον 24 – ωρών προγνωστικό χάρτη επιφάνειας της 17 – 3 – 1981 (σχήμα 3.2) με τον πραγματικό της ίδιας μέρας (σχήμα 3.5) παρατηρούμε ότι οι δύο χάρτες έχουν αρκετή ομοιότητα αλλά στην περιοχή της χώρας μας υπάρχουν διαφορές. Ενώ το ψυχρό μέτωπο του βαρομετρικού χαμηλού που υπήρχε βρέθηκε ακριβώς πάνω από το Αιγαίο ο προγνωστικός χάρτης (σχήμα 3.2) προέβλεψε σαν θέση τη γραμμή Σικελία – Ν. Ιταλία – Αδριατική – Σερβία. Συγκρίνοντας επίσης τον 24 – ωρών προγνωστικό χάρτη (σχήμα 3.4) με τον αντίστοιχο πραγματικό (σχήμα 3.6) διαπιστώνουμε ότι οι

χάρτες αυτοί έχουν αρκετή ομοιότητα αν και οι ισοϋψής καμπύλη 5640 grm στον προγνωστικό μεν περνάει από την Αθήνα, ενώ στον πραγματικό περνάει βορειότερα από τη Μακεδονία. Επίσης ο αυλώνας που υπάρχει στον προγνωστικό χάρτη κατά μήκος της γραμμής Αλβανία – Σερβία - Κροατία δεν υπάρχει στον πραγματικό.

Βλέπουμε λοιπόν ότι οι προγνωστικοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν δεν ήταν εξ'ολοκλήρου επιτυχείς. Έτσι το αποτέλεσμα ήταν μια πρόγνωση επιτυχής για την Αθήνα, ανεπιτυχής όμως για την Θεσσαλονίκη και για την υπόλοιπη χώρα γενικά επιτυχής.

Πρέπει βέβαια εδώ να ξανασημειωθεί ότι στην καθημερινή πράξη οι προγνώστες μετεωρολόγοι δεν βασίζονται μόνο στους προγνωστικούς χάρτες που πολλές φορές διορθώνουν κατά την κρίση τους αλλά και στην πείρα τους σ' ότι αφορά τη συμπεριφορά των μετεωρολογικών συστημάτων γενικά πάνω από την χώρα μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ

4.1 Γενική περιγραφή

Το πρόβλημα της πρόγνωσης του καιρού αντιμετωπίζεται γενικά ως ένα καθαρά φυσικομαθηματικό πρόβλημα. Εφαρμόζεται δηλαδή η μεθοδολογία της αριθμητικής πρόγνωσης του καιρού. Η βάση αυτής της μεθόδου είναι η χρήση μαθηματικών μοντέλων(αριθμητικά μοντέλα).Τα μοντέλα αυτά συντίθενται από υπολογιστικές αναπαραστάσεις μαθηματικών εκφράσεων των φυσικών φαινομένων που περιγράφουν την κατάσταση της ατμόσφαιρας. Σε κάθε μοντέλο επιλύεται ένα ευρύ πλήθος εξισώσεων που καλύπτουν τους φυσικούς νόμους στους οποίους στηρίζονται όλες οι ατμοσφαιρικές διεργασίες(Κατσαφάδος Π. 2003).

Οι συγκεκριμένοι νόμοι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής και υδροδυναμικής που ισχύουν σε όλα τα συστήματα ρευστών όπως εκφράσεις διατήρησης της μάζας ο δεύτερος νόμος του Newton(η ορμή ενός σώματος μπορεί να μεταβληθεί μόνο με την επίδραση της δύναμης) και ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής(η εσωτερική ενέργεια ενός συστήματος μπορεί να μεταβληθεί μόνο κατά την παροχή έργου στο σύστημα ή προσθέτοντας ή αφαιρώντας θερμότητα).Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει φυσικούς νόμους που περιγράφουν τις ατμοσφαιρικές διεργασίες. Μέρος αυτών αφορούν την απορρόφηση και την ανάκλαση μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας, την εξάτμιση και συμπύκνωση του νερού, την τυρβώδη μεταφορά ορμής και θερμότητας.

Σαν ορισμό λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι τα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού είναι πλήρεις συστήματα διαφορικών εξισώσεων με μερικές παραγώγους μετεωρολογικών μεταβλητών ως προς το χρόνο, τα οποία προβλέπουν την κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα στη βάση των αρχών διατήρησης της μάζας, της ορμής και της ενέργειας.

Για την απλούστερη αναπαράσταση ενός αριθμητικού μοντέλου πρόγνωσης καιρού θεωρούμε : $\Delta A / \Delta t = f(A)$.

Οπου:

ΔA είναι η μεταβολή μιας προγνωστικής μεταβλητής A σε ένα συγκεκριμένο σημείο στο χώρο.

Δt είναι η μεταβολή του χρόνου.

$f(A)$ αναπαριστά τους όρους που μπορούν να προκαλέσουν μεταβολή στην τιμή της μεταβλητής A και η οποία με τη σειρά της επηρεάζεται από την τιμή της μεταβλητής A .

Η παραπάνω εξίσωση δηλώνει ότι: η μεταβολή στην προγνωστική μεταβλητή A κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου Δt ισούται με τα αθροιστικά αποτελέσματα όλων των διαδικασιών που προκαλούν μεταβολές στη μεταβλητή A .

Ο Bjerknes το 1904 ήταν ο πρώτος που αναγνώρισε ότι η αριθμητική πρόγνωση του καιρού είναι εφικτή. Πρότεινε ότι η πρόγνωση του καιρού θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν ένα πρόβλημα αρχικών συνθηκών αφού συγκεκριμένες εξισώσεις εξηγούν την μεταβολή των μετεωρολογικών μεταβλητών με το χρόνο: $A(\text{προγνωστικός χρόνος}) = A(\text{αρχικός χρόνος}) + f(A)\Delta t$.

4.2 Βασικές εξισώσεις.

Η συμπεριφορά της ατμόσφαιρας καθορίζεται από ένα σύνολο φυσικών νόμων που μπορούν να εκφραστούν από μαθηματικές εξισώσεις. Ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο πρόγνωσης είναι στην ουσία ένα σύστημα προσομοίωσης των φυσικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα. Οι παραπάνω διαδικασίες προσεγγίζονται από διαφορικές εξισώσεις, η επίλυση των οποίων οδηγεί στην πρόγνωση του καιρού.

Όπως αναφέραμε τα αριθμητικά μοντέλα χρησιμοποιούν προγνωστικές και διαγνωστικές εξισώσεις οι οποίες περιγράφουν την κίνηση – κατάσταση της ατμόσφαιρας. Οι βασικές αυτές εξισώσεις είναι:

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} + f\mathbf{k} \times \mathbf{v} + \nabla \Phi + \frac{RT}{p} \nabla p = 0 \quad \text{Διανυσματική εξίσωση της ορμής}$$

$$\frac{dT}{dt} + \kappa \cdot \frac{T \cdot \omega}{p} = 0 \quad \text{Θερμοδυναμική Εξίσωση}$$

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial t} \right) + \nabla \cdot \left(\mathbf{v} \cdot \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\dot{\eta} \cdot \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) = 0 \quad \text{Εξίσωση Συνέχειας}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \eta} = - \frac{R \cdot T}{p} \frac{\partial p}{\partial \eta} \quad \text{Υδροστατική Εξίσωση}$$

$$\omega \equiv \frac{dp}{dt} = - \int_0^\eta \nabla \cdot \left(\mathbf{v} \cdot \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta + \mathbf{v} \cdot \nabla p \quad \text{Εξίσωση κατακόρυφης ταχύτητας (\omega)}$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} = - \int_0^{\eta_i} \nabla \cdot \left(\mathbf{v} \cdot \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) d\eta \quad \text{Εξίσωση Επιφανειακής Βαρομετρικής Τάσης}$$

Όπου :

- d/dt : η μεταβολή σε χρόνο dt της παραμέτρου σε κινούμενη αέρια μάζα
 $\theta/\theta t$: η μεταβολή σε χρόνο dt της παραμέτρου σε συγκεκριμένη θέση(τοπική μεταβολή)
 V : το διάνυσμα της οριζόντιας ταχύτητας του ανέμου
 ω : dp/dt η κατακόρυφη ταχύτητα του ανέμου
 f : κοριόλις παράμετρος
 k : κατακόρυφο μοναδιαίο διάνυσμα
 Φ : γεωδυναμικό
 R : σταθερά των αερίων για ξερό αέρα
 $k=R/C_p$ όπου C_p είναι η ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση.
 η : κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου.

Δεχόμενοι λοιπόν ότι οι επόμενες ατμοσφαιρικές καταστάσεις προκύπτουν από τις προηγούμενες βασιζόμενες πάνω σε φυσικούς νόμους, τότε είναι προφανές ότι οι αναγκαίες και ικανές συνθήκες για τη λογική επίλυση των προβλημάτων καιρού είναι :

α) Η ακριβής γνώση της αρχικής κατάστασης της ατμόσφαιρας.

β) Η ακριβής γνώση των φυσικών νόμων σύμφωνα με τους οποίους μια κατάσταση της ατμόσφαιρας αναπτύσσεται από μια άλλη βασιζόμενη στους νόμους αυτούς.

Γνωρίζοντας λοιπόν την αρχική κατάσταση της ατμόσφαιρας και τους φυσικούς νόμους που τη διέπουν μπορούμε επιλύοντας τις εξισώσεις να πάρουμε τις τιμές των μεταβλητών στο μέλλον, να κάνουμε δηλαδή πρόγνωση(Πυθαρούλης Ι. 2008)

Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται κατά την ανάπτυξη και εφαρμογή ενός μοντέλου πρόγνωσης καιρού είναι :

α)Συλλογή δεδομένων(τιμές διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων)

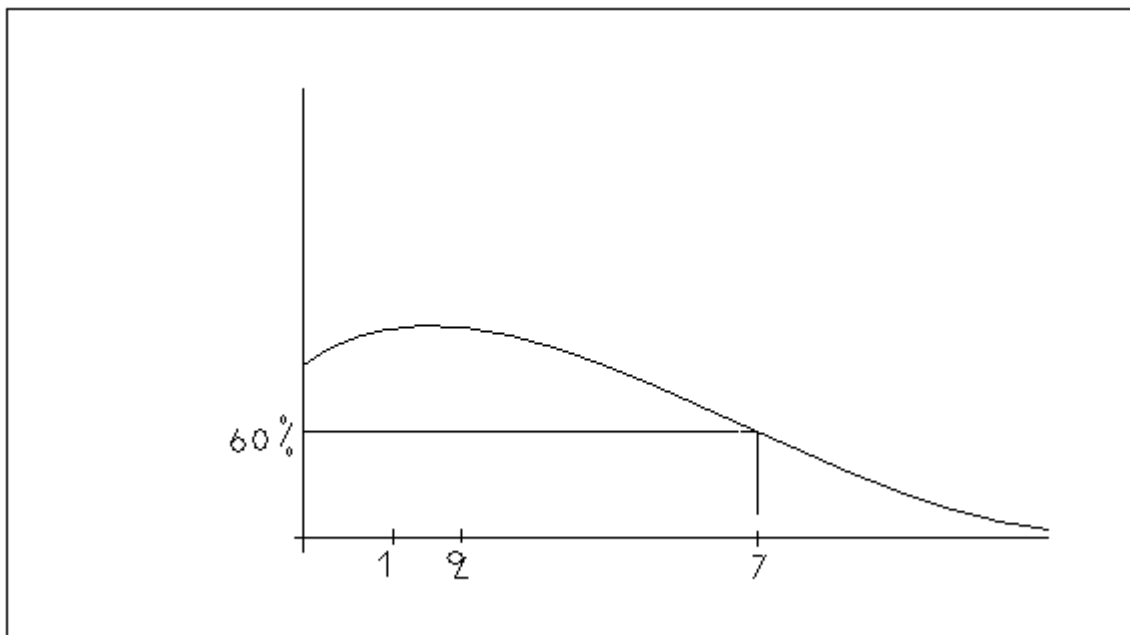
β)ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων.

γ)αντικειμενική ανάλυση των δεδομένων αυτών.

δ)εφαρμογή του προγνωστικού μοντέλου.

.

Η προγνωστική ικανότητα ενός αριθμητικού μοντέλου σε συνάρτηση με το χρόνο μπορεί προσεγγιστικά να παρασταθεί στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχ.4.1. Προγνωστική ικανότητα ενός αριθμητικού μοντέλου σε συνάρτηση με το χρόνο(Days).

Βλέπουμε λοιπόν από το διάγραμμα ότι για προγνωστικό χρόνο από 3 – 6 ώρες(very short range) τα αριθμητικά μοντέλα δεν δίνουν τη βέλτιστη πρόγνωση. Αντίθετα η μέγιστη ικανότητα πρόγνωσης είναι για προγνωστικό χρόνο 1 – 2 ημερών(middle range) ενώ φαίνεται ότι για προγνωστικό χρόνο μεγαλύτερο των 7 ημερών τα αριθμητικά μοντέλα χάνουν την αξιοπιστία τους αφού όταν η προγνωστική ικανότητα του μοντέλου πέφτει κάτω από 60% το μοντέλο χάνει την αξιοπιστία του.

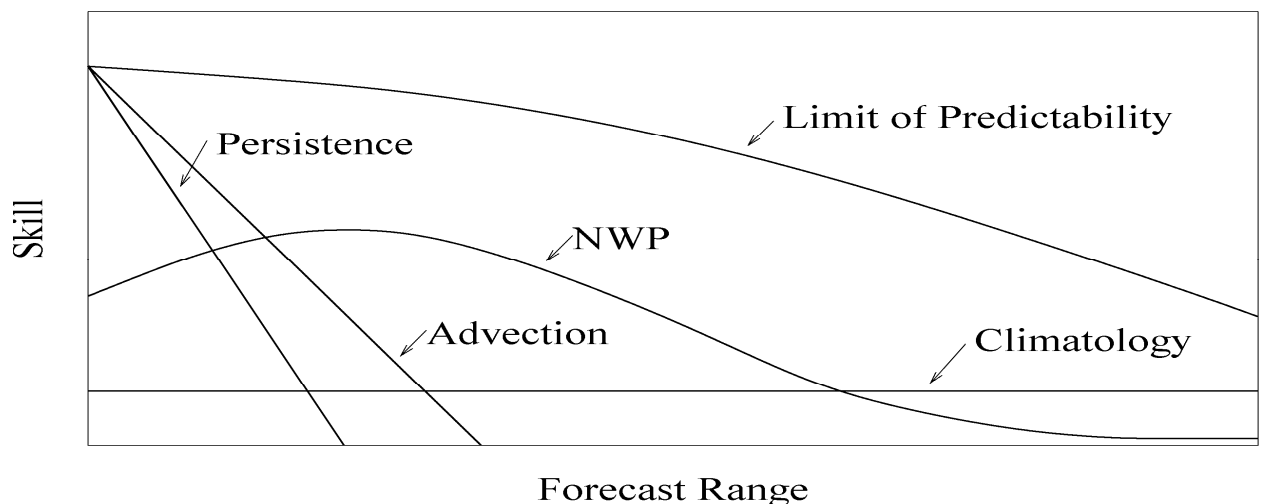
Οι προγνωστικές μέθοδοι που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

- **Persistence(διατήρηση κίνησης):** η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τα δεδομένα(ραντάρ, δορυφορικές εικόνες) των προηγούμενων ωρών και υποθέτει ότι το σύστημα(τοπική καταιγίδα, νεφικός σχηματισμός) θα συνεχίσει να κινείται την επόμενη μισή με μία ώρα κατά τον ίδιο τρόπο.
- **Advection(μεταφορά):** η μέθοδος αυτή λειτουργεί κατά παρόμοιο τρόπο με την προηγούμενη μέθοδο είναι όμως πιο βελτιωμένη. Αυτό οφείλεται στο ότι η μέθοδος Advection λαμβάνει υπόψη το πεδίο του ανέμου που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή και όχι μόνο την προηγούμενη κίνηση του συστήματος. Για το λόγο αυτό η advection δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Το πεδίο του ανέμου το λαμβάνει από τα προγνωστικά μοντέλα.
- **Limit of predictability(όριο προγνωσιμότητας):** η μέθοδος αυτή μας δείχνει το χρονικό όριο μέσα στα πλαίσια του οποίου η πρόγνωση είναι αξιόπιστη. Μετά το

πέρας αυτού του χρονικού ορίου(περίπου 7 ημέρες) η πρόγνωση χάνει την αξιοπιστία της.

- Climatology(κλιματολογία): η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί όλα τα διαθέσιμα δεδομένα από όλα τα προηγούμενα έτη για τα οποία υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τον καιρό που επικρατεί για κάθε εποχή του χρόνου στην περιοχή που μας ενδιαφέρει. Αξιοποιώντας τα κλιματικά στοιχεία εξάγονται στατιστικά συμπεράσματα για την καιρική κατάσταση που επικρατεί κατά μέσο όρο πάνω από μια περιοχή για κάθε εποχή. Αυτή ακριβώς είναι και η ικανότητα πρόγνωσης της κλιματολογίας όπου βασιζόμενη στη στατιστική μπορεί να προβλέψει τον καιρό για κάποια εποχή του έτους σε μια περιοχή.
- NWP(αριθμητικά μοντέλα): είναι η μέθοδος πρόγνωσης του καιρού που βασίζεται στην επίλυση προγνωστικών εξισώσεων.

Στο σχήμα 4.2 παριστάνεται η προγνωστική ικανότητα των παραπάνω μεθόδων.



Σχ.4.2. Προγνωστική ικανότητα διάφορων μεθόδων(ο οριζόντιος άξονας δεν είναι σε κλίμακα)

Είναι γεγονός πάντως ότι όλοι οι ειδικοί συμφωνούν ότι όσο και να βελτιωθούν τα μοντέλα πάντοτε θα υπάρχει στη πρόγνωση ένα ποσοστό αποτυχίας. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η ατμόσφαιρα είναι γενικά ένα χαοτικό σύστημα. Δηλαδή ένα σύστημα με πολύ μεγάλο αριθμό μεταβλητών των οποίων η μελλοντική συμπεριφορά είναι αδύνατον να καθοριστεί ολοκληρωτικά. Έτσι καταβάλλονται συνεχώς προσπάθειες που έχουν ως στόχο όχι την απόλυτη επιτυχία(100%)της πρόγνωσης του καιρού αλλά τη συνεχή βελτίωση του ποσοστού επιτυχίας.

4.3 Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η πρόγνωση του καιρού

- 1) Από το χρονικό ορίζοντα ο οποίος καθορίζει και την ακρίβεια της θέσης του βαρομετρικού συστήματος που είναι υπεύθυνο για κάποιο καιρό καθώς επίσης και από την κλίμακα του συστήματος ως προς το χώρο και τον χρόνο.
- 2) Οι τυχαίες μεταβολές που εμφανίζονται στην ατμόσφαιρα και που δεν λαμβάνονται υπόψη στα μοντέλα.
- 3) Λανθασμένες ή ελλειπείς αρχικές τιμές για τη λύση του συστήματος των προγνωστικών εξισώσεων, οι οποίες οφείλονται φυσικά στον ανθρώπινο παράγοντα ή την μη σωστή λειτουργία των οργάνων μέτρησης, στη μη ύπαρξη πυκνού κατάλληλου δικτύου μετεωρολογικών σταθμών. Η έλλειψη αρχικών τιμών αναφέρεται ιδιαίτερα στους ωκεανούς και στις ακατοίκητες περιοχές.
- 4) Η αδυναμία των μοντέλων που λειτουργούν να συμπεριλάβουν τις απότομες φυσικές μεταβολές των συστημάτων μικρής διαδικασίες όπως είναι π.χ. οι μεμονωμένες καταιγίδες
- 5) Υπολογιστικά λάθη των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε κάθε χρονικό βήμα της πρόγνωσης.

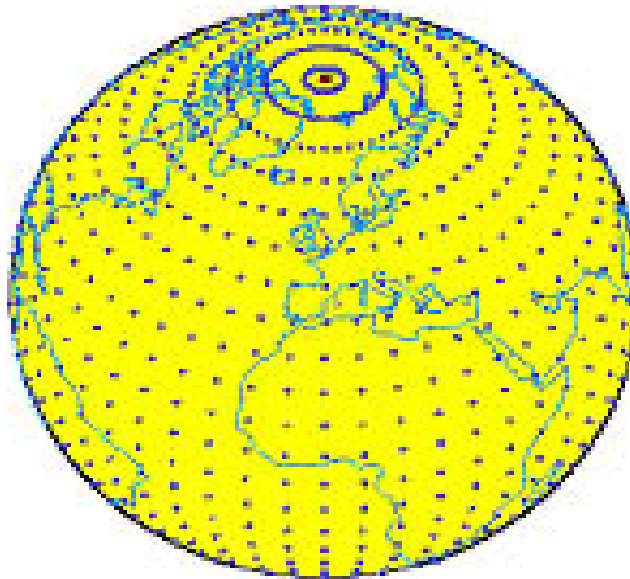
4.4 Είδη μελετών όπου χρησιμοποιούνται τα αριθμητικά μοντέλα

Τα αριθμητικά μοντέλα χρησιμοποιούνται κυρίως σε:

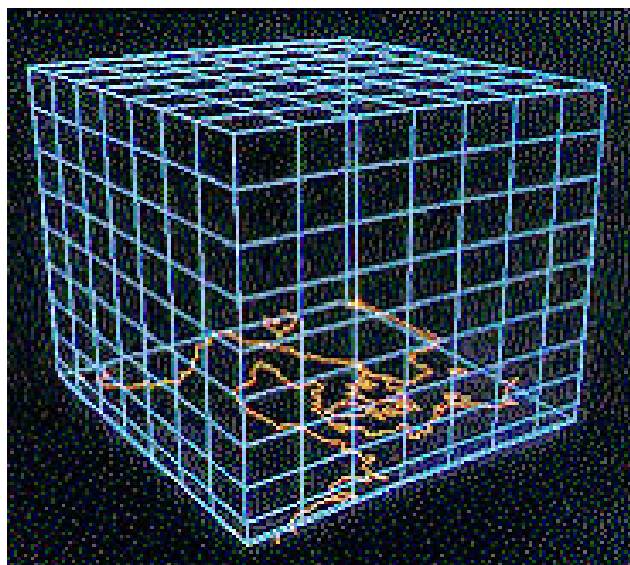
- 1) Μικρής και μέσης χρονικές κλίμακες – εποχιακές προγνώσεις καιρού
 - Μοντέλα παγκόσμιας κλίμακας
 - Περιοχικά μοντέλα
 - Μοντέλα μέσης κλίμακας
- 2) Κλιματικές προγνώσεις
 - Μοντέλα παγκόσμιας κλίμακας και περιορισμένης περιοχής
- 3) Μελέτες συγκεκριμένων μετεωρολογικών φαινομένων
 - Π.χ. μέτωπα, κυκλωνογένσεις, τοπικοί κυκλώνες
- 4) Μελέτες μικροκλίμακας
 - Πόλεις, δρόμοι κ.τλ

4.5 Μέθοδοι επίλυσης προγνωστικών εξισώσεων

Η ατμόσφαιρα ως γνωστόν είναι ένα συνεχές μέσο. Ωστόσο οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της την αντιμετωπίζουν σαν ένα μέσο που αποτελείται από διακριτά σημεία (grid points) (Σχήμα 4.3). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα τρισδιάστατο πλέγμα σημείων (Σχήμα 4.4) πάνω στο οποίο πραγματοποιούνται όλοι οι απαιτούμενοι υπολογισμοί. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν τελικά αφορούν μόνο τα συγκεκριμένα σημεία. Οι τιμές των παραμέτρων στα συγκεκριμένα σημεία αντιστοιχούν στην μέση τιμή τους σε μια κυψελίδα με διαστάσεις όσο η χωρική διακριτοποίηση του μοντέλου.



Σχ.4.3 Στην αριθμητική πρόγνωση η ατμόσφαιρα ένα μέσο που αποτελείται από διακριτά σημεία (grid points.).(πηγή:www.emy.gr)



Σχ.4.4. Τρισδιάστατο πλέγμα διακριτών σημείων ατμοσφαιρικού μοντέλου(πηγή:www.emy.gr)

Επίσης γίνεται η παραδοχή ότι ο χρόνος δεν είναι συνεχής αλλά ότι τα πάντα συμβαίνουν σε διακριτές χρονικές στιγμές. Θεωρούμε λοιπόν ότι ο χρόνος κυλά με πολύ μικρά χρονικά βήματα της τάξης των λίγων δευτερολέπτων. Βέβαια η πρόβλεψη του καιρού για ένα τόσο μικρό χρονικό βήμα ίσως να μην είναι σημαντική. Η συνεχής όμως επανάληψη των υπολογισμών οδηγεί στην πρόγνωση του καιρού για την επόμενη ημέρα ή για την επόμενη εβδομάδα. Στην ουσία αυτό που γίνεται είναι εκατομμύρια συνεχώς επαναλαμβανόμενοι υπολογισμοί βασισμένοι πάνω σε σαφείς κανόνες. Αυτό που γνωρίζει να κάνει καλά ένας υπολογιστής.

Όσο πυκνότερο είναι το δίκτυο των σημείων και όσο πιο ρεαλιστική είναι η προσομοίωση της ατμόσφαιρας από το σύστημα των εξισώσεων που την περιγράφουν, τόσο πιο ικανοποιητικά είναι τα αποτελέσματα και τόσο μεγαλύτερη η απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς.

Τα αριθμητικά μοντέλα επιλύουν προγνωστικά τις εξισώσεις της κίνησης, την θερμοδυναμική εξίσωση της υγρασίας και διαγνωστικά την εξίσωση της συνέχειας με διάφορες παραδοχές για τις φυσικές διεργασίες της ατμόσφαιρας. (Πυθαρούλης Ι., Παπαγεωργίου Ι. 2006).

Οι μέθοδοι που τα αριθμητικά μοντέλα κάνουν χρήση για την επιλύσή τους κυρίως είναι :

4.5.1 Μέθοδος σημείων πλέγματος

Με αυτή τη μέθοδο επιλύεται αριθμητικά το σύνολο των διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν τη χωροχρονική εξέλιξη του δυναμικού συστήματος της ατμόσφαιρας. Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στην εισαγωγή ενός συνόλου σημείων στην περιοχή ενδιαφέροντος στις θέσεις των οποίων οι εξαρτημένες μεταβλητές ορίζονται αρχικά και στη συνέχεια υπολογίζονται χρονικά. Το σύνολο των σημείων ορίζουν το πλέγμα του πεδίου ορισμού. Οι αποστάσεις μεταξύ των συγκεκριμένων σημείων στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο (Δx , Δy , Δz) θεωρούνται σταθερές και συνεπώς ο χρόνος και ο χώρος επιλέγονται ως ανεξάρτητες μεταβλητές. Τα σημεία του πλέγματος δομούνται σε σύστημα συντεταγμένων το οποίο δεν μπορεί να είναι καρτεσιανό, ιδιαίτερα όταν εμφανίζεται ένα μοντέλο μέσης κλίμακας. Αυτό είναι εμφανές καθώς η μεταβλητότητα της ορογραφίας σε αρκετές περιπτώσεις είναι απότομη και πολλά σημεία του πλέγματος θα ορίζονται μέσα στην ορογραφία. Έτσι έχει θεμελιωθεί η χρήση συστημάτων συντεταγμένων που ακολουθούν την ορογραφία.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των σημείων πλέγματος ο πλέον δόκιμος τρόπος επίλυσης των εξισώσεων ενός αριθμητικού μοντέλου είναι η αντικατάσταση των

μερικών παραγώγων με τις προσεγγιστικές τους εκφράσεις. Η διαδικασία με την οποία μορφοποιούνται οι διαφορικές εξισώσεις χρησιμοποιώντας τις διαφορές των εξαρτημένων μεταβλητών σε πεπερασμένα χωρικά και χρονικά διαστήματα ονομάζεται μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών.

Πολύ σημαντική είναι η χωρική ανάλυση του μοντέλου, η απόσταση δηλαδή μεταξύ των σημείων πλέγματος.

4.5.2 Φασματικές μέθοδοι

Τα φασματικά μοντέλα αναπαριστούν τις χωρικές μεταβολές μετεωρολογικών παραμέτρων (όπως το γεωδυναμικό ύψος) σαν ένα πεπερασμένο πλήθος κυμάτων με διαφορετικά μήκη κύματος. Αυτή η τεχνική αναπτύχθηκε σαν ένα μέσο αύξησης της ταχύτητας και επέκτασης της χωρικής ανάλυσης των μοντέλων παγκόσμιας κλίμακας.

Βασικά πλεονεκτήματα των φασματικών μεθόδων:

- Η φασματική μέθοδος είναι γενικά πιο ακριβής όταν χρησιμοποιείται χαμηλή χωρική ανάλυση.
- Δεν υπάρχει "aliasing" γιατί οι αλληλεπιδράσεις με μικρά μήκη κύματος αποκλείονται
- Οι Φασματικές μέθοδοι συγκλίνουν πολύ γρήγορα

Βασικά μειονεκτήματα:

- Είναι δύσκολες στο προγραμματισμό
- Έχουν μεγάλο κόστος στον υπολογισμό των μη γραμμικών όρων αν όλοι οι υπολογισμοί γίνουν στο φασματικό χώρο και γι' αυτό χρησιμοποιούνται εναλλακτικοί τρόποι (φασματικοί μετασχηματισμοί – spectral transform method)
- Απαιτούν ειδικό χειρισμό των οριακών συνθηκών (χρήση κυρίως σε παγκόσμια μοντέλα)
- Μπορεί να εμφανιστούν μεγάλα λάθη σε περιοχές ασυνεχειών

4.6 Είδη μοντέλων πρόγνωσης καιρού

α. Παγκόσμια μοντέλα

Στα παγκόσμια μοντέλα το πλέγμα των σημείων καλύπτει όλη την γη και οι εξισώσεις λύνονται για όλη την ατμόσφαιρα της γης (Βόρειο και Νότιο ημισφαίριο).

β. Τοπικά μοντέλα (Limited Area Model LAM)

Για τη πρόγνωση διαταραχών μικρότερης κλίμακας χώρου και χρόνου χρησιμοποιούνται τα τοπικά μοντέλα καιρού.

Τα μοντέλα περιορισμένης περιοχής στηρίζονται στις ίδιες περίπου εξισώσεις με τη διαφορά ότι εκτελούνται σε μία περιορισμένη περιοχή, χρησιμοποιώντας ένα πυκνότερο πλέγμα σημείων και μπορούν να προσομοιώσουν με ακριβέστερο τρόπο διαταραχές και φαινόμενα μικρής κλίμακας, γεγονός που συνεπάγεται αναλυτικότερα και ποιοτικότερα αποτελέσματα. Αντί να επιλύεται το πρόβλημα του καιρού σε ολόκληρη τη γη, πάνω σε ένα αραιό πλέγμα σημείων, επικεντρώνεται το ενδιαφέρον σε μια μικρή συγκεκριμένη περιοχή (π.χ. Ευρώπη ή Ελλάδα) και επιλύεται το πρόβλημα χρησιμοποιώντας ένα πολύ πιο πυκνό πλέγμα σημείων.

Τα μοντέλα περιορισμένης περιοχής χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα υδροστατικά και μη υδροστατικά. Τα μη υδροστατικά μοντέλα προσομοιώνουν τις ατμοσφαιρικές διαδικασίες μικρότερου μήκους κύματος(<10km).

Διεθνώς η εκτέλεση των αριθμητικών μοντέλων καιρού πραγματοποιείται σε υπολογιστικά συστήματα υψηλών επιδόσεων (supercomputers) για δυο λόγους:

- Τα μετεωρολογικά μοντέλα είναι γενικά μεγάλοι (χρονοβόροι) κώδικες. Για την εκτέλεσή τους απαιτείται ένα μεγάλο πλήθος επεξεργασιών και υπολογισμών ενός τεράστιου όγκου δεδομένων.
- Τα αποτελέσματα των μετεωρολογικών μοντέλων πρέπει να παρέχονται σε ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα στα τμήματα επιχειρησιακής πρόγνωσης,

προκειμένου να εξαχθούν έγκαιρα τα τελικά συμπεράσματα για την εξέλιξη του καιρού.

Για να "τρέξει" ένα τοπικό μοντέλο (LAM) χρειάζεται να είναι γνωστή η ροή στα όρια μιας περιοχής από ένα παγκόσμιο μοντέλο

4.7 Φυσικές διεργασίες – παραμετροποιήσεις

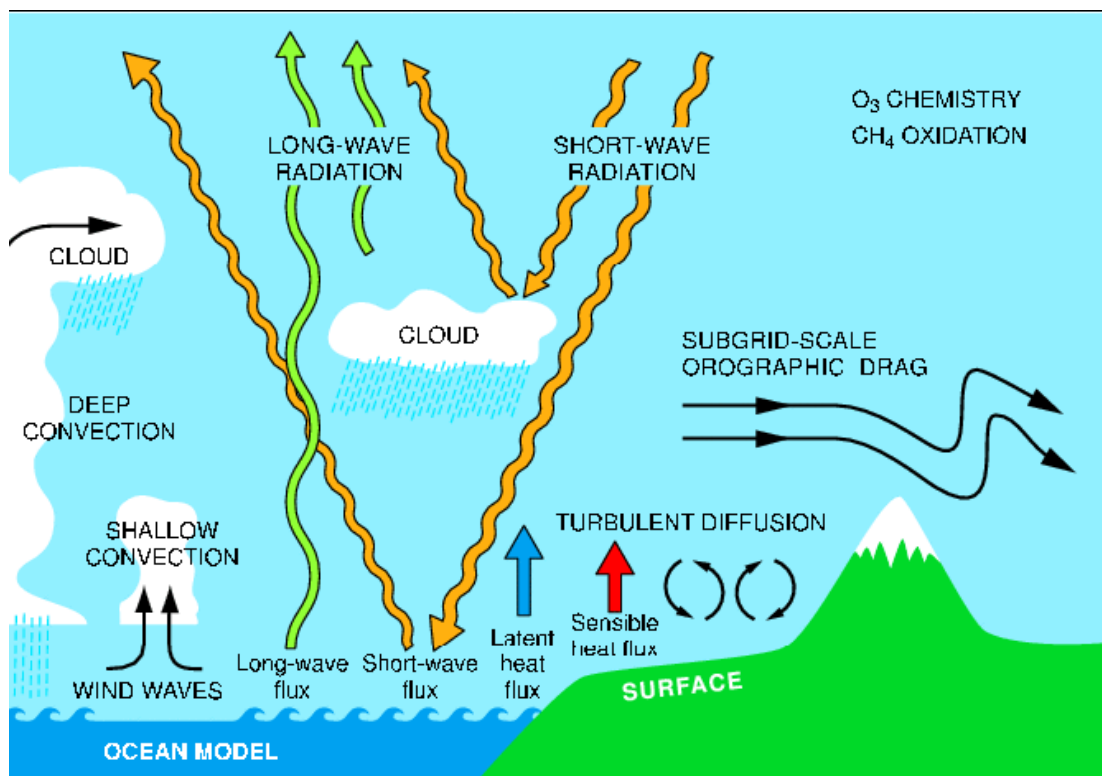
Οι διάφορες φυσικές διεργασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα είτε αναπαρίστανται στα σημεία πλέγματος είτε αν δεν μπορούν να αναλυθούν από το μοντέλο λόγω ανεπαρκούς χωρικής ανάλυσης λαμβάνονται υπόψη μέσω παραμετροποιήσεων (Πυθαρούλης Ι., Παπαγεωργίου Ι. 2006).

Οι φυσικές διεργασίες που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία, τυρβώδη ροή, ανωμεταφορά, σχηματισμό – εξάτμιση νεφών και υετού καθώς και οι υπεδάφειες και επιφανειακές διεργασίες έχουν σημαντική επίδραση στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας σε όλες τις κλίμακες. Αυτοί οι μηχανισμοί όμως είναι συχνά ενεργοί σε κλίμακες μικρότερες από τη χωρική ανάλυση του αριθμητικού μοντέλου. Τα διάφορα σχήματα παραμετροποίησης είναι επομένως απαραίτητα για την σωστή περιγραφή αυτών των διαδικασιών στα αριθμητικά μοντέλα.

Περίληπτικά οι παραμετροποιήσεις του αριθμητικού μοντέλου του ECMWF είναι:

1. Σχήμα ηλιακής ακτινοβολίας

Εξαιτίας του ότι αυτό το σχήμα χρειάζεται σημαντικό υπολογιστικό χρόνο κάθε πλήρους κύκλος του καλείται ανά 3 ώρες. Στον υπολογισμό της ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται και κλιματολογικές τιμές των αερολυμάτων, CO₂ και O₃. Ο υπολογισμός των ροών ακτινοβολίας μπορεί να μην γίνεται σε κάθε σημείο πλέγματος, αλλά σε επιλεγμένα σημεία χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο που εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα παρεμβάλλονται στο πλέγμα του μοντέλου χρησιμοποιώντας κυβική παρεμβολή. Οι ροές ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος ανανεώνονται σε κάθε χρονικό βήμα του μοντέλου χρησιμοποιώντας τις τιμές της ζενίθιας γωνίας. Το σχήμα λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη νεφών μέσω των τιμών της νεφοκάλυψης και της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε νερό/πάγο, σε κάθε επίπεδο.



Σχήμα 4. 5. Σχηματική αναπαράσταση των φυσικών διεργασιών που παραμετροποιούνται στο ντετερμινιστικό αριθμητικό μοντέλο του Ευρωπαϊκού κέντρου (ECMWF 2004).

2. Σχήμα τυρβώδους διάχυσης

Οι επιφανειακές ροές συχνά υπολογίζονται μέσω της θεωρίας ομοιότητας των Monin-Obukhov. Ο υπολογισμός των τυρβωδών ροών στην υπόλοιπη ατμόσφαιρα βασίζεται στη θεωρία της τυρβώδους διάχυσης. Εκτός των άλλων, σε αυτό το σχήμα υπολογίζονται τα πεδία της επιφανειακής θερμοκρασίας (skin temperature) και υγρασίας (apparent surface humidity).

3. Σχήμα ανωμεταφοράς

Το σχήμα βασίζεται στον υπολογισμό της ροής της μάζας (mass-flux) που ανολισθαίνει, και διαιρείται σε αβαθή ανωμεταφορά καθώς και σε ανωμεταφορά που φτάνει σε μεσαία και μεγάλα ύψη. Στην περίπτωση ανωμεταφοράς σε μεγάλα ύψη ο υπολογισμός της ροής της μάζας βασίζεται στην υπόθεση ότι η Διαθέσιμη Δυναμική Ενέργεια για Ανωμεταφορά (CAPE) θα μηδενιστεί σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση ανωμεταφοράς σε μεσαία ύψη η ροή της μάζας στη βάση των νεφών υπολογίζεται μέσω της μεγάλης κλίμακας κατακόρυφης ταχύτητας. Τέλος, ο καθορισμός της έντασης της αβαθούς ανωμεταφοράς γίνεται μέσω της υπόθεσης ότι στο ατμοσφαιρικό στρώμα κάτω από τα νέφη υπάρχει ισορροπία στατικής ενέργειας.

4. Σχήμα ορογραφικού εμποδίου

Αυτό το σχήμα αναπαριστά τον εμποδισμό της ατμοσφαιρικής ροής σε χαμηλά επίπεδα εξαιτίας της ορογραφίας, καθώς και τις μεταφορές λόγω των βαρυτικών κυμάτων (σε κλίμακες μικρότερες της χωρικής ανάλυσης) που δημιουργούνται από την επίδραση των βουνών σε ευσταθώς στρωματοποιημένη ροή.

5. Σχήμα νεφών και μεγάλης κλίμακας υετού

Το σχήμα επιλύει δύο προγνωστικές εξισώσεις για να υπολογίσει την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε νερό/πάγο καθώς και τη νεφοκάλυψη. Το σχήμα νεφών αναπαριστά το σχηματισμό σωρρειτόμορφων και στρωματομόρφων νεφών. Επίσης λαμβάνει υπόψη αρκετές σημαντικές διεργασίες που συμβαίνουν στα νέφη, όπως εισροή στην κορυφή τους, σχηματισμό υετού (σε υγρή και στερεή μορφή) και εξάτμιση του υετού

6. Σχήμα επιφανειακών και υπεδάφειων διεργασιών

Το σχήμα περιλαμβάνει προγνωστικές εξισώσεις για τη θερμοκρασία και υγρασία σε τέσσερα επίπεδα μέσα στο έδαφος, καθώς και για το χιόνι. Τα τέσσερα υπεδάφια στρώματα είναι σε βάθη 0-7cm, 7-28cm, 28-100cm και 100-289cm. Ένα στρώμα κατακράτησης στην επιφάνεια συλλέγει τον υετό και τη δρόσο. Στον υπολογισμό της εξάτμισης το γυμνό χώμα, η βλάστηση και οι επιφάνειες με χιόνι συνεισφέρουν χωριστά.

7. Σχήμα μεθανίου

Αυτό είναι ένα απλό σχήμα που παραμετροποιεί τις πηγές υγρασίας στην ανώτερη στρατόσφαιρα λόγω της οξείδωσης του μεθανίου. Επίσης υπάρχει και ένα σχήμα που αναπαριστά την φωτόλυση των υδρατμών στη μεσόσφαιρα.

8. Σχήμα χημείας όζοντος

Το σχήμα περιλαμβάνει μία προγνωστική εξίσωση για τον υπολογισμό της αναλογίας μίγματος του όζοντος. Αυτή η εξίσωση χρησιμοποιεί παραμετροποιημένες τιμές για πηγές και καταβόθρες του όζοντος.

4.8. Το μοντέλο περιορισμένης περιοχής Σκίρων

Γενικά:

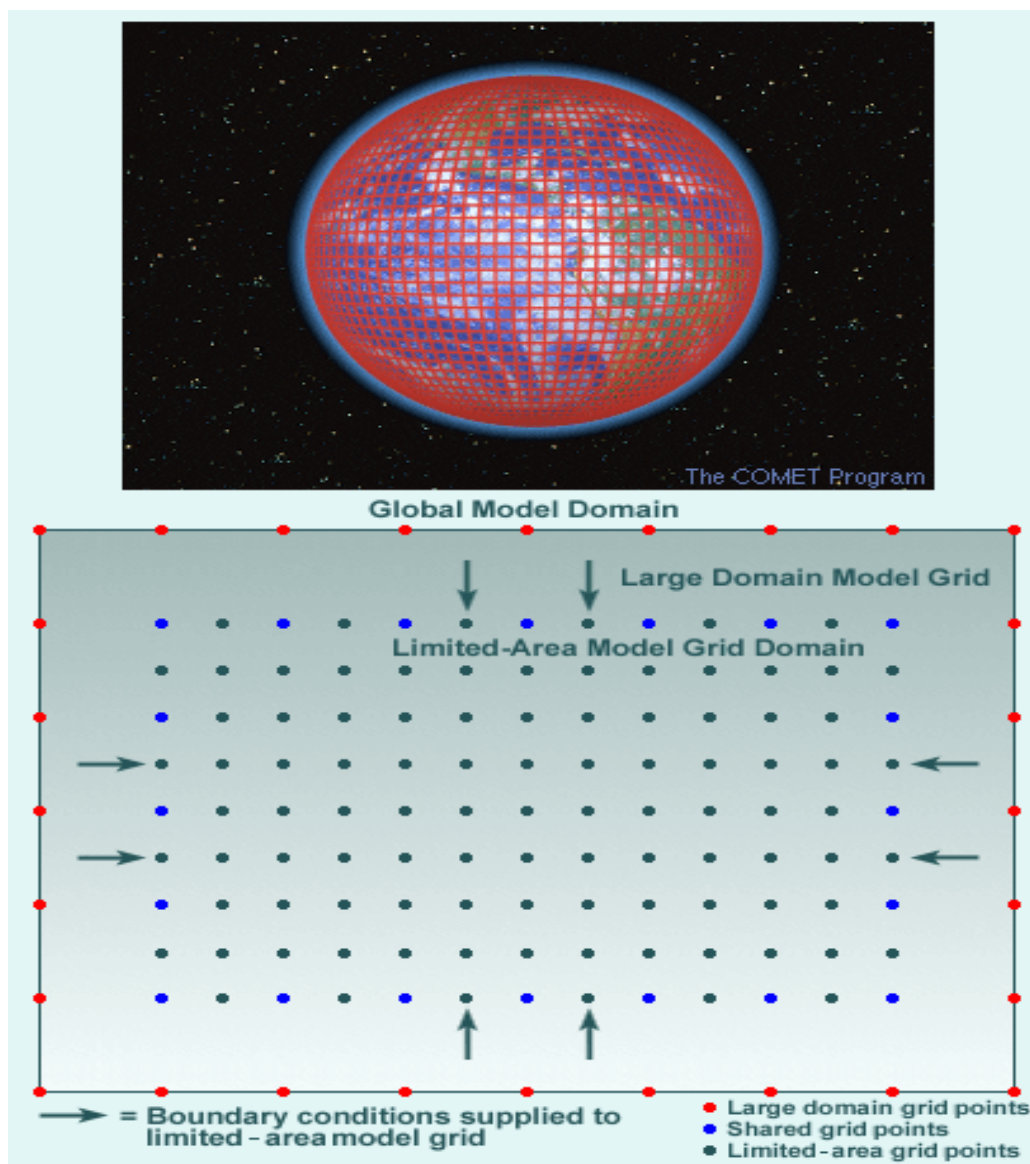
Για την καλύτερη περιγραφή και αναπαράσταση ατμοσφαιρικών φαινομένων μέσης και συνοπτικής κλίμακας αναπτύχθηκαν τα αριθμητικά μοντέλα περιορισμένης περιοχής (Limited Area Model – LAM), τα οποία μπορούν να προσομοιώσουν ατμοσφαιρικές διεργασίες σε ιδιαίτερα υψηλές χωρικές και χρονικές αναλύσεις.

Το τοπικό σύστημα πρόγνωσης καιρού SKIRON/ETA (Kallos 1997) αναπτύχθηκε από την Ομάδα Ατμοσφαιρικών Μοντέλων και Πρόγνωσης Καιρού του Πανεπιστημίου Αθηνών για επιχειρησιακή χρήση στην Ε.Μ.Υ. και τώρα λειτουργεί επιχειρησιακά σε άλλες 17 περιοχές παγκοσμίως. Το μοντέλο SKIRON είναι ένα πλήρες ατμοσφαιρικό πρότυπο φυσικής με αρκετές μοναδικές ικανότητες που το καθιστούν κατάλληλο για τοπικές μεσοκλιματικές προσομοιώσεις στις περιοχές με ιδιαίτερα μεταβλητά φυσιογραφικά χαρακτηριστικά. Η εφαρμογή του συστήματος απαιτεί το υπολογιστικό περιβάλλον της Unix. Έχει, επίσης, την μοναδική ικανότητα να χρησιμοποιήσει την "step mountain" Eta κατακόρυφη συντεταγμένη και να χρησιμοποιεί μη υδροστατική δυναμική.

Η τρέχουσα έκδοση του προτύπου Eta κωδικοποιείται κατάλληλα προκειμένου να τρέξει σε οποιαδήποτε παράλληλη πλατφόρμα υπολογιστών που χρησιμοποιεί οποιοδήποτε αριθμό επεξεργαστών. Μία από τις δυνατότητες του SKIRON είναι η προσομοίωση του κύκλου σκόνης (λήψη-μεταφορά-εναπόθεση) που αναπτύχθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών προγραμμάτων MEDUSE (ΕΕ χρηματοδότηση) και SKIRON (ΕΕ και Ελληνική Κυβερνητική χρηματοδότηση). Το μη υδροστατικό μοντέλο εμφανίζεται να είναι αξιόπιστο σε όλες τις αναλύσεις και αποδοτικό στις εφαρμογές Αριθμητικής πρόγνωσης καιρού. Περίπλοκες παραμετροποιήσεις χρησιμοποιούνται προκειμένου να αναπαρασταθούν οι ποικίλες φυσικές διαδικασίες όπως εκπομπή ακτινοβολίας, μεταγωγή θερμότητας, κλπ.

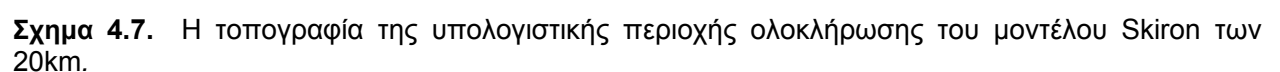
4.8.1 Περιοχή Ολοκλήρωσης μοντέλου

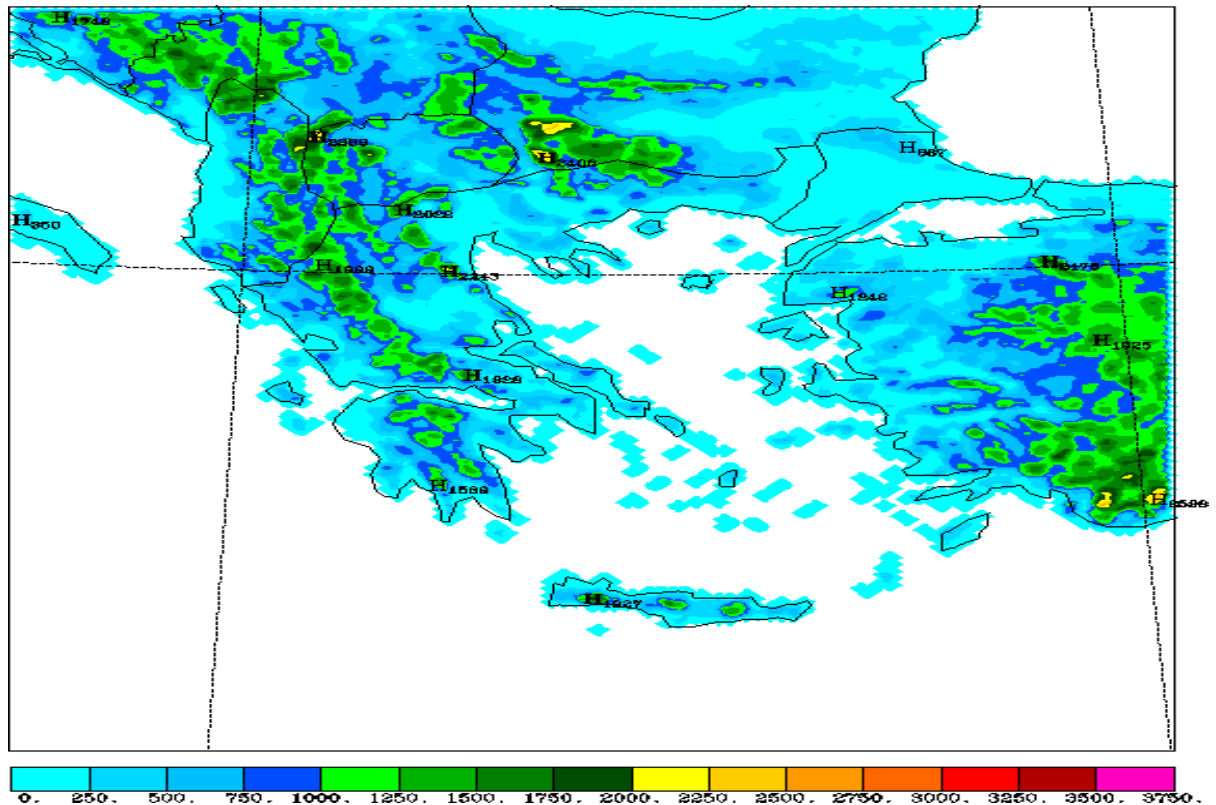
Η περιοχή ολοκλήρωσης (domain) όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.6, είναι η περιοχή της γης που καλύπτει το μοντέλο. Τα μοντέλα μπορεί να είναι είτε παγκόσμια (global models), είτε περιορισμένης περιοχής (limited area models).



Σχήμα 4.6 Περιοχή ολοκλήρωσης μοντέλου.(πηγή: COMET – UCAR).

Τα μοντέλα περιορισμένης περιοχής μπορούν να καλύπτουν πολύ μεγάλες εκτάσεις, όπως ολόκληρες ηπείρους, ή πολύ μικρές περιοχές, όπως ένα νομό. Η ανάγκη ύπαρξής τους έγκειται στη δυσκολία πραγματοποίησης υψηλής ανάλυσης προσομοιώσεων για όλη τη γη. Τα μοντέλα περιορισμένης περιοχής έχουν πλευρικά και κατακόρυφα όρια, ενώ τα παγκόσμια μοντέλα που καλύπτουν όλη τη γη έχουν μόνο κατακόρυφα όρια.





Σχήμα 4.8 τοπογραφία της υπολογιστικής περιοχής ολοκλήρωσης του μοντέλου Skiron των 5km.

4.8.2 Οριακές συνθήκες στο κάτω όριο των αριθμητικών μοντέλων πρόγνωσης καιρού

Σε ένα αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης καιρού το κάτω του όριο (ξηρά/θάλασσα) παίζει σημαντικό ρόλο στην επιτυχία του λειτουργία. Επομένως, οι ιδιότητες του εδάφους, όπως το ύψος και η μεταβλητότητα της τοπογραφίας, η φυτοκάλυψη, η υφή του εδάφους, η ανακλαστικότητα, η τραχύτητα κλπ. πρέπει οπωσδήποτε να ληφθούν υπόψη με την μεγαλύτερη δυνατή λεπτομέρεια. Επίσης, χρειάζεται να χρησιμοποιούμε όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες για τις θερμοκρασίες στην επιφάνεια υδάτινων μαζών (π.χ. θάλασσας) στην περιοχή ολοκλήρωσης του μοντέλου μας.

Τα δεδομένα που εισάγονται στο μοντέλο Skiron/Eta και είναι σταθερά για την ίδια περιοχή εφαρμογής, χαρακτηρίζουν τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Η διαδικασία επεξεργασίας τους βασίζεται στην παραδοχή ότι τα χαρακτηριστικά αυτά που υπολογίζονται στο κάθε σημείο πλέγματος θεωρούνται ως αντιπροσωπευτικά της υποπεριοχής που ορίζεται γύρω από αυτό. Η έκταση της υποπεριοχής αυτής είναι ανάλογη με την προκαθορισμένη χωρική διακριτοποίηση του μοντέλου.

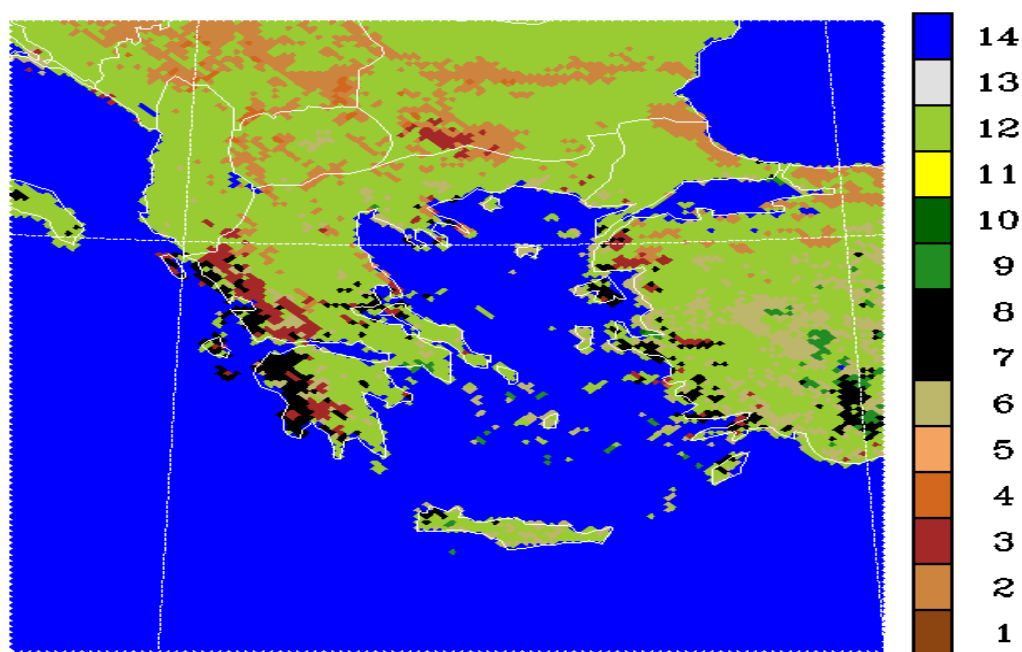
Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα του συστήματος Skiron/Eta περιγράφονται εν συντομία στα εξής τμήματα:

4.8.2.1 Χαρακτηριστικά επιφάνειας

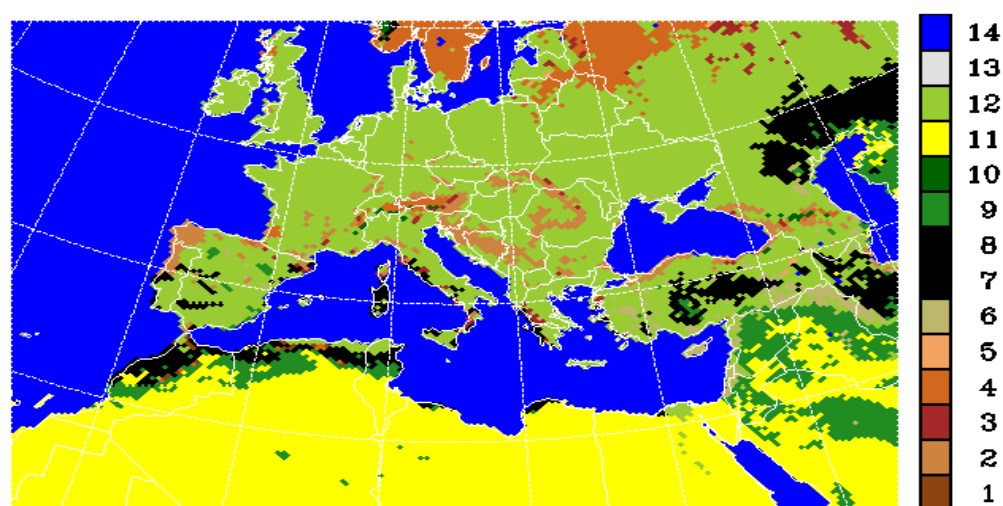
α) Φυτοκάλυψη (vegetation)

- ♦ Το σύστημα χρησιμοποιεί υψηλής ανάλυσης δεδομένα φυτοκάλυψης.
- ♦ Η βάση δεδομένων των αρχικών δεδομένων των τύπων βλάστησης είναι διαθέσιμη από το USGS με ανάλυση 30" x 30 " της μοίρας και είναι ταξινομημένοι στις 13 κατηγορίες του SiB.
- ♦ Στη φάση προετοιμασίας των δεδομένων τα παραπάνω δεδομένα παρεμβάλλονται στα σημεία πλέγματος του μοντέλου και στην επιθυμητή ανάλυση.

Παρακάτω παρουσιάζονται χάρτες φυτοκάλυψης των 5 και 20km αντίστοιχα (Εικόνες 4.9. και 4.10.)



Σχήμα 4.9 Χάρτης φυτοκάλυψης των 5km.



Σχήμα 4.10 Χάρτης φυτοκάλυψης των 20km.

β)Υφή Εδάφους (soil texture)

Το μοντέλο εδάφους που συνεργάζεται με το μοντέλο Skiron/Eta, τροποποιήθηκε έτσι ώστε να μπορεί να αναγνωρίζει προκαθορισμένες κατηγορίες σύστασης εδάφους. Οι κατηγορίες αυτές καθορίζονται από μια βάση δεδομένων με ανάλυση 2' X 2' της μοίρας και με παγκόσμια κάλυψη, που αναπαράχθηκε ύστερα από μια συνδυασμένη επεξεργασία δυο βάσεων δεδομένων. Οι δυο βάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό είναι:

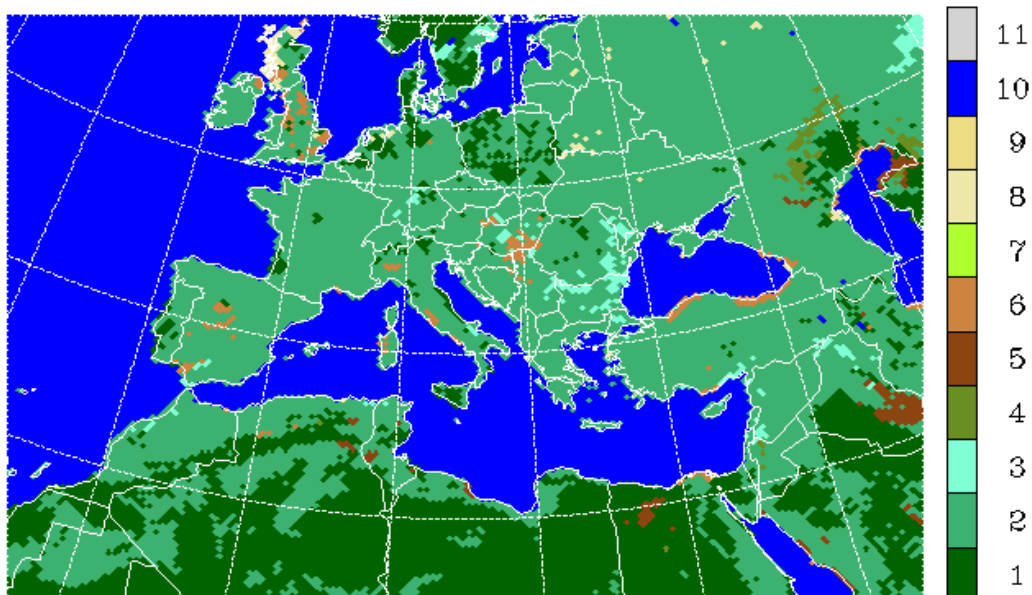
- ♦ Η βάση δεδομένων των κατηγοριών σύστασης εδάφους, η οποία στο εξής θα αναφέρεται ως ZOBLER και είναι διαθέσιμη με ανάλυση 1° X 1° , με παγκόσμια κάλυψη. Τα δεδομένα είναι ταξινομημένα σε 7 κατηγορίες σύστασης εδάφους και σε 3 επιπλέον που αναφέρονται στην κάλυψη από νερό, από οργανική ύλη και από πάγο. Οι κατηγορίες αυτές χαρακτηρίζονται, στη βάση δεδομένων, με ακέραιους αριθμούς από 0 μέχρι 9.
- ♦ Η βάση δεδομένων των τύπων εδάφους κατά UNEP/GRID Gridded FAO/UNESCO, η οποία στο εξής θα αναφέρεται ως FAO και είναι διαθέσιμη με ανάλυση 2' X 2' της μοίρας και με παγκόσμια κάλυψη. Η βάση αυτή στην οποία περιέχονται 134 τύποι εδάφους, ετοιμάστηκε για γεωλογικούς, κυρίως σκοπούς, δίνοντας πληροφορίες για την ηλικία και τον τρόπο δημιουργίας των πετρωμάτων. Δυστυχώς δεν υπάρχει η δυνατότητα απευθείας σύνδεσης του τύπου του εδάφους με βασικές εδαφικές θερμοφυσικές ιδιότητες, που απαιτούνται από το μοντέλο εδάφους, όπως για παράδειγμα η θερμική και η υδραυλική αγωγιμότητα, η θερμική χωρητικότητα, η ανακλαστικότητα κλπ.

Συνδυάζοντας, όμως, τις δυο παραπάνω βάσεις μπορεί να δημιουργηθεί μια νέα βάση δεδομένων, με ανάλυση 2' X 2' της μοίρας, στην οποία να περιέχονται οι κατηγορίες σύστασης εδάφους κατά ZOBLER, των οποίων γνωρίζουμε τα απαραίτητα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά τους. Ολοκληρώνοντας αυτήν την διαδικασία, ετοιμάστηκε μια νέα βάση δεδομένων με παγκόσμια κάλυψη και ανάλυση 2' X 2' της μοίρας, περιέχοντας 9 κατηγορίες σύστασης του εδάφους και μια για το νερό, των οποίων γνωρίζουμε τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά. Επιπρόσθετα, έχουν δημιουργηθεί δυο ακόμη κατηγορίες σύστασης εδάφους, της αμμώδους και της βραχώδους. Η σύσταση του εδάφους μιας περιοχής της Βόρειας Αφρικής, θεωρείται ότι είναι αμμώδης όταν αυτή δεν καλύπτεται από βλάστηση, ενώ

αν η περιοχή αυτή βρίσκεται σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 450m και οριοθετείται στην περιοχή από 0° μέχρι 20° ανατολικά και από 15° μέχρι 30° βόρεια θεωρείται ότι είναι βραχώδης.



Σχήμα 4.11 Χάρτης υψής εδάφους των 5km.

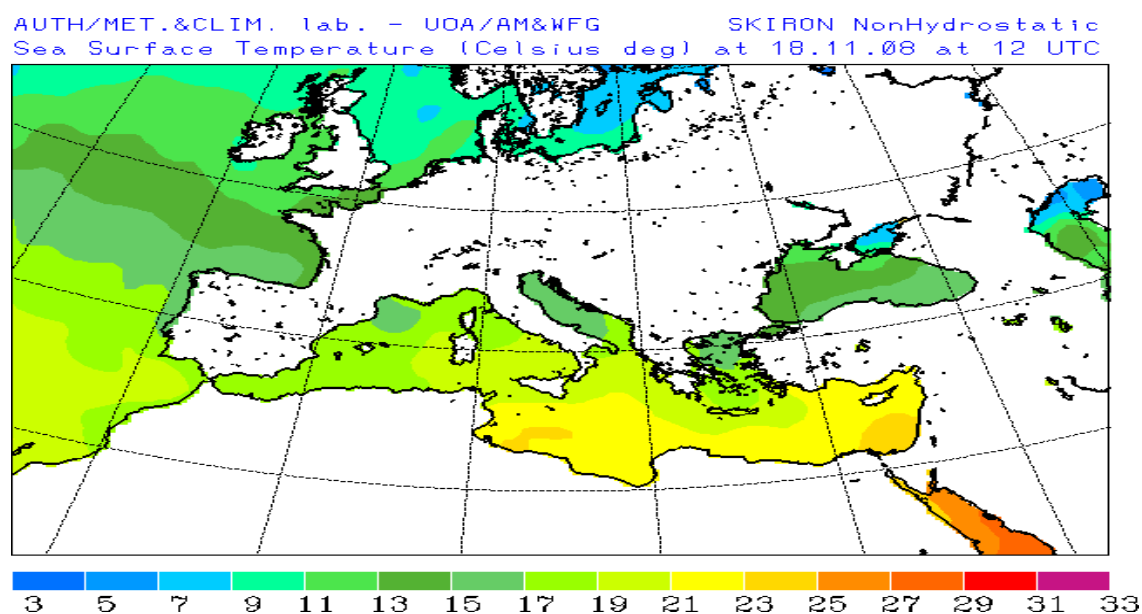


Σχήμα 4.12 Χάρτης υψής εδάφους των 20km.

γ)Θερμοκρασίες στην επιφάνεια της θάλασσας (sea-surface temperatures – SSTs)

Το πεδίο της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (SSTs) θεωρείται σταθερό σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, που συνήθως διαρκεί λίγες ημέρες. Είναι, λοιπόν, προφανής η σπουδαιότητα μιας ρεαλιστικής περιγραφής της αρχικής κατάστασης της επιφάνειας της θάλασσας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται δεδομένα που προέρχονται από ημερήσιες παρατηρήσεις και όταν αυτές δεν είναι διαθέσιμες χρησιμοποιούνται διάφορες βάσεις με κλιματολογικές τιμές. Έτσι, η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας καθορίζεται από ημερήσια δεδομένα παρατήρησης, με ανάλυση $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ της μοίρας, που είναι διαθέσιμες σε ημερήσια βάση από το NCEP. Είναι σημαντικό αυτές οι θερμοκρασίες να ανανεώνονται συχνά, π.χ. καθημερινά, καθώς η επίδραση της θάλασσας στον καιρό είναι πολύ σημαντική.

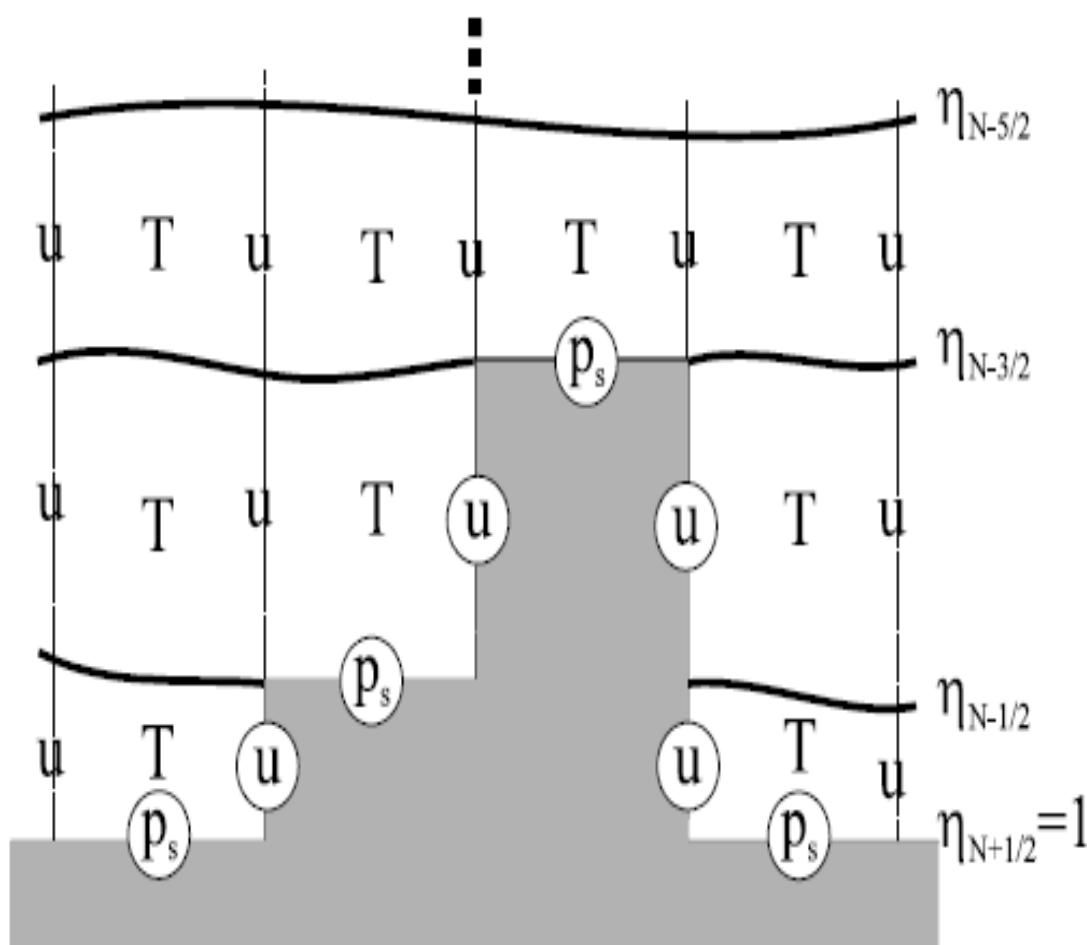
Το μοντέλο Skiron/Eta λαμβάνει το πεδίο της επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας στο αρχικό στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων, το οποίο παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των προσομοιώσεων. Η συγκεκριμένη διαδικασία θεωρείται αποδεκτή σε προσομοιώσεις μέσου χρονικού εύρους όπου δεν παρατηρούνται σημαντικές θερμοκρασιακές μεταβολές της θαλάσσιας επιφάνειας. Σε περιπτώσεις προσομοιώσεων ευρύτερων χρονικών διαστημάτων, όπως 240 ωρών και άνω, εντοπίζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις τόσο στην θερμοκρασιακή κατάσταση της θαλάσσιας επιφάνειας, όσο και στην κατανομή περιοχών πάγου μεγάλων γεωγραφικών πλατών με προφανή επίδραση στο επιφανειακό ισοζύγιο ενέργειας.



Σχήμα 4.13 χαρτης θερμοκρασιών στην επιφάνεια της θάλασσα

4.8.3 Πρότυπη γεωμετρία και δυναμική

- ♦ Οι πρότυπες μεταβλητές αντιπροσωπεύονται στο εναλλασσόμενο πλέγμα E του Arakawa. Τα διάφορα οριζόντια πλέγματα προσομοιώνουν διαφορετικά μεγάλες και συνοπτικές ατμοσφαιρικές διαδικασίες κλίμακας. Αποδείχθηκε ότι τα πλέγματα E, B και C έχουν πλεονεκτήματα σχετικά με τα πλέγματα A και το D.
- ♦ Για την οριζόντια κίνηση αέριας μάζας η διαδοχική διαδικασία της μη γραμμικής ενέργειας προς τις μικρότερες κλίμακες είναι υπό έλεγχο.
- ♦ Η "step-mountain" Eta συντεταγμένη χρησιμοποιείται στην κατακόρυφο. Η σχηματική εικόνα της Eta συντεταγμένης, καθώς επίσης και η διανομή των μεταβλητών στην κατακόρυφο παρουσιάζονται στο σχήμα 4.14.



Σχήμα 4.14 Το σύστημα κατακόρυφης Eta συντεταγμένης και η διανομή των πρότυπων μεταβλητών στην κατακόρυφο (Mesinger et al. 1988)

- ♦ Η αριθμητική λύση του συνόλου εξισώσεων εκτελείται σε ένα πρότυπο σημείου πλέγματος χρησιμοποιώντας σχήματα πεπερασμένων διαφορών.

- ♦ Το μοντέλο περιλαμβάνει την επιλογή να χρησιμοποιεί είτε την υδροστατική υπόθεση είτε μη υδροστατική δυναμική. Το μη υδροστατικό μοντέλο εμφανίζεται να είναι υπολογιστικά αξιόπιστο και αποδοτικό στις εφαρμογές NWP. Η χρήση της μη υδροστατικής δυναμικής είναι μια σημαντική βελτίωση ειδικά για υψηλής ανάλυσης προσομοιώσεις στις οποίες οι μη-υδροστατικές διαδικασίες μπορούν να ασκήσουν μια σημαντική επιρροή στις μετεωρολογικές παραμέτρους. Στις υψηλής ανάλυσης προσομοιώσεις το μη υδροστατικό πρότυπο είναι γενικά πιο ευσταθές από το υδροστατικό και παράγει τις ομαλότερες λύσεις.

4.8.4 Φυσικές Παραμετροποιήσεις

Οι φυσικές διαδικασίες που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία, την τυρβώδη ροή, την ανωμεταφορά, τον σχηματισμό/εξάτμιση των νεφών και του υετού καθώς και οι υπεδάφειες και επιφανειακές διεργασίες έχουν σημαντική επίδραση στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας σε όλες τις κλίμακες. Όμως, αυτοί οι μηχανισμοί είναι συχνά ενεργοί σε κλίμακες μικρότερες από τη χωρική ανάλυση του μοντέλου. Τα διάφορα σχήματα παραμετροποίησης είναι επομένως αναγκαία για τη σωστή περιγραφή αυτών των διαδικασιών στα αριθμητικά μοντέλα. Επιπλέον, ένας αριθμός προγνωστικών μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία στα 2 μέτρα, ο υετός, η νεφοκάλυψη και ο άνεμος στα 10 μέτρα, υπολογίζονται μέσω αυτών των παραμετροποιήσεων.

Στο αριθμητικό μοντέλο Skiron/Eta λειτουργεί πλήρες πακέτο υπολογισμού των φυσικών διεργασιών στο οποίο η επίλυση των ατμοσφαιρικών διαδικασιών με κλίμακα μικρότερη από την απόσταση των σημείων πλέγματός του βασίζεται σε ένα σύνολο εξελιγμένων σχημάτων παραμετροποίησης. Ειδικότερα το πακέτο περιλαμβάνει :

- Διεργασίες επιφάνειας αποτελούμενες από ενεργειακό ισοζύγιο θαλάσσιων και χερσαίων επιφανειών
- Κατακόρυφη τυρβώδη ανάμιξη
- Διαδικασίες υγροποίησης, παγοποίησης και σχηματισμό υετού
- Διεργασίες μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας.

Τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου του μοντέλου Skiron/Eta διακρίνονται σε σταθερά και μεταβλητά. Τα δεδομένα που παραμένουν σταθερά για την ίδια περιοχή εφαρμογής χαρακτηρίζουν τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής ενώ τα μετεωρολογικά

δεδομένα που χρησιμοποιούνται υπό μορφή αρχικών και οριακών συνθηκών εμφανίζουν χρονική μεταβλητότητα.

4.8.5 Δεδομένα εισόδου

- Αρχικές και οριακές συνθήκες(μετεωρολογικά δεδομένα σε σημεία πλέγματος)
- Θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας
- Θερμοκρασία και υγρασία στην επιφάνεια του εδάφους
- Ορογραφία, φυτοκάλυψη και σύσταση του εδάφους
- Κλιματικές τιμές συγκέντρωσης CO₂ και O₃ στην ατμόσφαιρα

4.8.6 Υπολογιστική Ισχύς

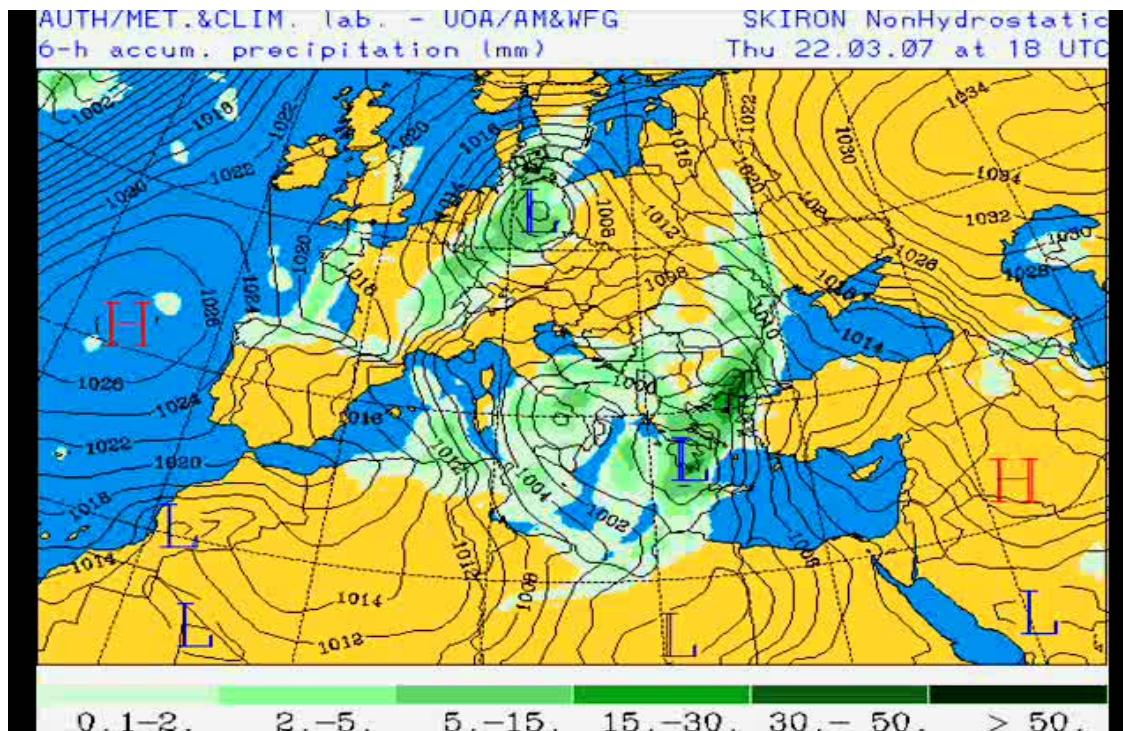
Το επιχειρησιακό αριθμητικό μοντέλο ΣΚΙΡΩΝ που αναλύει την περιοχή της Μεσογείου με ανάλυση 20 km πραγματοποιεί $139 \times 181 \times 38 = 956042$ υπολογισμούς της κάθε παραμέτρου ανά χρονικό βήμα. Για μία 72-ωρών πρόγνωση απαιτούνται 4320 χρονικά βήματα των 60 sec.

Επομένως σε μία 72-ωρών πρόγνωση η κάθε παράμετρος έχει υπολογιστεί:

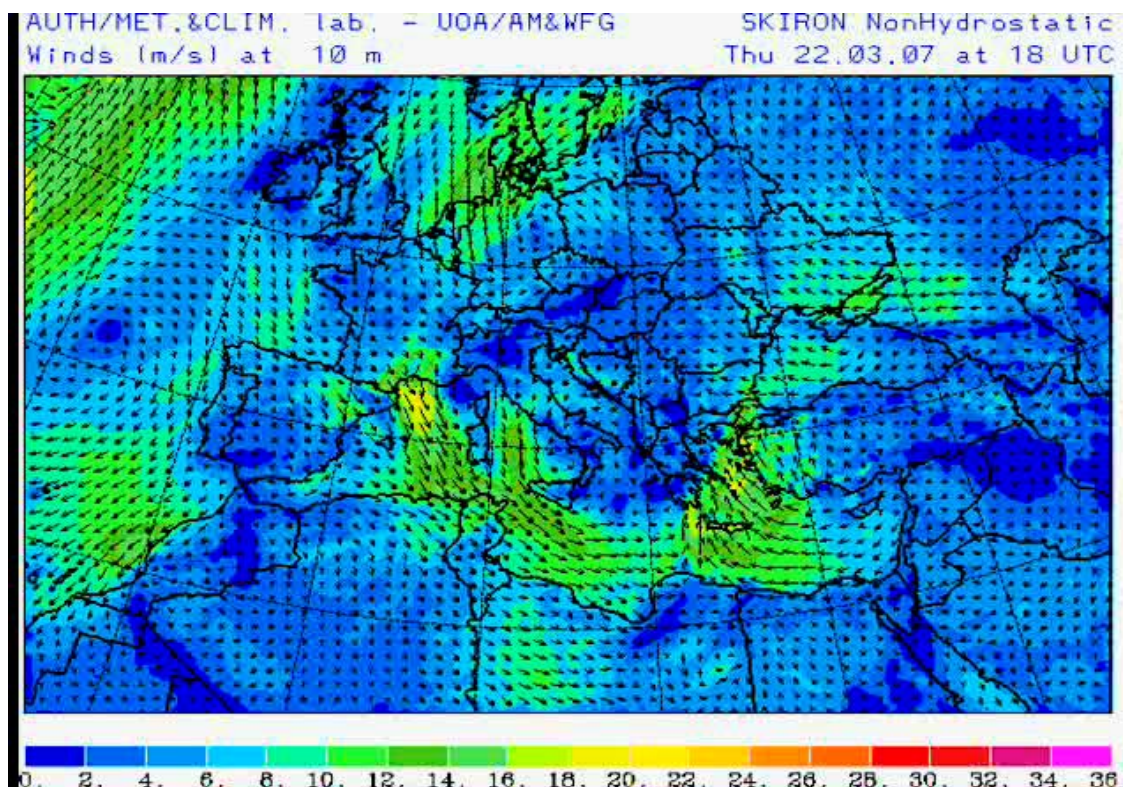
$$956042 \times 4320 = 4130101440 \cong 4,1 \times 10^9 \text{ φορές}$$

4.8.7. Αποτελέσματα

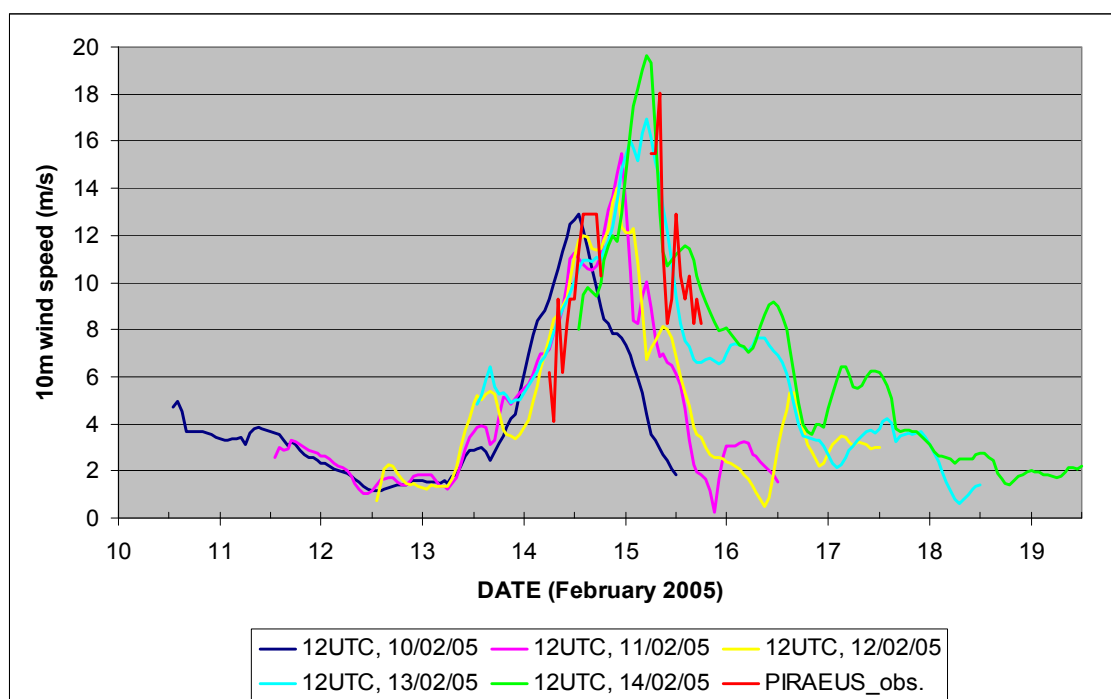
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που παίρνουμε από την εφαρμογή του μοντέλου Skiron. Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι η πρόγνωση του υετού και της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας(σχ.4.15), η πρόγνωση της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια(σχήματα 4.16, 4.17, 4.18) και η πρόγνωση της θερμοκρασίας στα 2μ από την επιφάνεια της θάλασσας(σχ.4.19).



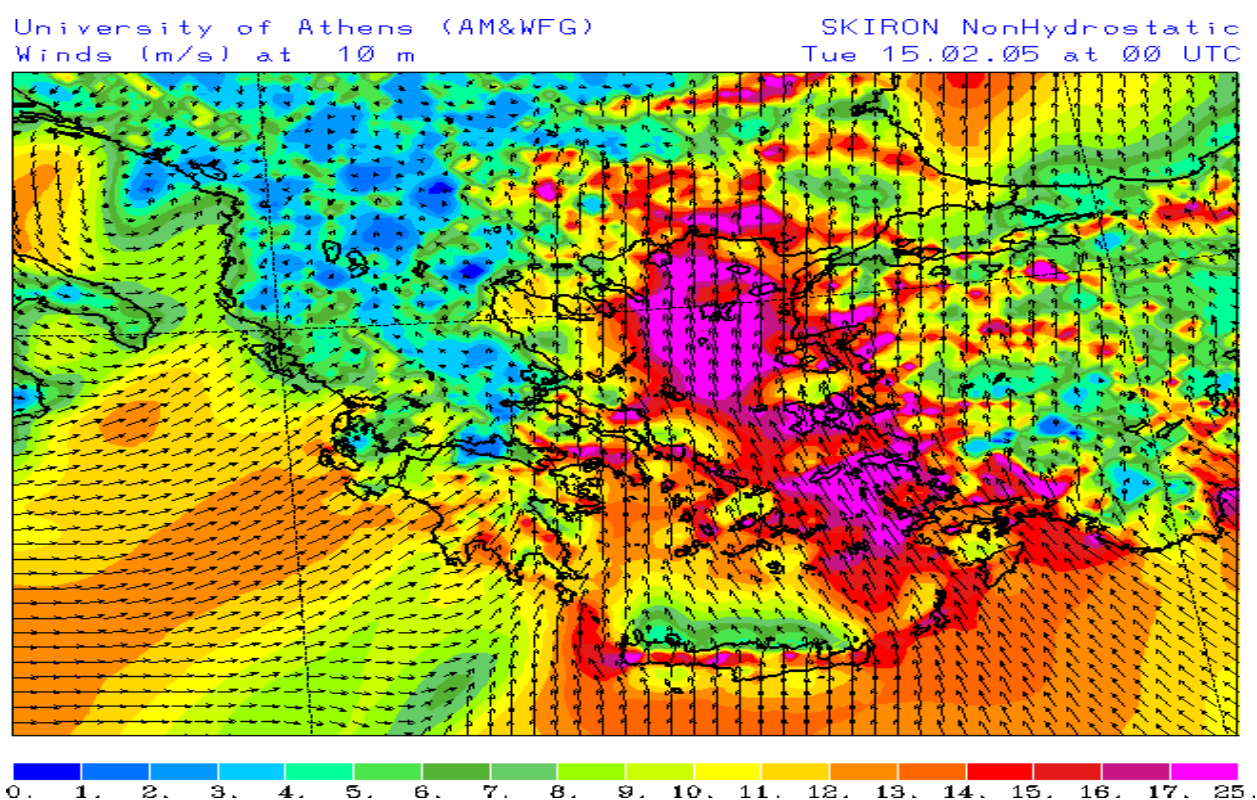
Σχ.4.15. Πρόγνωση υετού και πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας



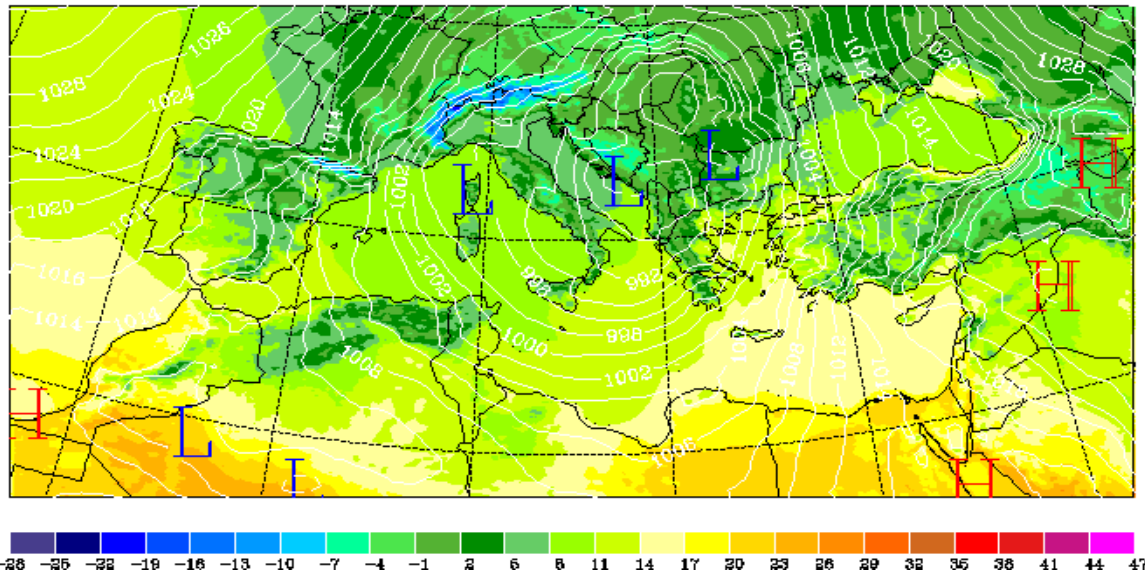
Σχ.4.16. Πρόγνωση ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια της θάλασσας



Σχ.4.17. Πρόγνωση ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια



Σχ.4.18. Πρόγνωση ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια στις 15/02/05 και ώρα 1200. Τα βέλοι δείχνουν τη διεύθυνση του ανέμου.



Σχ.4.19. πρόγνωση της θερμοκρασίας στα 2μ από την επιφάνεια της θάλασσας στις 15/02/05 και ώρα 1200.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

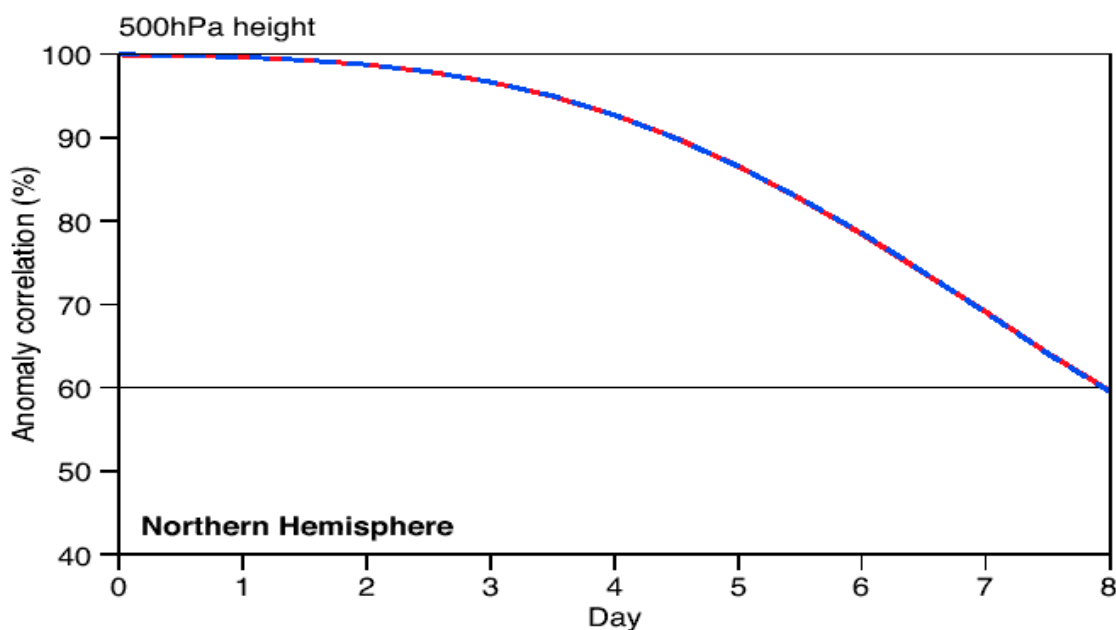
ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ

5.1 Γενικά στοιχεία

Η μέθοδος της στοχαστικής πρόγνωσης παρέχει ένα μέτρο του βαθμού της αβεβαιότητας των αριθμητικών προγνώσεων, γνωρίζοντας ότι οι προγνώσεις περιέχουν σφάλματα. Τα σφάλματα των προγνώσεων προέρχονται κυρίως από:

1. Σφάλματα στις αρχικές συνθήκες των μοντέλων π.χ. έλλειψη παρατηρήσεων, σφάλματα των οργάνων μέτρησης, σφάλματα του μοντέλου που διατηρούνται στο σύστημα αφομοίωσης δεδομένων
2. Το ότι οι προγνωστικές εξισώσεις των μοντέλων είναι σχετικά απλοποιημένες μορφές των φυσικών νόμων που διέπουν την κίνηση της ατμόσφαιρας. Επίσης επιλύονται με αριθμητικές μεθόδους, άρα προσεγγιστικά.
3. Το ότι οι διάφορες φυσικές διεργασίες (π.χ. τυρβώδη ροή στο οριακό στρώμα, κατακόρυφη μεταφορά λόγω αστάθειας, ηλιακή ακτινοβολία) αναπαριστούνται μέσω παραμετροποιήσεων που περιέχουν υποθέσεις και προσεγγίσεις.
4. Την χωρική ανάλυση του μοντέλου που δεν επιτρέπει μικρότερης κλίμακας διαταραχές να αναλυθούν επαρκώς. Επίσης η χωρική ανάλυση θέτει ένα όριο στην ανάλυση των χαρακτηριστικών του εδάφους (π.χ. ορογραφία, φυτοκάλυψη)

Πρακτικά τα παραπάνω σφάλματα περιορίζουν την δυνατότητα λεπτομερών προγνώσεων καιρού σε χρονικές κλίμακες μεγαλύτερες από μια εβδομάδα. Το σχήμα 5.1 δείχνει τη συσχέτιση ανωμαλιών του γεωδυναμικού ύψους στα 500 hpa στο Β. ημισφαίριο για 329 ημέρες του 2003 και 2004 από το παγκόσμιο μοντέλο του ECMWF.



Σχ.5.1. Συσχέτιση ανωμαλιών του γεωδυναμικού ύψους στα 500 hpa στο Β. ημισφαίριο για 329 ημέρες του 2003 και 2004. Παρατηρούμε ότι μετά την 8^η ημέρα η συσχέτιση πέφτει κάτω από το ποσοστό του 60%. Το ποσοστό αυτό αποτελεί και το όριο για την προγνωστική ικανότητα του μοντέλου. Κάτω από το όριο αυτό η πρόγνωση χάνει την αξιοπιστία της. (Heseler 2004).

Ανάλυση είναι το σύνολο των μετεωρολογικών δεδομένων που έχουν κατάλληλα προετοιμαστεί σε σημεία πλέγματος σε διάφορα επίπεδα της ατμόσφαιρας, τα οποία αποδίδουν όσο το δυνατόν καλύτερα τις μετεωρολογικές συνθήκες για κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ένα αριθμητικό μοντέλο είτε σαν αρχικά δεδομένα για τη δημιουργία της πρόγνωσης είτε και σαν οριακές συνθήκες σε προσομοιώσεις (hindcasts).

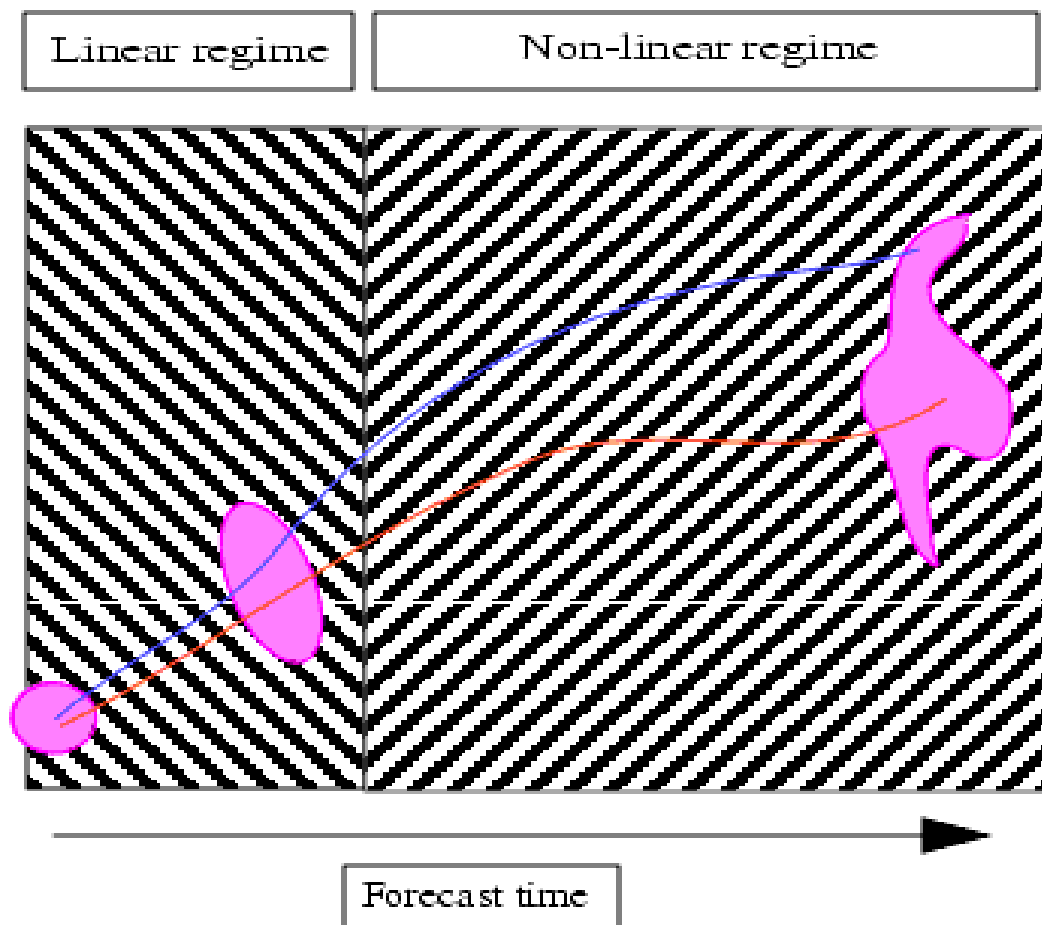
Δεδομένα από πολλές πηγές (όπως SYNOP, METAR, ραδιοβολίσεις, παρατηρήσεις αεροπλάνων, δορυφορικά δεδομένα, προγνώσεις μοντέλων) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία της ανάλυσης.

Πρέπει να γίνει σαφές ότι ενώ ο στόχος της ανάλυσης είναι η όσο το δυνατόν καλύτερη αποτύπωση των μετεωρολογικών συνθηκών σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, υπάρχει σχεδόν πάντα μια απόκλιση της ανάλυσης από τις πραγματικές συνθήκες.

Αφού λοιπόν η πραγματική κατάσταση της ατμόσφαιρας σε μια δεδομένη χρονική στιγμή δεν είναι πλήρως γνωστή, μια ολοκληρωμένη περιγραφή του προβλήματος της πρόγνωσης καιρού πρέπει να διατυπωθεί σε σχέση με τη χρονική εξέλιξη μιας κατάλληλης συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας των ατμοσφαιρικών συνθηκών.

Η στοχαστική πρόγνωση εμφανίζεται σαν η μόνη εφικτή μέθοδος για την πρόγνωση της εξέλιξης της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για την ατμόσφαιρα πέρα από τη

χρονική κλίμακα στην οποία η αύξηση των σφαλμάτων παύει να είναι γραμμική. Στη στοχαστική πρόγνωση η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας κατά τον αρχικό χρόνο αναπαρίσταται μέσω ενός πεπερασμένου συνόλου πιθανών αρχικών τιμών (σχ.5.2). Ένα μη γραμμικό ατμοσφαιρικό μοντέλο ολοκληρώνεται με αυτές τις αρχικές συνθήκες και θεωρείται ότι οι ιδιότητες της συνάρτησης πυκνότητας σε κάθε προγνωστική ώρα περιγράφονται από τα διάφορα στατιστικά που υπολογίζονται από το παραπάνω σύνολο στοχαστικών προγνώσεων. Επομένως αυτή η μέθοδος όπως ήδη αναφέρθηκε παρέχει ένα μέτρο του βαθμού της αβεβαιότητας των αριθμητικών προγνώσεων γνωρίζοντας ότι οι προγνώσεις περιέχουν σφάλματα.



Σχήμα 5.2 Σχηματική απεικόνιση της ντετερμινιστικής προσέγγισης της αριθμητικής πρόγνωσης καιρού (μπλε γραμμή), της πραγματικής εξέλιξης του συστήματος (κόκκινη γραμμή) και της εκτίμησης της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας μελλοντικών καταστάσεων (κλειστοί μωβ σχηματισμοί), σε γραμμικά και μη-γραμμικά συστήματα (Πηγή: ECMWF).

Στα πλαίσια ανάπτυξης διάφορων τεχνικών στοχαστικής πρόγνωσης έχουν επικρατήσει οι ακόλουθες μέθοδοι:

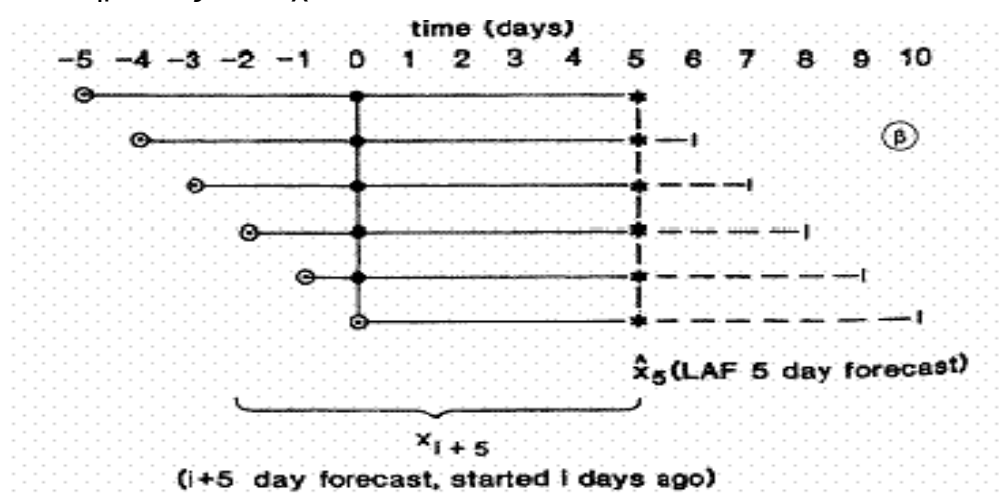
5.2 Μέθοδος των φτωχών.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου των φτωχών γίνεται συγκέντρωση των προγνώσεων από διάφορα μετεωρολογικά κέντρα(Αγγλίας, ΗΠΑ κ.α). Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση(ή συνδιασμός) μεταξύ των ανεξάρτητων αριθμητικών προγνώσεων που προέκυψαν από τα προγνωστικά κέντρα ή από διάφορα μοντέλα, ώστε να εξαχθεί ένα γενικό συμπέρασμα όσον αφορά για την κατάσταση που προβλέπετε για τον καιρό τις επόμενες ημέρες.

Αν όλες ή οι περισσότερες προγνώσεις συμφωνούν μεταξύ τους τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι προγνώσεις αυτές να είναι επιτυχής. Αν όμως υπάρχει μεγάλη ανομοιογένεια μεταξύ των προγνώσεων τότε η πρόγνωση τείνει να θεωρηθεί αναξιόπιστη.

5.3 Μέθοδος LAF

Η LAF(Lagged Average forecasting) προτάθηκε από τους Hoffman και Kolnay το 1983. Κατά τη συγκεκριμένη διαδικασία τα προγνωστικά μέλη προέρχονται από ολοκληρώσεις διαδοχικών κύκλων.



Σχ.5.3. Απεικόνιση διαμόρφωσης πρόγνωσης LAF(Lag Average Forecasting) κατά την 120^η ώρα προγνώσεως(Dalcher et al, 1988)

Κατά τη μέθοδο LAF(σχ.5.3) η συνολική πρόγνωση συντίθεται από προγνώσεις που εκκινούν από διαδοχικές αναλύσεις. Το πλήθος των μελών της συνολικής πρόγνωσης

LAF περιορίζεται από τον αριθμό των διαθέσιμων αναλύσεων σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα ενώ τα προγνωστικά μέλη δεν μπορούν να θεωρηθούν αντίστοιχης αξίας.

5.4 Μέθοδος BGM

Η μέθοδος BGM(breeding of Growing Models) προτάθηκε από τους Toth και Kalnay το 1993 σύμφωνα με την οποία τα σφάλματα στις αρχικές συνθήκες προέρχονται από αστάθειες, οι οποίες αναπτύχθηκαν σε προηγούμενους κύκλους αφομοίωσης δεδομένων.

Θεωρώντας τον κύκλο ανάλυσης/πρόγνωσης συστήματος αφομοίωσης δεδομένων ως εφαρμογή ενός μη γραμμικού μοντέλου διαταραχών, το σφάλμα από την πρόγνωση πολύ μικρής διάρκειας αποτελεί διαταραχή η οποία περιοδικά επαναδημιουργείται σε κάθε πεδίο ανάλυσης κατά την αφομοίωση ανανεωμένων δεδομένων από παρατηρήσεις στο πρώτο πεδίο εκτίμησης. Οι παρατηρήσεις λόγω πεπερασμένου πλήθους δεν απομακρύνουν το σύνολο των σφαλμάτων από την πρόγνωση πολύ μικρής διάρκειας και συνεπώς η συγκεκριμένη πρόγνωση αποτελεί πεδίο πρώτης εκτίμησης για την επόμενη ανάλυση. Προφανώς κάθε σφάλμα που αναπτύσσεται από την προηγούμενη πολύ μικρής διάρκειας πρόγνωση θα παρουσιάζει μεγαλύτερη πιθανότητα να παραμείνει (τουλάχιστον εν μέρει)στην τελευταία ανάλυση σε σχέση με σφάλματα που έχουν ήδη εξασθενήσει. Τα αναπτυσσόμενα σφάλματα θα ξεκινήσουν να ενισχύονται ξανά κατά την επόμενη πρόγνωση πολύ μικρής διάρκειας . Συνεπώς τα πεδία ανάλυσης περιέχουν σφάλματα ταχείας ανάπτυξης που δυναμικά δημιουργούνται από την επαναλαμβανόμενη χρήση του μοντέλου για την παραγωγή των πεδίων της πρώτης εκτίμησης. Τα συγκεκριμένα σφάλματα διαφοροποιούνται από τα παραδοσιακά αναγνωρίσιμα τυχαία σφάλματα που προέρχονται από τη μετρική διαδικασία και δεν αναπτύσσονται ταχέως καθώς δεν εμφανίζουν δυναμική οργάνωση.

Συνοψίζοντας η μέθοδος BMG συνίσταται από:

1. Εισαγωγή στοιχειώδους τυχαίου σφάλματος σε ένα από τα πεδία ανάλυσης
2. Ολοκλήρωση του μοντέλου για τις επόμενες 6 ώρες(short range forecasting) τόσο για την αρχική (χωρίς σφάλμα) ανάλυση όσο και για την ανάλυση που περιέχει το στοιχειώδες τυχαίο σφάλμα.
3. Προσδιορισμός της διαφοράς των πεδίων στο μέγεθος της κλιματολογική τιμής των σφαλμάτων ανάλυσης και εισαγωγή της διαταρακτικής μορφής(πεδίου) στον επόμενο δωρο κύκλο ανάλυσης.

5.5 Μέθοδος EPS

Η μέθοδος EPS προτάθηκε από τους Molteni και Palmer (1996).

Η βασική αρχή της μεθόδου είναι ότι μικρά λάθη στην ανάλυση, ιδιαίτερα σε ευαίσθητες περιοχές της ατμόσφαιρας, μπορούν να επηρεάσουν την πρόγνωση της ατμοσφαιρικής ροής κατά τη διάρκεια της προγνωστικής περιόδου. Δηλαδή, μία πολύ λίγο διαφορετική ανάλυση μπορεί να προκαλέσει μία σημαντικά διαφορετική πρόγνωση.

Για την αναπαράσταση της αβεβαιότητας της πρόγνωσης λόγω των αρχικών συνθηκών, προστίθενται στην ανάλυση επιλεγμένες διαταραχές προκαλώντας ένα εύρος διαφορετικών αρχικών συνθηκών.

Οι αριθμητικές προγνώσεις που προέρχονται από αυτές τις τροποποιημένες αναλύσεις έχουν ίσες πιθανότητες μεταξύ τους, αλλά είναι γενικά λιγότερο καλές από την επιχειρησιακή πρόγνωση που προήλθε από την μη-τροποποιημένη ανάλυση.

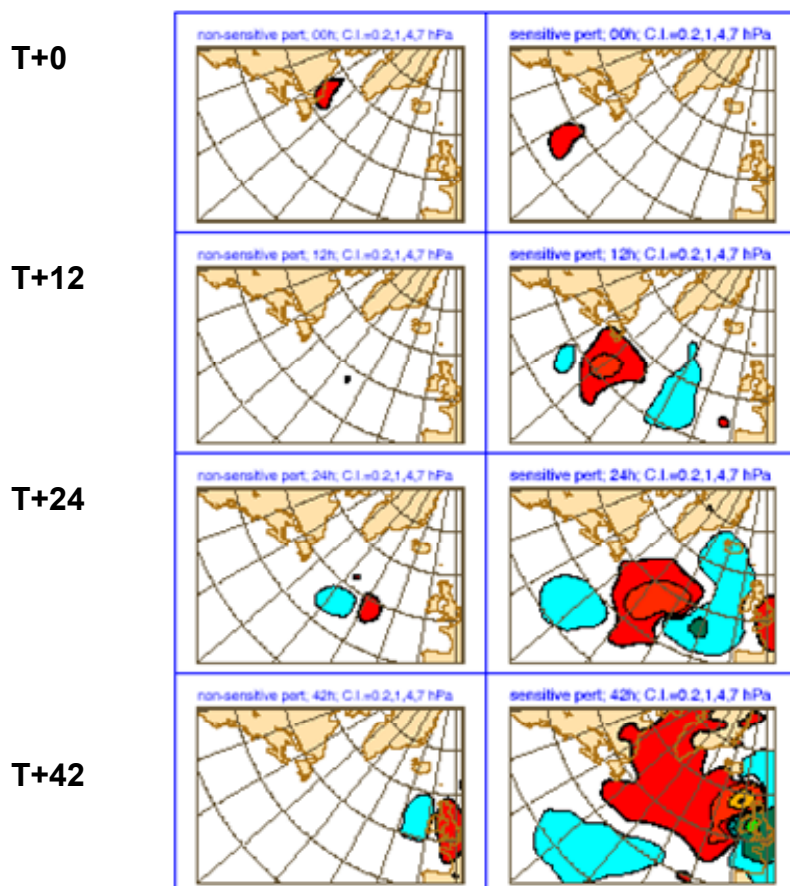
5.6.Ευαίσθητες περιοχές – Μοναδιαία διανύσματα (Singular Vectors)

Η τεχνική των μοναδιαίων διανυσμάτων χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των ευαίσθητων περιοχών της ατμόσφαιρας.

Με τα μοναδιαία διανύσματα εντοπίζονται οι δυναμικά πιο ασταθείς περιοχές της ατμόσφαιρας. Αυτές είναι οι περιοχές όπου μικρές αρχικές αβεβαιότητες θα επηρεάσουν μία 48-ωρη πρόγνωση πιο γρήγορα

Προκειμένου να γίνει εμφανής η έννοια των ευαίσθητων περιοχών, το Σχήμα 5.4 παρουσιάζει τη μη-γραμμική εξέλιξη δύο διαταραχών που αρχικά είναι πανομοιότυπες αλλά έχουν τοποθετηθεί σε διαφορετικές περιοχές (Montani 1998). Στη δεξιά στήλη εμφανίζεται η εξέλιξη μίας διαταραχής που στον αρχικό χρόνο έχει μέγιστη τιμή ίση με 0.2 hPa και έχει τοποθετηθεί σε μία ευαίσθητη περιοχή του Δυτικού Ατλαντικού. Αυτή η περιοχή είχε βρεθεί μέσω του υπολογισμού των μοναδιαίων διανυσμάτων. Στην αριστερή στήλη εμφανίζεται η εξέλιξη μίας πανομοιότυπης διαταραχής που έχει όμως τοποθετηθεί σε μία μη-ευαίσθητη περιοχή. Είναι εμφανές ότι η διαταραχή που έχει αρχικά τοποθετηθεί στην ευαίσθητη περιοχή αναπτύσσεται γρήγορα και τελικά μετά από 42 ώρες πρόγνωσης βρίσκεται πάνω από το Ηνωμένο Βασίλειο, με μέγιστο ίσο με 7

hPa (δηλαδή 35 φορές την τιμή της αρχικής ανωμαλίας). Από την άλλη, η διαταραχή που είχε τοποθετηθεί σε μη-ευαίσθητη περιοχή δεν αναπτύσσεται (Σχήμα 5.4).



Σχήμα 5.4. Εξέλιξη δύο διαταραχών που αρχικά είναι πανομοιότυπες αλλά έχουν τοποθετηθεί σε διαφορετικές περιοχές. Στην αριστερή (δεξιά) στήλη, εμφανίζεται η χρονική εξέλιξη της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας μετά από 0, 12, 24 και 42 ώρες (1η, 2η, 3η και 4^η γραμμή αντίστοιχα) για τη διαταραχή που έχει τοποθετηθεί σε μία μη-ευαίσθητη (ευαίσθητη) περιοχή. Οι ισοπληθείς είναι οι 0.2, 1, 4 και 7 hPa. Το κόκκινο (μπλε) χρώμα αντιστοιχεί σε θετικές (αρνητικές) τιμές. (Montani 1998).

5.7. Προϊόντα του συστήματος στοχαστικής πρόγνωσης

Το σύστημα στοχαστικής πρόγνωσης αποτελείται από ένα σύνολο 51 προγνώσεων που πραγματοποιούνται καθημερινά με αρχικές συνθήκες 0000 και 1200 UTC.

Τα 50 προγνωστικά μέλη δημιουργούνται με χρήση:

α) της χαμηλής-ανάλυσης έκδοσης του μοντέλου που χρησιμοποιεί το EPS, β) των 50 διαταραγμένων αναλύσεων

Το 51ο μέλος χρησιμοποιεί:

- α) την χαμηλής-ανάλυσης έκδοση του μοντέλου του EPS,
- β) την επιχειρησιακή ανάλυση

Τα προϊόντα που γίνονται διαθέσιμα από το σύστημα στοχαστικής πρόγνωσης στις διάφορες Εθνικές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες των κρατών – μελών μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: α) σε οριζόντιες τομές, β) σε χρονοσειρές και γ) σε προγνώσεις τροχιάς και έντασης τροπικών κυκλώνων. (Σ' αυτή την εργασία δεν θα ασχοληθούμε με αυτήν την κατηγορία αλλά θα περιγράψουμε τις περιπτώσεις α και β).

5.7.1 Οριζόντιες τομές

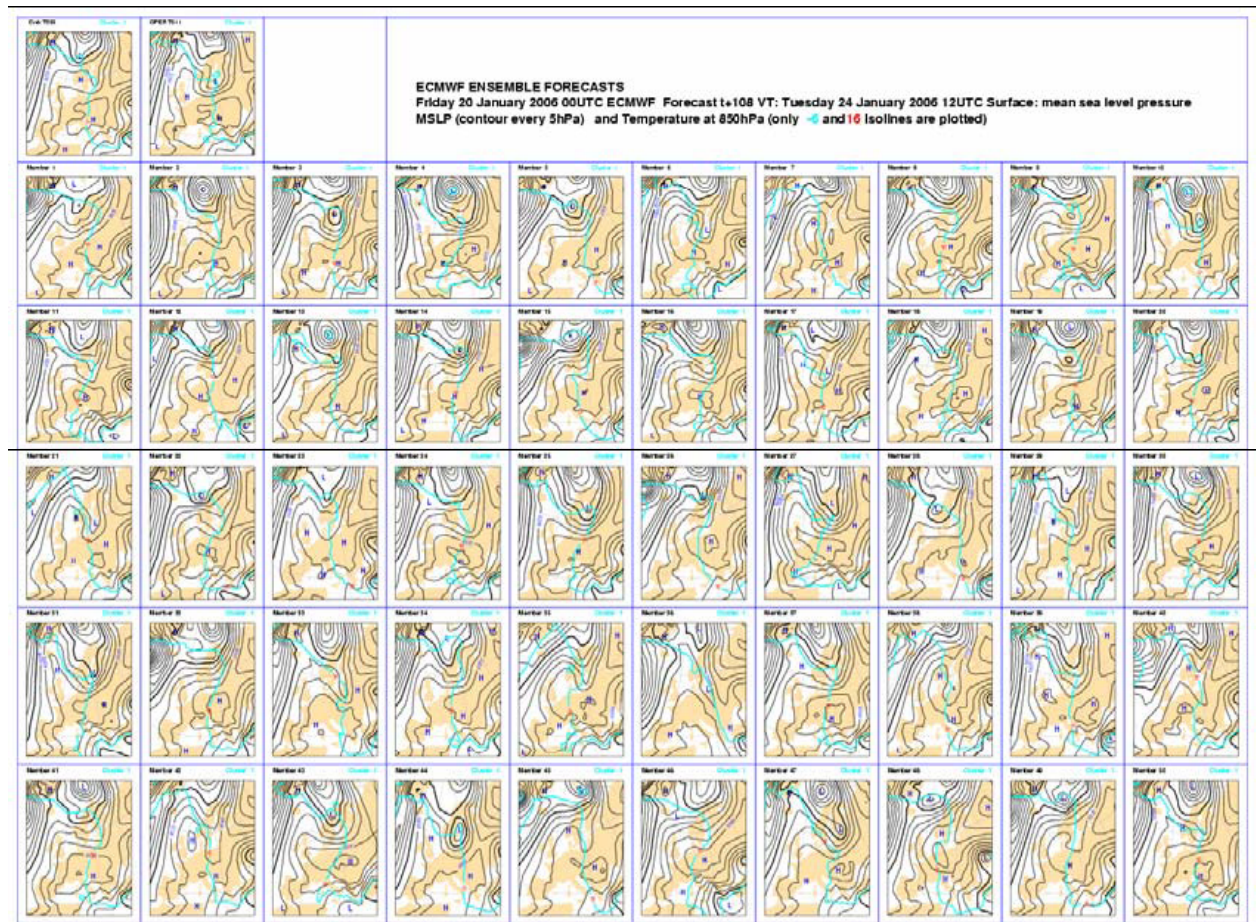
Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι στοχαστικές προγνώσεις που παρέχονται σε οριζόντιες τομές στην επιφάνεια, σε προκαθορισμένα ύψη πάνω από την επιφάνεια (π.χ. ο άνεμος στα 10 μέτρα), σε υπεδάφια στρώματα και στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Αυτές οι τομές μπορεί να είναι ισοϋψείς επιφάνειες, ισοβαρικά επίπεδα, επίπεδα του μοντέλου, ισεντροπικά επίπεδα και επίπεδα σταθερού δυναμικού στροβιλισμού, και να καλύπτουν οποιαδήποτε περιοχή της γης.

5.7.1.1 Προγνώσεις με χρήση της επιχειρησιακής ανάλυσης και των διαταραγμένων αρχικών συνθηκών

Οι 51 διαφορετικές προγνώσεις του συστήματος στοχαστικής πρόγνωσης μπορούν να διατεθούν χωριστά έτσι ώστε οι προγνώστες να έχουν τη δυνατότητα να εξετάσουν λεπτομερώς τις χωρο-χρονικές μεταβολές που προκύπτουν από τη χρήση τροποποιημένων αρχικών συνθηκών. Επίσης κατά αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει και άμεση σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων του ντετερμινιστικού μοντέλου και του μέλους του συστήματος στοχαστικής πρόγνωσης που χρησιμοποιεί την επιχειρησιακή ανάλυση. Αυτές οι δύο προγνώσεις χρησιμοποιούν τις ίδιες αρχικές συνθήκες και διαφέρουν μόνο στην οριζόντια και κατακόρυφη ανάλυση του μοντέλου. Τα πεδία διατίθενται σε πλέγμα σημείων με ανάλυση $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ και για οποιαδήποτε υπο-περιοχή.

Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται η 108 ωρών πρόγνωση της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας και της θερμοκρασίας στα 850 hPa από το σύστημα στοχαστικής πρόγνωσης με αρχικές συνθήκες στις 0000 UTC, 20 Ιανουαρίου 2006. Η μορφή του Σχήματος 5.5 ονομάζεται και «χάρτης γραμματοσήμων» καθώς σε μία σελίδα, σε πολύ μικρού μεγέθους χάρτες, απεικονίζονται όλα τα 51 μέλη της στοχαστικής πρόγνωσης καθώς και η επιχειρησιακή πρόγνωση. Σε αυτό το είδος χαρτών εμφανίζονται μόνο μερικές

χαρακτηριστικές ισοπληθείς των προγνωστικών πεδίων λόγω περιορισμένου χώρου. Παρ' ότι το μέγεθος των χαρτών είναι πολύ μικρό, μπορούν να αποδώσουν τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά της συνοπτικής κυκλοφορίας. Κατά αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η υποκειμενική ομαδοποίηση των μελών της στοχαστικής πρόγνωσης, η οποία μπορεί να είναι πιο χρήσιμη στον προγνώστη από την όποια αντικειμενική μέθοδο. Επιπλέον, ο προγνώστης μπορεί να διακρίνει αν η συνοπτική κυκλοφορία σε ένα ή περισσότερα μέλη είναι ασυνήθιστη και επομένως άξια πρόσθετης έρευνας.

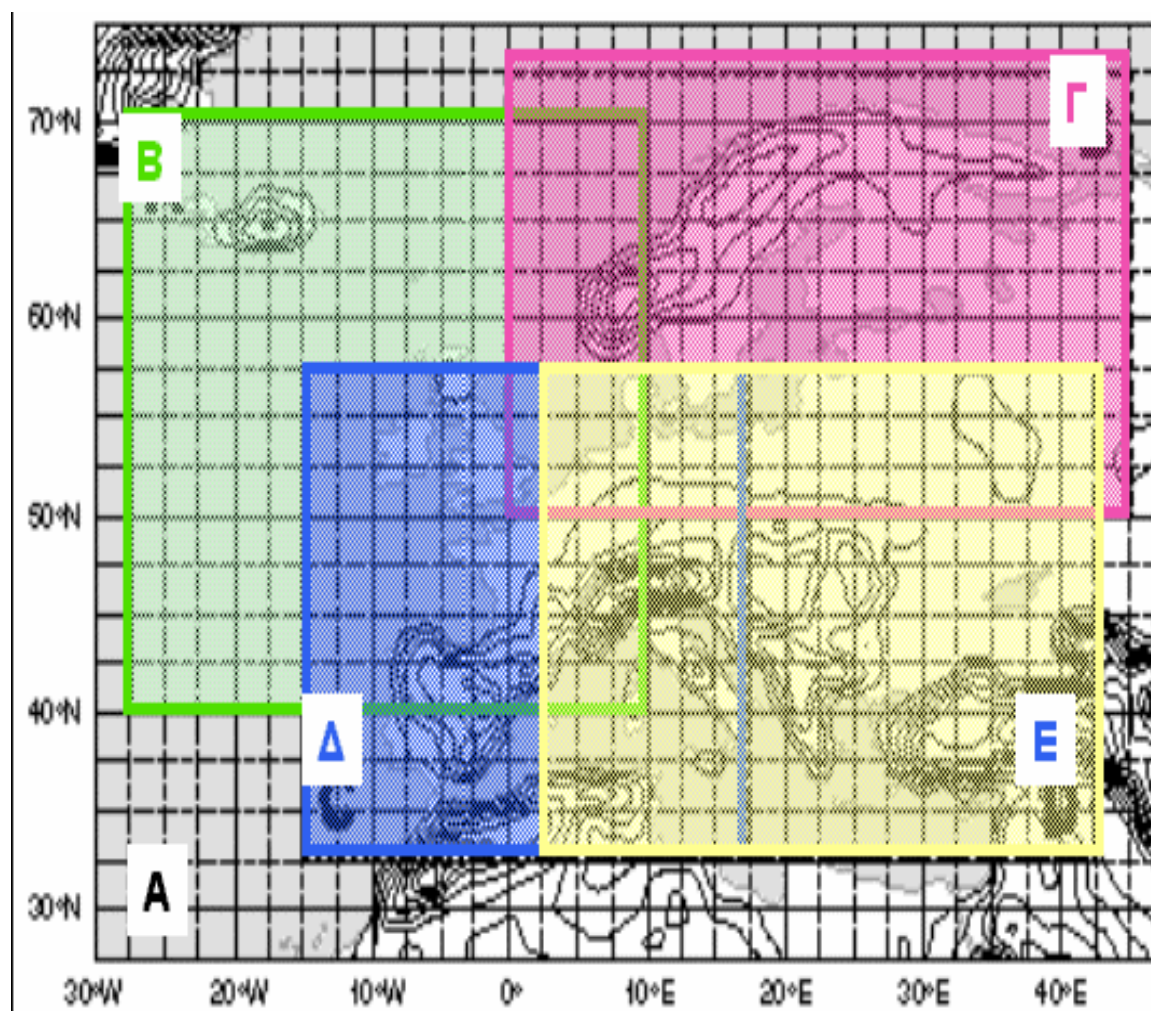


Σχήμα 5.5 «Χάρτης γραμματοσήμων» με τις 108 ωρών προγνώσεις της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας και της θερμοκρασίας στα 850 hPa από τα 51 μέλη του συστήματος στοχαστικής πρόγνωσης και της επιχειρησιακής πρόγνωσης με αρχικές συνθήκες στις 0000 UTC, 20 Ιανουαρίου 2006. Οι ισοβαρείς τυπώνονται για κάθε 5 hPa, ενώ στη θερμοκρασία εμφανίζονται μόνο οι ισόθερμες των -6 και 16°C (Πηγή: ECMWF).

5.7.1.2 Μέσος όρος και τυπική απόκλιση ομαδοποιημένων στοχαστικών προγνώσεων

Οι προγνώσεις των 51 μελών του συστήματος στοχαστικής πρόγνωσης ομαδοποιούνται σε ομάδες παραπλήσιων προγνώσεων. Αυτό γίνεται για 5 διαφορετικές περιοχές της Ευρώπης (Σχήμα 5.6):

- α) Γενική Ευρωπαϊκή περιοχή (75°N , 20°W – 30°N , 45°E)
- β) Βορειοδυτική Ευρώπη (70°N , 27.5°W – 40°N , 10°E)
- γ) Βορειοανατολική Ευρώπη (72.5°N , 0°W – 50°N , 45°E)
- δ) Νοτιοδυτική Ευρώπη (57.5°N , 15°W - 32.5°N , 17.5°E)
- ε) Νοτιοανατολική Ευρώπη (57.5°N , 2.5°E - 32.5°N , 42.5°E)



Σχήμα 5.6. Οι 5 περιοχές που χρησιμοποιούνται για την ομαδοποίηση των προγνώσεων (Lalauette 2004).

Ανάλογα με το συνολικό εύρος των προγνώσεων των μελών της στοχαστικής πρόγνωσης δημιουργούνται μέχρι 6 ομάδες προγνώσεων. Ο αριθμός των ομάδων μεταβάλλεται από μέρα σε μέρα. Το μέτρο της ομοιότητας ανάμεσα στις προγνώσεις των 51 μελών βασίζεται στο γεωδυναμικό στα 500 hPa πάνω από μία συγκεκριμένη περιοχή για την περίοδο από την 5η έως την 7η προγνωστική ημέρα, έτσι ώστε τα μέλη της κάθε ομάδας να είναι σε πλήρη συμφωνία σε αυτή την περίοδο. Η «απόσταση» μεταξύ δύο μελών ορίζεται ως η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των διαφορών τους.

Για κάθε ομάδα υπολογίζεται και διατίθεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του γεωδυναμικού στα 500 και 1000 hPa και της θερμοκρασίας στα 500 και 850 hPa των μελών της. Τα πεδία παρέχονται σε πλέγμα σημείων με ανάλυση 1.5°x1.5°.

5.7.1.3 Χάρτες Πιθανοτήτων

Οι χάρτες πιθανοτήτων αποτελούνται από 2-διάστατα πεδία που παρέχουν τις πιθανότητες εμφάνισης συγκεκριμένων μετεωρολογικών συνθηκών για κάθε σημείο πλέγματος και για συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή χρονική περίοδο (Molteni et al.1996). Οι πιθανότητες υπολογίζονται με βάση το ότι κάθε μέλος της στοχαστικής πρόγνωσης είναι ισοπίθανο. Οι διαθέσιμες παράμετροι αναγράφονται στον Πίνακα 5.1. Τα πεδία παρέχονται σε πλέγμα σημείων με ανάλυση 0.5°x0.5°.

Όνομα Πεδίου Μονάδες
Πιθανότητα ριπών ανέμου στα 10 μέτρα %
Πιθανότητα θερμοκρασιακών ανωμαλιών (850hPa) %
Πιθανότητα για την ταχύτητα του ανέμου στα 10μ. %
Πιθανότητα για τη θερμοκρασία στα 2 μέτρα %
Πιθανότητα για το συνολικό υετό %

Πίνακας 5.1 Τα πεδία των οποίων οι πιθανότητες υπολογίζονται από το σύστημα στοχαστικής πρόγνωσης.

Στα δύο είδη χαρτών πιθανοτήτων υπολογίζονται:

α) Η εμφάνιση συγκεκριμένων μετεωρολογικών συνθηκών σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή

Οι περιπτώσεις που ελέγχονται είναι:

- Η πιθανότητα θερμοκρασιακών ανωμαλιών στο ισοβαρικό επίπεδο των 850 hPa. Ως θερμοκρασιακή ανωμαλία ορίζεται η διαφορά της θερμοκρασίας ενός σημείου πλέγματος από τις μηνιαίες κλιματολογικές τιμές που πρώτα έχουν παρεμβληθεί γραμμικά στη σχετική ημερομηνία. Οι κατηγορίες θερμοκρασιακών ανωμαλιών είναι: $\leq -8K$, $\leq -4K$, $\geq 4K$ και $\geq 8K$.

- Η πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου στα 10 μέτρα να είναι α) ≥ 10 m/s και β) ≥ 15 m/s (σχ 5.9, 5.10).

- Η πιθανότητα η θερμοκρασία στα 2 μέτρα να είναι μικρότερη από 0°C (σχ. 5.7, 5.8).

β) Η εμφάνιση διαφόρων αθροιστικών ή μέσων τιμών για συγκεκριμένα μετεωρολογικά φαινόμενα σε ένα χρονικό διάστημα

Τα προϊόντα αυτής της κατηγορίας είναι:

- Η πιθανότητα ο αθροιστικός υετός σε διάστημα 24 ωρών να είναι τουλάχιστον α) 1mm, β) 5mm, γ) 10mm και δ) 20mm.

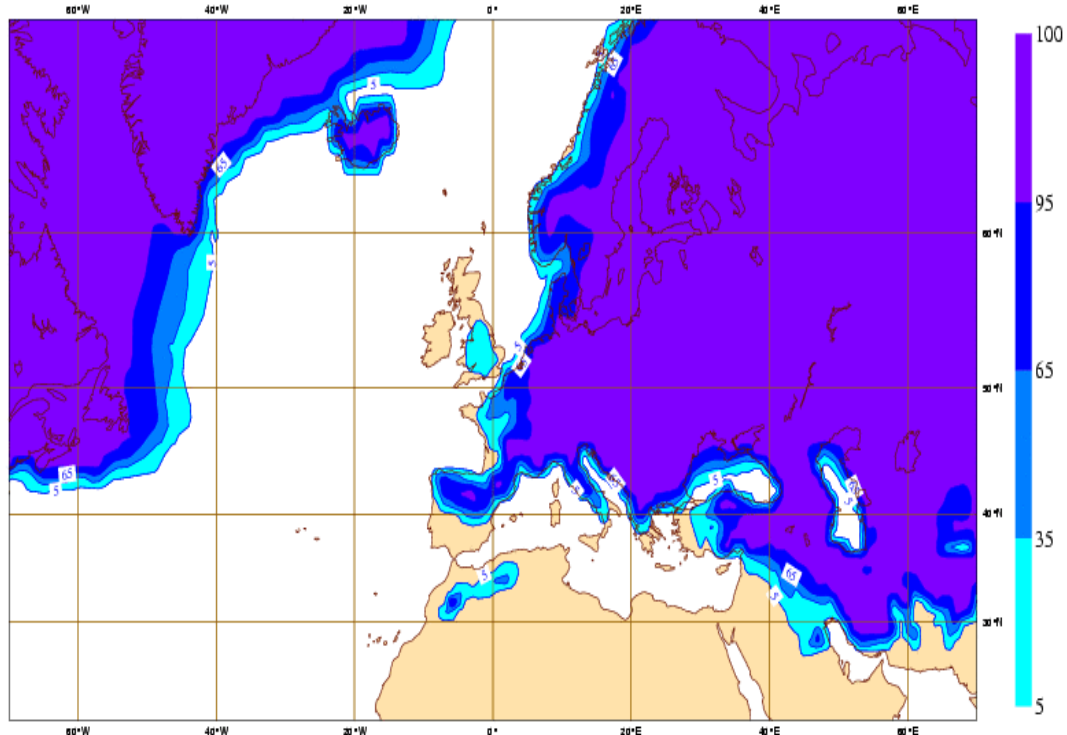
- Η πιθανότητα η μέγιστη ριπή του ανέμου στα 10 μέτρα να είναι α) >15 m/s, β) >20 m/s και γ) >25 m/s.

- Η πιθανότητα η μέση θερμοκρασία στα 850 hPa να είναι περισσότερο από 2°C α) κάτω από την κλιματική τιμή και β) πάνω από την κλιματική τιμή.

- Η πιθανότητα ο μέσος ρυθμός υετού να είναι α) < 0.1 mm για όλη τη χρονική περίοδο (που αντιστοιχεί σε έλλειψη υετού), β) < 1 mm/day, γ) > 3 mm/day και δ) > 5 mm/day.

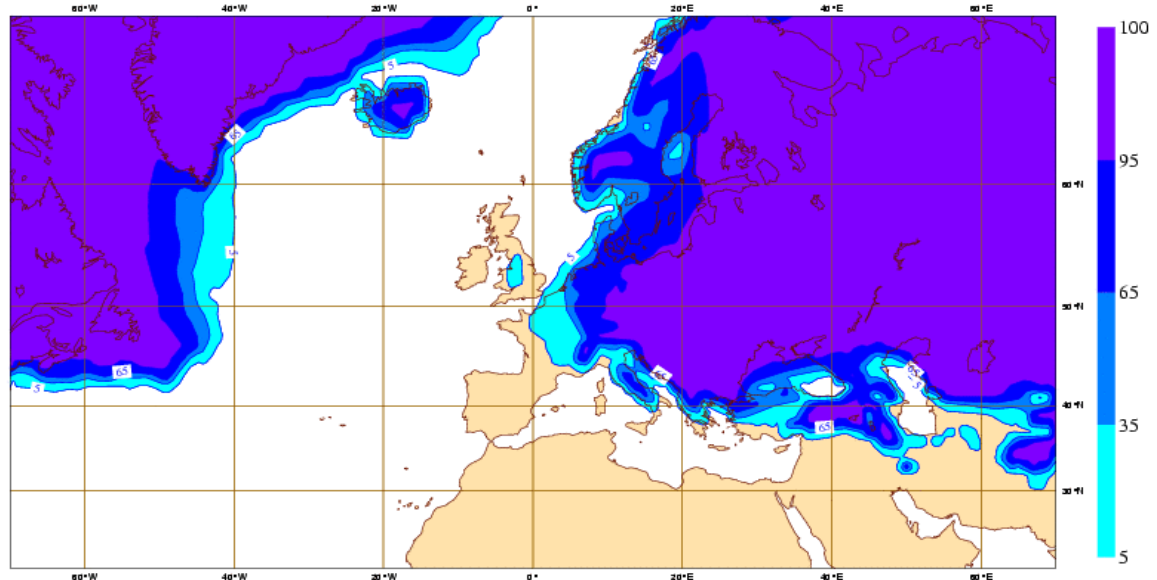
- Η πιθανότητα η θερμοκρασία στα 2 μέτρα να είναι μικρότερη από 0°C.

Friday 20 January 2006 00UTC ©ECMWF Forecast probability t+072 VT: Monday 23 January 2006 00UTC
Surface: 2 metre temperature probability < 273.15 K



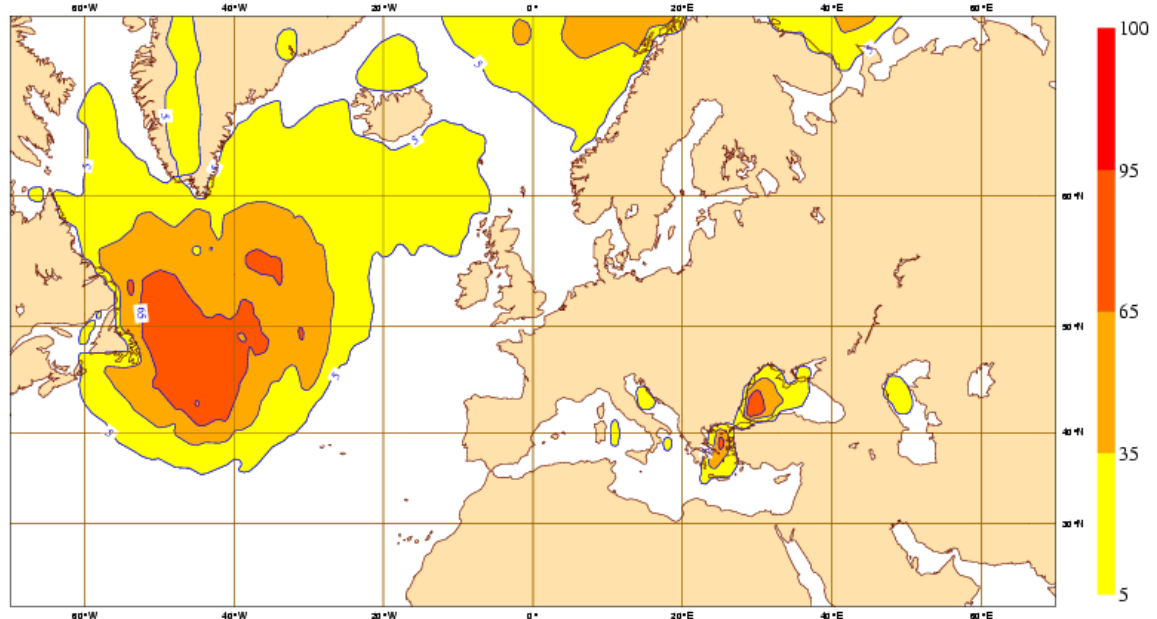
Σχ.5.7. Χάρτης απεικόνισης της πιθανότητας η θερμοκρασία στα 2m από την επιφάνεια να είναι μικρότερη από 0 c στις 23/01/06 με αρχικές συνθήκες στις 0000 UTS. Βλέπουμε ότι στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής του χάρτη η πιθανότητα είναι 95-100%. (πηγή:ECMWF)

Friday 20 January 2006 00UTC ©ECMWF Forecast probability t+084 VT: Monday 23 January 2006 12UTC
Surface: 2 metre temperature probability < 273.15 K



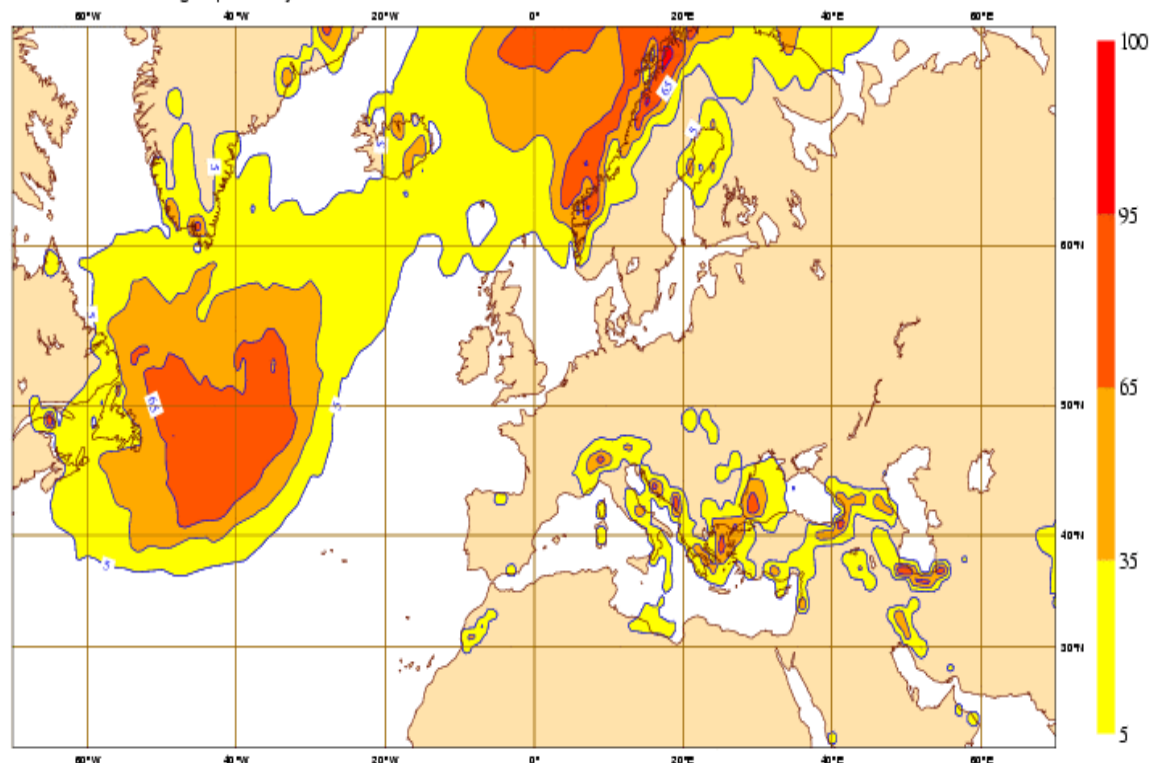
Σχ.5.8. Χάρτης απεικόνισης της πιθανότητας η θερμοκρασία στα 2m από την επιφάνεια να είναι μικρότερη από 0 c στις 23/01/06 με αρχικές συνθήκες στις 1200 UTS. Βλέπουμε ότι στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής του χάρτη η πιθανότητα είναι 95-100%. (πηγή:ECMWF)

Friday 20 January 2006 00UTC ©ECMWF Forecast probability t+084 VT: Monday 23 January 2006 12UTC
Surface: 10 metre speed probability > 15.0 m/s



Σχ.5.9. Χάρτης απεικόνισης της πιθανότητας η ταχύτητα του ανέμου στα 10m από την επιφάνεια να είναι μεγαλύτερη από 15m/s στις 23/01/06 με αρχικές συνθήκες στις 1200 UTS. Στις περιοχές του χάρτη με κόκκινο χρώμα η πιθανότητα κυμαίνεται στο 95-100%. (πηγή:ECMWF).

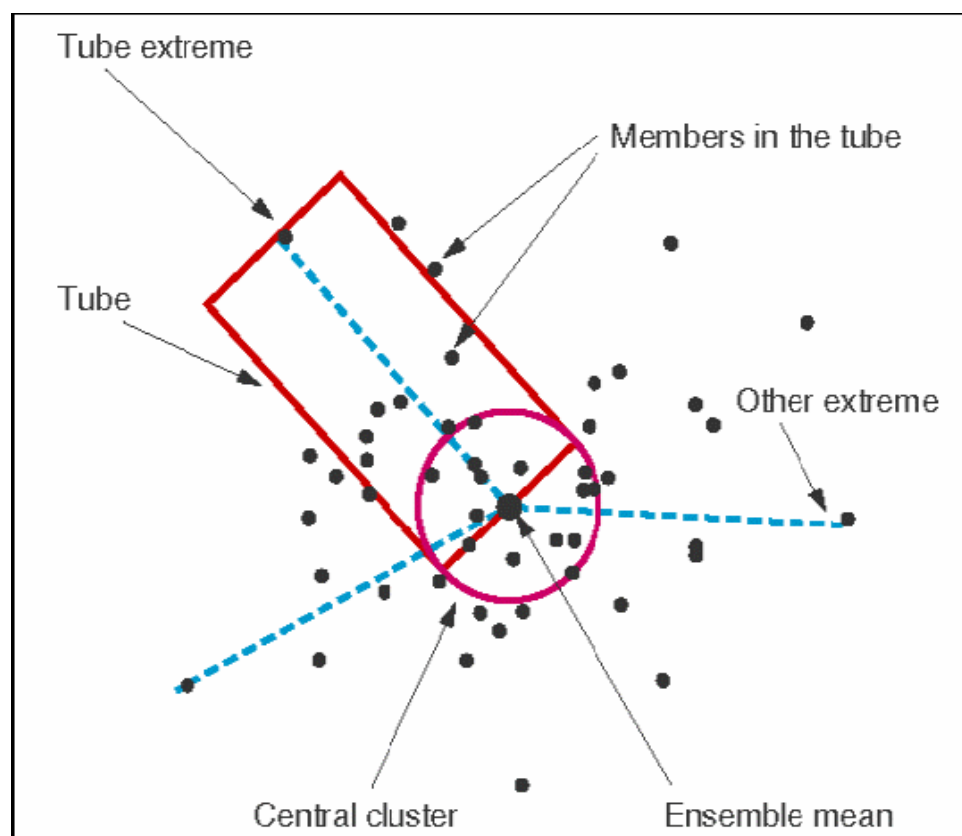
Friday 20 January 2006 00UTC ©ECMWF Forecast probability t+060-084 VT: Sunday 22 January 2006 12UTC - Monday 23 January 2006 12UTC
Surface: 10 metre wind gust probability > 25.0 m/s



Σχ.5.10. Χάρτης απεικόνισης της πιθανότητας η ταχύτητα του ανέμου στα 10m από την επιφάνεια να είναι μεγαλύτερη από 15m/s από 22/01/06 έως 23/01/08 με αρχικές συνθήκες στις 1200 UTC. Στις περιοχές του χάρτη με κόκκινο χρώμα η πιθανότητα κυμαίνεται στο 95-100. (πηγή:ECMWF).

5.7.1.4 Προϊόντα Tube

Αυτά τα προϊόντα δημιουργούνται προκειμένου να γίνει μία διαφορετική ταξινόμηση από την παραδοσιακή ταξινόμηση (παράγραφος 5.7.1.2) στην οποία οι στοχαστικές προγνώσεις ομαδοποιούνται σε ένα μικρό αριθμό ομάδων και κάθε ομάδα αναπαριστάται από μία μέση τιμή και τυπική απόκλιση. Στα προϊόντα Tube υπάρχει μία βασική ομάδα, η αποκαλούμενη «κεντρική ομάδα» (central cluster), στην οποία περιλαμβάνονται εκείνες οι προγνώσεις που είναι παρόμοιες με τη μέση τιμή όλων των μελών (Σχήμα 5.11). Οι υπόλοιπες προγνώσεις ομαδοποιούνται ξεχωριστά έτσι ώστε να γίνουν εμφανείς οι διαφορετικές αποκλίσεις από τη μέση τιμή. Κάθε μία από αυτές τις ομάδες αναπαριστάται από την πιο ακραία τιμή, δηλαδή την πρόγνωση της ομάδας που είναι πιο μακριά από τη μέση τιμή όλων των 51 μελών (Σχήμα 5.11).



Σχήμα 5.11. Σχηματική αναπαράσταση της «κεντρικής ομάδας» (central cluster) και των υπόλοιπων ομάδων στα προϊόντα Tube. Οι μαύρες τελείες αντιστοιχούν στα μέλη του συστήματος στοχαστικής πρόγνωσης (Lalauette 2004).

Η βασική πρόγνωση στα προϊόντα Tube είναι η μέση τιμή της κεντρικής ομάδας. Αυτή η πρόγνωση είναι παρόμοια, αλλά όχι ακριβώς ίδια με τη μέση τιμή όλων των 51 μελών

του συστήματος στοχαστικής πρόγνωσης. Οι υπόλοιπες ομάδες μπορεί να είναι μέχρι 9 και ταξινομούνται σε φθίνουσα σειρά ανάλογα με την απόστασή τους από την κεντρική ομάδα.

Η εύρεση των ομάδων βασίζεται στο γεωδυναμικό στα 500 hPa σε κάποιο χρόνο αναφοράς για κάθε μία από τις 5 περιοχές που περιγράφηκαν στην παράγραφο 5.7.1.2 (Σχήμα 5.6).

α) Τρόπος χρήσης των προϊόντων Tube

Η μέση τιμή της κεντρικής ομάδας δείχνει την πιο πιθανή εξέλιξη και στην οποία μπορεί να βασιστεί η πιο πιθανή πρόγνωση. Οι ακραίες τιμές των διαφόρων ομάδων δεν είναι απλά εναλλακτικές προγνώσεις. Αυτές οι προγνώσεις εμφανίζουν τις διαφορετικές τάσεις που υπάρχουν στα στοχαστικά μέλη, σε αντίθεση με τη μέση τιμή της κεντρικής ομάδας. Ο αριθμός των πιθανών μετεωρολογικών καταστάσεων είναι ένας καλός δείκτης της αβεβαιότητας της πρόγνωσης που βασίζεται στην κεντρική ομάδα. Αν δεν υπάρχει σημαντική μεταβλητότητα η εμπιστοσύνη στην πρόγνωση της κεντρικής ομάδας είναι μεγάλη. Η ύπαρξη μίας ή δύο εναλλακτικών ομάδων δείχνει κανονική (μέτρια) εμπιστοσύνη. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις η εμπιστοσύνη είναι χαμηλή.

β) Αξιοπιστία των προϊόντων Tube

Τα προϊόντα Tube είναι σχετικά αξιόπιστα. Η αξιολόγηση δείχνει ότι οι πραγματικές μετεωρολογικές καταστάσεις δεν προβλέπονται πάντα από την κεντρική ομάδα ή κάποια άλλη ομάδα των προϊόντων Tube. Υπάρχει ακόμα ένα ποσοστό περιπτώσεων (10-20%) που δεν προβλέπονται από το σύστημα στοχαστικής πρόγνωσης. Γενικά, η πραγματικότητα είναι πιο πιθανό να βρεθεί στην κεντρική ομάδα. Η πιθανότητα της κεντρικής ομάδας μεταβάλλεται ανάλογα με τον πληθυσμό της, αλλά συνήθως είναι μεγαλύτερη από 50% εκτός και αν η διασπορά είναι αρκετά μεγάλη. Βέβαια η πραγματικότητα μπορεί να βρεθεί και σε μία άλλη ομάδα, ακόμα και αν περιλαμβάνει μόνο λίγα μέλη. Ο γενικός κανόνας είναι ότι η πιθανότητα μίας άλλης ομάδας (εκτός της κεντρικής) είναι περίπου 10%.

5.7.1.5 Δείκτης πρόγνωσης ακραίων φαινομένων EFI

Το Ευρωπαϊκό κέντρο, εκμεταλευόμενο το σύστημα στοχαστικής πρόγνωσης, έχει αναπτύξει μία νέα μέθοδο παροχής πληροφοριών σχετικά με την πιθανότητα εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων.

Η μέθοδος αποτελείται από ένα δείκτη πρόγνωσης ακραίων φαινομένων (EFI – Extreme Forecast Index) ο οποίος παίρνει τιμές από –1 έως 1 ανάλογα με τη διαφορά ανάμεσα στις στοχαστικές προγνώσεις και την κλιματολογία του μοντέλου (Lalaurette 2003). Τιμή του δείκτη ίση με 1 σημαίνει ότι σύμφωνα με το σύστημα στοχαστικής πρόγνωσης υπάρχει 100% πιθανότητα ότι οι τιμές του πεδίου θα είναι μεγαλύτερες από την απολύτως μέγιστη τιμή της κλιματολογίας του μοντέλου. Αντίστοιχα, τιμές ίσες με –1 δηλώνουν βεβαιότητα για εξαιρετικά χαμηλές τιμές. Ο δείκτης παίρνει την τιμή 0 όταν όλα τα μέλη της στοχαστικής πρόγνωσης προβλέπουν τιμές ίσες με τη διάμεσο της κλιματολογίας.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτού του δείκτη είναι ότι παρέχει πληροφορίες σχετικά με παραμέτρους που σχετίζονται με έντονα καιρικά φαινόμενα (άνεμο, υετό, θερμοκρασία) και οι οποίες δίνονται με μορφή συνοπτικών χαρτών, χωρίς να είναι αναγκαίο ο χρήστης να αποφασίσει για τιμές κατωφλίου που μεταβάλλονται χωροχρονικά. Η δημιουργία ενός νέου δείκτη ήταν επιτακτική καθώς τα υπάρχοντα στατιστικά τεστ (π.χ. Kolmogorov, Continuous Ranked Probability Score) μπορούν να δώσουν πληροφορίες μόνο για το αν η κατανομή των στοχαστικών προγνώσεων διαφέρει σημαντικά από την κλιματολογία. Όμως αυτά τα τεστ δεν δίνουν πληροφορίες για το αν οι τιμές θα είναι επικίνδυνες για τον άνθρωπο. Για παράδειγμα η πρόγνωση ασυνήθιστα χαμηλών ταχυτήτων ανέμου είναι πολύ διαφορετική από την πρόγνωση ασυνήθιστα ισχυρών ανέμων. Επίσης, η δημιουργία ενός αδιάστατου δείκτη είναι πολύ χρήσιμη καθώς επιτρέπει τη σύγκριση τιμών για περιοχές με πολύ διαφορετικά κλίματα.

ο δείκτης EFI ορίζεται ως:

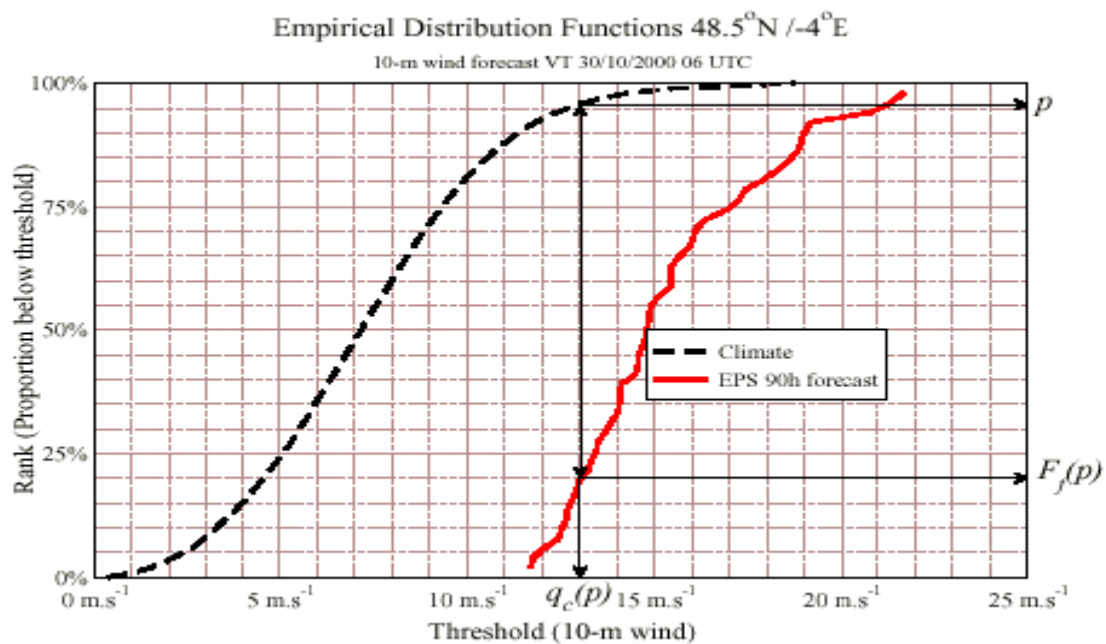
$$EFI_{AD} = 2 / \pi \int_0^1 [(p - F_f(p)) / \sqrt{p(1-p)}] dp$$

Όπου:

p: είναι το ποσοστό των ταξινομημένων κλιματικών τιμών που αντιστοιχεί στην τιμή $q_c(p)$ μιας παραμέτρου (σχ.5.11).

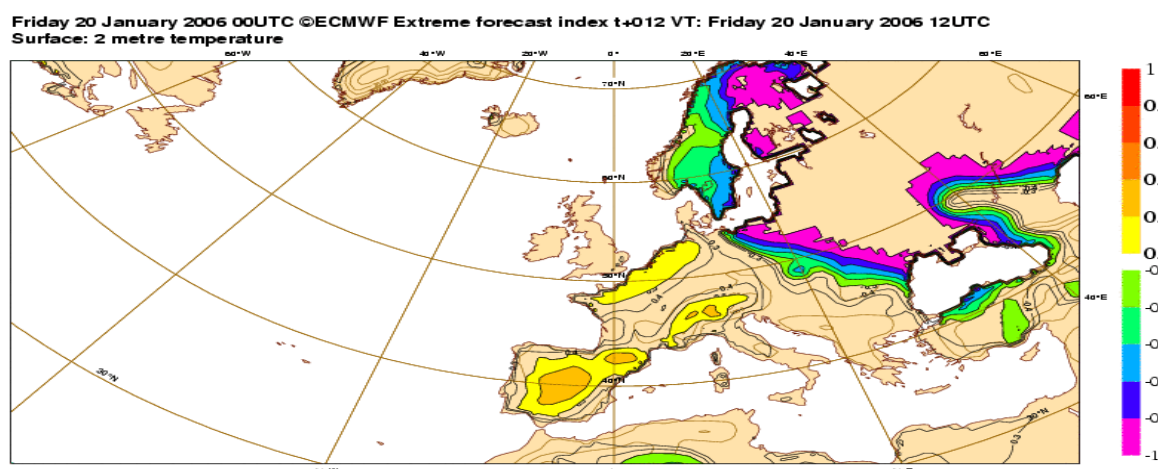
$F_f(p)$: είναι η πιθανότητα με την οποία το σύστημα στοχαστικής πρόγνωσης προβλέπει ότι η τιμή της παρατήρησης θα είναι κάτω από $q_c(p)$

Ο δείκτης ακραίων φαινομένων (EFI) είναι επομένως ένα μέτρο της διαφοράς ανάμεσα στην κατανομή των στοχαστικών προγνώσεων και της κλιματολογίας του μοντέλου.



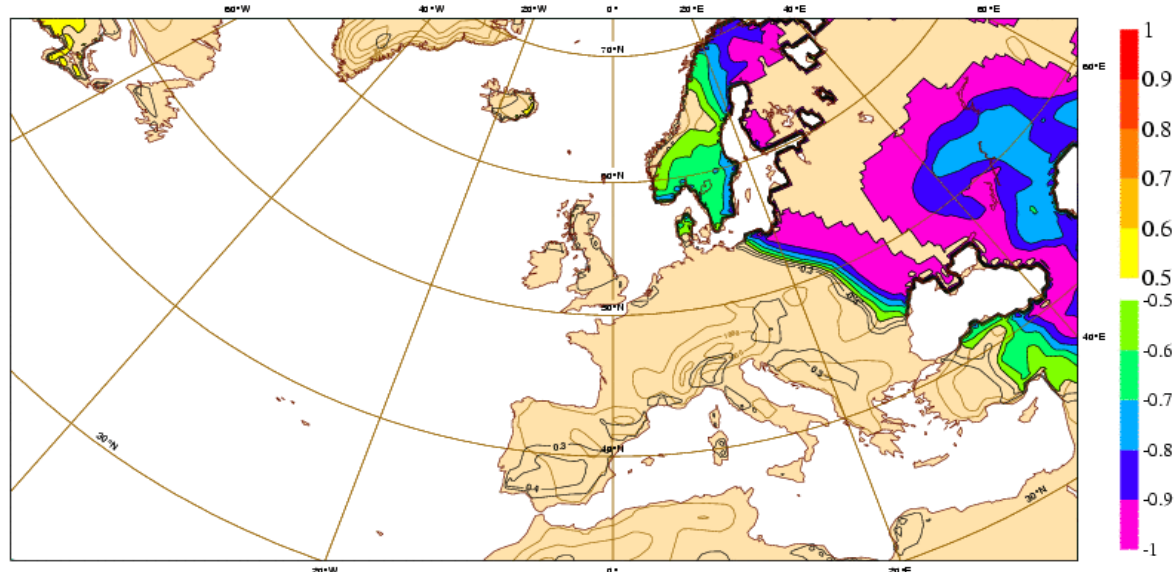
Σχήμα 5.12. Κατανομές των κλιματικών τιμών (μαύρη διακεκομμένη γραμμή) και των 90-ωρών προγνώσεων του συστήματος στοχαστικής πρόγνωσης (κόκκινη γραμμή) για την ταχύτητα του ανέμου στα 10 μέτρα κοντά στη Βρέστη, Γαλλία (0600 UTC, 30 Οκτωβρίου 2000) (Lalauette 2003). Παρατηρούμε ότι σύμφωνα με τη κλιματολογία του μοντέλου προβλέπεται ότι η πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να είναι κάτω από 15m/s είναι 95%, ενώ σύμφωνα με το σύστημα στοχαστικής πρόγνωσης αυτή η πιθανότητα είναι στο 20%

Στα σχήματα 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 παρουσιάζονται παραδείγματα χρήσης των δεικτών EFI. Πιο συγκεκριμένα στα σχήματα 5.13, 5.14 απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη EFI για την θερμοκρασία στα 2μ από την επιφάνεια. Στο σχήμα 5.15 απεικονίζεται η τιμή του δείκτη EFI για τον υετό και στο σχήμα 5.16 απεικονίζεται ο χάρτης με τις τιμές του δείκτη EFI για την ταχύτητα του ανέμου στα 10μ από την επιφάνεια.



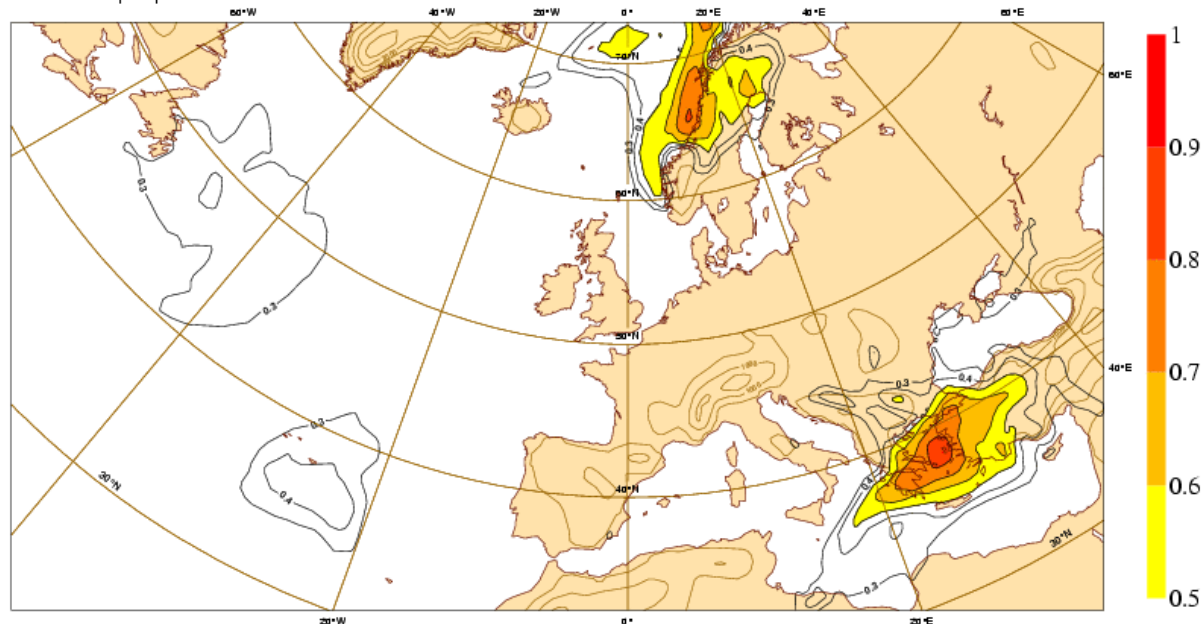
Σχ.5.13.Χάρτης απεικόνισης της τιμής του δείκτη EFI για τη θερμοκρασία στα 2m από την επιφάνεια στις 20/01/06 με αρχικές συνθήκες 1200 UTC. (πηγή:EMCWF)

Friday 20 January 2006 00UTC ©ECMWF Extreme forecast index t+036 VT: Saturday 21 January 2006 12UTC
Surface: 2 metre temperature

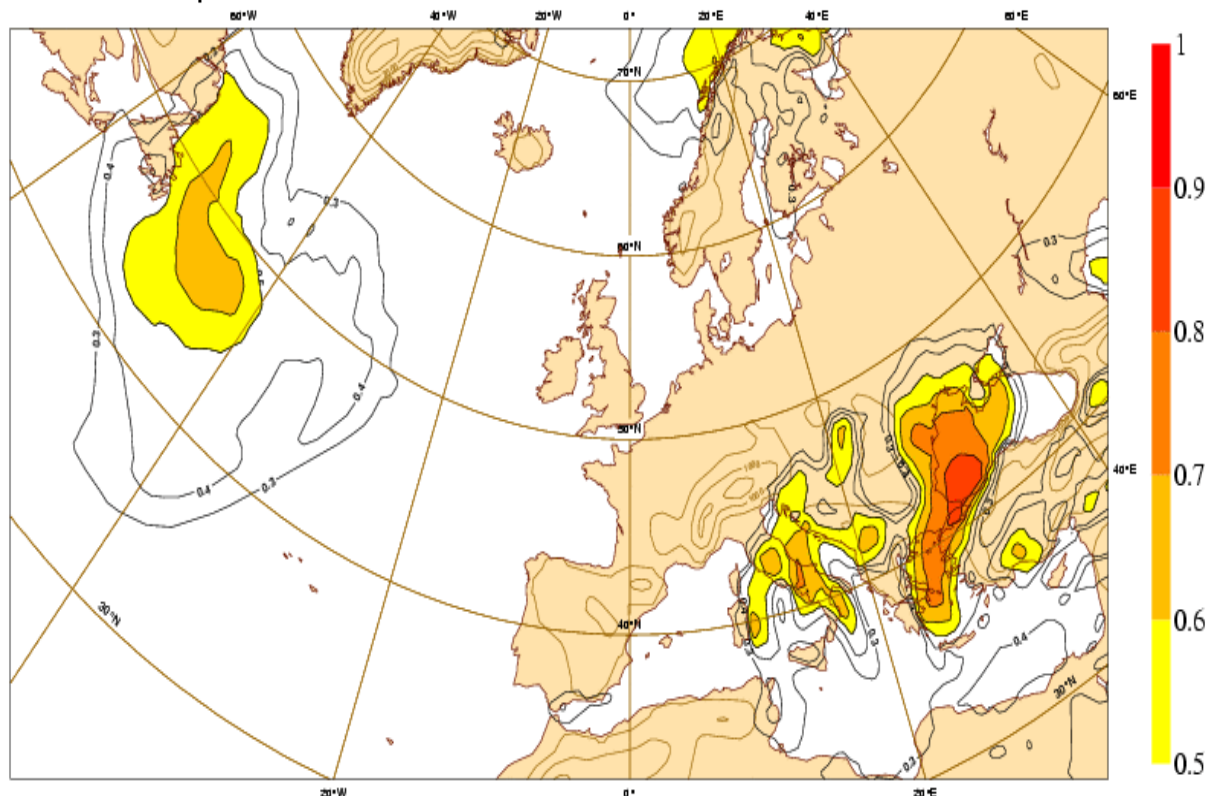


Σχ.5.14.Χάρτης απεικόνισης της τιμής του δείκτη EFI για τη θερμοκρασία στα 2m από την επιφάνεια στις 21/01/06 με αρχικές συνθήκες 1200 UTC. (πηγή:ECMWF)

Friday 20 January 2006 00UTC ©ECMWF Extreme forecast index t+054-078 VT: Sunday 22 January 2006 06UTC - Monday 23 January 2006 06UTC
Surface: Total precipitation



Σχ.5.15.Χάρτης απεικόνισης της τιμής του δείκτη EFI για τον υετό από την επιφάνεια από τις 22/01/06 έως τις 21/01/06 με αρχικές συνθήκες 1200 UTC. (πηγή:ECMWF)



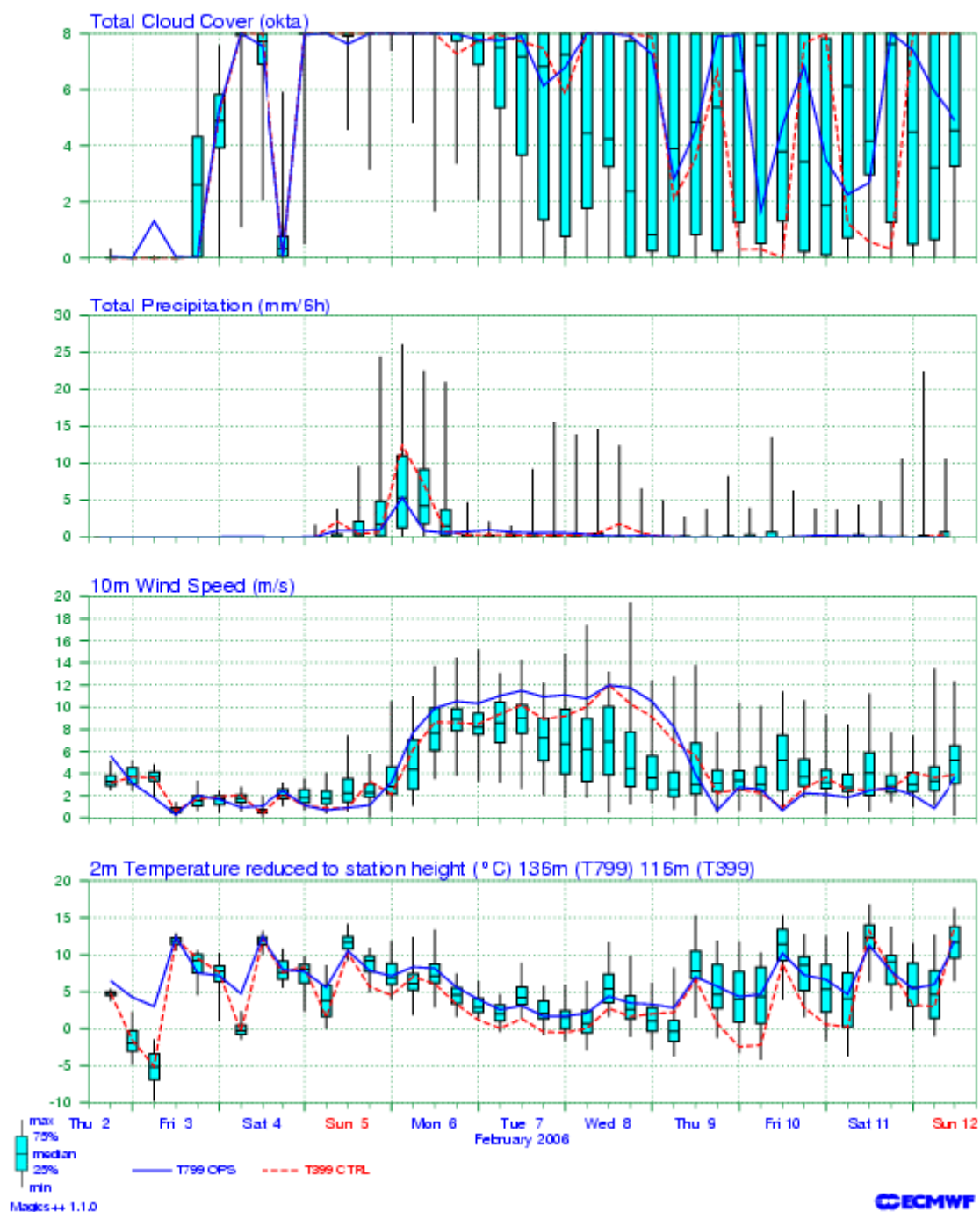
Σχ.5.16.Χάρτης απεικόνισης της τιμής του δείκτη EFI για την ταχύτητα του ανέμου στα 10m από την επιφάνεια στις 23/01/06 με αρχικές συνθήκες 1200 UTC. (πηγή:ECMWF)

5.7.2 Χρονοσειρές

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα προγνωστικά προϊόντα που παρέχονται με τη μορφή χρονοσειρών μίας συγκεκριμένης παραμέτρου για συγκεκριμένη τοποθεσία. Στην πραγματικότητα αυτό το προϊόν περιλαμβάνει 51 χρονοσειρές που η κάθε μία αντιστοιχεί στην πρόγνωση ενός μέλους της στοχαστικής πρόγνωσης για τη συγκεκριμένη τοποθεσία.

Τα δεδομένα για αυτά τα προϊόντα λαμβάνονται από το βασικό πλέγμα του μοντέλου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των τυπικών διαθέσιμων πεδίων. Όταν οι συντεταγμένες της χρονοσειράς συμπίπτουν με κάποιο σημείο πλέγματος τότε χρησιμοποιούνται οι τιμές του συγκεκριμένου σημείου πλέγματος. Διαφορετικά, η τιμή στη ζητούμενη τοποθεσία υπολογίζεται μέσω διγραμμικής παρεμβολής από τις τιμές στα τέσσερα πλησιέστερα σημεία πλέγματος.

EPS Meteogram
Athens (126m) 37.98°N 24°E
Deterministic Forecasts and EPS Distribution Thursday 2 February 2006 12 UTC



Σχήμα 5.17. Μετεόγραμμα (σε μορφή γραφικού) για το πλησιέστερο σημείο πλέγματος στην Αθήνα. Το σημείο βρίσκεται 23 km Ανατολικά της Αθήνας. Τα πεδία που εμφανίζονται είναι νεφοκάλυψη (σε όγδα), ο συνολικός 6-ωρος υετός (mm/6hr), η ταχύτητα ανέμου στα 10 μέτρα (m/s) και η θερμοκρασία στα 2 μέτρα (°C) αφού πρώτα έχει αναχθεί στο ύψος του σταθμού. Η μπλε γραμμή αντιστοιχεί στο ντετερμινιστικό μοντέλο (T799L91). Αρχικοποίηση: 1200 UTC, 2 Φεβρουαρίου 2006 (Πηγή: ECMWF).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την περιγραφή και ανάλυση των μεθόδων πρόγνωσης είναι τα ακόλουθα:

- Σημαντική εξάρτηση των αριθμητικών μοντέλων από τις αρχικές συνθήκες εκκίνησης και δέσμευση τους προς την κατεύθυνση συγκεκριμένων προγνώσεων. Η συμπεριφορά της ατμόσφαιρας ως ένα χαοτικό δυναμικό σύστημα καθιστά το ρόλο των αρχικών συνθηκών ιδιαίτερα σημαντικό στις μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες προγνώσεις. Ειδικότερα μικρή απόκλιση των αρχικών συνθηκών από την πραγματική ατμοσφαιρική κατάσταση μπορεί να επιφέρει σημαντικές ανακρίβειες στην πρόγνωση και να οδηγήσει με την πάροδο του χρόνου στην απώλεια οποιασδήποτε προγνωστικής πληροφορίας. Το περιορισμένο πλήθος διαθέσιμων παρατηρήσεων και οι εκτεταμένες υδάτινες επιφάνειες του πλανήτη που δεν επιτρέπουν τη λεπτομερή καταγραφή μετεωρολογικών πεδίων εισάγουν αβεβαιότητες στις αρχικές συνθήκες. Η παρουσία αβεβαιοτήτων στις αρχικές συνθήκες είναι αναπόφευκτες και αποτελούν την πρωτογενή πηγή προγνωστικού σφάλματος.
- Οι περιορισμένες δυνατότητες λεπτομερούς και αξιόπιστης περιγραφής των φυσικών διεργασιών της ατμόσφαιρας σε συνδυασμό με τις προκαθορισμένες χωρικά και χρονικά διεργασίες που προσομοιώνουν τα αριθμητικά μοντέλα αποτελούν τις δευτερεύουσες πηγές προγνωστικών σφαλμάτων.
- Η ελλιπής γνώση για τις διαδικασίες αλληλεπίδρασης του συστήματος της ατμόσφαιρας με την επιφάνεια της γής (υδάτινες, χερσαίες επιφάνειες) σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τα αριθμητικά μοντέλα αποτελούν απλοποιημένες εκφράσεις των φυσικών νόμων που διέπουν την ατμόσφαιρα επιφέρουν αναπόφευκτα σφάλματα στη προγνωστική διαδικασία.

Τα μοντέλα λειτουργούν επιλύοντας προγνωστικές εξισώσεις οι οποίες περιγράφουν τις δυναμικές και φυσικές διεργασίες της ατμόσφαιρας. Οι εξισώσεις αυτές χρησιμοποιούν σαν δεδομένα τις αρχικές συνθήκες(δηλαδή τις τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων

που επικρατούν στην ατμόσφαιρα κατά την εκκίνηση των μοντέλων) οι οποίες και καθορίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα των μοντέλων για την μελλοντική κατάσταση της ατμόσφαιρας. Για τον λόγο αυτό έχει μεγάλη σημασία η όσο το δυνατόν ακριβής γνώση των αρχικών συνθηκών της ατμόσφαιρας διότι η ευαισθησία των μοντέλων σ'αυτές είναι μεγάλη. Η ευαισθησία αυτή των μοντέλων στις αρχικές συνθήκες έχει σαν αποτέλεσμα μικρά σφάλματα στις τιμές των αρχικών συνθηκών να συνεπάγουν την παροχή εσφαλμένων αποτελεσμάτων από τα μοντέλα για τον μελλοντικό καιρό.

Ωστόσο με τη μέθοδο της στοχαστικής πρόγνωσης το πρόβλημα των αρχικών συνθηκών περιορίζεται σημαντικά.

Με τη μέθοδο του συστήματος της στοχαστικής πρόγνωσης στο ECMWF πραγματοποιούνται συνολικά 51 προγνώσεις οι 50 από τις οποίες προκύπτουν από τροποποιημένες αρχικές συνθήκες, ενώ για την 51^η πρόγνωση χρησιμοποιείται η επιχειρησιακή ανάλυση του μοντέλου EPS που χρησιμοποιεί τις ίδιες αρχικές συνθήκες με το ντετερμινιστικό μοντέλο.

Μ'αυτόν τον τρόπο η μέθοδος της στοχαστικής πρόγνωσης παρέχει 51 μέλη προγνώσεων που ομαδοποιούνται σε ομάδες παραπλήσιων προγνώσεων για πέντε διαφορετικές περιοχές της Ευρώπης.

Η μέθοδος της στοχαστικής πρόγνωσης θεωρείται σήμερα ότι είναι η πιο αξιόπιστη και αποτελεσματική μέθοδος για την πρόγνωση του καιρού.

Περαιτέρω έρευνα.

Στην παρούσα διπλωματική έγινε περιγραφή των στοιχείων που προσδιορίζουν ένα αριθμητικό μοντέλο καθώς και περιγραφή των προϊόντων που προκύπτουν από τη λύση του. Επίσης έγινε αναφορά στους παράγοντες από τους οποίους τα μοντέλα επηρεάζονται στις προγνώσεις που παρέχουν.

Η εξάρτηση των μοντέλων από τις αρχικές συνθήκες στρέφει την έρευνα στην αναζήτηση λύσης στο πρόβλημα της ακρίβειας των αρχικών συνθηκών και του τρόπου που αυτές επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μοντέλων.

Το γεγονός επίσης ότι οι προγνωστικές εξισώσεις αποτελούν απλοποιημένες εκφράσεις των φυσικών νόμων που διέπουν την ατμόσφαιρα, κάνει επιτακτική την ανάγκη για διερεύνηση της δυναμικής της ατμόσφαιρας και των φαινομένων που τα μοντέλα δε λαμβάνουν υπόψη.

Η έρευνα σε αυτούς τους τομείς θα έχει ως στόχο στην κατάλληλη τροποποίηση των μοντέλων ώστε τα μοντέλα να παρέχουν την όσο το δυνατόν βέλτιστη και αξιόπιστη πρόγνωση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Dalcher et al. 1988. Medium – range average forecast. Mon, Wea, Rev 116. Pp 402 - 416

Haseler, J., 2004: Early Delivery Suite. ECMWF Newsletter No. 101. ECMWF, Reading, UK.

Hoffman R.N. and E. Kalnay 1983. Lagged averaged forecasting, an alternative to monte carloforecasting. Tetlus 35A. Pp. 106 – 118.

Kallos, G,1997: The Regional weather forecasting system SKIRON. Proceedings of the Symposium on Regional Weather Prediction on Paraller Computer Environments, 15 – 17 Octomber 1997, Athens, grecce.Pp 9.

Κατσαφάδος, Π., 2003: Παράγοντες και παραμετροποιήσεις που καθορίζουν τη μακράς διάρκειας προγνωστική ικανότητα μοντέλων περιορισμένης περιοχής.Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Φυσικής, Εθνικό και Καποδιστριακό ΠανεπιστήμιοΑθηνών.

Lalaurette, F., 2004: The Ensemble Prediction System. Presented in the module “Use and interpretation of ECMWF products” of the 2004 Meteorological Training Course Lecture Programme, ECMWF, 7-11 June 2004 (http://www.ecmwf.int/newsevents/training/meteorological_presentations/ppt/OP/EPS.ppt)

Lalaurette, F., 2003: Early detection of abnormal weather conditions using a probabilistic extreme forecast index. Technical Memorandum No 373. ECMWF, Reading, UK.

Mesinger, F., Z. Janjic, S. Nickovic and S. Gavrilov, 1988: The step – mountain coordinate: model description and performance for cases of Alpine Lee cyclogenesis and for a case of an Appalachian redevelopment. Mon. Wea. Rev.

Montani, A., 1998: Targeting of observations to improve forecasts of cyclogenesis. PhD thesis. University of Reading, Reading, UK. pp.180.

Molteni, F., R. Buizza, T. N. Palmer, and T. Petroliagis, 1996: The ECMWF ensemble prediction system: Methodology and validation. Quart. J. Roy Meteor. Soc.

Μπαλιτζή Φ. Στατιστική Αξιολόγηση Αριθμητικών Μοντέλων Πρόγνωσης Καιρού Περιορισμένης Περιοχής, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών.

Πυθαρούλης Ιωάννης 2008, Σημειώσεις του μαθήματος Αριθμητική πρόγνωση καιρού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών Στη <<Μετεωρολογία Κλιματολογία Και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον>> του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Πυθαρούλης Ιωάννης 2006, Παπαγεωργίου Ιωάννης , ECMWF Products Περιγραφή των προϊόντων του ντετερμινιστικού μοντέλου και του συστήματος στοχαστικών προγνώσεων του Ευρωπαϊκού κέντρου μεσοπρόθεσμων προγνώσεων καιρού .Τεχνική Έκθεση,Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

Τ.Ι. Μακρογιάννης , Χ.Σ. Σαχσαμάνογλου 1993 Στοιχεία γενικής μετεωρολογίας . Εκδόσεις Art of Text, Θεσσαλονίκη.

Toth Z. and E. Kanaly. 1993: Ensemble forecasting at NMC: the generation of perturbations. Bull. Am. Met. Soc. 74. pp 2317 – 2330.

Άλλες πηγές:

www.emy.gr

www.ECMWF.int

[COMET – UCAR](#)