

Πρόγνωση καιρού λέγεται η διαδικασία πρόβλεψης των ατμοσφαιρικών συνθηκών που πρόκειται να επικρατήσουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή, για κάποια ορισμένη μελλοντική χρονική στιγμή ή περίοδο. Στην ουσία πρόγνωση καιρού σημαίνει, πρόβλεψη - εκτίμηση όλων εκείνων των μετεωρολογικών παραμέτρων που καθορίζουν τον καιρό, όπως η **θερμοκρασία** και η **υγρασία** σε διάφορα ύψη της ατμόσφαιρας, η **διεύθυνση** και η **ταχύτητα του ανέμου** και πάλι σε διάφορα επίπεδα, καθώς επίσης η **βαρομετρική πίεση**, η **ύπαρξη** ή **μη νεφώσεων ή ομίχλης**, η **εκδήλωση** ή **όχι βροχής, καταιγίδας ή χιονόπτωσης**, η

εκδήλωση **καύσωνα** ή **παγετού**, η **κατάσταση της θάλασσας** κλπ. Επίσης για όλα τα προβλεπόμενα φαινόμενα προσδιορίζεται τόσο η έντασή τους, όσο και η χρονική τους διάρκεια. Παράλληλα, στην περίπτωση κατά την οποία προβλέπονται έντονα μετεωρολογικά φαινόμενα, χρειάζεται να προσδιορίζεται η επικινδυνότητά τους καθώς και οι πιθανές τους συνέπειες στον άνθρωπο, στα ζώα, στα φυτά, στις συγκοινωνίες και γενικά σε όλες τις καθημερινές δραστηριότητες, ώστε οι αρμόδιοι φορείς και ο πληθυσμός να μπορούν να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας και προφύλαξης.

Από τους αρχαίους πολιτισμούς, στον τηλεγράφο και τη μετεωρολογία

Επί δεκάδες αιώνων οι άνθρωποι προσπαθούσαν να προβλέψουν τον καιρό και την εξέλιξή του. Το 650 π.Χ. οι αρχαίοι Βαβυλώνιοι πραγματοποιούσαν υποτυπώδεις προγνώσεις με βάση τις παρατηρήσεις τους σχετικά με επαναλαμβανόμενες μορφοποιήσεις και δομές των νεφών. Περί το 340 π.Χ. ο αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος Αριστοτέλης, περιέγραφε για πρώτη φορά μετεωρολογικά πρότυπα στο βιβλίο του "Μετεωρολογικά". Επίσης απόπειρες πρόγνωσης καιρού έκαναν και οι Κινέζοι από το 300 π.Χ. περίπου.

Οι πρώτες προγνώσεις καιρού βασιζόνταν κυρίως σε εμπειρικές παρατηρήσεις, όπως για παράδειγμα η παρατήρηση πως όταν κατά τη δύση του ήλιου ο ουρανός αποκτά έντονο κόκκινο χρώμα, την επόμενη ημέρα συνήθως βρέχει. Όλες οι εμπειρικές παρατηρήσεις διαδόθηκαν από γενιά σε γενιά, δημιουργώντας μια μετεωρολογική παράδοση και λαογραφία. Ωστόσο, πολλές από τις προγνώσεις που γίνονταν πάνω σε αυτή τη βάση, αποδείχθηκαν αναξιόπιστες. Η εφεύρεση του τηλεγράφου το 1837, έφερε και τη

νέα εποχή στην πρόγνωση καιρού. Έως τότε η ταχύτερη δυνατή μετάδοση μετεωρολογικών πληροφοριών σχετικά με τις παρούσες συνθήκες καιρού σε μια περιοχή, ήταν αυτή του ατμοκίνητου τρένου. Ο τηλεγράφος επέτρεψε πλέον τη μετάδοση μετεωρολογικών αναφορών από πολλές περιοχές κατά την ίδια χρονική στιγμή και σε μηδενικό σχεδόν χρόνο. Έτσι γνωρίζοντας τις συνθήκες που επικρατούσαν σε γειτονικές περιοχές, και την κίνησή τους, ήταν δυνατή μια αριετά αξιόπιστη πρόγνωση της άμεσης καιρικής εξέλιξης σε μια δεδομένη περιοχή ενδιαφέροντος.

Η γέννηση της Μετεωρολογίας ως επιστήμη πιστώνεται σε δυο ανθρώπους: στον Francis Beaufort (προς τιμή του οποίου έχει ονομαστεί η κλίμακα μποφόρ που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ανέμου) και στον Robert Fitzroy (ο οποίος ανέπτυξε το βαρόμετρο Fitzroy). Τη δουλειά αυτών των δυο ανδρών αναγνώρισε το Βασιλικό Βρετανικό Ναυτικό, θέτοντας τις βάσεις για όλες τις γνώσεις που κατέχει σήμερα η Επιστήμη της Μετεωρολογίας.

Αριθμητική πρόγνωση – Προγνωτικά μοντέλα

Η μεγαλύτερη πρόοδος στην επιστήμη της μετεωρολογίας έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα. Το 1922 ο Lewis Fry Richardson διατύπωσε την επαναστατική ιδέα της τεχνικής της αριθμητικής πρόγνωσης καιρού, ωστόσο η πρακτική εφαρμογή αυτής της ιδέας ήταν αδύνατη χωρίς τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές οι οποίοι ακόμα δεν υπήρχαν. Έτσι, η αριθμητική πρόγνωση καιρού ξεκίνησε το 1955 και αναπτύχθηκε ταχύτατα ακολουθώντας τη ραγδαία πρόοδο των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Η αριθμητική πρόγνωση είναι μια διαδικασία εξομοίωσης της ατμόσφαιρας με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών. Στην ουσία έχουν αναπτυχθεί πολυσύνθετα προγράμματα τα οποία περιέχουν όλες τις εξισώσεις και τους φυσικούς νόμους που διέπουν την ατμόσφαιρα και με βάση κάποιες αρχικές συνθήκες της ατμόσφαιρας, υπολογίζουν μελλοντικές συνθήκες σε ορισμένα σημεία και διάφορες χρονικές στιγμές. Οι τεχνικές περιγραφής των συνθηκών και λύσης των εξισώσεων ονομάζονται αριθμητικά υπολογιστικά σχήματα, ενώ τα προγράμματα ονομάζονται προγνωστικά αριθμητικά μοντέλα. Τα προγνωστικά μοντέλα με βάση την

περιοχή κάλυψης διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: στα παγκόσμια μοντέλα, τα οποία καλύπτουν όλη την ατμόσφαιρα της γης και στα περιοχικά μοντέλα τα οποία καλύπτουν επί μέρους ηπείρους, χώρες ή ακόμα και μικρότερες έκτασης περιοχές. Τα δυο βασικότερα χαρακτηριστικά ενός μετεωρολογικού μοντέλου είναι η χωρική και η χρονική του ανάλυση. Δηλαδή, η μικρότερη απόσταση μεταξύ δυο γεωγραφικών σημείων για τα οποία μπορεί να πραγματοποιεί υπολογισμούς και η μικρότερη χρονική διαφορά δυο μελλοντικών στιγμών για τις οποίες εκτελεί υπολογισμούς αντίστοιχα. Η χωρική διακριτική ικανότητα ονομάζεται και ανάλυση του μοντέλου.

Πάντως, καθώς η υπολογιστική ισχύς των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει σαφή όρια, η περιγραφή της ατμόσφαιρας και του εδάφους και η λύση των εξισώσεων πραγματοποιούνται προσεγγιστικά και σημειακά, ενώ παράλληλα εμφανίζουν ποικίλα σφάλματα, όπως συστηματικά, χωρικά, χρονικά. Κάθε βήμα εξέλιξης στις δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών συνεπάγεται μια ταυτόχρονη πρόοδο της αριθμητικής πρόγνωσης και βελτίωση των προγνωστικών μοντέλων.

Συλλογή δεδομένων και εισαγωγή τους στα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης

Σε χιλιάδες σημεία ανά τον πλανήτη, τόσο στη στεριά όσο και στη θάλασσα, πραγματοποιούνται καθημερινές και συνεχείς καταγραφές του καιρού και των μετεωρολογικών παραμέτρων από ειδικευμένους παρατηρητές, αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς ή σηματοδότες. Αυτές οι καταγραφές μεταδίδονται σε κωδικοποιημένη μορφή. Σε κάποια από τα σημεία καταγραφής εκτελούνται και οι λεγόμενες

ραδιοβολήσεις, συνήθως κάθε 12 ώρες. Απελευθερώνονται δηλαδή μετεωρολογικά μπαλόνια (εικόνα 1), εξοπλισμένα με όργανα καταγραφής και πομπό, τα οποία καθώς ανέρχονται μέσα στην ατμόσφαιρα καταγράφουν και μεταδίδουν προς το έδαφος σε συνεχή ροή τις τιμές διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων καθ' ύψος, όπως τη θερμοκρασία, την υγρασία, τη βαρομετρική πίεση, τη διεύθυνση και την

ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ταχύτητα του ανέμου. Μεγάλο πλήθος μετρήσεων πραγματοποιούνται επίσης από αεροσκάφη και από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους. Στη συνέχεια όλα τα δεδομένα συλλέγονται αποκωδικοποιούνται και με αυτόματες στατιστικές μεθόδους απαλείφονται οι

εσφαλμένες μετρήσεις. Τέλος τα αποκωδικοποιημένα δεδομένα διανέμονται στα διάφορα προγνωστικά κέντρα ανά τον κόσμο, όπου εκτελούνται τα προγνωστικά μοντέλα, πραγματοποιώντας πρόγνωση του καιρού.



Εικόνα 1: Απελευθέρωση ραδιοβόλησης στο αεροδρόμιο της Ουάσινγκτον (7/5/1936).

(πηγή: <http://www.centennialofflight.gov/>)

Προγνωστικοί χάρτες

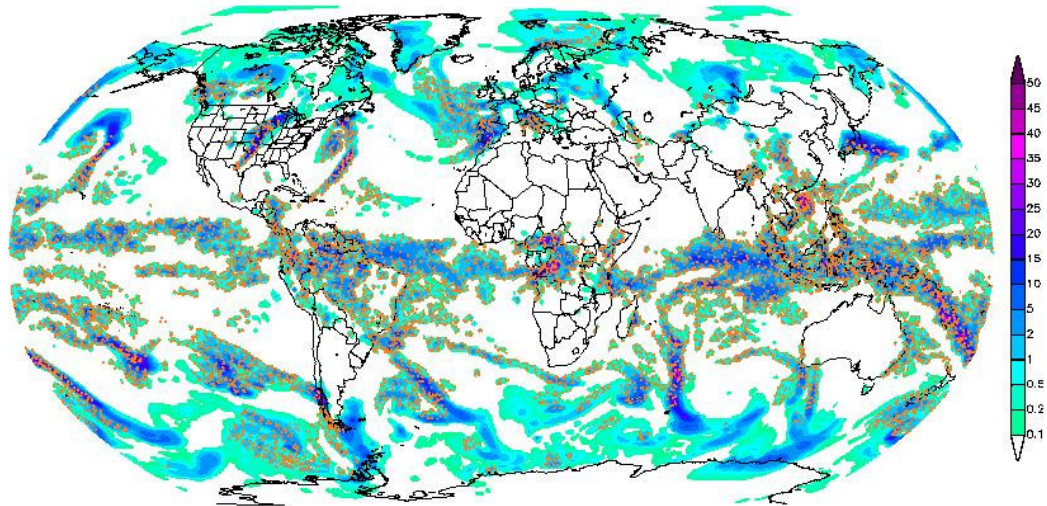
Αφού ολοκληρωθεί η εκτέλεση ενός μοντέλου, εξάγονται αυτόματα προγνωστικοί χάρτες των περισσότερων μετεωρολογικών παραμέτρων σε διάφορα επίπεδα (ύψη) μέσα στην ατμόσφαιρα πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος. Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται παράδειγμα

προγνωστικού χάρτη ύψους βροχής - χιονιού σε χιλιοστά (mm) που εκδόθηκε GFS των ΗΠΑ. Το GFS εκτελείται με ανάλυση 0,3 μοίρας γεωγραφικό μήκος επί γεωγραφικό πλάτος που αντιστοιχεί σε χιλιομετρική ανάλυση, 30 x 30 km.

Init : Thu,17APR2008 06Z

Valid: Fri,18APR2008 06Z

Ποσότητα βροχής - χιονιού σε mm



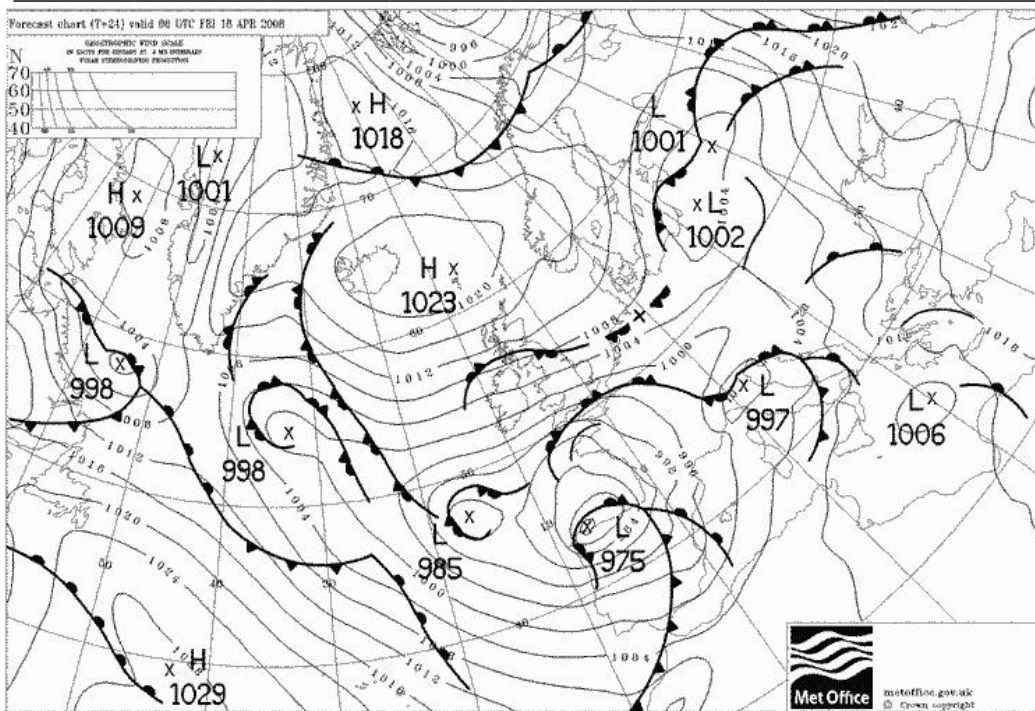
Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Σχήμα 2: Προγνωστικός χάρτης βροχής-χιονιού που εκδόθηκε στις 17/4/2008/06:00 από το παγκόσμιο προγνωστικό μοντέλο GFS και αφορά στις 18/4/2008/06:00.

(πηγή: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsavnwelt.html>)

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται ένας προγνωστικός χάρτης της βαρομετρικής πίεσης σε hPa και των μετώπων καιρού,

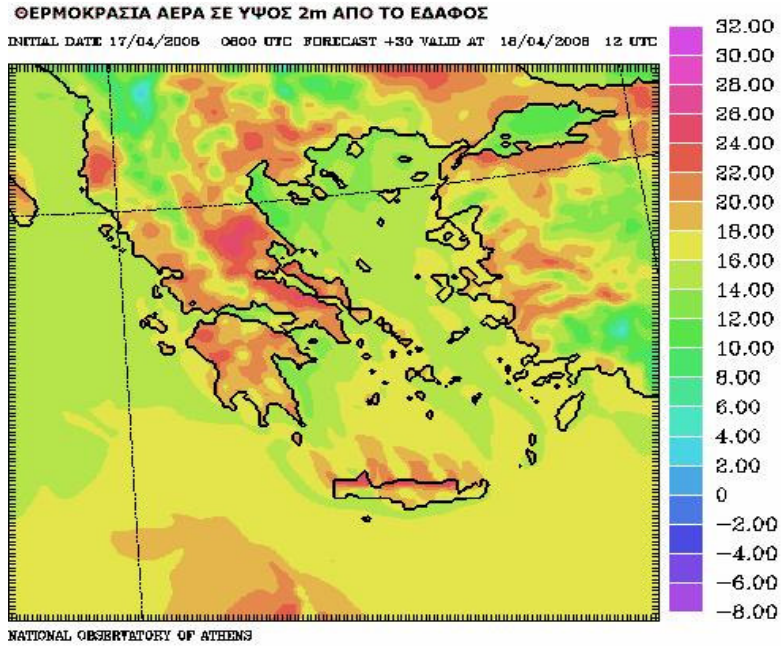
όπως εκδόθηκε από το προγνωστικό μοντέλο της Βρετανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Met Office)



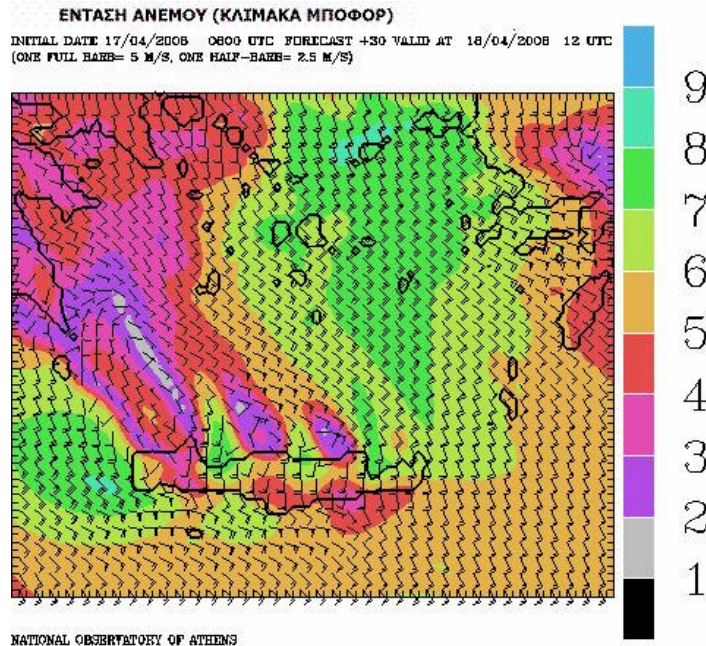
Σχήμα 3: Προγνωστικός χάρτης βαρομετρικής πίεσης και μετώπων που εκδόθηκε στις 17/4/2008 από τη Βρετανική Μετεωρολογική Υπηρεσία και αφορά στις 18/4/2008/06:00. (πηγή: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsfaxsem.html>)

Στα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζονται προγνωστικοί χάρτες θερμοκρασίας αέρα σε ύψος 2 m από το έδαφος και έντασης ανέμου, όπως εκδόθηκαν από το προγνωστικό μοντέλο BOLAM του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Ο πρώτος χάρτης περιλαμβάνει ολόκληρη τη χώρα, ενώ ο δεύτερος εστιάζει στην

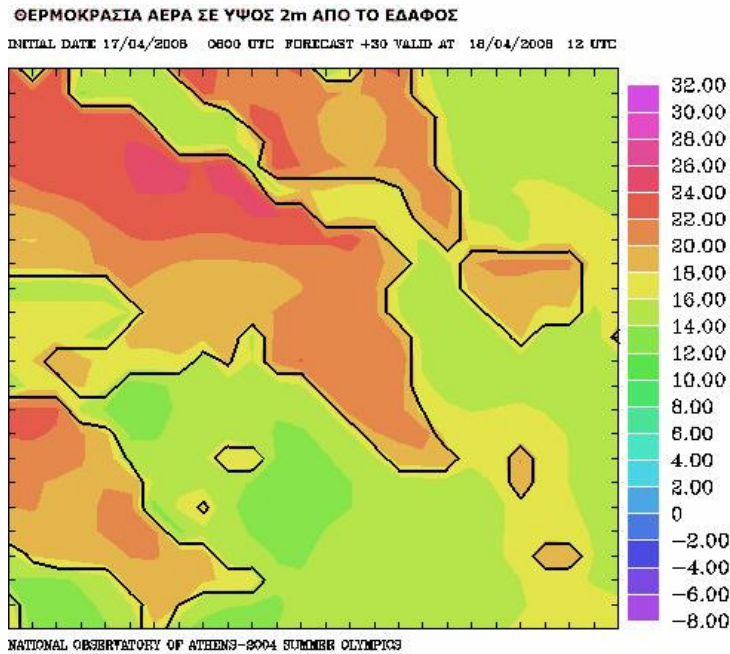
περιοχή του Νοτίου Αιγαίου. Το BOLAM είναι περιοχικό προγνωστικό μοντέλο που τρέχει με ανάλυση 7 x 7 km. Τέλος στο σχήμα 6 παρουσιάζεται προγνωστικός χάρτης θερμοκρασίας αέρα για την ευρύτερη περιοχή της Αττικής και πάλι από το προγνωστικό μοντέλο BOLAM.



Σχήμα 4: Προγνωστικός χάρτης θερμοκρασίας που εκδόθηκε στις 17/4/2008/06:00 από το περιοχικό προγνωστικό μοντέλο BOLAM του Ε.Α.Α. και αφορά στις 18/4/2008/12:00.
 (πηγή: <http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/bolam/index.htm>)



Σχήμα 5: Προγνωστικός χάρτης ανέμου για το Νότιο Αιγαίο που εκδόθηκε στις 17/4/2008/06:00 από το BOLAM και αφορά στις 18/4/2008/12:00.
 (πηγή: <http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/bolam/index.htm>)



Σχήμα 6: Προγνώστικός χάρτης θερμοκρασίας για την ευρύτερη περιοχή της Αττικής που εκδόθηκε στις 17/4/2008/06:00 από το και αφορά στις 18/4/2008/12:00.

(πηγή: <http://cirrus.meteo.noa.gr/forecast/bolam/index.htm>)

Γιατί οι προγνώσεις καιρού δεν είναι πάντα σωστές

Ορισμένες φορές οι προγνώσεις που παράγονται από ένα μετεωρολογικό μοντέλο περιέχουν σφάλματα. Καθοριστικός παράγοντας που οδηγεί σε σφάλματα είναι η ίδια η δομή των μοντέλων. Καθώς δεν έχουμε πλήρη γνώση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα μέσα στην ατμόσφαιρα, όπως για παράδειγμα το σχηματισμό νεφών και τη δημιουργία βροχής από τα νέφη, αποδίδουμε αυτές τις διεργασίες προσεγγιστικά. Για το λόγο αυτό τα σημαντικότερα σφάλματα στις προγνώσεις των μοντέλων έχουν να κάνουν με τον υπολογισμό του υετού σε μια περιοχή, δηλαδή της βροχοπτώσης ή της χιονόπτωσης. Παράλληλα, για να επιλυθούν οι εξισώσεις και οι φυσικοί νόμοι που διέπουν την ατμόσφαιρα από ένα μοντέλο, χρειάζονται δισεκατομμύρια υπολογισμών. Για να μειωθεί ο χρόνος εκτέλεσης των υπολογισμών, οι εξισώσεις επιλύονται με προσεγγιστικές αριθμητικές μεθόδους. Αυτές οι μέθοδοι, αν και αρκετά εξελιγμένες, περιγράφουν μια ιδεατή ατμόσφαιρα οδηγώντας σε αναπόφευκτες αποκλίσεις από τις πραγματικές συνθήκες. Ένας ακόμα καθοριστικός παράγοντας είναι η ελλιπής γνώση των αρχικών συνθηκών της ατμόσφαιρας. Λέγοντας αρχικές συνθήκες εννοούμε τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν τη στιγμή που ξεκινά μια πρόγνωση. Παρά το γεγονός ότι καθημερινά πραγματοποιείται μεγάλο πλήθος μετρήσεων ανά τον κόσμο (όπως αναφέρθηκε παραπάνω), οι μετρήσεις αυτές καλύπτουν ένα σχετικά περιορισμένο τμήμα του πλανήτη, καθώς στις θάλασσες και στις εκτεταμένες ερήμους οι διαθέσιμες μετρήσεις είναι ελάχιστες. Πάντως, σε αυτό το πρόβλημα λύση θα μπορούσε να δώσει ο συνεχώς εξελισσόμενος τομέας της δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Επισημαίνεται όμως, ότι λόγω της χαοτικής φύσης της ατμόσφαιρας, ποτέ δε θα μπορούσαμε να έχουμε μια τέλεια πρόγνωση καιρού.