

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

Η ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ:

Α.Γ.Μ:

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΗΜ/ΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

A/A	Όνοματεπώνυμο	Ειδικότης	Αξιολόγηση	Υπογραφή
1				
2				
3				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
 ΜΕΡΟΣ Ι - ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ	
1 Η ΓΗΙΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ	7
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ	7
1.2 ΚΛΑΔΟΙ ΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ	8
1.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	9
1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	13
1.4.1 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	13
1.4.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ	17
1.4.3 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ	17
2 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	20
2.1 Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	21
2.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	22
3 ΥΓΡΟΣ ΑΕΡΑΣ	26
3.1 ΥΔΡΟΣΥΜΠΥΚΝΩΣΕΙΣ	27
3.1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ	27
3.1.2 ΥΔΡΟΣΥΜΠΥΚΝΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ	28
4 ΑΝΕΜΟΣ	31
4.1 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ	31
4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΕΜΟΥ	33
4.2.1 ΗΜΕΡΗΣΙΟΙ ΤΟΠΙΚΟΙ ΑΝΕΜΟΙ	33
4.2.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΙ ΑΝΕΜΟΙ	35
 ΜΕΡΟΣ ΙΙ –ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	38
1 ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΟΥ ΚΑΙΡΟΥ	39
1.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ-ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	40
2 ΝΑΥΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	44
2.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ	44
2.2 ΠΑΡΟΧΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ	45
2.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ	46
2.3.1 ΤΡΟΠΙΚΟΙ ΚΥΚΛΩΝΕΣ	46
2.3.2 ΚΥΜΑ	47
2.3.3 ΩΚΕΑΝΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ	48

2.3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ WEATHER ROUTING	50
2.4 ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΚΑΙ ΝΑΥΣΠΛΟΙΑ	51
2.4.1 ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	51
2.4.2 ΑΝΕΜΟΙ	52
2.4.3 ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ FREAK WAVES	53
3 ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ.....	55
3.1 ΣΧΕΣΗ ΚΑΙΡΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΑΣ	57
3.1.1 ΕΛΑΦΟΣ.....	57
3.1.2 ΦΥΤΑ.....	58
3.1.3 ΖΩΑ ΤΟΥ ΑΓΡΟΥ.....	58
3.1.4 ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΚΑΙ ΕΧΘΡΟΙ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΖΩΩΝ.....	58
3.1.5 ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΩΝ.....	58
3.1.6 ΤΕΧΝΗΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ.....	59
3.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΤΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	59
3.2.1 ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗ	59
3.2.2 ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	60
3.2.3 ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	61
3.2.4 ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΨΗΛΗΣ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ	62
3.2.5 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ	62
3.2.5 ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....	63
3.3 ΔΑΣΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ	64
4 ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ	66
4.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ	67
4.1.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	67
4.1.2 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	69
4.1.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ.....	71
4.1.4 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	72
5 ΙΑΤΡΙΚΗ	75
5.1 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.....	77
5.1.1 ΒΙΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ.....	77
5.1.2 ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	78
5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	82

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και η παρουσίαση των βασικών αρχών της επιστήμης της Μετεωρολογίας και στη συνέχεια η ανασκόπηση των εφαρμογών της σε άλλες επιστήμες. Η εργασία αναπτύχθηκε σε δύο διακριτά μέρη.

Στο πρώτο μέρος γίνεται μια αναφορά στην ιστορία της επιστήμης της Μετεωρολογίας, η οποία άλλωστε ενδιέφερε τον άνθρωπο από τα πανάρχαια χρόνια, όπως επίσης και στους κλάδους της. Στη συνέχεια, η εργασία ασχολήθηκε αρχικά με τη γήινη ατμόσφαιρα, εφόσον τα φαινόμενα που συμβαίνουν μέσα σε αυτή είναι το αντικείμενο μελέτης της Μετεωρολογίας. Ακολούθως, μελετήθηκαν τα κύρια μετεωρολογικά στοιχεία, δηλαδή η ηλιακή ακτινοβολία ως φορέας της θερμότητας στην ατμόσφαιρα, η υγρασία του αέρα και τέλος, ο άνεμος.

Στο δεύτερο μέρος διερευνήθηκαν οι εφαρμογές της Μετεωρολογίας σε επιστήμες που είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την εν λόγω επιστήμη. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάστηκε η βασικότερη εφαρμογή της Μετεωρολογίας που είναι η πρόγνωση καιρού και εν συνεχεία αναλύθηκαν οι εφαρμογές της στη Ναυτική Επιστήμη, τη Γεωπονία καθώς και την Οικολογία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Γη περιβάλλεται από μια εκτεταμένη ζώνη αερίων απαραίτητα για την ανάπτυξη της ζωής. Στη γενική περίπτωση, *ατμόσφαιρα καλείται το αεριώδες περίβλημα που μπορεί να περιβάλλει κάποιο ουράνιο σώμα*. Στη Μετεωρολογία, όμως, με αυτόν τον όρο χαρακτηρίζεται το αεριώδες περίβλημα που περιβάλλει τη Γη και το οποίο συγκρατείται λόγω της βαρύτητάς της φθάνοντας πρακτικά σε ύψος 3.500 χιλιόμετρα.

Η ατμόσφαιρα παρουσιάζεται με συνεχώς εναλασσόμενες καταστάσεις. Τα αποτελέσματα των διαφόρων αυτών καταστάσεων αποδίδονται με την έκφραση «καιρικές καταστάσεις». Η επιστήμη που εξετάζει την ατμόσφαιρα και τα φαινόμενα (μετεωρολογικά) που συμβαίνουν μέσα σε αυτήν λέγεται *Μετεωρολογία*. Η μετεωρολογία χρησιμοποιεί εξειδικευμένα όργανα φυσικής για την μέτρηση των διαφόρων μετεωρολογικών στοιχείων ή παραμέτρων και εφαρμόζει τους νόμους της φυσικής. Διαφέρει όμως από την κλασική φυσική των εργαστηρίων σε ότι αφορά την τάξη μεγέθους του εργαστηρίου. Στην μετεωρολογία το σύνολο της ατμόσφαιρας θεωρείται το εργαστήριο χωρίς το πείραμα να μπορεί τουλάχιστον μέχρι σήμερα να ελεγχθεί από τον άνθρωπο.

Η κατάσταση της ατμόσφαιρας πάνω από μια περιοχή για μια ορισμένη χρονική στιγμή συμπεριλαμβανομένης και της εξέλιξης αυτής της κατάστασης από τη γένεση ως το τέλος των συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών διαταραχών ονομάζεται *καιρός*.

Η κατανομή του καιρού πάνω στην επιφάνεια της Γης σε μια δοσμένη χρονική στιγμή μπορεί να δώσει μια μεγάλη ποικιλία καιρικών καταστάσεων και συνεπώς έχει πάρα πολύ μεγάλη γεωγραφική σημασία. Στην πράξη, ο καιρός αντιπροσωπεύει, συνήθως, την από μέρα σε μέρα κατάσταση της ατμόσφαιρας και αναφέρεται σε μεταβολές μικρής διάρκειας στις συνθήκες της θερμότητας, της υγρασίας και της κίνησης του αέρα. Ο καιρός οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στις διεργασίες που συντελούν στην εξισορρόπηση των διαφορών που εμφανίζονται από ανισοκατανομή της ηλιακής ενέργειας πάνω στην επιφάνεια του πλανήτη.

Η μέση καιρική κατάσταση, δηλαδή η σύνθεση του καιρού για μια μεγάλη χρονική περίοδο που είναι απαραίτητη για την απαλοιφή των σφαλμάτων και την εδραίωση στατιστικών παραμέτρων, λέγεται *κλίμα*. Αυτό είναι δυνατό να θεωρηθεί κάτι παραπάνω από το μέσο και περιλαμβάνει το σύνολο των ατμοσφαιρικών συνθηκών που περικλείουν τη θερμότητα, την υγρασία και την κίνηση του αέρα σε μεγάλες χρονικές περιόδους. Ακόμη, με το κλίμα μελετούνται οι περιπτώσεις ακραίων καταστάσεων, οι τάσεις της μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων, οι τιμές πιθανότητας να συμβούν εξαιρετικά γεγονότα κλπ. Με άλλα λόγια το κλίμα είναι ανεξάρτητο από οποιαδήποτε στιγμιαία κατάσταση.

Είναι φανερό ότι το κλίμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον καιρό. Γι' αυτό πολλές φορές οι άνθρωποι ταυτίζουν τις δύο αυτές έννοιες. Μπορεί όμως να παραλληλιστεί το μεν κλίμα με το χαρακτήρα

ενός ανθρώπου, ο δε καιρός με τη στιγμιαία συμπεριφορά του. Ο καιρός αποτελεί αντικείμενο μελέτης της Μετεωρολογίας και το κλίμα της αδελφής επιστήμης, της Κλιματολογίας. Η Κλιματολογία χρησιμοποιεί τα ίδια βασικά δεδομένα, που χρησιμοποιεί η Μετεωρολογία. Το αντίστοιχο του μετεωρολογικού στοιχείου για την Κλιματολογία είναι το κλιματικό στοιχείο. Τα αποτελέσματα της Κλιματολογίας είναι πάρα πολύ χρήσιμα στους μετεωρολόγους-προγνώστες και στις εφαρμογές της Μετεωρολογίας σε προβλήματα της Βιομηχανίας, της Γεωργίας, των Μεταφορών, της Αρχιτεκτονικής, της Βιολογίας και της Ιατρικής.

Η Μετεωρολογία ασχολείται με τη μελέτη του καιρού και γενικότερα των καιρικών συστημάτων του που η χρονική κλίμακα τους έχει ανώτερο όριο το χρόνο ζωής του ατμοσφαιρικού φαινομένου ή συστήματος. Ο χρόνος αυτός εκτείνεται μέχρι και μερικές βδομάδες για τις διαταραχές πλανητικής κλίμακας και καλύπτει τη γένεση, την ανάπτυξη και το θάνατο των ατμοσφαιρικών διαταραχών συνοπτικής κλίμακας. Επίσης, η Μετεωρολογία είναι εκείνη που προσδιορίζει τον καιρό, τα αίτια γένεσης και τους μηχανισμούς εξέλιξης και ανάπτυξης των ατμοσφαιρικών φαινομένων από την αστραπή και τη βροντή ως τα εποχικά καιρικά συστήματα.

Η Κλιματολογία μελετά τη συχνότητα εμφάνισης των καιρικών συστημάτων, τη χρονική τους κατανομή στις αστρονομικές και βιολογικές περιόδους χρόνου, τη χωρική τους διανομή στην επιφάνεια της γης και, κυρίως, τις μέσες τιμές των κλιματικών στοιχείων και παραμέτρων και για τόση χρονική περίοδο ώστε να απαλείφονται τα διάφορα σφάλματα. Μια τέτοια περίοδος που λέγεται κανονική, ύστερα από συμφωνία, λαμβάνεται η περίοδος των 30 ετών, χωρίς όμως να αποκλείει το γεγονός ότι τα συμπεράσματα είναι πολλές φορές ορθά στον ίδιο βαθμό για ορισμένα κλιματικά στοιχεία, που η χρονική τους κλίμακα είναι 10-15 χρόνια.

Θα πρέπει να διευκρινιστεί η διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στις διάφορες παραμέτρους καιρού και στις αντίστοιχες κλιματικές. Για παράδειγμα, η μέση τιμή της θερμοκρασίας του μήνα Απρίλη για το έτος 1984 μαζί με τα στατιστικά της χαρακτηριστικά αποτελεί μια παράμετρο καιρού. Η μελέτη όμως που προκύπτει από τη σύγκριση αυτής της μέσης τιμής με την αντίστοιχη μέση τιμή του Απρίλη που είναι αποτέλεσμα των μέσων τιμών της θερμοκρασίας για μια περίοδο 30 ετών (κλιματική παράμετρος), τοποθετείται σε κλιματικό πλαίσιο.

Μέρος Ι
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

Κεφάλαιο 1

Η ΓΗΙΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Εφόσον η μετεωρολογία εξετάζει τα φαινόμενα που συμβαίνουν μέσα στην ατμόσφαιρα, είναι χρήσιμη μια εισαγωγή στη σύνθεση και τις φυσικές ιδιότητές της. Η ατμόσφαιρα, λοιπόν, είναι το αεριώδες περίβλημα της Γης, το οποίο συμμετέχει μάλιστα στην περιστροφή της, αφού συγκρατείται από τη βαρύτητα. Συνεπώς, εκτός των άλλων κινήσεων μικρότερης κλίμακας, η ατμόσφαιρα περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της Γης, από τα δυτικά προς τα ανατολικά, με ταχύτητα διαφορετική από την ταχύτητα περιστροφής της Γης.

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Οι απαρχές των γνώσεων για την ατμόσφαιρα και το κλίμα χάνονται στα βάθη της προϊστορίας. Πρακτικές παρατηρήσεις μετεωρολογίας, συγκεχυμένες σε ένα κράμα προκαταλήψεων και μαγείας, υπάρχουν σε όλους τους ιστορικά βεβαιωμένους αρχαίους πολιτισμούς.

Η πρώτη οργανωμένη θεωρητικά προσέγγιση των φαινομένων της ατμόσφαιρας, μέσα από τον αφηρημένο στοχασμό που συνδυάζεται με την παρατήρηση, παρουσιάστηκε από τους αρχαίους Έλληνες διανοητές και διασώθηκε σε γραπτά φιλοσοφικά και επιστημονικά κείμενα. Ο Ίωνας φιλόσοφος Αναξιμένης (585-525 π.Χ.) μελέτησε με εξαιρετική επινοητικότητα τα μετεωρολογικά φαινόμενα και παρουσίασε ορθές εξηγήσεις για το σχηματισμό των νεφών, της βροχής, του χαλαζιού και του χιονιού, τα αίτια των ανέμων και της ίριδας (ουράνιου τόξου), ενώ προσπάθησε να δώσει φυσική ερμηνεία και για τη δημιουργία της αστραπής. Ο Αναξαγόρας ο Κλαζομένιος, φιλόσοφος που έζησε στην Αθήνα (500-428 π.Χ.) και θεωρείται (μαζί με τον Εμπεδοκλή) πατέρα της πειραματικής έρευνας, αποσαφήνισε την έννοια του υδρολογικού κύκλου: ο ήλιος σηκώνει το νερό από τη θάλασσα στην ατμόσφαιρα, απ' όπου πέφτει ως βροχή, στη συνέχεια συλλέγεται σε υπόγεια κοιλάματα και τροφοδοτεί τη ροή των ποταμών. Ο Αριστοτέλης (384-323 π.Χ.) στο έργο του Μετεωρολογικά διατυπώνει με σαφήνεια τις αρχές του υδρολογικού κύκλου, διευκρινίζοντας ότι οι υδρατμοί αποτελούν εξαέρωση του νερού υπό την επίρεια του ηλίου και η συμπύκνωσή τους προκαλεί τα νέφη· μάλιστα διατυπώνει έμμεσα την αρχή της διατήρησης της μάζας του νερού στον υδρολογικό κύκλο. Ο Επίκουρος (341-270 π.Χ.) έδωσε φυσικές εξηγήσεις των μετεωρολογικών φαινομένων, στα πρότυπα των Ιώνων φιλοσόφων, αντικρούοντας τις δεισιδαιμονίες της εποχής. Ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς (1ος αιώνας π.Χ.) στο έργο του Πνευματικά μελέτησε την πίεση του αέρα, αναγνωρίζοντας ότι ο αέρας δεν είναι κενός χώρος αλλά ύλη με μάζα.

Θα περάσουν αιώνες μέχρι να υπάρξουν νέες ουσιαστικές συμβολές στην κατανόηση των φαινομένων της ατμόσφαιρας και τη μέτρησή τους. Έτσι, μόλις στα τέλη του 16ου αιώνα μ.Χ. έχουμε τη γέννηση της ενόργανης μετεωρολογίας με την εφεύρεση αρχικώς του θερμομέτρου από τον Γαλιλαίο (1592) και στη συνέχεια του βαρομέτρου από τον Τορρικέλλι (1643). Ο τελευταίος θα επιβεβαιώσει πειραματικά το γεγονός ότι ο αέρας έχει βάρος. Τον 19ο αιώνα δημιουργούνται δίκτυα μετεωρολογικών σταθμών (Lamarck, La Place, Lavoisier), καθιερώνεται η τηλεγραφική μεταβίβαση μετεωρολογικών παρατηρήσεων (Henry, 1849) για λόγους πρόβλεψης (Le Verrier, 1854) και προειδοποίησης (Ballot, 1860) και ιδρύονται μετεωρολογικές υπηρεσίες (Le Verrier, Γαλλία, 1855) και ο Διεθνής Μετεωρολογικός Οργανισμός (1878).

Τέλος, τον 20ο αιώνα έχουμε τις παρατηρήσεις της ανώτερης ατμόσφαιρας (αερόστατα, ραδιοβολίσεις), τους αυτόματους τηλεμετρικούς μετεωρολογικούς σταθμούς, τα ραντάρ καιρού και τους μετεωρολογικούς δορυφόρους. Παράλληλα, το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα σημαδεύεται από την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, γεγονός που έδωσε τεράστια ώθηση στη μετεωρολογία και την κλιματολογία, καθιστώντας εφικτή τη μαθηματική προσομοίωση και πρόγνωση των ατμοσφαιρικών φαινομένων με τη χρήση μοντέλων καιρού και κλιματικών μοντέλων. Επίσης, σημαντική πρόοδος έγινε στην κατανόηση των ατμοσφαιρικών φαινομένων. Ένα σημαντικό στοιχείο που κατανοήθηκε είναι η πολυπλοκότητα των καιρικών φαινομένων και η εξάρτησή τους από πληθώρα παραμέτρων και μηχανισμών, πολλοί από τους οποίους δεν έχουν ακόμη κατανοηθεί. Η πολυπλοκότητα και η ευαισθησία των φαινομένων θέτουν αξεπέραστα όρια στην προγνωστική ικανότητα των μοντέλων καιρού για μεγάλους χρονικούς ορίζοντες.

1.2 ΚΛΑΔΟΙ ΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

Η Μετεωρολογία, προκειμένου να αντιμετωπίσει το πλήθος των προβλημάτων που δημιουργούν οι συνεχώς μεταβαλλόμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες και ταυτόχρονα να ερμηνεύσει με έννοιες της φυσικής και των μαθηματικών την ατμοσφαιρική συμπεριφορά, διαιρείται σε διάφορους κλάδους και ο καθένας περιγράφει, μελετά και αναλύει τις ατμοσφαιρικές διεργασίες:

- Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία: στοχεύει στην εφαρμογή των μετεωρολογικών γνώσεων σε επιστημονικές δραστηριότητες που σχετίζονται με τη γεωργία, τη δασολογία, την ατμοσφαιρική ρύπανση, την οικολογία, την αρχιτεκτονική, την αλιεία, καθώς και τις χερσαίες, τις θαλάσσιες και τις εναέριες μεταφορές.

- Δυναμική Μετεωρολογία: αποτελεί τον κλάδο της θεωρητικής μελέτης των ατμοσφαιρικών κινήσεων με στόχους, να συνεισφέρει στην κατανόηση του πλήθους των παραμέτρων που σχετίζονται και καθοδηγούν την κίνηση της ατμόσφαιρας και να δημιουργήσει μια λογική βάση για την πρόβλεψη των μελλοντικών ατμοσφαιρικών γεγονότων.

- **Φυσική Μετεωρολογία:** μελετά τις σχέσεις μεταξύ των ατμοσφαιρικών φαινομένων και της φύσης της ύλης όπως εκφράζονται σε αρχές και νόμους της φυσικής που σχετίζονται με την ηλιακή και γήινη ακτινοβολία, την ατμοσφαιρική οπτική, τον ατμοσφαιρικό ηλεκτρισμό, τις διεργασίες του σχηματισμού των νεφών και της βροχής, το οριακό πλανητικό στρώμα και τις διεργασίες της μεταφοράς της μάζας και ενέργειας μέσα σε αυτό και τέλος την τηλεπισκόπηση (μετεωρολογικά ραντάρ, δορυφόροι κ.λπ.).

- **Συνοπτική Μετεωρολογία:** στοχεύει στην ανάλυση των ατμοσφαιρικών διαταραχών, στη σύνθεση των δυναμικών και φυσικών καταστάσεων και των επιδράσεων αυτών στον καθημερινό καιρό, στη μελέτη των κυκλώνων και των αντικυκλώνων, στην ανάλυση των μετώπων και των αερίων μαζών, των αεροχειμάρρων, των καταιγίδων, των θυελλών, των τυφώνων και στην πρόγνωση του καιρού.

- **Γεωργική Μετεωρολογία:** αποτελεί εφαρμοσμένο κλάδο της Μετεωρολογίας ο οποίος ασχολείται με τα φαινόμενα και τις διαδικασίες της κατώτερης ατμόσφαιρας που συνδέονται με την ανάπτυξη των φυτικών και ζωικών οργανισμών και ενδιαφέρουν την αγροτική παραγωγή.

- **Δασική Μετεωρολογία:** αποτελεί εφαρμοσμένο κλάδο της Μετεωρολογίας ο οποίος μελετά τις επιδράσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων που αφορούν την επιβίωση, την ανάπτυξη και τη διαχείριση των δασικών οικοσυστημάτων.

- **Δορυφορική Κλιματολογία:** είναι ο πλέον σύγχρονος κλάδος, ο οποίος στοχεύει στην αξιοποίηση των δορυφορικών πληροφοριών για την επίλυση των κλιματικών προβλημάτων.

1.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Η γήινη ατμόσφαιρα, όπως πιστεύεται σήμερα, δημιουργήθηκε πριν από περίπου 4.6 δισεκατομμύρια χρόνια, με αρχική σύνθεση το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το άζωτο (N_2), τους υδρατμούς (H_2O) και το υδρογόνο (H_2). Ύστερα από μακροχρόνιες διεργασίες μεταξύ της ξηράς, των ωκεανών και των αερίων της ατμόσφαιρας, η σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας σταθεροποιήθηκε όπως πιστεύεται, πριν από περίπου 400 εκατομμύρια χρόνια. Η σύσταση της ατμόσφαιρας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος και στις διάφορες φυσικο-χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σ' αυτήν. Έτσι, η επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος με πολυάριθμους ανθρωπογενείς ρύπους παίζει πλέον ενεργό ρόλο στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή.

Οι θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι η ατμόσφαιρα φτάνει σε ύψος δεκάδων χιλιάδων μέτρων, αλλά διάφορα φαινόμενα που έχουν σχέση με την παρουσία της ατμόσφαιρας, δε μας επιτρέπουν να θεωρήσουμε το όριο της γήινης ατμόσφαιρας σε ύψος πάνω από 3000 km. Για σύγκριση, αναφέρεται ότι η ακτίνα της γης στον ισημερινό είναι 6380 km.

Η ατμόσφαιρα της γης στα κατώτερα στρώματά της αποτελείται από:

- μίγμα αερίων που αποτελούν αυτό που ονομάζουμε **ξηρό αέρα**

- νερό με τη μορφή στερεού, υγρού ή αερίου
- διάφορα στερεά ή υγρά σωματίδια

Η ατμόσφαιρα είναι χημικά ομογενής μέχρι τα 100 km, συνεπώς έχει μέχρι το ύψος αυτό σταθερή σύνθεση και σταθερό μέσο μοριακό βάρος. Τα κύρια αέρια του ξηρού αέρα είναι το μοριακό άζωτο (N_2), το μοριακό οξυγόνο (O_2) και το αργό (A), σε σωματιδιακό ποσοστό ~78%, 21% και 0,9%, αντίστοιχα. Το υπόλοιπο 0,1% αφορά δευτερεύοντα αέρια, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), τα ευγενή και αδρανή αέρια, ήλιο (He), νέο (Ne) και κρυπτό (Kr), ατομικό υδρογόνο (H) και όζον (O_3). Οι υδρατμοί που θεωρούνται φορείς της θερμικής ενέργειας του πλανήτη μας είναι υπεύθυνοι για τη δημιουργία νεφών, ομιχλών και άλλων ατμοσφαιρικών υδατωδών κατακρημνισμάτων (δηλαδή σωματιδίων που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, περιέχουν νερό στις διάφορες καταστάσεις του και αναγκάζονται σε καθοδική κίνηση, όπως είναι η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι κ.λπ.). Τέλος, τα αιωρούμενα σωματίδια που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο με την επίδρασή τους σε διάφορα μετεωρολογικά φαινόμενα, διακρίνονται σε αυτά που έχουν γήινη προέλευση, όπως είναι η σκόνη, η γύρη, ο καπνός, το αλάτι κ.λπ., και σε αυτά που έχουν κοσμική προέλευση, όπως είναι η αστρική σκόνη. Αριθμητικά μεγέθη για την ατμοσφαιρική χημική σύσταση σε ύψος κάτω των 100 km δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Κύρια χημική σύσταση της ατμόσφαιρας μέχρι τα 100 km

	Συστατικό	Μορ. Βάρος	Αναλογία
1	Άζωτο (N_2)	28,02	78,08 %
2	Οξυγόνο (O_2)	32,00	20,95 %
3	Αργό (A)	39,94	0,93 %
4	Υδρατμοί (H_2O)	18,02	0,01–5 %
5	Διοξ. Άνθρακα (CO_2)	44,01	400 ppm
6	Νέο (Ne)	20,18	18 ppm
7	Ήλιο (He)	4,00	5 ppm
8	Κρυπτό (Kr)	83,70	1 ppm
9	Υδρογόνο (H_2)	2,02	0,5 ppm
10	Όζον (O_3)	48,00	1–12 ppm

Άνω των 100 km ο βαρυτικός διαχωρισμός των αερίων συστατικών επικρατεί της μίξης ώστε η αναλογία των ελαφρών συστατικών να αυξάνεται με το ύψος σε βάρος των βαρύτερων, με αποτέλεσμα το μέσο μοριακό βάρος να μειώνεται με το ύψος. Επιπλέον τα ανώτερα ύψη χαρακτηρίζονται από δραματικές μεταβολές στην ατμοσφαιρική σύσταση του Πίνακα 1 λόγω απορρόφησης της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας μέσω φωτοδιάσπασης¹ και φωτοϊονισμού², όπως και μιας ακολουθίας δευτερογενών χημικών αντιδράσεων. Έτσι, άνω των 120 km το περισσότερο οξυγόνο είναι σε ατομική μορφή λόγω φωτοδιάσπασης του μοριακού οξυγόνου και μοριακής διάχυσης. Γύρω στα 500 km η ατμόσφαιρα περιέχει

¹ **Φωτοδιάσπαση** ονομάζεται είδος πυρηνικής αντίδρασης κατά την οποία ένας πυρήνας ατόμου απορροφά ακτινοβολία υψηλής ενέργειας με αποτέλεσμα τη μετατροπή του σε άλλο πυρήνα με ταυτόχρονη εκπομπή νετρονίου ή πρωτονίου.

² Κατά το **φωτοϊονισμό**, η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη οδηγεί στη δημιουργία φορτισμένων σωματιδίων.

κυρίως ατομικό οξυγόνο και ίχνη ατομικού αζώτου, ενώ άνω των 1000 km επικρατούν τα ελαφρά άτομα ηλίου (He) και υδρογόνου (H).

Εκτός από την περιγραφή της σύστασης του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια μικρή αναφορά και στην κλιματολογική και βιολογική σημασία των κυριοτέρων συστατικών του ξηρού αέρα.

1. ΑΖΩΤΟ

Είναι το αφθονότερο ατμοσφαιρικό αέριο και απαντά σχεδόν στο σύνολο του στην ατμόσφαιρα και μόνο πολύ μικρά ποσά του βρίσκονται στη βιόσφαιρα και σε μικρές αποθέσεις βιολογικής προέλευσης. Το Άζωτο (N_2) και το Αργό (A) είναι αδρανή αέρια και χρησιμεύουν κυρίως στην αραίωση του οξυγόνου. Μόνο κάτω από ορισμένες συνθήκες που συναντώνται στις πυρκαγιές των δασών, στις διάφορες πηγές καύσης και στις μηχανές εσωτερικής καύσης, είναι δυνατό το Άζωτο να πάρει μέρος στις χημικές αντιδράσεις.

2. ΟΞΥΓΟΝΟ

Μετά από το άζωτο, το οξυγόνο είναι το πιο διαδεδομένο αέριο της ατμόσφαιρας. Αυτό καταναλώνεται και ανανεώνεται συνέχεια με τη βοήθεια χημικών αντιδράσεων της Λιθόσφαιρας³, της Βιόσφαιρας⁴ και των υδρατμών. Μέσα στα όρια των σφαλμάτων μέτρησης, η ποσότητα του οξυγόνου στην κατώτερη ατμόσφαιρα είναι σταθερή.

Το οξυγόνο εισέρχεται στην ατμόσφαιρα από δύο πηγές. Η μια είναι η φωτοδιάσπαση του νερού, που λαμβάνει χώρα στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας ενώ το παραγόμενο H_2 διαφεύγει τελικά στο διάστημα.

Η άλλη πηγή είναι η φωτοσύνθεση που συνδέεται με τη συσσώρευση της οργανικής ύλης, κυρίως του άνθρακα, στο φυτικό κόσμο. Η φωτοσύνθεση χρησιμοποιεί ορατό φως που δε δεσμεύεται από την αυξανόμενη συγκέντρωση του οξυγόνου που παράγεται με τη φωτοδιάσπαση στα μεγάλη ύψη

Φυσικά, μια ποσότητα του οξυγόνου της ατμόσφαιρας δεσμεύεται από τη Βιόσφαιρα κατά τις καύσεις. Το οξυγόνο που υπάρχει, σήμερα, στην ατμόσφαιρα θεωρείται ότι είναι όλο βιολογικής προέλευσης γιατί αφενός μεν το οξυγόνο που παράγεται από τη φωτοδιάσπαση είναι μικρής ποσότητας αφετέρου δε, η αρχική ποσότητα του οξυγόνου, θα ξοδευόταν αμέσως κατά τη διάβρωση των πετρωμάτων αν δεν υπήρχε ο βιολογικός παράγοντας. Επιπρόσθετα, ο μέσος χρόνος παραμονής ενός ατόμου στην ατμόσφαιρα είναι της τάξης των 1000 χρόνων.

³ Ως **Λιθόσφαιρα** χαρακτηρίζεται το εξωτερικό δύσκαμπτο περίβλημα της Γης. Περιλαμβάνει το φλοιό και μέρος του στερεού ανώτερου μανδύα. Το πάχος της λιθόσφαιρας κυμαίνεται ανάλογα το πάχος του φλοιού.

⁴ Ως **Βιόσφαιρα** χαρακτηρίζεται το εξωτερικό περίβλημα της Γης. Περιλαμβάνει τον αέρα, το έδαφος, το οικολογικό σύστημα που ενσωματώνει όλους τους ζωντανούς οργανισμούς και τις μεταξύ τους σχέσεις, περιλαμβανόμενης της αλληλεπίδρασης τους με τα στοιχεία της λιθόσφαιρας (πετρώματα), της υδρόσφαιρας (νερό), και της ατμόσφαιρας (αέρας).

3. ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Πέρα από τα βασικά συστατικά του ξηρού καθαρού ατμοσφαιρικού αέρα (N_2 , O_2 , A) σημαντικό ρόλο στη θερμο-οικονομία του πλανήτη παίζει και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) γιατί παρά το ότι παρουσιάζει μικρή συγκέντρωση είναι σχεδόν διαπερατό στην εισερχόμενη μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία και απορροφά πολύ έντονα τη μεγάλου μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας επανεκπέμπει πάλι προς τη γη. Με τον τρόπο αυτό, δηλαδή της απορρόφησης μέρους της γήινης ακτινοβολίας (υπέρυθρη ακτινοβολία) που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και της επανεκπομπής πάλι μέρους αυτής πίσω στη γη, το CO_2 ανακόπτει το ρυθμό ψύξης της γης, ενώ ταυτόχρονα συμβάλλει στην ψύξη της ανώτερης ατμόσφαιρας. Η κατακράτηση μέρους της θερμικής ακτινοβολίας (γήινη ακτινοβολία) από το CO_2 συντελεί τόσο στη θέρμανση όσο και στην ενεργοποίηση της ατμόσφαιρας στα κατώτερα στρώματα της. Το φαινόμενο αυτό, είναι γνωστό σαν «*φαινόμενο θερμοκηπίου*».

Η περιεκτικότητα του (περίπου 0.03% κατ' όγκο) μέσα στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται χρονικά και τοπικά. Οι φυσικές δεξαμενές του CO_2 είναι οι ωκεανοί, τα ιζηματογενή ανθρακικά πετρώματα, η βιόσφαιρα και η ατμόσφαιρα.

Το διοξείδιο του άνθρακα εισέρχεται στην ατμόσφαιρα από:

- τις διεργασίες των ζωντανών οργανισμών τόσο της ξηράς όσο και της θάλασσας (δηλαδή αναπνοή των ζώων και των φυτών)
- την αποσύνθεση των οργανικών στοιχείων μέσα στο έδαφος
- τις καύσεις της οργανικής ύλης (άνθρακας, πετρέλαιο, ξύλα, υγραέριο κλπ.)
- φυσικές πηγές (εκρήξεις των ηφαιστειών, αέρια των θερμοπηγών, διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων κλπ.)

Παράλληλα με τη συνεχή παραγωγή του CO_2 , υπάρχει και αντισταθμιστικός μηχανισμός που δεσμεύει ποσότητα αυτού οπότε και διατηρείται κατά τον τρόπο αυτό ένα δυναμικό ισοζύγιο. Η δέσμευση αυτή του CO_2 γίνεται με τη βοήθεια των παρακάτω διαδικασιών:

- τη φωτοσύνθεση, που μετακινεί ετήσια τα 3% της ολικής πλανητικής ποσότητας του CO_2
- στους ωκεανούς, το CO_2 διαλύεται μέσα στο νερό και ένα μέρος αυτού χρησιμεύει για τη δημιουργία των ανθρακικών ενώσεων (υπό μορφή σκελετών και κελυφών των θαλάσσιων οργανισμών, κλπ.), ενώ το υπόλοιπο, περίπου 1%, διατηρείται διαλυμένο στο νερό.
- στην ξηρά, νεκρά οργανικά υλικά μετατρέπονται σε χούμο που μπορεί να δημιουργήσει ένα νέο απόθεμα καυσίμων στο απώτερο μέλλον.

Εξαιτίας της μεγάλης επίδρασης του CO_2 πάνω στο θερμικό ισοζύγιο του συστήματος «Γη-Ατμόσφαιρα» το πρόβλημα που συζητιέται σήμερα από πολλούς ερευνητές είναι αν η συγκέντρωση του CO_2 μέσα στην ατμόσφαιρα αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια και πόσο. Από συστηματικές μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν στο χρονικό διάστημα 1870-1970, προκύπτει ότι η ολική ποσότητα του CO_2 έχει

αυξηθεί κατά 10-11%, σαν αποτέλεσμα της καύσης μεγάλης ποσότητας άνθρακα και πετρελαίου από τη σύγχρονη βιομηχανοποιημένη κοινωνία.

1.4 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε περιοχές, ή στρώματα, ανάλογα με την μεταβολή κάποιας χαρακτηριστικής φυσικής ποσότητάς της με το ύψος. Παραδοσιακά, για κάθε ατμοσφαιρικό στρώμα, χρησιμοποιείται η καταληκτική λέξη σφαίρα ενώ για το ανώτατο ύψος μέχρι το οποίο εκτείνεται χρησιμοποιείται η λέξη παύση, έτσι για παράδειγμα, η στρατόπαυση είναι το άνω όριο της στρατόσφαιρας. Λόγω της ατμοσφαιρικής μεταβλητότητας, είναι προφανές ότι το υψομετρικό επίπεδο που αντιστοιχεί στην παύση, συνήθως δεν είναι ακριβές, αλλά αφορά ένα εύρος υψών που μπορεί, στην περίπτωση κάποιων σφαιρών, όπως της θερμόσφαιρας, να αντιπροσωπεύει ακόμα και αρκετές δεκάδες χιλιόμετρα. Από μετεωρολογική άποψη, οι παράμετροι που παρουσιάζουν ενδιαφέρον ως προς τη μεταβολή τους με το ύψος είναι:

- η θερμοκρασία του αέρα
- η πυκνότητα του αέρα
- η ατμοσφαιρική πίεση

1.4.1 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

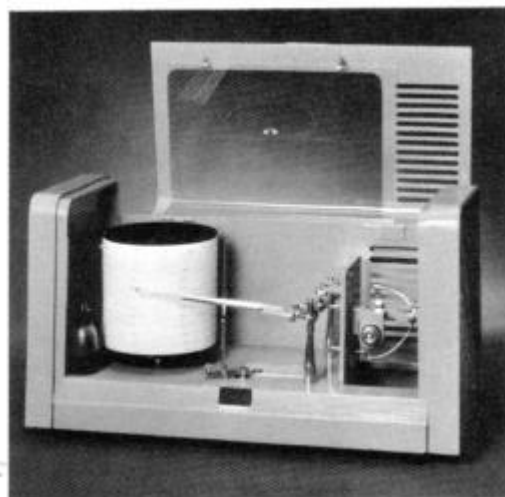
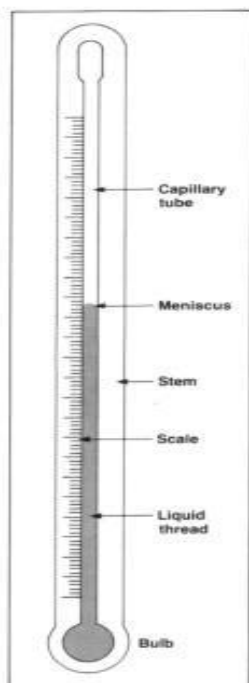
Η θερμοκρασία του αέρα μετριέται διεθνώς υπό σκιάν με ειδικά υδραργυρικά θερμοόμετρα και καταγράφεται με ειδικό αυτογραφικό όργανο, τον θερμογράφο. Τα θερμοόμετρα αυτά είναι τοποθετημένα μέσα στον λεγόμενο "μετεωρολογικό κλωβό" όπου εξασφαλίζεται η μέτρηση πάντοτε υπό σκιάν. Η μέτρηση της θερμοκρασίας του αέρα γίνεται από τον "παρατηρητή" μετεωρολόγο προσαρμόζοντας το μάτι του στην ένδειξη της επισυναπτόμενης κλίμακας που εφάπτεται με την ελεύθερη επιφάνεια του υδραργύρου. Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται ένα υδραργυρικό θερμοόμετρο και ένας κλασικός θερμογράφος.

Για τα θερμοόμετρα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις θερμομετρικές κλίμακες: η κλίμακα Celcius (C), η κλίμακα Fahrenheit (F) και η κλίμακα Kelvin (K). Μεταξύ των ενδείξεων της κλίμακας Celcius και της κλίμακας Fahrenheit ισχύει η σχέση:

$$F = (1,6 \times C) + 32$$

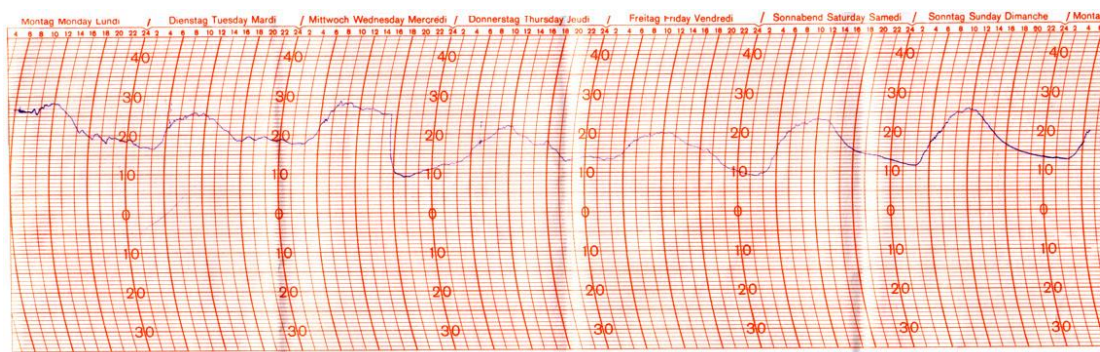
Μεταξύ των κλιμάκων Celcius και Kelvin ισχύει η σχέση:

$$K = C + 273$$



Εικόνα 1 Θερμόμετρο υδραργύρου και θερμογράφος [Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/>]

Ο κύλινδρος εντός του οποίου υπάρχει ωρολογιακός μηχανισμός μπορεί να περιστρέφεται περί τον άξονά του πλήρως εντός 24ώρου ή μιας εβδομάδας έτσι ώστε η γραφίδα να καταγράφει συνεχώς τις τιμές της θερμοκρασίας πάνω στη βαθμονομημένη ταινία που εφάπτεται αυτού του κυλίνδρου. Στην Εικόνα 2 απεικονίζεται μια τέτοια ταινία καταγραφής της θερμοκρασίας του αέρα για μια ορισμένη περίοδο.



Εικόνα 2 Εβδομαδιαία καταγραφή θερμοκρασίας από θερμογράφο [Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/>]

Η θερμοκρασία είναι μια βασική ατμοσφαιρική παράμετρος, της οποίας η μεταβολή με το ύψος χρησιμοποιείται παραδοσιακά στον καθορισμό της ατμοσφαιρικής στρωματικής δομής. Τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας είναι:

1. ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΑ

Εκτείνεται από το έδαφος έως την τροπόπαυση η οποία ευρίσκεται σε ύψος 10-18 km ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του χρόνου (πχ. 6-8 km ύψος στους Πόλους, 12 km στα μέσα

γεωγραφικά πλάτη και ~18 km στον Ισημερινό). Η τροπόσφαιρα περιέχει περίπου το 85-90 % της μάζας της ατμόσφαιρας και χαρακτηρίζεται από:

- τη μείωση της θερμοκρασίας με την αύξηση του ύψους [τυπική ρυθμός μείωσης της θερμοκρασίας με το ύψος ή θερμοβαθμίδα = 9.7 K / km για τον ξηρό αέρα]
- δυναμική αστάθεια (τυρβώδης ατμόσφαιρα)
- την έντονη κατακόρυφη ανάμιξη των αερίων μαζών της με παράλληλη διανταλλαγή ενέργειας, λόγω κατακόρυφης μεταφοράς που οδηγεί σε μία συνεχή ανάμιξη των αερίων ρύπων στην τροπόσφαιρα

Η τροπόσφαιρα που έλαβε το όνομά της από τις λέξεις τρόπος και σφαίρα, από τον διάσημο Βρετανό Μετεωρολόγο Sir Napier Shaw, περιλαμβάνει το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ), που εκτείνεται έως ύψος 1-2 km και την ελεύθερη τροπόσφαιρα από την κορυφή του ΑΟΣ έως την τροπόπαυση.

Σημείωση: Η τροπόπαυση, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (WMO) ορίζεται σαν το χαμηλότερο επίπεδο της ατμόσφαιρας στο οποίο ο ρυθμός μείωσης της θερμοκρασίας με το ύψος μειώνεται σε τιμές μικρότερες των 2 K/km και επιπλέον, ο μέσος όρος του ρυθμού μείωσης της θερμοκρασίας με το ύψος, μεταξύ του χαμηλότερου επιπέδου της ατμόσφαιρας και οποιουδήποτε ανώτερου επιπέδου (εντός εύρους το πολύ 2 χλμ.) δεν υπερβαίνει τα 2 K/km (Holton et al., 1995).

2. ΣΤΡΑΤΟΣΦΑΙΡΑ

Εκτείνεται από την τροπόπαυση έως τη στρατόπαυση (~45-55 km ύψος). Η στρατόσφαιρα χαρακτηρίζεται από:

- την αύξηση της θερμοκρασίας με την αύξηση του ύψους, που ισχύει όμως για ύψη > 20 km (λόγω έντονης απορρόφησης της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας από το στρώμα του όζοντος)
- την σχεδόν τέλεια απουσία υδρατμών
- την ελάχιστη κατακόρυφη ανάμιξη των αερίων μαζών της

Η στρατόσφαιρα, που ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο μετεωρολόγο Léon Philippe Teisserenc de Bort, παρουσιάζει μια περιοχή (~11-20 km στα μέσα γεωγραφικά πλάτη), όπου η θερμοκρασία παραμένει σταθερή με το ύψος. Η στρατόσφαιρα περιέχει περίπου το 90% του ατμοσφαιρικού όζοντος. Ο τυπικός χρόνος παραμονής μιας αέριας μάζας που έχει προέλθει από την τροπόσφαιρα είναι της τάξης των 1-3 χρόνων.

3. ΜΕΣΟΣΦΑΙΡΑ

Εκτείνεται από την στρατόπαυση έως τη μεσόπαυση (~80-90 km ύψος) και χαρακτηρίζεται από:

- τη μείωση της θερμοκρασίας με την αύξηση του ύψους, έως τη χαμηλότερη τιμή της γήινης θερμοκρασίας (~ - 88° C)
- την έντονη κατακόρυφη ανάμιξη των αερίων μαζών της

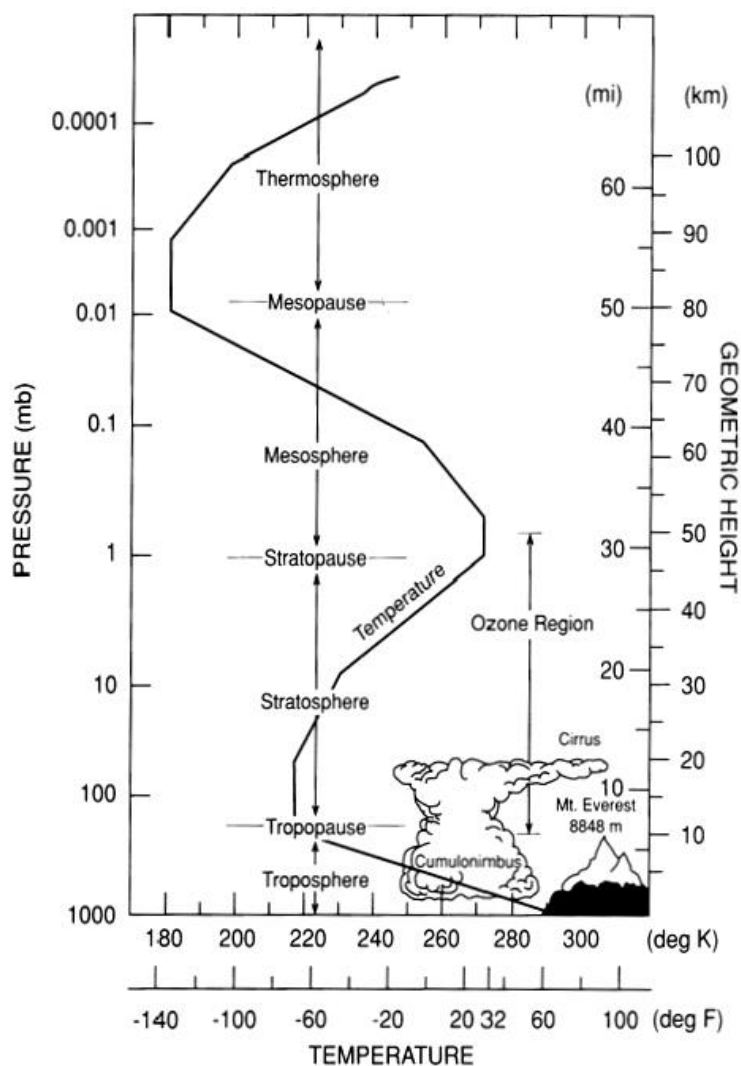
4. ΘΕΡΜΟΣΦΑΙΡΑ

Εκτείνεται από την μεσόπαυση έως τα 110 km ύψος περίπου και χαρακτηρίζεται από:

- την αύξηση της θερμοκρασίας με την αύξηση του ύψους, λόγω της απορρόφησης της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας από το οξυγόνο και το άζωτο. Η θερμοκρασία της θερμόσφαιρας εξαρτάται άμεσα από την ηλιακή δραστηριότητα.

- την ελάχιστη κατακόρυφη ανάμιξη των αερίων μαζών της. Μεταξύ της μεσόσφαιρας και της θερμόσφαιρας ευρίσκεται η ιονόσφαιρα, στην οποία παρατηρείται μερικός ιονισμός των ατμοσφαιρικών συστατικών από την ηλιακή ή την σωματιδιακή ακτινοβολία. Η ιονόσφαιρα εκτείνεται από τα 80 έως τα 300 km περίπου.

Τα παραπάνω απεικονίζονται διαγραμματικά στην Εικόνα 3, όπου ο οριζόντιος άξονας είναι η θερμοκρασία (σε μονάδες μέτρησης Κέλβιν και Φάρεναϊτ) ενώ ο κατακόρυφος άξονας απεικονίζει την πίεση και το αντίστοιχο ύψος.



Εικόνα 3 Η δομή της γήινης ατμόσφαιρας [Brasseur et al. 1999]

1.4.2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων για την περίπτωση του ξηρού ατμοσφαιρικού αέρα έχει τη μορφή:

$$p = \rho R_a T \quad (1)$$

όπου ρ η πυκνότητα του αέρα, R_a η ειδική σταθερά του αέρα με τιμή $R_a = 287.05 \frac{J}{kgK}$ και T η θερμοκρασία σε K. Επίσης θεωρούμε ότι η ατμοσφαιρική πίεση $p(z)$ ελαττώνεται με την αύξηση του ύψους z σύμφωνα με τη υδροστατική εξίσωση:

$$dp = -\rho g dz \quad (2)$$

Εάν τώρα θεωρήσουμε ότι η θερμοκρασία παραμένει σταθερή με το ύψος στην κατώτερη ατμόσφαιρα (πχ. έως ύψος 2 km) (παράδειγμα ισόθερμης ατμόσφαιρας), δηλ. $T=T_0$ =σταθ. συνδυάζοντας τις σχέσεις (1), (2) έχουμε ότι η πυκνότητα μεταβάλλεται με το ύψος με βάση τη σχέση:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{g}{RT_0} z\right)$$

1.4.3 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ

Ο ατμοσφαιρικός αέρας λόγω της κινητικής ενέργειας των μορίων του ασκεί πίεση πάνω στην επιφάνεια των διαφόρων σωμάτων, η οποία καλείται **ατμοσφαιρική πίεση**. Εάν ο ατμοσφαιρικός αέρας βρίσκεται σε ηρεμία, η κίνηση των μορίων του είναι εντελώς τυχαία και κατά συνέπεια η ατμοσφαιρική πίεση ασκείται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Αυτή ονομάζεται στατική πίεση ή **βαρομετρική πίεση**. Μπορούμε να ορίσουμε την ατμοσφαιρική πίεση σαν το βάρος της υπερκείμενης στήλης αέρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους ή οποιασδήποτε άλλης επιφάνειας πάνω από αυτό, στη μονάδα επιφανείας. Δηλαδή:

$$p = \frac{B}{A}$$

όπου B: Βάρος και A: Επιφάνεια. Στη Μετεωρολογία σαν μονάδα πίεσης λαμβάνεται το χεκτοπασκάλ (hPa). Ένα hPa = 100 Pa (1 Pa = 1 N/m²). Μέχρι πρόσφατα σαν μονάδα πίεσης χρησιμοποιείτο το μίλιπαρ (mb) (1 mb = 1 hPa).

Η ατμοσφαιρική πίεση είναι ένα από τα σπουδαιότερα μετεωρολογικά στοιχεία διότι οι καιρικές συνθήκες είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ατμοσφαιρική πίεση και τις μεταβολές αυτής, χρονικά και τοπικά. Ένα άλλο μετεωρολογικό στοιχείο που είναι στενά συνδεδεμένο με την ατμοσφαιρική πίεση και τις μεταβολές της είναι ο άνεμος.

Ημερήσια μεταβολή της πίεσης

Η βαρομετρική πίεση σε ένα τόπο παρουσιάζει τυχαίες και κανονικές μεταβολές. Οι τυχαίες μεταβολές οφείλονται στις διεργασίες της γενικής κυκλοφορίας τη ατμόσφαιρας η οποία προκαλεί τις

συνεχείς μετακινήσεις των βαρομετρικών συστημάτων (βαρομετρικά χαμηλά, αντικυκλώνες κλπ) ενώ οι κανονικές είναι ως επί το πλείστον περιοδικές και οφείλονται σε σταθερούς παράγοντες.

Η ημερήσια μεταβολή της πίεσης είναι περιοδική και χαρακτηρίζεται από μικρό πλάτος, το οποίο στα μέσα και ανώτερα γεωγραφικά πλάτη ανέρχεται σε μερικά δέκατα του hPa ενώ στις τροπικές και ιδιαίτερα στις Ισημερινές περιοχές φθάνει τα 3-4 hPa.

Οι ημερήσιες διακυμάνσεις είναι πιθανό να οφείλονται στην περιοδική θέρμανση της ατμόσφαιρας από την ηλιακή ακτινοβολία και λόγω αυτής στη διαστολή της ατμόσφαιρας στην πλευρά που φωτίζεται από τον Ήλιο. Εκτός αυτού, η ατμόσφαιρα της Γης λόγω της έλξης από τη Σελήνη και τον Ήλιο, υπόκειται σε παλιρροιακές κινήσεις, αλλά το μέγεθος αυτών είναι μικρό σε σύγκριση με αυτό που παρατηρείται στους ωκεανούς, λόγω της μικρής πυκνότητας του αέρα.

Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης με το ύψος

Η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνεται με το ύψος σύμφωνα με τη σχέση:

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{gz}{R_a T}\right)$$

όπου p_0 η πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας, g η επιτάχυνση της βαρύτητας, T η μέση θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού στρώματος Z και R_a η παγκόσμια σταθερά των αερίων.

Αν λύσουμε την πιο πάνω εξίσωση ως προς z βρίσκουμε:

$$z = 29.3 \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_0}{p}\right)$$

Οι εξισώσεις αυτές καλούνται «υψομετρικές εξισώσεις» (altimeter equations) και χρησιμοποιούνται για την βαθμολογία των υψομέτρων των αεροπλάνων (altimeters).

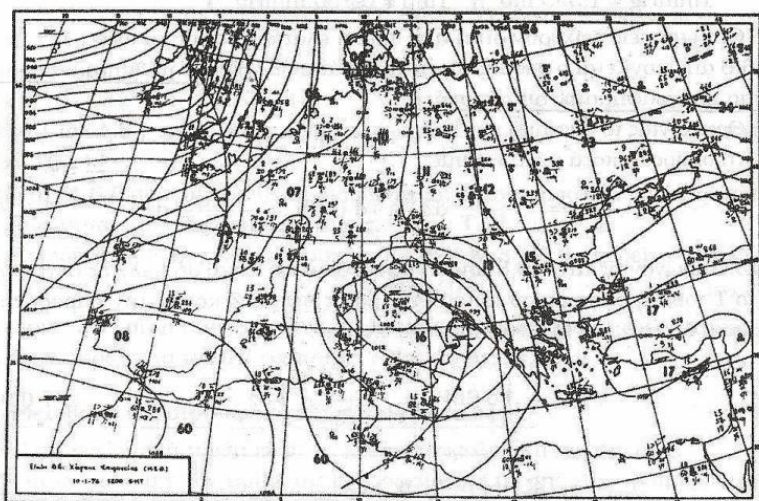
Ισοβαρείς καμπύλες

Ισοβαρείς καμπύλες είναι οι καμπύλες που προκύπτουν όταν ενώσουμε, πάνω σε ένα γεωγραφικό χάρτη, όλα τα σημεία που έχουν την ίδια ατμοσφαιρική πίεση. Είναι φανερό ότι οι ισοβαρείς καμπύλες πάνω στο χάρτη δε θα τέμνονται και δε θα συμπίπτουν. Ο χάρτης που προκύπτει με αυτό τον τρόπο λέγεται «Χάρτης Ισοβαρών Καμπύλων». Οι τιμές των ισοβαρών είναι πάντα ανηγμένες στη Μέση Στάθμη της Θάλασσας και γενικά οι χάρτες αυτοί ονομάζονται «Χάρτες Μέσης Στάθμης Θάλασσας».

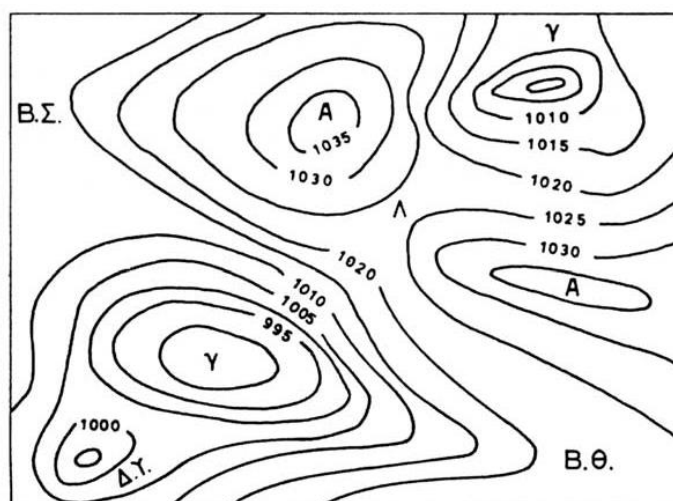
Οι ισοβαρείς καμπύλες παρουσιάζουν, πάνω στους χάρτες καιρού, διάφορες μορφές ανάλογα με τον τρόπο κατανομής της πίεσης. Οι πιο γνωστές μορφές σε συντομία είναι:

- **Ύφεση ή Βαρομετρικό Χαμηλό (Depression ή Low):** Οι ισοβαρείς καμπύλες είναι κλειστές κατά κύριο λόγο και η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης που υποδηλώνουν ελαττώνεται από την περιφέρεια προς το κέντρο.

- **Αντικυκλώνας ή Βαρομετρικό Υψηλό (Anticyclone ή High):** Οι ισοβαρείς καμπύλες είναι κλειστές κατά κύριο λόγο και η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης που υποδηλώνουν αυξάνεται από την περιφέρεια προς το κέντρο.
- **Σφήνα ή Σκάφη (trough) χαμηλών πιέσεων:** Οι ισοβαρείς καμπύλες εκτείνονται από την ύφεση σε σχήμα γράμματος V, ως επί το πλείστον και η πίεση ελαττώνεται από τα έξω προς τα μέσα.
- **Σφήνα ψηλών πιέσεων (Ridge):** Οι ισοβαρείς καμπύλες εκτείνονται σαν επιμήκειες γλώσσες από τον αντικυκλώνα σε σχήμα γράμματος U περίπου και η πίεση αυξάνεται από τα έξω προς τα μέσα.
- **Βαρομετρικός Λαιμός (Col):** Είναι η περιοχή που περιλαμβάνεται μεταξύ δύο υφέσεων και δύο αντικυκλώνων των οποίων η διάταξη είναι σταυροειδής.



Εικόνα 4 Τυπικός χάρτης ισοβαρών καμπύλων. [Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/>]



Εικόνα 5 Μορφές ισοβαρών καμπύλων [Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/>]

Κεφάλαιο 2

Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ο Ήλιος είναι η κύρια πηγή ενέργειας που είναι διαθέσιμη στα επιφανειακά στρώματα της Γης και της ατμόσφαιράς της, σε ποσοστό που αντιπροσωπεύει μόλις τα δύο δισεκατομμυριοστά της συνολικής ενέργειας που εκπέμπει ο Ήλιος στο πλανητικό διάστημα.

Η ενέργεια από τον Ήλιο φτάνει σε εμάς με τη μορφή **ακτινοβολίας**. Όλα τα υλικά, όπως είναι γνωστό από τη Φυσική, εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα όταν βρίσκονται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες του απολύτου μηδενός (-273°C). Ο τρόπος διάδοσης της ηλιακής ενέργειας, καθώς και η ίδια η ηλιακή ενέργεια ορίζονται σαν ακτινοβολία. Η ακτινοβολία διακρίνεται εύκολα από τις άλλες μορφές διάδοσης της ενέργειας, όπως είναι ο μηχανισμός της αγωγής ή της μεταφοράς, από την ταχύτητα διάδοσης (ταχύτητα του φωτός) και από το γεγονός ότι δεν απαιτείται η παρουσία υλικού μέσου για τη διάδοσή της.

Η μεγάλη ποικιλία των κλιμάτων, από τα μόνιμα χιόνια και τις αρνητικές θερμοκρασίες των πόλων της Γης έως τις φλεγόμενες τροπικές έρημους της Αφρικής και της Ασίας, οφείλεται στο γεγονός ότι τα ποσά της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης ποικίλλουν σημαντικά σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος. Η ηλιακή ενέργεια είναι παρούσα στην πορεία όλων των φυσικών και χημικών διεργασιών, καθώς και των φαινομένων που συμβαίνουν στη φύση. Οι ηλιακές ακτίνες, κατά την πορεία τους μέσα στην ατμόσφαιρα της Γης, προκαλούν μια σειρά από φαινόμενα, μεταξύ των οποίων μπορούμε να αναφέρουμε το μπλε χρώμα του ουρανού, το διάχυτο φως, το ουράνιο τόξο, κ.λπ.

Ο Ήλιος με την άνιση θέρμανση που προκαλεί στα διάφορα τμήματα της επιφάνειας της Γης, καθώς και στον παρακείμενο αέρα, συντελεί στη δημιουργία των ανέμων και είναι υπεύθυνος για τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Ένα άλλο σημαντικό παράδειγμα της δράσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η εξάτμιση τεράστιων μαζών νερού που οδηγεί στη δημιουργία των νεφών, της βροχόπτωσης και των ποταμών. Οι ποταμοί, όπως και ο άνεμος, αποτελούν δευτερεύουσες καθαρές πηγές ενέργειας.

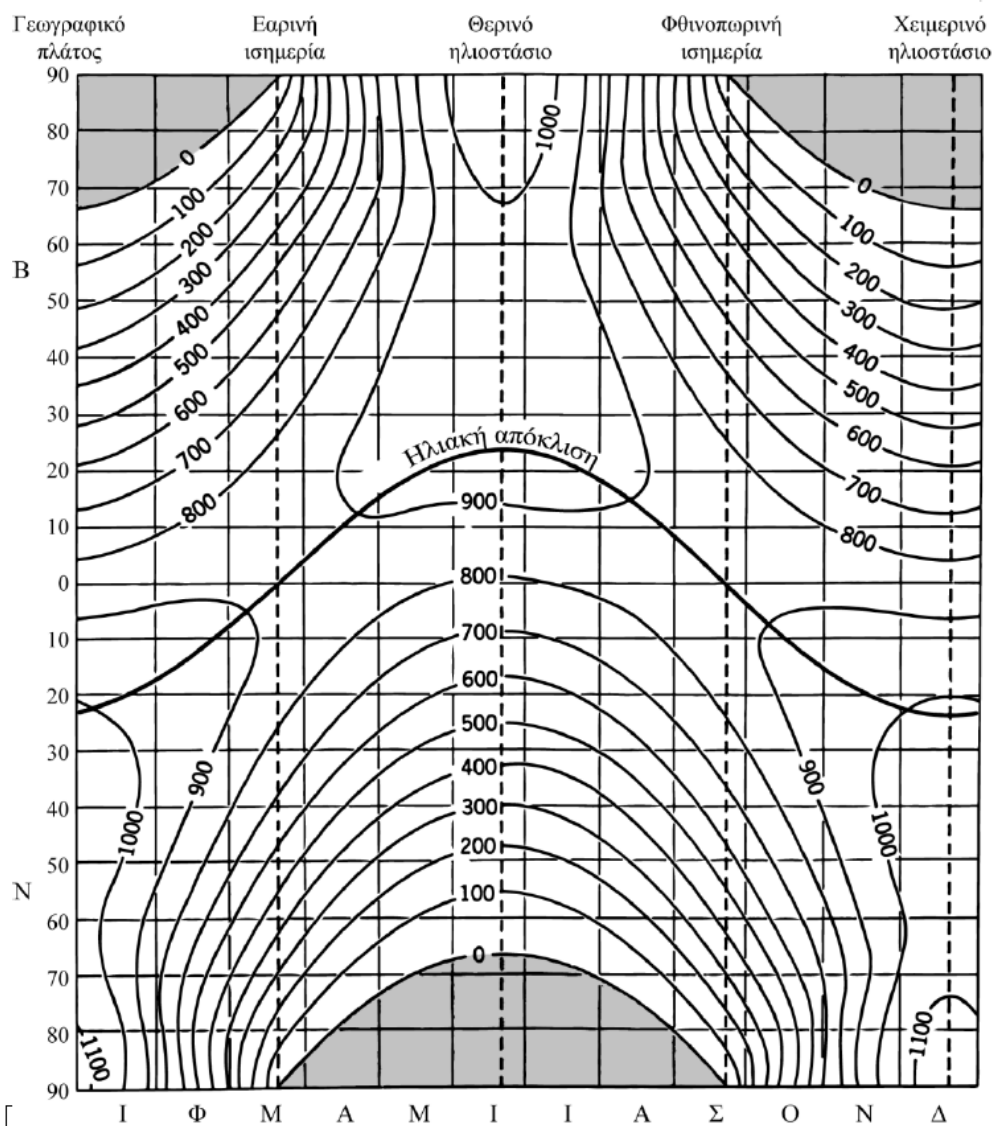
Τα φυτά μέσα από τις διεργασίες της φωτοσύνθεσης αφομοιώνουν και κατακρατούν σχεδόν το 3% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα σημερινά αποθέματα των ορυκτών καυσίμων του πετρελαίου και του άνθρακα δεν είναι τίποτε άλλο παρά αποθήκες της ηλιακής ενέργειας η οποία συσσωρεύτηκε κατά τη διάρκεια των μακρινών γεωλογικών εποχών.

2.1 Η ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το ολικό ποσό της ενέργειας το οποίο λαμβάνεται κατά τη διάρκεια μιας ημέρας στην επιφάνεια ενός τετραγωνικού εκατοστού και ανάλογα με την εποχή του έτους προσδιορίζεται με βάση τις σχέσεις της σφαιρικής γεωμετρίας, όπου ως δεδομένα χρησιμοποιούνται η ηλιακή σταθερά, το γεωγραφικό πλάτος και η ακτίνα της Γης. Αυτό το ποσό δίνεται παραστατικά στην Εικόνα 6, από την ανάλυση της οποίας φαίνεται πώς ακριβώς κυμαίνεται η ηλιακή ακτινοβολία σε θερμίδες ανά τετραγωνικό εκατοστό επιφάνειας και ανά ημέρα, ανάλογα με την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος. Φαίνεται ότι οι πολικές περιοχές είναι οι χώροι οι οποίοι δέχονται το μεγαλύτερο ποσό της ενέργειας κατά τη διάρκεια των θερινών τους ηλιοστασίων, που αποτελούν την περίοδο της συνεχούς ημέρας. Το ποσό της ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του ηλιοστασίου του Δεκεμβρίου στο νότιο ημισφαίριο θεωρητικά είναι μεγαλύτερο από αυτό που δέχεται το βόρειο ημισφαίριο κατά τη διάρκεια του ηλιοστασίου του Ιουνίου, εξαιτίας της ελλειπτικής τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο.

Τα γεωγραφικά πλάτη πέραν των 65° δεν δέχονται καθόλου ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των χειμερινών ηλιοστασίων των δύο ημισφαιρίων. Η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας η οποία φτάνει στη Γη (χωρίς ακόμη να ληφθεί υπόψη ο ουσιαστικός ρόλος τον οποίο διαδραματίζουν τα αέρια της ατμόσφαιρας) δεν έχει την ίδια ένταση κατά τη διάρκεια όλων των μηνών του έτους στον ίδιο τόπο, αλλά και κατά την ίδια χρονική στιγμή διαφέρει από τον ένα τόπο στον άλλο.



Εικόνα 4 Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στα ανώτερα όρια της ατμόσφαιρας [Ζαμπάκας, 1981]

2.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Η παρουσία της ατμόσφαιρας αλλοιώνει την ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται μέσα από αυτήν, με αποτέλεσμα τα πραγματικά ποσά της ηλιακής ενέργειας να είναι διαφορετικά από τα θεωρητικά. Η ατμόσφαιρα δεν είναι απόλυτα διαφανές μέσο για τη διάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας. Μόλις η ηλιακή ακτινοβολία αρχίζει να διαπερνά την ατμόσφαιρα της Γης παρατηρείται μια σειρά αλληλοεπιδράσεων μεταξύ ακτινοβολίας και ατμόσφαιρας που αλλοιώνουν τον ποιοτικό και ποσοτικό χαρακτήρα της ηλιακής ακτινοβολίας. Ένα σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που διασχίζει την ατμόσφαιρα απορροφάται ή σκεδάζεται (διαχέεται) προς όλες τις κατευθύνσεις από τα συστατικά της ατμόσφαιρας, ενώ ένα τμήμα αυτής ανακλάται πίσω στο διάστημα.

Οι κύριες ουσίες οι οποίες απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία σε ειδικές περιοχές του ηλιακού φάσματος είναι το όζον, το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, οι υδρατμοί και η σκόνη. Η διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται τόσο από τα μόρια του αέρα όσο και από τις διάφορες προσμίξεις, τα σταγονίδια του νερού κ.λπ. Η διαδρομή των ηλιακών ακτίνων από την κορυφή της ατμόσφαιρας έως την επιφάνεια της Γης έχει ως αποτέλεσμα την ποιοτική και ποσοτική μεταβολή του ηλιακού φάσματος το οποίο φτάνει στην επιφάνεια της Γης.

Οι επικίνδυνες υπεριώδεις ακτινοβολίες του Ηλίου, με μήκη κύματος μικρότερα των 0,29 μm, δεν φτάνουν ποτέ στην επιφάνεια της Γης. Αυτές υφίστανται εκλεκτική απορρόφηση από το στρατοσφαιρικό όζον (οζονόσφαιρα) και το οξυγόνο. Η απορροφητική δράση του όζοντος προκαλεί μια μείωση της ηλιακής ενέργειας της τάξης του 5% στην ολική ενέργεια που θα υπήρχε στο έδαφος.

Το υπέρυθρο άκρο του φάσματος αραιώνεται από την απορρόφηση των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Το διοξείδιο του άνθρακα, που βρίσκεται κατά κανόνα συγκεντρωμένο στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, ενώ είναι διαπερατό μέχρι μήκη κύματος 1,46 μm, είναι ένας πολύ ισχυρός απορροφητής του ηλιακού φωτός για μεγαλύτερα μήκη κύματος. Επίσης, οι υδρατμοί απορροφούν και στο ορατό μέρος του ηλιακού φάσματος και, επομένως, αποτελούν έναν ισχυρό απορροφητή της ηλιακής ενέργειας.

Το οξυγόνο εκτός από την ισχυρή απορροφητική του δράση στα μικρότερα μήκη κύματος (υπεριώδες, ιώδες, κυανό) απορροφά επίσης και στην ερυθρή περιοχή του ορατού φάσματος (0,69 - 0,76 μ).

Πέρα από αυτήν την απώλεια εξαιτίας της απορρόφησης, η ενέργεια της ηλιακής δέσμης εξασθενεί από τη διάχυση και την ανάκλαση. Η εξασθένιση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαιτίας της διάχυτης ανάκλασης και του σκεδασμού, που υφίσταται από τα μόρια του αέρα, είναι αντιστρόφως ανάλογη της τετάρτης δύναμης του μήκους κύματος της εκπεμπόμενης δέσμης. Έτσι, το φως με μικρό μήκος κύματος ανακλάται πολύ περισσότερο από φως μεγάλου μήκους κύματος. Συνεπώς, στο σκεδαζόμενο φως από τον ουρανό επικρατεί το μικρού μήκους κύματος μέρος του φάσματος, όπως δείχνει και το γαλάζιο χρώμα του ουρανού. Από την άλλη πλευρά, στη δέσμη της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας το τμήμα εκείνο των βραχύτερων κυμάτων εξασθενεί πολύ περισσότερο, καθώς ο Ήλιος βρίσκεται σε χαμηλό ύψος στον ουρανό και η ηλιακή δέσμη διασχίζει πολύ μεγαλύτερη ατμοσφαιρική μάζα. Στην περίπτωση αυτή, η περιοχή της μέγιστης έντασης τοποθετείται προς το ερυθρό άκρο του φάσματος. Για σωματίδια που έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από τα μόρια του αέρα, ο συντελεστής σκεδασμού είναι αντιστρόφως ανάλογος της τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος. Όταν τα σωματίδια είναι αρκετά μεγάλα, η εξασθένιση καθίσταται ανεξάρτητη του μήκους κύματος και ο μηχανισμός του σκεδασμού αντικαθίσταται από εκείνον της διάχυτης ανάκλασης. Επειδή η διάχυτη ανάκλαση είναι ίδια για όλα τα μήκη κύματος, το γαλανό χρώμα του ουρανού γίνεται λιγότερο σαφές όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των μεγάλων

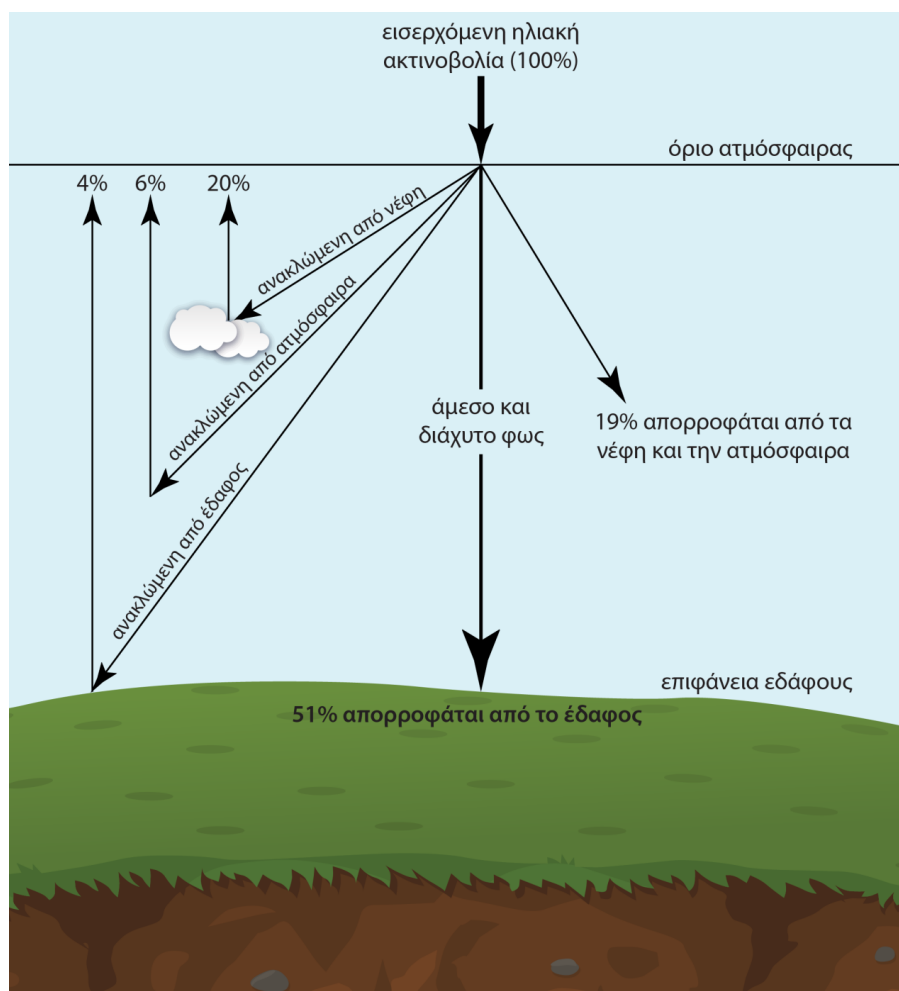
σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Τα μεγάλα σωματίδια είναι κυρίως σκόνη, υδροσταγονίδια και παγοκρυστάλλια.

Το εξασθενημένο από τις παραπάνω διαδικασίες ηλιακό φως φτάνει στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή ακτινοβολίας και αναφέρεται ως άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Παράλληλα όμως η Γη δέχεται και έμμεσο ηλιακό φως, το οποίο αποτελεί προϊόν της διάχυσης και της ανάκλασης των ηλιακών ακτινών από τα ατμοσφαιρικά συστατικά. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται διάχυτη ή έμμεση ηλιακή ακτινοβολία ή ουράνιο φως.

Από το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο σύστημα που ορίζουν η Γη και η ατμόσφαιρα της Γης, μόνο ένα ποσοστό μεταξύ 65% και 70% χρησιμοποιείται για τις ενεργειακές διαδικασίες που συνθέτουν τον καιρό και το κλίμα στη Γη. Το υπόλοιπο ποσό επιστρέφει ανακλώμενο από την ατμόσφαιρα, τα νέφη και το έδαφος πίσω στο διάστημα. Ο λόγος του ανακλώμενου ηλιακού φωτός προς το συνολικό ποσό της ηλιακής ενέργειας που εκπέμπεται από τον Ήλιο εκφράζει την ανακλαστική ικανότητα της Γης και ονομάζεται *λευκαύγεια του πλανήτη* (Albedo). Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μεγάλο και αυτός είναι ο λόγος που η Γη φαίνεται από το διάστημα σαν ένας πολύ φωτεινός πλανήτης. Το αίτιο της μεγάλης τιμής της λευκαύγειας οφείλεται κατά κύριο λόγο στην παρουσία των νεφών στην ατμόσφαιρα της Γης. Τα νέφη ανακλούν προς το διάστημα περίπου το 20-25% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Η συμπεριφορά της επιφάνειας της Γης στην ανάκλαση των ηλιακών ακτινών ποικίλλει ανάλογα με τη δομή και σύσταση του εδάφους, τη φυτοκάλυψη, τη χιονοκάλυψη και την κλίση των ηλιακών ακτίνων, συντελώντας σε μια ανακλαστικότητα της τάξης του 14-15% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι, τελικά ένα ποσοστό 30-35% της ηλιακής ακτινοβολίας επιστρέφει στο διάστημα χωρίς να συνεισφέρει ουσιαστικά στις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη Γη.

Η εναπομείνασα ηλιακή ενέργεια διασχίζει την ατμόσφαιρα, όπου ένα ποσοστό αυτής θερμαίνει τον ατμοσφαιρικό αέρα, αλλά το μεγαλύτερο ποσοστό θερμαίνει την επιφάνεια της Γης, η οποία με τη σειρά της, δευτερογενώς, θερμαίνει την ατμόσφαιρα και κατά κύριο λόγο τον αέρα που βρίσκεται κοντά στην επιφάνειά της. Όλη αυτή η διαδικασία δίνεται παραστατικά στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7 Πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα

Από όσα αναφέρθηκαν έως τώρα προκύπτει ότι οι ενεργειακές ροές στον πλανήτη Γη μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες:

- Την εισερχόμενη στη Γη ακτινοβολία, δηλαδή την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, το διάχυτο ουράνιο φως, την ακτινοβολία που δέχεται η επιφάνεια της Γης από την ανάκλαση των δύο προηγούμενων μορφών, καθώς και τμήμα της ατμοσφαιρικής δευτερογενούς ακτινοβολίας.
- Την εξερχόμενη ακτινοβολία, η οποία κατευθύνεται από την επιφάνεια της Γης και από την ατμόσφαιρα της προς το εξωτερικό διάστημα. Εδώ ανήκουν η ανακλώμενη ηλιακή και η ουράνια ακτινοβολία, η ανακλώμενη ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα και η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία του εδάφους.

Οι δύο αυτές ομάδες ακτινοβολιών οδηγούν τελικά σε μια διαφορά μεταξύ της εισερχόμενης και εξερχόμενης ακτινοβολίας, η οποία ονομάζεται **ισοζύγιο της ακτινοβολίας**. Αυτή είναι μια παράμετρος η οποία μπορεί να μετρηθεί και η οποία διαδραματίζει ένα ουσιαστικό γεωφυσικό και βιοκλιματικό ρόλο από άποψη ενεργειακού ισοζυγίου στην ατμόσφαιρα, στο έδαφος και στον άνθρωπο.

Μέσα σε μια μεγάλη χρονική περίοδο παρατηρείται μια εξισορρόπηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στη Γη, δηλαδή όση ενέργεια προσλαμβάνεται στον πλανήτη άλλη τόση αποβάλλεται προς το κοσμικό διάστημα, γεγονός που διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία της Γης.

Κεφάλαιο 3

ΥΓΡΟΣ ΑΕΡΑΣ

Από μετεωρολογική άποψη, το νερό υπό μορφή υδρατμών είναι το σπουδαιότερο συστατικό της ατμόσφαιρας. Είναι επίσης το πλέον μεταβλητό τόσο χρονικά όσο και τοπικά. Προέρχεται από την εξάτμιση των υδάτινων επιφανειών, από την εξάχνωση του πάγου και του χιονιού, από τη διαπνοή των φυτών και από την αναπνοή των ζωντανών οργανισμών. Οι υδρατμοί μπορούν να συμπυκνωθούν μέσα στην ατμόσφαιρα για να σχηματίσουν σύννεφα, τα οποία με τη σειρά τους μπορεί να δώσουν βροχή, επιστρέφοντας με αυτό τον τρόπο το νερό στη Γη. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή σαν **υδρολογικός κύκλος**.

Υγρός αέρας ονομάζεται ο αέρας που αποτελείται από ξηρό αέρα και υδρατμούς. Η ποσότητα των υδρατμών του υγρού αέρα εκφράζεται με τον όρο **υγρασία**. Σε δεδομένη θερμοκρασία ο αέρας μπορεί να συγκρατήσει συγκεκριμένη ποσότητα υδρατμών, η οποία αν ξεπεραστεί θα αρχίσει το φαινόμενο της συμπύκνωσης. Όταν ο αέρας περιέχει αυτή την οριακή ποσότητα των υδρατμών λέμε ότι ο αέρας είναι **κεκορεσμένος**. Σε αντίθετη περίπτωση λέμε ότι ο αέρας είναι **ακόρεστος**.

Η ποσότητα των υδρατμών που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται χρονικά και τοπικά. Οι μεγαλύτερες ποσότητες παρατηρούνται στις τροπικές περιοχές κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι μικρότερες ποσότητες στην επιφάνεια της Γης παρατηρούνται στο εσωτερικό της Ανταρκτικής κατά τους μήνες του χειμώνα. Η ποσότητα των υδρατμών μπορεί να εκφραστεί με διάφορες παραμέτρους που ονομάζονται υγρομετρικές παράμετροι, μεταξύ των οποίων **η τάση των υδρατμών** και **η σχετική υγρασία**.

Τάση των υδρατμών

Η ατμόσφαιρα είναι μίγμα από αέρια, το καθένα από τα οποία εξασκεί τη δική του πίεση, η οποία ονομάζεται μερική πίεση. Η ατμοσφαιρική πίεση σε οποιοδήποτε σημείο είναι ίση με το άθροισμα των μερικών πιέσεων που εξασκούνται από κάθε αέριο στην ατμόσφαιρα.

Όταν εξατμίζεται νερό μέσα σε ξηρό αέρα, ο υδρατμός αρχίζει να εξασκεί τη δική του μερική πίεση, την **τάση των υδρατμών**. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι τώρα ίση με το άθροισμα των πιέσεων που ασκούνται τόσο από τους υδρατμούς όσο και από τον ξηρό αέρα.

Σχετική Υγρασία

Σχετική υγρασία είναι ο λόγος της μάζας των υδρατμών που υπάρχουν στη μονάδα όγκου του αέρα προς τη μάζα των υδρατμών που απαιτείται για να γίνει κεκορεσμένος στην ίδια θερμοκρασία. Η σχετική υγρασία εκφράζεται επί τοις εκατόν (%).

3.1 ΥΔΡΟΣΥΜΠΥΚΝΩΣΕΙΣ

Ο υγρός αέρας είναι δυνατόν να ψυχθεί, είτε με ακτινοβολία είτε με μεταφορά του σε ψυχρότερη περιοχή, είτε με αδιαβατική⁵ του εκτόνωση. Όταν όμως, με μια από τις παραπάνω διαδικασίες, η θερμοκρασία του πέσει κάτω από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου τότε μέρος των υπαρχόντων σε αυτόν υδρατμών συμπυκνώνονται.

Αυτό σημαίνει ότι μεταβαίνουν από την αέρια κατάσταση στην υγρή ή στερεή και σχηματίζονται με τον τρόπο αυτό λεπτότατα σταγονίδια ή πολύ λεπτά παγόκρυστάλλια. Το σύνολο των υδροσταγονιδίων και παγοκρυστάλλων που αιωρείται στην ατμόσφαιρα λέγεται *νέφος*.

Όμως για να γίνει συμπύκνωση των υδρατμών και να σχηματιστούν νέφη δεν είναι αρκετή μόνο η ψύξη του υγρού αέρα. Θα πρέπει οπωσδήποτε να υπάρχουν και οι «πυρήνες συμπύκνωσης». Οι πυρήνες αυτοί είναι, κυρίως, μικροσκοπικά σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Τέτοιοι πυρήνες είναι τα μόρια του Χλωριούχου Νατρίου (NaCl) καθώς επίσης και άλλα ιόντα ή μικρά σωματίδια σκόνης.

3.1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ

Ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες αστάθειας της ατμόσφαιρας, θα οδηγηθούμε στον σχηματισμό νεφών, τα οποία παρουσιάζονται σε πολλές και ποικίλες μορφές οι οποίες μπορούν για λόγους ταξινόμησης να χωριστούν σε τέσσερις βασικές ομάδες με βάση το ύψος που εμφανίζονται μέσα στην ατμόσφαιρα:

1. Κατώτερα νέφη: εμφανίζονται στο ατμοσφαιρικό στρώμα ανάμεσα σε 0 και 2000 m.
2. Μέσα νέφη: εμφανίζονται στο στρώμα 2000-7000 m ή 2000-4000 m στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.
3. Ανώτερα νέφη: συναντώνται πάνω από τα 6000 m στους τροπικούς, 5000 m στα μέσα πλάτη και 3000 m στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.
4. Νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης: παρουσιάζουν πολύ μεγάλη κατακόρυφη διάσταση.

Με βάση τη μορφή και το σχήμα τους, τα νέφη των ομάδων αυτών διακρίνονται σε:

1. Στρωματόμορφα (stratus), δηλαδή έχουν τη μορφή στρωμάτων
2. Θυσανόμορφα (cirrus), με τη χαρακτηριστική μορφή των θυσάνων
3. Σωρειτόμορφα (cumulus), με μεγαλύτερη κατακόρυφη ανάπτυξη
4. Μελανίες (nimbus), δηλαδή πυκνά, σκούρα νέφη που συνοδεύονται πάντοτε από βροχή

⁵ Στη Θερμοδυναμική, αδιαβατική μεταβολή ιδανικού αερίου είναι η μεταβολή η οποία συμβαίνει χωρίς το αέριο να ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον. Με τον όρο αδιαβατική εκτόνωση/ψύξη χαρακτηρίζεται η απώλεια θερμότητας μιας μάζας αέρος, που οφείλεται στη διαστολή της στην ελεύθερη ατμόσφαιρα.

Επειδή τα νέφη βρίσκονται υπό συνεχή εξελικτικό μηχανισμό, παρουσιάζουν απεριόριστο πλήθος μορφών. Εντούτοις, κατέστη δυνατός ο καθορισμός ορισμένου αριθμού χαρακτηριστικών μορφών, στις οποίες μπορούν να ομαδοποιηθούν τα νέφη που παρατηρούνται σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη. Η διεθνής ταξινόμηση περιλαμβάνει 10 κύριες ομάδες νεφών, τα γένη, που υποδιαιρούνται σε είδη και ποικιλίες. Τα 10 γένη των νεφών παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Ονοματολογία των 10 βασικών ομάδων των νεφών.

ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΟΣ		ΔΙΕΘΝΗΣ ΟΡΟΣ
ΑΝΩΤΕΡΑ		
1	Θύσανοι	Cirrus (Ci)
2	Θυσανοσωρείτες	Cirrocumulus (Cc)
3	Θυσανοστρώματα	Cirrostratus (Cs)
ΜΕΣΑ		
4	Υψισωρείτες	Alto cumulus (Ac)
5	Υψιστρώματα	Altostratus (As)
ΚΑΤΩΤΕΡΑ		
6	Στρωματομελανίες	Nimbostratus (Ns)
7	Στρωματοσωρείτες	Stratocumulus (Sc)
8	Στρώματα	Stratus (St)
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ		
9	Σωρείτες	Cumulus (Cu)
10	Σωρειτομελανίες	Cumulonimbus (Cb)

3.1.2 ΥΔΡΟΣΥΜΠΥΚΝΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

1. ΔΡΟΣΟΣ (*dew*)

Ως γνωστόν, κατά τη νύχτα το έδαφος ψύχεται λόγω της θερμικής του ακτινοβολίας προς το διάστημα. Όταν με τη διαδικασία αυτή η θερμοκρασία Θ της επιφάνειας των διαφόρων στρωμάτων του εδάφους κατέλθει στη θερμοκρασία του σημείου δρόσου Θ_d του παρεδάφιου στρώματος του αέρα, τότε, οι υδρατμοί του αέρα συμπυκνώνονται με διάφορες μορφές πάνω στις επιφάνειες αυτές.

Στην περίπτωση που ισχύει $0 < \Theta < \Theta_d$ τότε πάνω στις διάφορες επιφάνειες του εδάφους (χλόη, φύλλα δένδρων κλπ.) σχηματίζονται υδροσταγόνες και το όλο φαινόμενο είναι γνωστό με τον όρο **δρόσος**. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία Θ πέσει κάτω από τους 0°C , μετά το σχηματισμό της δρόσου, τότε η δρόσος αυτή λέγεται **παγωμένη δρόσος**. Η δρόσος είναι φαινόμενο μικρής σημασίας για τις περιοχές με υγρά κλίματα. Όμως, κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας αποτελεί μια κάποια πηγή νερού για το έδαφος και υπό την έννοια αυτή αποκτά μεγάλη σημασία στη γεωργία.

2. ΟΜΙΧΛΗ (*fog*)

Η ομίχλη είναι ένα παρεδάφιο νέφος που περιορίζει την οριζόντια ορατότητα κάτω από 1 km. Το νέφος αυτό αποτελείται από πολύ λεπτά υδροσταγονίδια τα οποία προέρχονται από τη συμπύκνωση των υδρατμών του παρεδάφιου στρώματος του αέρα.

Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού της ομίχλης διακρίνουμε τους παρακάτω τύπους:

- Ομίχλη ακτινοβολίας (*radiation fog*): δημιουργείται από ψύξη του επιφανειακού αέρα, τόση ώστε να είναι ικανή να προκαλέσει συμπύκνωση των υδρατμών που περιέχονται στον αέρα.
- Ομίχλη μεταφοράς (*advection fog*): σχηματίζεται στο κατώτερο τμήμα μιας αέριας μάζας η οποία κινείται πάνω από μια ψυχρότερη επιφάνεια.
- Ομίχλη βουνών (*Hill fog*): σχηματίζεται όταν υγρός, σχετικά επιφανειακός αέρας κινείται ανοδικά στις πλαγιές ενός βουνού. Η ανοδική αυτή κίνηση του αέρα συνοδεύεται από αδιαβατική εκτόνωση και ψύξη του αέρα. Αν η ανοδική αυτή κίνηση του αέρα συνεχίζεται τότε αυτός καθίσταται κορεσμένος και σχηματίζεται έτσι ομίχλη βουνού.
- Ομίχλη εξάτμισης: ο κορεσμός προκαλείται μέσα σε μια ψυχρή και ευσταθή αέρια μάζα λόγω ταχείας εξάτμισης από μια υποκείμενη θερμή υδάτινη επιφάνεια.
- Ξηρή και Υγρή αχλός (*Haze and Mist*): ο περιορισμός της οριζόντιας ορατότητας είναι μεταξύ 1 και 2 km. Τη διακρίνουμε σε ξηρή ή υγρή ανάλογα με το αν αυτή οφείλεται σε λεπτή σκόνη ή είναι υδρομετέωρο που αποτελείται από μικροσκοπικά αιωρούμενα υδροσταγονίδια, αντίστοιχα. Η υγρή αχλός που περιέχει, πολλές φορές, και κονιορτούς ή καπνούς σε περιοχές με έντονη βιομηχανική δραστηριότητα, περιορίζει σημαντικά την ορατότητα και μπορεί έτσι να θεωρηθεί σαν ένα είδος ελαφράς ομίχλης

3. ΥΕΤΟΣ (*Precipitation*)

Με τον όρο “υετός“ εννοούμε το σύνολο των κατακόρυφων, κυρίως, ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που αναφέρουν μετρήσιμη ποσότητα νερού σε μορφή: βροχής, ψεκάδων, βροχής, χιονιού, χιονολύτου, χαλάζης κ.α. Τα νέφη είναι η μοναδική πηγή προέλευσης του υετού. Ανάμεσα στις διάφορες μορφές υετού οι σπουδαιότερες είναι: η βροχή, το χιόνι και το χαλάζι.

- Βροχή (*Rain*): Οι υδροσταγόνες δημιουργούνται μέσα στο νέφος, ως αποτέλεσμα, της συνένωσης πολλών υδροσταγονιδίων ή και παγοκρυσταλλίων. Όταν το μέγεθος τους είναι τέτοιο ώστε το βάρος τους είναι μεγαλύτερο από την άνωση που υφίστανται τότε πέφτουν προς το έδαφος. Όταν συμβαίνει οι σταγόνες αυτές ή παγοκρυστάλλοι κατά την κάθοδο τους να περνούν από ατμοσφαιρικά στρώματα που τις διατηρούν στην υγρή φάση ή τήκουν τους παγοκρυστάλλους και φθάνουν στο έδαφος, προτού εξατμισθούν, τότε, δημιουργείται το φαινόμενο της βροχής.

Η βροχή, τελικά, είναι μια από τις σπουδαιότερες μετεωρολογικές παραμέτρους. Εκείνο που ενδιαφέρει, ιδιαίτερα είναι η ποσότητα του νερού που πέφτει σε μια επιφάνεια. Αυτή εκφράζεται με το

“ύψος βροχής“ που ορίζεται ως εκείνο στο οποίο θα έφτανε στάθμη του νερού της βροχής αν έπεφτε πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια, αποκλείοντας τους παράγοντες: διαρροή, απορρόφηση και εξάτμιση.

Διεθνώς, μονάδα μέτρησης του ύψους βροχής είναι το mm, ή cm. Στην πράξη, λέγοντας βροχή ύψους 1 mm εννοούμε τη βροχόπτωση εκείνη που απέδωσε ποσότητα νερού ίση με 1 Kgr/m² ή ton/στρέμμα. Συνεπώς, ποσότητα βροχής 10 mm σημαίνει ποσότητα νερού ίση με 10 Kgr/m² ή 10 ton/στρέμμα. Το ύψος αυτό προσδιορίζεται με όργανα μετεωρολογικά που λέγονται, προφανώς, βροχόμετρα ή βροχογράφοι. Μια άλλη χρήσιμη βροχομετρική παράμετρος είναι ή ένταση της βροχής που εκφράζεται με το ποσό της βροχής ανά μονάδα χρόνου.

- Χιόνι (Snow): Είναι το συνηθέστερο από τα στερεά υδροαποβλήματα. Αποτελείται από παγοκρυστάλλους που προέρχονται από ορισμένα νέφη που φθάνουν μέχρι το έδαφος χωρίς να λιώσουν. Αυτό, φυσικά, προϋποθέτει: το στρώμα του αέρα κάτω από το σύννεφο και μέχρι το έδαφος να έχει θερμοκρασία μικρότερη του 0 °C. Οι παγοκρύσταλλοι του χιονιού παρουσιάζουν πολύπλοκους εξαγωνικούς, συνήθως, σχηματισμούς. Όταν σε μια περιοχή το χιόνι δεν λιώνει στο σύνολο του κατά τη διάρκεια του έτους, και για πολλά έτη, τότε λέμε ότι στην περιοχή αυτή έχουμε το φαινόμενο των αιώνιων χιόνων. Η γραμμή των αιώνιων χιόνων, δηλαδή η γραμμή που χωρίζει τις περιοχές με αιώνια χιόνια από εκείνες όπου δεν παρατηρείται αυτό το φαινόμενο, έχει μεγάλη σημασία γιατί, η τυχόν μετατόπιση της σημαίνει αξιόλογη κλιματική μεταβολή. Το χιόνι μετριέται με το ύψος του χιονοστρώματος ή με το ισοδύναμο νερό που παίρνουμε όταν λιώσουμε το χιόνι που είναι τοποθετημένο μέσα στο βροχόμετρο.

- Χαλάζι (Hail): Το χαλάζι δημιουργείται πάντοτε μέσα σε νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης και κατά κανόνα στα νέφη τύπου των Σωρειτομελανιών (Cb). Στις ανώτερες περιοχές των νεφών του τύπου Cb η θερμοκρασία είναι πολύ κάτω του 0 °C, οπότε συμβαίνει αυτόματη πήξη των υδροσταγονιδίων του νέφους που βρίσκονται σε υπέρτηξη. Λόγω των έντονων ανοδικών και καθοδικών κινήσεων που επικρατούν μέσα στα νέφη αυτά οι αρχικοί παγοκρύσταλλοι (χαλαζόκοκκοι) συγκρούονται με άλλα υδροσταγονίδια ή μεταξύ τους και αυξάνουν έτσι το μέγεθός τους. Οι χαλαζόκοκκοι αυτοί όταν φθάσουν κάποιο μέγεθος, ώστε τα ανοδικά ρεύματα να μην μπορούν να τους συγκρατήσουν, εγκαταλείπουν το νέφος και πέφτουν στην επιφάνεια του εδάφους πριν φτάσουν να λιώσουν, δίνοντας έτσι το φαινόμενο του χαλαζιού.

Η χαλαζόπτωση είναι μικρής έντασης με αυστηρό τοπικό χαρακτήρα και παρακολουθεί την κίνηση του καταιγιδοφόρου νέφους. Είναι δε πολύ γνωστές και στη χώρα μας οι καταστροφές στις καλλιέργειες από τη χαλαζόπτωση για αυτό τελευταία έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι χαλαζικής προστασίας.

Κεφάλαιο 4

ΑΝΕΜΟΣ

Άνεμος καλείται η κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα σε σχέση με την επιφάνεια της γης. Οι παράγοντες που δημιουργούν τις κινήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα είναι κυρίως τρεις:

- η περιστροφική κίνηση της γης ,
- η ανομοιομορφία του γήινου ανάγλυφου
- η ηλιακή ακτινοβολία που παίρνει τόσο η ατμόσφαιρα της γης όσο και η επιφάνεια του εδάφους.

Επειδή η κατακόρυφη συνιστώσα των κινήσεων του αέρα είναι συνήθως μικρή με τον όρο άνεμο εννοούμε, σχεδόν πάντοτε, την οριζόντια μόνο συνιστώσα της κίνησης.

Ο άνεμος σαν μετεωρολογικό στοιχείο, προσδιορίζεται από δύο στοιχεία: τη διεύθυνση και την ταχύτητα ή έντασή του. Με τον όρο διεύθυνση εννοούμε το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος αυτός.

Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις εκάστοτε εφαρμογές οι εξής μονάδες:

α) m/sec , **β)** Km/h , **γ)** Ναυτικά μίλια (1853 m) ανά ώρα ή κόμβοι (Knots) και **δ)** Μίλια (1609 m) ανά ώρα (m.p.h). Ισχύει: $1\text{m/s} = 3,6\text{ Km/h} = 1,943\text{ Knots} = 2,237\text{ m.p.h}$.

Όλα τα όργανα μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου είναι βαθμολογημένα να μετρούν σε μια από τις πιο πάνω μονάδες. Όμως, στις αρχές του 19ου αιώνα ο Άγγλος Ναύαρχος Sir Francis Beaufort επινόησε και πρότεινε μια καθαρά εμπειρική ανεμομετρική κλίμακα που φέρει το όνομά του (κλίμακα Beaufort) και η οποία εξακολουθεί να χρησιμοποιείται και σήμερα πάρα πολύ και ιδιαίτερα από τους ναυτιλλόμενους. Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται η κλίμακα Beaufort με την αντιστοιχία στις πιο πάνω μονάδες μέτρησης της ταχύτητας καθώς και τα αποτελέσματα της πνοής του ανέμου στην ξηρά.

4.1 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΜΑΖΩΝ

Είναι γνωστό από τη Φυσική ότι το αίτιο της κίνησης ενός σώματος είναι η δύναμη. Στην προκειμένη περίπτωση ως σώμα θεωρούμε τις διάφορες αέριες μάζες. Γενικά, οι δυνάμεις που καθορίζουν την κίνηση μιας αέριας μάζας διακρίνονται:

- Στις δυνάμεις που μπορούν να θέσουν σε κίνηση μια αέρια μάζα και συγχρόνως να διατηρήσουν την κίνησή της. Τέτοιες δυνάμεις είναι: η δύναμη της βαρύτητας και η δύναμη της βαροβαθμίδας.

- Στις δυνάμεις που εμφανίζονται κατά την κίνηση και υπάρχουν μόνο εφόσον υπάρχει κίνηση. Τέτοιες δυνάμεις είναι: η δύναμη Coriolis, η δύναμη της τριβής και η κυκλοστροφική δύναμη (φυγόκεντρος ή κεντρομόλος).

Πιο αναλυτικά:

1 ΔΥΝΑΜΗ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με τον νόμο της Παγκόσμιας έλξης η δύναμη της βαρύτητας είναι η δύναμη που ασκεί η Γη πάνω σε σώμα μάζας m .

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

όπου G : σταθερά της παγκόσμιας έλξης, M : Μάζα Γης, r : Απόσταση μεταξύ μαζών M και m .

Στην μετεωρολογία συνήθως θεωρούμε το $m=1\text{kg}$ και επειδή $F=mg$, έχουμε:

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

Σε γεωγραφικό πλάτος 45° προκύπτει $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. Για Μετεωρολογικές εφαρμογές το g θεωρείται περίπου σταθερό μέσα στην Τροπόσφαιρα.

2 ΔΥΝΑΜΗ ΒΑΡΟΒΑΘΜΙΔΑΣ

Είναι γνωστό ότι με τον όρο “βαροβαθμίδα“ εννοούμε τη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης, σε διεύθυνση κάθετη στις ισοβαρείς καμπύλες, στη μονάδα του μήκους. Όταν μεταξύ δύο τόπων, μέσα στην ατμόσφαιρα υπάρχει βαροβαθμίδα με τιμή διάφορη του μηδενός, τότε αναπτύσσεται πάνω στην αέρια μάζα, μεταξύ των δύο αυτών τόπων, μια δύναμη που είναι γνωστή ως: “Δύναμη Βαροβαθμίδας” (Pressure gradient force). Η δύναμη αυτή είναι η κύρια αιτία δημιουργίας του ανέμου. Από τα πιο πάνω προκύπτει ότι η δύναμη βαροβαθμίδας είναι ανάλογη της μεταβολής της πίεσης με την απόσταση και όχι αυτής κάθε αυτής της πίεσης και έχει πάντοτε φορά από τις ψηλές προς τις χαμηλές πιέσεις.

3 ΔΥΝΑΜΗ CORIOLIS

Είναι γνωστό από τη Φυσική ότι σε κάθε σώμα που κινείται σε ένα περιστρεφόμενο σύστημα αναφοράς, αναπτύσσεται μια δύναμη αδράνειας που ονομάζεται δύναμη Coriolis (F_c), από το όνομα του Γάλλου επιστήμονα G. Coriolis που πρώτος μίλησε για αυτή.

Έτσι, σε κάθε κίνηση που γίνεται μέσα στην ατμόσφαιρα της Γης (κίνηση ατμοσφαιρικού αέρα) θα αναπτύσσεται η δύναμη αυτή της οποίας το μέτρο F_c ανά μονάδα μάζας, δίνεται από τη σχέση:

$$F_c = 2\omega v \sin\phi$$

όπου ω : γωνιακή ταχύτητα της Γης, v : η σχετική ταχύτητα του αέρα, ϕ : το γεωγραφικό πλάτος.

Η δύναμη Coriolis αναγκάζει τα σώματα, άρα και τον αέρα, που κινούνται πάνω στη γη να εκτρέπονται προς τα δεξιά της κίνησης τους στο Β. Ημισφαίριο και προς τα αριστερά στο Ν. Ημισφαίριο και δρα πάντοτε κάθετα προς την ταχύτητα.

4 ΔΥΝΑΜΗ ΤΡΙΒΗΣ

Στη Μετεωρολογία, με αυτόν τον όρο αναφερόμαστε: α) στην επιφανειακή τριβή ολισθήσεως, που είναι η δύναμη που αντιτίθεται, γενικά, στην κίνηση του αέρα πάνω στο έδαφος και β) στην εσωτερική τριβή που είναι η δύναμη που προκύπτει κατά την ολίσθηση των διαφόρων στρωμάτων του ατμοσφαιρικού αέρα μεταξύ τους.

5 ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΟΜΟΛΟΣ ΔΥΝΑΜΗ

Γνωρίζουμε από τη Φυσική ότι οι δύο αυτές δυνάμεις είναι ίσες και αντίθετες και εμφανίζονται μόνο κατά τις περιστροφικές ή καμπυλόγραμμες κινήσεις. Η φυγοκεντρική δύναμη είναι υπαρκτή μόνο για παρατηρητή που συμμετέχει στην κίνηση, δηλαδή που συνδέεται με το κινούμενο σύστημα αναφοράς ενώ η κεντρομόλος στην αντίθετη περίπτωση. Το μέτρο της δύναμης αυτής είναι:

$$F_{\text{φυγ}} = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$$

όπου v : η γραμμική ταχύτητα του αέρα, ω : η γωνιακή ταχύτητα του και r : η ακτίνα καμπυλότητας της περιστροφικής κίνησης.

4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΕΜΟΥ

4.2.1 ΗΜΕΡΗΣΙΟΙ ΤΟΠΙΚΟΙ ΑΝΕΜΟΙ

Μία κατηγορία ανέμων είναι αυτή που δημιουργούνται σε ορισμένους τόπους κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Κύριο αίτιο των ανέμων αυτών είναι η διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται κατά τη διάρκεια του 24ώρου μεταξύ θάλασσας και παρακείμενης ξηράς ή μεταξύ πεδινών και παρακείμενων ορεινών περιοχών. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται:

- **Η θάλασσα αύρα** ή κοινώς «μπάτης» ή «μπουκαδούρα» δημιουργείται στις ακτές, με αίθριο κυρίως καιρό, και οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα πάνω από τη θάλασσα και εκείνου πάνω από τη παρακείμενη ξηρά.

Όταν ο καιρός είναι αίθριος νωρίς το πρωί δεν υπάρχει βαροβαθμίδα μεταξύ του αέρα πάνω από τη θάλασσα και εκείνου πάνω από τη ξηρά. Όμως κατά τις πρώτες μεσημβρινές ώρες, διαπιστώνεται διαστολή του αέρα πάνω από τη ξηρά και συστολή του αέρα πάνω από τη θάλασσα, οπότε η πίεση πάνω από τη θάλασσα είναι μεγαλύτερη. Έτσι, αναπτύσσεται «βαροβαθμίδα» και στη συνέχεια δύναμη βαροβαθμίδας με φορά από τη θάλασσα προς τη ξηρά και η οποία τελικώς οδηγεί σε κίνηση τον αέρα με

την ίδια φορά. Από ένα ύψος (~ 1 km) και πάνω η πίεση γίνεται μεγαλύτερη πάνω από τη ξηρά οπότε εκεί αντιστρέφεται η φορά της δύναμης βαροβαθμίδας και ο αέρας σ'εκείνο το ύψος κινείται με κατεύθυνση προς τη θάλασσα. Πάνω από τη θάλασσα καθίσταται πυκνότερος και έτσι βυθίζεται προς την επιφάνεια της θάλασσας κλείνοντας το δακτύλιο της κλειστής αυτής κυκλοφορίας.

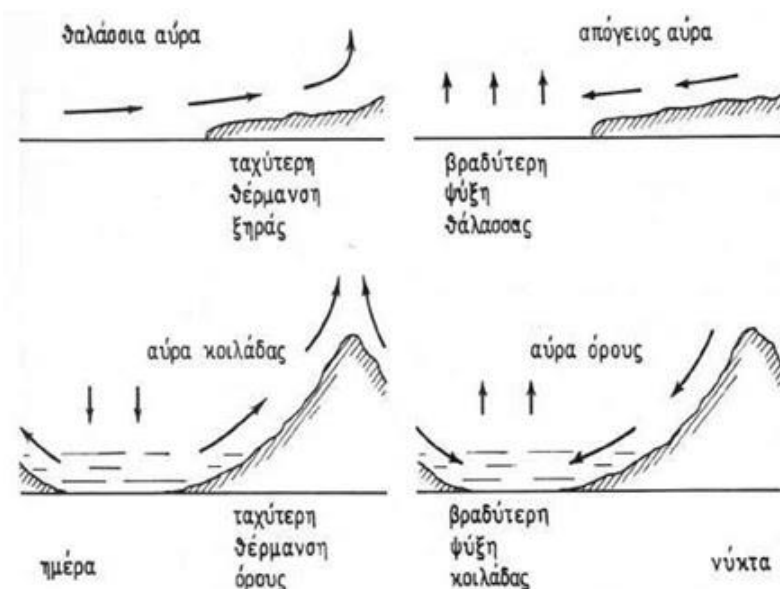
Τυπικές τιμές της έντασης της θαλάσσιας αύρας είναι 2 έως 4 m/sec και εξαρτάται από το ανάγλυφο της παρακείμενης ξηράς. Το βάθος μεσα στο οποίο φθάνει ο άνεμος αυτός εκτιμάται μέχρι τα 10 Km περίπου.

- **Απόγειος αύρα** λέγεται ο άνεμος που φυσάει κατά τη νύχτα με κατεύθυνση από την ξηρά προς τη θάλασσα. Οφείλεται στη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Κατά τη νύχτα η ξηρά ψύχεται ταχύτερα απ'ότι η θάλασσα και έτσι ο αέρας που εφάπτεται της ξηράς είναι πυκνότερος-βαρύτερος εκείνου πάνω από τη θάλασσα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται δύναμη βαροβαθμίδας με φορά από τη ξηρά προς τη θάλασσα η οποία μετακινεί τον αέρα από τη ξηρά προς τη θάλασσα. Στην περίπτωση της απόγειας αύρας ισχύει ο αντίστροφος ακριβώς μηχανισμός-δακτύλιος από εκείνον της θαλάσσιας αύρας. Επειδή οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ ξηράς και θάλασσας, κατά τη νύχτα είναι μικρότερες εκείνων κατά την ημέρα από την άποψη της έντασης, η απόγειος αύρα είναι ασθενέστερη από τη θαλάσσια αύρα.

- **Η αύρα των κοιλάδων** ακολουθεί τον εξής μηχανισμό: τις μέρες με ανέφελο ουρανό, ο αέρας στο βάθος των κοιλάδων υπερθερμαίνεται καθότι εκεί προστίθεται στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και η ανακλώμενη - εκπεμπόμενη από τις πλαγιές της κάθε κοιλάδας. Ο αέρας αυτός λόγω υπερθέρμανσης καθίσταται ελαφρύτερος και στη συνέχεια ακολουθεί ανοδική κίνηση κατά μήκος των πλαγιών, προς τις κορυφές, απ'όπου και απομακρύνεται. Συγχρόνως, σύμφωνα με την αρχή της συνέχειας των αερίων μαζών, αέρας σχετικά ψυχρότερος κατεβαίνει στο μέσο της κοιλάδας συμπληρώνοντας έτσι το όλο σύστημα της κυκλοφορίας της αύρας των κοιλάδων.

- **Η αύρα των βουνών** έχει κυκλοφορία ακριβώς αντίθετη εκείνης της αύρας των κοιλάδων. Δηλαδή, κατά τη νύχτα, ο αέρας που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, ψύχεται λόγω ακτινοβολίας του εδάφους, γρηγορότερα στις κορυφές των βουνών απ'ότι στο βάθος των κοιλάδων. Έτσι ψυχόμενος γίνεται βαρύτερος και κατέρχεται κατά μήκος των πλαγιών των βουνών προς το βάθος των κοιλάδων. Στη συνέχεια λόγω της αρχής της συνέχειας των αερίων μαζών ανέρχεται από το μέσο των κοιλάδων συμπληρώνοντας έτσι το όλο σύστημα κυκλοφορίας της αύρας των βουνών.

Τα παραπάνω συμπυκνώνονται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8 Αύρες - Επάνω θαλάσσια αύρα και απόγειος. Κάτω κοιλάδας και όρους.
[Πηγή: aeroclub-pilis.blogspot.com]

4.2.2 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΙ ΑΝΕΜΟΙ

Στην Συνοπτική Μετεωρολογία, ονομάζουμε «συνοπτικούς ανέμους» εκείνους που απλά τους υπολογίζουμε με βάση τη συνοπτική εικόνα των χαρτών καιρού. Δηλαδή, οι συνοπτικοί άνεμοι δεν είναι υπαρκτοί άνεμοι, δεν μετριοούνται με ανεμόμετρα και απλά η θεώρησή τους βοηθάει στην πληρέστερη εικόνα του πεδίου του ανέμου σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή.

- **Γεωστροφικός άνεμος (geostrophic wind):** Όταν οι ισοβαρείς είναι ευθείες παράλληλες, τότε ο ατμοσφαιρικός αέρας, δέχεται την επίδραση της δύναμης βαροβαθμίδας, που τον μετακινεί αρχικά από τις ψηλές προς τις χαμηλές πιέσεις και της δύναμης Coriolis, που τον εκτρέπει προς τα δεξιά (στο Βόρειο Ημισφαίριο). Αν δεν υπάρχουν τριβές στην κίνηση της αέριας μάζας, τότε ο άνεμος πνέει τελικά παράλληλα προς τις ισοβαρείς. Ο άνεμος που δημιουργείται από την ισορροπία των δύο αυτών δυνάμεων, ονομάζεται γεωστροφικός άνεμος.

Όσο πιο πυκνές είναι οι ισοβαρείς καμπύλες σε ένα χάρτη επιφανείας, τόσο πιο μεγάλη είναι η δύναμη βαροβαθμίδας και άρα τόσο μεγαλύτερη και η ταχύτητα του ανέμου. Στην περίπτωση που οι ισοβαρείς είναι ευθείες παράλληλες, αλλά η κίνηση γίνεται κοντά στο έδαφος, τότε η δύναμη της βαροβαθμίδας αντισταθμίζεται από τη συνισταμένη της δύναμης Coriolis και της δύναμης της τριβής. Στην περίπτωση αυτή ο άνεμος δεν πνέει παράλληλα προς τις ισοβαρείς, αλλά έχει στραφεί προς τις χαμηλές πιέσεις.

- **Άνεμος τριβής:** Ο συνοπτικός αυτός άνεμος υπολογίζεται με βάση το χάρτη καιρού επιφανείας και πάλι μόνο στις περιοχές που το πεδίο των ισοβαρών καμπύλων είναι ομογενές. Η διαφορά από το γεωστροφικό άνεμο έγκειται στο γεγονός ότι στον άνεμο τριβής θεωρούμε και τη δύναμη της επιφανειακής τριβής. Ο γεωστροφικός άνεμος πάνω από θάλασσες είναι αρκετά καλή προσέγγιση του πραγματικού ανέμου τριβής ενώ πάνω από τη ξηρά οι αποκλίσεις είναι μεγαλύτερες.

- **Άνεμος Βαροβαθμίδας:** Ο άνεμος της κατηγορίας αυτής υπολογίζεται και πάλι με βάση το χάρτη καιρού επιφάνειας, μόνο στις περιοχές εκείνες που το πεδίο των ισοβαρών καμπύλων είναι κλειστές και η υπάρχουσα επιφανειακή ροή είναι κυκλωνική. Ο άνεμος αυτός προκύπτει ως αποτέλεσμα της τέλει ισορροπίας μεταξύ των δυνάμεων βαροβαθμίδας, φυγοκέντρου δυνάμεως και δύναμης Coriolis.

Στο κυκλωνικό σύστημα των ισοβαρών (χαμηλό βαρομετρικό), εξαιτίας της συγκεκριμένης ισορροπίας των δυνάμεων, παρατηρείται σύγκλιση του ανέμου προς το κέντρο του συστήματος, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ανοδικές κινήσεις στο κέντρο. Αντίθετα, στο αντικυκλωνικό σύστημα (υψηλό βαρομετρικό), η ισορροπία των δυνάμεων δημιουργεί απόκλιση του ανέμου από το κέντρο του συστήματος, με συνέπεια τη δημιουργία καθοδικών κινήσεων στο κέντρο.

Μέρος ΙΙ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον Πίνακα 3 απεικονίζεται η ταξινόμηση της εφαρμοσμένης μετεωρολογίας. Στο πρώτο επίπεδο ταξινομούνται η υδρομετεωρολογία, η τεχνική μετεωρολογία, με τρεις επιμέρους κλάδους, και η βιομετεωρολογία. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η βιομετεωρολογία περιλαμβάνει επίσης τρεις κλάδους, εκ των 3 οποίων στον πρώτο ανήκουν η γεωργική μετεωρολογία ή αγρομετεωρολογία και η φαινολογία, στο δεύτερο η δασική μετεωρολογία και στον τρίτο η ανθρώπινη βιομετεωρολογία.

Πίνακας 3 Ταξινόμηση εφαρμοσμένης μετεωρολογίας [Πηγή: Αγρομετεωρολογία: Ανάλυση και Προσομοίωση, Δαλέζιος Ν.]

Εφαρμοσμένη μετεωρολογία						
Υδρομετεωρολογία	Τεχνική μετεωρολογία			Βιομετεωρολογία		
	Μετεωρολογία κατασκευών	Μετεωρολογία συγκοινωνιών	Βιομηχανική μετεωρολογία	Γεωργική μετεωρολογία	Δασική μετεωρολογία	Ανθρώπινη βιομετεωρολογία
		Μετεωρολογία μεταφορών		Φαινολογία		

Στην προσέγγιση της παρούσας εργασίας θα ξεκινήσουμε με μια εισαγωγή στην πρόγνωση του καιρού, την εφαρμογή δηλαδή της μετεωρολογίας η οποία είναι πιο κοντά στην καθημερινή εμπειρία. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τον τομέα της τεχνικής μετεωρολογίας ο οποίος σχετίζεται με τη Ναυτική Επιστήμη. Ακολούθως, θα αναφερθούμε εκτεταμένα στη Βιομετεωρολογία και τους επιμέρους τομείς της, ολοκληρώνοντας την εργασία με αναφορά στην Υδρομετεωρολογία αλλά και την Οικονομία.

Κεφάλαιο 1

ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΤΟΥ ΚΑΙΡΟΥ

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 εκδήλωση καύσωνα ή παγετού, η κατάσταση της θάλασσας κλπ.

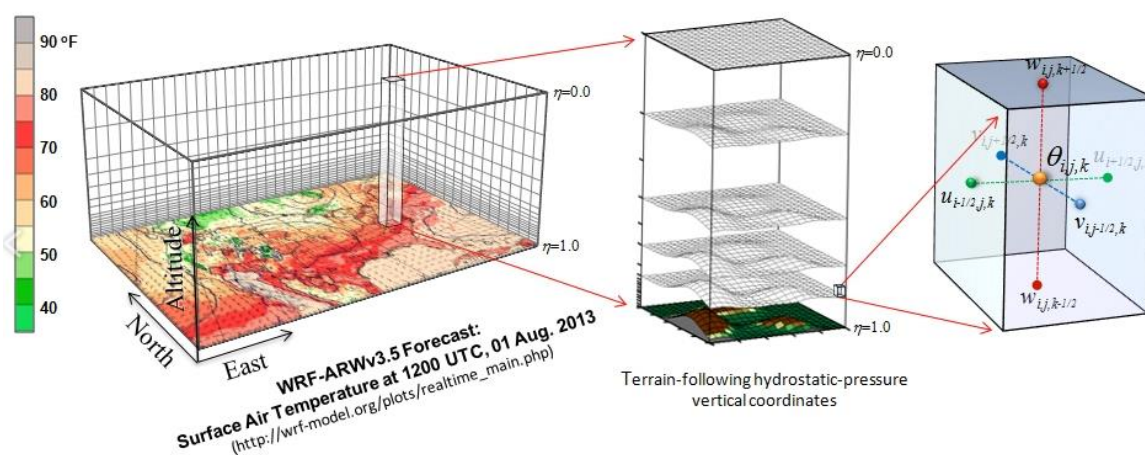
Επί δεκάδες αιώνων οι άνθρωποι προσπαθούσαν να προβλέψουν τον καιρό και την εξέλιξή του. Το 650 π.Χ. οι αρχαίοι Βαβυλώνιοι πραγματοποιούσαν υποτυπώδεις προγνώσεις με βάση τις παρατηρήσεις τους σχετικά με επαναλαμβανόμενες μορφοποιήσεις και δομές των νεφών. Περί το 340 π.Χ. ο αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος 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 τηλέγραφου 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 τηλέγραφος επέτρεψε 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 αρκετά 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.

Ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο πρόγνωσης είναι στην ουσία, λοιπόν, ένα σύστημα προσομοίωσης των φυσικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα. Η ατμόσφαιρα προσομοιώνεται με

διακριτά σημεία (grid points) σε συγκεκριμένα επίπεδα (levels) που αρχίζουν από το έδαφος και τελειώνουν στα ανώτερα σημεία της ατμόσφαιρας. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα τρισδιάστατο πλέγμα σημείων πάνω στο οποίο πραγματοποιούνται όλοι οι απαιτούμενοι υπολογισμοί. 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



Εικόνα 9 Τρισδιάστατο πλέγμα πρόβλεψης [Πηγή: <http://eomofs.gr/>]

1.1 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΓΝΩΣΗ – ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Η μεγαλύτερη πρόοδος στην επιστήμη της μετεωρολογίας έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του 20ου 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 μικρότερης 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 σημαδούρες. 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, 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 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.

Προγνωστικοί χάρτες

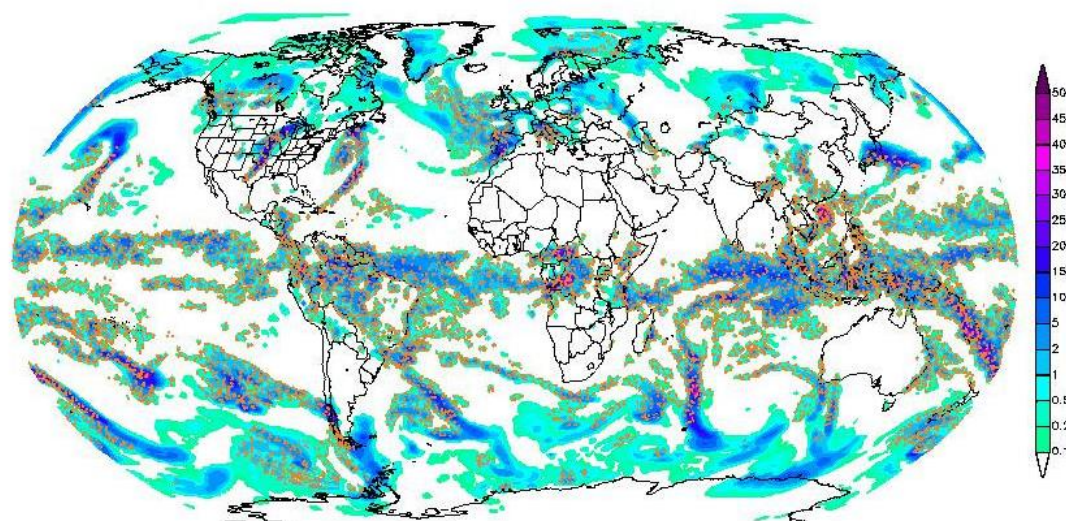
Αφού ολοκληρωθεί η εκτέλεση ενός μοντέλου, εξάγονται αυτόματα προγνωστικοί χάρτες των περισσότερων μετεωρολογικών παραμέτρων σε διάφορα επίπεδα (ύψη) μέσα στην ατμόσφαιρα πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος. Στην Εικόνα 8, παρουσιάζεται παράδειγμα προγνωστικού χάρτη ύψους

βροχής - χιονιού σε χιλιοστά (mm) που εκδόθηκε σύμφωνα με το μοντέλο GFS⁶ 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

Εικόνα 10 Προγνωστικός χάρτης βροχής-χιονιού που εκδόθηκε στις 17/4/2008/06:00 από το

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 βροχόπτωσης 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

⁶ **Global Forecast System (GFS)** είναι ένα παγκόσμιο αριθμητικό σύστημα πρόγνωσης καιρού, που διευθύνεται από τη NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ. Το μοντέλο αυτό δημιουργεί αποτελέσματα υψηλής ανάλυσης για τις επόμενες 7 ημέρες και μεσαίας ανάλυσης για τις επόμενες 16 ημέρες. Δεν θεωρούνται αξιοπιστες προβλέψεις άνω των 10 ημερών.

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 μπορέσει να δώσει ο συνεχώς εξελισσόμενος τομέας της δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Επισημαίνεται όμως, ότι λόγω της χαοτικής φύσης της ατμόσφαιρας, ποτέ δε θα μπορέσουμε να έχουμε μια τέλεια πρόγνωση καιρού.

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 μοντέλο τοπικό (LAM) χρειάζεται να είναι γνωστή η ροή στα όρια μιας περιοχής από ένα παγκόσμιο μοντέλο. Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία είναι μέλος του ECMWF (European Center for Medium Range Weather Forecasts Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προγνώσεων) και χρησιμοποιεί επιχειρησιακά για τις προγνώσεις της τα προϊόντα του. Επίσης χρησιμοποιεί τα προϊόντα του μοντέλου GM (Global Model) της Γερμανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (DWD). Από τα κέντρα αυτά λαμβάνει την ροή στα όρια της περιοχής ολοκλήρωσης των εξισώσεων κίνησης της ατμόσφαιρας.

Κεφάλαιο 2

ΝΑΥΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Η *ναυτική μετεωρολογία* αποτελεί εφαρμογή της γενικής μετεωρολογίας με κύριο αντικείμενο την έρευνα των καιρικών φαινομένων στο παγκόσμιο θαλάσσιο χώρο.

Η ναυτική μετεωρολογία διακρίνεται σε δύο επί μέρους κλάδους. Ο ένας ασχολείται με την εξέταση των αλληλεπιδράσεων θάλασσας και ατμόσφαιρας ενώ ο άλλος με τις μετεωρολογικές γνώσεις που κρίνονται απαραίτητες και χρήσιμες για τη ναυτιλία, αλλά και με τη συμβολή της ναυτιλίας στο έργο της μετεωρολογίας.

2.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ

Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (*World Meteorological Organization, WMO*), ιδρύθηκε το 1950 και αποτελεί σήμερα ένα από τους πλέον εξειδικευμένους οργανισμούς του ΟΗΕ. Εδρεύει στη Γενεύη και έχει μέλη όλες σχεδόν τις χώρες του κόσμου.

Κύριος σκοπός του Οργανισμού αυτού είναι η συνεργασία μεταξύ των χωρών για καλύτερες και πληρέστερες πληροφορίες στους ενδιαφερομένους και κυρίως στη Ναυτιλία και την Αεροπορία με την ανάπτυξη δικτύων Μετεωρολογικών Σταθμών και την αναφορά παρατηρήσεων κατά τακτά διαστήματα επ' ωφελεία στη ναυσιπλοΐα, την αεροπλοΐα, τη γεωργία κ.λπ. Επίσης, προάγει και διατηρεί συστήματα ταχείας ανταλλαγής στοιχείων των σχετικών παρατηρήσεων, ενώ ενθαρρύνει την έρευνα και εκπαίδευση επί του αντικειμένου του.

Εξαιτίας του WMO, δεδομένα, πληροφορίες και σχετικά συμπεράσματα είναι ευρέως διαθέσιμα και υπάρχει ελεύθερη ανταλλαγή καθημερινά μεταξύ των κέντρων του WMO και των μετεωρολογικών υπηρεσιών κάθε χώρας σε παγκόσμιο επίπεδο.

Οι μετεωρολογικές παρατηρήσεις λαμβάνονται σε κωδικοποιημένη μορφή από του διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς και στη συνέχεια διαβιβάζονται στη μετεωρολογική υπηρεσία της χώρας στην οποία ανήκουν όπου υφίστανται επεξεργασία με την χρήση αριθμητικών μοντέλων, όπως έχει αναφερθεί νωρίτερα. Οι πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί, εισάγονται στο Παγκόσμιο Σύστημα Τηλεπικοινωνιών ώστε να είναι διαθέσιμες σε οποιαδήποτε υπηρεσία κράτους-μέλους του WMO τις χρειάζεται.

Αξίζει να αναφερθεί η ύπαρξη μέχρι πρότινος των σταθμών με σταθερή θέση σε πλοία, που ονομάζονταν πλοία καιρού (*weather ships*). Αυτά ήταν πλοία σε σταθερά σημεία στον ωκεανό και

αποτελούσαν την πλατφόρμα για μετεωρολογικές παρατηρήσεις, προκειμένου να παρέχουν πληροφορίες για πιο έγκυρη πρόγνωση καιρού. Το 1948 καθιερώθηκε ένα δίκτυο από 13 πλοία καιρού ενώ ο ρόλος τους άρχισε να υποβιβάζεται από το 1960, λόγω της χρήσης πιο σύγχρονων μέσων (μετεωρολογικοί δορυφόροι, αεροσκάφη μεγάλης εμβέλειας, σηματοδότες καιρού) έως ότου τη λήξη της χρήσης τους το 1990.

2.2 ΠΑΡΟΧΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY), είναι υπεύθυνη για τη μετάδοση προγνώσεων ναυτιλίας και προειδοποιήσεων θυελλωδών ανέμων, για όλη τη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα, μέσω του συστήματος SafetyNet. Η Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού, είναι υπεύθυνη για τη μετάδοση πληροφοριών για την ασφάλεια της ναυσιπλοΐας, στις οποίες περιλαμβάνονται οι παραπάνω προγνώσεις μέσω του συστήματος NAVTEX. Η EMY παρέχει προγνωστικά δελτία καιρού και προειδοποιήσεις για θυελλώδεις ανέμους, όσον αφορά στην Α Μεσόγειο και στη Μαύρη Θάλασσα. Το τμήμα της Δ Μεσογείου το έχει αναλάβει η υπηρεσία Météofrance, η οποία παρέχει με τη σειρά της δελτία καιρού προγνωστικά και αναγγελίες θυελλωδών ανέμων.

Ένα μετεωρολογικό δελτίο, με εξαίρεση την επικεφαλίδα του, θα πρέπει να μην υπερβαίνει σε έκταση τις 370 λέξεις και να έχει πολύ συγκεκριμένη μορφή. Ακολουθεί η αναγγελία θύελλας εφόσον τίθεται τέτοιο θέμα. Χρησιμοποιείται η κλίμακα Beaufort, όπου αναφέρονται άνεμοι δυνάμεως 8 ή και περισσότερο. Ακολουθεί η γενική σύνοψη του καιρού, παρέχοντας την περιοχή, την ατμοσφαιρική πίεση σε μιλιμπάρ, και την πορεία του βαρομετρικού συστήματος. Στη συνέχεια, αναφέρονται η διεύθυνση του ανέμου, τα κατακρημνισματα, η κατάσταση της θάλασσας (εάν αξίζει να αναφερθεί) και τελευταία η ορατότητα. Σε κάποιες περιπτώσεις, που διάφορες περιοχές παρουσιάζουν τις ίδιες αναμενόμενες καιρικές συνθήκες, αναφέρονται όλες μαζί.

Η αλλαγή στη διεύθυνση του ανέμου υποδηλώνεται συνήθως με τον όρο *veering* (σύμφωνα με τους δείκτες του ρολογιού) και *backing* (αντίθετα από τους δείκτες του ρολογιού). Η ορατότητα δίνεται περιφραστικά. Πιο αναλυτικά, ο όρος «καλή», σημαίνει ότι η ορατότητα είναι καλή σε απόσταση μεγαλύτερη από 5 ναυτικά μίλια (9,3 km), ο όρος «μέτρια» όταν η απόσταση κυμαίνεται μεταξύ 2 - 5 ν.μ. (3,7 - 9,3 km), ο όρος «φτωχή» όταν η απόσταση κυμαίνεται μεταξύ 0,5 - 2 ν.μ. (3,7 - 9,3 km) και «ομίχλη» όταν η ορατότητα είναι περιορισμένη σε απόσταση ικρότερη των 0,5 ν.μ..

2.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

2.3.1 ΤΡΟΠΙΚΟΙ ΚΥΚΛΩΝΕΣ

Είναι το πιο έντονο καιρικό φαινόμενο στη θάλασσα, με ανέμους θυελλώδεις, ακόμα και της τάξης των 150 κόμβων. Οι κυκλώνες των τροπικών (tropical revolving storm) είναι ατμοσφαιρικές στροβιλοειδείς διαταραχές που δημιουργούνται στους τροπικούς. Πρόκειται για συστήματα χαμηλών ατμοσφαιρικών πιέσεων με έκταση πολύ μικρότερη από αυτή των βαρομετρικών χαμηλών των μέσων και εύκρατων πλατών και συνήθως με πολύ μεγαλύτερη ισχύ.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Μετεωρολογικό Οργανισμό (Foley 1995), τροπικός κυκλώνας είναι ένας γενικός όρος για τα ακόλουθα ακόλουθα τέσσερα στάδια μίας ύφεσης:

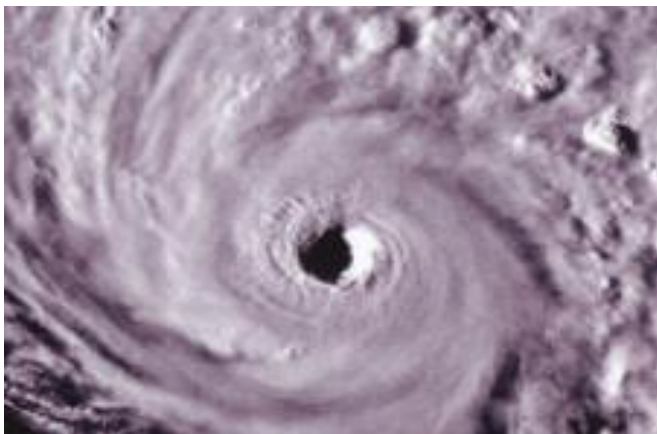
- Τροπική Τροπική Διαταραχή (tropical disturbance): μία περιοχή οργανωμένης αστάθειας αστάθειας με διάμετρο 200-600 χλμ η οποία έχει ένα μεταβατικό μη-μετωπικό χαρακτήρα χαρακτήρα.
- Τροπική Ύφεση (tropical depression): ένας ασθενής τροπικός κυκλώνας με ξεκάθαρη ξεκάθαρη κυκλωνική κυκλοφορία στην επιφάνεια και μέγιστη ένταση μέσου ανέμου (10-λέπτου) μικρότερη από 17 m/s (~34 knots).
- Τροπική Καταιγίδα (tropical storm): ένας τροπικός κυκλώνας με κλειστές κλειστές ισοβαρείς και μέγιστη ένταση μέσου ανέμου (10-λέπτου) από 17 έως και 32 m/s (34-63 knots).
- Τυφώνας (Hurricane / Typhoon): ένας έντονος τροπικός κυκλώνας με μέγιστη ένταση μέσου ανέμου (10-λέπτου) μεγαλύτερη ή ίση των 33 m/s (64 knots).

Αίτια δημιουργίας και στοιχεία προγνώσεως

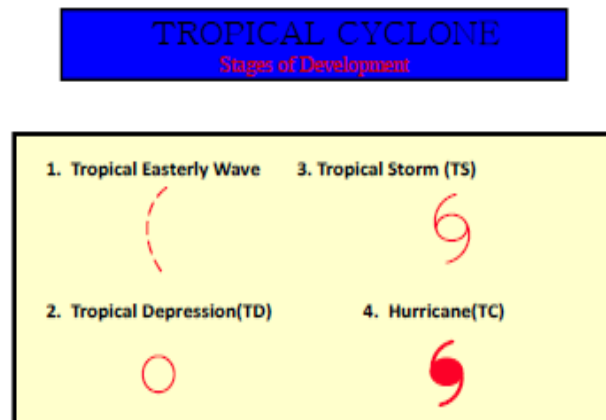
Ενώ είναι γνωστά μέχρι σήμερα αρκετά για τη δομή, το μηχανισμό και τη συμπεριφορά των τροπικών κυκλώνων, οι γνώσεις μας είναι ακόμα περιορισμένες. Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι ενώ μπορούμε να υπολογίσουμε την εξέλιξη, ανάπτυξη και κίνηση ενός τροπικού κυκλώνα από την αρχή της δημιουργίας του που προέρχεται από μία ασθενή τροπική ύφεση, σε πολλές περιπτώσεις παρόμοιες τροπικές υφέσεις δεν μετατρέπονται σε τροπικό κυκλώνα και δεν υπάρχουν κριτήρια για αυτό.

Πολλοί ερευνητές συμφωνούν με τις παρακάτω ευνοϊκές συνθήκες για τη δημιουργία και ανάπτυξη των τροπικών κυκλώνων.

- θερμοκρασία θάλασσας (σε βάθος μεγαλύτερο των 50 m) άνω των 26.5 °C
- μεγάλη πτώση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας καθ' ύψος
- αυξημένα ποσοστά υγρασίας στη μέση τροπόσφαιρα (5 km)
- απόσταση τουλάχιστον 500 km από τον Ισημερινό
- μικρές διαφορές της έντασης του ανέμου καθ' ύψος



Εικόνα 11 Εικόνα τροπικού κυκλώνα από δορυφόρο [Πηγή: Department of Atmospheric Sciences, University of Illinois]



Εικόνα 12 Στάδια σχηματισμού κυκλώνα

Στοιχεία πρόγνωσης

Τα κύρια χαρακτηριστικά με τα οποία είναι δυνατόν να γίνει πρόγνωση ενός κυκλώνα είναι:

- προηγείται καταθλιπτική άπνοια
- μετά την πνοή ανέμου, επέρχεται κυματισμός δυσανάλογος προς τον πνέοντα άνεμο.
- μεγάλη αστάθεια του βαρομέτρου, μετά από το πέρας συνεχών πτώσεων των τιμών των

βαρομετρικών ενδείξεων.

2.3.2 ΚΥΜΑ

Οι διακυμάνσεις της επιφάνειας του νερού της θάλασσας ονομάζονται **κύματα**. Τα κύματα αποτελούν ίσως το ευρύτερα παρατηρημένο θαλάσσιο φαινόμενο, πιθανώς όμως το λιγότερα κατανοητό από το μέσο ναυτικό. Ο ναυτιλλόμενος, γνωρίζοντας τους βασικούς παράγοντες που το δημιουργούν, είναι ικανός να το χρησιμοποιήσει προς όφελος του, για να αποφύγει επικίνδυνες καταστάσεις ή για να ενεργήσει με τον ελάχιστο δυνατό κίνδυνο, αν οι επικίνδυνες αυτές καταστάσεις δεν είναι δυνατόν να αποφευχθούν.

Όλα σχεδόν τα κύματα που παρατηρούνται στην επιφάνεια της θάλασσας, οφείλουν τη γένεσή τους στον άνεμο, με εξαίρεση εκείνα που προκαλούνται είτε από εκρήξεις (σεισμούς) στο βυθό της θάλασσας και ονομάζονται tsunami (τσουνάμι) κι εκείνα που προκαλούνται από κάποια μετεωρολογική διαταραχή (βαθύ βαρομετρικό χαμηλό).

Δημιουργία κύματος

Εάν υποθέσουμε ότι βρισκόμαστε σε ήρεμη θάλασσα, είναι κατανοητό ότι καθώς φρέσκος άνεμος πνέει πάνω από αρχικά ήρεμη θάλασσα, σύρεται πάνω σ' αυτή και ασκεί κάποια δύναμη κάθετη σαν πίεση αλλά και οριζόντια λόγω τριβής. Η κίνηση του ανέμου πάνω στη θάλασσα δεν είναι στρωτή αλλά

ακανόνιστη και στροβιλοειδής. Λόγω αυτής της όχι στρωτής ροής του ανέμου πάνω από τη θάλασσα, οι δυνάμεις που ασκούνται δεν είναι ομοιόμορφες με συνέπεια η επιφάνεια της θάλασσας να γίνεται ανώμαλη, δηλαδή να εμφανίζει ρυτίδες (μικρά κυματίδια). Η ελάχιστη τιμή της ταχύτητας του ανέμου που μπορεί να δημιουργήσει κύμα, έχει υπολογιστεί ότι είναι περίπου 2 κόμβοι.

Τα υπό ανάπτυξη κύματα κινούνται με τη διεύθυνση του ανέμου και μεγαλώνουν σε μέγεθος όσο ο άνεμος αυξάνει. Τα κύματα που δημιουργούνται από το ίδιο σύστημα ανέμου, και ονομάζονται κύματα θάλασσας ή κύματα ανέμου, ταξιδεύουν σαν μία ομάδα κυμάτων και παίρνουν ενέργεια τόσο από τον άνεμο που ενισχύεται ή τουλάχιστον διατηρείται, όσο κι από τα γειτονικά κύματα, γιατί είναι γνωστό ότι η ενέργεια του κύματος διαδίδεται από κύμα σε κύμα.

Σε περίπτωση που ο άνεμος αρχίζει και εξασθενεί, τότε και το κύμα αρχίζει να εξασθενεί αλλά έχει αποκτήσει αρκετή ενέργεια η οποία του επιτρέπει να κινηθεί για αρκετές ώρες μέχρι να εξασθενήσει. Τα κύματα που παρατηρούνται τότε, είναι *κύματα αποθαλασσίας*, δηλαδή κύματα που το ύψος τους δεν ανταποκρίνεται με τον τοπικό άνεμο ο οποίος έχει εξασθενήσει. Κύματα αποθαλασσίας (swell) ή όπως απλά ονομάζονται βουβά κύματα ή ρεστία, παρατηρούνται για αρκετές ώρες μετά την εξασθένιση του ανέμου. Ακόμα κι όταν κάποιο σύστημα ανέμου επικρατεί σε απόσταση, τα κύματα που δημιουργεί ταξιδεύουν και φθάνουν μέχρι το ναυτικό παρατηρητή κάποιου πλοίου, αλλά έχουν μικρότερο ύψος.

Τα κύματα αποθαλασσίας έχουν αρκετά ομαλή εμφάνιση. Οι κορυφές τους είναι μακρύτερες και έχουν μεγαλύτερες περιόδους από τα κύματα θάλασσας. Ταξιδεύουν με κανονική διαδοχή, η διεύθυνσή τους είναι σταθερή και γενικά οι κορυφές τους είναι λείες και μακριές. Μπορεί να παρατηρηθούν σε περιοχές που επικρατούσε και συνεχίζει να επικρατεί ασθενής άνεμος ή άπνοια, για χρονικό διάστημα αρκετών ωρών ή μίας μέρας ή και περισσότερο.

Κάτι ανάλογο συμβαίνει όταν ο άνεμος αλλάζει διεύθυνση και γίνει αντίθετος με την κίνηση των κυμάτων. Τότε παρατηρείται προοδευτική απόσβεση των κυμάτων και δημιουργία νέων κυμάτων με τη διεύθυνση του ανέμου.

2.3.3 ΩΚΕΑΝΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

Η μετακίνηση των νερών που σχηματίζουν τους ωκεανούς δημιουργεί μία από τις πιο βασικές αιτίες διαφοράς, μεταξύ του πραγματικού στίγματος των πλοίων, της θέσεώς τους δηλαδή ως προς το βυθό, και τους στίγματος αναμετρήσεως, της θέσεώς τους δηλαδή ως προς την επιφάνεια της θάλασσας. Το νερό που βρίσκεται σε κάποια ουσιαστικά οριζόντια κίνηση ονομάζεται ρεύμα (current), η διεύθυνση προς την οποία κινείται κατεύθυνση ρεύματος (set) και η ταχύτητα κινήσεώς του ένταση (drift).²³ Οι πληροφορίες για τα ρεύματα βασίζονται κυρίως στις παρατηρήσεις που προέρχονται από τα πλοία, και ξεκίνησαν από τα μέσα του 19ου αιώνα. Οι πρώτες σειρές χαρτών με πληροφορίες ανέμου και ρευμάτων πάνω από τους ωκεανούς, εκδόθηκαν το 1845.

Αίτια δημιουργίας

Παρά το ότι οι γνώσεις του ανθρώπου, ως προς τις διαδικασίες παραγωγής και διατηρήσεως των ωκεάνιων ρευμάτων, κάθε άλλο παρά θεωρούνται πλήρεις, εντούτοις ο άνθρωπος έχει τη δυνατότητα κατανοήσεως γενικά των κυρίων παραγόντων, που έχουν σχέση με αυτές. Οι κύριες δυνάμεις, από τις οποίες δημιουργούνται τα ρεύματα, είναι ο άνεμος και οι διαφορές πυκνότητας του νερού της θάλασσας σε διαφορετικές θέσεις και βάθη. Επιπροσθέτως, παράγοντες όπως το βάθος του νερού, η υποβρύχια τοπογραφία, το σχήμα των θαλασσιών λεκανών του βυθού, μέσα στις οποίες το ρεύμα κινείται, η έκταση και η θέση της ξηράς, που βρίσκεται πλησίον, καθώς και η απόκλιση λόγω της περιστροφής της γης, επηρεάζουν την κυκλοφορία των ωκεάνιων ρευμάτων.

Τα θαλάσσια ρεύματα γενικά τα διακρίνουμε στα ***θερμά θαλάσσια ρεύματα***, τα οποία κινούνται από τον ισημερινό προς τους πόλους και είναι θερμότερα από τα γειτονικά ύδατα, στα ***ψυχρά θαλάσσια ρεύματα***, τα οποία από τους πόλους προς τον ισημερινό και είναι ψυχρότερα από τα γειτονικά του ύδατα και στα ***ρεύματα αποξημίωσης*** (ή επιστρέφοντα ρεύματα) τα οποία αναπληρώνουν τις απώλειες σε νερό που υφίσταται μια θαλάσσια περιοχή από την οποία ξεκινούν θαλάσσια ρεύματα.

Επίδραση ρευμάτων στις μετεωρολογικές συνθήκες

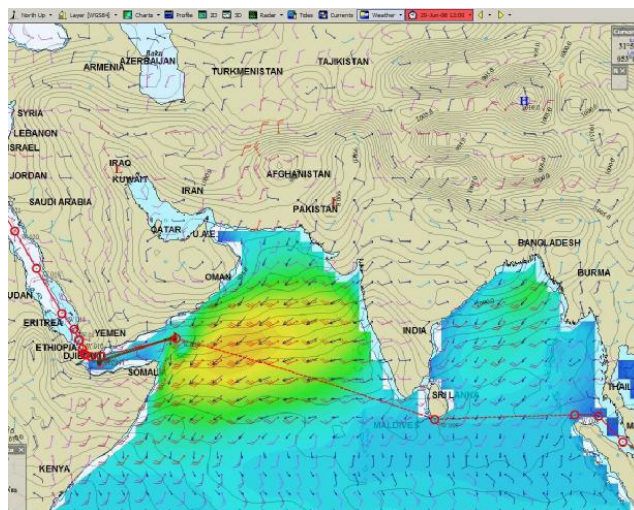
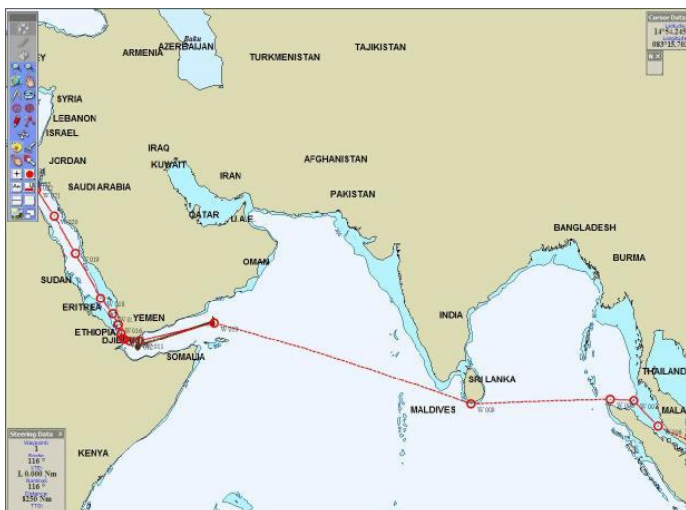
Όταν βαρομετρικό χαμηλό (ύφεση) κινείται πάνω από ένα θερμό ωκεάνιο ρεύμα, τότε τα φαινόμενα του καιρού είναι εντονότερα, δηλαδή οι αέριες μάζες που συνοδεύουν το χαμηλό θερμαίνονται πάνω από το θερμό ρεύμα, δημιουργούνται έτσι ανοδικές κινήσεις των αερίων μαζών και σύννεφα κατακόρυφης ανάπτυξης. Επίσης, ο άνεμος στην επιφάνεια της θάλασσας ενισχύεται και τα κύματα γίνονται υψηλότερα. Η ορατότητα περιορίζεται πολύ στην περιοχή συνάντησης θερμών και ψυχρών ρευμάτων, γιατί ευνοείται ο σχηματισμός ομίχλης.

Τα ωκεάνια ρεύματα ασκούν επίδραση στο κλίμα των περιοχών προς τις οποίες κινούνται. Για παράδειγμα, το θερμό ρεύμα του Κόλπου (Gulf Stream) το οποίο σαν Ρεύμα του Βόρειου Ατλαντικού κινείται προς την Ισλανδία, δημιουργεί κατά τη διάρκεια του χειμώνα στις νότιες περιοχές της Ισλανδίας, θερμότερο κλίμα (υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες) από εκείνες στη Νέα Υόρκη. Κάτι ανάλογο συμβαίνει στις νότιες και δυτικές περιοχές των βρετανικών νήσων και της Ιρλανδίας, όπου το κλίμα τους είναι ηπιότερο από εκείνο στην περιοχή Λαμπραντόρ του Καναδά. Οι δυτικές ακτές των ηνωμένων πολιτειών ψύχονται τους θερινούς μήνες από το ψυχρό ρεύμα της Καλιφόρνιας και θερμαίνονται τους χειμερινούς μήνες από το θερμό ρεύμα Ντάβιντσον (Davidson Current). Ανάλογες καιρικές και κλιματολογικές επιρροές ασκούν και σε άλλες περιοχές τα λοιπά ωκεάνια ρεύματα.

2.3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ WEATHER ROUTING

Όλοι οι παράγοντες που αναλύθηκαν προηγουμένως (άνεμος, κύμα, ρεύματα) έχουν εφαρμογή στο weather routing. Όλοι λαμβάνονται υπόψη στον καθορισμό της βέλτιστης διαδρομής από έναν προορισμό στον άλλον. Η επιρροή τους θα αναλυθεί με το ακόλουθο παράδειγμα.

Στις εικόνες που ακολουθούν βλέπουμε την προφανή πορεία ενός πλοίου από τη Σιγκαπούρη στο κανάλι του Σουέζ. Περνώντας από το Rondo Island, στη συνέχεια από το Dondra Head, μετά μέσω του Eight Degree Channel και βόρεια από τη Σοκότρα, κατευθύνει στο κανάλι Σουέζ. Το καλοκαίρι όμως στην Αραβική θάλασσα επικρατούν οι Μουσώνες που δημιουργούν ανέμους μέχρι 40 κόμβους και κύματα 25 ποδιών. Είναι αδιανόητο να σκεφτεί κανείς ότι η βέλτιστη διαδρομή θα ήταν αυτή που μόλις ειπώθηκε καθώς επιλέγοντας την παραπάνω πορεία το πλοίο θα πήγαινε με λιγότερο από 10 κόμβους ταχύτητα μετά το Eight Degree Channel λόγω των δυσμενών καιρικών συνθηκών.



Κάτω από τέτοιες καιρικές συνθήκες, τέτοια εποχή του χρόνου, η πιο «έξυπνη» διαδρομή του πλοίου θα ήταν μετά το Eight Degree Channel να περιπλεύσει τους Μουσώνες, να φτάσει στο στίγμα 0930N ή 1000N/156E, στη συνέχεια να ακολουθήσει μία βόρεια πορεία προς τη Σοκότρα έτσι ώστε να έχει τον καιρό από την πρύμνη αντί να πλέει με αντίθετο άνεμο και κύμα. Σε αυτήν την περίπτωση, αν και η απόσταση είναι λίγο μεγαλύτερη, το αποτέλεσμα θα ήταν μια σίγουρα πιο σύντομη άφιξη.

2.4 ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΚΑΙ ΝΑΥΣΙΠΛΟΙΑ

2.4.1 ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

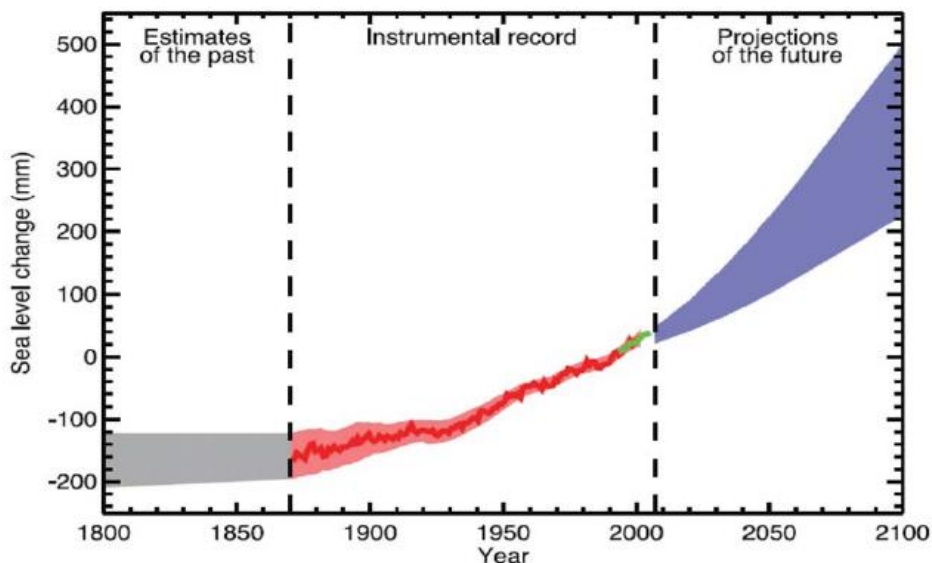
Σύμφωνα με την τέταρτη έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (Fourth Assessment Report, AR4, ή Climate Change 2007) και η οποία είναι η τελευταία αξιολόγηση της επιτροπής για την κλιματική αλλαγή έχει παρατηρηθεί το εξής: την περίοδο 1961-2003, η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο 1.8mm/έτος (1,3 – 2,3 mm). Η αντίστοιχη αύξηση για το διάστημα 1993-2003 ήταν 3,1mm/έτος, χωρίς να είναι σαφές αν πρόκειται για μακροχρόνια ροπή ή φυσική διακύμανση. Παρουσιάσεις μοντέλων για το κλίμα (climate model projections) που συμπεριλήφθηκαν στην έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change) προτείνουν ότι ο μέσος όρος αύξησης της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια του εικοστού πρώτου αιώνα θα είναι 2,5 χιλ./έτος, πράγμα που σημαίνει ότι η μέση στάθμη της θάλασσας θα είναι 0,2 μέτρα έως 0,5 μέτρα υψηλότερη το 2100 απ' ό τι το 2000.

Στην Εικόνα 12 φαίνεται η μελλοντική αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Οι μεγάλες μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας άρχισαν από τα μέσα περίπου της δεκαετίας του 1990 (πράσινο χρώμα) και συνεχίζονται έως και σήμερα. Το έτος 2100 η στάθμη της θάλασσας θα είναι περίπου 0,2 μέτρα έως 0,5 μέτρα υψηλότερη σε σχέση με το 2000. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αριθμοί αυτοί αφορούν κυρίως την αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών, αποκλείοντας τις γρήγορες και δυναμικές αλλαγές όπως η τήξη των πάγων στην Ανταρκτική και την Γροιλανδία. Αν συμπεριλάβουμε και τη τήξη των πάγων η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα κυμανθεί από 0,2 μέτρα έως 0,6 μέτρα μέχρι το 2100. Βέβαια μερικοί ερευνητές της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) κάνουν λόγο για υποτίμηση της

επίδρασης της τήξης των πάγων και ότι η αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα μπορούσε να είναι 1 μέτρο, εάν όχι περισσότερο, μέχρι το τέλος του αιώνα.

Εικόνα 13 Μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας από το 1800 έως το 2100 [Πηγή: IPCC 2007]

Αν και η άνοδος της στάθμης της θάλασσας δεν θα ασκήσει κάποια άμεση επίδραση στην ίδια τη



ναυσιπλοΐα, θα έχει επιπτώσεις στη υποδομή των λιμανιών και το επίπεδο των υπηρεσιών των παράκτιων και λιμενικών δομών. Μπορεί να επιτρέψει μεγαλύτερη διείσδυση της ενέργειας των κυμάτων στην ακτή και στα λιμάνια, ενώ παράλληλα να αυξήσει την αλατότητα των κόλπων και των εκβολών των λιμανιών. Λέγοντας ενέργεια των κυμάτων εννοούμε ότι η ορμή των κυμάτων θα αυξηθεί με αποτέλεσμα ζημιά στην υποδομή των λιμανιών.

Γέφυρες και προβλήτες θα υποστούν τη μεγαλύτερη φθορά ενώ αν αναλογιστούμε και την αύξηση της αλατότητας, η διάβρωση που θα υποστούν οι υποδομές αυτές θα είναι μεγάλη. Η διαβρωτική δράση του θαλασσινού νερού οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα αλάτων οπότε η αύξηση της συγκέντρωσης άλατος λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας θα είχε ως άμεση συνέπεια την αλλαγή των ιδιοτήτων του μετάλλου με το οποίο έρχεται σε επαφή το νερό.

Εκτός από την αρνητική επίπτωση στην υποδομή των λιμανιών, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα παίξει σημαντικό ρόλο στην άφιξη πλοίων σε λιμάνια που τώρα δεν επιτρέπεται να αφιχθούν αφού θα αυξηθεί το βύθισμα των λιμανιών με συνέπεια να μπορούν να δέχονται πλοία με μεγαλύτερο βύθισμα.

2.4.2 ANEMOI

Η κατάσταση των ανέμων θα μπορούσε, από πολλές απόψεις, να επηρεαστεί από τη θερμοκρασία και άλλες αλλαγές κλίματος. Η εποχιακή κατανομή των ταχυτήτων και των κατευθύνσεων του αέρα, οι κατευθύνσεις αλλά και οι διάρκειες των θυελλών και των τυφώνων θα μπορούσαν να αλλάξουν. Στην έκθεση

της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) που ολοκληρώθηκε το 2007 λίγες πληροφορίες υπάρχουν για την κατάσταση των ανέμων καθώς υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα σχετικά με την αλλαγή της συμπεριφορά τους λόγω της κλιματικής αλλαγής. Το μόνο σίγουρο είναι ότι σύμφωνα με πρότυπα μοντέλα συμπεριφοράς ανέμων, οι μεγαλύτερες αλλαγές στη συμπεριφορά τους θα λάβει χώρα στις βόρειες περιοχές της γης. Λόγου χάριν, στη Νορβηγία σύμφωνα με πρότυπα μοντέλα συμπεριφοράς ανέμων διαφαίνεται ότι θα είναι συχνότερες οι περιπτώσεις των θυελλών μέσης έντασης και εντονότερες οι ακραίες θύελλες. Οι μεταβολές στον άνεμο στις εν λόγω περιοχές θα είχε ως συνέπεια τη δυνατότητα δημιουργίας υψηλότερων κυμάτων.

Στη ναυσιπλοΐα μια αύξηση στην ταχύτητα αέρα θα είχε επίσης άμεσα αποτελέσματα. Για παράδειγμα οι προτιμώμενες εμπορικές οδοί μπορεί να αλλάξουν, καθώς θα υπάρχει δυσκολία διέλευσης από τα πλοία. Η βόρεια θάλασσα, η θάλασσα της Βαλτικής και γενικά η θαλάσσια περιοχή των Σκανδιναβικών χωρών, θα μπορούσαν να δυσκολέψουν τη διέλευση εμπορικών πλοίων λόγω της δημιουργίας ισχυρών ανέμων.

Μια άλλη επίπτωση που μπορεί να έχει η αλλαγή της συμπεριφοράς των ανέμων θα είναι η δυσκολία διέλευσης από στενά κανάλια. Οι ελιγμοί στα κανάλια θα γίνουν δυσκολότεροι καθώς δεν θα υπάρχει η πλήρης δυνατότητα ελέγχου του πλοίου. Ίσως δούμε δυσκολία διέλευσης ακόμα και στο κανάλι του Παναμά ή και στο Σουέζ. Εξαιτίας της ανάπτυξης ισχυρών ανέμων αξίζει να αναφερθεί ότι θα υπάρχει δυσκολία πρόσδεσης των πλοίων στα λιμάνια και κυρίως στα λιμάνια του βορείου ημισφαιρίου της γης, όπου η αλλαγή στη συμπεριφορά των ανέμων θα είναι μεγαλύτερη όπως έχει ειπωθεί. Θα χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να δέσει το πλοίο στο λιμάνι για να ξεφορτώσει ή να φορτώσει το εμπόρευσμά του, οπότε ο χρόνος παραμονής του στο λιμάνι θα αυξηθεί. Αυτό θα έχει βέβαια συνέπεια στη μεταφορά των προϊόντων από το λιμάνι στην αγορά οπότε η οικονομία που διέπει το εμπόριο ίσως επηρεαστεί έως έναν βαθμό. Βέβαια όλα αυτά είναι υποθέσεις που προέκυψαν από μελέτη που εκπονήθηκε από την PIANC (International Navigation Association) λαμβάνοντας υπόψιν τα πορίσματα της 4ης έκθεσης της IPCC οπότε τίποτα δεν μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα τουλάχιστον προς το παρόν. Μόνο υποθέσεις μπορεί να σημειωθούν.

2.4.3 ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ FREAK WAVES

Τα κύματα θα μπορούσαν να επηρεαστούν από την αλλαγή κλίματος με διάφορους τρόπους. Η εποχιακή κατανομή του ύψους των κυμάτων, η συχνότητα και η διεύθυνση των περιόδων των υψηλών κυμάτων, η συχνότητα και η διεύθυνση των τυφώνων καθώς και η διάρκεια των θυελλών θα μπορούσαν να αλλάξουν. Στις πολικές περιοχές η αλλαγή στη θέση και την έκταση του τοπικού πάγου μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στην κατάσταση των κυμάτων. Η IPCC αναφέρει μια σημαντική τάση ετήσιας αύξησης του ύψους κύματος (Hs) κυρίως κατά την χειμερινή περίοδο. Η τάση αυτή είναι εμφανή στις ακόλουθες

θαλάσσιες περιοχές: Βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό, Βόρειο Ειρηνικό Ωκεανό, Νοτιοδυτικός Ατλαντικός Ωκεανός, Ανατολικός Ινδικός Ωκεανός καθώς και οι Ανατολικές και Νότιες θάλασσες της Κίνας.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνει μία αναφορά για τα λεγόμενα freak waves. Τα κύματα αυτά είναι αρκετά μεγάλα και αποτελούν απειλή ακόμη και για μεγάλα πλοία. Το χαρακτηριστικό των κυμάτων αυτών είναι ότι μπορεί να εμφανιστούν εντελώς ξαφνικά και ότι το ύψος κύματός τους μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 34 μέτρα. Το ύψος αυτό είναι πιο πάνω από το τριπλάσιο του ύψους των κανονικών κυμάτων το οποίο είναι περίπου 10,8 μέτρα. Λέγοντας ύψος κύματος εννοούμε την κάθετη απόσταση μεταξύ της κορυφής και του κατώτερου σημείου της κοιλάδας του κύματος. Είναι γνωστό ότι η δημιουργία ενός κύματος οφείλεται στην ένταση του αέρα πάνω από τη θάλασσα. Να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι τα κύματα αυτά είναι διαφορετικά από τα κύματα που προκαλούνται από σεισμούς, δηλαδή τα γνωστά τσουνάμι.

Η δύναμη, η διάρκεια και ο τρόπος με τον οποίο ο άνεμος σαρώνει το νερό προσδιορίζουν το μέγεθος των κυμάτων. Η δύναμη και η διάρκεια του ανέμου καθορίζουν και το ύψος των κυμάτων. Κύματα ύψους περίπου 2 μέτρων είναι κάτι το συνηθισμένο, αν και αυτά μέχρι 10 ή ακόμα και 15 μέτρα θεωρούνται κάτι το σύνηθες. Καθώς τα κύματα κερδίζουν ενέργεια από τον άνεμο, γίνονται ολοένα και πιο απότομα και οι κορυφές τους μπορούν να φτάσουν πολύ ψηλά και μπορούν να δημιουργηθούν με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι αν συνδυαστούν θαλάσσια κανονικά κύματα με διαφορετικές όμως ταχύτητες, οπότε περνούν το ένα πάνω από το άλλο και αν συγχρονιστούν δημιουργείται ένα αρκετά μεγάλο κύμα. Ο δεύτερος είναι αν τα κύματα συναντήσουν ένα ωκεάνιο ρεύμα.

Η αύξηση της εμφάνισης τέτοιων κυμάτων τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει βάλει σε σκέψεις αρκετούς επιστήμονες σχετικά με τη δημιουργία τους. Η αλλαγή της συμπεριφοράς των ανέμων που αναλύθηκε παραπάνω και που οφείλεται στην κλιματική αλλαγή ίσως παίζει ρόλο στην συχνότερη εμφάνισή τους. Η ανάγκη διερεύνησης τέτοιων κυμάτων ώθησε την Ευρωπαϊκή Ένωση να αρχίσει από τον Δεκέμβριο 2000 ένα επιστημονικό πρόγραμμα αποκαλούμενο MaxWave για να καταγράψει τα διαδεδομένα περιστατικά των τεράστιων αυτών κυμάτων (freak waves) καθώς και να διαμορφώσει όσο το δυνατόν μία πληρέστερη εικόνα για τον τρόπο δημιουργίας τους και τι συνέπειες μπορεί να έχουν. Σε αυτό το πρόγραμμα συμμετείχε και ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (European Space Agency) για την καταγραφή των κυμάτων αυτών από δορυφόρους. Χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφόροι ERS-1 και ERS-2, οι οποίοι σάρωσαν επί τρεις εβδομάδες τους ωκεανούς του πλανήτη και με τα ραντάρ τους αποτύπωσαν υπό διάφορες καιρικές συνθήκες περίπου 30.000 εικόνες. Η ανάλυση των εικόνων έγινε στο Γερμανικό Κέντρο Αεροδιαστήματος (DLR) και διαπιστώθηκε πως οι δορυφόροι είχαν δει δέκα κύματα ύψους μεγαλύτερου των 25 μέτρων σε διάφορα σημεία του πλανήτη. Τα δεδομένα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για να καταρτιστεί Παγκόσμιος Άτλας των κυμάτων, ώστε να γίνει κατανοητό σε ποιες περιοχές εκδηλώνονται και με ποια συχνότητα.

Κεφάλαιο 3

ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

(ΓΕΩΠΟΝΙΑ)

Γεωπονία είναι η επιστήμη που ασχολείται με τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την καλλιέργεια της γης και της παραγωγής αγροτικών προϊόντων. Περιλαμβάνει όλες εκείνες τις πρακτικές και τις θεωρητικές γνώσεις που είναι απαραίτητες, για να γίνει δυνατή μια συστηματική καλλιέργεια, αλλά και για να αποδώσει εμπορικά. Η γεωπονία, σαν αυτόνομος κλάδος, αναπτύχθηκε μετά το 19ο αιώνα. Παλαιότερα αποτελούσε τμήμα των φυσικών επιστημών και της βιολογίας. Η ανάγκη να αποτελέσει ειδικό κλάδο, με δική της μεθοδολογία και θεωρητική υπόσταση δημιουργήθηκε λόγω της διευρυνσης των άλλων δύο.

Σύμφωνα με τον ορισμό της, η γεωπονία είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη γεωργία. Δύσκολα, άλλωστε, είναι δυνατό να γίνει σαφής ένας διαχωρισμός ανάμεσα στις δύο αυτές έννοιες, γι' αυτό το λόγο συγχέονται ή υποκαθιστά η μία την άλλη. Δεν υπάρχει σχεδόν κανένας άλλος τομέας ανθρώπινης δραστηριότητας που να εξαρτάται τόσο πολύ από τον καιρό όσο η γεωργία. Ο καιρός αποτελεί έναν από τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες της αγροτικής παραγωγής, ενώ πολλές φορές ευθύνεται για ανυπολόγιστες οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις σε εθνικό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο. Στις μέρες μας, όπου η κλιματική αλλαγή αποτελεί το κύριο θέμα συζήτησης σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι θεμελιώδους σημασίας η γνώση και η αντιμετώπιση των καιρικών φαινομένων στην ενασχόληση με τη γεωργία. Είναι, λοιπόν, εμφανές ότι η μετεωρολογία βρίσκει πολύ σημαντική εφαρμογή στη γεωπονία. Ο κλάδος που αποτελεί την τομή των δύο επιστημών ονομάζεται *αγρομετεωρολογία*⁷.

Με την ευρεία έννοια αγρομετεωρολογία είναι ο κλάδος της εφαρμοσμένης μετεωρολογίας, που μελετά τις φυσικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα που δημιουργούν τον καιρό και σχετίζεται με την αγροτική παραγωγή με αντικείμενα τη μελέτη και την έρευνα του μικροκλίματος φυτών και ζώων, καθώς και τη στατιστική επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Ο στόχος της είναι η βελτίωση ή και η μεγιστοποίηση της αγροτικής παραγωγής μέσω της περισσότερο ακριβούς *πρόγνωσης* και μέσω του *ελέγχου του φυσικού περιβάλλοντος* με απώτερο σκοπό τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του αγροτικού περιβάλλοντος. Στην πρόγνωση περιλαμβάνεται ένα εύρος διαδικασιών, από ποσοτικές

⁷ Για την αγρομετεωρολογία, βλ. επίσης, μεταξύ πολλών άλλων, Δαλέζιος, 2005· Griffiths, 1994· Holden, 2001· Monteith & Usworth, 2007· Murthy, 2002· Oke, 1988· Mavi & Tupper, 2004· Prasada Rao, 2008· Seemann κ.ά., 1979· Smith, 2008· Smith, 1975· Stigter, 2010· Wang, 1972· WMO, 2001· WMO, 2003· WMO, 2010.

προγνώσεις σοδειάς και παρακολούθησης γεωργικής παραγωγής με στόχο την αναβάθμιση της ποιότητας μέχρι την εκτίμηση παραγωγής ζωικού κεφαλαίου και των κλιματικών καταστροφών. Ο έλεγχος του φυσικού περιβάλλοντος μπορεί να περιλαμβάνει πρόληψη παγετού, έλεγχο πλημμύρας, ρύθμιση θερμοκρασίας σε στάβλους, καθώς και τροποποίηση καιρού για ξηρασία και χαλάζι, που τελικά συντελούν σε βέλτιστη διαχείριση του αγροτικού περιβάλλοντος.

Η σημαντικότητα των αγρομετεωρολογικών υπηρεσιών έγκειται σε μια σειρά παράγοντες:

- Η γεωργική παραγωγή εξαρτάται ακόμα σε μεγάλο βαθμό από τον καιρό και το κλίμα, παρά τις εντυπωσιακές εξελίξεις στη γεωργική τεχνολογία το τελευταίο μισό του 20ού αιώνα.

- Οι προκλήσεις που παρατηρούνται σε πολλές μορφές γεωργικής παραγωγής από την αυξανόμενη κλιματική μεταβλητότητα, σε συνδυασμό με τα ακραία φαινόμενα και με την κλιματική αλλαγή.

- Η γνώση των διαθέσιμων περιβαλλοντικών πόρων και των διεργασιών που συντελούνται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, στο στρώμα αλληλεπίδρασης εδάφους-αέρα και στο οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας, παρέχει την αναγκαία καθοδήγηση για στρατηγικές αγρομετεωρολογικές αποφάσεις κατά τη σχεδίαση γεωργικών συστημάτων μεγάλου εύρους. (Τυπικά παραδείγματα: η σχεδίαση αρδευτικών και στραγγιστικών έργων, οι αποφάσεις σχετικά με χρήσεις γης και πρότυπα καλλιεργειών, οι επιλογές σε καλλιέργειες και ζώα, σε ποικιλίες και γενετική βελτίωση, και σε γεωργικά μηχανήματα)

- Οι λεπτομερείς παρατηρήσεις και η παρακολούθηση και διάδοση της μετεωρολογικής πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο, η ποσοτικοποίηση μέσω τηλεπισκόπησης (radar και δορυφόροι) και η εξαγωγή δεικτών και η επιχειρησιακή παροχή υπηρεσιών είναι σημαντικά για τη λήψη τακτικών αγρομετεωρολογικών αποφάσεων όσον αφορά τη σχεδίαση γεωργικών λειτουργιών βραχείας διάρκειας σε διάφορα βλαστικά στάδια.

- Η συνεχώς βελτιούμενη κατανόηση των επιπτώσεων του καιρού και του κλίματος σε εδάφη, φυτά, ζώα, δένδρα και παραγωγή συστημάτων καλλιεργειών καθίσταται απαραίτητη στη λήψη αποφάσεων από αγρότες και τεχνικούς, ώστε να επιβεβαιωθεί η ανάγκη έγκαιρης και αποτελεσματικής χρήσης της μετεωρολογικής και κλιματολογικής πληροφορίας, καθώς και των αγρομετεωρολογικών υπηρεσιών στη γεωργία.

- Η πρόγνωση του καιρού συμβατικού τύπου μπορεί να διαδραματίσει βοηθητικό ρόλο, πάντα με την προϋπόθεση ότι είναι αξιόπιστη και εύκολα διαθέσιμη και κυρίως, ότι οι επιδράσεις του μελλοντικού καιρού είναι κατανοητές από τον αγρότη, που δεν έχει συνήθως τη δυνατότητα να αντιδράσει.

- Η **δασική μετεωρολογία**, ως συνιστώσα της αγρομετεωρολογίας, παρέχει χρήσιμες πληροφορίες και υπηρεσίες διεθνώς. Ειδικότερα, χρησιμοποιούνται πλέον επιχειρησιακά σε παγκόσμια κλίμακα αξιόπιστες μέθοδοι για την πρόγνωση της πιθανότητας έναρξης και εξάπλωσης, καθώς και παρακολούθησης της συμπεριφοράς δασικών πυρκαγιών.

- Οι αναπτυσσόμενες χώρες παρουσιάζουν αυξανόμενη ζήτηση σε αγρομετεωρολογικές υπηρεσίες, λόγω της συνεχούς πίεσης από την πλευρά του πληθυσμού και των συνεχώς εξελισσόμενων γεωργικών

πρακτικών. Πράγματι, αναμένεται αύξηση των απαιτήσεων σε αγρομετεωρολογική πληροφορία και υπηρεσίες όσον αφορά τεχνολογίες, συστήματα και πρότυπα καλλιεργειών, διαχείριση νερού και μετεωρολογικό έλεγχο εχθρών και ασθενειών.

- Οι αναπτυγμένες χώρες δημιουργούν συνήθως, στο πλαίσιο της εθνικής πολιτικής, αγρομετεωρολογικές υπηρεσίες που περιλαμβάνουν την παροχή περιβαλλοντικών δεδομένων και πληροφοριών, τη λήψη αποφάσεων για την υποστήριξη της διατηρήσιμης παραγωγής τροφίμων, την αειφόρο ανάπτυξη, καθώς και πρακτικές διαχείρισης εδαφών, που επηρεάζουν τις διαδικασίες ανταλλαγής αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης, η μεταφορά τεχνολογίας μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο, λόγω της αρχικής προσαρμογής στην κλιματική μεταβλητότητα/αλλαγή.

- Σε ξηρότερα κλίματα, η παροχή υπηρεσιών περιλαμβάνει την πληροφορία σε διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες, τόσο για τη μέση ημερομηνία σποράς, όσο και για την τρέχουσα περίοδο, καθώς και για την επιχειρησιακή προστασία των καλλιεργειών. Σε πιο υγρά κλίματα, επίσης παρέχεται πληροφορία για την εμφάνιση εχθρών και ασθενειών. Αυτές οι υπηρεσίες βασίζονται σε μετεωρολογική πληροφορία και αγρομετεωρολογικές υπηρεσίες τοπικής κλίμακας, και είναι φιλικές στο χρήστη.

3.1 ΣΧΕΣΗ ΚΑΙΡΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

Η σχέση μεταξύ καιρού και γεωργίας περιλαμβάνει έξι κύριες ενότητες: το έδαφος, τα φυτά, τα ζώα του αγρού, τους εχθρούς, τις ασθένειες και τα ζιζάνια των καλλιεργειών και των ζώων, τα κτίρια και τον εξοπλισμό των αγροκτημάτων, και τη λειτουργία των αγροκτημάτων, και την τεχνητή τροποποίηση της μετεωρολογικής και υδρολογικής διαίτας, δηλαδή την τροποποίηση του καιρού. Αναλυτικότερα:

3.1.1 ΕΔΑΦΟΣ

Οι καιρικές συνθήκες είναι ένας σημαντικός παράγοντας στη δημιουργία και κατόπιν στην αναγνώριση της φύσης του εδάφους. Το κλίμα και ο καιρός επηρεάζουν μηχανικά, φυσικά και χημικά τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τους οργανισμούς που περιέχει και την ικανότητά του να απορροφά και να ελευθερώνει θερμότητα και υγρασία. Η βροχή μπορεί να προσθέτει χημικά στοιχεία στο έδαφος, τα οποία απομακρύνει όμως ταυτόχρονα με την έκπλυση. Η μηχανική κατάσταση του εδάφους, επηρεάζει την καλλιέργεια, τη ζιζανιοκτονία, τη συγκομιδή και τη διαχείριση των βοσκοτόπων και επηρεάζεται η ίδια σημαντικά από τις τοπικές καιρικές συνθήκες. Όσον αφορά στο παγκόσμιο πρόβλημα της διάβρωσης, τόσο ο αέρας όσο και το νερό επηρεάζονται ουσιαστικά από τους γεωγραφικούς και τους τοπικούς καιρικούς παράγοντες. Όμως ο βαθμός διάβρωσης ενός κομματιού γης καθορίζεται επίσης σημαντικά από την ύπαρξη και την πυκνότητα της φυτικής κάλυψης. Σε όλες τις περιοχές με καθορισμένη περιοδική διακύμανση στον καιρό, οι εποχικές αλλαγές επηρεάζουν ουσιαστικά την κατάσταση του εδάφους. Το αποτέλεσμα είναι ότι επηρεάζονται οι καλλιεργητικές εργασίες με την εποχική διακύμανση των

βροχοπτώσεων σε μεσογειακά ή εύκρατα κλίματα, καθόσον υπάρχει ανισοκατανομή στη διαθεσιμότητα νερού στα διάφορα βλαστικά στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών.

3.1.2 ΦΥΤΑ

Τα φυτά επηρεάζονται σε κάθε στάδιο της ανάπτυξής τους από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η επίδραση του καιρού επηρεάζει την περίοδο πριν από τη φύτευση, μέχρι και μετά τη συγκομιδή. Η ποιότητα του σπόρου που συλλέγεται εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες στη διάρκεια του χρόνου κατά τον οποίο παράχθηκε, αλλά ακόμα και στα προηγούμενα χρόνια, καθώς η παραγωγικότητα ορισμένων φυτικών καλλιεργειών, όπως τα αμπέλια, μπορεί να επηρεαστεί από τον καιρό σε αρκετά παλαιότερες περιόδους. Τα δέντρα των δασών είναι ίσως το πιο προφανές παράδειγμα μιας δενδρώδους καλλιέργειας στην οποία ο καιρός τα τελευταία χρόνια ή/και τις τελευταίες δεκαετίες συμβάλλει στην τελική απόδοση. Διαδικασίες μετά τη συγκομιδή, όπως η ξήρανση του χόρτου και άλλων φυτειών, επηρεάζονται από τον εποχικό καιρό, όπως και η ικανότητα των φρούτων, των λαχανικών και άλλων προϊόντων να διατηρούν την ποιότητά τους στην αποθήκη. Οι μετεωρολογικοί παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στην παρουσία και την καταπολέμηση των δασικών πυρκαγιών.

3.1.3 ΖΩΑ ΤΟΥ ΑΓΡΟΥ

Εκτός από τα άμεσα αποτελέσματα του κλίματος σε όλα τα στάδια της ζωής, αλλά και στην ανάπτυξη και την κατάσταση των υγιών και καλοτρεφόμενων ζώων, όπως και των ασθενών και μη επαρκώς διατρεφόμενων, ο καιρός επηρεάζει τα ζώα μέσω κυρίως της τροφής τους (π.χ. καλλιεργήσιμα προϊόντα) και των εδαφών στα οποία διαμένουν. Ο καιρός και το κλίμα επηρεάζουν τη διατροφή, την ανάπτυξη και την υγεία τους, και συνεπώς τη γεωγραφική τους εξάπλωση. Επίσης επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα των ζωικών προϊόντων, αλλά και την επεξεργασία και τη δυνατότητα συντήρησης και μεταφοράς τους.

3.1.4 ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ ΚΑΙ ΕΧΘΡΟΙ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΖΩΩΝ

Το αποτέλεσμα των ασθενειών και των εχθρών φυτών και ζώων έχει τρεις πτυχές. Ο καιρός επηρεάζει την ευαισθησία των φυτών και των ζώων σε επιθέσεις από ζιζάνια και ασθένειες. Επιπλέον, εισέρχεται στη βιολογία των εντόμων και των οργανισμών που προκαλούν ασθένειες, με συνέπεια να επηρεάζει τη φύση, τον αριθμό και τη δραστηριότητα των ζιζανίων και το μέγεθος της παθογόνου δράσης της ασθένειας. Σε σημαντικές περιπτώσεις, η επιδημιολογία της ασθένειας (διάδοση, μεταφορά με τον άνεμο) και ο έλεγχος ή η καταστροφή της εξαρτώνται από τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες.

3.1.5 ΚΤΙΡΙΑ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΓΡΟΚΤΗΜΑΤΩΝ

Για το σχεδιασμό των κτιριακών εγκαταστάσεων, ειδικά αυτών στις οποίες στεγάζονται ζώα ή αποθηκεύονται αγροτικά προϊόντα, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι κλιματικές συνθήκες. Η επιλογή των μηχανημάτων των εγκαταστάσεων, το κόστος συντήρησης και η βέλτιστη εγκατάσταση σε οποιαδήποτε περίπτωση, τόσο των μηχανημάτων όσο και των εργασιών που απαιτούνται, έχει σχέση με τον καιρό.

3.1.6. ΤΕΧΝΗΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ

Η άρδευση, οι ανεμοφράχτες και οι ζώνες ασφαλείας, η αποθήκευση και η συντήρηση του χιονιού και του νερού, καθώς και οι πρακτικές του εδάφους έχουν σημαντική επίδραση σε ορισμένες πλευρές του τοπικού περιβάλλοντος, όπως η εδαφική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η ατμοσφαιρική υγρασία. Ο έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών πραγματοποιείται κυρίως με τη χρήση των θερμοκηπίων και την εντατική στέγαση των ζώων (WMO, 2001). Ενώ επιτυγχάνονται (μερικές φορές, σε σημαντικό επίπεδο) οι διάφοροι βαθμοί αυτονομίας των εξωτερικών συνθηκών, ωστόσο το κόστος των υλικών και της ενέργειας που απαιτείται για την επίτευξη της αυτονομίας τείνει να αυξάνεται, καθώς η διαφορά μεταξύ του επιθυμητού εσωτερικού κλίματος και του καιρού και κλίματος στο εξωτερικό κέλυφος της κατασκευής γίνεται μεγαλύτερη. Σε αυτή την ενότητα περιλαμβάνεται και η εκτίμηση των κλιματικών αλλαγών σχετικά με τη γεωργία, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά, που βοηθά ή προκαλείται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Ως παράδειγμα αναφέρονται οι αλλαγές στο διοξείδιο του άνθρακα που περιέχει η ατμόσφαιρα, λόγω της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων, όπως το κάρβουνο και το πετρέλαιο.

3.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Παρουσιάζονται επιγραμματικά μερικές από τις πιο σημαντικές και επίκαιρες δυνατότητες συνεισφοράς της αγρομετεωρολογίας στην ελληνική γεωργία.

3.2.1 ΑΓΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗ

Σε συνθήκες αυξημένης κλιματικής μεταβλητότητας, είναι χρήσιμη μια μεθοδολογία που να μπορεί να ελέγχει την καταλληλότητα μιας περιοχής, για την ανάπτυξη καλλιεργειών και τη δημιουργία ζωνών παραγωγής, με στόχο τη βελτιστοποίηση της αγροτικής παραγωγής. Πιθανές αναδιαρθρώσεις καλλιεργειών με έμφαση στις ζώνες υψηλής, μεσαίας και χαμηλής ή οριακής παραγωγικότητας, όπου ενδείκνυνται ενεργειακές καλλιέργειες, θα πρέπει να γίνονται με βάση την αγροκλιματική ταξινόμηση μιας

περιοχής, ενώ η παρακολούθηση και ο έλεγχος των καλλιεργειών είναι σκόπιμο να συντελούνται σε επίπεδο αγροκλιματικών ζωνών.

Μεθοδολογία

- **Δημιουργία ζωνών παραγωγής.** Αναπτύσσονται ζώνες παραγωγής της Ελλάδας (υψηλής, μεσαίας, χαμηλής παραγωγικότητας) με βάση υδροκλιματική-αγροκλιματική ταξινόμηση και δείκτες, χρησιμοποιώντας δορυφορικά και επίγεια μετεωρολογικά, εδαφολογικά, τοπογραφικά και αγρονομικά στοιχεία, καθώς επίσης και τεχνικές τηλεπισκόπησης. Αρχικά, αναπτύσσονται αγροκλιματικές-υδροκλιματικές ζώνες, σε καθεμία από τις οποίες προσδιορίζεται το εύρος των παραπάνω στοιχείων, για την επιλογή της κατάλληλης καλλιέργειας. Στη συνέχεια, δημιουργούνται ζώνες συστημάτων καλλιεργειών, που συνδυάζονται με τις υπάρχουσες καλλιέργειες, πχ. βαμβάκι, σιτάρι. επίσης, η μεθοδολογία επιτρέπει ιεραρχικά την εξέταση των υδροκλιματικών συνθηκών μικρών ζωνών, για την επιλογή ακόμα και ειδικών νέων καλλιεργειών. Στη δημιουργία ζωνών παραγωγής περιλαμβάνονται πεδινές και ορεινές περιοχές, για να καλυφθούν και οι ζώνες ζωικής παραγωγής.

- **Αναδιάρθρωση καλλιεργειών.** Αναπτύσσεται ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support System/DSS) με βάση τη χωροχρονική ανάλυση πολυκριτηρίων, για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής. Ειδικότερα, σε κάθε ζώνη, αρχίζοντας από τις υπάρχουσες καλλιέργειες, αναλύονται το κόστος παραγωγής (εισροές, νερό, λιπάσματα, ενέργεια κτλ.), η διάθεση της παραγωγής, η ανταγωνιστικότητα και οι τιμές αγορών σε DSS. Εξετάζονται επίσης εναλλακτικές καλλιέργειες σε κάθε αγροκλιματική ζώνη, για βέλτιστες λύσεις. Το τελικό DSS αποτελεί «εργαλείο» υποστήριξης αποφάσεων σε επίπεδο ομάδας παραγωγών, ενώσεων, εταιρειών, τοπικής αυτοδιοίκησης και περιφέρειας, για ενδεχόμενη αναδιάρθρωση καλλιεργειών, με τελικό στόχο τη βελτιστοποίηση της παραγωγής και την καλύτερη προστιθέμενη αξία.

3.2.2. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Στη λεκάνη της Μεσογείου έχουν ήδη διαπιστωθεί διαχρονική μείωση των βροχοπτώσεων (της τάξης του 20%), αύξηση της θερμοκρασίας και έξαρση των ακραίων φαινομένων (κυρίως ξηρασίας, καύσωνα, δασικών πυρκαγιών). Επισημαίνεται ακόμα ότι η γεωργία της Μεσογείου, στην οποία εντάσσεται και η ελληνική γεωργία, χαρακτηρίζεται ευπαθής, εξαιτίας κυρίως των ελλειμμάτων σε νερό ή, καλύτερα, της ανάγκης ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων για τη γεωργία, καθώς και εξαιτίας των επιπτώσεων και της ανάγκης προσαρμογής της γεωργίας στην κλιματική αλλαγή, με έμφαση στα ακραία φαινόμενα, π.χ. ξηρασίες, καύσωνες, χαλάζι, δασικές πυρκαγιές, ερημοποίηση.

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την ιεραρχική προσέγγιση των παρακάτω ενοτήτων:

- **Κλιματική μεταβλητότητα.** Ανάλυση χρονοσειρών (κυρίως βροχής και θερμοκρασίας), τάσεων, συχνοτήτων, περιοδικότητας, στοχαστικών χαρακτηριστικών.

- **Κλιματική αλλαγή.** Εφαρμογή κλιματικού μοντέλου γενικής κυκλοφορίας (General Circulation Model/GCM), με μελλοντικά σενάρια μέχρι το 2100, υποκλιμάκωση (downscaling) και εφαρμογή περιοχικού κλιματικού μοντέλου (Regional Climate Model/RCM) σε επίπεδο λεκάνης απορροής.

Στη γεωργία, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής επικεντρώνονται στη γεωργική παραγωγή με χρήση αγρομετεωρολογικών μοντέλων, π.χ. CROPSYST, στη φαινολογία με χρήση φαινολογικών μοντέλων ή σε ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα (διάρκεια, συχνότητα, δριμύτητα, έκταση) με χρήση αγροκλιματικών δεικτών και μοντέλων.

Προσαρμογή

Η προσαρμογή της γεωργίας στην κλιματική αλλαγή συνδυάζεται κυρίως με την αντιμετώπιση και περιλαμβάνει «μαλακά», αλλά και «σκληρά» μέτρα, που εξετάζονται σε περιφερειακό επίπεδο. Ο στόχος είναι να μειωθεί η ευπάθεια των γεωργικών οικοσυστημάτων. Τα «μαλακά» μέτρα είναι χαμηλού κόστους και έντασης, όπως παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές, ημερολόγια, αγρανάπαυση και άλλα συναφή, ενώ τα «σκληρά» είναι μεσοπρόθεσμα μέτρα, όπως ταμιευτήρες, σύγχρονα αρδευτικά δίκτυα και άλλα συναφή έργα.

Ανάπτυξη συστήματος υποστήριξης αποφάσεων ή έμπειρου συστήματος

Όλα τα παραπάνω μπορούν να ενταχθούν σ' ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (DSS: Decision Support System) ή σε ένα έμπειρο σύστημα (expert system), για μια σύγχρονη υποστήριξη αποφάσεων από την κλιματική μεταβλητότητα, με έμφαση στον τομέα της γεωργίας. Επίσης, είναι σκόπιμο να ενταχθούν στο πλαίσιο της διαχείρισης διακινδύνευσης (risk management). Τέλος, η κλιματική μεταβλητότητα/αλλαγή πρέπει να εξεταστεί και σε συνδυασμό με τις διαμορφωθείσες ζώνες παραγωγής για ενδεχόμενες προσαρμογές.

3.2.3 ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Η αγρομετεωρολογική προσομοίωση αποτελεί σημαντική δυνατότητα της σύγχρονης αγρομετεωρολογίας διεθνώς. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την εξέταση των επιπτώσεων των διαφόρων μετεωρολογικών και κλιματικών μεταβλητών στην ανάπτυξη και εξέλιξη των καλλιεργειών κατά τη βλαστική περίοδο, καθώς και την εκτίμηση και πρόγνωση της γεωργικής παραγωγής. Πρόκειται για προσομοίωση του κύκλου φωτοσύνθεσης των καλλιεργειών και του ενεργειακού ισοζυγίου με μαθηματικές εξισώσεις και σύγχρονα συστήματα, όπως είναι τηλεπισκόπηση. Μάλιστα, η ακρίβεια των μεθόδων αυτών βελτιώνεται συνεχώς. Η προσομοίωση είναι δυνατόν να αφορά μόνο μεμονωμένα φαινολογικά στάδια, όπως επίσης εκτίμηση των εχθρών και των ασθενειών, αλλά και των αντίστοιχων επιπτώσεων στις καλλιέργειες.

Η σημασία της αγρομετεωρολογικής προσομοίωσης, εφόσον χαρακτηρίζεται αξιόπιστη, είναι προφανής για τη γεωργία και την εθνική οικονομία. Αρχικά, επιτρέπει καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των καλλιεργειών στις κλιματικές μεταβλητές και τον καιρό. Επίσης, συμβάλλει στη

βελτίωση της γεωργικής παραγωγής και προσδίδει μεγάλη προστιθέμενη αξία στη γεωργία, επιτρέποντας συγχρόνως καλύτερη διαχείριση της παραγωγής, που περιλαμβάνει αποθήκευση και διάθεση της παραγωγής, ρυθμούς εξαγωγών και γενικά σημαντικό όφελος στην εθνική οικονομία.

3.2.4 ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΨΗΛΗΣ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ

Η εξέλιξη της εφαρμοσμένης μετεωρολογικής επιστήμης έχει οδηγήσει στην αξιοποίηση της ψηφιακής τεχνολογίας, ώστε σήμερα να είναι πλέον εφικτή η αξιόπιστη παροχή ψηφιακής μετεωρολογικής πληροφορίας και πρόγνωσης, με συνεχώς αυξανόμενη ευκρίνεια και χωρική διακριτική ικανότητα. Οι αγρότες είναι δυνατόν να έχουν πρόσβαση σε σημαντικές περιβαλλοντικές και αγρομετεωρολογικές πληροφορίες, για την ποιοτική αναβάθμιση της διαδικασίας παραγωγής. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να είναι διαθέσιμες στους χρήστες στις συντεταγμένες που επιθυμούν (πχ. pixel του αγρού) είτε με τη μορφή SMS, MMS, συνδρομητικά ή κατά περίπτωση, είτε στο διαδίκτυο (Web Internet) ή σε mobile portal μέσω κινητής τηλεφωνίας.

Ανάπτυξη ολοκληρωμένου αγρομετεωρολογικού συστήματος ψηφιακής υψηλής ευκρίνειας και χωρικής ανάλυσης

Το σύστημα αυτό έχει ήδη εφαρμοστεί πειραματικά στη Θεσσαλία. Αναμένεται να παρέχει κάθε μέρα παροντική πρόγνωση (now-casting) ή βραχείας διάρκειας μέχρι 72 ωρών ανά μία ώρα, με διακριτική ικανότητα 1-2 km², για τη μετεωρολογία (βροχή, θερμοκρασία, άνεμος, νέφη, υγρασία και άλλοι κατά περίπτωση παράμετροι), για τα ακραία φαινόμενα (παγετός, καύσωνας, χαλάζι, δασικές πυρκαγιές, ομίχλες-ορατότητα, έντονες καταιγίδες, πλημμύρες, εκτίμηση ζημιών για τα παραπάνω), για τη γεωργία (κατάσταση αγρού και καλλιέργειας, ανάγκες σε αρδευτικό νερό), για το περιβάλλον (UVB ακτινοβολία, δείκτης δυσφορίας, δείκτης ψύχους, χιονοκάλυψη, ισοδύναμη θερμοκρασία, βιομετεωρολογικοί δείκτες και άλλα συναφή). Σε μηνιαία ή εποχική βάση, δίνει στοιχεία για την ξηρασία, την ερημοποίηση, την κλιματική πρόγνωση, τους βιοκλιματικούς δείκτες. Επίσης, η μεθοδολογία περιλαμβάνει εκτίμηση της γεωργικής παραγωγής, των φαινολογικών σταδίων και των εχθρών και ασθενειών των καλλιεργειών.

3.2.5 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

Οι βασικοί φυσικοί περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που επηρεάζουν τη γεωργία, τα δάση και τα αγροοικοσυστήματα και θεωρούνται ακραία δυσμενή καιρικά φαινόμενα είναι οι πλημμύρες και η πλεονάζουσα βροχή, η ξηρασία, το χαλάζι, ο παγετός, ο καύσωνας, οι ριπαίοι άνεμοι, οι δασικές πυρκαγιές και η ερημοποίηση. Σε κάθε κίνδυνο εξετάζονται και αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά, η χωροχρονική κλιματική κατανομή, οι επιπτώσεις και η αντιμετώπιση, καθώς και μοντέλα και συστήματα στο τρίπτυχο «πρόγνωση-παρακολούθηση-εκτίμηση» μιας περιβαλλοντικής καταστροφής.

Επισημαίνεται ότι, για την εκτίμηση διαφόρων χαρακτηριστικών στους περισσότερους κινδύνους, χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα και δείκτες, καθώς και δεδομένα και μέθοδοι τηλεπισκόπησης. Τα συστήματα έγκαιρων προειδοποιήσεων για περιβαλλοντικούς κινδύνους αποτελούν πλέον μέρος των ολοκληρωμένων συστημάτων παρακολούθησης καλλιεργειών και αγροτικών οικοσυστημάτων διεθνώς, μπορούν δε να ενσωματωθούν σε αγρομετεωρολογικά συστήματα υψηλής ευκρίνειας, όπως περιγράφονται παραπάνω. Θεωρείται αυτονόητη η σημασία των παραπάνω για τη γεωργία και την εθνική οικονομία και λόγω κλιματικής αλλαγής, όσον αφορά τη μείωση του κόστους παραγωγής, αλλά και τη βέλτιστη διαχείριση. Ενδεικτικά, επισημαίνεται η μεγάλη σημασία για την Ελλάδα της αξιόπιστης πλέον δυνατότητας πρόγνωσης κυρίως παγετού, καύσωνα, χαλαζιού, πλημμυρών, ξηρασίας, καθώς και άλλων κινδύνων.

3.2.6 ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Το αντικείμενο της γεωπληροφορικής, όπως ICT (Information and Communication Technologies), GIS (Geographic Information System), τηλεπισκόπηση, μικροτηλεπισκόπηση, web-GIS και άλλα συναφή, παρουσιάζει ενδιαφέρον στην παρακολούθηση και εκτίμηση της γεωργικής παραγωγής, στην ιχνηλασιμότητα, σε εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας και σε άλλα πεδία. Ειδικότερα, οι εφαρμογές γεωπληροφορικής στη γεωργία παρουσιάζουν σταδιακή διαχρονική ανάπτυξη διεθνώς τις τελευταίες δεκαετίες, αυτή δε την περίοδο παρουσιάζουν έξαρση, λόγω της συνεχιζόμενης επιστημονικής και τεχνολογικής εξέλιξης, καθώς και της αυξανόμενης ζήτησης εκ μέρους των χρηστών. Στην Ελλάδα, μόλις την τελευταία πενταετία εμφανίζονται εφαρμογές γεωπληροφορικής, με έμφαση στις ανάγκες του χρήστη, δηλαδή του αγρότη. Ωστόσο, όπως αναμένεται, παρατηρείται ένα χάσμα μεταξύ των ειδικών της γεωπληροφορικής, οι περισσότεροι εκ των οποίων δεν γνωρίζουν τα θέματα της γεωργίας, και των χρηστών (αγροτών), που δυσκολεύονται και εκδηλώνουν ακόμη δυσπιστία στα νέα τεχνολογικά εργαλεία. Είναι, λοιπόν, ανάγκη να εξαλειφθεί το χάσμα σταδιακά, διότι θα οδηγήσει, μεταξύ των άλλων, στην ευκολότερη πρόσβαση στις διεθνείς αγορές. Επίσης, οι εφαρμογές αυτές παρέχουν πολύ μεγάλη προστιθέμενη αξία, διότι στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της παραγωγής με μείωση του λειτουργικού κόστους της και της αντίστοιχης περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Στόχος των εφαρμογών γεωπληροφορικής στη γεωργία ακριβείας είναι η εκτίμηση των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών (εκτατικών, οπωροκηπευτικών, δενδρωδών κτλ.) και ο έλεγχος των σταδίων λίπανσης, καθώς και η χρήση αυτών σε θέματα που αφορούν την καταγραφή της ευρωστίας των καλλιεργειών σε επίπεδο αγροτεμαχίου. Οι εφαρμογές αυτές αποτελούν καινοτομία διεθνώς, καθόσον τα στοιχεία είναι διαθέσιμα από το 2013.

Η μικροτηλεπισκοπική ανάλυση για την επιχειρησιακή γεωργία ή γεωργία ακριβείας περιλαμβάνει ορθοαναγωγή των δορυφορικών δεδομένων και χαρτογράφηση των καλλιεργειών σε κλίμακες καλύτερες από 1:2.500, εκτίμηση του φυτικού συντελεστή (Kc), εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας και κατάλληλου

χρόνου άρδευσης. Οι παραγόμενοι ορθοφωτοχάρτες είναι θεματικοί, με ταξινόμηση των παραπάνω παραμέτρων σε ζώνες. Τα δεδομένα προέρχονται από πολυφασματικούς δορυφόρους, με δυνατότητα κάλυψης μεγάλων περιοχών σε σύντομα χρονικά διαστήματα και υψηλή επισκεψιμότητα, σε συνδυασμό με μέγεθος αρχικού εικονοστοιχείου (nominal ground resolution) στο δέκτη 2 m τουλάχιστον (ή καλύτερου), και παραγωγής ορθοφωτοχαρτών με μέγεθος εικονοστοιχείου 2 m τουλάχιστον (ή καλύτερου). Δημιουργούνται οι εξής χάρτες επιχειρησιακής γεωργίας που βασίζονται σε δεδομένα από τον ίδιο δορυφόρο:

- χάρτης εδαφοκάλυψης
- δείκτης χλωροφύλλης, που απεικονίζει τις διαφορές στο «πράσινο» μέσα σε μια περιοχή και επιτρέπει να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται και να προκαθοριστούν ζώνες με χρόνιες ελλείψεις σε άζωτο
- χάρτης Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), που δείχνει τις διαφορές στην ανάπτυξη των φυτών
- Χάρτης Kc (φυτικός συντελεστής), που εξαρτάται από τον τύπο της βλάστησης και το στάδιο φαινολογικού κύκλου, και χρησιμοποιείται για τις ανάγκες εκτίμησης
- της εξατμισοδιαπνοής και έμμεσα για τη ρύθμιση των υδατικών αναγκών του φυτού.

3.3 ΔΑΣΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

Μετεωρολογικοί παράγοντες όπως η βροχή, και ιδιαίτερα η ποσότητα και η συχνότητα επανεμφάνισής της, η υψηλή θερμοκρασία, η χαμηλή σχετική υγρασία και ο άνεμος επιδρούν σημαντικά στην έναρξη και διάδοση των δασικών πυρκαγιών.

Ο σπουδαιότερος από αυτούς τους παράγοντες είναι το ποσό της περιεχόμενης υγρασίας της καύσιμης δασικής ύλης. Επισημαίνεται ότι πολύ ευνοϊκή κατάσταση για την έναρξη και διάδοση της πυρκαγιάς θεωρείται η ξηρότητα της καύσιμης δασικής ύλης. Πιο συγκεκριμένα, εκτεταμένες πυρκαγιές μπορεί να προκληθούν σε περιόδους ξηρασίας ή μετά το τέλος μιας ξηρασίας, καθώς και από αστραπές και κεραυνούς ή από ανθρώπινες δραστηριότητες σχεδόν σε κάθε μέρος του κόσμου. Οι πυρκαγιές αυτές καταστρέφουν δάση, θαμνώδεις εκτάσεις και καλλιέργειες, ενώ επιφέρουν επίσης θανάτους στο ζωικό κεφάλαιο και στα άγρια ζώα ή καταστρέφουν εγκαταστάσεις και υποδομές.

- **Βροχή.** Οι βροχές που διαρκούν μεγάλο χρονικό διάστημα και είναι έντονες αποθέτουν μεγάλες ποσότητες νερού, διαβρέχουν καλά την εύφλεκτη δασική ύλη και την καθιστούν ανθεκτική στην έναρξη και επέκταση των πυρκαγιών. Αντίθετα, ασθενείς βροχές, μικρής διάρκειας έχουν μικρότερη επίδραση. Όμως, όχι μόνο η ποσότητα και η διάρκεια της βροχής παίζουν ρόλο, αλλά και η εποχή του έτους, ο καιρός που ακολουθεί τη βροχή, η τοπογραφία, καθώς και η ποσότητα και το είδος της καύσιμης δασικής ύλης. Στη χώρα μας, όπου εμφανίζεται ξηρασία και υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι και το

φθινόπωρο, η άφθονη ποώδης βλάστηση που υπάρχει στα διάκενα των φωτοφύτων, δηλαδή των αραιών δασών χαλεπίου, τραχείας πεύκης, καθώς και στα αείφυλλα πλατύφυλλα και λιγότερο στη δρυ, ξηραίνεται αμέσως, οπότε εμφανίζονται πυρκαγιές δασών και βοσκοτόπων.

- **Άνεμος.** Η επίδραση του ανέμου στις δασικές πυρκαγιές εξαρτάται από την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου. Η ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντικός παράγοντας, που επιδρά στην ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου, τόσο μεγαλύτερη είναι η προσφορά οξυγόνου που θεωρείται απαραίτητη για την καύση, καθώς οι φλόγες σπρώχνονται πιο μπροστά, προς τη γειτονική καύσιμη ύλη, την οποία θερμαίνουν και ξηραίνουν, ενώ συγχρόνως πετιούνται και μεταφέρονται μπροστά από τη φωτιά αναμμένα χόρτα, κλαδάκια και άλλα υλικά, που δημιουργούν νέες εστίες. Ο άνεμος είναι πιο επικίνδυνος όταν είναι ξηρός. Η διεύθυνσή του είναι επίσης σημαντικός παράγοντας, γιατί καθορίζει τη φύση του (ξηρός ή υγρός), καθώς και τη διεύθυνση επέκτασης της φωτιάς.

- **Θερμοκρασία.** Υψηλές θερμοκρασίες, σε συνδυασμό με ξηρασία, είναι πολύ επικίνδυνες για την έναρξη και διάδοση των δασικών πυρκαγιών. Θερμοί και ξηροί άνεμοι ευνοούν την επέκταση και διάδοση των δασικών πυρκαγιών. Στην Ελλάδα, στη διάρκεια του μεσημεριού, με τις μέγιστες θερμοκρασίες, σημειώνεται ταυτόχρονα η ελάχιστη σχετική υγρασία, οπότε εκδηλώνεται η έναρξη των περισσότερων πυρκαγιών. Επίσης, την περίοδο του καλοκαιριού και στην αρχή του φθινοπώρου, που χαρακτηρίζεται ως ξηρή και θερμή περίοδος, εκδηλώνονται οι περισσότερες πυρκαγιές. Στη χώρα μας, μεγάλες πυρκαγιές πάνω από 5.000 στρεμμάτων εκδηλώνονται κυρίως σε θερμοκρασίες πάνω από 30ο C.

- **Ατμοσφαιρική υγρασία.** Η ατμοσφαιρική υγρασία είναι σημαντικός παράγοντας για τη συχνότητα των δασικών πυρκαγιών, επειδή επιδρά στην περιεχόμενη υγρασία της καύσιμης δασικής ύλης. Η σχετική υγρασία επιδρά στο μέγεθος τους και κυρίως στον αριθμό τους. Αυτό οφείλεται στην επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα και κυρίως του ξηρού αέρα, που ξηραίνει την εύφλεκτη δασική ύλη. Στον Πίνακα 14.6 φαίνεται η επίδραση του μεγέθους της σχετικής υγρασίας στη συχνότητα των πυρκαγιών. Είναι γνωστό στην πράξη ότι τη νύχτα με υψηλή σχετική υγρασία είναι πιο εύκολη η απόσβεση πυρκαγιών και μάλιστα, όταν δεν πνέει άνεμος, οι πυρκαγιές σβήνουν μόνες τους.

Τα αίτια των δασικών πυρκαγιών κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- Πυρκαγιές που οφείλονται σε φυσικές αιτίες, όπως κεραυνοί, ηφαιστεια, αυταναφλέξεις, καθώς και στη μεγάλης διάρκειας ξηρασία τους θερινούς μήνες.
- Πυρκαγιές που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες.
- Πυρκαγιές που οφείλονται σε άγνωστες αιτίες.

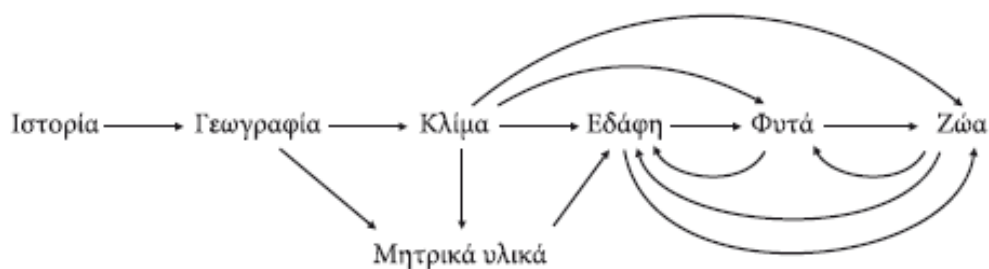
Κεφάλαιο 4

ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ

Η οικολογία, ως επιστημονικό πεδίο, ασχολείται με τους χιλιάδες τρόπους με τους οποίους οι οργανισμοί (φυτά, ζώα, και άλλοι ετερότροφοι οργανισμοί, όπως βακτήρια και μύκητες) αλληλεπιδρούν με το φυσικό τους περιβάλλον, το επηρεάζουν, και επηρεάζονται από αυτό. Η οικολογία διαφέρει θεμελιωδώς από άλλους κλάδους της βιολογίας ως προς το ότι η προοπτική της κατευθύνεται πάνω και έξω από το άτομο, προς το περιβάλλον του.

Το περιβάλλον εμπεριέχει τα πάντα, από τον ήλιο και τη βροχή μέχρι το χώμα και τους άλλους οργανισμούς. Το περιβάλλον ενός οργανισμού δεν αποτελείται μόνον από τα φυτά και τα ζώα που έρχονται σε άμεση επαφή μαζί του (όπως είναι τα θηράματα, τα δέντρα που χρησιμεύουν ως τόποι φωλιάσματος, οι πιθανοί θηρευτές και οι πιθανοί ανταγωνιστές), αλλά και από αμιγώς φυσικές διεργασίες και ανόργανες ουσίες (π.χ. τις ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τις συγκεντρώσεις οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα). Οι τελευταίες μπορεί να επηρεάζονται και από άλλους οργανισμούς, οι οποίοι τότε γίνονται –έμμεσα– μέρος του περιβάλλοντος του πρώτου οργανισμού. Πράγματι, οποιαδήποτε μακρινή σχέση ή αλληλεπίδραση δύο οργανισμικών μονάδων σημαίνει ότι αναγκαστικά η μία αποτελεί μέρος του περιβάλλοντος της άλλης.

Ο συνδυασμός της μεγάλης αυτής πολυπλοκότητας με το πολύπλευρο και δυναμικό φυσικό περιβάλλον καθιστά την οικολογία ένα εξαιρετικά ευρύ επιστημονικό πεδίο. Κανένας άλλος επιστημονικός κλάδος δεν προσπαθεί να εξηγήσει μια τόσο μεγάλη ποικιλία φαινομένων σε τόσα διαφορετικά επίπεδα. Κατά συνέπεια, η οικολογία περιλαμβάνει τμήματα από πολλές άλλες επιστήμες, όπως τη φυσική, τη χημεία, τα μαθηματικά, τη γεωλογία, την ωκεανογραφία, τα οικονομικά, την κοινωνιολογία, την ψυχολογία, και φυσικά την μετεωρολογία.



Εικόνα 14 Διαγραμματική αναπαράσταση του αντικειμένου της οικολογίας, καθώς προχωρούμε στη φυσική σειρά από τον ανόργανο προς τον οργανικό κόσμο. [Eric R. Pianca – Εξελικτική Οικολογία]

Θα ασχοληθούμε με τον τομέα του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος το οποίο αφορά την μετεωρολογία και συγκεκριμένα την αέρια ρύπανση. Πώς δηλαδή οι ανθρωπογενείς αέριοι ρύποι εισάγονται και εξαπλώνονται στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, ποιες είναι οι επιπτώσεις τους καθώς και την νομοθεσία για τον περιορισμό τους.

4.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΕΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗ

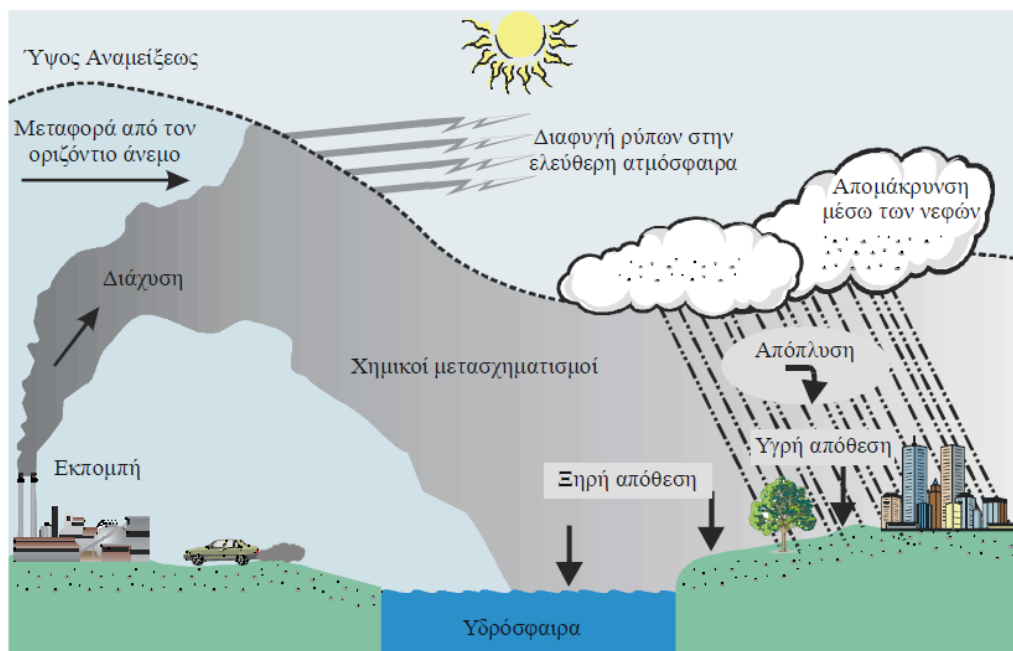
4.1.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων είναι υπεύθυνες για τα υψηλά επίπεδα ρύπανσης τα οποία επικρατούν κυρίως στις αστικές περιοχές. Παρόλα αυτά, τα επεισόδια ρύπανσης δεν προκαλούνται συνήθως από ξαφνική αύξηση της εκπομπής των ρύπων αλλά οφείλονται σε «δυσμενείς» μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες περιορίζουν σημαντικά την ικανότητα της ατμόσφαιρας να αραιώσει τους ρύπους. Γι αυτό το λόγο παρουσιάζονται μερικοί από τους σημαντικότερους ατμοσφαιρικούς μηχανισμούς οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την μεταφορά, τον μετασχηματισμό και τελικά την απομάκρυνση των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα.

Η Εικόνα 15 δείχνει σχηματικά τις ατμοσφαιρικές διεργασίες οι οποίες συντελούν στην διασπορά των αέριων ρύπων που εκπέμπονται από μία καμινάδα.

1. Οι αέριοι ρύποι όταν αφήνουν την καμινάδα είναι κατά κανόνα θερμότεροι από τον περιβάλλοντα αέρα. Σε συνδυασμό με την αρχική ορμή που έχουν τα καυσαέρια όταν φθάνουν στην κορυφή της καμινάδας ο θύσανος ανυψώνεται μέχρι ενός ορισμένου ύψους. Το ύψος αυτό είναι υψηλότερο του φυσικού (κατασκευαστικού) ύψους της καμινάδας και ονομάζεται ενεργό ύψος της καμινάδας και έχει μεγάλη επίπτωση στην ποιότητα του αέρα της περιοχής γιατί οι συγκεντρώσεις στο έδαφος μειώνονται σημαντικά όσο αυξάνεται το ύψος στο οποίο καταλήγουν οι ρύποι. Μια από τις τεχνικές που χρησιμοποιείται, λοιπόν, για την μείωση της τοπικής ρύπανσης είναι η αύξηση του ύψους εκπομπής των καυσαερίων (π.χ. αυξάνοντας το κατασκευαστικό ύψος της καμινάδας).

2. Τα καυσαέρια μεταφέρονται μακριά από την πηγή από τον μέσο οριζόντιο άνεμο. Όπως αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο, ο οριζόντιος άνεμος αποτελεί τον σημαντικότερο μηχανισμό απομάκρυνσης και



Εικόνα 15 Σχηματική περιγραφή των ατμοσφαιρικών διεργασιών που επηρεάζουν τη διασπορά των ρύπων. [Πηγή: ΥΠΕΠΘ]

αραίωσης των ρύπων. Σε περιπτώσεις στις οποίες πνέουν ισχυροί άνεμοι τα επίπεδα ρύπανσης είναι συνήθως χαμηλά.

3. Οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα είναι υπεύθυνες για την κατακόρυφη μεταφορά και την διαπλάτυνση του θυσάνου, με τελικό αποτέλεσμα την αραίωση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διάχυση. Η κλίμακα και η ένταση της αραίωσης εξαρτώνται από τον βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας. Σε συνθήκες ευστάθειας οι αναταρακτικές κινήσεις είναι μικρότερης κλίμακας και η κατακόρυφη ανάμειξη γίνεται αργά ενώ σε συνθήκες μεγάλης αστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μεγαλύτεροι και η ανάμειξη πολύ έντονη. Η δράση των αναταρακτικών κινήσεων περιορίζεται στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας (~1 km) το οποίο ονομάζεται στρώμα ανάμειξης.

4. Ένα μέρος της ρύπανσης διαφεύγει από το στρώμα ανάμειξης στην ελεύθερη ατμόσφαιρα. Η απουσία αναταρακτικών κινήσεων στην ελεύθερη ατμόσφαιρα έχει σαν αποτέλεσμα η κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων να γίνεται με πολύ βραδύτερους ρυθμούς. Από την άλλη μεριά, οι αντίστοιχοι ατμοσφαιρικοί μηχανισμοί είναι μεγαλύτερης χωρικής και χρονικής κλίμακας με αποτέλεσμα οι ρύποι που διαφεύγουν στην ελεύθερη ατμόσφαιρα να επηρεάζουν ευρύτερες περιοχές της γης.

5. Κατά τον χρόνο της παραμονής τους στην ατμόσφαιρα οι ρύποι υφίστανται διάφορους χημικούς μετασχηματισμούς λόγω αντιδράσεων είτε μεταξύ τους είτε με τα συστατικά της καθαρής ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα είναι ένα αποτελεσματικό εργαστήριο αντιδράσεων μέσα στο οποίο διοχετεύονται χημικά ενεργά συστατικά με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αριθμού καινούργιων ουσιών. Οι χημικές αντιδράσεις των ρύπων μπορεί να δώσουν και ουσίες οι οποίες δεν είναι ρύποι. Σε πολλές περιπτώσεις όμως στα προϊόντα των χημικών αντιδράσεων περιλαμβάνονται και νέοι (δευτερογενείς) ρύποι.

6. Η μεταφορά των ρύπων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος ονομάζεται απόθεση. Γενικά ξεχωρίζουμε τρεις διαφορετικούς τύπους απόθεσης:

- Βαρυτική καθίζηση ονομάζεται η πτώση λόγω βαρύτητας των σχετικά μεγάλων και βαρέων σωματιδίων.
- Ξηρή απόθεση υφίστανται τα μικρά σωματίδια και οι αέριοι ρύποι τα οποία ακολουθούν αδρανώς τις κινήσεις του αέρα και κατακρατούνται, όταν έρθουν σε επαφή, από την υποκείμενη επιφάνεια
- Υγρή απόθεση λαμβάνει χώρα σε περίπτωση υετού οπότε μπορούν να συμβεί κάποιο από τα παρακάτω ενδεχόμενα: Είτε σάρωση των ρύπων οι οποίοι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από την βροχή ή το χιόνι (απόπλυση) είτε πρόσληψη των ρύπων σε ένα προηγούμενο στάδιο από τα μικρά σταγονίδια του νέφους, τα οποία αργότερα ενώνονται μεταξύ τους φτιάχνοντας σταγόνες βροχής.

Σε κάθε περίπτωση είναι πολύ σημαντικό όταν μελετάμε τους αέριους ρύπους και τις επιπτώσεις τους να ξεχωρίσουμε από την μία την αέρια ρύπανση και τις επιπτώσεις της και από την άλλη την αποτιθέμενη ρύπανση με τις αντίστοιχες επιπτώσεις. Ο λόγος για τον οποίο είναι τόσο σημαντικός αυτός ο διαχωρισμός είναι ότι η κλίμακα των δύο φαινομένων είναι πολύ διαφορετική. Οι άμεσες επιπτώσεις της αέριας ρύπανσης είναι περισσότερο τοπικό πρόβλημα και οι επιδράσεις είναι συνήθως μεγαλύτερες στις περιοχές κοντά στην πηγή της ρύπανσης (π.χ. φωτοχημικό νέφος των αστικών περιοχών). Από την άλλη πλευρά, η επίδραση της απόθεσης εξαπλώνεται σε πολλές εκατοντάδες ή χιλιάδες χιλιόμετρα (π.χ. όξινη βροχή)

4.1.2 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ ΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η επίδραση του ανέμου στην ρύπανση είναι διπλή. Η διεύθυνση του ανέμου καθορίζει την περιοχή προς την οποία θα κατευθυνθούν οι ρύποι ενώ η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό τον ρυθμό αραίωσης τους. Η διεύθυνση του ανέμου είναι καθοριστικής σημασίας ιδιαίτερα στην περίπτωση που η ρύπανση προέρχεται από σημειακές πηγές (π.χ. καμινάδες).

Σε αυτά τα πλαίσια η μεταβλητότητα της διεύθυνσης του ανέμου έχει ευεργετικές συνέπειες γιατί διασκορπίζεται η ρύπανση σε μεγαλύτερη γεωγραφική περιοχή με αποτέλεσμα οι τοπικές συγκεντρώσεις να είναι χαμηλότερες. Από την άλλη πλευρά η ταχύτητα του ανέμου προσδιορίζει το πόσο γρήγορα θα απομακρυνθούν οι ρύποι από το σημείο εκπομπής. Υπάρχει, λοιπόν, μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα του ανέμου και την συγκέντρωση της ρύπανσης.

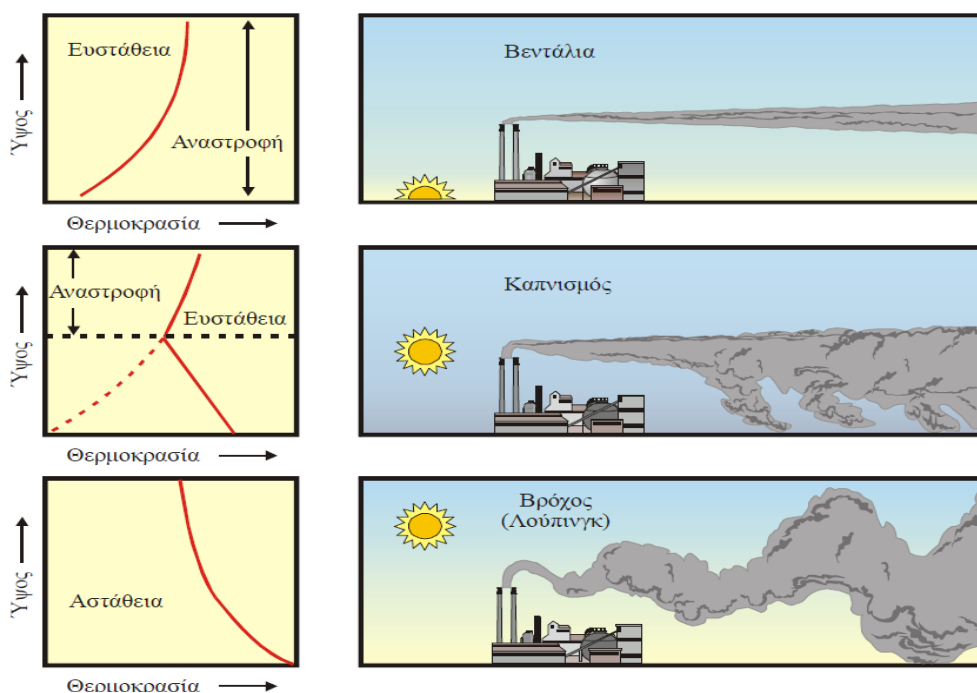
Ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες προκαλούν ισχυρότερους ανέμους ενώ άλλες συνδέονται με ασθενείς ανέμους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα βαρομετρικά υψηλά ή αντικυκλώνες. Στο κέντρο τους ο καιρός είναι ηλιόλουστος και οι άνεμοι πολύ ασθενείς. Σε περιοχές οι οποίες βρίσκονται τακτικά υπό την επίδραση στάσιμων αντικυκλώνων οι συνθήκες διασποράς είναι άσχημες και όταν συνδυάζονται με υψηλές εκπομπές ρύπανσης, όπως συμβαίνει σε όλες τις μεγαλουπόλεις, ο κίνδυνος επεισοδίου ρύπανσης είναι αυξημένος.

Η ατμοσφαιρική ευστάθεια μεταβάλλεται τόσο γεωγραφικά όσο και χρονικά. Στην Εικόνα 16 εμφανίζεται η ημερήσια μεταβολή της ατμοσφαιρικής ευστάθειας όπως και η αντίστοιχη επίπτωσή της στην διασπορά της ρύπανσης η οποία εκπέμπεται από μια βιομηχανική καμινάδα.

Την νύχτα αναπτύσσεται συνήθως μια αναστροφή η οποία διαρκεί μέχρι τις πρωινές ώρες. Η αναστροφή εμποδίζει την κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων οι οποίοι εξαπλώνονται κατά κύριο λόγο στο οριζόντιο. Κοιτάζοντας τα καυσαέρια από ψηλά παρατηρούμε ένα σχήμα βεντάλιας με αφετηρία την καμινάδα. Η περιορισμένη κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων έχει σαν αποτέλεσμα, οι συγκεντρώσεις τους κοντά στην επιφάνεια, να είναι πολύ χαμηλές.

Τις πρωινές ώρες η ηλιακή ακτινοβολία αρχίζει να ζεσταίνει το έδαφος και καταστρέφει σταδιακά τη νυχτερινή αναστροφή. Η αστάθεια που αναπτύσσεται κοντά στο έδαφος ευνοεί τις ανοδικές και καθοδικές κινήσεις οι οποίες όμως φθάνουν μόνο μέχρι την βάση της ανυψωμένης αναστροφής. Κατά συνέπεια ο καπνός αναμιγνύεται σε ένα σχετικά ρηχό στρώμα δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για υψηλές συγκεντρώσεις.

Τέλος, η συνεχιζόμενη θέρμανση του εδάφους δημιουργεί ένα βαθύ (~1-2 km) στρώμα όπου επικρατεί αστάθεια. Οι έντονες, εναλλασσόμενες ανοδικές και καθοδικές κινήσεις εξαναγκάζουν τον θύσανο να κινηθεί ανοδικά και καθοδικά σε μια κυματοειδή μορφή. Κατά συνέπεια τα χαρακτηριστικά του θύσανου από μια βιομηχανική καμινάδα μπορούν να δώσουν ενδείξεις για την ευστάθεια της ατμόσφαιρας.



Εικόνα 15 Κατακόρυφη εξάπλωση των καυσαερίων από καμινάδες σαν συνάρτηση της ευστάθειας της ατμόσφαιρας. . [Πηγή: ΥΠΕΠΘ]

4.1.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Τα αιωρούμενα σωματίδια, το διοξείδιο του αζώτου και το τροποσφαιρικό όζον αναγνωρίζονται πλέον κατά κανόνα ως οι τρεις σημαντικότεροι ρύποι από την άποψη των επιπτώσεων για την υγεία. Η μακροχρόνια και οξεία έκθεση σε αυτούς τους ρύπους ενδέχεται να προκαλέσει επιπτώσεις κυμαινόμενης βαρύτητας για την υγεία, από προσβολή του αναπνευστικού συστήματος έως πρόωρο θάνατο. Περίπου 90% του ευρωπαϊκού αστικού πληθυσμού εκτίθεται σε συγκεντρώσεις ρύπων που υπερβαίνουν τα όρια ποιότητας του αέρα τα οποία κρίνονται επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία. Παραδείγματος χάριν, τα λεπτόκοκκα αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ2.5) στον αέρα έχει υπολογισθεί ότι μειώνουν το προσδόκιμο ζωής στην ΕΕ κατά περισσότερο από οχτώ μήνες. Το βενζο(α)πυρένιο είναι καρκινογόνος ρύπος που προκαλεί ολοένα και μεγαλύτερη ανησυχία και, σε ορισμένες αστικές περιοχές, ιδιαίτερα της και κεντρικής και νότιας Ευρώπης, βρίσκεται σε συγκεντρώσεις πάνω από το όριο που έχει τεθεί για την προστασία της ανθρώπινης υγείας.

Οι ρύποι αυτοί προκαλούν και περιβαλλοντικά προβλήματα:

- **Το φαινόμενο του θερμοκηπίου:** Όπως έχουμε αναφέρει στο πρώτο μέρος της εργασίας αυτής, η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται από την ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Ένα μέρος αυτής της ακτινοβολίας απορροφάται από την επιφάνεια του πλανήτη μας και το υπόλοιπο ανακλάται. Η ακτινοβολία που ανακλάται διαφεύγει στο διάστημα, εκτός από ένα μέρος της, το οποίο συγκρατείται από ένα στρώμα διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα κοντά στην επιφάνεια της Γης. Έτσι, η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης είναι 15°C, γεγονός που επιτρέπει την ανάπτυξη της ζωής επάνω σ' αυτήν. Όμως, τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας της απελευθέρωσης στην ατμόσφαιρα μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα συγκρατούνται μεγαλύτερα ποσά ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Το αποτέλεσμα είναι να αυξάνεται περισσότερο από το φυσιολογικό η θερμοκρασία της Γης.

Αυτή η μη φυσιολογική αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε λιώσιμο των πάγων στους πόλους, με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, την απώλεια χερσαίων εκτάσεων και μια γενικότερη αλλαγή του κλίματος της Γης.

- **Το φωτοχημικό νέφος:** Σε μεγάλες πόλεις, παρατηρείται συχνά μείωση της ορατότητας εξαιτίας του «νέφους». Πρόκειται για μια κατάσταση που οφείλεται σε συσσώρευση αέριων ρύπων, οι οποίοι προέρχονται κυρίως από τις μηχανές καύσης των βιομηχανιών και των αυτοκινήτων. Στο φαινόμενο αυτό, που ονομάζεται φωτοχημικό νέφος, συμμετέχουν διάφορα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα και το όζον. Αυτοί οι ρύποι προκαλούν σημαντικά προβλήματα υγείας στους ανθρώπους που ζουν στις μεγαλουπόλεις και τους εισπνέουν καθημερινά.

- **Η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος:** Το όζον, όταν βρίσκεται στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, θεωρείται ρύπος. Ωστόσο, στα ανώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας το όζον υπάρχει φυσιολογικά και παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο. Σχηματίζει μια στιβάδα και απορροφά μεγάλο

ποσοστό της υπεριώδους ακτινοβολίας. Όταν όμως ελευθερώνονται στον αέρα χλωροφθοράνθρακες (freon ή CFCs), το αέριο αυτό καταστρέφεται. Έτσι, εξασθενεί η στιβάδα του όζοντος, με αποτέλεσμα να διέρχεται από την ατμόσφαιρα μεγάλο ποσό υπεριώδους ακτινοβολίας, η οποία είναι επικίνδυνη για τους οργανισμούς, π.χ. προκαλεί καρκίνο του δέρματος.

- **Η όξινη βροχή:** Βιομηχανίες που χρησιμοποιούν υγρά καύσιμα επιβαρύνουν τον ατμοσφαιρικό αέρα με διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου. Τα αέρια αυτά ενώνονται με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και μετατρέπονται σε οξέα (νιτρικό και θειώδες). Τα οξέα αυτά επιστρέφουν στη Γη διαλυμένα στο νερό της βροχής. Η όξινη βροχή, όπως πλέον ονομάζεται, προκαλεί καταστροφές στο φύλλωμα των δέντρων, στους υδρόβιους οργανισμούς και στα μαρμάρινα μνημεία.

Στη χώρα μας ισχύουν νομοθετημένα όρια και στόχοι για τους ρύπους διοξείδιο του θείου, αιωρούμενα σωματίδια (ΑΣ10 και ΑΣ2,5), διοξείδιο του αζώτου, όζον, μονοξείδιο του άνθρακα, βενζόλιο, μόλυβδος, αρσενικό, κάδμιο, νικέλιο και βενζο(α)πυρένιο σύμφωνα με αυτά που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα όρια ή οι στόχοι αυτοί αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων.

Οι οδηγίες που αφορούν στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι:

- Οδηγία 2008/50/ΕΚ για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και καθαρότερο αέρα για την Ευρώπη (ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε103, ΦΕΚ 488Β/30.3.11).
- Οδηγία 2004/107/ΕΚ σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα (ΚΥΑ ΗΠ 22306/1075/Ε103, ΦΕΚ 920Β/8.6.07).

4.1.4 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τα εθνικά όρια ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (ισχύουν για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης) και ο Πίνακας 5 τους στόχους του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) για την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

Ισχύουν διαφορετικές περιόδους αναφοράς των μετρήσεων καθώς και διαφορετικές περιόδους θεώρησης των ορίων για κάθε ρυπαντή. Για παράδειγμα, το διοξείδιο του θείου έχει διαφορετικά όρια μεταξύ θερινής και χειμερινής περιόδου. Αυτό επιβάλλεται από τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου που παρατηρούνται στην ατμόσφαιρα κατά τη χειμερινή περίοδο λόγω λειτουργίας των κεντρικών θερμάνσεων.

Ανάλογα με την επικινδυνότητα για τη δημόσια υγεία αλλά και με το αν υπάρχει δυνατότητα συνεχούς (π.χ. όζον) ή μέσης 24ωρης μέτρησης (π.χ. μόλυβδος) αλλάζει και η θεωρούμενη περίοδος δειγματοληψίας και ισχύος του ορίου.

Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε τη στήλη που αναφέρεται στο όζον (O₃) (Πίνακας 5). Το όζον είναι ο κυριότερος δευτερογενής ατμοσφαιρικός ρυπαντής που παράγεται στην τροπόσφαιρα λόγω των

εκπομπών οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων. Το φαινόμενο εντείνεται όταν υπάρχει ηλιοφάνεια και ερμηνεύεται από τις αντιδράσεις φωτόλυσης των μορίων του διοξειδίου του αζώτου οι οποίες πυροδοτούν το μηχανισμό σχηματισμού φωτοχημικού νέφους.

Επειδή το όζον θεωρείται επιβλαβές τόσο για την υγεία των ανθρώπων όσο και για τις καλλιέργειες, αλλά και επειδή η παρουσία του υποδηλώνει την ύπαρξη και άλλων επιβλαβών πρωτογενών και δευτερογενών ρυπαντών στην ατμόσφαιρα, οι συγκεντρώσεις του παρακολουθούνται συνεχώς και έχουν θεσπιστεί όρια ενημέρωσης και συναγερμού για τη δημόσια υγεία καθώς και όρια προστασίας των φυτών.

Ο σχεδιασμός μίας βιομηχανικής ζώνης, η ταυτοποίηση των πηγών της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και η πρόβλεψη των συγκεντρώσεων των ρυπαντών στην ατμόσφαιρα (ποσότητα ρυπαντή ανά μονάδα όγκου αέρα π.χ. $\mu\text{g}/\text{m}^3$) γίνονται συνήθως με τη χρήση κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων λαμβάνοντας υπόψιν όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι παράμετροι, λοιπόν, που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα αυτά μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες:

- Μετεωρολογικές παράμετροι οι οποίες προσδιορίζουν τη διασπορά και τη μεταφορά των ρυπαντών στην ατμόσφαιρα.
- Χαρακτηριστικά της πηγής εκπομπής, π.χ. ο τύπος και ο χαρακτήρας των πηγών εκπομπής ρυπαντών και η κατανομή των πηγών στο χώρο.
- Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των ρυπαντών, π.χ. αέριοι ρυπαντές, όπως το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου ή ρυπαντές σε σωματιδιακή μορφή.

Πίνακας 4 Εθνικά όρια ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα [Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Διευθυνση Περιβάλλοντος]

Περίοδος αναφοράς	SO ₂ (μg/m ³)	Αιωρούμενα σωματίδια συνδυασμένη /μη συνδυασμένη τιμή (μg/m ³)	NO ₂ (μg/m ³)	CO (mg/m ³)	O ₃ (μg/m ³)	Pb (μg/m ³)
1/4 έως 30/9	80 120	>40 =40				
1/10 έως 31/3	130 180	>60 / 130 =60				
ΕΤΟΣ (24ωρες)	250*	>150 / 250	200 (ωριαίες)	15 (8ωρη)	110 (8ωρη)	2
	350*	=150			180** (μέση ωριαία)	
					360 ^{**⁽¹⁾} (μέση ωριαία)	
					200*** (ωριαία)	
					65*** (24ωρη)	

* Το όριο δεν πρέπει να ξεπερνιέται για μεγαλύτερο διάστημα από τρεις συνεχόμενες ημέρες

** όριο ενημέρωσης του πληθυσμού

^{**⁽¹⁾} όριο συναγερμού του πληθυσμού

*** όριο προστασίας για τα φυτά

Πίνακας 5 Όρια ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας

Ρυπαντής	Περίοδος αναφοράς	Συγκέντρωση
O ₃	8 ώρες	120 μg/m ³
NO ₂	1 ώρα ετήσια	200 μg/m ³ 40-50 μg/m ³
SO ₂	10 λεπτά 24 ώρες ετήσια	500 μg/m ³ 125 μg/m ³ 50 μg/m ³
CO	15 λεπτά 30 λεπτά 1 ώρα 8 ώρες	100 mg/m ³ 60 mg/m ³ 30 mg/m ³ 10 mg/m ³

Κεφάλαιο 5

ΙΑΤΡΙΚΗ

Είναι κοινή εμπειρική γνώση το γεγονός ότι οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν τον άνθρωπο –αλλά και τους έμβιους οργανισμούς εν γένει-, σε ένα εύρος εκφάνσεων από τη δυσφορία ή την άνεση μέχρι την εξάπλωση ασθενειών. Έτσι, λοιπόν, η **Βιομετεωρολογία**, η οποία μελετά την επίδραση των ατμοσφαιρικών φαινομένων στα έμβια όντα, αν και είναι μια νέα επιστήμη του 20ού αιώνα, είναι και συγχρόνως μια πολύ παλιά, αφού υπάρχουν ενδείξεις γι αυτήν από την τρίτη π.Χ. χιλιετία στην Κίνα. Εξάλλου, η Βιομετεωρολογία του Ιπποκράτη (460-377 π.Χ.) είναι η πρώτη απελευθερωμένη, από αστρολογικές και παγανιστικές θεωρίες, **Ιατρική Μετεωρολογία**. Συγκεκριμένα η εφαρμογή της μετεωρολογίας στην ιατρική του ανθρώπινου σώματος ονομάζεται **Ανθρωπο-βιομετεωρολογία**.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα το μετεωρολογικό ενδιαφέρον επικεντρωνόταν τόσο στην ερμηνεία ατμοσφαιρικών φαινομένων, όπως ήταν ο υετός, το ουράνιο τόξο κ.λπ., όσο και στην ανάπτυξη και την κατασκευή μετρητών και οργάνων, μερικά από τα οποία χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα στη σύγχρονη Βιομετεωρολογία, όπως το πρώτο καθαρά βιομετεωρολογικό όργανο, το καταθερμόμετρο του Hill το 1911, που βρίσκεται ακόμη σε χρήση.

Οι περισσότερες βιομετεωρολογικές δημοσιεύσεις στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, είχαν ως θέμα τους τη σχέση μεταξύ της εμφάνισης επιδημιών και του κλίματος. Στις πρωτοπόρες εργασίες συγκαταλέγονται οι εργασίες του Petersen (1938) και του De Rudder (1952), στις οποίες χρησιμοποιούνται σύγχρονες στατιστικές μέθοδοι.

Στη δεκαετία του '30 μελετήθηκαν πειραματικά οι επιδράσεις του κλίματος για καθαρά στρατιωτικούς σκοπούς. Με τη βοήθεια ανθρώπινων πειραματόζωων έγιναν εφαρμογές μέσα σε κλιματικά εργαστήρια (Climate Chamber), προκειμένου να βρεθούν οι σχέσεις μεταξύ των φυσιολογικών μεταβλητών, του μεταβολισμού, της τροφής, της ενδυμασίας, και των μετεωρολογικών παραμέτρων που επικρατούν. Ραγδαία ανάπτυξη παρουσίασε η Βιομετεωρολογία μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, διότι κατά τη διάρκεια αυτού επιβεβαιώθηκε η σημασία της επίδρασης των ακραίων μετεωρολογικών συνθηκών στον ανθρώπινο οργανισμό.

Ένα μεγάλο άλμα έγινε, επίσης, με την κατάκτηση του διαστήματος και την έκθεση του ανθρώπου σε ιδιαίζουσες κλιματικές συνθήκες. Το 1956 ιδρύθηκε η Παγκόσμια Βιομετεωρολογική Εταιρεία (International Society of Biometeorology, ISB), που έχει σκοπό της την παγκόσμια ανταλλαγή σκέψεων και απόψεων, όπως και την προώθηση ερευνητικών μελετών και εφαρμογών των αποτελεσμάτων τους.

Στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα άρχισε η ανάπτυξη μαθηματικών μοντέλων, τα οποία σχετίζονταν με τον ανθρώπινο οργανισμό και τις αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον του, αν και το πρώτο βήμα έγινε

πολύ νωρίτερα από τον Leffevre, το 1911, όταν αυτός υπέθεσε ότι το σώμα ενός όντας, από θερμοδυναμικής πλευράς, μπορεί να προσομοιωθεί με μια σφαίρα, δηλαδή με ένα πυρήνα που παράγει θερμότητα.

Στη δεκαετία του '60 ξεκίνησε μια προσπάθεια μαζικής ανάπτυξης μοντέλων, η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Παράλληλα με την ανάπτυξη μοντέλων έγιναν και πειραματικές μελέτες δοκιμαστικά σε περισσότερα από 1000 άτομα, οι οποίες αποσκοπούσαν στην ανεύρεση εμπειρικών ορίων διάφορων φυσιολογικών μεταβλητών, π.χ. θερμοκρασία επιφάνειας του δέρματος ή θερμικής διάθεσης. Τα πειράματα αυτά διεξήχθησαν στη Β. Αμερική στη δεκαετία του '60.

Βασικός σκοπός της Βιομετεωρολογίας ήταν και είναι να επιτευχθεί, για μια δεδομένη μετεωρολογική κατάσταση, μια πρόγνωση για τη θερμική άνεση του ανθρώπου. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν πάρα πολλοί βιομετεωρολογικοί δείκτες, πολλοί από τους οποίους λαμβάνουν υπόψη τις βασικές μεταβλητές που διαδραματίζουν πρωτεύοντα ρόλο στη θερμική άνεση του ανθρώπου. Η πλήρης και ολοκληρωμένη περιγραφή των θερμικών επιδράσεων του περιβάλλοντος στο ανθρώπινο ον δίνεται με τη μελέτη του ενεργειακού ισοζυγίου του ανθρώπινου οργανισμού, όπου συναντώνται όλες οι θερμικές μεταβλητές και αντικατοπτρίζονται κάθε φορά με τη μορφή ενεργειακών ροών.

Με τον όρο «βιομετεωρολογικές συνθήκες» εκφράζεται η συνδυασμένη επίδραση των παραμέτρων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος στους έμβιους οργανισμούς. Η επίδραση αυτή δεν είναι μονομερής αλλά στην πλειονότητα των περιπτώσεων αμφίδρομη και περιλαμβάνει πολλά ενδιάμεσα στάδια και διεργασίες. Στη διαμόρφωση των τιμών των παραμέτρων αυτών, εκτός από τους φυσικούς και δυναμικούς, υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες, οι σημαντικότεροι των οποίων είναι η τοπογραφία και η γεωμετρία του περιβάλλοντος χώρου (Landsberg 1981, Oke 1999, Stull 2000, Vardavas and Taylor 2007).

ατμόσφαιρα είναι τμήμα του περιβάλλοντος το οποίο ο άνθρωπος αντιμετωπίζει καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του, αφού αυτό εμπλέκεται σχεδόν στο σύνολο των βασικών βιολογικών του λειτουργιών. Οι αντιδράσεις του οργανισμού μπορούν να θεωρηθούν αποτέλεσμα της προσπάθειας του ανθρώπου να αντεπεξέλθει στις όποιες μεταβολές, της ατμόσφαιρας, φυσικές ή χημικές. Για να γίνει κατανοητή η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην ανθρώπινη υγεία και την ευζωία, θα πρέπει να 'μεταφραστεί' η βασική – πρωτογενής μετεωρολογική πληροφορία σε έννοιες σχετιζόμενες με τη βιολογία του ανθρώπου. Για να γίνει εφικτό το παραπάνω, η επίδραση της ατμόσφαιρας στον άνθρωπο διαχωρίστηκε σε τρεις βασικούς τομείς. Ο τομέας του θερμικού περιβάλλοντος, δηλαδή των συνθηκών που επιδρούν στην ανταλλαγή θερμότητας στο σύστημα άνθρωπος – περιβάλλον. Ο τομέας της άμεσης βιολογικής επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας και τέλος ο τομέας της επίδρασης της αέριας ρύπανσης συμπεριλαμβανομένης και των αλλεργιογόνων ουσιών όπως η γύρη κ.α. Σκοπός της, εκτός των άλλων, είναι η απάντηση μιας σειράς ερωτημάτων σχετικά με την εφαρμογή της ιατρικής επιστήμης σε βλάβες που προκαλούνται στον ανθρώπινο οργανισμό από την επίδραση δυσμενών συνθηκών του περιβάλλοντος. Για να διερευνηθεί το φάσμα των επιδράσεων, η Βιομετεωρολογία χρησιμοποιεί σχεδόν τις ίδιες μεθόδους με την επιδημιολογία στη μελέτη των δυνητικών βλαβών, στη λήψη πληροφοριών,

στα όρια της ασφαλούς έκθεσης σε διάφορες συνθήκες, στη διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων των ατμοσφαιρικών συνθηκών με τις ασθένειες και επιδημίες, στη δυσφορία και τέλος στον καθορισμό της διαχωριστικής γραμμής μεταξύ των ωφέλιμων και επιβλαβών περιβαλλοντικών συνθηκών για τον άνθρωπο.

5.1 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός βιοκλιματικών δεικτών. Ωστόσο οι δείκτες αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τους βιομετεωρολογικούς και τους θερμοφυσιολογικούς δείκτες.

5.1.1 ΒΙΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Οι βιομετεωρολογικοί δείκτες (Heat Index, Wind Chill Index κ.α.) αξιοποιούν μετεωρολογικά δεδομένα για την περιγραφή της επίδρασης των κλιματικών συνθηκών στον άνθρωπο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η ταχύτητα ανέμου. Η απλότητα, που χαρακτηρίζει τους δείκτες αυτής της κατηγορίας, αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα πλην, όμως, αυτοί δεν λαμβάνουν υπόψη τη διαφορετική ανταπόκριση των ανθρώπινων οργανισμών (π.χ. λόγω ηλικίας, φύλου) στις ίδιες κλιματικές συνθήκες.

- **Δείκτης δυσφορίας (Heat index, HI):** Εκτιμά μία φαινομενική θερμοκρασία, δηλαδή τη θερμοκρασία που αισθάνεται ένας δέκτης στο περιβάλλον, συνδυάζοντας τη μετρημένη ατμοσφαιρική θερμοκρασία με τη σχετική υγρασία.

Όπως είναι γνωστό, το ανθρώπινο σώμα φυσιολογικά ψύχεται μέσω του ιδρώτα. Κατά την εφίδρωση το σώμα αποβάλλει νερό, το οποίο στη συνέχεια εξατμίζεται αποβάλλοντας θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα στο περιβάλλον. Όταν η σχετική υγρασία είναι υψηλή, ο ρυθμός εξάτμισης μειώνεται με αποτέλεσμα η θερμότητα να αποβάλλεται με μικρότερο ρυθμό από το σώμα και το άτομο να έχει την αίσθηση ότι η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την πραγματική. Καθώς αυξάνει η θερμοκρασία, η ικανότητα της ατμόσφαιρας για συγκράτηση της υγρασίας αυξάνεται, αλλά η σχετική υγρασία μειώνεται θεωρώντας ότι η ποσότητα των υδρατμών παραμένει σταθερή. Έτσι, θεωρείται απίθανη η ταυτόχρονη ύπαρξη υψηλής τιμής θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (π.χ. θερμοκρασίας 40°C και σχετικής υγρασίας 90%), αφού αυτό θα σήμαινε ασυνήθιστα μεγάλες ποσότητες υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Συνήθως οι μεγάλες θερμοκρασίες παρουσιάζονται σε μέρη μακριά από τη θάλασσα, όπου η παρουσία υδρατμών είναι περιορισμένη. Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι ο μέγιστος δείκτης δυσφορίας που έχει μετρηθεί μέχρι σήμερα ήταν 80°C και προέκυψε ως συνδυασμός θερμοκρασίας αέρα 42°C και σχετικής υγρασίας 67% (πραγματοποιήθηκε στο Dhahran της Σαουδικής Αραβίας στις 8 Ιουλίου 2003).

- **Wind chill index (WCI):** Κωδικοποιεί την απώλεια θερμότητας του ανθρώπου κατά τη χειμερινή περίοδο σε μονάδες ισχύος ανά επιφάνεια (W/m^2). Ο δείκτης αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας και την αύξηση της ταχύτητας ανέμου. Οι τιμές του WCI δεν είναι ίσες με την πραγματική απώλεια θερμότητας από τον ανθρώπινο οργανισμό. Η θερμική αίσθηση του ανθρώπου ανάλογα με τις τιμές του WCI, δίνεται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6 Τιμές WCI

τιμές WCI	κατηγορίες
πάνω από 2326	πάρα πολύ παγωμένος
1628-2326	παγωμένος
930-1628	κρύος
581-930	δροσερός
232-581	άνετος
116-232	ζεστός
58-116	καυτός
κάτω από 58	πάρα πολύ καυτός

- **Iclp – Insulation predicted index:** Προσδιορίζει προσεγγιστικά την προβλεπόμενη τιμή της θερμικής μόνωσης που θα πρέπει να παρέχουν τα ενδύματα, ώστε το άτομο να διατηρήσει τη θερμική του άνεση. Η κατηγοριοποίηση του καιρού ανάλογα με τις τιμές του Iclp, παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7 Τιμές Iclp

τιμές Iclp	κατηγορίες
πάνω από 0,30	πολύ ζεστός
0,30-0,80	ζεστός
0,80-1,20	ουδέτερος
1,20-2,00	δροσερός
2,00-3,00	κρύος
3,00-4,00	πολύ κρύος

5.1.2 ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

Στους θερμοφυσιολογικούς δείκτες, η εκτίμηση της επίδρασης του κλίματος στον ανθρώπινο οργανισμό, γίνεται με την συγκριτική θεώρηση του συνόλου των θερμικών παραγόντων. Με τη χρήση τους γίνεται μοντελοποίηση του ανθρώπινου ισοζυγίου θερμότητας. Θερμοφυσιολογικοί θεωρούνται εκείνοι οι δείκτες που ως δεδομένα εισόδου απαιτούν και χαρακτηριστικά της ανθρώπινης φυσιολογίας

(ηλικία, φύλο, ένταση εργασίας κ.τ.λ.). Το πλεονέκτημα των δεικτών αυτών συνίσταται στο γεγονός ότι απαιτούν ως δεδομένα εισόδου τις πλέον κοινές μετεωρολογικές παραμέτρους, όπως θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ακτινοβολία.

- **Ο δείκτης TCI:** Είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τους ταξιδιώτες που βρίσκονται σε διάφορα μέρη του κόσμου και σε διαφορετικές περιόδους του έτους. Ο δείκτης TCI είναι ένας συνδυασμός πέντε παραμέτρων, τριών ανεξάρτητων και δύο, οι οποίες απαιτούν βιοκλιματικούς συνδυασμούς. Συγκεκριμένα ο δείκτης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TCI = 8 \cdot C_{Id} + 2 \cdot C_{Ia} + 4 \cdot R + 4 \cdot S + 2 \cdot W$$

όπου C_{Id} είναι ο ημερήσιος δείκτης που υπολογίζεται από την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα και από την ελάχιστη ημερήσια σχετική υγρασία, C_{Ia} ο ημερήσιος δείκτης που υπολογίζεται από τη μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα) και από τη μέση ημερήσια σχετική υγρασία, R η βροχή σε mm, S η ημερήσια διάρκεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε ώρες και W η μέση ταχύτητα του ανέμου σε m/sec.

- **Ο δείκτης Summer Simmer Index (SSI):** Έχει εισαχθεί από το Ινστιτούτο Μηχανικών Θερμότητας και Ψύξης των Η.Π.Α. (ASHRAE) και έχει επικυρωθεί με αναλύσεις και δοκιμές από το Πανεπιστήμιο του Κάνσας. Ο SSI εκτιμά την πραγματική θερμοκρασία που αισθάνονται τα άτομα, προσφέροντας μία εύκολα αναγνωρίσιμη προειδοποίηση για τους κινδύνους που εγκυμονεί η έκθεση των ανθρώπων στη ζέστη.

5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Το κλίμα, ο βασικός παράγοντας διαμόρφωσης της θερμικής άνεσης του ανθρώπου, είναι μια δέσμη παραμέτρων που καθορίζει εκτός των άλλων την ποιότητα διαβίωσης του ανθρώπου αλλά μπορεί και να καταστεί παράγοντας ζωτικής σημασίας κάτω από ορισμένες συνθήκες .

Η διαπίστωση αυτή δεν είναι σύγχρονη αλλά ξεκινά από την εποχή του Ιπποκράτη, ο οποίος συμβουλεύει τους ασκούντες την Ιατρική Επιστήμη να δίνουν μεγάλη προσοχή στην εποχή. του έτους, στους ψυχρούς αλλά και στους θερμούς ανέμους. Σημαντική ακόμα θεωρούσε την εναλλαγή του καιρού, τη βροχή, και την ξηρασία στην πρόβλεψη της έξαρσης επιδημιών.

Πολλές μελέτες συνδέουν πλέον, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες με τη θνησιμότητα, τις ψυχολογικές μεταπτώσεις και την εκδήλωση παθολογικών καταστάσεων στον άνθρωπο. Ο Clarke (1972) καταλήγει στο ότι κατά τη διάρκεια εκδήλωσης καύσωνα, οι σχετιζόμενοι με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες θάνατοι, είναι στατιστικώς σημαντικά περισσότεροι στις αστικές περιοχές σε σχέση με τις μη αστικές περιοχές.

Πέραν όμως της άμεσης σχέσης των ατμοσφαιρικών συνθηκών με τη ζωή του ανθρώπου, έχει διαπιστωθεί και σημαντική επίδραση επί της οικονομίας σε μικρο- και μακρο- κλίμακα Αυτό είναι αποτέλεσμα της ανάγκης του ανθρώπου να διαβιώνει σε ένα ελεγχόμενο και όσο το δυνατό πιο σταθερό θερμικό περιβάλλον κάτι που οδηγεί στην κατανάλωση ενέργειας για ψύξη ή θέρμανση των κατοικιών και άλλων κλειστών χώρων εργασίας, διαβίωσης κ.λπ. Το βασικό όμως πρόβλημα της διαμόρφωσης

ικανοποιητικών θερμικών συνθηκών εντοπίζεται σήμερα στις αστικές και περιαστικές περιοχές όπου κατοικεί και δραστηριοποιείται το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού (σήμερα ο αστικός πληθυσμός αγγίζει τα 3.2 δισεκατομμύρια δηλαδή σχεδόν το 48% του παγκόσμιου πληθυσμού).

Γενικότερα, η υποβάθμιση των βιοκλιματικών συνθηκών, καταγράφεται εκεί όπου υπάρχει σημαντική τροποποίηση του φυσικού περιβάλλοντος λόγω της οικιστικής δραστηριότητας και των συνακόλουθων ανθρωπογενών δράσεων με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση κυρίως δυσμενέστερων θερμικών συνθηκών

Συνδέοντας, λοιπόν, την ανθρώπινη βιομετεωρολογία και τον αστικό σχεδιασμό απαιτείται να καθοριστούν οι βιομετεωρολογικοί παράγοντες που είναι σημαντικοί για την διαδικασία του σχεδιασμού. Η ανθρώπινη βιομετεωρολογική αξιολόγηση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα για να συγκεκριμενοποιήσει εάν τα όργανα του αστικού σχεδιασμού είναι διαθέσιμα για να διατηρηθεί και να βελτιωθεί η κατάσταση του ανθρώπου μέσα στον αστικό σχεδιασμό ή όχι και σε περίπτωση που είναι να επιλέξει ποια είναι τα κατάλληλα για χρήση.

Είναι δύσκολο για τους αστικούς σχεδιαστές να σχεδιάσουν άνετα αστικά περιβάλλοντα σε πόλεις ή περιοχές ιδανικές θερμικά, διότι οι παράμετροι του τοπικού κλίματος αλλάζουν συνεχώς λόγω της τροποποίησης της επίδρασης της ακτινοβολίας στα επίπεδα με γεωμετρία τριών διαστάσεων στις εκάστοτε ανεπτυγμένες περιοχές. Αυτή η πραγματικότητα είναι περισσότερο έκδηλη κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, όταν μετά από υψηλή ακτινοβολία την ημέρα, το μπλοκάρισμα ή η παρεμπόδιση της εξερχόμενης μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας δημιουργεί ένα φαινόμενο (heat island phenomenon), το οποίο συχνά δεν επιτρέπει την μείωση της έντασης της ζέστης σε ένα άνετο επίπεδο κατά την διάρκεια της νύχτας. Τα αποτελέσματα γενικότερα αποδεικνύουν το όφελος της βλάστησης και ιδιαιτέρως των δέντρων.

Επιπλέον, έχει αποδειχθεί από μελέτες ότι μικρού μήκους κύματος ροές ακτινοβολίας σε σύνθετα περιβάλλοντα είναι υψηλά επηρεασμένες από την αντανάκλαση των εμποδίων. Αυτές οι επιδράσεις μπορεί να είναι εύκολα αντιληπτές τις πρωινές ώρες και μερικές φορές κατά την διάρκεια του μεσημεριού σε ημι-ανοιχτούς χώρους. Από την άλλη όμως, τα θεωρητικά αποτελέσματα της παγκόσμιας ακτινοβολίας αλλά και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας μοιάζουν πολύ με τα πειραματικά (τόσο για απλά όσο και για σύνθετα περιβάλλοντα με ιδιαίτερη έμφαση στις ιδιότητες της παγκόσμιας ακτινοβολίας).

Γενικά, υπάρχει μια μεγάλη ζήτηση σε ανθρωπο-βιομετεωρολογικά και αστικά μοντέλα όχι μόνο όσο αφορά καθαρά την έρευνα αλλά και σε ποιο πρακτικά ζητήματα. Ένα παράδειγμα μοντέλου είναι το μοντέλο “RayMan” που παρέχει καλά αποτελέσματα για πυκνότητες ροής ακτινοβολίας και υψηλής σημασίας θερμοφυσιολογικούς δείκτες. Το μοντέλο αναπτύχθηκε βάσει των κατευθυντήριων οδηγιών της Γερμανικής Μηχανικής Κοινότητας (German Engineering Society) και απαιτεί μόνο κάποια βασικά μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα, υγρασία αέρα, νέφωση, χρονικά δεδομένα και ταχύτητα

ανέμου) για τον υπολογισμό πυκνοτήτων ροής ακτινοβολίας και κοινών δεικτών θερμικής άνεσης για το θερμικό βιοκλίμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία, Ευάγγελος Μπαλτάς, Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα
2. Αρχές Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Κατσαφάδος Π., Μαυροματίδης Η., Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα 2010
3. Advances in Meteorology Climatology and Atmospheric Physics, Helmis C., Nastos P., Springer
4. Ναυτική Μετεωρολογία, Ψύχα Α., Μηνογιάννης Μ., Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 2011
5. Ναυτική Μετεωρολογία, Χείλαρης Α., ΟΕΔΒ, Αθήνα
6. Πρόγνωση Καιρού, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, www.meteo.gr
7. Αγρομετεωρολογία, Νικόλαος Ρ. Δαλέζιος, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας
8. The Application of Meteorology in Medical Sciences, Weihe W.H, Int. J. Biometeor. 1976, vol. 20, number 2, pp. 157-165
9. Ανθρωποβιομετεωρολογική Εκτίμηση του κλίματος της Ελλάδος, Ματζαράκης Α., Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη 1995