

Αικατερίνη Χρονοπούλου - Σερέλη
Καθηγήτρια Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Απόστολος Α. Φλόκας
Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ZHTEH

Οι δύο πρώτες φωτογραφίες του οπισθόφυλλου προέρχονται από το αρχείο του Δρ. Μιχαήλ Σιούτα

ISBN978-960-456-231-2

© Copyright, 2010, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Αικατερίνη Χρονοπούλου-Σερέλη, Απόστολος Φλόκας

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Φωτοστοιχειοθεσία

Εκτύπωση

Βιβλιοδεσία

Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ

18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας

Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19

Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



**ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΖΗΤΗ**

www.ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ:

Αρμενοπούλου 27, 546 35 Θεσσαλονίκη

Τηλ.: 2310.203.720, Fax: 2310.211.305 • e-mail: sales@ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΕΝΩΣΗ ΕΚΔΟΤΩΝ ΒΙΒΛΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:

Στοά του Βιβλίου (Πεσμαζόγλου 5), 105 64 Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210.3211.097

ΑΠΟΘΗΚΗ ΑΘΗΝΩΝ - ΠΩΛΗΣΗ ΧΟΝΔΡΙΚΗ:

Ασκληπιού 60, 114 71 Αθήνα

Τηλ.-Fax: 210.3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ: www.ziti.gr

Η συγγραφή του βιβλίου αυτού προέκυψε από την ανάγκη κάλυψης των απαιτήσεων της διδασκαλίας των γνωστικών αντικειμένων της Γεωργικής Μετεωρολογίας και της Κλιματολογίας που περιλαμβάνονται στα προγράμματα σπουδών του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και των Γεωτεχνικών Τμημάτων και Σχολών άλλων ανωτάτων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων της χώρας. Μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί και από φοιτητές διαφόρων τμημάτων των θετικών επιστημών, διότι καλύπτει ένα ευρύ φάσμα της Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας.

Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο γραφής, έτσι ώστε να είναι εύκολα αναγνώσιμο και να μπορεί να κατανοηθεί πλήρως από τους φοιτητές και, γενικά, από κάθε αναγνώστη που ενδιαφέρεται τόσο για διάφορα θέματα της Μετεωρολογίας και της Κλιματολογίας όσο και για τις εφαρμογές τους στις γεωτεχνικές επιστήμες.

Στα πλαίσια των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα προγράμματα των προπτυχιακών σπουδών και για μία πληρέστερη σφαιρική εικόνα του μαθήματος, η ύλη του βιβλίου αυτού έχει διαμορφωθεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα μιας εποικοδομητικής συζήτησης ανάμεσα στο διδάσκοντα και στους διδασκόμενους. Και αυτό, γιατί, με τη συζήτηση και την ανταλλαγή απόψεων, ο αυριανός επιστήμονας εκπαιδεύεται στον τρόπο σκέψης και δράσης του στο χώρο της έρευνας και των εφαρμογών.

Η ύλη του βιβλίου, προκειμένου να καλύψει ένα ευρύ φάσμα σχετικών θεμάτων και να εξασφαλίσει την απαιτούμενη διδακτική του συνοχή, έχει χωριστεί σε δεκατρία κεφάλαια. Στα πρώτα κεφάλαια αναλύονται τα κύρια μετεωρολογικά φαινόμενα και περιγράφεται η επίδρασή τους στους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς. Παράλληλα, εστιάζεται το ενδιαφέρον σ' εκείνα, που επηρεάζουν δυσμενώς τη γεωργική παραγωγή (παγετός, άνεμος, χαλάζι) και αναλύονται οι τρόποι αντιμετώπισής τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις ειδικές προγνώσεις που ενδιαφέρουν τις γεωργικές δραστηριότητες. Παρέχονται, επίσης, ορισμένα στοιχεία για τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και την επίδρασή της στους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς.

Στα τελευταία κεφάλαια περιγράφονται κλιματικοί και βιοκλιματικοί δείκτες, οι κλιματικές και βιοκλιματικές ταξινομήσεις, οι κλιματικές ζώνες της γης με την επικρατούσα σ' αυτές βλάστηση, καθώς και οι φαινολογικές παρατηρήσεις και η σχέση τους με τις κλιματικές συνθήκες ενός τόπου. Ακόμη, αναλύονται οι μικροκλιματικές συνθήκες, όπως αυτές διαμορφώνονται από την επίδραση του αναγλύφου και των χρήσεων γης (τοπόκλιμα, κλίμα αγρού και δενδροκαλυμμένων επιφανειών) και περιγράφεται το μικρόκλιμα, που επικρατεί στους χώρους αποθήκευσης γεωργικών προϊόντων, ενσταυλισμού των ζώων και του θερμοκηπίου. Τέλος, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο αστικό μικρόκλιμα, με παράδειγμα την πόλη της Αθήνας.

Θεωρούμε ότι το βιβλίο αυτό μπορεί να αποτελέσει το έναυσμα για τους φοιτητές εκείνους που θα θελήσουν να ασχοληθούν μελλοντικά τόσο σε ερευνητικό, όσο και σε επαγγελματικό επίπεδο με κάποιο εξειδικευμένο επιστημονικό κλάδο που σχετίζεται με τα γνωστικά πεδία της Γεωργικής Μετεωρολογίας και της Κλιματολογίας.

Οι συγγραφείς θεωρούν υποχρέωσή τους να ευχαριστήσουν τον Ομότιμο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Ι. Χρονόπουλο για την προσεκτική ανάγνωση του κειμένου και τις εύστοχες παρατηρήσεις του, ως και τα μέλη του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του ιδίου Πανεπιστημίου Δρ. Α. Καμούτση, Δρ. Α. Ματσούκη, την υποψήφια Δρ. Φ. Δρούλια και τον κ. Μ. Παγώνη για την βοήθειά τους σε διάφορα στάδια συγγραφής του βιβλίου. Ακόμη ευχαριστούμε την Δρ. Μ. Χατζάκη για την συνεισφορά της στη σχεδίαση ορισμένων διαγραμμάτων και τις εκδόσεις Ζήτη με τους άξιους συνεργάτες τους που φιλοτέχνησαν με περισσή επιμέλεια την έκδοση του παρόντος βιβλίου.

*Αικατερίνη Χρονοπούλου-Σερέλη
Απόστολος Φλόκας*



Εισαγωγή

1.	Γενικά – Ορισμοί	1
2.	Ιστορική εξέλιξη και κλάδοι της Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας	4
2.1.	Ιστορική εξέλιξη	4
2.2.	Κλάδοι	7
3.	Σκοποί της Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας	11

1

Ατμόσφαιρα

1.1.	Προέλευση - Εξέλιξη, ύψος και μάζα της γήινης ατμόσφαιρας	15
1.1.1.	Προέλευση - Εξέλιξη	15
1.1.2.	Ύψος της γήινης ατμόσφαιρας	18
1.1.3.	Μάζα της γήινης ατμόσφαιρας	22
1.2.	Σύνθεση της κατώτερης ατμόσφαιρας	24
1.2.1.	Ξηρός «καθαρός» ατμοσφαιρικός αέρας	24
1.2.2.	Υδρατμοί	34
1.2.3.	Ατμοσφαιρικά αιωρήματα	35
1.3.	Κατακόρυφη διαίρεση της ατμόσφαιρας με βάση τη μεταβολή της θερμοκρασίας	37
1.4.	Μελέτη της μεταβολής με το ύψος διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων – Ατμοσφαιρικά μοντέλα	45
1.4.1.	Μεταβολές θερμοκρασίας, πίεσης και πυκνότητας του αέρα	45
1.4.2.	Ατμοσφαιρικά μοντέλα	51
1.5.	Η ατμόσφαιρα από οικολογική άποψη	55

2.1.	Ορισμοί – Νόμοι της ακτινοβολίας μέλανος σώματος	57
2.1.1.	Ορισμοί	57
2.1.2.	Νόμοι της ακτινοβολίας μέλανος σώματος	62
2.2.	Ηλιακή ακτινοβολία	64
2.2.1.	Γενικά – Χαρακτηριστικά στοιχεία του Ήλιου	64
2.2.2.	Η φύση της ηλιακής ακτινοβολίας – Ηλιακή σταθερά	66
2.2.3.	Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στη γήινη ατμόσφαιρα και εξασθένιση αυτής	70
2.2.4.	Η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης	76
2.3.	Γήινη ακτινοβολία	85
2.3.1.	Γενικά	85
2.3.2.	Απορρόφηση της γήινης ακτινοβολίας	86
2.3.3.	Το φαινόμενο του ατμοσφαιρικού θερμοκηπίου	87
2.4.	Ολική ηλιακή ακτινοβολία. Ετήσια πορεία και γεωγραφική κατανομή της στην επιφάνεια της γης και στην ελληνική περιοχή	89
2.4.1.	Επιφάνεια της γης	89
2.4.2.	Ελληνική περιοχή	92
2.5.	Μέσο ενεργειακό ισοζύγιο	95
2.5.1.	Σύστημα: Γη – Ατμόσφαιρα	95
2.5.2.	Γήινη επιφάνεια	100
2.6.	Ηλιοφάνεια	101
2.7.	Ηλιακή ακτινοβολία και φυτικοί οργανισμοί	105
2.7.1.	Γενικά	105
2.7.2.	Ηλιακή ακτινοβολία και φωτοσύνθεση	110
2.7.3.	Φωτισμός και ανάπτυξη φυτών	115
2.7.4.	Φωτοτροπισμός και φωτοπεριοδισμός	118
2.8.	Ενεργειακό ισοζύγιο των ζώων	121
2.9.	Φωτοπερίοδος και ζωικοί οργανισμοί	124

3**Η θερμοκρασία και ο ρόλος της στην επιβίωση και ανάπτυξη φυτών και ζώων**

3.1. Γενικά	131
3.2. Θερμοκρασία του αέρα	135
3.2.1. Περιοδικές και μη μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα	138
3.2.2. Γεωγραφική διανομή της θερμοκρασίας του αέρα	146
3.2.3. Άκρες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα	152
3.3. Θερμοκρασία εδάφους	156
3.3.1. Θερμοκρασία επιφάνειας και βάθους εδάφους	156
3.3.2. Ημερήσιες και ετήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εδάφους	161
3.4. Θερμοκρασία υδάτων	165
3.4.1. Θερμοκρασία πηγών, ποταμών και λιμνών	165
3.4.2. Θερμοκρασία των ωκεανών και θαλασσών	167
3.5. Θερμοκρασία και φυτικοί οργανισμοί	170
3.5.1. Γενικά	170
3.5.2. Θερμομετρικές συνθήκες και βιολογικές δραστηριότητες των φυτών	172
3.5.3. Ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας του αέρα και επιπτώσεις στους φυτικούς οργανισμούς	176
3.5.4. Ακραίες θερμοκρασίες και μέτρα προστασίας φυτικής παραγωγής ...	178
3.6. Θερμοκρασία και ζωικοί οργανισμοί	189
3.6.1. Γενικά	189
3.6.2. Θερμικό περιβάλλον και βιολογικές διεργασίες στα ζώα	189

4**Ατμοσφαιρική πίεση**

4.1. Γενικά	195
4.2. Μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης	196
4.3. Ισοβαρείς καμπύλες και κύριες μορφές τους	199
4.4. Βαροβαθμίδα	200
4.5. Βαρομετρική τάση	202
4.6. Γεωγραφική κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της γης και στην ελληνική περιοχή	202
4.6.1. Επιφάνεια της γης	202
4.6.2. Ελληνική περιοχή	205

5.1. Αίτια - μηχανισμός δημιουργίας του ανέμου και δυνάμεις που επηρεάζουν την κίνησή του	209
5.2. Διάκριση των ανέμων	210
5.3. Εποχιακοί άνεμοι ή μουσσώνες	217
5.4. Ημερήσιοι άνεμοι	219
5.5. Τοπικοί άνεμοι	222
5.6. Άνεμος και φυτικοί οργανισμοί	226
5.7. Ανεμοπροστασία εδάφους και φυτών	234

6.1. Υγρασία του αέρα	242
6.1.1. Υγρομετρικές παράμετροι	242
6.1.2. Ημερήσια και ετήσια πορεία της υγρασίας	248
6.1.3. Γεωγραφική κατανομή των υδρατμών στην ατμόσφαιρα	251
6.2. Εξάτμιση	256
6.2.1. Ημερήσια και ετήσια μεταβολή της εξάτμισης	259
6.2.2. Εξάτμιση από διάφορες εδαφικές επιφάνειες	259
6.3. Εξατμισοδιαπνοή	263
6.3.1. Γενικά	263
6.3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή	267
6.3.3. Γεωγραφική κατανομή των τιμών της εξατμισοδιαπνοής	268
6.4. Νέφη – Νέφωση	272
6.4.1. Νέφη	272
6.4.2. Ταξινόμηση των νεφών	273
6.4.3. Νέφωση	279
6.5. Συμπυκνώσεις μικρής κλίμακας	283
6.5.1. Η δρόσος	283
6.5.2. Η πάχνη	285
6.5.3. Η ομίχλη	286
6.5.4. Ο αργυρόπαγος ή ομιχλοκρύσταλλος	291
6.5.5. Ο Βροχοκρύσταλλος	292
6.6. Υδατώδη ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	292
6.6.1. Βροχή	294
6.6.1.1. Γενικά	294

6.6.1.2. Ημερήσια και ετήσια πορεία της βροχής	299
6.6.1.3. Γεωγραφική κατανομή της βροχής	302
6.6.2. Χιόνι	310
6.6.3. Χαλάζι	313
6.6.3.1. Γενικά	313
6.6.3.2. Χιονοχάλαζα	315
6.6.3.3. Επιπτώσεις της χαλαζόπτωσης στις καλλιέργειες	315
6.6.3.4. Πρόβλεψη και αντιμετώπιση των χαλαζοπτώσεων	317

7

Ατμοσφαιρικές διαταράξεις

7.1. Αέριες μάζες	321
7.2. Μετωπικές επιφάνειες και μέτωπα	326
7.2.1. Είδη μετώπων	328
7.3. Υφέσεις	334
7.3.1. Κατηγορίες υφέσεων	335
7.4. Αντικυκλώνες	342
7.5. Τροπικοί κυκλώνες	345
7.6. Καταιγίδες	349
7.7. Σίφωνες ξηράς και θάλασσας	354

8

Ειδικές προγνώσεις και γεωργική παραγωγή

8.1. Γενικά	359
8.2. Ειδικές προγνώσεις	360
8.2.1. Πρόγνωση παγετού	360
8.2.2. Πρόγνωση αποθεμάτων εδαφικής υγρασίας	364
8.2.3. Πρόγνωση μικρομετεωρολογικών παραμέτρων και γεωργικές δραστηριότητες	365
8.3. Αγρομετεωρολογικές προγνώσεις	367
8.3.1. Πρόγνωση σταδίων ανάπτυξης φυτών	367
8.3.2. Πρόγνωση παραγωγής	370

9.1. Γενικά	373
9.2. Ατμοσφαιρική ρύπανση	374
9.3. Ρύπανση υδάτων	380
9.4. Ρύπανση εδάφους	381

10.1. Γενικά	385
10.2. Κλιματικές κατατάξεις	387
10.2.1. Κλιματική κατάταξη κατά Köppen	387
10.2.2. Κλιματική κατάταξη κατά Thornthwaite	398
10.3. Βιοκλιματικοί δείκτες	401
10.4. Βιοκλιματικές κατατάξεις	404
10.4.1. Βιοκλιματική κατάταξη UNESCO-FAO	405
10.4.2. Βιοκλιματική κατάταξη κατά Παπαδάκη	407
10.5. Δείκτες Κλιμογραμμάτων	414
10.6. Κλιματικές συνθήκες και τύπος βλάστησης περιοχών της γης	420
10.6.1. Πολικά κλίματα	420
10.6.2. Ορεινά κλίματα	422
10.6.3. Κλίματα Τούντρας	423
10.6.4. Κλίματα Τάϊγκας	425
10.6.5. Υγρά ηπειρωτικά κλίματα	427
10.6.6. Θαλάσσια ή ωκεάνια κλίματα	429
10.6.7. Κλίματα ξηρού θέρους υποτροπικά ή μεσογειακά	431
10.6.8. Ερημικά ή στεπώδη κλίματα	435
10.6.9. Υγρά-ξηρά τροπικά κλίματα	438
10.6.10. Μουσσωνικά κλίματα	439
10.6.11. Βροχερά τροπικά κλίματα	440

11.1. Γενικά	443
11.2. Μετεωρολογικά και κλιματικά στοιχεία	445
11.2.1. Ατμοσφαιρική πίεση - αέριες μάζες - άνεμοι	445
11.2.2. Θαλάσσια ρεύματα	459
11.2.3. Νέφωση – ομίχλη – διάρκεια ηλιοφάνειας	463

11.2.4	Θερμοκρασία του αέρα και των επιφανειακών υδάτων των ελληνικών θαλασσών	464
11.2.5	Βροχή και χιόνι	471
11.3.	Κατάταξη του κλίματος της Ελλάδας	473
11.3.1	Κλιματικές περιοχές	473
11.3.2	Νεότερη κατάταξη του κλίματος	477

12 Κλίμα και φαινολογία

12.1.	Αγροκλιματικοί σταθμοί, όργανα και παρατηρήσεις	481
12.2.	Φαινολογικές παρατηρήσεις	484
12.2.1.	Φαινολογικές παρατηρήσεις στα φυτά	485
12.2.2.	Φαινολογικές παρατηρήσεις στα πτηνά, έντομα και τρωκτικά	491
12.3.	Αξιοποίηση φαινολογικών παρατηρήσεων	492
12.4.	Φαινολογικές παρατηρήσεις και προσδιορισμός κλίματος	494

13 Μικροκλίματα

13.1.	Κλίμα κλειστών χώρων	499
13.1.1.	Κλίμα αποθηκών	499
13.1.2.	Κλίμα στάβλων	503
13.1.3.	Κλίμα θερμοκηπίων	507
13.2.	Μικρόκλιμα – Τοπόκλιμα	510
13.3.	Φυτόκλιμα	515
13.3.1.	Κλίμα αγρού	516
13.3.2.	Κλίμα δενδροκαλυμμένων περιοχών	519
13.4.	Αστικό μικρόκλιμα	524
13.4.1.	Γενικά χαρακτηριστικά	524
13.4.2.	Μικρόκλιμα της Αθήνας	534

Εισαγωγή

1

Γενικά – Ορισμοί

Ατμόσφαιρα ονομάζεται το αεριώδες τμήμα του πλανήτη μας που τον περιβάλλει και τον ακολουθεί στο σύνολο των κινήσεών του. Στη βάση του αεριώδους αυτού περιβλήματος του πλανήτη-γη αναπτύσσεται, ζει και κινείται ο άνθρωπος. Η ατμόσφαιρα είναι αόρατη, άοσμη και παρουσιάζει ένα πλήθος ιδιοτήτων, που αποτελούν τις συνθήκες του άμεσου περιβάλλοντος των ζωικών και φυτικών οργανισμών του πλανήτη μας. Καθένα από τα δύο τμήματα του πλανήτη μας (αεριώδες, στερεό) έχει τη δική του ταχύτητα περιστροφής που, κατά κανόνα, δεν είναι ίσες. Οι ταχύτητες αυτές δε συμπίπτουν συνεχώς. Στην περίπτωση που συμβεί η ατμόσφαιρα ν' απορροφήσει μεγαλύτερα ποσά ενέργειας απ' ό,τι το στερεό τμήμα, τότε αυτή αποκτά μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής και το στερεό τμήμα ενεργεί σαν ένας απορροφητής ενέργειας με αποτέλεσμα την εξίσωση των δύο ταχυτήτων περιστροφής. Είναι, όμως, δυνατό, το στερεό τμήμα του πλανήτη μας να αποκτήσει ταχύτητα μεγαλύτερη, οπότε και πάλι ενεργεί παρόμοιος μηχανισμός εξίσωσης των δύο ταχυτήτων περιστροφής.

Ως αποτέλεσμα πολύπλοκων διεργασιών, μέσα στην ατμόσφαιρα παρατηρούνται μετατροπές τόσο της ηλιακής όσο και της γήινης ακτινοβολίας σ' άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. θερμότητα, κινητική ενέργεια κ.λπ.). Μ' άλλα λόγια η ατμόσφαιρα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα κέντρο θερμοδυναμικών και μηχανικών λειτουργιών που είναι υπεύθυνες δημιουργίας διαφόρων φαινομένων. Τα φαινόμενα αυτά που συμβαίνουν μέσα στην ατμόσφαιρα και γίνονται αντιληπτά από τον άνθρωπο, είτε άμεσα είτε έμμεσα με τη μεσολάβηση οργάνων λέγονται **μετεωρολογικά φαινόμενα**.

Η ακριβολογική έκφραση ενός μετεωρολογικού φαινομένου ονομάζεται **μετεωρολογικό στοιχείο**. Π.χ. η βροχή είναι ένα μετεωρολογικό φαινόμενο, ενώ η έκφραση 20 χιλιοστά ύψους βροχής αποτελεί ένα μετεωρολογικό στοιχείο. Τα μετεωρολογικά στοιχεία διακρίνονται σε **μόνιμα** (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση, χρώμα του ουρανού κ.λπ.) που παρουσιάζονται πάντοτε με μια τιμή και σε **έκτακτα** που η εμφάνισή τους χαρακτηρίζεται συμπτωματική.

Η ατμόσφαιρα παρουσιάζεται με συνεχώς εναλλασσόμενες καταστάσεις, οι οποίες αποδίδονται με την έκφραση **καιρικές καταστάσεις**.

Η επιστήμη, που εξετάζει την ατμόσφαιρα και τα φαινόμενα (μετεωρολογικά) που συμβαίνουν μέσα σ' αυτή, λέγεται **Μετεωρολογία**. Η Μετεωρολογία χρησιμοποιεί εξειδικευμένα όργανα για τη μέτρηση των διαφόρων μετεωρολογικών στοιχείων ή παραμέτρων και εφαρμόζει τους νόμους της φυσικής που διεξάγεται σε εργαστηριακό χώρο. Διαφέρει, όμως, από την κλασική φυσική σ' ό,τι αφορά την τάξη μεγέθους του εργαστηρίου. Στη Μετεωρολογία το σύνολο της ατμόσφαιρας θεωρείται ως 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 συγκεκριμένη 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 θερμοότητας, 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 όρο και περιλαμβάνει το σύνολο των ατμοσφαιρικών συνθηκών που περικλείουν τη θερμότητα, την υγρασία και την κίνηση του αέρα σε μεγάλες χρονικές περιόδους. Ακόμη, με τη μελέτη του επισημαίνονται οι περιπτώσεις ακραίων καταστάσεων, οι τάσεις της μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων, οι τιμές πιθανότητας να συμβούν εξαιρετικά γεγονότα κ.λπ. Μ' 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 στιγμαία συμπεριφορά του. Ο καιρός αποτελεί αντικείμενο μελέτης της Μετεωρολογίας και το κλίμα της αδελφής επιστήμης προς αυτή, 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 κλίμακά τους έχει ανώτερο όριο το χρόνο ζωής του ατμοσφαιρικού φαινομένου ή συστήματος. Ο χρόνος αυτός εκτείνεται μέχρι και μερικές εβδομάδες για τις διαταραχές πλανητικής κλίμακας και καλύπτει τη γένεση, την ανάπτυξη και το τέλος 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 έως τα εποχικά καιρικά συστήματα.

Η Κλιματολογία μελετά τη συχνότητα εμφάνισης των καιρικών συστημάτων, τη χρονική τους κατανομή στις αστρονομικές και βιολογικές χρονικές 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**, έχει γίνει αποδεκτό ν' αναφέρεται σε διάρκεια 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. Π.χ. η μέση μηνιαία τιμή της θερμοκρασίας του Απριλίου του έτους 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 Απριλίου που είναι αποτέλεσμα των μέσων τιμών της θερμοκρασίας για μια περίοδο 30 ετών (κλιματική παράμετρος), αποτελεί αντικείμενο της Κλιματολογίας.

2.1. Ιστορική εξέλιξη

Το κλίμα αποτελεί ένα πολύ σπουδαίο στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος για το ανθρώπινο γένος, γιατί, αν και ο άνθρωπος θεωρεί τον εαυτό του δημιουργηματο της ξηράς, στην πραγματικότητα ζει και κινείται στον πυθμένα ενός ωκεανού που είναι η ατμόσφαιρα. Ο άνθρωπος είχε στρέψει την προσοχή του στη μελέτη του περιβάλλοντός του πολύ νωρίς. Γι' αυτό, η Κλιματολογία θεωρείται μια από τις αρχαιότερες και βασικότερες επιστήμες του περιβάλλοντος ή, γενικότερα, του οίκου του ανθρώπινου γένους που είναι ο πλανήτης Γη.

Τα μετεωρολογικά φαινόμενα προσέλκυσαν την προσοχή και το ενδιαφέρον και του πρωτόγονου ακόμη ανθρώπου. Για πολλές χιλιάδες χρόνια οι παρατηρήσεις του για τα φαινόμενα αυτά υπήρξαν σποραδικές, τυχαίες και το σπουδαιότερο δεν καταγράφηκαν, γι' αυτό και γρήγορα λησμονήθηκαν.

Στην Αρχαία Ελλάδα, γύρω στον 5ο π.Χ. αιώνα, παρουσιάστηκε η πρώτη επιστημονική κίνηση με κύριο στόχο την συστηματοποίηση της παρατήρησης και ερμηνείας των μετεωρολογικών φαινομένων. Από τα συγγράμματα του Αριστοτέλη (Μετεωρολογικά, Προβλήματα, Περί κόσμου κ.ά.) του Ιππάρχου, του Ιπποκράτη, του Θεόφραστου κ.ά. μαθαίνουμε ότι οι πρώτοι Έλληνες φιλόσοφοι και φυσιοδίφες πέτυχαν να ερμηνεύσουν πολλά μετεωρολογικά φαινόμενα και να προχωρήσουν και μέχρι τη στατιστική πρόγνωση του καιρού, χάρις στη σύνταξη των ημερολογίων που είναι γνωστά ως **παραπήγματα**.

Η πλήρης γνώση των καιρικών συνθηκών επιτρέπει στον Βασιλιά της Μακεδονίας Φίλιππο Β' να συνδυάζει τις πολεμικές του επιχειρήσεις με τις καιρικές συνθήκες. Έτσι, αναπτύσσεται για πρώτη φορά ο τομέας της **Στρατηγικής Μετεωρολογίας**, 24 αιώνες προ των δυτικών συμμάχων του Β' παγκόσμιου πολέμου.

Από την εποχή εκείνη μέχρι την επινόηση του θερμομέτρου (1585) και του βαρομέτρου (1643) καμμία ουσιαστική πρόοδος δε σημειώθηκε στον τομέα της Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Η επινόηση αυτών των οργάνων αποτέλεσε ένα μεγάλο σταθμό στην εξέλιξή τους. Στη συνέχεια, ακολούθησε η επινόηση υγρομέτρων, ανεμομέτρων, βροχομέτρων και πλήθος άλλων οργάνων. Μ' όλα αυτά τα όργανα άρχισαν να γίνονται συστηματικές μετεωρολογικές παρατηρήσεις σε πολλές χώρες.

Από τον 16ο μέχρι τις αρχές του 19ου αιώνα, η Μετεωρολογία περνά τη βρεφική της ηλικία. Η Μετεωρολογία θεωρείτο περισσότερο ως μια ευχάριστη απασχόληση των ευγενών της εποχής εκείνης παρά ως επιστήμη. Η νεώτερη Μετεωρολογία θεωρεί ως αρχή της την περίοδο των μεγάλων ζημιών του γαλλι-

κού στόλου στις 14 Νοεμβρίου 1854 στη Σεβαστούπολη (Κριμαϊκός πόλεμος). Ο αστρονόμος Le Verrier είχε διαπιστώσει την άποψη ότι η κακοκαιρία αυτή προερχόταν από τον Ατλαντικό και είχε περάσει πάνω από ολόκληρη την Ευρώπη, προτού καταλήξει στη Σεβαστούπολη και ότι οι τεράστιες απώλειες του στόλου θα μπορούσαν να είχαν αποφευχθεί αν υπήρχε μια Υπηρεσία που θα πληροφορούσε το στόλο για την άφιξη της κακοκαιρίας. Με τις διαπιστώσεις αυτές ο Le Verrier υποβάλλει στη γαλλική κυβέρνηση πρόταση για την ίδρυση μιας κεντρικής υπηρεσίας που θα ασχολείται με τη μελέτη των καιρικών καταστάσεων. Η πρότασή του αυτή γίνεται δεκτή τόσο από τη γαλλική κυβέρνηση όσο και από ένα μεγάλο αριθμό άλλων ευρωπαϊκών κυβερνήσεων που ανέλαβαν την ευθύνη ίδρυσης μετεωρολογικών υπηρεσιών, με πολυάριθμους μετεωρολογικούς σταθμούς που εντάχθηκαν σε καθεμιά απ' αυτές τις υπηρεσίες. Έτσι, το 1855 ιδρύθηκε στη Γαλλία η πρώτη Μετεωρολογική Υπηρεσία και την ίδια περίοδο στην Αγγλία, στην Ολλανδία, στις Η.Π.Α., στη Γερμανία, στην Ιταλία, στην Αυστρία και σε άλλες χώρες.

Σε μια σειρά διεθνών μετεωρολογικών συνεδρίων, που άρχισαν από το 1873, εκδόθηκαν λεπτομερείς οδηγίες που αφορούσαν στην πραγματοποίηση και συγκέντρωση των μετεωρολογικών παρατηρήσεων και στην ανταλλαγή τους ανάμεσα στις μετεωρολογικές υπηρεσίες των διαφόρων χωρών, στον τρόπο της καθημερινής σύνταξης των χαρτών και στην ανάλυση και πρόγνωση των καιρικών καταστάσεων. Για τη διεθνή συνεργασία όλων των Μετεωρολογικών Υπηρεσιών, το έτος 1878 ιδρύθηκε ο Διεθνής Μετεωρολογικός Οργανισμός που το 1950 ονομάστηκε Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization, W.M.O.).

Στη διάρκεια του πρώτου παγκόσμιου πολέμου οι ανάγκες χρησιμοποίησης του αεροπλάνου και των χημικών όπλων, απαιτούσαν, αφενός, την πλήρη γνώση των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή του στόχου και του αεροδρομίου κατά την επιδρομή των αεροσκαφών και, αφετέρου, την πρόγνωση των καιρικών συνθηκών που θα επικρατούσαν, ιδιαίτερα της διεύθυνσης και ταχύτητας του ανέμου, τόσο κατά την ώρα εκτόξευσης των χημικών αερίων όσο και για αρκετό χρονικό διάστημα μετά την εκτόξευσή τους. Όλες αυτές οι ανάγκες είχαν ως αποτέλεσμα τη γρήγορη ανάπτυξη του κλάδου της **Συνοπτικής Μετεωρολογίας** και της πρόγνωσης του καιρού για καθημερινή χρήση. Μ' άλλα λόγια ο άνθρωπος του 20ου αιώνα ανακαλύπτει την ανάγκη που είχαν επισημάνει 2500 χρόνια νωρίτερα οι Αθηναίοι για τη δημιουργία ειδικής υπηρεσίας με μοναδικό σκοπό την πρόγνωση του καιρού. Είναι γνωστό ότι κάθε μέρα στην αγορά τους, πάνω σε ειδική μαρμάρινη στήλη τοποθετούσαν το ημερήσιο δελτίο καιρού της ημέρας το **παράπηγμα**. Για τους Αθηναίους η πρόγνωση του καιρού ήταν αναγκαία για τη σωστή λειτουργία της Αθηναϊκής Δημοκρατίας, γιατί ένα μεγάλο μέρος των αποφάσεών

του λαμβάνονταν από την Εκκλησία του Δήμου, δηλαδή απευθείας από το λαό και αυτό απαιτούσε συγκέντρωση στην ύπαιθρο μεγάλου αριθμού ανθρώπων. Για μια τέτοια συγκέντρωση απαραίτητη προϋπόθεση ήταν η επικράτηση καλού καιρού. Γιατί μια ισχυρή βροχόπτωση είναι σε θέση να διαλύσει τη συγκέντρωση και των πλέον φανατικών οπαδών. Οι Αθηναίοι έδιναν τόση σημασία στην πρόγνωση αυτή, ώστε η αντίστοιχη υπηρεσία να υπάγεται απευθείας κάτω από την **Ηλιαία**, το βασικό όργανο λειτουργίας της Αθηναϊκής Δημοκρατίας.

Στη διάρκεια του μεσοπολέμου η Μετεωρολογία αναπτύσσεται ταχύτατα. Σημαντική θεωρείται η συμβολή της Νορβηγικής Μετεωρολογικής Σχολής στην αλματώδη ανάπτυξη της Μετεωρολογίας στη διάρκεια αυτής της περιόδου. Έτσι, αναπτύσσονται νέες μέθοδοι έρευνας της ατμόσφαιρας καθ' ύψος. Δημιουργείται ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός που συντονίζει τη διεθνή συνεργασία, καθιερώνοντας τους **διεθνείς μετεωρολογικούς κώδικες**, δηλαδή μια **παγκόσμια γλώσσα** με την οποία είναι δυνατή η αναπαράσταση και περιγραφή επακριβώς του συνόλου των καιρικών καταστάσεων που είναι δυνατό να σημειωθούν στον πλανήτη μας.

Αρχικά, η πρόγνωση του καιρού με τους συνοπτικούς χάρτες επιφάνειας ήταν εμπειρική. Αργότερα, με τη βοήθεια των νόμων της αεροδυναμικής, θερμοδυναμικής και υδροδυναμικής, αναπτύσσονται διάφορες δυναμικές θεωρίες για την εξήγηση των ατμοσφαιρικών διαταράξεων, οπότε η πρόγνωση του καιρού άρχισε να γίνεται επιστημονική.

Οι μετεωρολόγοι γρήγορα αντιλήφθηκαν ότι μόνο με τη βοήθεια των χαρτών επιφάνειας δεν ήταν δυνατή η μελέτη, η ανάλυση και η πρόγνωση των καιρικών καταστάσεων. Γι' αυτό, στο τέλος του 19^{ου} αιώνα, άρχισε η μελέτη της μεταβολής των σπουδαιότερων μετεωρολογικών στοιχείων (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, άνεμος) σε διάφορα ύψη με τη χρησιμοποίηση αρχικά του αερόστατου, του χαρταετού, του βολιδαερόστατου, του αεροπλάνου και τέλος με τη βοήθεια της ραδιοβολίδας.

Στη διάρκεια του Β' παγκοσμίου πολέμου, η Μετεωρολογική επιστήμη παρουσίασε αλματώδη ανάπτυξη εξαιτίας της ολοένα και μεγαλύτερης ανάγκης παροχής όσο το δυνατό ορθότερης πρόγνωσης του καιρού για την επιτυχή έκβαση των πολεμικών επιχειρήσεων. Μετά από τον πόλεμο αυτό η Μετεωρολογία και η Κλιματολογία μέσω του WMO αναδεικνύονται ως επιστημονικοί χώροι, που είναι ικανοί να αναλαμβάνουν την πραγμάτωση διαφόρων στόχων κοινού ενδιαφέροντος, οι σπουδαιότεροι των οποίων είναι:

1. Η παγκόσμια συνεργασία σε διάφορα προγράμματα έρευνας που να αποβλέπουν στην ποιοτική βελτίωση της καθημερινής πρόγνωσης και στην επέκτασή της σε μεγαλύτερη, κατά το δυνατό, χρονική περίοδο (5, 10 ημέρες, μήνα, τρίμηνο) και

2. Η πραγματοποίηση του ονείρου του ανθρώπου να προκαλέσει βροχή, δηλαδή η επέμβασή του στην εξέλιξη των καιρικών συνθηκών, με σκοπό να τις επηρεάσει ευνοϊκά και ηθελημένα υπέρ αυτού.

Εξαιρετικά σημαντική στον τομέα της ανάλυσης και πρόγνωσης του καιρού θεωρείται και η χρησιμοποίηση των τεχνητών δορυφόρων και των πυραύλων, και ιδιαίτερα των μετεωρολογικών δορυφόρων.

Τέλος, η ανάπτυξη των διαφόρων ηλεκτρονικών συστημάτων, π.χ. του Radar, του τηλεμοιότυπου (facsimile) κ.ά., συνέβαλε σημαντικά στην εξέλιξη της επιστήμης του καιρού. Εξαιρετική σημασία, στη μετεωρολογική επιστήμη, έχει και η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, γιατί χάρη σ' αυτούς η αριθμητική πρόγνωση του καιρού, έγινε πραγματικότητα.

2.2. Κλάδοι

A. Οι σπουδαιότεροι κλάδοι της Μετεωρολογίας είναι:

1. **Γενική Μετεωρολογία.** Αυτή ασχολείται με τη μελέτη των μετεωρολογικών φαινομένων και διερευνά τις σχέσεις που υπάρχουν ανάμεσά τους.
2. **Φυσική Μετεωρολογία.** Ασχολείται, κυρίως, με τη χημική σύσταση, τη φυσική υφή της ατμόσφαιρας, με τους νόμους της ακτινοβολίας, με τα θερμοδυναμικά, ηλεκτρικά, οπτικά και ακουστικά φαινόμενα της ατμόσφαιρας, καθώς και με τη δημιουργία των νεφών και υδατωδών κατακρμνησμάτων. Όλα αυτά εξετάζονται από καθαρώς φυσική πλευρά, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι μαθηματικές θεωρίες των κινήσεων της ατμόσφαιρας και των δυνάμεων που τις προκαλούν.
Η Φυσική Μετεωρολογία υποδιαιρείται στους κλάδους: Φυσική των νεφών, Φυσική των υδρομετεώρων, Ατμοσφαιρική Οπτική και Ακουστική, Ατμοσφαιρικός Ηλεκτρισμός, Ιονόσφαιρα, κ.ά.
3. **Δυναμική Μετεωρολογία.** Αυτή μελετά τις λειτουργίες της ατμόσφαιρας πάντοτε κάτω από το πρίσμα των ενεργειακών μεταβολών που συμβαίνουν μέσα σ' αυτή, δι' εφαρμογής των νόμων της υδροδυναμικής, της αεροδυναμικής και της θερμοδυναμικής. Αποτέλεσμα αυτής της μελέτης είναι η δημιουργία θεωρητικών μοντέλων της ατμόσφαιρας, που υποβάλλονται, όμως, σε έλεγχο κάτω από πραγματικές συνθήκες με αποτέλεσμα τη συνεχή βελτίωσή τους.
4. **Περιγραφική Μετεωρολογία.** Αυτή ασχολείται από πλευράς περιγραφικής και όχι θεωρητικής, με τη μελέτη των μετεωρολογικών φαινομένων και γενικότερα των λειτουργιών της ατμόσφαιρας.

5. **Πρακτική Μετεωρολογία.** Είναι ο κλάδος που ασχολείται με τις μεθόδους παρατήρησης, με τα μετεωρολογικά όργανα, με τους τρόπους εγκατάστασής τους καθώς και με τις μεθόδους επεξεργασίας των μετεωρολογικών στοιχείων.
6. **Συνοπτική Μετεωρολογία.** Αυτή εξετάζει τις μεθόδους ανάλυσης και πρόγνωσης του καιρού με βάση τα δεδομένα των παρατηρήσεων και των νόμων της Δυναμικής Μετεωρολογίας.
7. **Αερολογία.** Βασικός σκοπός της είναι η μελέτη της ανώτερης ατμόσφαιρας. Στα τελευταία χρόνια δημιουργήθηκε ο κλάδος της **Αερονομίας** που ασχολείται, κυρίως, με τις φυσικές διεργασίες και τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην ανώτερη ατμόσφαιρα.
8. **Μικρομετεωρολογία.** Ασχολείται με την παρατήρηση και ερμηνεία των ατμοσφαιρικών φαινομένων μικρής κλίμακας και μάλιστα αυτών που δημιουργούνται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και μέχρι το ύψος εκείνο πάνω από το οποίο η εδαφική επίδραση θεωρείται μηδαμινή.
Σ' αντίθεση με τη Μικρομετεωρολογία, η **Μακρομετεωρολογία** εξετάζει τις διεργασίες της ατμόσφαιρας μεγάλης κλίμακας, τη γενική κυκλοφορία, τους τύπους καιρού, τους αντικυκλώνες, τις υφέσεις κ.λπ. Τέλος, η **Μεσομετεωρολογία** εξετάζει τις διαταράξεις της ατμόσφαιρας σε μικρότερη κλίμακα απ' αυτές της Μακρομετεωρολογίας και μεγαλύτερης των αντιστοίχων της Μικρομετεωρολογίας. Η εξέταση, π.χ. των τροπικών κυκλώνων, των καταιγίδων, των σιφώνων κ.ά. είναι αντικείμενο μελέτης της Μεσομετεωρολογίας.
9. **Γεωργική Μετεωρολογία (Αγρομετεωρολογία).** Αποτελεί ένα εφαρμοσμένο κλάδο της Μετεωρολογίας και εξετάζει λεπτομερώς όλα τα προβλήματα που ενδιαφέρουν τον γεωργό από άποψη καιρού. Γενικότερα, αυτή ασχολείται με τα φυσικά φαινόμενα και τις διαδικασίες που συμβαίνουν στην κατώτερη ατμόσφαιρα στην οποία ζουν και αναπτύσσονται οι φυτικοί και οι ζωικοί οργανισμοί.
10. **Αεροναυτική Μετεωρολογία.** Ασχολείται με την ακριβή εκτίμηση των πραγματικών ατμοσφαιρικών καταστάσεων που σχετίζονται με τις συνθήκες εκείνες που εξασφαλίζουν ομαλές πτήσεις, προσγειώσεις και απογειώσεις των αεροσκαφών.
11. **Ναυτική Μετεωρολογία.** Είναι ένας ειδικός κλάδος της Μετεωρολογίας που ασχολείται, σε γενικές γραμμές, με τον τρόπο και τις βασικές αρχές που διέπουν τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα και τις καιρικές διαταράξεις που επικρατούν, κυρίως, πάνω από τους ωκεανούς και τις θάλασσες. Επίσης, αυτή παρέχει στους ναυτιλόμενους στοιχεία που σχετίζονται με την πραγματοποίηση και κωδικοποίηση μετεωρολογικών παρατηρήσεων, καθώς και με την ανάλυση και πρόγνωση των καιρικών καταστάσεων. Εκτός από τη Ναυτική Μετεω-

ρολογία, υπάρχει και ο κλάδος της **Μετεωρολογίας των Μεταφορών**, που ασχολείται με τις καιρικές καταστάσεις (χιονοπτώσεις, βροχές, ομίχλες, χιονοστρώματα, παγετοί κ.ά.) που ασκούν σοβαρή επίδραση στις χερσαίες και ποτάμιες μεταφορές.

12. **Μετεωροπαθολογία.** Ο καιρός και ιδιαίτερα οι απότομες και μεγάλες μεταβολές του επηρεάζουν, σε μεγάλο βαθμό, τον ανθρώπινο οργανισμό. Ο ειδικός κλάδος της μετεωρολογίας που εξετάζει, κυρίως, την επίδραση του καιρού στην εκδήλωση και εξέλιξη διαφόρων νόσων λέγεται **Μετεωροπαθολογία**.
13. **Υδρομετεωρολογία.** Την Υδρολογία ενδιαφέρει σε μεγάλο βαθμό η διαίτα των βροχών και εξατμίσεων, ιδιαίτερα, στις περιοχές εκείνες που πρόκειται να γίνουν διάφορα έργα που σχετίζονται με αρδεύσεις, υδρεύσεις και εγχειοβελτιώσεις. Ο κλάδος της Μετεωρολογίας που ασχολείται μ' όλα αυτά τα θέματα λέγεται **Υδρομετεωρολογία**.
14. **Ραδιομετεωρολογία.** Αυτή ασχολείται με την επίδραση των διαφόρων ατμοσφαιρικών καταστάσεων στις ραδιοτηλεπικοινωνίες.

B. Η Κλιματολογία διακρίνεται στη Θεωρητική και στην Εφαρμοσμένη.

α) **Θεωρητική Κλιματολογία.** Αυτή, από άποψη μεθόδου, διαιρείται στην **Κλιματογραφία**, στην **Περιγραφική** και στη **Δυναμική**.

Η Κλιματογραφία έχει ως σκοπό την παρουσίαση των κλιματικών δεδομένων. Αυτή επιτυγχάνεται είτε χαρτογραφικά είτε με μορφή πινάκων ή διαγραμμάτων είτε με τη μορφή στατιστικών παραμέτρων.

Η περιγραφική Κλιματολογία ασχολείται, κυρίως, με την περιγραφή των κλιμάτων της γης, ενώ η Δυναμική εξετάζει τους νόμους και τα αίτια δημιουργίας των κλιμάτων.

Από άποψη έκτασης του εξεταζόμενου χώρου, η Θεωρητική Κλιματολογία διακρίνεται στη Μακροκλιματολογία, στην Τοποκλιματολογία, στην Κλιματολογία του οριακού στρώματος τριβής και στην Κλιματολογία της ελεύθερης ατμόσφαιρας.

1. **Μακροκλιματολογία.** Αυτή εξετάζει το κλίμα μεγάλων εκτάσεων με βάση τις παρατηρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών συνοπτικού συστήματος. Η μεγαλύτερη έκταση μακροκλίματος είναι η πλανητική.
2. **Μεσοκλιματολογία.** Ασχολείται με το κλίμα μικρών εκτάσεων της επιφάνειας της γης. Το κλίμα μιας τέτοιας έκτασης δε μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό του κλίματος της ευρύτερης περιοχής στην οποία η έκταση αυτή ανήκει. Το κλίμα μικρών εκτάσεων, οάσεων, κ.λπ., είναι αντικείμενο μελέτης της Μεσοκλιματολογίας.

3. **Μικροκλιματολογία.** Αυτή αποτελεί αντικείμενο μελέτης του κλίματος του αερίου στρώματος ανάμεσα στην επιφάνεια του εδάφους και του ύψους εκείνου πάνω από το οποίο ο χαρακτήρας της υποκειμένης επιφάνειας δε μπορεί να επηρεάσει το γενικό κλίμα της περιοχής. Το ύψος αυτό δεν είναι καθορισμένο και εξαρτάται από το ύψος των επιφανειακών δομών ή ανωμαλιών. Ανάλογα με το ύψος της υποκειμένης επιφάνειας το μικρόκλιμα υποδιαιρείται σε διάφορους τύπους (**αστικό μικρόκλιμα, μικρόκλιμα χλοερής επιφάνειας κ.ο.κ.**). Στο μικρόκλιμα περιλαμβάνεται και **το κρυπτόκλιμα** (οικιών, σπηλαίων, γενικά περιορισμένων χώρων) και **το φυτόκλιμα** (μικρόκλιμα στην επιφάνεια των φυτών, του χώρου που καταλαμβάνουν οι φυτοκοινωνίες, του χώρου ανάμεσα στα φυτά, κ.λπ.).
 4. **Τοποκλιματολογία.** Αυτή εξετάζει τις σχέσεις ανάμεσα στα τοπικά κλίματα και στους εδαφικούς σχηματισμούς.
 5. **Κλιματολογία οριακού στρώματος.** Μελετά το κλίμα μεγάλων περιοχών από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το ύψος των 800-1000 μέτρων περίπου, πάνω από το οποίο η τριβή του εδάφους παύει να υπεισέρχεται στους νόμους τους οποίους ακολουθεί η ατμόσφαιρα.
 6. **Κλιματολογία της ελεύθερης ατμόσφαιρας.** Αυτή μελετά το κλίμα στο χώρο της ατμόσφαιρας πάνω από το ύψος των 1.000 μέτρων περίπου, όπου η εδαφική επίδραση, κατά κανόνα, θεωρείται μηδενική.
- β) **Εφαρμοσμένη Κλιματολογία.** Ασχολείται με την επιστημονική ανάλυση των κλιματικών δεδομένων. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας ανάλυσης εφαρμόζονται για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με ανάγκες προγραμματισμού και λειτουργικότητας στους τομείς της Βιομηχανίας, της Τεχνολογίας, της Δασοπονίας, της Γεωπονίας, της Βιολογίας, της Ιατρικής κ.λπ. Αυτή θεωρεί ως καθοριστικό κριτήριο τις ανθρώπινες ανάγκες και ως βασικό στόχο τις πραγματικές εφαρμογές.

Η Εφαρμοσμένη Κλιματολογία, ανάλογα με τις ανάγκες που καλύπτει, διαιρείται στους παρακάτω σπουδαιότερους κλάδους:

1. **Βιοκλιματολογία.** Εξετάζει την επίδραση που διαδραματίζουν οι κλιματικές συνθήκες πάνω στα έμβια όντα και στα βιολογικά φαινόμενα.
2. **Ιατρική και Θεραπευτική Κλιματολογία.** Σκοπός της είναι η εξέταση του κλίματος σε σχέση με την υγεία του ανθρώπου.
3. **Γεωργική Κλιματολογία (Αγροκλιματολογία).** Εξετάζει το κλίμα σε σχέση με τη γεωργική παραγωγή και δραστηριότητα.

4. **Ραδιοκλιματολογία.** Μελετά τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στα διάφορα ατμοσφαιρικά στρώματα σε σχέση με τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
5. **Εδαφοκλιματολογία.** Ασχολείται με τη μακροχρόνια μηχανική, χημική και βιολογική επίδραση στη μορφή, στο χρώμα και στη σύνθεση των υλικών μιας εδαφικής επιφάνειας που είναι εκτεθειμένη στην ατμόσφαιρα, στα υδρομετέωρα και στους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Επίσης, αυτή μελετά τη μετακίνηση και διάβρωση των υλικών (χώμα, βράχοι) που θεωρούνται σαν αποτέλεσμα επίδρασης της θάλασσας, των κινουμένων υδάτων και πάγων, της βροχής και των ανέμων.
6. **Παλαιοκλιματολογία.** Αυτή, με τη βοήθεια ειδικών κλιματικών δεικτών που έχουν δημιουργηθεί, εξετάζει τις κλιματικές εκείνες συνθήκες που επικράτησαν στη διάρκεια μεγάλων γεωλογικών περιόδων του παρελθόντος.

3

Σκοποί της Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ατμόσφαιρα της γης μπορεί να θεωρηθεί έδρα ποικίλων μηχανικών και θερμοδυναμικών λειτουργιών εξαιτίας των πολύπλοκων διεργασιών, που λαμβάνουν χώρα κατά τη μετατροπή της ηλιακής σ' άλλες μορφές ενέργειας. Ανάμεσα στις διάφορες περιοχές της ατμόσφαιρας παρατηρείται μια συνεχής εναλλαγή θερμότητας και υγρασίας. Αποτέλεσμα της εναλλαγής αυτής είναι οι μεταβολές στην πίεση και θερμοκρασία, η δημιουργία των ανέμων και των μετακινήσεων των αερίων μαζών, η δημιουργία διαφόρων ατμοσφαιρικών διαταράξεων και, γενικά, φαινομένων στα οποία περιλαμβάνονται και τα ηλεκτρικά, ακουστικά, οπτικά και μαγνητικά φαινόμενα.

Η Μετεωρολογία, ως μια ατμοσφαιρική επιστήμη με την ευρεία της έννοια, εξετάζει τη φυσική, τη χημική και τη δυναμική της ατμόσφαιρας, όπως, επίσης, και τις άμεσες επιδράσεις των δυναμικών αιτιών πάνω στην επιφάνεια της γης και, γενικότερα, στη ζωή. Γι' αυτό, οι κύριοι στόχοι της Μετεωρολογίας είναι:

1. Η απόκτηση δεδομένων που σχετίζονται με τα διάφορα μετεωρολογικά φαινόμενα.
2. Η ανάλυση των δεδομένων αυτών, η ερμηνεία των φαινομένων και η διατύπωση νόμων που τα διέπουν.
3. Η ανάλυση και πρόγνωση των καιρικών καταστάσεων και
4. Ο έλεγχος των δυνάμεων που ρυθμίζουν τα φαινόμενα και τις καταστάσεις της ατμόσφαιρας.

Η Γεωργική Μετεωρολογία, ως εφαρμοσμένος κλάδος της Μετεωρολογίας, μελετά τις επιδράσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων ως και του συνδυασμού τους στην επιβίωση και ανάπτυξη των φυτικών και ζωικών οργανισμών. Οι επιμέρους μετεωρολογικές παράμετροι επιδρούν με διαφορετικό τρόπο στους έμβιους οργανισμούς, με αποτέλεσμα να έχουν διαφορετική σημασία και βαρύτητα στη διατήρηση των βιολογικών διεργασιών φυτών και ζώων και, κατ' επέκταση, στη διαβίωση και ανάπτυξή τους. Επίσης, οι παράμετροι αυτές επηρεάζουν καθοριστικά την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, η αντιμετώπιση των οποίων προϋποθέτει τη γνώση των ατμοσφαιρικών αυτών συνθηκών τόσο στο χώρο και χρόνο ανάπτυξής τους, όσο και σε μελλοντικό χρόνο (πρόβλεψη), έτσι ώστε να είναι δυνατή η αποτελεσματική καταπολέμησή τους. Ακόμη η πρόβλεψη των αντίξωων καιρικών φαινομένων, οι επιπτώσεις τους στους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς ως και οι τρόποι αντιμετώπισής τους αποτελούν σημαντικούς τομείς ενδιαφέροντος της Γεωργικής Μετεωρολογίας. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι τόσο η ποσότητα όσο και η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων ως και η διαμόρφωση του κόστους παραγωγής και μεταφοράς τους επηρεάζονται σημαντικά από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, όπως αυτές διαμορφώνονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

Ο κύριος σκοπός της Κλιματολογίας είναι η μελέτη της περιγραφής και ερμηνείας των κλιματικών συνθηκών που διαμορφώνονται σε διαφορετικού μεγέθους επιφάνειες, οι νόμοι και τα αίτια δημιουργίας τους, η κλιματική διαφοροποίησή τους από τόπο σε τόπο, ως και η σύνδεσή τους με άλλα στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Η Γεωργική Κλιματολογία ως κλάδος της Κλιματολογίας αναφέρεται, κυρίως, στη μελέτη των κλιματικών συνθηκών που διαμορφώνονται σε εκτάσεις γεωργικού και δασικού ενδιαφέροντος, στη σχέση των συνθηκών αυτών με τη φυσιολογική συμπεριφορά φυτών και ζώων, στην εξάρτησή τους από υποκείμενες επιφάνειες (αγροί, δενδρώνες, περιοχές με αυτοφυή ή διαμορφωμένη καλλωπιστική βλάστηση κ.ά.), στη σχέση της κατανομής και της συμπεριφοράς των έμβιων οργανισμών στο χώρο σε συνάρτηση με τις διαμορφούμενες κλιματικές συνθήκες, στο ρόλο του κλίματος στην εδαφογένεση και στη διάβρωση των εδαφών, ως και στις κλιματικές συνθήκες που διαμορφώνονται σε κλειστούς χώρους (αποθήκες διατήρησης αγροτικών προϊόντων, θερμοκήπια, στάβλους κ.ά.).

Οι κύριες επιστημονικές περιοχές της Γεωργικής Μετεωρολογίας, υπό την ευρύτερη έννοιά της (περιλαμβάνει και αντικείμενα της Γεωργικής Κλιματολογίας), σύμφωνα με τους καθιερωμένους ορισμούς του Παγκοσμίου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO, Guide to Agricultural Meteorological Practices του 1981 και των προσθηκών αυτού του 1982, 1984, 1993 και 2002) έχουν ως ακολούθως:

1. **Αγρομετεωρολογική παρατήρηση** (τεχνικές, συλλογή δεδομένων, πειράματα, κλπ)
2. **Περιβάλλον Φυτού και Γεωργική Παραγωγή** (επιδράσεις μετεωρολογικών στοιχείων στην ανάπτυξη, αύξηση φυτών, απόδοση και παραγωγή καλλιεργειών, κλπ)
3. **Δυσμενείς επιδράσεις στα φυτά και απώλεια παραγωγής** (επιδράσεις μετεωρολογικών φαινομένων σε ασθένειες και παράσιτα, ρύπανση και φυτά, δυσμενή καιρικά φαινόμενα, κλπ).
4. **Ζωϊκή παραγωγή και υγεία** (περιβαλλοντικά-μετεωρολογικά προβλήματα εκτροφής, υγείας και παραγωγής, κλπ)
5. **Ασθένειες και παράσιτα ζώων** (άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις του καιρού στους διάφορους τύπους ασθενειών ζώων, κλπ)
6. **Κλιματικοί Πόροι** (κλιματολογικές εκτιμήσεις και μεταβολές, βιοκλιματολογικές απαιτήσεις καλλιεργειών, κλπ)
7. **Εδαφικοί Πόροι** (το κλίμα στην ταξινόμηση, υποβάθμιση και διάβρωση εδαφών, στην υγρή εναπόθεση χημικών ουσιών στο έδαφος, κλπ)
8. **Υδατικοί Πόροι** (υδατικό ισοζύγιο, ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό, αγρομετεωρολογική θεώρηση πλημμυρών, κλπ)
9. **Επιχειρησιακή Διαχείριση** (ανάλυση κλίματος και καιρού για το σχεδιασμό αποθηκών και εκτροφείων, πρόγνωση καιρού και συνοπτικών συνθηκών για συγκομιδή προϊόντων και έλεγχο ασθενειών και παρασίτων, κλπ)
10. **Τεχνητή τροποποίηση μετεωρολογικής και υδρολογικής δίαιτας** (προστασία έναντι δυσμενών επιπτώσεων καιρικών συνθηκών, ελεγχόμενο κλίμα, τροποποίηση καιρού)
11. **Δασική Μετεωρολογία** (εφαρμογή μετεωρολογικής πληροφορίας για την προστασία και τη διατήρηση των δασικών πόρων, κλπ).
12. **Οικονομική αξία της αγρομετεωρολογικής πληροφορίας και γνώσης** (ανάλυση κόστους-οφέλους καλλιεργητικών δραστηριοτήτων, όπως η αντιπαγετική προστασία, κλπ).

Η ατμόσφαιρα, όπως είναι φυσικό, δέχεται συνεχείς αλληλεπιδράσεις τόσο της υδάτινης επιφάνειας και των μαζών των ωκεανών όσο και της μάζας της χέρσου του πλανήτη μας. Αυτή η στενή σχέση ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια του πλανήτη αποτελεί το συνδεδετικό κρίκο μιας ισχυρής συγγένειας της Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας με την Ωκεανογραφία. Ανάλογη στενή σχέση υπάρχει και ανάμεσα στη Μετεωρολογία-Κλιματολογία και με τις επιστήμες της Γεωλογίας, της Φυσικής Γεωγραφίας, της Βιολογίας, της Γεωπονίας και της Υδρολογίας, δηλαδή με το σύνολο των επιστημών της Βιόσφαιρας.

1.1 Προέλευση - Εξέλιξη, ύψος και μάζα της γήινης ατμόσφαιρας

1.1.1. Προέλευση - Εξέλιξη

Παλαιότερα, υπήρχε ο προβληματισμός αν ο όρος **ατμόσφαιρα** αποδίδει επιτυχώς ή όχι την έννοια του αεριώδους τμήματος του πλανήτη μας. Από πολλούς συγγραφείς προτείνονται οι όροι **αερόσφαιρα**, **αεριώδες τμήμα του πλανήτη** κ.ά. Πάντως, ο όρος **ατμόσφαιρα** θεωρείται πιο πετυχημένη γιατί, αφενός, είναι διεθνώς αναγνωρισμένη και, αφετέρου, με τις σημερινές αντιλήψεις οι υδρατμοί θεωρούνται το δυναμικό στοιχείο της ατμόσφαιρας. Συνεπώς, ορθά δόθηκε το όνομά τους στο σημαντικό αυτό τμήμα του πλανήτη μας.

Στη μελέτη της ατμόσφαιρας του πλανήτη μας θα πρέπει, κατά κύριο λόγο, να θεωρηθεί στο σύνολό του ο πλανήτης (στερεό, αεριώδες τμήμα) σαν ένα αναπόσπαστο τμήμα των άλλων οκτώ πλανητών της οικογένειας του ηλιακού συστήματος. Με βάση το μέγεθος των πλανητών του συστήματος αυτοί χωρίζονται σε δύο ομάδες. Η πρώτη περιλαμβάνει τους 4 μικρούς, στερεούς και πλησιέστερους προς τον ήλιο πλανήτες (Ερμής, Αφροδίτη, Γη, Άρης) και η δεύτερη ομάδα τους 4 γίγαντες (Ζευς, Κρόνος, Ουρανός, Ποσειδών) που αποτελούνται από πολύ ελαφρά στοιχεία. Για τον πλανήτη Πλούτωνα δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία και δε μπορεί να συμπεριληφθεί σε καμιά από τις δύο αυτές ομάδες πλανητών.

Οι πρώτες πληροφορίες που αφορούν την ατμόσφαιρα των δύο γειτονικών πλανητών (Άρης, Αφροδίτη) προέρχονται τόσο από αστρονομικές όσο και από δορυφορικές μετρήσεις. Ο μικρός πλανήτης **Ερμής** δεν παρουσιάζει ουσιαστική ατμόσφαιρα. Αυτό προκύπτει τουλάχιστον από τα υπάρχοντα στοιχεία. Πιθανώς νέα στοιχεία από τις νέες σειρές των δορυφόρων θα μπορέσουν να μας δώσουν περισσότερες και πιο σαφείς πληροφορίες για τον πλανήτη αυτόν που κάθε 88

μέρες συμπληρώνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από τον ήλιο. Στην ατμόσφαιρα του Άρη που κυριαρχεί το CO_2 υπάρχει πολύ μικρή ποσότητα νερού. Από δορυφορικά στοιχεία προκύπτει ότι η επιφάνεια αυτού έχει κοιίτες και εκβολές μεγάλων ποταμών που σήμερα είναι χωρίς νερό. Οι πάγοι των πολικών περιοχών θεωρούνται συσσωρεύσεις ξηρού CO_2 σε θερμοκρασία -80°C . Η απώλεια του πολύτιμου H_2O από την ατμόσφαιρά του έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία μεταφοράς ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην ισημερινή ζώνη, σε μεγαλύτερα πλάτη. Για τον πλανήτη αυτό η τιμή της θερμοκρασίας 0°C περιορίζεται μόνο στη ζώνη από 20°B - 20°N . Από άποψη εξέλιξης της ατμόσφαιράς του, ο Άρης θεωρείται ένας γηραιός πλανήτης.

Απεναντίας, η Αφροδίτη έχει μεγάλη και πυκνή ατμόσφαιρα που χαρακτηρίζεται από πυκνά νέφη που αποτελούνται από μίγμα CO_2 , H_2O και NH_3 . Εξαιτίας των πυκνών αυτών νεφών σπάνια είναι απευθείας ορατή η επιφάνεια του πλανήτη. Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στον πλανήτη δεν επιτρέπουν την ύπαρξη ζωής. Το στρώμα των πυκνών νεφών εμποδίζει το θερμό πλανήτη να ακτινοβολήσει σημαντικά ποσά θερμότητας στο διάστημα (φαινόμενο θερμοκηπίου).

Στις εξωτερικές στοιβάδες της ατμόσφαιρας των δύο γιγάντων πλανητών (Ζευς, Κρόνος) τα κύρια χαρακτηριστικά που κυριαρχούν είναι για το Δία το H_2 και He , ενώ για τον Κρόνο το H_2 . Λέγεται ότι η μυστηριώδης **ερυθρά κηλίδα** του Δία είναι συμπυκνωμένο He που επιπλέει πάνω σε μια πυκνότερη μάζα από αέρια.

Η εξελικτική πορεία της ατμόσφαιρας του πλανήτη μας θεωρείται ότι αποτελεί μια λογική σειρά της εξέλιξης των ατμοσφαιρών των άλλων πλανητών. Η αρχική μάζα που δημιούργησε τον πλανήτη βρισκόταν σε πολύ υψηλές τιμές θερμοκρασίας. Με τη συνεχή αποβολή μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας στη διάρκεια του ψυχρού διαστήματος, η ατμόσφαιρα του πλανήτη μας παρουσίαζε μια συστηματική ψύξη. Η εξέλιξη του πλανήτη Γη θεωρείται ότι πέρασε από τα εξελικτικά στάδια των ατμοσφαιρών του Κρόνου και του Δία και μετά από συνεχή ψύξη σχηματίστηκε ο πρώτος στερεός φλοιός του. Κάτω από το στερεό αυτό φλοιό υπήρχαν τα βαρύτερα στοιχεία, ενώ στην αρχική ατμόσφαιρα υπήρχαν στοιχεία και χημικές ενώσεις όμοιες με εκείνες που συναντούμε στους άλλους πλανήτες. Η παρατηρούμενη σήμερα ατμόσφαιρα του πλανήτη μας φαίνεται ότι υπήρξε το αποτέλεσμα της εξελικτικής πορείας μιας πρωταρχικής ατμόσφαιρας, που δημιουργήθηκε από την έκλυση διαφόρων αερίων από το εσωτερικό της γης. Η χημική ανάλυση των αρχαιότερων πετρωμάτων της γης δείχνει ότι στην πρωταρχική αυτή ατμόσφαιρα έλειπε το οξυγόνο και υπήρχαν σε μεγάλες ποσότητες τα αέρια H_2 , CH_4 , N_2 , NH_3 , H_2O , CO και CN (αναγωγική ατμόσφαιρα). Στη διάρκεια της εξέλιξης της η γήινη ατμόσφαιρα έφθασε στο στάδιο της σημερινής ατμόσφαιρας της Αφροδίτης. Θα πρέπει να γίνει δεκτό ότι ο πλανήτης μας

8

Ειδικές προγνώσεις και γεωργική παραγωγή

8.1 Γενικά

Μετά τη ραγδαία εξέλιξη της μετεωρολογικής επιστήμης κατά τις τελευταίες δεκαετίες, οι προβλέψεις, που αφορούν συγκεκριμένες καιρικές καταστάσεις (ειδικές προβλέψεις), αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Αυτό οφείλεται στη σημασία της έγκαιρης γνώσης των επερχόμενων ιδιαίτερων συνθηκών και στον ως εκ τούτου προγραμματισμό τόσο των καλλιεργητικών εργασιών όσο και των απαιτούμενων ενεργειών για την αντιμετώπιση δυσμενών καιρικών καταστάσεων. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η έγκαιρη πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών μιας περιοχής, σε συνάρτηση με τον προγραμματισμό των απαραίτητων φυτοπροστατευτικών ψεκασμών των καλλιεργειών της περιοχής. Επίσης, σημαντική είναι η εκτίμηση της εμφάνισης αντίξοων καιρικών συνθηκών σε μία περιοχή, όπως είναι ο παγετός, ο υψηλός κίνδυνος έναρξης πυρκαγιάς, οι ισχυρές βροχοπτώσεις ή χαλαζοπτώσεις κ.ά., σε συνάρτηση με τις δραστηριότητες που πρέπει να αναπτυχθούν για την αντιμετώπισή τους.

Οι μετεωρολογικές προγνώσεις, για να είναι χρήσιμες στη γεωργία, θα πρέπει να έχουν τοπικό χαρακτήρα και να περιλαμβάνουν στοιχεία χρήσιμα για τις συνήθειες καλλιέργειας της περιοχής. Οι προγνώσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και την εποχή του έτους. Έτσι, ως παράδειγμα αναφέρεται ότι για ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται μια λεπτομερέστερη πρόγνωση της διεύθυνσης και έντασης του ανέμου, ενώ σε άλλες της διάρκειας και της έντασης της βροχής.

Οι ειδικές προγνώσεις, που αφορούν τη γεωργία, είναι σκόπιμο να διακριθούν από τις αγρομετεωρολογικές προγνώσεις που, κατά κύριο λόγο, αναφέρονται στην εκτίμηση της αναμενόμενης παραγωγής και στους παράγοντες που την επηρεάζουν. Έτσι, η εκτίμηση του αναμενόμενου χρόνου ωρίμασης και συγκομι-

δής ενός προϊόντος δίνει τη δυνατότητα έγκαιρης προετοιμασίας του ανθρώπινου δυναμικού και του απαραίτητου μηχανολογικού εξοπλισμού, για τον πληρέστερο προγραμματισμό των εργασιών συγκομιδής και διάθεσης του προϊόντος. Αντίθετα, η εκτίμηση των αναμενόμενων αποδόσεων της καλλιέργειας αποτελεί βασική προϋπόθεση στον ορθολογικό σχεδιασμό της διάθεσής του.

8.2 Ειδικές προγνώσεις

8.2.1. Πρόγνωση παγετού

Η πρόγνωση του παγετού έχει ιδιαίτερη σημασία στη γεωργική πράξη, διότι μπορεί να παρέμβει ο καλλιεργητής με τα κατάλληλα μέσα και να αποφευχθεί η μερική ή ολική καταστροφή της παραγωγής του.

Οι σημαντικότεροι παγετοί, που παρατηρούνται στη χώρα μας, είναι οι παγετοί ψυχρού μετώπου ή χειμερινοί και οι παγετοί ακτινοβολίας ή εαρινοί. Οι παγετοί ψυχρού μετώπου αποδίδονται στην επέκταση των αντικυκλώνων της δυτικής Ευρώπης ή στην κάθοδο του Σιβηρικού αντικυκλώνα. Για την εκπόνηση της πρόγνωσης του παγετού σε μία γεωργική περιοχή θα πρέπει να έχει προηγηθεί η πρόγνωση των συστημάτων επιφάνειας και ανώτερης ατμόσφαιρας και να έχουν καθοριστεί οι ιδιότητες των αερίων μαζών, που θα καλύψουν την περιοχή αυτή, κατά το χρονικό διάστημα που θα ισχύσει η πρόγνωση. Στη συνέχεια, θα ακολουθήσει η προσαρμογή της πρόγνωσης στη συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος και, ιδιαίτερα, σε ό,τι αφορά την παράμετρο της θερμοκρασίας του αέρα.

Για την εκτίμηση της πιθανότητας δημιουργίας παγετού σε μία περιοχή, θα πρέπει αρχικά να υπολογιστεί η ελάχιστη θερμοκρασία της επόμενης ημέρας. Για το σκοπό αυτό έχουν δημιουργηθεί αρκετές εξισώσεις, στις οποίες υπεισέρχονται διάφορες μετεωρολογικές παράμετροι, όπως είναι η θερμοκρασία ξηρού και υγρού θερμομέτρου, η θερμοκρασία σημείου δρόσου, η σχετική υγρασία κ.ά. Απλή και εύκολη, στην εφαρμογή της, είναι η εξίσωση:

$$T_m = T_w - \frac{T + C}{K} \quad (8.2.1)$$

όπου: T_m = ελάχιστη θερμοκρασία (°C) της επόμενης ημέρας,

T_w = θερμοκρασία (°C) του υγρού θερμομέτρου (τοπική ώρα 16.30),

T = θερμοκρασία (°C) ξηρού θερμομέτρου (τοπική ώρα 16.30),

C, K = σταθερές, που έχουν προκύψει από τη στατιστική επεξεργασία ιστορικών δεδομένων του σταθμού της περιοχής, σε συνθήκες παγετού.

Εκτός, όμως, από τη πρόγνωση της ελάχιστης θερμοκρασίας σε μία γεωργική περιοχή, θεωρείται απαραίτητος ο εντοπισμός των χρονικών περιόδων, στις οποίες υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης παγετού. Επίσης, για την ίδια περίοδο, κρίνεται σκόπιμη η σύνταξη διαγραμμάτων πιθανότητας εμφάνισης παγετού ως και των μέσων και απολύτως μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών της περιοχής.

Η πρόγνωση της θερμοκρασίας του αέρα, σε μία περιοχή, εκφράζει τη θέση του μετεωρολογικού σταθμού, τα δεδομένα του οποίου υπεισέρχονται στην εν λόγω εξίσωση. Το ανάγλυφο, όμως, τόσο της γεωργικής όσο και της γειτνιαζουσας με αυτήν περιοχής, ως και η μορφή της εδαφοκάλυψης επιδρούν και επηρεάζουν τοπικά τις μικρομετεωρολογικές συνθήκες. Δηλαδή, μία προβλεπόμενη πτώση της θερμοκρασίας του αέρα στο μετεωρολογικό σταθμό στους $-2,0^{\circ}\text{C}$, δε σημαίνει ότι σ' όλη την έκταση της μελετώμενης περιοχής η θερμοκρασία θα διαμορφωθεί στους $-2,0^{\circ}\text{C}$, όταν επικρατήσουν συνθήκες παγετού ακτινοβολίας (ανέφελος και νήμες νύχτες). Αυτό δε συμβαίνει στην περίπτωση που δημιουργείται παγετός ψυχρού μετώπου, όπου η θερμοκρασία του αέρα παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιογένεια.

Οι παγετοί ψυχρού μετώπου έχουν μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα απ' αυτή των παγετών ακτινοβολίας, όμως, είναι λιγότερο καταστροφικοί, διότι κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους οι φυτικοί οργανισμοί δε βρίσκονται σε φαινολογικά στάδια, ευαίσθητα στις χαμηλές θερμοκρασίες. Αντίθετα, οι παγετοί ακτινοβολίας θεωρούνται ιδιαίτερα επιζήμιοι στη χώρα μας, διότι παρατηρούνται, συνήθως, κατά την Άνοιξη που η νέα βλάστηση, τα άνθη και οι νεαροί καρποί είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι στις χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα. Είναι, επομένως, απαραίτητη η διεξαγωγή τοποκλιματικών μελετών προσδιορισμού θέσεων παγετού ακτινοβολίας στις γεωργικές περιοχές και, ιδιαίτερα, σ' αυτές που καλλιεργούνται φυτά ευαίσθητα στο ψύχος.

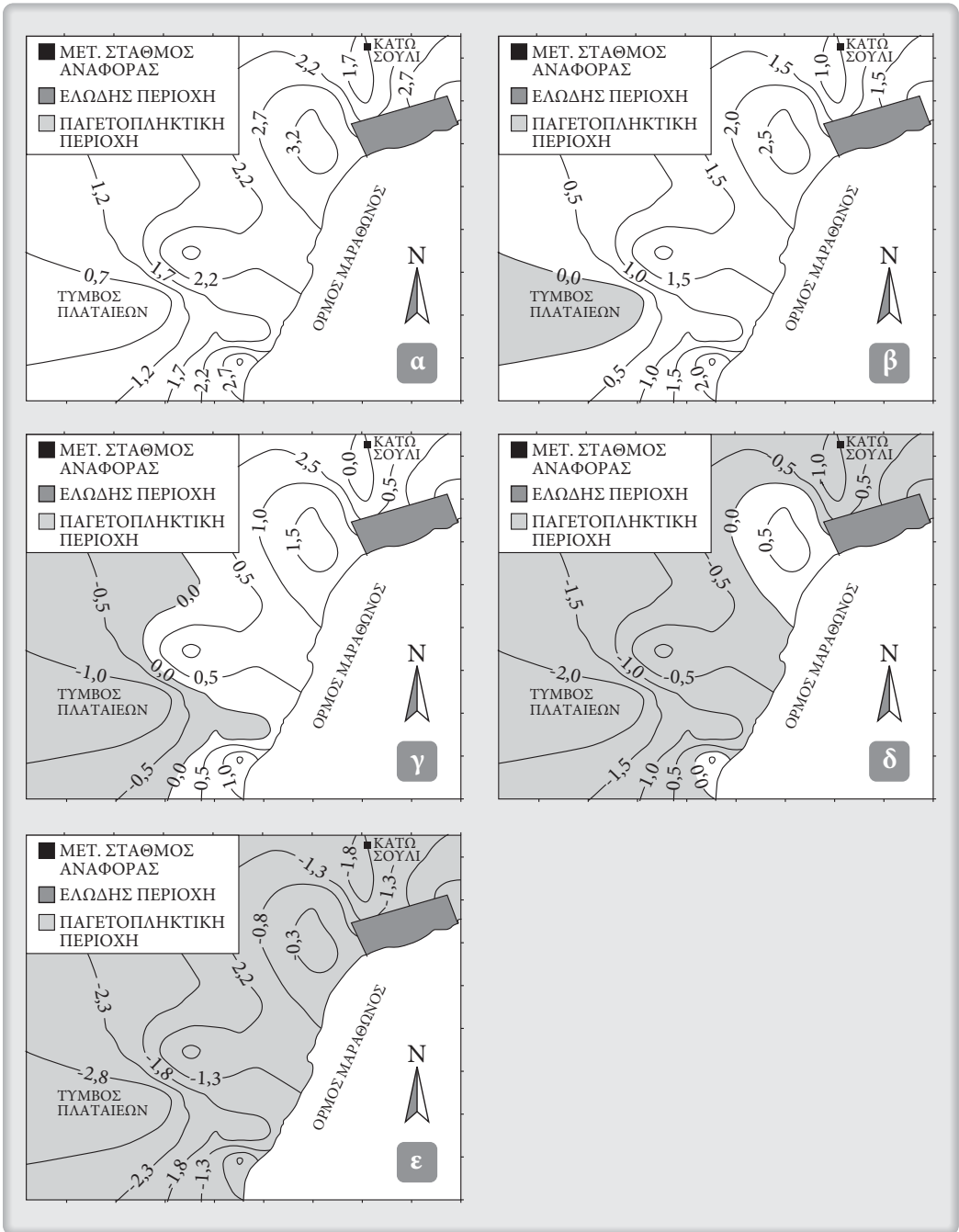
Η διεξαγωγή τοποκλιματικών μελετών μπορεί να γίνει με: (α) πυκνή διασπορά αυτόνομων καταγραφικών οργάνων στην ερευνώμενη περιοχή, μέθοδος, όμως, που λόγω υψηλού κόστους δεν εφαρμόζεται (β) νέες τεχνολογίες, όπως είναι η τηλεπισκόπηση κ.ά., οι οποίες προς το παρόν, δε δίνουν την απαιτούμενη ακρίβεια και δεν έχουν τύχει εφαρμογής και (γ) τη χρήση κινητής αυτόματης μετεωρολογικής μονάδας, η οποία χρησιμοποιείται τις τελευταίες δεκαετίες με επιτυχία στη γεωργική πράξη.

Στην περίπτωση χρήσης κινητής αυτόματης μετεωρολογικής μονάδας, οι τοποκλιματικές μελέτες βασίζονται, κυρίως, στη συνδυαστική αξιοποίηση των θερμομετρικών δεδομένων ενός μετεωρολογικού σταθμού και μιας κινητής μονάδας λήψης μετεωρολογικών παραμέτρων. Για κάθε περιοχή ορίζεται δίκτυο σημείων μέτρησης, ο προσδιορισμός των οποίων γίνεται με κριτήριο την επαρκή κάλυψη των ιδιαιτεροτήτων του ανάγλυφου, του είδους της εδαφοκάλυψης

και των υφιστάμενων καλλιεργειών. Στα σημεία μέτρησης περιλαμβάνεται και η θέση του υπάρχοντος μετεωρολογικού σταθμού, ο οποίος χρησιμοποιείται ως σταθμός αναφοράς. Ιδιαίτερη σημασία έχει η επιλογή του σημείου έναρξης των μετρήσεων, το οποίο αποτελεί και ενδιάμεσο σημείο επαναφοράς (μία έως δύο φορές ανάλογα με το μέγεθος της έκτασης και την πυκνότητα του δικτύου), ως και σημείο τερματισμού των μετρήσεων. Μετά τον καθορισμό των σημείων μέτρησης, προσδιορίζεται η διαδρομή που θα ακολουθήσει η κινητή μονάδα και ο αριθμός των σειρών μέτρησης. Κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής, η οποία μπορεί να διαρκέσει μέχρι και τρεις ώρες, μεταξύ των σημείων μέτρησης παρουσιάζεται θερμομετρική διαφοροποίηση, η οποία μπορεί να είναι σημαντική. Για να είναι συγκρίσιμα τα δεδομένα, η αναγωγή τους γίνεται σε μία μοναδική χρονική στιγμή, με ειδικό πρόγραμμα που έχει αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας για κάθε σημείο και για όλες τις σειρές μετρήσεων. Από τη μέση θερμοκρασία του αέρα του σημείου, που αντιστοιχεί στο μετεωρολογικό σταθμό αναφοράς, υπολογίζονται οι θερμομετρικές αποκλίσεις.

Για τη χωρική κατανομή των θερμομετρικών αποκλίσεων εφαρμόζεται η τεχνική *kriging*. Αυτή βασίζεται στη γεωστατιστική θεωρία και έχει αποδειχθεί ότι δίνει πολύ καλά αποτελέσματα στην εκτίμηση των τιμών μιας μεταβλητής σε θέσεις, στις οποίες δεν υπάρχουν μετρήσεις, από ένα σύνολο μετρημένων τιμών σε γειτονικές θέσεις. Από το χάρτη των μέσων θερμομετρικών αποκλίσεων μπορεί να εκτιμηθεί η κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα, όταν είναι γνωστή η θερμοκρασία στο σημείο αναφοράς. Με δεδομένο ότι στο σημείο αυτό λειτουργεί μετεωρολογικός σταθμός, στον οποίο καταγράφεται σε συνεχή βάση η θερμοκρασία του αέρα, είναι δυνατή η εκτίμηση στο χώρο, της θερμομετρικής κατάστασης για τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές, εφόσον πρόκειται για ανέφελες και νήγμενες νύχτες. Με την οριοθέτηση περιοχών χαμηλών τιμών θερμοκρασίας του αέρα, επιτυγχάνεται παράλληλα και ο καθορισμός θέσεων ευάλωτων στην εμφάνιση παγετού ακτινοβολίας, όταν η θερμοκρασία του αέρα, σε ανέφελες και νήγμενες νύχτες, μειωθεί κάτω από μία οριακή τιμή.

Η χρησιμότητα των μελετών αυτών, γίνεται εμφανής με το παράδειγμα της χωρικής κατανομής των θερμομετρικών αποκλίσεων, που παρουσιάζεται από τους Χρονοπούλου-Σερέλη κ.ά. (1996) στη γεωργική περιοχή του Μαραθώνα-Αττικής. Εάν θεωρηθεί ότι η θερμοκρασία του αέρα, στο μετεωρολογικό σταθμό αναφοράς, σε μια ανέφελη και νήγμη νύχτα, είναι $1,7^{\circ}\text{C}$, τότε με βάση το χάρτη των μέσων θερμομετρικών αποκλίσεων (σχήμα 8.2.1α) διαπιστώνεται ότι δεν παρατηρείται παγετός στην περιοχή μελέτης. Όταν η θερμοκρασία του αέρα προοδευτικά μειωθεί και φτάσει τον $1,0^{\circ}\text{C}$, τότε παρατηρείται παγετός σε περιορισμένη έκταση στην περιοχή του Τύμβου των Πλαταιέων (σχήμα 8.2.1β). Με τη μείω-



Σχήμα 8.2.1. Εξέλιξη της χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας του αέρα (°C), σε νήεμη και ανέφελη νύχτα στο Μαραθώνα Αττικής (κατά Χροντοπούλου-Σερέλη κ.ά., 1996).

ση, όμως, της θερμοκρασίας στους 0,0°C, διευρύνεται η παγετόπληκτη περιοχή, ενώ παρατηρείται εστία παγετού στη θέση του μετεωρολογικού σταθμού αναφοράς (σχήμα 8.2.1γ). Όταν η θερμοκρασία του αέρα φτάσει στους -1,0°C, τότε περιορίζεται σημαντικά η μη παγετόπληκτη περιοχή (σχήμα 8.2.1δ) και με -1,8°C όλη η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε συνθήκες παγετού (σχήμα 8.2.1ε). Από τα παραπάνω συνάγεται ότι, για το μετεωρολογικό σταθμό αναφοράς, η κρίσιμη θερμοκρασία του αέρα, κάτω από την οποία αρχίζει σε τοπικό επίπεδο η δημιουργία παγετού ακτινοβολίας, είναι 1,7°C, ενώ το κρίσιμο θερμομετρικό εύρος επέκτασης του παγετού σ' όλη την περιοχή μελέτης κυμαίνεται από 1,6 έως -1,8°C.

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι ο συνδυασμός της προβλεπόμενης κατανομής της θερμοκρασίας του αέρα σε μία γεωργική περιοχή, με τα δεδομένα του χάρτη των καλλιεργειών και τις οριακές θερμοκρασίες κάτω από τις οποίες υφίστανται ζημιές οι καλλιέργειες, συμβάλλει στην προστασία τους από παγετούς.

8.2.2 Πρόγνωση αποθεμάτων εδαφικής υγρασίας

Η πρόγνωση των αποθεμάτων εδαφικής υγρασίας, σε μία περιοχή, αποτελεί πολύτιμη γνώση στη γεωργική πρακτική, διότι, έτσι, είναι εφικτή η επιλογή των καταλληλότερων φυτικών ειδών και ποικιλιών για καλλιέργεια, ο προσδιορισμός της σωστής περιόδου κατεργασίας του εδάφους για σπορά ή φύτευση, η επιλογή των κατάλληλων τεχνικών άρδευσης κ.ά. Η πρόγνωση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία, για περιοχές με ξηροθερμικό περιβάλλον, όπου η εδαφική υγρασία είναι, συνήθως, ανεπαρκής και για περιοχές με εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, όπου το έδαφος είναι μόνιμα ή για μεγάλα χρονικά διαστήματα παγωμένο, οπότε η εδαφική υγρασία δεν είναι διαθέσιμη στους φυτικούς οργανισμούς.

Η πρόγνωση των αποθεμάτων εδαφικής υγρασίας, βασίζεται στο σύστημα έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα-νερό. Πρωταρχική σημασία έχει η ακριβής εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας στη ριζόσφαιρα κατά την αρχή της περιόδου ανάπτυξης μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας. Από το ποσό αυτό αφαιρείται η εκτιμώμενη ημερήσια εξατμισοδιαπνοή και προστίθεται το προβλεπόμενο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Στην προκειμένη περίπτωση, το ουσιαστικό πρόβλημα είναι η δυσκολία εκτίμησης των απαιτούμενων φυσικών παραμέτρων. Έχουν διατυπωθεί διάφορες εξισώσεις για την πρόγνωση των αποθεμάτων εδαφικής υγρασίας. Μία γενικευμένη μορφή δίνεται, από τον Chirkov (1979b), με την εξίσωση:

$$I = a^x + b^y - cz + m \quad (8.2.2)$$

όπου: I = προβλεπόμενο απόθεμα παραγωγικής υγρασίας (mm), σε δεδομένο πάχος εδάφους

- x = αρχικό απόθεμα παραγωγικής υγρασίας (mm), κατά την ημερομηνία υπολογισμού της πρόγνωσης
- y = σύνολο ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (mm), για την περίοδο της πρόγνωσης (10 ημέρες)
- z = μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα για την συγκεκριμένη περίοδο.
- m = σταθερά

Οι σταθερές της εξίσωσης a , b και c είναι συνάρτηση των φυσικών ιδιοτήτων και της ανομοιογένειας του εδαφικού στρώματος, του φυτικού είδους και του σταδίου ανάπτυξής του.

Στην πράξη, η εξίσωση (8.2.2), προσαρμόζεται ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας, τις εδαφοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή και το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Έχει αναπτυχθεί πλήθος εξισώσεων για τα διαφορετικά φυτικά είδη, καθώς και ένας ικανοποιητικός αριθμός για το ίδιο είδος φυτού ανάλογα με την περιοχή καλλιέργειας, τον τύπο του εδάφους και το φαινολογικό στάδιο ανάπτυξής του. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο Chirkov και ο Belukhina, στα πλαίσια πρόγνωσης των αποθεμάτων εδαφικής υγρασίας για την καλλιέργεια αραβοσίτου σε περιοχές της πρώην Σοβιετικής Ένωσης, δημιούργησαν περισσότερες από 30 εξισώσεις για τα διάφορα φαινολογικά στάδια ανάπτυξης του φυτού. Τα τελευταία χρόνια, για την πρόγνωση των αποθεμάτων της εδαφικής υγρασίας, ορισμένοι ερευνητές ανέπτυξαν στατιστικά μοντέλα με τη χρησιμοποίηση σύγχρονων τεχνικών, όπως τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANNs) κ.ά., που, όπως αναφέρουν οι Gill et al. (2007), έδωσαν πολύ καλά αποτελέσματα. Πρόσφατες, όμως, έρευνες, όπως αναφέρουν οι Xu et al. (2009), εφαρμογής των γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (GIS), στην ανάπτυξη υδρολογικών μοντέλων, έδωσαν πληρέστερες προγνώσεις.

8.2.3 Πρόγνωση μικρομετεωρολογικών παραμέτρων και γεωργικές δραστηριότητες

Η γενική πρόγνωση του καιρού δεν είναι αρκετή για να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά στη γεωργική πράξη. Για την κάλυψη των γεωργικών αναγκών απαιτούνται τακτικές και λεπτομερείς προγνώσεις, που θα προσδιορίζουν τις τοπικές μεταβολές του καιρού, έτσι ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν από τους γεωργούς στις εποχιακές δραστηριότητές τους και να συμβάλλουν στην πληρέστερη αντιμετώπιση προβλημάτων που πιθανόν να προκύψουν στην καλλιέργεια. Για παράδειγμα αναφέρεται η πρόγνωση των καιρικών συνθηκών μιας περιοχής και η αξιοποίησή της στην αντιμετώπιση μιας μυκητολογικής ασθένειας, σε καλλιέργεια καρποφόρων δένδρων. Στην τοπική αυτή πρόγνωση θα πρέπει απαραίτη-

Πίνακας 8.2.1 *Ειδικές προγνώσεις στη γεωργία με τα απαιτούμενα στοιχεία, τις προγνωστικές ανάγκες, τις περιόδους και τις συχνότερες πρόγνωσης (κατά Γρυλάκη, 2008, τροποποιημένο).*

Είδος πρόγνωσης	Μετεωρολογικά δεδομένα	Αγρομετεωρολογικά δεδομένα	Προγνωστικές ανάγκες	Περίοδος πρόγνωσης	Συχνότητα πρόγνωσης
Εποχή φύτευσης και σποράς	Θερμοκρασία εδάφους-αέρα, υγρασία εδάφους-αέρα.	α. Κριτικές τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας εδάφους, για κάθε είδος φυτού. β. Μικρομετεωρολογικά δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας εδάφους για την εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος.	α. Βραχυπρόθεσμη πρόγνωση μετεωρολογικών συνθηκών. β. Μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη θερμοκρασίας και υετού, σε συνδυασμό με την πιθανότητα εμφάνισης αντιξοών καιρικών συνθηκών κατά την κριτική περίοδο εγκατάστασης των φυτών (κλιματικά δεδομένα).	Ανάλογα με το είδος του φυτού (κυρίως φθινόπωρο, άνοιξη).	Δύο φορές την εβδομάδα ή και συχνότερα.
Ασθένειες, έντομα	Θερμοκρασία αέρα, ποσό και διάρκεια υετού, διάρκεια ομίχλης και δρόσου, ανεμομετρικές συνθήκες (θερμίδες και ξηροί άνεμοι).	α. Κριτικές τιμές των μετεωρολογικών δεδομένων και φαινολογικές παρατηρήσεις για την προσβολή, ανάπτυξη και διασπορά ασθενειών και εντόμων. β. Συσχέτιση μακρο- και μικρομετεωρολογικών συνθηκών. γ. Είδη καλλιεργειών και ασθενειών κατά περιοχή.	Πρόγνωση (σχετικά με γάλης ακρίβειας) των αναγκαίων μετεωρολογικών δεδομένων.	Ανάλογα με την ασθένεια.	Όταν απαιτείται.
Ψεκασμοί/επικονιάσεις	Υετός, ανεμομετρικές συνθήκες, θερμοκρασία και σχετική υγρασία εδάφους, δρόσος, ορατότητα.	Φαινολογικές παρατηρήσεις φυτών, εξέλιξη εντομολογικών, μυκητολογικών και άλλων ασθενειών. Μικρομετεωρολογικά δεδομένα παραμέτρων αντίστοιχων των μετεωρολογικών στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος	Ακριβής, κατά το δυνατόν, περιοχική πρόγνωση των μετεωρολογικών στοιχείων ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής του σκευάσματος (από το έδαφος ή τον αέρα).	Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.	Μία ή δύο φορές την ημέρα ή όταν απαιτείται.
Άρδευση	Ποσό υετού, υγρασία εδάφους, ρυθμός εξατμισοδιαπνοής.	α. Δεδομένα υγρασίας εδάφους και εξατμισοδιαπνοής με στοιχεία παρόντος καιρού. β. Απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό, κριτικά στάδια και τύπος εδάφους. γ. Ενημέρωση για το στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών.	α. Ακριβής περιοχική πρόγνωση ύψους υετού. β. Περιοχική πρόγνωση των μετεωρολογικών στοιχείων που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή.	Άνοιξη και θέρος.	Μια φορά την εβδομάδα ή ανά δεκαήμερο.
Συνθήκες συγκομιδής	Ύψος και διάρκεια υετού, ανεμομετρικές συνθήκες (μεγάλες εντάσεις), θερμοκρασία αέρα (ελάχιστη).	α. Στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών. β. Γνώση της σχέσης ανάπτυξης καλλιεργειών και καιρικών συνθηκών. γ. Γνώση της επίδρασης των αντιξοών καιρικών συνθηκών κατά τη συγκομιδή.	Πρόγνωση των σχετικών μετεωρολογικών στοιχείων ώστε να επιλεγούν οι ευνοϊκές συνθήκες για την κανονική ή την πρόωγη συγκομιδή.	Ανάλογα με την καλλιέργεια.	Δύο φορές την εβδομάδα και πιθανόν κάθε ημέρα.

τα να περιλαμβάνεται η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου, η πιθανότητα βροχής και οι θερμοϋγρομετρικές συνθήκες. Οι συνθήκες αυτές πρέπει να αξιολογηθούν από τον τοπικό γεωπόνο και τον παραγωγό προκειμένου να διενεργηθεί ή όχι ο ψεκασμός. Στον πίνακα 8.2.1. περιλαμβάνονται διάφορες ειδικές προγνώσεις, που αφορούν γεωργικές δραστηριότητες με τα απαιτούμενα μετεωρολογικά και αγρομετεωρολογικά στοιχεία, τις προγνωστικές ανάγκες και τη συχνότητα και την περίοδο της πρόγνωσης.

8.3 Αγρομετεωρολογικές προγνώσεις

8.3.1. Πρόγνωση σταδίων ανάπτυξης φυτών

Ο κύκλος ζωής των εμβίων οργανισμών επηρεάζεται, σε πολύ μεγάλο βαθμό, από τις συνθήκες περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία του αέρα, κυρίως, κατά την περίοδο της άνοιξης και των αρχών του θέρους, σχετίζεται άμεσα με το χρόνο εμφάνισης διαφόρων σταδίων ανάπτυξης καλλιεργούμενων και αυτοφυών φυτών.

Έχει αναφερθεί ότι η μέση θερμοκρασία των μηνών Μαρτίου και Απριλίου είναι ένας ικανοποιητικός δείκτης για την εκτίμηση της ημερομηνίας έναρξης ορισμένων φαινολογικών σταδίων των καλλιεργούμενων φυτών. Έρευνες, στον ελληνικό χώρο στο αντικείμενο αυτό, έχουν γίνει από τους Kamoutsis et al. (2005) και Matsoukis et al. (2006) για διάφορες ποικιλίες αμπέλου σε περιοχές της Θεσσαλίας και της Ανατολικής Μακεδονίας. Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης, διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 1,0°C προκαλεί πρωιμότητα στην εμφάνιση διαφόρων φαινολογικών σταδίων στις ποικιλίες αμπέλου «Ροδίτης» και «Μοσχάτο Αμβούργου» κατά 5, περίπου, ημέρες σε περιοχές της Θεσσαλίας και στις ποικιλίες «Ραζακί» και «Σουλτανίνα» κατά 7 ημέρες σε περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας. Αναφέρεται, επίσης, ότι, στις πιο θερμές περιοχές της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας τα φαινολογικά στάδια της αναπαραγωγικής ανάπτυξης του μαλακού σίτου (*Triticum aestivum* L.), εμφανίστηκαν πρωιμότερα από τα αντίστοιχα στάδια στη Βόρεια Ελλάδα.

Εκτός από τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης, έχουν αναπτυχθεί διάφορα φαινολογικά μοντέλα με τα οποία έχει επιχειρηθεί, κατά καιρούς, η πρόβλεψη εμφάνισης διαφόρων φαινολογικών σταδίων με βάση προηγούμενα στάδια. Τα μοντέλα αυτά αποτελούν πολύτιμο εργαλείο στη γεωργική πράξη, συμβάλλοντας, έτσι, σε αξιοσημείωτο βαθμό στον έγκαιρο προγραμματισμό των καλλιεργητικών εργασιών. Η εκτίμηση του χρόνου εμφάνισης ενός φαινολογικού σταδίου, με τη χρήση των προαναφερθέντων μοντέλων, επιτυγχάνεται με τη χρησιμο-

ποίηση παραμέτρων εισόδου, σε μεγάλο αριθμό περιπτώσεων δεικτών που σχετίζονται με αθροίσματα τιμών θερμοκρασίας που επικράτησαν σε προηγούμενα στάδια. Στους δείκτες αυτούς, μεταξύ άλλων, υπεισέρχονται οι βαθμοημέρες, το άθροισμα των τιμών της μέγιστης θερμοκρασίας και οι ημέρες ψύχους.

Κατά τον Chirkon (1979b), η πρόγνωση ενός συγκεκριμένου σταδίου μπορεί να εκτιμηθεί από την ημερομηνία έναρξης του προηγούμενου σταδίου, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους της θερμοκρασίας του αέρα. Στην περίπτωση αυτή, η εξίσωση της πρόγνωσης διαμορφώνεται ως εξής:

$$D = D_1 + \frac{A}{t-5} \quad (8.3.1)$$

όπου: D = προβλεπόμενος χρόνος έναρξης ενός σταδίου

D_1 = ημερομηνία έναρξης προηγούμενου σταδίου

A = άθροισμα θερμοκρασιών ($^{\circ}\text{C}$), που απαιτείται για την έναρξη προηγούμενου σταδίου

t = μέση θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) της ενδιάμεσης περιόδου (υπολογίζεται από κλιματικά δεδομένα ή από το δελτίο καιρού).

Στον ελληνικό χώρο δεν έχουν γίνει εκτεταμένες έρευνες πρόβλεψης του χρόνου εμφάνισης φαινολογικών σταδίων διαφόρων καλλιεργούμενων και αυτοφυών φυτών. Σε προκαταρκτικές μελέτες των Καμούτση κ.ά., (2008), έχει εκτιμηθεί ικανοποιητικά, με τη χρήση φαινολογικών μοντέλων που εκφράζονται από εξισώσεις $2^{\text{ου}}$ βαθμού, ο χρόνος εμφάνισης της πλήρους άνθησης στο αμπέλι (*Vitis vinifera* L. cv. Italia) με βάση τις βαθμοημέρες προγενέστερου διαστήματος μεταξύ της έναρξης έκπτυξης των οφθαλμών και της εμφάνισης των ταξιανθιών του. Η πληροφορία αυτή μπορεί να χρησιμεύσει στον προγραμματισμό των γεωργικών προειδοποιήσεων αναφορικά με τον περιορισμό των ζημιών που προκαλούν διάφοροι ζωϊκοί εχθροί (π.χ. ευδεμίδα της αμπέλου) στην καλλιέργεια.

Επίσης, από τη διερεύνηση της εφαρμογής φαινολογικών μοντέλων στη μηλιά (*Malus domestica* Borkh. cv. Starking Delicious) σε περιοχές της Θεσσαλίας, διαπιστώθηκε ότι μπορεί να προβλεφθεί ικανοποιητικά ο χρόνος εμφάνισης του φαινολογικού σταδίου «φουντουκιού» (μέγεθος καρπού έως και 20 mm), λαμβάνοντας υπόψη το άθροισμα των τιμών της μέγιστης θερμοκρασίας μεταξύ των σταδίων «έκπτυξη των φύλλων-πράσινη κορυφή» και «έναρξη άνθησης» (σχήμα 8.3.1). Η παρεχόμενη, με αυτόν τον τρόπο, πληροφορία μπορεί να συμβάλει στον καλύτερο προγραμματισμό των επεμβάσεων που απαιτούνται για τον περιορισμό του πληθυσμού ενός σημαντικού εντομολογικού εχθρού, που είναι η καρπόκαψα, της μηλιάς (*Cydia pomonella* L.).