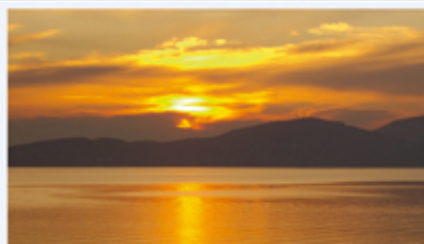
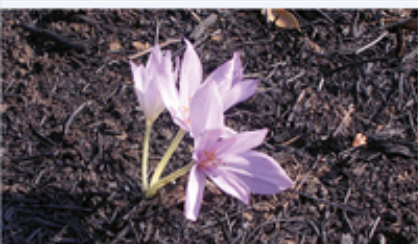


Αικ. Χρονοπούλου-Σερέλη • Ι. Τσίρος • Α. Καμούτσης • Α. Ματσούκης  
Φ. Δρούλια • Ι. Χαραλαμπόπουλος • Κ. Χρονόπουλος

# Γενικά & Ειδικά Θέματα Βιοκλιματολογίας

## Εφαρμογές - Ασκήσεις



Αικ. Χρονοπούλου-Σερέλη  
Καθηγήτρια Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Ιωάννης Τσίρος  
Αναπληρωτής Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Αθανάσιος Καμούτσης  
Επίκουρος Καθηγητής Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Αριστείδης Ματσούκης  
Διδάκτορας, Ειδικό Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό  
Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Φωτούλα Δρούλια  
Διδάκτορας Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Ιωάννης Χααραλαμπόπουλος,  
Διδάκτορας Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Κωνσταντίνος Χρονόπουλος  
Διδάκτορας Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

Γενικά & Ειδικά Θέματα Βιοκλιματολογίας: Εφαρμογές - Ασκήσεις

Συντονισμός και επιμέλεια κειμένου: Αικ. Χρονοπούλου-Σερέλη και Φωτούλα Δρούλια

ISBN 978-960-456-365-4

© Copyright, 2012, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Αικ. Χρονοπούλου-Σερέλη, Ι. Τσίρος, Α. Καμούτσης,  
Α. Ματσούκης, Φ. Δρούλια, Ι. Χααραλαμπόπουλος, Κ. Χρονόπουλος

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



[www.ziti.gr](http://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 - ΠΩΛΗΣΗ ΙΑΝΙΚΗ-ΧΟΝΔΡΙΚΗ

Χαριλάου Τρικούπη 22, 106 79 Αθήνα  
Τηλ.-Fax: 210.3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

ΣΤΟΑ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ - ΕΝΩΣΗ ΕΚΔΟΤΩΝ ΒΙΒΛΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:

Πεσμαζόγλου 5, 105 64 Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210.3211.097

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ: [www.ziti.gr](http://www.ziti.gr)

**Η** συγγραφή του παρόντος βιβλίου έγινε, κυρίως, για την κάλυψη διδακτικών αναγκών φοιτητών των γεωτεχνικών και γενικότερα των θετικών επιστημών, ενώ παράλληλα αποτελεί χρήσιμο βοήθημα στους πτυχιούχους των αντίστοιχων τμημάτων και σχολών σε ότι αφορά στις βιοκλιματικές εφαρμογές. Διαμορφώθηκε με τέτοιο τρόπο, ώστε να παρέχονται οι βασικές γνώσεις για την κατανόηση ειδικών θεμάτων που αναλύονται στο βιβλίο, ενώ με τα παραδείγματα και τις ασκήσεις που συνοδεύουν το κάθε κεφάλαιο δίνεται η δυνατότητα για την καλύτερη εμπέδωσή τους.

Για την κάλυψη ενός ευρέως φάσματος βιοκλιματικών εφαρμογών και για την επίτευξη της απαιτούμενης συνοχής το βιβλίο χωρίστηκε σε εννέα επιμέρους κεφάλαια. Τα πρώτα αναφέρονται στον προσδιορισμό-εκτίμηση επιλεγμένων μικρομετεωρολογικών παραμέτρων, στην περιγραφή των κλιματικών και βιοκλιματικών ταξινομήσεων και δεικτών, ως και των κυριότερων κλιματικών ζωνών της γης, εστιάζοντας στις κλιματικές συνθήκες της χώρας μας. Στα επόμενα κεφάλαια περιγράφονται οι μικροκλιματικές συνθήκες που διαμορφώνονται σε υπαίθριους και κλειστούς χώρους, η διαδικασία λήψης και αξιοποίησης των φαινολογικών παρατηρήσεων, οι κλιματικές αλλαγές, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην εκτίμηση του κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς και στη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν το μέλος του Εργαστηρίου Γεωνικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Μ. Παγώνη για τη δακτυλογράφηση του κειμένου και την παρουσίαση πινάκων και διαγραμμάτων, την κ. Χριστίνα Μπαρπάκη για τη φιλολογική επιμέλεια του κειμένου, ως και το προσωπικό των εκδόσεων Ζήτη που φιλοτέχνησε με ιδιαίτερο ζήλο την έκδοση του παρόντος βιβλίου.

*Οι συγγραφείς*

<b>1</b>	<b>Εκτίμηση επιλεγμένων μικρομετεωρολογικών παραμέτρων</b>	<b>1</b>
1.1.	Εκτίμηση θερμοκρασίας αέρα .....	1
1.1.1.	<i>Εφαρμογή – Άσκηση:</i> Εκτίμηση χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας του αέρα με τη χρήση κινητής μονάδας μετρήσεων .....	6
1.2.	Προσδιορισμός δυναμικής εξατμισοδιαπνοής .....	8
1.2.1.	Γενικά .....	8
1.2.2.	Προσδιορισμός εξατμισοδιαπνοής από δεδομένα μετρήσεων λεκανών εξάτμισης .....	9
1.2.3.	Προσδιορισμός δυναμικής εξατμισοδιαπνοής με χρήση θεωρητικών και υπολογιστικών μεθόδων .....	11
1.2.4.	<i>Εφαρμογή – Άσκηση:</i> Εκτίμηση της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής από δεδομένα εξατμισιμέτρου λεκάνης και με τη μέθοδο Penman ....	15
1.3.	Βιβλιογραφία .....	21
<b>2</b>	<b>Κλίμα και κλιματικές ταξινομήσεις</b>	<b>23</b>
2.1.	Κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen .....	25
2.1.1.	<i>Εφαρμογή – Άσκηση:</i> Προσδιορισμός του κλίματος διαφορετικών περιοχών με βάση την ταξινόμηση Köppen .....	31
2.2.	Κλιματική κατάταξη κατά Thornthwaite .....	32
2.2.1.	<i>Εφαρμογή – Άσκηση:</i> Προσδιορισμός των κλιματικών τύπων διαφορετικών περιοχών με βάση την κατάταξη Thornthwaite .....	36
2.3.	Βιβλιογραφία .....	37
<b>3</b>	<b>Κλιματικοί δείκτες – Βιοκλιματικές ταξινομήσεις</b>	<b>39</b>
3.1.	Κλιματικοί δείκτες .....	39
3.1.1.	Δείκτης ξηρότητας de Martonne .....	40

3.1.2.	Συνδυαστικός δείκτης Pinna .....	41
3.2.	Βιοκλιματικοί δείκτες .....	42
3.2.1.	Βιοκλιματικός δείκτης Emberger .....	42
3.2.2.	Δείκτης αισθητής θερμοκρασίας .....	43
3.2.3.	Αθροιστικοί δείκτες .....	44
3.3.	Βιοκλιματικές κατατάξεις .....	44
3.3.1.	Βιοκλιματική κατάταξη UNESCO – FAO (ξηροθερμικός δείκτης Gaussen) .....	44
3.3.2.	Βιοκλιματική κατάταξη κατά Παπαδάκη .....	48
3.4.	<i>Εφαρμογή – Άσκηση:</i> Χαρακτηρισμός και διαφοροποίηση της θερμικής αίσθησης σε διαφορετικές μορφές του αστικού χώρου .....	50
3.5.	Βιβλιογραφία .....	52

## **4 Κλιματικά διαγράμματα – Κλιματικές περιοχές της γης** 55

4.1.	Κλιματικά διαγράμματα .....	55
4.2.	Κλιματικές συνθήκες και τύπος βλάστησης περιοχών της γης .....	58
4.2.1.	Κλίμα των υγρών τροπικών δασών .....	58
4.2.2.	Τροπικό κλίμα της σαβάνας .....	59
4.2.3.	Ερημικό κλίμα .....	60
4.2.4.	Υποτροπικά κλίματα .....	61
4.2.4.1.	Υποτροπικό κλίμα ξηρού θέρους ή Μεσογειακό .....	61
4.2.4.2.	Υγρό υποτροπικό κλίμα .....	62
4.2.5.	Ηπειρωτικό υγρό κλίμα .....	62
4.2.6.	Κλίμα Τάϊγκα ή δάσους κωνοφόρων .....	62
4.2.7.	Κλίμα Τούντρα .....	63
4.2.8.	Πολικό κλίμα .....	64
4.2.9.	Ορεινό κλίμα .....	64
4.3.	Κλίμα Ελλάδας .....	65
4.3.1.	Γενικά .....	65
4.3.2.	Κλιματικές συνθήκες της ελληνικής περιοχής .....	66
4.4.	<i>Εφαρμογή – Άσκηση:</i> Σχεδιασμός και ερμηνεία θερμοϋετογραμμάτων .....	70
4.5.	Βιβλιογραφία .....	71

## **5 Φαινολογικές παρατηρήσεις** 75

5.1.	Γενικά .....	75
5.2.	Τυπική διαδικασία λήψης φαινολογικών παρατηρήσεων και αξιοποίησή τους .....	76

5.3. <i>Εφαρμογή – Άσκηση</i> : Προσδιορισμός και ερμηνεία της σχέσης φυτοφαινοφάσεων και θερμομετρικών συνθηκών περιοχών διαφορετικού αναγλύφου .....	82
5.4. Βιβλιογραφία .....	83

## **6 Μικροκλιματικές συνθήκες σε υπαίθριους και κλειστούς χώρους** 85

6.1. Μικρόκλιμα υπαίθριων χώρων .....	85
6.1.1. Μικρόκλιμα δενδροκαλυμμένων περιοχών .....	85
6.1.2. Μικρόκλιμα περιοχών με χαμηλή ποώδη βλάστηση .....	87
6.2. Μικρόκλιμα κλειστών χώρων .....	91
6.2.1. Μικρόκλιμα χώρων διαμονής των ανθρώπων και χώρων ενσταυλισμού των ζώων .....	92
6.2.2. Μικρόκλιμα χώρων αποθήκευσης αγροτικών προϊόντων και χώρων διαβίωσης και ανάπτυξης φυτικών οργανισμών σε τεχνητό περιβάλλον .....	94
6.3. <i>Εφαρμογή – Άσκηση</i> : Προσδιορισμός των θερμοϋγρομετρικών συνθηκών σε υπαίθριους και κλειστούς χώρους .....	96
6.4. Βιβλιογραφία .....	97

## **7 Κλιματικές αλλαγές** 99

7.1. Γενικά .....	99
7.2. Φαινόμενο θερμοκηπίου και συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα .....	100
7.3. Αύξηση της θερμοκρασίας σε παγκόσμιο επίπεδο .....	102
7.4. Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στο υδρολογικό καθεστώς και στα έργα υποδομής .....	104
7.5. Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στη γεωργία και τους έμβιους οργανισμούς .....	106
7.6. <i>Εφαρμογή – Άσκηση</i> : Διερεύνηση πιθανής μεταβολής των θερμομετρικών συνθηκών σε περιοχές με διαφορετική χρήση γης .....	108
7.7. Βιβλιογραφία .....	109

## **8 Εκτίμηση μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς** 111

8.1. Γενικά .....	111
-------------------	-----



8.2.	Μέθοδοι και συστήματα εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιάς .....	112
8.2.1.	Δείκτης Angström ( <i>Angström Index</i> ) .....	112
8.2.2.	Δείκτης Nesterov ( <i>Nesterov Index</i> ) .....	110
8.2.3.	Δείκτης Αριθμητικού Κινδύνου ( <i>Drouet and Sol Numerical Risk</i> ) ....	113
8.2.4.	Μέθοδος ICONA ( <i>Institute National para la Conservcion da la Naturaleza</i> ) .....	113
8.2.5.	Δείκτης IREPI ( <i>Indice di Riduzione Evapotraspirazionale per il Pericolo di Incendio</i> ) .....	114
8.2.6.	Δείκτης FFDI ( <i>Forest Fire Danger Index</i> ) .....	114
8.2.7.	Σύστημα NFDRS ( <i>National Fire Danger Rating System</i> ) .....	114
8.2.8.	Σύστημα CFFWIS ( <i>Canadian Forest Fire Weather Index System</i> ) .....	115
8.2.9.	Πορτογαλική μέθοδος .....	115
8.2.10.	Σύστημα EFFIS ( <i>European Forest Fire Information System</i> ) .....	117
8.2.11.	Μέθοδος συνδυαστικής χρήσης δεδομένων κινητής μονάδας και μετεωρολογικών σταθμών .....	118
8.2.12.	Μέθοδος αξιοποίησης δορυφορικών δεδομένων στην αντιμετώπιση των πυρκαγιών .....	120
8.3.	<i>Εφαρμογή – Άσκηση:</i> Εκτίμηση κρίσιμης περιόδου και ημερήσιου κρίσιμου διαστήματος για την έναρξη των δασικών πυρκαγιών .....	121
8.4.	Βιβλιογραφία .....	122

## 9

## Ρύπανση περιβάλλοντος

125

9.1.	Διασπορά ρύπων στο περιβάλλον – Συμβολή ανθρώπινης δραστηριότητας .....	125
9.2.	Ατμοσφαιρικοί ρύποι, προέλευση και επιπτώσεις στον άνθρωπο .....	129
9.2.1.	Ατμοσφαιρική ρύπανση σε μεγάλα αστικά κέντρα του ελληνικού χώρου .....	137
9.3.	Ρύπανση εδάφους και υδάτων .....	139
9.3.1.	Προέλευση ρυπαντικών στοιχείων και επιβάρυνση περιβαλλοντικών μέσων .....	139
9.3.2.	Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό .....	144
9.3.3.	Αποκατάσταση-απορρύπανση .....	152
9.4.	<i>Εφαρμογή – Άσκηση:</i> Φυτοεξυγίανση εδαφών ρυπασμένων με βαρέα μέταλλα .....	157
9.5.	Βιβλιογραφία .....	158
	ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ .....	177

## 1.1. Εκτίμηση θερμοκρασίας αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα είναι η σημαντικότερη κλιματική παράμετρος και ως εκ τούτου συμμετέχει σε όλες τις κλιματικές κατατάξεις. Η θερμοκρασία σε μια περιοχή εκφράζεται από τις θερμομετρικές συνθήκες υπό σκιά που διαμορφώνονται μέσα στο μετεωρολογικό κλωβό ενός σταθμού και σε ύψος 1,5 έως 2,0 m από την επιφάνεια του εδάφους.

Ο μετεωρολογικός σταθμός επιφανείας εδάφους εκφράζει το σύνολο των εγκαταστάσεων και των οργάνων που βρίσκονται στην ίδια θέση και λειτουργούν ταυτόχρονα με σκοπό τη μέτρηση ή εκτίμηση των διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων (Κυριαζόπουλος και Λειβαδάς 1969).

Ο μετεωρολογικός σταθμός περιλαμβάνει το μετεωρολογικό κλωβό (κλασικό ή ειδικό προστατευτικό, τύπου αλλεπάλληλων πλακών με κατάλληλη κλήση, για την περίπτωση των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών) εντός του οποίου τοποθετούνται όργανα εκτίμησης των συνθηκών υπαίθρου υπό σκιά. Στο χώρο του μετεωρολογικού σταθμού τοποθετούνται όργανα υπαίθρου (ηλιογράφος, ακτινόμετρο, βροχόμετρο κ.ά.), όργανα ημιυπαίθρια (θερμόμετρα εδάφους σε βάθος και θερμογράφος εδάφους) και όργανα δωματίου (βαρόμετρο και βαρογράφος).

Ο μετεωρολογικός σταθμός πρέπει να εγκαθίσταται επί του εδάφους σε περιοχή με ομαλό ανάγλυφο, έτσι ώστε οι μετρούμενες παράμετροι να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη έκταση. Η θέση του μετεωρολογικού σταθμού πρέπει να βρίσκεται μακριά από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια (μεγάλα δένδρα, κτήρια κ.ά.), από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, θερμοκήπια και άλλες γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν με τις εκπομπές τους ή την παρουσία τους (σκίαση) τις μετρούμενες παραμέτρους.



Στους κλασικούς μετεωρολογικούς σταθμούς, που διαθέτουν όργανα άμεσης παρατήρησης και αυτογραφικά, διενεργούνται ημερησίως παρατηρήσεις, εκτιμήσεις και μετρήσεις σε τακτά χρονικά διαστήματα, δηλαδή κατά τις ώρες 08.00, 14.00 και 20.00 (τοπική ώρα Ελλάδας). Αντίθετα, στους θερμοβροχομετρικούς σταθμούς, που διαθέτουν μόνο μεγιστοβάθμιο και ελαχιστοβάθμιο θερμομέτρο και βροχόμετρο, οι μετρήσεις γίνονται μία μόνο φορά (συνήθως στις 08.00) ημερησίως (Χρονοπούλου-Σερέλη 1996).

Στους αυτόματους τηλεμετρικούς μετεωρολογικούς σταθμούς (ΑΤΜΣ) οι μετρήσεις γίνονται σε τακτά μικρά χρονικά διαστήματα του 24ώρου, τα οποία μέσω του καταγραφέα (*data logger*) συλλέγονται, υφίστανται επεξεργασία, αποθηκεύονται και τηλεμεταδίδονται σε κεντρική μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή (Η/Υ).

Οι μετρούμενες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα σ' ένα τόπο μπορούν να αξιοποιηθούν, ανάλογα με την εφαρμογή, υπό τη μορφή της μέσης ημερήσιας ( $\bar{T}_d$ ), μέσης μηνιαίας ( $\bar{T}_m$ ), και μέσης ετήσιας ( $\bar{T}_y$ ) τιμής της. Αυτό εξαρτάται από τη μορφή και το πλήθος των παρεχόμενων από τους μετεωρολογικούς σταθμούς πρωτογενών δεδομένων της θερμοκρασίας του αέρα. Δηλαδή, όταν διατίθενται δεδομένα από παρατηρήσεις που γίνονται κατά τις ώρες 08.00, 14.00 και 20.00 καθημερινά στους μετεωρολογικούς σταθμούς, τότε ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας αέρα μπορεί να γίνει από τους ακόλουθους εμπειρικούς τύπους:

$$\bar{T}_d = \frac{1}{2} (T_{\max} + T_{\min}) \quad (1.1.1)$$

$$\bar{T}_d = \frac{1}{3} (T_8 + T_{14} + T_{20}) \quad (1.1.2)$$

$$\bar{T}_d = \frac{1}{4} (T_8 + T_{14} + 2 \cdot T_{20}) \quad (1.1.3)$$

όπου:  $T_{\max}$  = μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα

$T_{\min}$  = ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα

$T_8, T_{14}, T_{20}$  = θερμοκρασία αντίστοιχα στις ώρες 08.00, 14.00 και 20.00 μιας δεδομένης ημέρας.

Από τις ανωτέρω σχέσεις, η 1.1.3 υπολογίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα ενός τόπου. Όταν όμως σ' ένα μετεωρολογικό σταθμό διατίθενται ωριαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα, τότε η εκτιμώμενη μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι σαφώς ακριβέστερη και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\bar{T}_d = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T_i \quad (1.1.4)$$

όπου:  $T_i$  = ωριαία τιμή θερμοκρασίας αέρα ( $i = 1, 2, 3, \dots, 24$ ).

Από τις μέσες ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας μπορεί να υπολογιστεί η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα ( $\bar{T}_m$ ) από την ακόλουθη σχέση:

$$\bar{T}_m = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v \bar{T}_{d(i)} \quad (1.1.5)$$

όπου:  $v$  = αριθμός των ημερών του μήνα.

Με ανάλογη σχέση υπολογίζεται η μέση μηνιαία μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα.

Η θερμοκρασία του αέρα και οι αναφερόμενοι τρόποι υπολογισμού της αφορούν δεδομένα ενός μετεωρολογικού σταθμού, ο οποίος εκφράζει ανάλογα με το τοπογραφικό ανάγλυφο του περιβάλλοντος χώρου μια συγκεκριμένη έκταση γύρω από αυτόν.

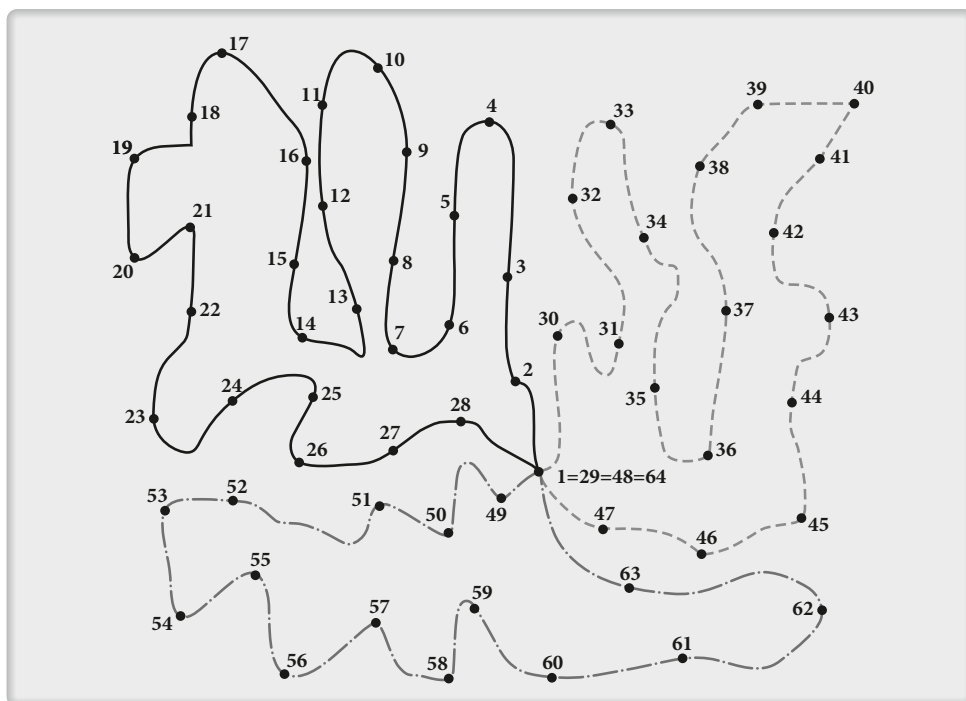
Για την εκτίμηση των μικρομετεωρολογικών συνθηκών, που διαμορφώνονται σε εντοπισμένες θέσεις, χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί ότι για τον προσδιορισμό της θερμικής κατάστασης πέριξ του φυλλώματος μιας καλλιέργειας μπορούν να εγκατασταθούν «αισθητήρες θερμοκρασίας» μέσα σ' αυτό, που στη συνέχεια να συνδεθούν με κεντρική μονάδα Η/Υ. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατόν να αποτυπωθούν μεταβολές της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τις καλλιεργητικές φροντίδες και τις φυσιολογικές διεργασίες κατά την ανάπτυξη των φυτών της καλλιέργειας. Για τον προσδιορισμό όμως των μικρομετεωρολογικών μεταβολών σε μεγαλύτερη έκταση από εκείνη που καταλαμβάνει μια συγκεκριμένη φυτεία, είναι απαραίτητη η χρήση σταθμών καταμετρήσεων σε πυκνό δίκτυο και εξοπλισμένων με ικανό αριθμό αισθητήρων. Αυτό συνεπάγεται υψηλό κόστος που καθιστά αδύνατες τέτοιου είδους εγκαταστάσεις. Για να μελετηθούν, λοιπόν, οι μικρομετεωρολογικές συνθήκες, που είναι συνάρτηση του ανάγλυφου και των χρήσεων γης σε μια συγκεκριμένη περιοχή, είναι απαραίτητη η χρήση των κινητών μονάδων μέτρησης (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος 1994, Χρονοπούλου-Σερέλη κ.ά. 1996, Χρονοπούλου-Σερέλη και Φλόκας 2010).

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, με τις κινητές μονάδες προσδιορίζονται χωρικά τόσο οι μικρομετεωρολογικές παράμετροι όσο και τα ρυπαντικά στοιχεία. Σε διαφορετικά ύψη από την επιφάνεια του εδάφους τοποθετούνται σε ειδικά διασκευασμένο όχημα αισθητήρες, κυρίως για την εκτίμηση της θερμοκρασίας και υγρα-

σίας του αέρα, της ακτινοβολίας ως και της διεύθυνσης και έντασης του ανέμου. Παράλληλα, το όχημα είναι εξοπλισμένο και με ειδικά όργανα για τον προσδιορισμό των συνηθέστερων ρύπων, όπως για παράδειγμα του μονοξειδίου του άνθρακα, του διοξειδίου του θείου, της αιωρούμενης σκόνης κ.ά. Με την κινητή μονάδα είναι δυνατή η ταυτόχρονη μέτρηση των μικρομετεωρολογικών παραμέτρων ως και των συνθηκών ρύπανσης σε πλήθος σημείων μιας συγκεκριμένης περιοχής, εφ' όσον αυτά έχουν ληφθεί με ορισμένη μεθοδολογία και έχει ακολουθηθεί ειδική επεξεργασία (Horbert 1978, Chronopoulou-Sereli et al. 1980).

Η χρήση της κινητής μονάδας για τον προσδιορισμό της χωρικής κατανομής μιας μετεωρολογικής παραμέτρου, όπως για παράδειγμα της θερμοκρασίας αέρα, βασίζεται κυρίως στη συνδυαστική αξιοποίηση των θερμομετρικών δεδομένων που λαμβάνονται απ' αυτή και από ένα μετεωρολογικό σταθμό. Η λήψη και επεξεργασία των δεδομένων γίνεται με την ακόλουθη διαδικασία (Chronopoulou-Sereli et al. 1983, Horbert et al. 1988, Χρονοπούλου-Σερέλη κ.ά. 2002, 2004, Χρονοπούλου-Σερέλη και Φλόκας 2010). Κατ' αρχάς ορίζονται τα σημεία μέτρησης της κινητής μονάδας. Για την πληρέστερη απεικόνιση της χωρικής κατανομής της παραμέτρου πρέπει να επιλεγούν σημεία μέτρησης απ' όλες τις μορφές εδαφοκάλυψης της μελετώμενης περιοχής, αφού ληφθούν υπόψη και οι ιδιαιτερότητες του αναγλύφου της. Εάν στην περιοχή αυτή υπάρχει σε λειτουργία μετεωρολογικός σταθμός, αξιοποιούνται τα δεδομένα των μετρούμενων παραμέτρων του, ενώ παράλληλα στα σημεία μέτρησης της κινητής μονάδας συμπεριλαμβάνεται και ένα σημείο που αντιπροσωπεύει τη θέση εγκατάστασής του. Μετά τον προσδιορισμό των σημείων μέτρησης καθορίζεται η συντομότερη διαδρομή που θα ακολουθήσει η κινητή μονάδα, αφού ληφθεί υπόψη το σημείο έναρξης, το οποίο θα βρίσκεται στο κέντρο περίπου της περιοχής και θα αποτελεί ενδιάμεσο σημείο μέτρησης (μία έως και δύο φορές) ως και σημείο τερματισμού των μετρήσεων. Δηλαδή, θα υπάρχει ένα σημείο που χαρακτηρίζεται ως σημείο αναφοράς, στο οποίο θα λαμβάνονται μετρήσεις τρεις έως τέσσερις φορές σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα σημεία, στα οποία θα λαμβάνονται μετρήσεις (μία ανά σημείο) σε μια άλλη διαφορετική χρονική στιγμή στο διάστημα κατά το οποίο διαρκεί η διαδρομή (πορεία) των μετρήσεων (Σχ. 1.1).

Τα δεδομένα αυτά των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων του ίδιου σημείου χρησιμοποιούνται μετά από κατάλληλη υπολογιστική διαδικασία για την αναγωγή των μετρήσεων όλων των σημείων σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Έτσι, οι μετρήσεις θα είναι συγκρίσιμες και τα συμπεράσματα που θα προκύψουν για τη συμπεριφορά της εκτιμώμενης παραμέτρου στο χώρο αξιόπιστα.



**Σχήμα 1.1.** Ενδεικτική διαδρομή κινητής μονάδας με τα σημεία μέτρησης. Το σημείο αναφοράς 1 ταυτίζεται με τα σημεία 29, 48 και 64.

Μετά την ολοκλήρωση ενός ικανοποιητικού αριθμού<sup>1</sup> διαδρομών μέτρησης, οι οποίες έγιναν σε συγκεκριμένες συνθήκες καιρού (π.χ. νηνεμία και ανέφελος ουρανός) και με την ίδια περίπου χρονική στιγμή έναρξης των μετρήσεων, γίνεται αναγωγή των δεδομένων εκάστου σημείου μέτρησης, όπως προαναφέρθηκε, στην ίδια χρονική στιγμή. Στη συνέχεια, από το σύνολο των διαδρομών εξάγεται ο μέσος όρος των τιμών της παραμέτρου για κάθε σημείο μέτρησης και με την εφαρμογή της τεχνικής *kriging* προσδιορίζεται η κατανομή της παραμέτρου στο χώρο<sup>2</sup>.

Η ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα παρουσιάζει μια μέγιστη και μια ελάχιστη τιμή. Η μέγιστη, υπό κανονικές συνθήκες, διαμορφώνεται μία έως δύο ώρες μετά τη μεσουράνηση του ήλιου και η ελάχιστη ημερήσια τιμή της κατά την ανατολή του ή λίγο αργότερα. Η διαφορά των δύο αυτών θερμοκρασιών

1. Έχει διαπιστωθεί ότι ένας αριθμός 30 περίπου διαδρομών μέτρησης δίνει μια πολύ καλή προσέγγιση των πραγματικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή, σε δεδομένη καιρική κατάσταση.

2. Περισσότερες πληροφορίες μπορούν να αναζητηθούν στο κεφάλαιο 8.2 του βιβλίου «Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας» των Α. Χρονοπούλου-Σερέλη και Α. Φλόκα, Εκδόσεις Ζήτη, 2010.

(μέγιστης και ελάχιστης) ονομάζεται ημερήσιο θερμομετρικό εύρος (ΗΘΕ).

Εκτός από την ημερήσια, παρουσιάζεται και μια ετήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα, η οποία είναι συνάρτηση τόσο της απόκλισης του ήλιου όσο και του γεωγραφικού πλάτους του τόπου. Έτσι, για περιοχές του βορείου ημισφαιρίου, η μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται κατά τους θερινούς μήνες και ιδιαίτερα κατά τον Ιούλιο ή Αύγουστο, ενώ η ελάχιστη κατά τους χειμερινούς και πιο συγκεκριμένα τον Ιανουάριο ή Φεβρουάριο. Το αντίθετο συμβαίνει σε περιοχές του νοτίου ημισφαιρίου της γης. Τα ετήσια μέγιστα και ελάχιστα, που παρατηρούνται σ' ένα τόπο, συμβαίνουν ένα έως δύο μήνες μετά το θερινό (21 Ιουνίου) και χειμερινό (21 Δεκεμβρίου) ηλιοστάσιο αντίστοιχα. Η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας του θερμότερου και ψυχρότερου μήνα ονομάζεται ετήσιο θερμομετρικό εύρος (ΕΘΕ) και όπως είναι φυσικό αυξάνεται με το γεωγραφικό πλάτος.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η απολύτως μέγιστη ( $T_{\max}$ ) και απολύτως ελάχιστη ( $T_{\min}$ ) θερμοκρασία αέρα, που παρατηρείται σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, η οποία μπορεί να αναφέρεται σε επίπεδο 24ώρου, μηνός, έτους ή ακόμη μιας οποιασδήποτε άλλης χρονοσειράς.

### 1.1.1. Εφαρμογή – Άσκηση: Εκτίμηση χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας του αέρα με τη χρήση κινητής μονάδας μετρήσεων

Δίνεται χάρτης μιας περιοχής στον οποίο εμφανίζεται το ανάγλυφο και οι διαφορετικές μορφές εδαφοκάλυψής της. Με τη χρήση της κινητής μονάδας μετρήσεων να εκτιμηθεί η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα και να ερμηνευτούν τα αποτελέσματα ως συνάρτηση του αναγλύφου και των μορφών εδαφοκάλυψης της ερευνόμενης περιοχής.

Τα βήματα εκτέλεσης της άσκησης είναι τα ακόλουθα:

- A.** Επιλέγονται οι ώρες του εικοσιτετραώρου και η εποχή διεξαγωγής των μετρήσεων, οι οποίες είναι συνάρτηση του σκοπού της μελέτης. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι οι μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα για τον προσδιορισμό του παγετού ακτινοβολίας γίνονται τις πρωινές ώρες (04.00 έως 07.00), για την εκτίμηση της θερμικής ρύπανσης μιας αστικής περιοχής τις μεταμεσημβρινές (14.00 έως 17.00) και τις βραδινές ώρες (21.00 έως 24.00) και για την εκτίμηση του μετεωρολογικού κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς μιας δασικής περιοχής κατά το χρονικό διάστημα από 11.00 έως 17.00.
- B.** Προσδιορίζεται η κρίσιμη εποχή για τη διενέργεια των μετρήσεων που είναι συνάρτηση του ερευνώμενου σκοπού. Δηλαδή, η κρίσιμη εποχή για τον παγετό ακτινοβολίας είναι κυρίως η άνοιξη, για τη θερμική ρύπανση των αστικών περιοχών και τις πυρκαγιές των δασικών εκτάσεων το θέρος κ.λπ.

- Γ.** Επισημαίνονται οι μετεωρολογικές συνθήκες κατά τις οποίες κρίνεται σκόπιμο να γίνονται οι μετρήσεις. Δηλαδή, για τον παγετό ακτινοβολίας και τη θερμική ρύπανση των πόλεων πρέπει να επικρατεί νηνεμία (μειωμένη ανταλλαγή αερίων μαζών) και ανέφελος ουρανός. Οι συνθήκες αυτές είναι γενικά οι καλύτερες για την πλειονότητα των μετρήσεων. Επίσης, επισημαίνεται ότι δε θα πρέπει να έχει σημειωθεί βροχόπτωση το προηγούμενο 24ωρο.
- Δ.** Ερευνάται η δυνατότητα πρόσβασης στους χώρους και επιλέγεται το κατάλληλο μέσο για τη διεξαγωγή των μετρήσεων (πορείες με αυτοκίνητο, πεζοπορίες κ.λπ.). Επισημαίνονται οι διαφορετικές μορφές εδαφοκάλυψης της περιοχής μελέτης.
- Ε.** Επιλέγονται οι θέσεις όπου θα γίνουν μετρήσεις βάσει των εξής προϋποθέσεων:
- ◆ Να περιληφθούν όλες οι κατηγορίες εδαφοκάλυψης με τουλάχιστον 3 μετρήσεις ανά κατηγορία.
  - ◆ Να επιλεγεί ως θέση αναφοράς ένα αντιπροσωπευτικό σημείο που δεν υπόκειται στις επιδράσεις μεταβλητών συνθηκών (παροδική σκίαση, ανεμόπληκτο σημείο κ.λπ.). Το σημείο αυτό, εάν δεν αντιστοιχεί σε μετεωρολογικό σταθμό, θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό όσον αφορά τη χρονική μεταβολή της παραμέτρου και να είναι κατά το δυνατόν στο γεωμετρικό κέντρο της περιοχής μελέτης.
  - ◆ Τα σημεία μέτρησης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα κατανεμημένα σε όλη την ερευνώμενη περιοχή.
- ΣΤ.** Στο χάρτη των μορφών εδαφοκάλυψης σημειώνονται οι θέσεις των σημείων μέτρησης, η σειρά βάσει της οποίας γίνεται η όδευση με αριθμούς και βέλη και αιτιολογείται ο τρόπος σχεδιασμού της. Επισημαίνεται ότι ο χρόνος που θα διαρκέσει μια ολοκληρωμένη πορεία δε θα πρέπει να υπερβαίνει σημαντικά τις τρεις (3) ώρες.
- Ζ.** Η όδευση (πορεία μετρήσεων) που θα ακολουθηθεί, ξεκινά από το σημείο αναφοράς, επιστρέφει σε αυτό και ολοκληρώνεται στο ίδιο σημείο διαγράφοντας δύο (2) κυκλικές διαδρομές σε σχήμα οκτώ (8) με ένα κοινό σημείο. Συμπληρωματικά, αναφέρεται ότι, για να καλυφθούν πληρέστερα οι διαφορετικές μορφές εδαφοκάλυψης, θα μπορούσαν να γίνουν τρεις (3) κυκλικές διαδρομές σε σχήμα τριφυλλιού με ένα κοινό σημείο, το σημείο αναφοράς (όπως στο Σχ. 1.1).
- Η.** Καταγράφεται ο αριθμός κάθε σημείου με τις αντίστοιχες τιμές της μετρούμενης μετεωρολογικής παραμέτρου ως και ο χρόνος λήψης της.



- Θ. Γίνεται αναγωγή των δεδομένων στην ίδια χρονική στιγμή και υπολογίζεται η μέση τιμή της παραμέτρου για το κάθε σημείο μέτρησης.
- Ι. Εφαρμόζεται ο αλγόριθμος χωρικής παρεμβολής *kriging* και δημιουργείται χάρτης χωρικής κατανομής της παραμέτρου. Σχολιάζονται τα αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη το υψόμετρο και τη μορφή της εδαφοκάλυψης.
- Κ. Ομαδοποιούνται τα σημεία μέτρησης που έχουν το ίδιο ανάγλυφο και την ίδια μορφή εδαφοκάλυψης. Υπολογίζονται οι μέσες τιμές της παραμέτρου για την κάθε κατηγορία, επισημαίνονται οι υφιστάμενες διαφορές και ερμηνεύονται τα αίτια διαφοροποίησής τους.

## 1.2. Προσδιορισμός δυναμικής εξατμισοδιαπνοής

### 1.2.1. Γενικά

Ως εξατμισοδιαπνοή ορίζεται η ποσότητα του νερού που καταναλώνεται α) στη διαπνοή των φυτών, δηλαδή στην εξάτμιση που πραγματοποιείται από το εσωτερικό των φυτών διαμέσου των στοματίων των φύλλων και της υπόλοιπης επιφάνειας του φυτού και β) στην εξάτμιση των υγρών μερών του φυτού και του εδάφους κατά τη διάρκεια ορισμένης χρονικής περιόδου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, υποθέτουν ότι υπάρχει συνεχώς επάρκεια νερού, το οποίο είναι διαθέσιμο για κατανάλωση με την εξατμισοδιαπνοή, η οποία στις περιπτώσεις αυτές ονομάζεται δυνατή ή δυναμική (ή μέγιστη) εξατμισοδιαπνοή. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η δυναμική διαφέρει από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, επειδή η τελευταία εξαρτάται και από τη διαθεσιμότητα του νερού ως και από διάφορους εδαφολογικούς και καλλιεργητικούς παράγοντες. Επίσης, συχνά η δυναμική εξατμισοδιαπνοή αναφέρεται σε συγκεκριμένη καλλιέργεια (καλλιέργεια αναφοράς) που συνήθως (αλλά όχι πάντα) είναι το γρασίδι.

Συγκεκριμένα, ως δυναμική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς,  $ET_r$  ορίζεται η εξατμισοδιαπνοή από μια επιφάνεια πλήρως καλυμμένη με γρασίδι ομοιόμορφου ύψους 8-15 cm, απαλλαγμένου από ασθένειες και με επαρκές διαθέσιμο νερό για την ανάπτυξή του.

Με βάση τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς μπορεί να εκτιμηθεί η δυναμική εξατμισοδιαπνοή οποιασδήποτε καλλιέργειας, μέσω διορθωτικών συντελεστών που εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας, το στάδιο ανάπτυξής της και από τις ανεμολογικές και υδρομετρικές συνθήκες της ατμόσφαιρας. Για τους λόγους αυτούς, η εκτίμηση της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής αναφοράς αποκτά ιδιαίτερη σημασία.

**7.1. Γενικά**

Όπως είναι γνωστό, «ατμόσφαιρα» είναι το αεριώδες στρώμα που περιβάλλει τη γη και ακολουθεί τις κινήσεις της (Χρονοπούλου-Σερέλη και Φλόκας 2010). Αποτελεί μια «αποθήκη» αερίων από την οποία εξαρτάται η ζωή των φυτικών και ζωικών οργανισμών. Περιέχει κυρίως διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και άζωτο που είναι χρήσιμα για την ανάπτυξη των φυτών, ως και οξυγόνο που είναι απαραίτητο για την αναπνευστική λειτουργία των έμβιων όντων. Επίσης, παρέχει μόνωση στον πλανήτη μας από τις ακραίες θερμοκρασίες και φιλτράρει την επιβλαβή, για τις διάφορες μορφές ζωής, ακτινοβολία. Γι' αυτόν το λόγο οποιαδήποτε αλλαγή στη σύνθεσή της δημιουργεί προβληματισμό και ανησυχία.

Η άνιση κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης, που οφείλεται κυρίως στη διαφορετική κατανομή ξηράς και θάλασσας, έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση αερίων μαζών σε διάφορες περιοχές της, οδηγώντας στη δημιουργία ενός πολυσύνθετου συστήματος πλανητικών ανέμων (Σαχσαμάνογλου και Μακρογιάννης 1998). Η ανταλλαγή των παρεδάφιων αερίων μαζών και των ανώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας μπορεί να γίνει μέσα σε λίγες ώρες, ενώ αέριες μάζες μπορούν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις εκατοντάδων χιλιομέτρων σε διάστημα μερικών ημερών. Για παράδειγμα,  $\text{CO}_2$  που απελευθερώθηκε στην ατμόσφαιρα από πυρκαγιές στην Ασία εντοπίστηκε σε αγρούς του Ontario του Καναδά (Janzen et al. 1998). Επίσης, από δορυφορικές εικόνες που ελήφθησαν μετά τις καταστροφικές πυρκαγιές του Πεντελικού όρους στις 21/7/1995, διαπιστώθηκε πως η αιθάλη που προήλθε από τα δασικά καύσιμα μεταφέρθηκε, με τη βοήθεια των αερίων ρευμάτων βορειονατολικής κατεύθυνσης (Ετησίες), μέχρι τις ακτές της Λιβύης.

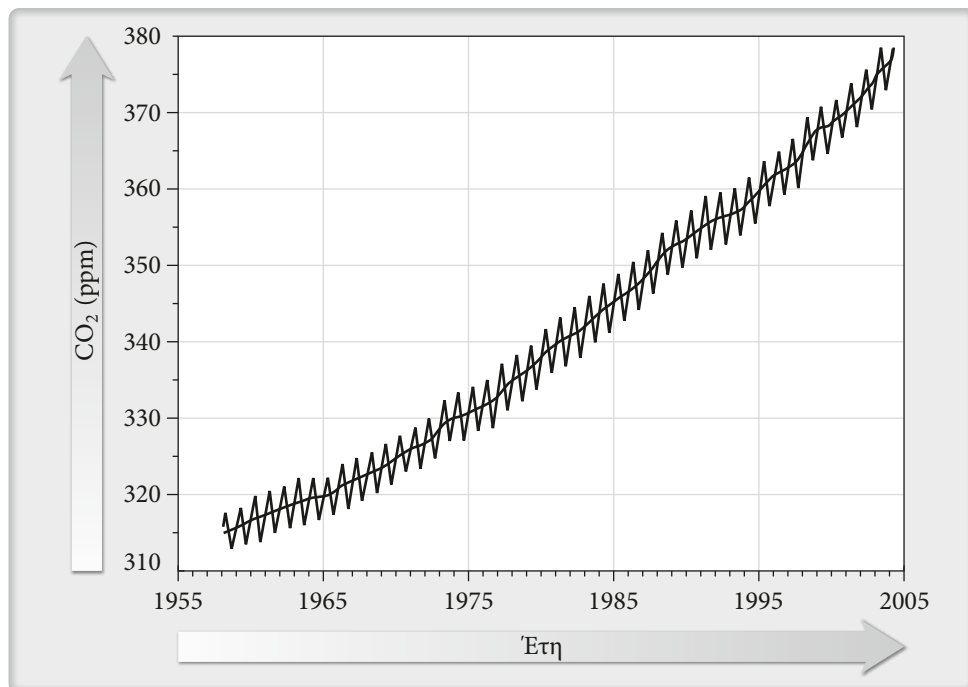
Ο ατμοσφαιρικός αέρας ανέκαθεν εμπλουτιζόταν μέσω ανταλλαγών αερίων και σωματιδίων από το έδαφος, τη θάλασσα και τους ζώντες οργανισμούς. Ο ρυθμός εισόδου των αερίων στην ατμόσφαιρα συνήθως βρισκόταν σε ισορροπία με το ρυθμό εξόδου τους, έτσι ώστε η σύνθεσή της για αιώνες να παραμένει σταθερή. Ωστόσο, ιδιαίτερα μετά τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η ισορροπία αυτή έχει διαταραχθεί, λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, με αποτέλεσμα τη μεταβολή στη σύνθεση της ατμόσφαιρας. Πιο συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια διαπιστώθηκε αύξηση στις συγκεντρώσεις των «αερίων του θερμοκηπίου», όπως του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου, των οξειδίων του αζώτου και των χλωροφθορανθράκων. Έτσι, συσσώρευση αυτών των αερίων στην ατμόσφαιρα θα μπορούσε να συμβάλλει, με την πάροδο του χρόνου, στην αύξηση της θερμοκρασίας της γης (Janzen et al. 1998).

## **7.2. Φαινόμενο θερμοκηπίου και συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα**

Η ηλιακή ακτινοβολία, όπως είναι γνωστό, διαμορφώνει σε μεγάλο βαθμό τον καιρό και το κλίμα της γης, προκαλώντας θέρμανση της επιφάνειάς της, η οποία με τη σειρά της εκπέμπει θερμική ενέργεια προς το διάστημα. Τα ατμοσφαιρικά αέρια του θερμοκηπίου παγιδεύουν ένα ποσό της αποδιδόμενης από το έδαφος ενέργειας, δηλαδή δεσμεύουν θερμότητα με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν οι υαλοπίνακες ενός θερμοκηπίου. Χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου οι τιμές της θερμοκρασίας του αέρα θα ήταν πολύ χαμηλότερες, καθιστώντας αδύνατη την ύπαρξη κάθε μορφής ζωής στον πλανήτη. Προβλήματα ωστόσο προκύπτουν από την υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Δηλαδή, από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> αυξήθηκαν περίπου κατά 30%, του μεθανίου (CH<sub>4</sub>) υπερδιπλασιάστηκαν, ενώ των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) αυξήθηκαν κατά 15%, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της ικανότητας της ατμόσφαιρας της γης να παγιδεύει τη θερμότητα (EPA 2000).

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα παρουσίασε παγκοσμίως αυξητική τάση, κυρίως μετά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα. Ειδικότερα, από το τέλος του έτους 1800 μέχρι το έτος 1958 αυξήθηκε από 280 σε 315 ppm. Σύμφωνα με τους Schnell και Hansen (2004), κατά το χρονικό διάστημα 1958-1968, ο ρυθμός αύξησης ήταν 0,8 ppm ανά έτος, ενώ για τη δεκαετία 1993-2003, έφτασε τα 1,8 ppm ανά έτος. Γενικά, από το 1958 μέχρι το 2003 το CO<sub>2</sub> αυξήθηκε από 315 σε 375 ppm (Σχ. 7.1). Κατά το έτος 2010 η παγκόσμια συγκέντρω-

ση του  $\text{CO}_2$  αυξήθηκε κατά  $2,60 \pm 0,07$  ppm σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Αξιοσημείωτη επίσης είναι η αύξησή του το 2010 συγκρινόμενη με τη μέση ετήσια τιμή της τριακονταετίας 1980-2010 που εκτιμήθηκε στο  $1,70 \pm 0,60$  ppm (Dlugokencky 2011, τροποποιημένο).

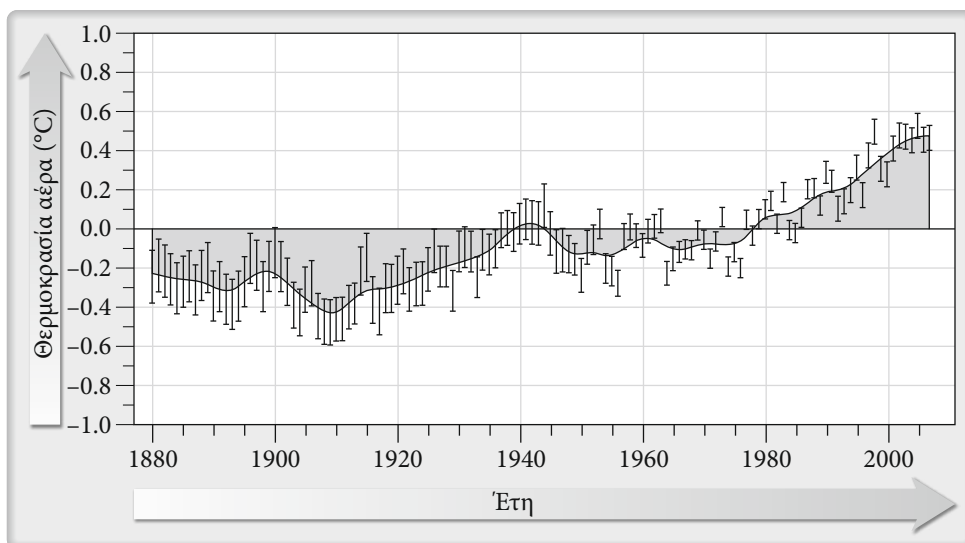


**Σχήμα 7.1.** Μέσες τιμές, σε παγκόσμιο επίπεδο, της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού  $\text{CO}_2$  για την περίοδο 1958-2003 (Schnell and Hansen 2004).

Η αυξητική τάση του  $\text{CO}_2$  στην ατμόσφαιρα αποδίδεται κυρίως στην καύση των υδρογονανθράκων, μέσω της κεντρικής θέρμανσης των κτηρίων και της βιομηχανικής δραστηριότητας. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι περίπου το 80% της συνολικής αύξησης του  $\text{CO}_2$ , το 25% του  $\text{CH}_4$  και το 20% των  $\text{NO}_x$  αποδίδονται στα συστήματα κεντρικής θέρμανσης, στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και στη μετακίνηση του πληθυσμού με μηχανικά μέσα. Το υπόλοιπο ποσοστό προέρχεται από τις αυξημένες γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, την αποψίλωση των δασών κ.λπ. Αν δεν ληφθούν μέτρα μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, εκτιμάται ότι μέχρι το 2100 η αύξηση του  $\text{CO}_2$  θα είναι κατά 30 έως 150% υψηλότερη σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα (EPA 2000).

### 7.3. Αύξηση της θερμοκρασίας σε παγκόσμιο επίπεδο

Η μέση τιμή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης έχει αυξηθεί από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα κατά 0,6 °C (EPA 2000, Menne 2004). Από το 1976 η μέση αύξηση έφτασε τους 0,18 °C ανά δεκαετία. Τα δέκα πιο θερμά έτη παρατηρήθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες, με τη μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας να εντοπίζεται στα έτη 1998 και 2003. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η μέση τιμή της θερμοκρασίας για το 2003 ήταν κατά 0,46 °C μεγαλύτερη από τη μέση θερμοκρασία της περιόδου 1961-1990 (Menne 2004).



**Σχήμα 7.2.** Αποκλίσεις, σε παγκόσμιο επίπεδο, της θερμοκρασίας αέρα από τις κανονικές τιμές (περίοδος βάσης 1900-2000) για την περίοδο 1880-2007. Οι μπάρες υποδηλώνουν το τυπικό σφάλμα (NOAA/NCDC στο Menne 2008).

Κατά τη θερινή περίοδο του έτους αυτού (2003) σημειώθηκαν στην Ευρώπη πολύ υψηλές τιμές θερμοκρασίας αέρα, με αποτέλεσμα το θάνατο από υπερθερμία, μεγάλου αριθμού ανθρώπων σε χώρες της ευρωπαϊκής ηπείρου (π.χ. στη Γαλλία σημειώθηκαν 11.000 θάνατοι). Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικράτησαν την εποχή αυτή, αποδίδονται στην παραμονή πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές της Ευρώπης ενός βαρομετρικού υψηλού. Στη Γερμανία, η θερινή περίοδος του έτους αυτού ήταν η θερμότερη που είχε παρατηρηθεί από το έτος 1901, δηλαδή παρουσίασε αύξηση κατά 3,4 °C πάνω από τις κανονικές τιμές της περιόδου 1961-1990 (Alexander and Parker 2004). Γενικά, οι θερμοκρασίες κατά το

θέρος του 2003 παρουσίασαν αύξηση, η οποία κυμάνθηκε από 7,5 έως 12,5 °C πάνω από τις κανονικές τιμές (μέσες τιμές περιόδου 1971-2000).

Αν και έχει παρατηρηθεί αύξηση της μέσης θερμοκρασίας παγκοσμίως, οι ακραίες τιμές της δεν αυξάνονται ομοιόμορφα. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές της ελάχιστης αυξάνονται με διπλάσιο ρυθμό, σε σύγκριση με αυτές της μέγιστης θερμοκρασίας. Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα την τήξη των πάγων στις πολικές περιοχές (Αρκτική και Ανταρκτική). Από σχετικές επιστημονικές έρευνες διαπιστώθηκε ότι η καλυμμένη με πάγο επιφάνεια του Β. Ημισφαιρίου και ο επιπλέον πάγος στον Αρκτικό Ωκεανό μειώθηκαν σταδιακά κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα<sup>20</sup>, γεγονός το οποίο είχε ως συνέπεια την αύξηση της στάθμης της θάλασσας παγκοσμίως κατά 10-25 cm συγκριτικά με τον 19<sup>ο</sup> αιώνα.

Η αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου αναμένεται, σύμφωνα με αποτελέσματα που προκύπτουν από τέσσερα σενάρια διαμόρφωσης του παγκόσμιου κλίματος, να επιταχύνει περαιτέρω την επερχόμενη κλιματική αλλαγή. Από ερευνητικά αποτελέσματα προκύπτει ότι η μέση θερμοκρασία θα αυξηθεί παγκοσμίως μέχρι το 2100 από 0,9 έως 3,5 °C, με σημαντικές μεταβολές σε διάφορες περιοχές του πλανήτη (EPA 2000). Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας του αέρα σύμφωνα με τους Solomon κ.ά. (2007) θα κυμανθεί μεταξύ 1,1 έως 6,4 °C (βλ. Κεφ. 9, ενότητα 9.1). Η διαφοροποίηση αυτή των θερμομετρικών συνθηκών αναμένεται να προκαλέσει αύξηση της συχνότητας των καταιγίδων, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικών επεισοδίων, ως και πιο συχνά επεισόδια υψηλών θερμοκρασιών (καύσωνες) με παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας (EPA 2000). Η πιθανότητα εμφάνισης των αντίξοων καιρικών φαινομένων, λόγω της ενδεχόμενης κλιματικής αλλαγής, παρουσιάζει διαβαθμίσεις και σε ορισμένες περιπτώσεις αμφισβητήσεις, όπως χαρακτηριστικά και συνοπτικά εμφανίζεται στον πίνακα 7.1.

Αλλαγές κλίματος σε μεγάλη κλίμακα μπορούν να παρατηρηθούν και από τις αλλαγές χρήσης γης που έχουν συντελεστεί τα τελευταία χρόνια σ' ορισμένες περιοχές της γης. Πιο συγκεκριμένα, για τις τροπικές περιοχές, όπου έχουν συμβεί μεγάλες μεταβολές της συνολικής φυτικής βιομάζας, έχουν παρατηρηθεί σημαντικές υδρολογικές και θερμοκρασιακές αλλαγές (Chase et al. 2000).

---

20. Οι μεγαλύτερες μειώσεις εντοπίστηκαν μετά το έτος 1985 (Waple et al. 2004).



**Αερισμός, 96**

αεροδυναμική τραχύτητα, 15

αιωρούμενα σωματίδια, 127-128, 130, 134-136, 139, 141, 143

ακτινοβολία, 4, 6-7, 12-13, 18, 20, 65, 86, 88, 90-91, 95-96, 106, 125, 127, 130, 156

θερμική, 86

ανάγλυφο, 1, 3, 6, 8, 65-66, 77, 83, 115, 124, 137-138

ανάκλαση, 13

ανακλαστική ικανότητα, 13

albedo, 13

άνεμος, 4, 12, 15-18, 24-25, 60, 65, 77, 85-86, 95, 99, 112-115, 122, 126, 143

ανεμοταχύτητα, 9, 11, 15

διεύθυνση, 86, 113, 143

ένταση, 4, 86, 96, 113, 122

ταχύτητα, 12, 15-16, 18, 85, 86, 113, 115

αποδόμηση, 91, 127-129, 143, 155-156

μικροβιακή, 127-128

απορρύπανση, 152-156, 176

εδαφών, 153, 156

ραδιενεργών, 154

υδάτινων επιφανειών, 24, 75, 156

ατμόσφαιρα, 8, 13-16, 20, 32, 43, 58, 62, 65, 70, 86-87, 99-101, 107, 126-128, 130-132, 134-136, 140-141, 143, 149

**Βαρέα μέταλλα, 130, 132-134, 139-141, 147-154, 157, 176**

βαρομετρική πίεση, 13

βιοδείκτες, 133, 151

βιοκλιματική, 42, 44, 46, 48, 55, 93

κατάσταση, 48, 55

κατάταξη, 44, 46, 48

βιοκλιματικοί όροφοι, 42

βιομάζα, 103, 131, 153, 155-157

βιοσυσσώρευση, 151

βλάστηση, 26, 42, 51, 56-63, 76, 85, 87, 91, 95, 113, 115, 118, 129, 141, 143, 152

βλαστικό στάδιο, 76-77

βροχόπτωση, 7, 24-26, 32-33, 36, 42, 58, 60-63, 65, 77, 86, 105, 112-114, 128

**Γενετική τροποποίηση, 156**

γεωγραφικό πλάτος, 6, 13-14, 16, 24, 39, 40, 50, 62, 66, 69

**Δασική, 6, 85, 86-87, 107, 114-115, 117-118, 121-122, 124**

βλάστηση, 85

έκταση, 6, 86-87

πυρκαγιά, 115-118, 124

δείκτες, 32-34, 36-37, 39-42, 44-45, 48, 50, 111-117, 152

αθροιστικοί, 44, 112-113, 115

αισθητής θερμοκρασίας, 43-44

άμεσοι, 50

βιοκλιματικοί, 39, 44, 48, 50

βιομετεωρολογικοί, 50

εμπειρικοί, 39, 42, 50

ετήσιοι, 31, 33, 34, 41, 48, 49, 70

ευφλεκτικότητας, 111

ηπειρωτικότητας-ωκεανικότητας, 39-40

θερινής συγκέντρωσης, 36-37

θερμικής αίσθησης, 50-51, 96

θερμικής αποτελεσματικότητας, 32, 34-35, 37

κινδύνου, 115

έναρξης πυρκαγιάς, 6, 111, 114, 116-122

Angström, 112

Drouet and Sol Numerical Risk, 113

FFDI, 114

IREPI, 114

Nesterov, 112, 115, 124

λογικοί, 50

ξηρότητας, 34  
 συνδυαστικός, 41  
 υγρασίας, 33-34, 36  
 δενδροκαλυμμένη έκταση, 85-86  
 διάβρωση, 87, 105, 140  
 διατροφική πρόσληψη, 146  
   εβδομαδιαία, 146-147  
   μηνιαία, 146  
 διάχυση, 9  
 διοξίνες, 130, 132  
 διοφαινύλια, 132

**Ε**δαφοκάλυψη, 4, 6-8, 95, 119  
 εκτίμηση κινδύνου πυρκαγιάς, 112-113  
   μέθοδος, 114  
   ICONA, 113  
   δορυφορικών δεδομένων, 120-121  
   Πορτογαλική, 115  
   συνδυαστική, 118-119  
   σύστημα, 114  
   CFFWIS, 115  
   EFFIS, 117  
   NFDERS, 114-115  
 έλλειμμα κορεσμού, 15  
 εναπόθεση, 127, 140-143  
   ξηρή, 45, 59, 71, 141-143  
   υγρή, 127, 142-143  
 ενεργειακό ισοζύγιο, 9, 50  
 ένταση φωτισμού, 96  
 εξάτμιση, 8,-11, 13-16, 18, 20, 32, 58, 86, 88  
 εξατμισοδιαπνοή, 8, 9, 11-12, 15-16, 18, 25, 32,  
   33-34, 36-37, 49, 86, 95, 106, 114  
   δυναμική, 8, 11, 15-16, 18, 32, 34, 36-37,  
   114  
   μέση ημερήσια, 9  
   πραγματική, 8  
 ετήσιο έλλειμμα νερού, 34  
 ετήσιο θερμομετρικό εύρος, 6, 39, 61-63

**Η**λιακή ακτινοβολία, 13-14, 16-17, 60, 64, 91,  
 100, 138  
   καθαρή, 13, 17  
   μεγάλου μήκους, 14, 16-17  
   μικρού μήκους, 13, 17  
 ηλιοφάνεια, 13-14, 16, 19, 61-62, 70, 75-76, 79,  
 106, 112  
   διάρκεια, 14, 16

  μέγιστη, 16, 19  
   σχετική, 14  
 ημερήσιο θερμομετρικό εύρος, 6, 59, 62

**Θ**ερμική, 39, 50-51, 87, 92-93  
   αίσθηση, 39, 50-51, 96  
   άνεση, 92-93  
   επιβάρυνση, 87  
   ισορροπία, 92  
   καταπόνηση, 50  
 θερμοβαθμίδα, 64  
 θερμοκρασία, 2, 3, 6, 12-17, 31, 40-44, 49, 51,  
   56, 58-59, 64, 66-67, 82-83, 86-88, 96,  
   102-103, 107-108, 112-113, 115, 121,  
   127  
   αέρα, 1-6, 12-16, 19, 26, 40-41, 44, 49, 51,  
   55-56, 58-59, 64, 67, 81-82, 86-89, 93,  
   96-97, 100, 102-103, 108, 112-113, 115-  
   116, 120, 122, 127, 138  
   εδάφους, 113  
   ελάχιστη, 3, 40, 42-43, 49, 66-67, 86-87,  
   107  
   μέγιστη, 6, 40, 42, 49, 67, 82, 87, 103, 121  
   μέση, 2, 6, 14-17, 31, 41, 82-83, 96, 102-103,  
   108, 127  
   ξηρού θερμομέτρου, 43  
   σώματος, 44  
 θερμομετρικό εύρος, 6, 39, 59, 61-63  
 θερμορρύθμιση, 92  
 θερμότητα, 9, 13, 24, 32, 88, 92-94, 100  
 θερμοϋετόγραμμα, 55, 70

**Ι**σοζύγιο υδατικό, 25  
 ισοζύγιο υδρολογικό, 9  
 ισοφανή διαγράμματα, 79

**Κ**αλλιέργεια αναφοράς, 8-9, 11-13, 16  
 κατακρημνίσματα, 31, 49, 55-56, 58-59, 65, 67,  
   70-71, 86, 126-127, 141, 143  
 κινητή μονάδα μέτρησης, 4, 119  
   σημεία μέτρησης, 4-5, 7-8  
 κλίμα, 23-36, 40-42, 48-49, 56, 58-67, 71, 73, 75,  
   100, 103, 106-107  
   δάσος κωνοφόρων, 62  
   ερημικό, 46, 48, 60  
   ηπειρωτικό υγρό, 62  
   μεσογειακό, 31-32, 50, 61, 65, 71

ορεινό, 32  
πολικό, 32  
Ταϊγκα ή δάσους κωνοφόρων, 62-63  
Τούντρα, 35, 62-64  
τροπικό σαβάνας, 32, 59-60  
υγρών τροπικών δασών, 58-59  
υποτροπικό, 61  
ξηρού θέρους ή μεσογειακό, 61  
υγρό, 27-29, 34-35, 62  
κλιματικά, 9, 31-32, 36, 55, 67, 70  
διαγράμματα, 55-57  
κλιματική, 25-26, 32, 43, 48-49, 76, 103, 108,  
126-129  
αλλαγή, 76, 103, 108, 126-129  
ζώνη, 25  
κατάταξη, 25, 32  
de Martonne, 40-41, 52  
Emberger, 42-43  
Gaussen, 44  
Johansson, 39-40, 52  
Köppen, 25-27, 30-32, 37-38  
Pinna, 41  
Thorntwaite, 32-37  
UNESCO-FAO, 46  
Παπαδάκη, 48-50  
μεταβολή, 104  
παράμετρος, 1, 25-26, 129  
ταξινόμηση, 23, 26, 31-32, 50  
κλιματικός, 26, 32-34, 36-37, 49-50  
δείκτης, 32  
τύπος, 32, 35-37, 64  
κωνοφόρα, 62-63, 66, 115

**Λύματα**, 126, 141, 146  
αστικά, 126, 141, 146  
βιομηχανικά, 146

**Μακρόκλιμα**, 24  
μεσογονάτιο διάστημα, 78  
μεσόκλιμα, 24  
μεταλλόφυτα ή βαρεομεταλλικά φυτά, 152  
μετεωρολογικός σταθμός, 1, 3-4, 71, 77, 119-  
120  
κλωβός, 1, 87  
μικρόκλιμα, 25, 85, 87, 91-92, 94, 98  
κλειστοί χώροι, 91, 95  
υπαίθριοι χώροι, 39, 48, 50, 53, 85, 91, 98

μικρομετεωρολογικές, 3, 9  
μέθοδοι, 9  
μεταβολές, 3  
παράμετροι, 1, 3-4, 120-121  
παρατηρήσεις, 119  
συνθήκες, 3, 119

**Νεφοκάλυψη**, 88, 113

**Ξηρασία**, 42, 44, 56, 60, 62, 66, 103, 107, 113-  
114, 127

ξηρές ημέρες, 44-45  
ξηρή περίοδος, 28-29, 45, 47, 62, 71  
ξηρόφυτα, 56, 60

**Όζον**, 76, 127-128, 130, 138  
οικότυπος, 152  
ομβρομετρικός χάρτης, 69  
ομβροθερμικό πηλίκιο, 42, 43  
οξέα, 131, 136  
θεικό, 131, 136  
νιτρικό, 131  
οξειδία, 126, 128, 130  
αζώτου, 126, 128, 130  
θείου, 130  
όξινη βροχή, 131, 136, 141  
όργανα μέτρησης, 9

**Παγετός**, 62-63, 77, 107, 127  
προσανατολισμός, 60, 95  
πυρκαγιά, 6, 111-122, 124  
μετεωρολογικός κίνδυνος, 6, 118-121, 124  
κλάση, 114

**Ριζικό σύστημα**, 33, 60-61, 156  
ρύπανση, 4, 6-7, 21, 93, 125-126, 129, 133, 135-  
142, 144, 146-148, 150-152, 157, 176  
ατμοσφαιρική, 133, 136-137  
εδάφους, 139, 141, 144, 148, 150  
υδάτινων επιφανειών, 142  
φωτοχημική, 138  
ρύποι, 4, 125, 127-144, 151-152, 154-157, 176  
ατμοσφαιρικοί, 127, 129-130, 133-139  
βιολογικοί, 129, 135  
δευτερογενείς, 130  
οργανικοί, 127-128, 132, 142, 154-155, 176  
πρωτογενείς, 130, 140

φωτοχημικοί, 138  
χημικοί, 129

**Σ**ημείο δρόσου, 14, 113  
σκίαση, 1, 7, 86, 88, 95

**Τ**άση ατμών, 17, 88-89, 149  
τοξικά μέταλλα, 148, 150-151  
τοξικότητα, 132, 135, 141-144, 147, 149, 151  
τροφική αλυσίδα, 132-133, 146, 148, 150-151, 156, 176

**Υ**γρασία, 3, 11-14, 16-18, 33-34, 36, 43-45, 49, 51, 55-56, 58, 60, 62, 67, 76, 79, 86-88, 92-97, 106, 111-116, 120-122, 127-128, 130  
σχετική, 11-14, 16-18, 43-45, 51, 55, 62, 67, 86-88, 92-94, 96-97, 112-116, 120-122  
υγρόφυντα, 56  
υδατικό ισοζύγιο, 25  
υδρογονάνθρακες, 101, 130-132, 135, 138, 140, 142, 154  
πολυκυκλικοί αρωματικοί, 135, 138, 142  
υδρολογικό καθεστώς, 106

υπερσυσσωρευτής, 153  
υποόροφοι, 42-43, 86  
ύψος, 31, 40-41, 44, 56, 58-63, 67, 69  
βροχής, 40-41, 44, 56, 58, 60-63  
κατακρημνισμάτων, 31, 59, 67  
υετού, 69

**Φ**αινολογική, 77, 81  
παρατήρηση, 75-79, 82-83  
συμπεριφορά, 77, 81  
φαινολογικό, 76, 78-81  
ημερολόγιο, 80  
στάδιο, 76-77, 80-81  
φαινολογικοί χάρτες, 79-80  
φαινόμενο θερμοκηπίου, 100  
φαινοφάση, 77, 81-83  
φυτοεξυγίανση, 154-155  
φυτοκάλυψη, 10-11, 24-25, 51, 112, 118, 143  
φωτισμός, 86, 96

**Χ**ιονόπτωση, 62-63, 65, 69, 70  
χωρική κατανομή, 4, 6, 8, 117-118, 120-121  
kriging, 5, 8