

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ & ΖΩΙΚΗΣ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΙΩΑΝΝΗΣ Ν. ΒΑΓΕΝΑΣ**

**ΥΔΑΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΟΜΟΥΣ  
ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΝΕΑ ΙΩΝΙΑ, Ν. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ 2002**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 2308/1

Ημερ. Εισ.: 01-07-2003

Δωρεά:

Ταξιθετικός Κωδικός: Δ

333.913 094 954

ΒΑΓ

**ΥΔΑΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΟΜΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

Μ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ, Καθηγήτρια Αρδεύσεων – Στραγγίσεων,  
Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας Π. Θ.  
Κ. ΚΙΤΤΑΣ, Καθηγητής Γεωργικών Κατασκευών του Τμήματος Γεωπονίας Π. Θ.  
Θ. ΓΕΜΤΟΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής Γεωργικής Μηχανολογίας του Τμήματος  
Γεωπονίας Π. Θ.

Στους γονείς μου



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1 ΝΕΡΟ, ΦΥΤΟ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΣΧΕΣΕΙΣ.....	10
1.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΦΥΤΑ.....	10
1.2 ΕΔΑΦΟΣ.....	11
Η μηχανική σύσταση του εδάφους και τα ανόργανα συστατικά.....	11
1.3 ΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ.....	14
Τα χαρακτηριστικά των πορώδων μέσων.....	14
Η αρνητική πίεση στα πορώδη μέσα.....	15
Διαφορά δυναμικού του εδαφικού νερού - Υδραυλικό φορτίο.....	16
Ο νόμος του Darcy.....	18
1.3.1 Η ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	19
Παράγοντες που επηρεάζουν τη διηθητικότητα του εδάφους.....	21
1.3.2 ΩΦΕΛΙΜΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	24
Η υδατοϊκανότητα του εδάφους.....	24
Το σημείο μόνιμης μαράνσεως.....	25
Το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους.....	25
Το ριζικό σύστημα των καλλιεργειών.....	25
Η διαθέσιμη και η ωφέλιμη στις καλλιέργειες υγρασία.....	27
2 ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ.....	30
2.1 ΦΥΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ.....	30
Το είδος του φυτού.....	30
Η ανακλαστικότητα του φυλλώματος.....	30
Το ποσοστό καλύψεως του εδάφους από το φύλλωμα.....	31
Το ύψος των φυτών.....	33
Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος.....	33
Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.....	33
2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....	33
2.3 ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ.....	34
Ηλιακή ακτινοβολία.....	34
Θερμοκρασία του αέρα.....	35

	Υγρασία του αέρα.....	35
	Ταχύτητα ανέμου.....	35
	Συνδυαστική επίδραση των κλιματικών παραγόντων.....	35
2.4	ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ.....	37
3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ.....	39
3.1	ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ PENMAN – MONTEITH.....	39
	Εξίσωση Penman – Monteith.....	39
	Αεροδυναμική αντίσταση ( $r_a$ ).....	42
	Αντίσταση της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας ( $r_s$ ).....	43
	Η εξίσωση των Penman-Monteith κατά FAO.....	45
4	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	49
4.1	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ.....	49
	Ατμοσφαιρική πίεση (P).....	49
	Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης ( $\lambda$ ).....	50
	Ψυχρομετρική σταθερά ( $\gamma$ ).....	50
4.2	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ.....	51
4.3	ΥΓΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ.....	51
	Πίεση ατμών.....	52
	Θερμοκρασία σημείου δρόσου ( $T_{dew}$ ).....	53
	Σχετική υγρασία.....	53
4.3.1	Διαδικασία υπολογισμού.....	54
	1. Της κλίσης της καμπύλης πίεσης ατμών κορεσμού ( $\Delta$ ).....	54
	2. Του ελλείμματος κορεσμού ( $e_s - e_a$ ).....	54
	Α. Μέση πίεση ατμών κορεσμού ( $e_s$ ).....	54
	Β. Υπολογισμός της πραγματικής πίεσης ατμών ( $e_a$ ) από τη μέση σχετική υγρασία ( $RH_{mean}$ ).....	55
	Έλλειμμα κορεσμού ( $e_s - e_a$ ).....	55
4.4	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	55
	Αρχές.....	55
	Άμεση ή εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία ( $R_a$ ).....	55
	Διάχυτη ή προσπίπτουσα ηλιακή (μικρού μήκους κύματος) ακτινοβολία ( $R_s$ ).....	57
	Σχετική διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ( $R_s/R_{so}$ ).....	58
	Σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας ( $n/N$ ).....	58
	Ανακλαστικότητα ( $\alpha$ ) και καθαρή ηλιακή (μικρού μήκους κύματος) ακτινοβολία ( $R_{ns}$ ).....	58
	Καθαρή μακρού μήκους κύματος ακτινοβολία ( $R_{nl}$ ).....	58
	Καθαρή ακτινοβολία ( $R_n$ ).....	60
	Πυκνότητα ροής θερμότητας προς το έδαφος (G).....	60

4.4.1	Διαδικασία υπολογισμού.....	61
1.	Της καθαρής ακτινοβολίας $R_n$ .....	61
	Υπολογισμός της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας $R_a$ για ημερήσιες περιόδους.....	61
	Μέγιστη πιθανή διάρκεια ηλιοφάνειας (N).....	63
	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ( $R_s$ ).....	63
	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία καθαρού από σύννεφα ουρανού ή ακτινοβολία ολικής αιθρίας ( $R_{so}$ ).....	64
	Καθαρή ηλιακή (μικρού μήκους κύματος) ακτινοβολία ( $R_{ns}$ ).....	64
	Καθαρή μεγάλου μήκους κύματος (θερμική) ακτινοβολία ( $R_{nl}$ ).....	64
	Καθαρή ακτινοβολία ( $R_n$ ).....	65
2.	Της πυκνότητας της ροής της θερμότητας προς το έδαφος (G).....	65
	Για μηνιαίες περιόδους.....	66
4.5	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ.....	66
5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΚΑΙ ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ.....	75
5.1	Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΦΥΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ.....	75
5.2	ΒΑΣΙΚΟΙ, ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟΙ ΚΑΙ ΜΕΣΟΙ ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ.....	76
5.3	ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΑΤΑ FAO-24.....	79
	Φυτικοί συντελεστές ετήσιων καλλιεργειών.....	79
	Φυτικοί συντελεστές άλλων καλλιεργειών.....	82
5.4	ΑΝΑΘΕΩΡΗΜΕΝΟΙ ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΑΤΑ FAO.....	82
	Υπολογισμός του $K_c$ του αρχικού σταδίου.....	84
	Προσδιορισμός των τιμών του φυτικού συντελεστή με τη διαδικασία του βασικού συντελεστή.....	87
	Γενικές εξισώσεις.....	87
	Φυτικοί συντελεστές για άγνωστες συνθήκες.....	89
	Φυτικοί συντελεστές υπό περιορισμένη εδαφική υγρασία.....	90
6	ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ.....	91
6.1	ΚΑΘΑΡΕΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ.....	91
	Η ωφέλιμη βροχή.....	91
	Το υπόγειο νερό.....	92
	Το αποθηκευμένο νερό στο έδαφος.....	92
	Η αρδευτική αποδοτικότητα.....	93
	Η έκπλυση των αλάτων.....	95
7	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΑΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ.....	98

7.1	ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ.....	98
7.1.1	Μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής σε σταθμούς που δεν υπήρχαν στοιχεία για τον υπολογισμό όλων των αναγκαίων κλιματικών παραμέτρων.....	99
	Α. Στοιχεία διάρκειας ηλιοφάνειας από γειτονικό σταθμό.....	99
	Β. Στοιχεία ταχύτητας ανέμου από γειτονικό σταθμό.....	99
7.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΣΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ.....	100
	Αποτελέσματα της βασικής εξατμισοδιαπνοής στις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών.....	100
	Καμπύλες ίσων τιμών βασικής εξατμισοδιαπνοής.....	103
	Αποτελέσματα της βασικής εξατμισοδιαπνοής ανά Καποδιστριακό Δήμο.....	103
7.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....	114
	Αποτελέσματα βροχόπτωσης στις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών.....	114
	Καμπύλες ίσων τιμών βροχόπτωσης.....	114
	Αποτελέσματα της βροχόπτωσης ανά Καποδιστριακό Δήμο.....	116
7.4	ΚΑΘΑΡΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ Ή ΥΔΑΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ.....	126
7.4.1	ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ.....	126
7.4.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΕΤ <sub>c</sub> ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ I <sub>n</sub> ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟ.....	142
7.5	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΜΗ ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗΣ ΥΠΟΨΗ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (ET <sub>αot</sub> ) ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΣΥΝΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (I <sub>n tot</sub> ).....	172
	Κατανομή των αρδευόμενων καλλιεργειών στους Νομούς Λάρισας και Μαγνησίας.....	172
7.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	181
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	182

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ορθή εκτίμηση της ποσότητας του νερού που απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό συμβάλει στην εξοικονόμησή του, δεδομένου ότι στο Θεσσαλικό κάμπο οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι, επίγειοι και υπόγειοι δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες για την άρδευση, βιομηχανία και αστική χρήση.

Η παρούσα εργασία έχει σαν σκοπό τον υπολογισμό των συνολικών αναγκών σε νερό αρδεύσεως των καλλιεργειών των Νομών Λάρισας και Μαγνησίας, οι οποίες ποτίζονται με συνολικά νερά, δηλαδή από γεωτρήσεις ιδιωτικές και κρατικές και από επιφανειακά νερά.

Κατ' αρχήν υπολογίστηκε η μέση τιμή της ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοής  $ET_0$  στις θέσεις των 7 μετεωρολογικών σταθμών των δύο Νομών κατά μήνα αρδευτικής περιόδου, χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά στοιχεία 20 ετών (1980 - 2000) από τους σταθμούς αυτούς. Τα μετεωρολογικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι μέσες μηνιαίες τιμές της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας  $T_{max}$  και  $T_{min}$ , της μέσης σχετικής υγρασίας  $RH_{mean}$ , της ταχύτητας του ανέμου  $u_d$  και της διάρκειας ηλιοφάνειας (πραγματικής ηλιοφάνειας)  $n$ , ενώ οι υπολογισμοί έγιναν με τη χρήση της εξίσωσης των Penman-Monteith κατά FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) που θεωρείται η πλέον ακριβής. Με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών της μέσης ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοής που βρέθηκαν στις θέσεις των σταθμών, προέκυψαν οι καμπύλες ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής για κάθε μήνα.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέση ημερήσια βασική εξατμισοδιαπνοή κάθε μήνα για κάθε Δήμο των δύο Νομών. Αυτό έγινε με τη χρήση των χαρτών ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής και την εφαρμογή σε αυτούς ολοκληρωμάτων εμβαδού για κάθε Δήμο. Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση ειδικού λογισμικού, σε κάθε χάρτη, αφού δόθηκαν τα όρια του κάθε Δήμου, υπολογίστηκαν ο όγκος της εξατμισοδιαπνοής και το εμβαδόν που περικλείουν τα όρια του κάθε Δήμου με τους νόμους του τραπεζίου, του Simpson και του Simpson 3/8. Έτσι διαιρώντας τον όγκο της εξατμισοδιαπνοής με το εμβαδόν, βρέθηκε η μέση ημερήσια βασική εξατμισοδιαπνοή κάθε μήνα για κάθε Δήμο.

Με τον ίδιο τρόπο, έγινε και ο υπολογισμός της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης  $P$  κάθε μήνα για κάθε Δήμο των δύο Νομών. Δηλαδή αρχικά βρέθηκε η μέση μηνιαία βροχόπτωση στις θέσεις των 25 βροχομετρικών σταθμών με τη χρησιμοποίηση στοιχείων 20 ετών (1980 - 2000) των σταθμών αυτών και με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών αυτών, προέκυψαν οι χάρτες ίσων τιμών βροχόπτωσης. Έτσι με διαίρεση του όγκου της βροχόπτωσης με το εμβαδόν του κάθε Δήμου υπολογίστηκε η μέση μηνιαία βροχόπτωση και από αυτή, με μέθοδο της USDA (Soil Conservation Service), η μέση μηνιαία ωφέλιμη βροχόπτωση  $P_e$  κάθε μήνα για κάθε Δήμο των δύο Νομών.

Στη συνέχεια βρέθηκαν η πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_c$  και οι καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  (που είναι η διαφορά της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και της ωφέλιμης βροχόπτωσης:  $ET_c - P_e$ ) κάθε καλλιέργειας στους Δήμους του Νομού Λάρισας και Μαγνησίας για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_c$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996) και αυτών που προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας.

Τέλος, βρέθηκαν οι συνολικές ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό μη λαμβανομένης υπόψη της βροχόπτωσης,  $ET_{c\text{ }ia}$  και οι συνολικές ανάγκες των



καλλιεργειών σε νερό αρδεύσεως συνυπολογιζομένης της βροχόπτωσης  $I_{n\text{ tot}}$ , για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο, με βάση την στατιστική των καλλιεργειών του έτους 1999 της Διεύθυνσης Εγγείων Βελτιώσεων της Νομαρχίας Λάρισας και της Διεύθυνσης Γεωργίας της Νομαρχίας Μαγνησίας.

Από την εργασία προκύπτει ότι οι συνολικές ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό μη λαμβανομένης υπόψη της βροχόπτωσης,  $ET_c\text{ tot}$  κατά την αρδευτική περίοδο για τα 1.180.132 στρέμματα αρδευόμενων εκτάσεων του Νομού Λάρισας είναι 738.634.839,5 m<sup>3</sup> με μέσο όρο 625,89 m<sup>3</sup>/ στρέμμα και για τα 292.857,6 στρέμματα αρδευόμενων εκτάσεων του Νομού Μαγνησίας είναι 190.857.949,5 m<sup>3</sup> με μέσο όρο 651,71 m<sup>3</sup>/στρέμμα.

Επίσης, οι συνολικές ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό αρδεύσεως συνυπολογιζομένης της βροχόπτωσης  $I_{n\text{ tot}}$ , κατά την αρδευτική περίοδο για τα 1.180.132 στρέμματα αρδευόμενων εκτάσεων του Νομού Λάρισας είναι 551.423.043,1 m<sup>3</sup> με μέσο όρο 467,26 m<sup>3</sup>/ στρέμμα και για τα 292.857,6 στρέμματα αρδευόμενων εκτάσεων του Νομού Μαγνησίας είναι 146.569.377 m<sup>3</sup> με μέσο όρο 500,48 m<sup>3</sup>/στρέμμα.

Αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Π.Θ. κ. Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της σε όλα τα στάδια της εργασίας, τους υπαλλήλους της Δ.Ε.Β. (Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων) της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Λάρισας, της Διεύθυνσης Γεωργίας της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Μαγνησίας, του Περιφερειακού Κέντρου Προστασίας Φυτών και Ποιοτικού Ελέγχου Μαγνησίας, της 1<sup>ης</sup> ΔΕΚΕ Περιφέρειας Θεσσαλίας, του Οργανισμού Βάμβακος Λάρισας, του Ι.Κ.Φ. (Ινστιτούτο Κτηνοτροφικών Φυτών) Λάρισας και του Ινστιτούτου Προστασίας Φυτών Βόλου για την χορήγηση των μετεωρολογικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία και τους Καθ. Κ. Κίττα και Αν. Καθ. Θ. Γέμτο του Τμήματος Γεωπονίας Π.Θ., που ως μέλη της Συμβουλευτικής Επιτροπής συνέβαλαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση της εργασίας.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία για την ανάπτυξη μιας χώρας λόγω της μεγάλης ζήτησής του για άρδευση, βιομηχανία και αστική χρήση. Ιδιαίτερα σε μια χώρα σαν την Ελλάδα, της οποίας η οικονομία στηρίζεται κατά ένα μεγάλο ποσοστό στη Γεωργία, η σημασία του νερού στην ανάπτυξή της είναι ακόμα μεγαλύτερη. Η εντατικοποίηση της Γεωργίας, η μεγάλη αύξηση των αρδευόμενων εκτάσεων καθώς και η ανάγκη για πιο ανταγωνιστικά προϊόντα, συντελούν στην συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση σε νερό αρδεύσεως. Οι αρδεύσεις απορροφούν το μεγαλύτερο ποσοστό της κατανάλωσης του νερού στην Ελλάδα, το οποίο ανέρχεται σε 85% του συνόλου. Έτσι σήμερα προβάλλει επιτακτική η ανάγκη για ορθή εκτίμηση του νερού που απαιτείται για την κατανάλωση από τις διάφορες καλλιέργειες. Η εκτίμηση αυτή θα συμβάλει στην εξοικονόμηση του νερού, στη σωστή διαστασιολόγηση κατά τον σχεδιασμό των αρδευτικών δικτύων με συνέπεια μεγάλο οικονομικό όφελος, στον δίκαιο καταμερισμό των υπάρχοντων υδατικών πόρων και ιδιαίτερα των επιφανειακών και στην ορθολογική συντήρηση και λειτουργία των δικτύων.

Η Θεσσαλική πεδιάδα αποτελεί την μεγαλύτερη ενιαία περιοχή της χώρας, έχοντας έκταση περίπου 5.140.000 στρέμματα από τα οποία, σύμφωνα με διάφορους μελετητές, τα 4.000.000 είναι καλλιεργήσιμα και 2.500.000 – 3.000.000 αρδεύσιμα. Πριν από μερικά χρόνια οι γνώμες ήταν διχασμένες σχετικά με το θέμα της επάρκειας του υδατικού δυναμικού (επίγειοι και υπόγειοι υδατικοί πόροι) για την κάλυψη όλων των αναγκών του Θεσσαλικού κάμπου. Σήμερα που ο υπόγειος ορίζοντας έχει υποχωρήσει σημαντικά, οι ανάγκες αυτές γίνονται περισσότερο αισθητές στις αρδεύσεις και πλέον υφίσταται ιδιαίτερα οξύ το πρόβλημα της έλλειψης σε νερό αρδεύσεως. Ο υποβιβασμός της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων δημιουργεί επιπρόσθετα προβλήματα, όπως είναι η υφαλμύρωση του νερού των υδροφορέων του Νομού Μαγνησίας που γειτνιάζουν με τη θάλασσα, με αποτέλεσμα την ποιοτική υποβάθμιση αυτών και την υποβάθμιση της γονιμότητας των εδαφών που αρδεύονται από αυτούς. Βέβαια, ο υποβιβασμός της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων, συντελεί και στην αύξηση του κόστους του νερού αφού η άντλησή του γίνεται από όλο και μεγαλύτερο βάθος.

Με τις ανάγκες του Θεσσαλικού κάμπου σε νερό αρδεύσεως έχουν ασχοληθεί αρκετοί μελετητές. Οι Κούγκουλος (1979) και Πατμανίδης (1979) υπολόγισαν ότι για την άρδευση των αρδευόμενων εκτάσεων του Θεσσαλικού κάμπου απαιτούνται περίπου 1,2 έως 1,8 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού ετησίως. Μεταξύ των μελετητών ήταν και το πρώην Υπουργείο Δημοσίων Έργων, νυν ΥΠΕΧΩΔΕ (Προκαταρκτική μελέτη που εκπονήθηκε από τα Γραφεία ETEM – “Ευπαλίνος”, 1960 και προκαταρκτική μελέτη της ELECTROWATT για την αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού της Θεσσαλίας, 1968). Ο Πατμανίδης (1979) υπολόγισε την ανά στρέμμα κατανάλωση των διαφόρων καλλιεργειών με τη μέθοδο των Blaney-Criddle σε 700 m<sup>3</sup>, ποσότητα αρκετά υψηλή σύμφωνα με τους Πατμανίδη (1979) και Χατζηλάκο (1979). Η τελευταία μελέτη της Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη (1996) υπολόγισε τις συνολικές απαιτήσεις των καλλιεργειών κατά μέσο όρο κατά την αρδευτική περίοδο του έτους 1994 με την τροποποιημένη μέθοδο Penman σε 480 m<sup>3</sup> ανά στρέμμα, συνυπολογιζομένου ενός ποσοστού απωλειών γύρω στο 20%.

Για την ορθή εκτίμηση της ποσότητας του νερού που απαιτείται για την κατανάλωση από τις διάφορες καλλιέργειες, είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση μιας αξιόπιστης και ακριβούς μεθόδου για τον υπολογισμό της βασικής εξατμισοδιαπνοής. Ένας μεγάλος αριθμός από περισσότερο ή λιγότερο εμπειρικές μέθοδοι έχουν

αναπτυχθεί τα τελευταία 50 χρόνια από πολλούς επιστήμονες και ειδικούς σε όλο τον κόσμο για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής από κλιματικά δεδομένα. Κάποιες σχέσεις που συχνά σε τοπικό επίπεδο είναι ακριβείς, αποδεικνύεται ότι έχουν περιορισμένη γενική ισχύ. Εκτεταμένες έρευνες που έγιναν από το FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), από την Επιτροπή για τις Ανάγκες σε Νερό Αρδεύσεως της American Society of Civil Engineers (ASCE) και από Ευρωπαϊκά Ινστιτούτα Έρευνας που συνεργάστηκαν υπό την ευθύνη της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, συγκρίναν τα αποτελέσματα των διαφόρων μεθόδων με μετρήσεις από λυσίμετρα σε τοποθεσίες με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα των ερευνών έδειξαν ότι η τροποποιημένη μέθοδος του Penman συχνά υπερεκτιμά την βασική εξατμισοδιαπνοή, ακόμα και 20% σε συνθήκες χαμηλής εξάτμισης, ενώ οι άλλες μέθοδοι έδιναν διαφορετικές τιμές βασικής εξατμισοδιαπνοής κάτω από διαφορετικές κλιματικές συνθήκες εκτός της μεθόδου των Penman-Monteith που βρέθηκε να είναι σχετικά ακριβής κάτω από όλες τις κλιματικές συνθήκες (ξηρές και υγρές). Στην εργασία της Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη κ.α. (1996) με τίτλο “Η υδατοκατανάλωση των καλλιεργειών στο Ν. Λάρισα”, στην οποία χρησιμοποιήθηκαν μέσες μηνιαίες τιμές μετεωρολογικών δεδομένων 22 ετών από σταθμούς του Ν. Λάρισας, με τη χρήση της τροποποιημένης μεθόδου του Penman η βασική εξατμισοδιαπνοή για την περίοδο από Μάιο έως και Σεπτέμβριο βρέθηκε 834,36 mm. Στην παρούσα εργασία με τη χρήση μέσων μηνιαίων τιμών μετεωρολογικών δεδομένων 20 ετών από τους ίδιους σταθμούς του Ν. Λάρισας και για το ίδιο χρονικό διάστημα, η βασική εξατμισοδιαπνοή με τη χρήση της μεθόδου των Penman-Monteith βρέθηκε 703,95 mm, δηλαδή 18,5% μικρότερη.

Όταν στο χωράφι δίνεται νερό ίσο σε ποσότητα με την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, η καλλιέργεια εξασφαλίζει την απρόσκοπτη ανάπτυξή της, δηλαδή έχει τη “μέγιστη απόδοση” αλλά όχι κατ’ ανάγκη το “μέγιστο οικονομικό αποτέλεσμα”, δηλαδή τη μέγιστη ποιοτικά απόδοση. Αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό (Παπαζαφειρίου Ζ.Γ, Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό, 1999).

Η διαχείριση των υδάτινων πόρων, δεδομένου του πολύ μεγάλου όγκου νερού που απαιτείται για την κατανάλωση από τις καλλιέργειες γεγονός που διαπιστώνεται και από την παρούσα εργασία και της σημαντικής υποχώρησης του υπόγειου ορίζοντα, εξελίσσεται σε κρίσιμο παράγοντα μελλοντικής πορείας για την γεωργική παραγωγή και το εισόδημα κατ’ επέκταση.

Βραχυπρόθεσμα, ο κίνδυνος μείωσης της παραγωγικότητας και οι αυξανόμενες ανάγκες βελτιωτικών ουσιών, αυξάνουν κατακόρυφα το κόστος της παραγωγής με ορατή την εκδοχή μείωσης της βιωσιμότητας του πρωτογενή τομέα με δυσμενείς επιπτώσεις στην εθνική οικονομία.

Η συνεχόμενη πτώση του υπόγειου ορίζοντα, υποδηλώνει το γεγονός ότι τα επιφανειακά και αποταμιευμένα σε ταμιευτήρες και φράγματα νερά και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων κατά τη μη αρδευτική περίοδο, δεν επαρκούν για την κάλυψη όλων των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών και αν η πορεία αυτή δεν αντιστραφεί, η ερημοποίηση μακροπρόθεσμα λόγω της έλλειψης του νερού και της υποβάθμισης των εδαφών, θα πρέπει να θεωρείται βέβαιη. Στο πλαίσιο αυτό, βασικοί στόχοι μιας αναπτυξιακής στρατηγικής με έμφαση στην αειφορική παραγωγή, θα πρέπει να θεωρούνται η ολοκλήρωση, ο εκσυγχρονισμός και η σωστή συντήρηση και διαχείριση των υφιστάμενων και η κατασκευή νέων εγγειοβελτιωτικών έργων όπως αρδευτικά δίκτυα, ταμιευτήρες, φράγματα και ο τεχνητός εμπλουτισμός των καρστικών υδροφορέων.



Η πληροφόρηση και η ευαισθητοποίηση των παραγωγών σε σχέση με την ορθολογική χρήση του νερού και τις επιπτώσεις της μείωσης των υδατικών πόρων θα συμβάλλουν στην εξοικονόμησή του.

Η κατεύθυνση εξάλλου της σύγχρονης πολιτικής προς την αειφορική παραγωγή και τη μείωση των εισροών στην παραγωγή, δεν μπορεί να παραβλέπει την εξάντληση των υδατικών αποθεμάτων από την αλόγιστη χρήση, τον κίνδυνο υποβάθμισης των εδαφών και επομένως την ανάγκη λήψης μέτρων ορθολογικής διαχείρισης. Βασικό μέτρο στο πλαίσιο μιας τέτοιας λογικής αποτελεί και η παρακίνηση για την εξολοκλήρου χρήση αποδοτικότερων και με λιγότερες απώλειες συστημάτων άρδευσης όπως η στάγδην άρδευση, η μελέτη καινούριων συστημάτων άρδευσης όπως η υπόγεια και η χρήση βελτιωμένων ποικιλιών με αυξημένη αντοχή σε συνθήκες ξηρασίας.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ορθότερη δυνατή εκτίμηση των υδατικών αναγκών των καλλιεργειών του Ν. Λάρισας και Μαγνησίας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε μια μεγάλη χρονοσειρά ιστορικών κλιματικών δεδομένων 20 ετών από όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς των δύο Νομών και η εκτίμηση των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών έγινε σε επίπεδο Καποδιστριακών Δήμων, που είναι η μικρότερη δυνατή τμηματική διαίρεση των Νομών στην οποία είναι γνωστή η κατανομή των καλλιεργειών. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, ο υπολογισμός της βασικής εξατμισοδιαπνοής έγινε με τη μέθοδο των Penman-Monteith που θεωρείται μέχρι στιγμής η ακριβέστερη κάτω από όλες τις κλιματικές συνθήκες.

# 1

## ΝΕΡΟ, ΦΥΤΟ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί εξετάζονται τα σημαντικότερα στοιχεία της παραγωγικής διαδικασίας στη γεωργία, το νερό και το έδαφος και διερευνούνται οι σχέσεις τους και η επίδρασή τους στα φυτά.

### 1.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΦΥΤΑ

Το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο του κύκλου της ζωής των φυτών. Σε δυναμικά αναπτυσσόμενες καλλιέργειες, το νερό είναι τέσσερις με οκτώ φορές παραπάνω από το βάρος των στερεών συστατικών των φυτών. Για την παραγωγή μιας μονάδας ξηρής φυτικής ουσίας χρειάζεται να περάσουν μέσα από τα φυτά πολλές εκατοντάδες μονάδες νερού που χάνονται στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της διαπνοής.

Το νερό στα φυτά επιτελεί πολλές λειτουργίες:

- Είναι το κυριότερο συστατικό του φυτού (70% έως 95% του νωπού φυτικού βάρους) και δίνει σχήμα, ακαμψία και στερεότητα στο φυτό διατηρώντας μια θετική κυτταρική πίεση.
- Ως διαλύτης και πηγή ιόντων, το νερό είναι το μέσο για τη μεταφορά θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος στο φυτό.
- Τέλος, λόγω της μεγάλης λανθάνουσας θερμότητας, το νερό κρύνει τα φύλλα μέσω της διαπνοής και αποφεύγεται έτσι η υπερθέρμανσή τους.

Η περιεκτικότητα σε νερό των φυτών πρέπει να βρίσκεται εντός στενών ορίων για να παρέχει συνθήκες καλής ανάπτυξης στα φυτά: μια μείωση 10% επηρεάζει σημαντικά την δραστηριότητα και την ανάπτυξη, ενώ μια τέτοια μείωση μπορεί να αποβεί και θανατηφόρα.

Τα φυτά προσλαμβάνουν το νερό από το έδαφος, το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μια αποθήκη που δέχεται νερό με τη μορφή βροχής ή αρδεύσεως. Για να είναι το εδαφικό νερό χρήσιμο στις καλλιέργειες πρέπει να διατηρείται εντός ορισμένων ορίων. Σε περιπτώσεις υπέρβασης των ορίων αυτών, το νερό γίνεται επιζήμιο και πρέπει να απομακρύνεται με στράγγιση. Αντίθετα, αν το εδαφικό νερό πέσει κάτω από τα επιτρεπτά όρια, οι καλλιέργειες δεν μπορούν να αναπτυχθούν κανονικά οπότε νερό πρέπει να προστεθεί με άρδευση.

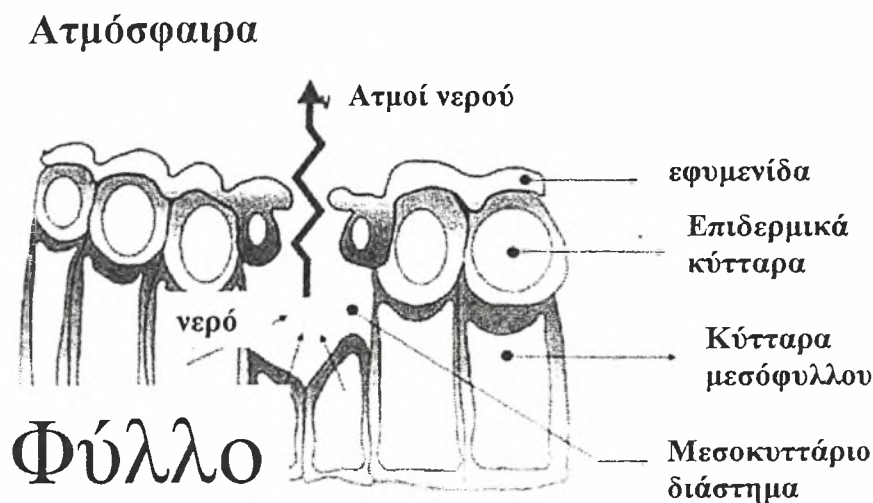
Το νερό χάνεται από τα χωράφια με την διαδικασία της διαπνοής και της εξάτμισης, η οποία αναφέρεται και ως *υδατοκατανάλωση* και με τα φαινόμενα της βαθιάς διήθησης και της επιφανειακής απορροής.

*Εξάτμιση* είναι η διαδικασία κατά την οποία το νερό μεταβαίνει από την υγρή στην αέρια κατάσταση και έτσι απομακρύνεται από μια επιφάνεια. Το νερό εξατμίζεται από ποικιλία επιφανειών όπως θάλασσα, λίμνες, ποτάμια, εδάφη και υγρή βλάστηση.

*Διαπνοή* είναι το φαινόμενο που περιλαμβάνει την εξάτμιση του νερού των ιστών του φυτού και την απομάκρυνση του ατμού προς την ατμόσφαιρα. Τα φυτά χάνουν το νερό κυρίως από τα στομάτια. Η εξάτμιση γίνεται μέσα στο φύλλο, δηλαδή στα μεσοκυττάρια διαστήματα και η ανταλλαγή με την ατμόσφαιρα ρυθμίζεται από τα στομάτια (**Σχήμα 1.1**).

Το νερό που συγκρατείται από τα φύλλα κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης ή κατά τη διάρκεια της άρδευσης και το οποίο μετά εξατμίζεται αποτελεί και αυτό μέρος της αναγκαίας κατανάλωσης.

Το νερό που απομακρύνεται από το χωράφι με όλες αυτές τις διαδικασίες αναφέρεται σαν εξατμισοδιαπνοή (ET).



Σχήμα 1.1 Σχηματική παράσταση ενός στοματίου (Allen et al., 1998)

## 1.2 ΕΔΑΦΟΣ

Το έδαφος, είναι ένα δυναμικό σύστημα που διέπεται από διάφορες λειτουργίες και αποτελείται από επιμέρους υποσυστήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σε ένα οργανικό σύνολο όπως ακριβώς συμβαίνει και στους βιολογικούς οργανισμούς.

Το έδαφος, με τη γεωργική του έννοια, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύνθετο σύστημα που ταυτόχρονα είναι μια αποθήκη θρεπτικών στοιχείων, ένα περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται και δρα πλήθος μικροοργανισμών, ένα μέσο στερεώσεως των φυτών, ένα μέσο διακινήσεως του νερού προς όλες τις κατευθύνσεις και μια αποθήκη νερού από την οποία τα φυτά αντλούν την απαραίτητη για την ανάπτυξή τους υγρασία.

Βασικά χαρακτηριστικά ενός εδάφους είναι η *υφή* και η *δομή*. Εδαφική υφή είναι η ποσοστιαία αναλογία των διαφόρων μεγέθους ορυκτών σωματιδίων που απαρτίζουν το έδαφος. Εδαφική δομή είναι ο τρόπος διατάξεως των σωματιδίων αυτών για τον σχηματισμό ομάδων ή συσσωματωμάτων.

Εδαφικά σωματίδια χαρακτηρίζονται τα στερεά που έχουν διάμετρο  $\leq 2$  mm.

### Η μηχανική σύσταση του εδάφους και τα ανόργανα συστατικά

Τα προϊόντα της φυσικής αποσάθρωσης των πετρωμάτων αποτελούνται από τα μηχανικά κλάσματα βράχων διαφόρων διαστάσεων. Το μέγεθος των μηχανικών θραυσμάτων επιδρά στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως είναι η στράγγιση, η ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί νερό για τις ανάγκες των φυτών και η ευκολία με την οποία το έδαφος μπορεί να υποστεί κατεργασία.

Επίσης, το μέγεθος των μηχανικών κλασμάτων του εδάφους επιδρά στις χημικές του ιδιότητες εξαιτίας των ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τις επιφάνειες των μικρών εδαφικών σωματιδίων. Επομένως, είναι απαραίτητο να υπάρχει όχι μόνο ένα σύστημα ταξινόμησης των μηχανικών κλασμάτων, αλλά και σύστημα που να

περιγράφει ποσοτικά την κατανομή των μηχανικών κλασμάτων αναλόγως του μεγέθους αυτών.

Τα όρια στα μεγέθη των μηχανικών κλασμάτων τέθηκαν με βάση τη συμβολή του μεγέθους των εδαφικών σωματιδίων στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους.

Στον **πίνακα 1.1** παρουσιάζεται το αμερικανικό σύστημα κατάταξης των μηχανικών κλασμάτων. Το σύστημα αυτό δεν ακολουθείται από όλους τους εδαφολόγους του κόσμου. Στην Ευρώπη και στην Αγγλία υπάρχει διαφορετικό σύστημα κατάταξης (**πίνακας 1.2**). Τα μηχανικά κλάσματα διακρίνονται στα σκελετικά υλικά (με σχετική διάμετρο μεγαλύτερη από 600 mm έως 2 mm) και τη λεπτή γη (με σχετική διάμετρο από 2 mm μέχρι μικρότερη από 0,002 mm συστατικά). Στον **πίνακα 1.3** παρουσιάζεται το σύστημα κατάταξης των μηχανικών κλασμάτων που έχει υιοθετηθεί από τα εδαφολογικά εργαστήρια της Ελλάδας.

**Πίνακας 1.1** Αμερικάνικο σύστημα κατάταξης των μηχανικών κλασμάτων του εδάφους (Μήτσιος Ι., 1999)

Κατηγορία	μηχανικών κλασμάτων	Σχετική διάμετρος (mm)
Βράχοι	} σκελετικά υλικά	: >600
Λίθοι		: 600-200
Πέτρες		: 200-75
Χαλίκια		: 75-2
Άμμος	} λεπτή γη	: 2-0,05
Ιλύς		: 0,05-0,002
Αργίλος		: <0,002

**Πίνακας 1.2** Ευρωπαϊκό και Αγγλικό σύστημα κατάταξης των μηχανικών κλασμάτων του εδάφους (Μήτσιος Ι., 1999)

Κατηγορία	μηχανικών κλασμάτων	Σχετική διάμετρος (mm)
Πέτρες		: >2
Λεπτή γη	{ Χονδρή άμμος	: 2-0,2
	{ Λεπτή άμμος	: 0,2-0,06
	{ Ιλύς	: 0,06-0,002
	{ Αργίλος	: <0,002

Η μηχανική σύσταση του εδάφους αναφέρεται στις σχετικές αναλογίες των συστατικών (άμμου, ιλύος, αργίλου) ενός εδάφους. Με βάση τη μηχανική σύσταση διακρίνονται 12 κλάσεις εδαφών. Οι 12 αυτές κλάσεις εδαφών καταλαμβάνουν ορισμένη θέση και χώρο σε ένα ισοσκελές τρίγωνο το οποίο ονομάζεται **τρίγωνο μηχανικής σύστασης** των εδαφών.

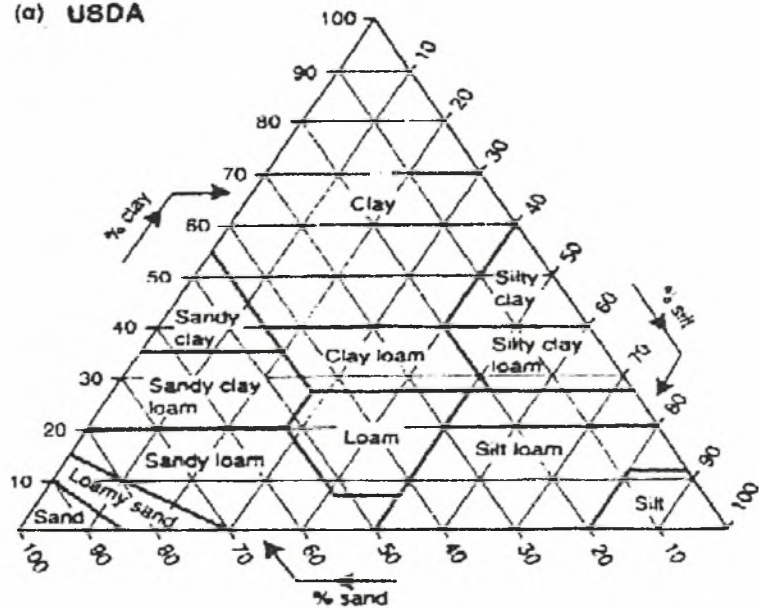
Στο **Σχήμα 1.2** παρουσιάζονται δύο τρίγωνα μηχανικής σύστασης. Το τρίγωνο (α) είναι κατά το αμερικάνικο (USDA) σύστημα και το τρίγωνο (β) είναι κατά το αγγλικό (UK) σύστημα.



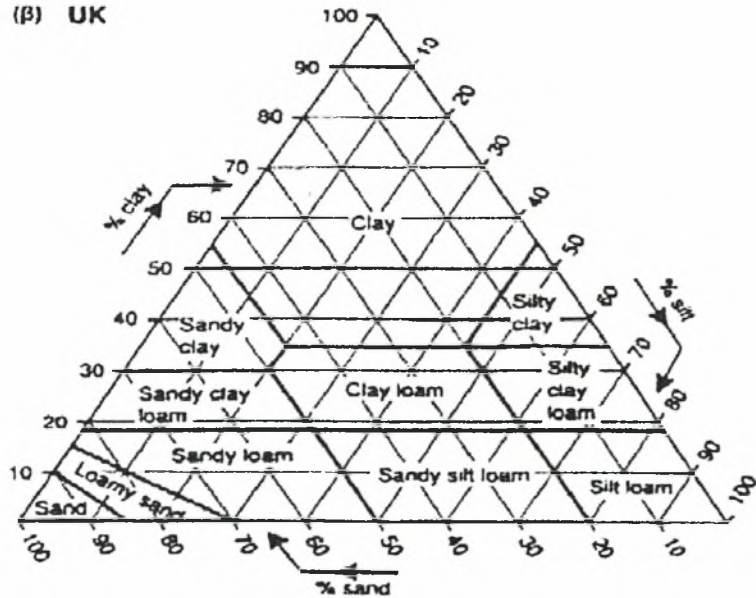
Πίνακας 1.3 Κατηγορίες μηχανικών κλασμάτων όπως εφαρμόζεται στην Ελλάδα (Μήτσιος Ι., 1999)

Κατηγορία	μηχανικών κλασμάτων	Σχετική διάμετρος (mm)
Βράχοι	} σκελετικά υλικά	: >600
Λίθοι		: 600-200
Πέτρες		: 200-75
Χαλίκια		: 75-2
Άμμος	} λεπτή γη	: 2-0,05
Ιλύς		: 0,05-0,002
Αργίλος		: <0,002

(α) USDA



(β) UK



Σχήμα 1.2 Τρίγωνα μηχανικής σύστασης: (α) το αμερικάνικο σύστημα (USDA), (β) το αγγλικό σύστημα (UK) (Μήτσιος Ι., 1999)

Οι πλευρές των τριγώνων μηχανικής ανάλυσης φέρουν διαιρέσεις σε ποσοστά από 0-100% που αντιστοιχούν στα τρία μηχανικά κλάσματα (άμμος, ιλύς, άργιλος).

Σημειώνεται ότι η άργιλος έχει μεγάλη επίδραση στη δομή του εδάφους. Ένα έδαφος με 40% άργιλο φέρει τις ιδιότητες της αργίλου, ενώ απεναντίας για να αποδοθούν στο έδαφος οι ιδιότητες της άμμου ή της ιλύος, τα μηχανικά κλάσματα της άμμου και της ιλύος πρέπει να ανέρχονται σε ποσοστά 87% και 80% αντίστοιχα. Όσο το ποσοστό της αργίλου αυξάνει τόσο αυξάνει και η ενεργός επιφάνεια της στερεής φάσης του εδάφους που έρχεται σε επαφή με την υγρή και την αέρια φάση του εδάφους (Μήτσιος Ι., Εδαφολογία, 1999).

### 1.3 ΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Για την ορθολογική χρήση του νερού άρδευσης είναι απαραίτητη η σε βάθος γνώση του φαινομένου που διέπει την κίνηση του νερού στο έδαφος.

Η ικανότητα των εδαφών να συγκρατούν και να μεταφέρουν το νερό ρυθμίζεται από τις *υδραυλικές του ιδιότητες*. Οι δύο βασικές υδραυλικές ιδιότητες ενός εδάφους είναι η χαρακτηριστική του καμπύλη υγρασίας (ΧΚΥ) και η υδραυλική του αγωγιμότητα.

- i. Η ΧΚΥ είναι η σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό ( $\Theta$ ) και της αντίστοιχης αρνητικής πίεσης ( $h$ ) με την οποία συγκρατείται το νερό στο έδαφος, δηλ. η σχέση  $\Theta(h)$ .
- ii. Η υδραυλική αγωγιμότητα, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία κινείται το νερό μέσα στο έδαφος, εκφράζεται είτε σαν συνάρτηση της υγρασίας του εδάφους ως  $K(\Theta)$  είτε σαν συνάρτηση του φορτίου πίεσης ως  $K(h)$ .

#### *Τα χαρακτηριστικά των πορώδων μέσων*

Κάθε πορώδες σώμα χαρακτηρίζεται από πάρα πολλές ιδιότητες μεταξύ των οποίων οι κυριότερες είναι το πορώδες του, η φαινομενική πυκνότητά του, η ειδική επιφάνειά του, το μέγεθος των πόρων και η κατανομή τους ανάλογα με το μέγεθός τους.

Η στερεά φάση του μέσου, η οποία αποτελείται από μεμονωμένα τεμαχίδια ή από συσσωματώματα ή και τα δύο, είναι δυνατόν να παρουσιάζει σταθερή αρχιτεκτονική σε τρόπο ώστε οι ιδιότητες που αναφέραμε παραπάνω να παραμένουν σταθερές. Τέτοια μέσα λέγονται *σταθερής δομής πορώδη μέσα*. Παραδείγματα τέτοιων μέσων στη φύση είναι τα διάφορα κροκαλοπαγή πετρώματα, οι ψαμμίτες κ.α., των οποίων τα τεμαχίδια είναι σταθερά συνδεδεμένα μεταξύ τους με διάφορες συγκολλητικές ουσίες. Αντίθετα, σε άλλα πορώδη μέσα η στερεά τους φάση δεν παρουσιάζει σταθερή αρχιτεκτονική, σε τρόπο ώστε οι βασικές ιδιότητές τους να μπορούν να μεταβάλλονται. Η στερεά τους φάση αποτελείται από μεμονωμένα τεμαχίδια ή από συσσωματώματα ή και τα δύο, τα οποία είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους ή χαλαρά συνδεδεμένα. Παραδείγματα τέτοιων μέσων είναι οι ασύνδετες άμμοι, το έδαφος, οι άργιλοι κ.α., τα οποία χαρακτηρίζονται σαν *μέσα μεταβλητής δομής*. Τα μέσα αυτά μπορούν να διακριθούν σε *μη διογκούμενα* υπό την επίδραση πολικών υγρών και *διογκούμενα*. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα μέσα των οποίων η στερεά φάση αποτελείται από τεμαχίδια μη κολλοειδών διαστάσεων και όχι ηλεκτρικά φορτισμένα. Παράδειγμα τέτοιων μέσων είναι οι ασύνδετες άμμοι, των οποίων οι παρατηρούμενες διαφορές στις παραπάνω ιδιότητες οφείλονται σε διαφορές της πυκνότητας διατάξεώς τους. Για μια ορισμένη πυκνότητα διατάξεως, οι ιδιότητές τους παραμένουν σταθερές και συμπεριφέρονται σαν μέσα σταθερής δομής

ως προς τις σχέσεις τους με το νερό. Αντίθετα, στα διογκούμενα (και συστέλλόμενα) μέσα, η στερεά φάση αποτελείται από κολλοειδή τεμαχίδια φορτισμένα, τα οποία όταν έρθουν σε επαφή με το νερό το μυζούν στους μεταξύ τους χώρους, ενώ συγχρόνως απομακρύνονται το ένα από το άλλο. Έτσι, ολόκληρο το μέσο διογκούνται και αυξάνεται το πορώδες του, ενώ συγχρόνως μειώνεται η φαινομενική πυκνότητά του. Αντίθετα, κατά την απομάκρυνση της υγρασίας, τα μέσα αυτά συστέλλονται και τα τεμαχίδια τους πλησιάζουν το ένα το άλλο, οπότε μειώνεται το πορώδες τους και αυξάνεται η φαινομενική πυκνότητά τους. Παράδειγμα τέτοιων μέσων είναι οι άργιλοι (Πουλοβασύλης Α., 1986. “Σημειώσεις Γεωργικής Υδραυλικής” - Αρδεύσεις Ι).

## ***Η αρνητική πίεση στα πορώδη μέσα***

Αν σε ένα αρχικά ξηρό έδαφος προστεθεί νερό, αυτό σχηματίζει αρχικά λεπτές στρώσεις, σε επαφή με τα τοιχώματα των πόρων, που συγκρατούνται με δυνάμεις συνοχής και συνάφειας, μετατοπίζει αέρα από τους πόρους και αν η ποσότητα του νερού είναι αρκετή, γεμίζει εντελώς τους πόρους. Αν όλοι οι πόροι του εδάφους είναι γεμάτοι με νερό, τότε το έδαφος φτάνει στον *κορεσμό* του, δηλαδή περιέχει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να παραμείνει σ’ αυτό.

Όταν το κορεσμένο σε νερό έδαφος στραγγίσει, τότε μια ποσότητα νερού που βρίσκεται στους μεγάλους πόρους κινείται προς τα κάτω με την επίδραση της βαρύτητας και καλείται *ελεύθερο νερό*. Ο χώρος που θα μείνει ελεύθερος θα καλυφθεί από αέρα. Το νερό που παραμένει στο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου καλείται *τριχοειδές νερό* και κινείται προς κάθε κατεύθυνση ανάλογα με τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις αλλά με πολύ μικρότερη ταχύτητα από ότι το ελεύθερο νερό.

Στην περίπτωση που το νερό συνεχίσει να απομακρύνεται, τότε φτάνει κάποια στιγμή που αυτό που απομένει συγκρατείται πολύ ισχυρά από τα μόρια του εδάφους, ιδιαίτερα από τα κολλοειδή του, και σε σημαντική αναλογία δεν είναι πια σε υγρή κατάσταση, μετακινούμενο με τη μορφή υδρατμών. Το νερό αυτό καλείται *υγροσκοπικό*. Από τις τρεις αυτές μορφές του εδαφικού νερού μόνο το ελεύθερο και το τριχοειδές ενδιαφέρουν την άρδευση και τη στράγγιση.

Οι δυνάμεις που συγκρατούν το νερό στο έδαφος εκφράζονται γενικά με τους ισοδύναμους όρους *αρνητική πίεση ή τάση ή μύζηση*, είναι ανάλογες προς την περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία και σχετίζονται με τα φαινόμενα της συνάφειας και της συνοχής. Οι δυνάμεις συνάφειας αντιπροσωπεύουν κατά κάποιο τρόπο την έλξη που ασκούν τα εδαφομόρια με την επιφάνειά τους πάνω στο νερό. Οι δυνάμεις συνοχής αντιπροσωπεύουν την έλξη που ασκούν τα μόρια του νερού το ένα στο άλλο. Κάτω από την επίδρασή τους το νερό γεμίζει τους μικρούς εδαφικούς πόρους και σχηματίζει στρώσεις σε επαφή με τα τοιχώματα των μεγάλων πόρων. Καθώς το πάχος των στρώσεων μεγαλώνει, τα μόρια του νερού που είναι προς το εσωτερικό των μεγάλων πόρων συγκρατούνται λιγότερο ισχυρά και μπορεί να μετακινηθούν με την επίδραση της βαρύτητας ή την έλξη που ασκούν άλλες γειτονικές, με μικρότερο πάχος στρώσεις. Έτσι πολύ μικρό έργο χρειάζεται να καταβληθεί για την απομάκρυνση νερού από ένα έδαφος που η υγρασία του βρίσκεται κοντά στον κορεσμό. Όσο το νερό στο έδαφος λιγοστεύει τόσο μεγαλύτερο έργο χρειάζεται για την απομάκρυνσή του.

Η αρνητική πίεση ή τάση της εδαφικής υγρασίας είναι το μέτρο που δείχνει πόσο ισχυρά συγκρατείται το νερό έδαφος και είναι αντιπροσωπευτικό του μεγέθους της δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας που πρέπει να καταβληθεί για την απομάκρυνσή του

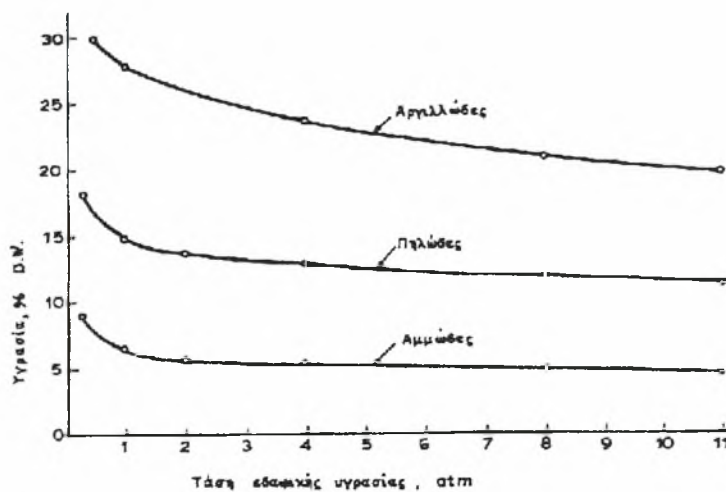


από τους εδαφικούς πόρους. Η δύναμη αυτή εκφράζεται συνήθως σε ατμόσφαιρες ή σε ισοδύναμο ύψος υδάτινης στήλης (μια τεχνική ατμόσφαιρα ή bar ισοδυναμεί με 10,33 μέτρα στήλης νερού πλάτους  $1\text{cm}^2$  σε θερμοκρασία  $21^\circ\text{C}$ ). Μια συγκεκριμένη αρνητική πίεση δεν αντιπροσωπεύει μονότιμα την ποσότητα του νερού που υπάρχει σε οποιοδήποτε έδαφος ούτε την ποσότητα του νερού που μπορεί να απομακρυνθεί από ένα έδαφος αν εφαρμοστεί μια δύναμη ίση και αντίθετη προς την αρνητική αυτή πίεση. Οι ποσότητες αυτές είναι συνάρτηση της υφής και της δομής του εδάφους.

Για να γίνει δυνατή η εκτίμηση της ποσότητας του νερού που μπορεί να συγκρατήσει ένα έδαφος κάτω από διαφορετικές τάσεις, κατασκευάζονται καμπύλες που συνδέουν την υγρασία του εδάφους με τις αντίστοιχες αρνητικές πιέσεις.

Οι καμπύλες αυτές αποτελούν μέτρο της κατανομής των πόρων ενός μέσου, ανάλογα με το μέγεθός τους. Οι καμπύλες αυτές που παριστάνουν τη σχέση ποσοστό υγρασίας – αρνητική πίεση, χαρακτηρίζουν κάθε πορώδες μέσο και ονομάζονται *Χαρακτηριστικές Καμπύλες Υγρασίας* (Soil moisture characteristics, Childs 1940).

Στο **Σχήμα 1.3** δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες τριών βασικών εδαφικών τύπων υφής.



**Σχήμα 1.3** Χαρακτηριστικές καμπύλες εδαφικής υγρασίας των τριών βασικών εδαφικών τύπων υφής (Τερζίδης Γ.Α. και Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1987)

### Διαφορά δυναμικού του εδαφικού νερού - Υδραυλικό φορτίο

Η ταχύτητα ροής του εδαφικού νερού εξαρτάται: α) από τη δύναμη που δρα πάνω σε κάθε στοιχειώδη όγκο νερού και β) από την αντίσταση που προβάλλει το πορώδες στη ροή. Η δύναμη που δρα πάνω στον στοιχειώδη όγκο του νερού είναι συνιστάμενη δύο, βασικά, δυνάμεων. Η πρώτη από αυτές είναι η δύναμη της βαρύτητας που τείνει να προκαλέσει την πτώση του στοιχειώδους όγκου σε χαμηλότερο επίπεδο. Η δεύτερη είναι η δύναμη που οφείλεται σε διαφορές υδροστατικής πίεσης και που τείνει να προκαλέσει τη μετατόπιση του στοιχειώδους όγκου από μία περιοχή μεγάλης πίεσης σε μία περιοχή μικρής πίεσης.

Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν μετακίνηση του νερού όπως οι διαφορές συγκέντρωσης και οι διαφορές θερμοκρασίας του, των οποίων η συνεισφορά στην ολική ροή του εδαφικού νερού είναι πολύ μικρή, γι αυτό και αγνοούνται στις γενικές εξισώσεις ροής.

Οι δυνάμεις που δρουν πάνω στο εδαφικό νερό σπάνια έχουν την ίδια κατεύθυνση. Κατά συνέπεια η συνισταμένη τους θα πρέπει να υπολογίζεται με γεωμετρική κατασκευή παραλληλογράμμων ή τριγώνων δυνάμεων. Για να



υπερπηδηθεί αυτή η δυσκολία έχει εισαχθεί η έννοια του δυναμικού του εδαφικού νερού που είναι μέγεθος και οι συνιστώσες του μπορούν να προστεθούν σύμφωνα με τους κοινούς κανόνες της άλγεβρας.

Έτσι ορίζουμε σαν *ολικό δυναμικό* του εδαφικού νερού, το έργο που γίνεται πάνω σε μία ποσότητα εδαφικού νερού ίση με τη μονάδα (μονάδα βάρους, μάζας ή όγκου) όταν μεταφέρεται αργά από μία κατάσταση αναφοράς του συστήματος, με δυναμικό που λαμβάνεται αυθαίρετα ίσο με το μηδέν, σε μια άλλη κατάσταση την οποία η τιμή του δυναμικού χαρακτηρίζει. Την κατάσταση αναφοράς αποτελεί μάζα καθαρού νερού κάτω από ατμοσφαιρική πίεση και που βρίσκεται σε ένα αυθαίρετο ύψος. Το επίπεδο αναφοράς των υψών είναι αυθαίρετο γιατί στην πραγματικότητα ενδιαφέρουν οι διαφορές δυναμικού και όχι η απόλυτη τιμή του.

Αν θεωρήσουμε ότι το ολικό δυναμικό του εδαφικού νερού είναι το άθροισμα του δυναμικού βαρύτητας και πίεσης τότε

$$\Phi = \Phi_{\beta} + \Phi_{\pi} \quad (1.1)$$

όπου  $\Phi$  είναι το ολικό δυναμικό και  $\Phi_{\beta}$ ,  $\Phi_{\pi}$  είναι το δυναμικό βαρύτητας και πίεσης αντίστοιχα. Αν ο καθορισμός της τιμής του δυναμικού βαρύτητας αναφέρεται σε ένα σημείο που βρίσκεται σε ύψος  $Z$  πάνω από το αυθαίρετα εκλεγμένο επίπεδο αναφοράς υψών, τότε το έργο που καταναλώνεται για τη μεταφορά ενός στοιχειώδους όγκου εδαφικού νερού  $dV$  από το επίπεδο αναφοράς στο ύψος  $Z$  είναι

$$W_{\beta} = g \rho (dV) Z \quad (1.2)$$

όπου  $\rho$  η πυκνότητα του νερού και  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας. Για τη μονάδα του όγκου του εδαφικού νερού το απαιτούμενο έργο θα είναι:

$$\frac{W_{\beta}}{dV} = g \cdot \rho \cdot Z = \Phi_{\beta} \quad (\text{dynes} \cdot \text{cm}^{-2}) \quad (1.3)$$

Αν φανταστούμε ότι η μεταφορά καθαρού νερού, υπό πίεση ίση με την ατμοσφαιρική (που λαμβάνεται σαν πίεση αναφοράς, δηλ. της δίνεται τιμή ίση με το μηδέν), στο εδαφικό νερό που βρίσκεται σε πίεση  $P$ , γίνεται δια μέσου ενός σωλήνα διατομής  $dA$  και μήκους  $l$ , τότε το έργο που γίνεται κατά τη μεταφορά αυτή είναι

$$W_{\pi} = P (dA) \cdot l = P (dV) \quad (1.4)$$

Για τη μονάδα του όγκου το έργο θα είναι

$$\frac{W_{\pi}}{dV} = P = \Phi_{\pi} \quad (\text{dynes} \cdot \text{cm}^{-2}) \quad (1.5)$$

Από τις εξισώσεις (1.1), (1.3) και (1.5) βρίσκουμε

$$\Phi = P + g \cdot \rho \cdot Z \quad (\text{dynes} \cdot \text{cm}^{-2}) \quad (1.6)$$

Αν η  $P$  μετρηθεί με μανόμετρο και το μανομετρικό ύψος είναι  $H$  τότε  $P = g \cdot \rho \cdot H$  και η εξίσωση (1.6) γίνεται

$$\Phi = g \cdot \rho (H + Z) \quad (\text{dynes} \cdot \text{cm}^{-2}) \quad (1.7)$$

Το δυναμικό του εδαφικού νερού στην εξίσωση (1.7) αναφέρεται στη μονάδα του όγκου του. Μπορεί όμως να εκφραστεί στη μονάδα του βάρους οπότε από τη εξίσωση (1.7) έχουμε

$$\frac{\Phi}{\rho g} = H + Z = h \quad (\text{cm στήλης νερού}) \quad (1.8)$$

Στην περίπτωση αυτή το δυναμικό λέγεται *υδραυλικό φορτίο*, σημειώνεται με  $h$  όπως φαίνεται στην εξίσωση (1.8), ισούται με το άθροισμα  $H+Z$ , το οποίο είναι το ύψος του μηνίσκου στο μανόμετρο από το επίπεδο αναφοράς των υψών και έχει διαστάσεις μήκους.

Αυτό μας δίνει το πλεονέκτημα να μετράμε σε ένα πηγάδι ή σε ένα πιεζόμετρο, σε περίπτωση υπόγειας ροής, το συνολικό φορτίο, που στην περίπτωση αυτή είναι το άθροισμα του φορτίου πίεσης και του φορτίου βαρύτητας (Πουλοβασίλης Α., 1986. “Σημειώσεις Γεωργικής Υδραυλικής” - Αρδεύσεις Ι).

### Ο νόμος του Darcy

Η θεωρία της κίνησης του νερού μέσα σε πορώδη μέσα βασίζεται στο νόμο του Darcy που διατυπώθηκε από τον H. Darcy (1856) ύστερα από πειράματα που έκανε στη Dijon της Γαλλίας, παρακολουθώντας την κατακόρυφη ροή του νερού μέσα σε στήλη από άμμο κορεσμένη με νερό. Στη διαφορετική του μορφή και για την κατακόρυφη διεύθυνση ο νόμος του Darcy εκφράζεται

$$u = -K \frac{dh}{dz} \quad (LT^{-1}) \quad (1.9)$$

όπου

$u$  = η ταχύτητα ροής,

$K$  = μια σταθερά που ο Darcy την περιέγραψε σαν «συντελεστή που εξαρτάται από τον βαθμό περατότητάς της άμμου» και αργότερα, ονομάστηκε *υδραυλική αγωγιμότητα* και

$\frac{dh}{dz}$  = η κλίση (gradient) του υδραυλικού φορτίου κατά την κατακόρυφη διεύθυνσή

που είναι διάνυσμα με μέγεθος, διεύθυνση και φορά, που είναι η δύναμη που προκαλεί την κίνηση του νερού.

Το αρνητικό σημείο στην εξίσωση (1.9) υποδηλώνει το γεγονός ότι η κατεύθυνση της ταχύτητας ροής είναι αντίθετη προς την κατεύθυνση που το  $h$  αυξάνει. Η ταχύτητα ροής στην εξίσωση (1.9) συνήθως αναφέρεται σαν “μακροσκοπική ταχύτητα ροής” γιατί στην πραγματικότητα είναι η ταχύτητα εισόδου του νερού στο πορώδες μέσο ή εξόδου από αυτό. Η πραγματική ταχύτητα ροής με την οποία κινείται το νερό μέσα στους πόρους, είναι φανερό πως θα πρέπει να είναι, κατά μέσο όρο, μεγαλύτερη από την μακροσκοπική μια και η επιφάνεια η διαθέσιμη για ροή είναι ποσοστό της επιφάνειας του πορώδους μέσου (Πουλοβασίλης Α., 1986. “Σημειώσεις Γεωργικής Υδραυλικής” - Αρδεύσεις Ι). Η πραγματική ταχύτητα μπορεί να βρεθεί από τη μακροσκοπική αν αυτή διαιρεθεί με το πορώδες ( $n$ ), δηλαδή

$$u_a = \frac{u}{n} \quad (1.10)$$

Ο νόμος του Darcy ισχύει για κορεσμένη και ακόρεστη ροή, με την προϋπόθεση ότι η ροή αυτή είναι *στρωτή*. Ο έλεγχος της ροής γίνεται με τη βοήθεια του *αριθμού Reynolds* που, για την περίπτωση ροής σε πορώδη μέσα, εκφράζεται με τη σχέση

$$Re = \frac{d \cdot u_a \cdot \rho}{\nu} \quad (1.11)$$

όπου

$\nu$  το ιξώδες του υγρού ( $\text{Kgr} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$  ή  $\text{gr} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$ ),

$\rho$  η πυκνότητα του υγρού ( $\text{Kgr} \cdot \text{m}^{-3}$  ή  $\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),

$u_a$  η πραγματική ταχύτητα ροής και

$d$  η μέση διάμετρος των πόρων του μέσου.

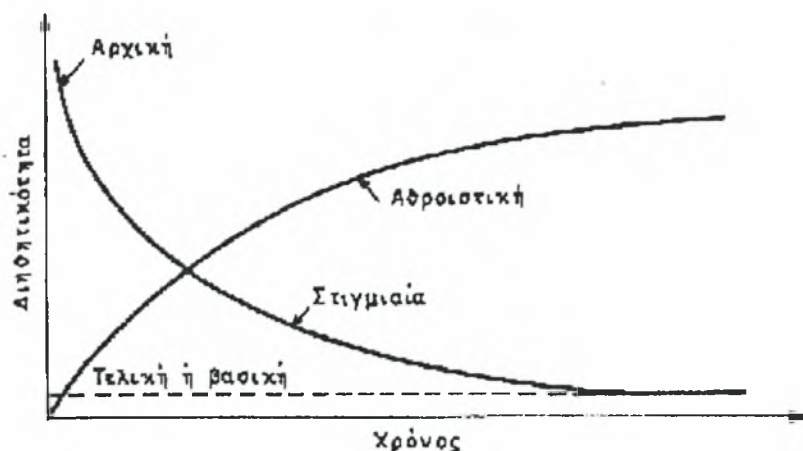
Ο νόμος του Darcy ισχύει για τιμές  $Re \leq 1$ . Για τιμές του  $Re$  από 1 μέχρι 10 είναι απροσδιόριστη, ενώ για τιμές μεγαλύτερες του 10 η ροή είναι τυρβώδης.

### 1.3.1 Η ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Κατά τη διάρκεια μιας βροχής ή άρδευσης το νερό κινείται, δια της επιφάνειας τους εδάφους, προς τα βαθύτερα στρώματα. Η διείσδυση αυτή του νερού στο έδαφος, που εξαρτάται από την κατάσταση της επιφάνειας, τη δομή και την υφή του εδάφους, τη σε βάθος ομοιογένεια και, στα αρχικά στάδια, από την εδαφική υγρασία, αποτελεί το φαινόμενο της *διηθήσεως*.

Όταν ένα έδαφος είναι αρχικά ξηρό και δέχεται στην επιφάνειά του νερό, διαμορφώνεται μια αρκετά σαφής διαχωριστική επιφάνεια ανάμεσα στο έδαφος που έχει ήδη υγρανθεί από το κατερχόμενο νερό και στο έδαφος που είναι ακόμη ξηρό. Η διαχωριστική αυτή επιφάνεια λέγεται *υγρό μέτωπο* ή *μέτωπο προσπελάσεως*. Η υγρή περιοχή που βρίσκεται ανάμεσα στην επιφάνεια του εδάφους και στο μέτωπο προσπελάσεως λέγεται *ζώνη μεταφοράς*. Η ζώνη αυτή επιμηκύνεται συνέχεια όσο κρατάει η εφαρμογή του νερού, έχει σχεδόν σταθερή περιεκτικότητα σε νερό με βαθμό κορεσμού 80 – 95% και σχεδόν σταθερό, ελαφρά αρνητικό, ύψος πίεσεως που κυμαίνεται από –5cm μέχρι –25cm.

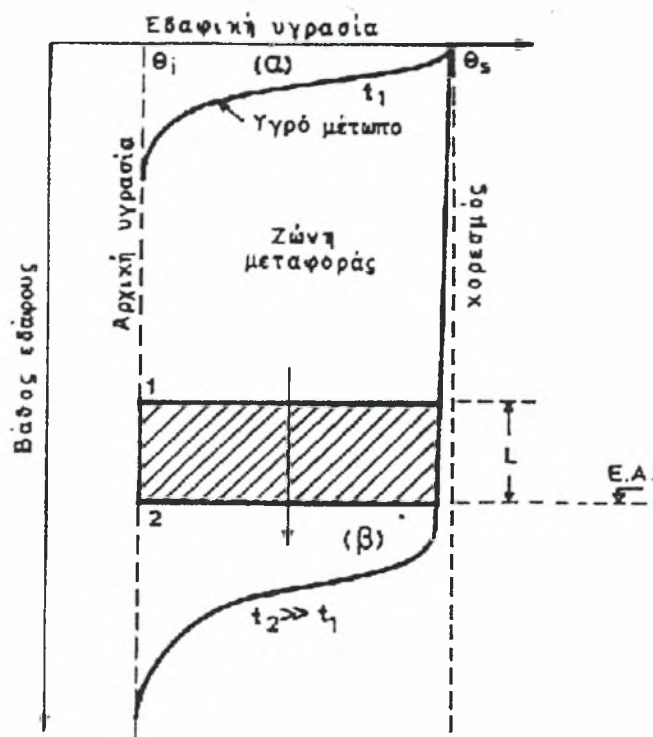
Η ταχύτητα με την οποία το νερό διηθείται στο έδαφος δεν είναι σταθερή με το χρόνο. Αρχικά η ταχύτητα αυτή είναι πολύ μεγάλη αλλά, με την πάροδο του χρόνου, ελαττώνεται σημαντικά μέχρι κάποιο όριο μετά το οποίο παραμένει σταθερή. Η ταχύτητα διηθήσεως στην αρχή του φαινομένου λέγεται *αρχική διηθητικότητα* και η σταθερή που παίρνει μετά την παρέλευση αρκετού χρόνου λέγεται *τελική ή βασική διηθητικότητα*. Η ταχύτητα διηθήσεως σε οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια του φαινομένου λέγεται *στιγμιαία διηθητικότητα*. Τα παραπάνω δείχνουν ότι η αρχική και η τελική διηθητικότητα αποτελούν τις δύο οριακές τιμές της στιγμιαίας διηθητικότητας. Αν σε ένα διάγραμμα τοποθετηθούν τα σημεία που αντιστοιχούν στις τιμές της στιγμιαίας διηθητικότητας για κάθε χρόνο, σχηματίζεται η *καμπύλη της στιγμιαίας διηθητικότητας*. Η ποσότητα του νερού που διηθείται στο έδαφος από την αρχή του φαινομένου μέχρι κάποιο χρόνο λέγεται *αθροιστική διηθητικότητα*. Αν σε ένα διάγραμμα τοποθετηθούν οι αθροιστικές διηθητικότητες που αντιστοιχούν σε διάφορους χρόνους σχηματίζεται η *καμπύλη της αθροιστικής διηθητικότητας*. Οι καμπύλες της στιγμιαίας και αθροιστικής διηθητικότητας έχουν πρωταρχική σημασία στην εφαρμογή των αρδεύσεων γιατί, με βάση αυτές, καθορίζεται ο χρόνος εφαρμογής του νερού και η διάρκεια της αρδεύσεως. Τυπικές καμπύλες διηθητικότητας δίνονται στο **Σχήμα 1.4**.



**Σχήμα 1.4** Τυπικές καμπύλες στιγμιαίας και αθροιστικής διηθητικότητας ομογενών εδαφών (Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1984)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η στιγμιαία διηθητικότητα στα αρχικά στάδια διηθήσεως είναι μεγάλη και στη συνέχεια ελαττώνεται μέχρι την τελική της τιμή. Η εξήγηση της συμπεριφοράς αυτής μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του **Σχήματος 1.5**, όπου δίνεται η θέση του υγρού μετώπου σε δύο διαφορετικούς χρόνους. Η καμπύλη (α) δείχνει τη θέση του υγρού μετώπου αμέσως μετά την έναρξη της διηθήσεως. Εδώ η ζώνη μεταφοράς είναι ακόμα ασχημάτιστη και το ύψος θέσεως δεν έχει σχεδόν καμία επίδραση στην προς τα κάτω κίνηση του νερού. Αντίθετα, το ύψος πίεσεως παίζει καθοριστικό ρόλο γιατί αμέσως πάνω από το μέτωπο προσπελάσεως το ύψος αυτό είναι μικρό (από  $-5$  cm μέχρι  $-25$  cm) ενώ, αμέσως κάτω από αυτό, το ύψος πίεσεως παίρνει μεγάλες αρνητικές τιμές ανάλογα με την αρχικά περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία. Η υδραυλική κλίση στην περίπτωση αυτή είναι πολύ μεγάλη με συνέπεια η αρχική διηθητικότητα να παίρνει μεγάλες τιμές. Η καμπύλη (β) δείχνει τη θέση του υγρού μετώπου μετά την παρέλευση αρκετού χρόνου από την έναρξη της διηθήσεως. Εδώ η ζώνη μεταφοράς είναι καλά σχηματισμένη. Ας εξετάσουμε ένα κομμάτι της ζώνης αυτής, που αντιπροσωπεύεται από τη διαγραμμισμένη περιοχή στο **Σχήμα 1.5**. Το ύψος πίεσεως στην αρχή και το τέλος της περιοχής (σημεία 1 και 2) είναι μικρό, κυμαινόμενο από  $-5$  cm μέχρι  $-25$  cm, γιατί η υγρασία στη ζώνη μεταφοράς είναι σχεδόν ομοιόμορφη και πολύ κοντά στον κορεσμό. Έτσι, διαφορά στην πίεση ανάμεσα στα σημεία 1 και 2 δεν υπάρχει. Αν θεωρήσουμε ότι το επίπεδο αναφοράς περνάει από το σημείο 2, το ύψος θέσεως του σημείου αυτού είναι μηδέν ενώ το ύψος θέσεως του σημείου 1 είναι ίσο με το ύψος  $L$ . Η υδραυλική κλίση στην περιοχή είναι  $i = dh/dz = L/L = 1$  και, σύμφωνα με το νόμο του Darcy, η ταχύτητα με την οποία το νερό κινείται προς τα κάτω είναι  $u = i K = K$ , δηλαδή σταθερή και ίση με την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Βέβαια, και στην περίπτωση αυτή, οι διαφορές στα ύψη πίεσεως στην περιοχή του υγρού μετώπου είναι το ίδιο σημαντικές όπως και στην περίπτωση της καμπύλης (α), αλλά αυτό δεν παίζει κανένα ρόλο γιατί, για να φτάσει εκεί το νερό, πρέπει πρώτα να περάσει απ' τη ζώνη μεταφοράς που είναι ο ρυθμιστής της ροής.





**Σχήμα 1.5** Κίνηση του νερού στο έδαφος κατά τη διάρκεια της διηθήσεως (Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1984)

Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω αφορούν εδάφη που σε όλο το βάθος τους είναι ομοιόμορφα και ομογενή. Αν το έδαφος αποτελείται από στρώσεις με διαφορετικά χαρακτηριστικά, το φαινόμενο γίνεται πολύ πιο πολύπλοκο. Εκείνο που μπορεί να λεχθεί στην περίπτωση αυτή είναι ότι η αρχική διηθητικότητα και η μεταβολή της στιγμιαίας και αθροιστικής διηθητικότητας, όσο το υγρό μέτωπο βρίσκεται ακόμα στην επιφανειακή στρώση, καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά της στρώσης αυτής. Όταν το νερό προχωρήσει στις επόμενες στρώσεις, η διηθητικότητα θα παρουσιάσει στρεβλώσεις σε σχέση με την περίπτωση του ομοιόμορφου εδάφους, ανάλογα με τις ιδιότητες των στρώσεων αυτών, και η τελική διηθητικότητα θα διαμορφωθεί κοντά στην τιμή της μέσης κατακόρυφης υδραυλικής αγωγιμότητας.

### Παράγοντες που επηρεάζουν τη διηθητικότητα του εδάφους

Οι χημικές ιδιότητες του εδάφους παίζουν σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο της διήθησης. Οι χημικές ιδιότητες μπορούν να διαχωριστούν σε μόνιμες ή έμφυτες και στις χημικές ιδιότητες που αλλάζουν. Ως μόνιμες θεωρούνται η ορυκτολογική σύσταση και η πυκνότητα φορτίου της αργίλου και οι χημικές ιδιότητες που αλλάζουν είναι η σύνθεση του εδαφικού διαλύματος, το pH, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC), το δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh και το ποσοστό της οργανικής ουσίας.

Οι χημικές ιδιότητες καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους όπως η συσσωμάτωση, η θρόμβωση και η διασπορά της αργίλου, η πυκνότητα, το πορώδες, η διόγκωση, η ικανότητα κατακράτησης νερού, η συνοχή, η σταθερότητα των συσσωματωμάτων, ο θρυμματισμός, η δημιουργία επιφανειακής κρούστας κ.α.

Οι κύριοι παράγοντες που ρυθμίζουν τις διαδικασίες της διήθησης μπορούν να εστιαστούν στην υδραυλική αγωγιμότητα (ρυθμό διηθητικότητας), στον σχηματισμό ή όχι επιφανειακής κρούστας και στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, γι' αυτό και μελετάται η επίδραση που έχουν όλες οι ιδιότητες (φυσικές και χημικές) στους τρεις αυτούς παράγοντες.

Η διεργασία σύνδεσης των κολλοειδών συστατικών και της συσσωμάτωσης σε στοιχειώδη σωματίδια ονομάζεται *θρόμβωση* των κολλοειδών. Με τη συνένωση θρόμβων, θρομβωμένων κολλοειδών, σχηματίζονται τα συσσωματώματα. Η αντίστροφη διεργασία δηλαδή η αποσύνδεση των κολλοειδών συστατικών του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα να διασπείρει τα κολλοειδή συστατικά του εδάφους σ' ένα μέσο διασποράς που συνήθως είναι το νερό. Η διεργασία αυτή καλείται *διασπορά* και επιτυγχάνεται με χημικές κυρίως αντιδράσεις. Ο τύπος, το μέγεθος και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων εξαρτάται από το ποσοστό της αργίλου, το είδος του ορυκτού που επικρατεί στην άργιλο, από την παρουσία και το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου, το ποσοστό και το είδος της οργανικής ουσίας του εδάφους, το ποσοστό και το είδος των οξειδίων του σιδήρου, του αργιλίου και του πυριτίου, καθώς και από το είδος και την πυκνότητα των μικροοργανισμών του εδάφους.

Ο σχηματισμός επιφανειακής κρούστας είναι αποτέλεσμα δύο αλληλοσυμπληρούμενων μηχανισμών: (i) της φυσικής καταστροφής και αποσύνδεσης των συσσωματωμάτων λόγω της επίδρασης των σταγόνων βροχής και (ii) της χημικής διασποράς και μετακίνησης των σωματιδίων της αργίλου σε ένα βάθος 0,1-0,5 mm όπου φράσσουν τους πόρους διαμέσω των οποίων κινείται το νερό στα βαθύτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής. Ο πρώτος μηχανισμός είναι ο κυρίαρχος και εξαρτάται από την κινητική ενέργεια των σταγόνων, ενώ ο δεύτερος πολύ σημαντικός μηχανισμός, καθορίζεται κυρίως από την συγκέντρωση και σύνθεση των κατιόντων στο έδαφος και στο νερό που εφαρμόζεται (Menachem Agassi, Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation, 1996).

Επίσης η διηθητικότητα εξαρτάται, εκτός από τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων και τον σχηματισμό ή όχι επιφανειακής κρούστας και επομένως από όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν αυτά, από τον αρχικό ρυθμό διήθησης, την αρχική περιεκτικότητα σε νερό, την ένταση της βροχής και τον χρόνο που έχει περάσει από την έναρξη της διαβροχής.

*Η επίδραση της ορυκτολογικής και μηχανικής σύστασης των εδαφών:* Είναι γενικώς γνωστό ότι η αύξηση του ποσοστού της αργίλου στο έδαφος, αυξάνει τη σταθερότητα της δομής και των συσσωματωμάτων και μειώνεται ο σχηματισμός επιφανειακής κρούστας, αφού τα τεμαχίδια της αργίλου δρουν ως συγκολλητικά μέσα, βοηθώντας έτσι την διαδικασία της συσσωμάτωσης.

Το είδος της αργίλου που επικρατεί στο έδαφος επηρεάζει τις διαδικασίες της διήθησης, αλλά η επίδραση αυτή είναι δύσκολο να προσδιοριστεί επειδή τα εδάφη συχνά συνθέτονται από πολλά αργιλικά ορυκτά. Στις αργίλους που διαστέλλονται όταν διαβρέχονται, κλείνουν οι πόροι τους και γίνονται σχεδόν αδιαπέρατες στο νερό, ενώ σε αυτές που όταν ξηραίνονται σχηματίζουν ρωγμές, το νερό μπορεί να διεισδύσει ταχύτατα με αποτέλεσμα να έχουν πολύ μεγάλη αρχική διηθητικότητα.

Σύμφωνα με τον Emerson (1964) οι διογκούμενοι άργιλοι όπως ο μοντμοριλονίτης υπόκεινται λιγότερο σε θρυμματισμό απ' ότι ο καολινίτης ή ο ιλλίτης που δεν διογκώνονται κατά τη διαβροχή, επειδή η πίεση που αναπτύσσεται από τον παγιδευμένο αέρα εκτονώνεται κατά τη διόγκωση. Επίσης στο μοντμοριλονίτη παρατηρείται σχίσμο της επιφάνειας λόγω του συνδυασμού της πίεσης του παγιδευμένου αέρα και της διόγκωσης των συσσωματωμάτων (Menachem Agassi, Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation, 1996).

Τα ανταλλάξιμα κατιόντα παίζουν μεγάλο ρόλο στη συσσωμάτωση ή όχι των εδαφών. Η θρομβωτική ικανότητα των κατιόντων ακολουθεί τη σειρά:  $Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} > Na^{+}$ .

Η επίδραση του ποσοστού ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) στο νερό και του νερού βροχής ή άρδευσης: Είναι γνωστό ότι περιοχές που δέχονται πολλές βροχές παρουσιάζουν μειωμένη διηθητικότητα με αποτέλεσμα μεγάλη επιφανειακή απορροή. Η μειωμένη διηθητικότητα οφείλεται στο νερό της βροχής που έχει μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Νερό με μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $<0,5 \text{ m S cm}^{-1}$  και ιδιαίτερα  $<0,2 \text{ m S cm}^{-1}$ ) έχει την τάση να εκπλύνει τα ελεύθερα άλατα και ιδιαίτερα το ασβέστιο το οποίο έχει θετική επίδραση τόσο στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους όσο και στη δομή του εδάφους.

Τα διάφορα συστήματα άρδευσης μπορούν να θεωρηθούν επιτυχή μόνο όταν η διηθητικότητα διατηρείται καθ' όλη την εδαφική κατατομή. Η διηθητικότητα εξαρτάται από το ποσοστό του ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) και από τη συγκέντρωση των ελεύθερων αλάτων στο νερό που διηθείται.

Νερό που μεταφέρει άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, έχει ευνοϊκή επίδραση στα χαρακτηριστικά του εδάφους, αφού συντελούν στη συσσωμάτωση και συνεπώς βελτιώνεται η δομή του και αυξάνεται η διηθητικότητά του. Αντίθετα, νερό που έχει μεγάλο ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου, καταστρέφει τη δομή του εδάφους, μεταβάλλοντάς το σε άμορφη συμπαγή μάζα.

Η επίδραση του pH: Το pH καθορίζει τη διαλυτότητα των περισσότερων στοιχείων, καθώς και τη διαθεσιμότητά τους, την ανεπάρκεια και την τοξικότητά τους. Όταν το pH αυξάνεται το ανταλλάξιμο  $Al^{3+}$  μειώνεται και αυτό μπορεί να προκαλέσει διασπορά της αργίλου όταν η συγκέντρωση ηλεκτρολυτών στο εδαφικό διάλυμα είναι χαμηλή.

Η επίδραση των οξειδίων και υδροξειδίων του Fe και Al: Υπάρχουν διαφορετικές θεωρίες που εξηγούν τους μηχανισμούς της επίδρασης των υποξειδίων : (i) Ο σίδηρος και το αργίλιο στο διάλυμα δρουν ως θρομβωτικά της αργίλου λόγω του μεγάλου σθένους τους. Λόγω του pH του εδαφικού διαλύματος είναι πιθανότερο αυτή η διαδικασία να αφορά περισσότερο το αργίλιο από το σίδηρο (ii) τα υποξείδια φαίνεται να λειτουργούν ως σύνδεσμοι μεταξύ της αργίλου και των οργανικών πολυμερών (iii) τα υποξείδια μπορούν να σχηματίσουν ένα τζελ στην επιφάνεια των αργίλων.

Ο σίδηρος και το αργίλιο μπορούν να συμπεριφέρονται διαφορετικά κάτω από διαφορετικές συνθήκες όπως το pH, τα ορυκτά της αργίλου, την οργανική ουσία και τη σύνθεση του εδαφικού διαλύματος. Το αργίλιο φαίνεται να παίζει σημαντικότερο ρόλο στη συσσωμάτωση των εδαφικών τεμαχιδίων απ' ό,τι το σίδηρο λόγω της υψηλότερης διαλυτότητάς του σ' ένα μεγάλο εύρος του pH, αλλά συνήθως βρίσκεται σε μικρότερα ποσά απ' ό,τι ο σίδηρος στο έδαφος.

Φυσικά το αποτέλεσμα των υποξειδίων στην σταθερότητα των συσσωματωμάτων εξαρτάται από το pH (Menachem Agassi, Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation, 1996).

Η επίδραση της οργανικής ουσίας: Η οργανική ουσία είναι ένας από τους πιο σημαντικούς σταθεροποιητικούς παράγοντες των συσσωματωμάτων. Πλακίδια από παραλλήλως προσανατολισμένους κρυστάλλους αργίλου συνδέονται μεταξύ τους :

- με ηλεκτροστατικές έλξεις μεταξύ των φορτίων (+ των ακμών και - των βάσεων) είτε απευθείας (+) (-) ή με τη μεσολάβηση γέφυρας κατιόντος.

- με ηλεκτροστατικές έλξεις μεταξύ των φορτίων (+) ή (-) των ακμών του πλακιδίου προς όμοια φορτία άλλου πλακιδίου με τη μεσολάβηση πολυμερισμένων



οργανικών ενώσεων και ειδικότερα των καρβοξυλικών, καρβονυλικών και αμινικών ομάδων τους, με ή χωρίς την πρόσθετη μεσολάβηση γέφυρας κατιόντος.

- με δεσμούς υδρογόνου είτε από τα ΟΗ των ακμών των πλακιδίων με τις καρβονυλικές και αμινικές ομάδες του οργανικού πολυμερούς με τα οξυγόνα των φύλλων Si του πλακιδίου.

- με δυνάμεις Van der Waals που αναπτύσσονται μεταξύ των πλακιδίων ή μεταξύ των πλακιδίων και του οργανικού πολυμερούς.

Από την άλλη πλευρά οι κόκκοι της άμμου (κρύσταλλος χαλαζία) συνδέονται μεταξύ τους με τη μεσολάβηση της ιλύος και ανόργανων και οργανικών κολλοειδών. Η σύνδεση αυτή είναι δυνατόν να γίνει με χημικούς δεσμούς μεταξύ πηκτών εξ ένυδρων αργιλοπηριτικών ενώσεων στην επιφάνεια του χαλαζία και ενεργών ομάδων άλλων συστατικών των συσσωματωμάτων (Ιωάννης Μήτσιος, Εδαφολογία, 1999).

Έτσι, η σταθερότητα των συσσωματωμάτων αυξάνεται όσο αυξάνεται το κλάσμα των υδατανθράκων (πολυσακχαρίδια) και η θρομβωτική τους ικανότητα επηρεάζεται από το μοριακό βάρος, το φορτίο του πολυμερούς και την συγκέντρωση των ηλεκτρολυτών. Κατιονικά πολυμερή επιδρούν θετικά στην θρόμβωση και διατηρούν υψηλό βαθμό διηθητικότητας ακόμα και με αποσταγμένο νερό, ενώ ανιονικά πολυμερή είναι αποτελεσματικά στην θρόμβωση μόνο σε διαλύματα με υψηλή συγκέντρωση ηλεκτρολυτών.

Σε πολύ υψηλές περιεκτικότητες σε οργανική ουσία το παρουσιαζόμενο υδροφοβικό φαινόμενο μπορεί να αντιστρέψει τη θετική σχέση μεταξύ οργανικής ουσίας και σταθερότητας συσσωματωμάτων.

Τέλος, όταν το έδαφος είναι σχετικά συνεκτικό και υγρό, τα *εδαφοκαλλιεργητικά μηχανήματα* το συμπιέζουν, ακριβώς κάτω από το βάθος στο οποίο φτάνουν (10 με 15 cm), με αποτέλεσμα να δημιουργείται στη θέση αυτή μια *υπεδάφια συμπαγής αδιαπέρατη στρώση* που δρα ανασχετικά στην προς τα κάτω κίνηση του νερού. Η στρώση αυτή μπορεί να καταστραφεί με βαθιά άρωση ή χρήση υπεδαφοκαλλιεργητών.

### **1.3.2 ΩΦΕΛΙΜΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ**

Για τον υπολογισμό της ποσότητας νερού που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα χωράφι και που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευχέρεια από τις καλλιέργειες για την κανονική ανάπτυξη και απόδοσή τους είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι παρακάτω εδαφικές παράμετροι.

#### ***Η υδατοϊκανότητα του εδάφους***

Σαν υδατοϊκανότητα μπορεί να οριστεί η υγρασία που συγκρατεί ένα βαθύ, ομοιόμορφο και καλά στραγγιζόμενο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού ή είναι το όριο εκείνο της εδαφικής υγρασίας στο οποίο η τιμή της τριχοειδούς αγωγιμότητας που αντιστοιχεί είναι τόσο μικρή, ώστε πρακτικά να έχει σταματήσει κάθε ουσιαστική κίνηση του νερού στο έδαφος, ανεξάρτητα από τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις. Συνήθως, η υγρασία του εδάφους θεωρείται ότι φτάνει στην υδατοϊκανότητα τρεις με πέντε μέρες μετά από βροχή ή άρδευση, ανάλογα με τη δομή και την υφή του εδάφους. Η υδατοϊκανότητα αποτελεί το πάνω όριο της χρήσιμης στα φυτά εδαφικής υγρασίας.



## Το σημείο μόνιμης μαράνσεως

Ενώ η υδατοϊκανότητα αποτελεί το πάνω όριο της χρήσιμης για τα φυτά υγρασίας, το αντίστοιχο κάτω όριο της είναι το σημείο μόνιμης μαράνσεως. Όταν η εδαφική υγρασία φτάσει στο σημείο αυτό, τα φυτά δεν μπορούν να πάρουν από το έδαφος όλο το νερό που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών τους και για το λόγο αυτό αρχίζουν να μαραίνονται. Το σημείο μόνιμης μαράνσεως δεν είναι σταθερό, αλλά εξαρτάται από την υφή και τη δομή του εδάφους, το είδος και την κατάσταση που βρίσκονται τα φυτά, καθώς και από την συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος και τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Σήμερα, σαν αντιπροσωπευτική τιμή του σημείου μαράνσεως όλων των εδαφών, έχει γίνει δεκτή η τάση (δυναμικό πίεσης) των 15 atm.

Όταν η υγρασία του εδάφους φτάσει στο σημείο μόνιμης μαράνσεως η ανάπτυξη των φυτών σταματά. Τα φυτά εξακολουθούν να παίρνουν σε μικρές ποσότητες νερό από το έδαφος και κάτω από το σημείο αυτό, αυτές όμως είναι μόλις αρκετές για να τα κρατούν στη ζωή. Αν η υγρασία ελαττωθεί ακόμη περισσότερο θα προκληθεί μάρανση και θάνατος των φυτών. Το όριο αυτό της εδαφικής υγρασίας στο οποίο τα φυτά νεκρώνονται καλείται *έσχατο σημείο μαράνσεως*. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό μπορεί να φτάσει μέχρι τις 60 atm.

## Το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους

Ένα έδαφος, που έχει ξηρανθεί σε κλίβανο, αποτελείται από στερεά σωματίδια και πόρους γεμάτους με αέρα. Το ειδικό βάρος των στερεών σωματιδίων, που αναφέρεται σαν πραγματικό ειδικό βάρος του εδάφους, είναι σταθερό για όλα τα ορυκτά εδάφη με διακύμανση από 2,6 μέχρι 2,7 gr/cm<sup>3</sup>. Το ειδικό βάρος του εδάφους μαζί με τους γεμάτους με αέρα πόρους του αναφέρεται σαν φαινόμενο ειδικό βάρος και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την υφή και τη δομή του.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος (ASW) και το πραγματικό ειδικό βάρος (SWS) ενός εδάφους συνδέονται με τη σχέση

$$ASW = (1-n) SWS \quad (1.12)$$

όπου  $n$  είναι το πορώδες του εδάφους. Επειδή το πραγματικό ειδικό βάρος είναι σχετικά σταθερό, η **σχέση (1.12)** δείχνει ότι το φαινόμενο ειδικό βάρος μικραίνει όσο το πορώδες του εδάφους μεγαλώνει. Επειδή το πορώδες των ελαφρών (αμμωδών) εδαφών είναι μικρότερο από αυτό των βαριών (αργιλικών), τα πρώτα έχουν μεγαλύτερο φαινόμενο ειδικό βάρος από τα δεύτερα.

## Το ριζικό σύστημα των καλλιεργειών

Για την ποσοτική εκτίμηση του χρήσιμου στα φυτά νερού δεν αρκεί η γνώση μόνο του εδάφους. Πρέπει παράλληλα να είναι γνωστή και η μορφή του ριζικού συστήματος, η κατανομή, η πυκνότητα και το βάθος του κύριου όγκου της ρίζας. Το τελευταίο χαρακτηρίζεται ως *ζώνη ριζοστρώματος* ή απλώς *ριζόστρωμα*, RD, η οποία καθορίζει το μέγεθος της εδαφικής δεξαμενής που περιέχει το χρήσιμο για τα φυτά νερό, ενώ η κατανομή και η πυκνότητα των ριζών καθορίζουν το ποσοστό αντλήσεως της εδαφικής υγρασίας από τα διάφορα επίπεδά της.

Η επιφάνεια των ριζών των περισσότερων φυτών, συγκριτικά με τα άλλα μεγέθη τους, είναι τεράστια. Κοντά στο αναπτυσσόμενο άκρο κάθε ρίζας υπάρχει ένας

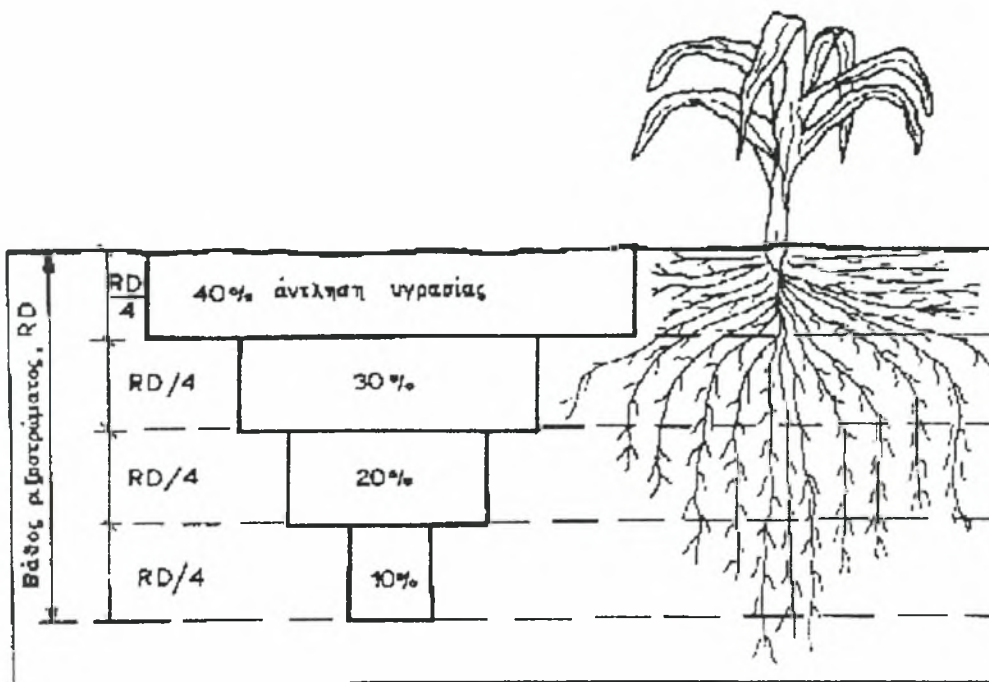
μεγάλος αριθμός ριζικών τριχιδίων σε επαφή με τα εδαφομόρια και τους πόρους που περιέχουν αέρα. Με τη βοήθεια της οσμώσεως και άλλων μηχανισμών, τα τριχίδια αποσπών υγρασία από το στρώμα νερού που περιβάλλει κάθε εδαφομόριο. Καθώς νερό αντλείται με τον τρόπο αυτό από ένα σημείο, η τάση της εδαφικής υγρασίας αυξάνει και δημιουργείται μεγάλη διαφορά δυναμικού έτσι που το νερό κινείται προς τις ρίζες από υγρότερες γειτονικές περιοχές. Το πόσο αποτελεσματική για τον επαρκή ανεφοδιασμό με νερό είναι η ροή αυτή εξαρτάται απ' το επίπεδο υγρασίας των γειτονικών περιοχών και την τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους που αντιστοιχεί στην υγρασία αυτή.

Πέρα όμως από την κίνηση προς τις ρίζες υπάρχει και παράλληλη ανάπτυξη των ριζών προς τις περιοχές του εδάφους που έχουν υψηλότερη υγρασία. Αν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές, οι ρίζες των φυτών συχνά αναπτύσσονται με τέτοια ταχύτητα που εξασφαλίζουν ικανοποιητική άντληση νερού ακόμη και όταν η υγρασία του εδάφους βρίσκεται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα.

Το είδος του ριζικού συστήματος που αναπτύσσει ένα φυτό καθορίζεται κατά κύριο λόγο από την κληρονομικότητα. Μερικά φυτά αναπτύσσουν μια ισχυρή κατακόρυφη ρίζα που εισδύει πολύ βαθιά μέσα στο έδαφος. Άλλα αναπτύσσουν επιπόλαιες πρωτογενείς ρίζες και πολλές πλευρικές. Στην κατηγορία αυτή μπορεί να ενταχθούν το σπανάκι και το σέλινο που ο κύριος όγκος των ριζών τους συγκεντρώνεται στα επιφανειακά 30 cm του εδάφους και της πατάτας που φτάνει μέχρι τα 60 cm. Το καλαμπόκι και η ντομάτα έχουν το ριζόστρωμά τους μέχρι βάθος 1,20 m ή και περισσότερο. Η μηδική στέλνει άνετα ρίζες μέχρι 3,0 m σε μη συνεκτικά εδάφη.

Στα περισσότερα φυτά οι ρίζες είναι συγκεντρωμένες στο πάνω μέρος του ριζοστρώματος κοντά στη βάση του φυτού. Αν το έδαφος είναι ομοιογενές σε όλη τη ζώνη του ριζοστρώματος και έχει επαρκή υγρασία σε όλο το βάθος του, τα φυτά αντλούν το μεγαλύτερο μέρος της υγρασίας από την επιφανειακή περιοχή και λιγότερο από τις υποκείμενες. Κάτω από τέτοιες συνθήκες το διάγραμμα αντλήσεως υγρασίας είναι σχεδόν πανομοιότυπο για όλες τις καλλιέργειες και έχει τη μορφή που φαίνεται στο **Σχήμα 1.6**, όπου η άντληση του νερού γίνεται κατά 40% από το πάνω τέταρτο της ζώνης του ριζοστρώματος, κατά 30% από το δεύτερο τέταρτο, κατά 20% από το τρίτο και κατά 10% από το κάτω τέταρτο. Σε ανομοιογενή εδάφη η κατανομή αυτή δεν ισχύει. Επίσης, η κατανομή αυτή δεν ισχύει κάτω από τη συνηθισμένη πρακτική των αρδεύσεων. Κατ' ελάχιστον, η ζώνη του ριζοστρώματος θεωρείται σαν ενιαία και στο χωράφι εφαρμόζεται τόσο νερό όσο χρειάζεται για να ανεβάσει την υγρασία του μέχρι την υδατοϊκανότητα. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, τα φυτά αντλούν με έντονο ρυθμό την υγρασία από το πάνω μέρος του ριζοστρώματος με αποτέλεσμα την ταχεία εξάντλησή της. Έτσι τα φυτά για να αναπτυχθούν αναγκάζονται να στείλουν ρίζες προς τα βαθύτερα στρώματα με αποτέλεσμα να υπάρχει μια σχεδόν ομοιόμορφη άντληση από όλη τη ζώνη του ριζοστρώματος.

Στην πραγματικότητα ο ρυθμός αντλήσεως και το βάθος του ριζοστρώματος διαμορφώνονται από την κατανομή της υγρασίας στο έδαφος, το είδος της καλλιέργειας και τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή. Για το λόγο αυτό, το βάθος του ριζοστρώματος πρέπει να καθορίζεται τοπικά για τα φυτά που πρόκειται να καλλιεργηθούν.



Σχήμα 1.6 Διάγραμμα αντίληψης υγρασίας από φυτά που αναπτύσσονται σε βαθιά διαπερατά εδάφη με υγρασία που προσεγγίζει την υδατοϊκανότητα σε όλο το βάθος του ριζοστρώματος (Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1984)

### Η διαθέσιμη και η ωφέλιμη στις καλλιέργειες υγρασία

Στην άρδευση δεν μας ενδιαφέρει οποιαδήποτε εδαφική υγρασία και βάθος εδάφους αλλά η διαθέσιμη και η ωφέλιμη.

Διαθέσιμη είναι η υγρασία ανάμεσα στην υδατοϊκανότητα και το σημείο μόνιμης μαράνσεως στο βάθος της ζώνης του ριζοστρώματος.

Η διαθέσιμη υγρασία υπολογίζεται με τη σχέση

$$ASM = \frac{FC - PWP}{100} ASW \cdot RD, \text{ mm ή m}^3 / \text{ στρέμμα} \quad (1.13)$$

όπου ASM είναι η διαθέσιμη υγρασία σε mm πάχους υδάτινου στρώματος, FC και PWP είναι αντίστοιχα η υδατοϊκανότητα και το σημείο μόνιμης μάρανσης εκφρασμένα σε % ξηρού βάρους, ASW είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος που παίρνεται αδιάστατο και RD είναι το βάθος του ριζοστρώματος σε mm. Η έκφραση αυτή είναι επίσης ισοδύναμη με την κυβικά μέτρα νερού ανά στρέμμα γης.

Είναι φανερό ότι η σχέση βρίσκει εφαρμογή μόνο στην περίπτωση που το έδαφος είναι ομοιογενές σε όλο το βάθος του ριζοστρώματος. Γενικά, στην περίπτωση που ένα έδαφος αποτελείται από n στρώσεις με πάχος  $d_i$  η καθεμιά, η σχέση υπολογισμού της διαθέσιμης υγρασίας θα πάρει τη μορφή

$$ASM = \sum_{i=1}^n \frac{FC_i - PWP_i}{100} ASW_i \cdot d_i, \text{ mm ή m}^3 / \text{ στρέμμα} \quad (1.14)$$



Στην πράξη, επειδή κατά κανόνα τα γεωργικά εδάφη είναι διαστρωμένα, η διαθέσιμη υγρασία υπολογίζεται για κάθε 30 cm βάθους χωριστά.

Η διαθέσιμη υγρασία διαμορφώνεται ανάλογα με την υφή και τη δομή των εδαφών. Γενικά, αμμώδη (ελαφρά) εδάφη που στραγγίζονται καλά έχουν μικρή διαθέσιμη υγρασία, ακολουθούν τα ιλυώδη (μέσα) και μετά τα αργιλώδη (συνεκτικά) που έχουν πολύ μεγάλη διαθέσιμη υγρασία. Στον **πίνακα 1.4** δίνονται ενδεικτικές τιμές της διαθέσιμης υγρασίας για διάφορες κατηγορίες εδαφών, ωστόσο, επειδή οι τιμές αυτές είναι καθαρά ενδεικτικές, θα πρέπει πάντοτε να προσδιορίζονται χωριστά σε κάθε περιοχή που πρόκειται να αρδευτεί.

**Πίνακας 1.4:** Ενδεικτικές τιμές διαθέσιμης υγρασίας διαφόρων τύπων εδαφών σε mm ανά μέτρο βάθους εδάφους (Τερζίδης Γ. Α. και Παπαζαφειρίου Ζ.Γ, 1987)

Έδαφος	Διαθέσιμη υγρασία
(1)	(2)
Πολύ χονδρόκοκκη άμμος	40 – 70
Χονδρόκοκκη μέχρι λεπτόκοκκη άμμος	70 – 100
Αμμοπηλώδες	100 – 150
Πηλώδες, ιλοπηλώδες	130 – 200
Αμμοαργιλώδες, ιλοαργιλώδες, αργιλώδες	150 – 220
Βαριά οργανικά εδάφη	170 – 250

Στο παρελθόν επικρατούσε η αντίληψη ότι οι καλλιέργειες μπορούσαν αποδοτικά να αντλήσουν όλη τη διαθέσιμη υγρασία, δηλαδή όλο το νερό από την υδατοϊκανότητα μέχρι το σημείο μόνιμης μαράνσεως. Αυτό αποδείχτηκε ότι δεν είναι σωστό. Η υγρασία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών είναι κλάσμα της διαθέσιμης υγρασίας, το μέγεθος του οποίου εξαρτάται από συνδυασμό των φυτικών, εδαφικών και κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε μια περιοχή. Το κλάσμα αυτό της διαθέσιμης υγρασίας λέγεται *ωφέλιμη υγρασία*.

Παράγοντες που συντελούν στον περιορισμό της ωφέλιμης υγρασίας είναι:

- Α) Φυτικοί, όπως καλλιέργειες με επιτόλαιο, αραιό και αναπτυσσόμενο με βραδύ ρυθμό ριζικό σύστημα. Καλλιέργειες που η κύρια ανάπτυξή τους γίνεται την εποχή που η εξατμισοδιαπνοή είναι μέγιστη. Όλες οι καλλιέργειες λαχανικών.
- Β) Εδαφικοί, όπως αβαθή εδάφη με δομή που εμποδίζει την ανάπτυξη των ριζών. Συνεκτικά εδάφη με περιορισμένη διηθητικότητα και κακό αερισμό. Εδάφη με μικρή ικανότητα συγκρατήσεως νερού, αλατούχα, με υπερβολική γονιμότητα, με υψηλή θερμοκρασία, με συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών στην επιφανειακή στρώση.
- Γ) Κλιματικοί, όπως συνθήκες που ευνοούν έντονο ρυθμό εξατμισοδιαπνοής, χωρίς βροχή κατά την κύρια περίοδο αναπτύξεως των καλλιεργειών.

Παράγοντες που συντελούν στην αυξημένη ωφέλιμη υγρασία είναι:

- Α) Φυτικοί, όπως καλλιέργειες με βαθύ, πυκνό και γρήγορα αναπτυσσόμενο ριζικό σύστημα, με ξηροφυτικά χαρακτηριστικά, όταν η κύρια περίοδος αναπτύξεως συμπίπτει με την εποχή των βροχών ή όταν ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι περιορισμένος, όταν η παραγωγή τους είναι σε ξηρά προϊόντα.

Β)Εδαφικοί, όπως εδάφη βαθιά με καλή δομή, καλή διηθητικότητα και αερισμό, μεγάλη ικανότητα συγκρατήσεως νερού, μικρή περιεκτικότητα σε άλατα, χωρίς υπερβολική γονιμότητα, με θρεπτικά στοιχεία ομοιόμορφα κατανεμημένα σε όλο το βάθος του ριζοστρώματος, με υπόγεια στάθμη νερού λίγο πιο κάτω από το ριζόστρωμα.

Γ)Κλιματικοί, όπως είναι ο βροχερός καιρός και αυτός που συνεπάγεται χαμηλή εξατμισοδιαπνοή κατά την περίοδο εντατικής ανάπτυξης των καλλιεργειών.

Οι παραπάνω παράγοντες διαμορφώνουν ένα *συντελεστή ωφέλιμότητας*  $F$  με τον οποίο πρέπει να πολλαπλασιάζεται η διαθέσιμη υγρασία για να υπολογιστεί η αντίστοιχη ωφέλιμη. Έτσι η σχέση της ωφέλιμης υγρασίας (USM) έχει τη μορφή

$$USM = F \cdot ASM \quad (1.15)$$

Κάτω από συνθήκες που ευνοούν αυξημένη ωφέλιμη υγρασία, η τιμή του συντελεστή  $F$  είναι της τάξεως του 0,75. Για συνθήκες που ευνοούν τον περιορισμό της ωφέλιμης υγρασίας το  $F$  παίρνει τιμές από 0,65 μέχρι 0,30. *Η ωφέλιμη υγρασία αντιπροσωπεύει το νερό που πρέπει να αποθηκεύεται στο χωράφι με κάθε άρδευση.*

## 2 ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής είναι ένα από τα βασικά στοιχεία που μαζί με την ωφέλιμη υγρασία αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο για τον σωστό προγραμματισμό των αρδεύσεων.

Το τελικό μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των φυτών, τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το φύλλωμά τους και τις συνθήκες διαχείρισης.

### 2.1 ΦΥΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

#### *Το είδος του φυτού*

Τα φυτικά είδη διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά την εποχή που αναπτύσσονται, το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος, την πυκνότητα και έκταση του φυλλώματος, το ύψος και όταν αυτά καλλιεργούνται ομαδικά, τον τρόπο σποράς και τις μεταξύ τους αποστάσεις. Οι διαφορές αυτές σε συνδυασμό με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, μπορεί να διαφοροποιήσουν το μέγεθος και την κατανομή της εξατμισοδιαπνοής από είδος σε είδος. Λόγω της σοβαρότητάς του, το θέμα αυτό αποτέλεσε αντικείμενο πολύχρονης εντατικής έρευνας. Βασισμένος στα πορίσματα αυτής της έρευνας, ο Penman (1956) έκανε τις ακόλουθες δύο γενικές διαπιστώσεις:

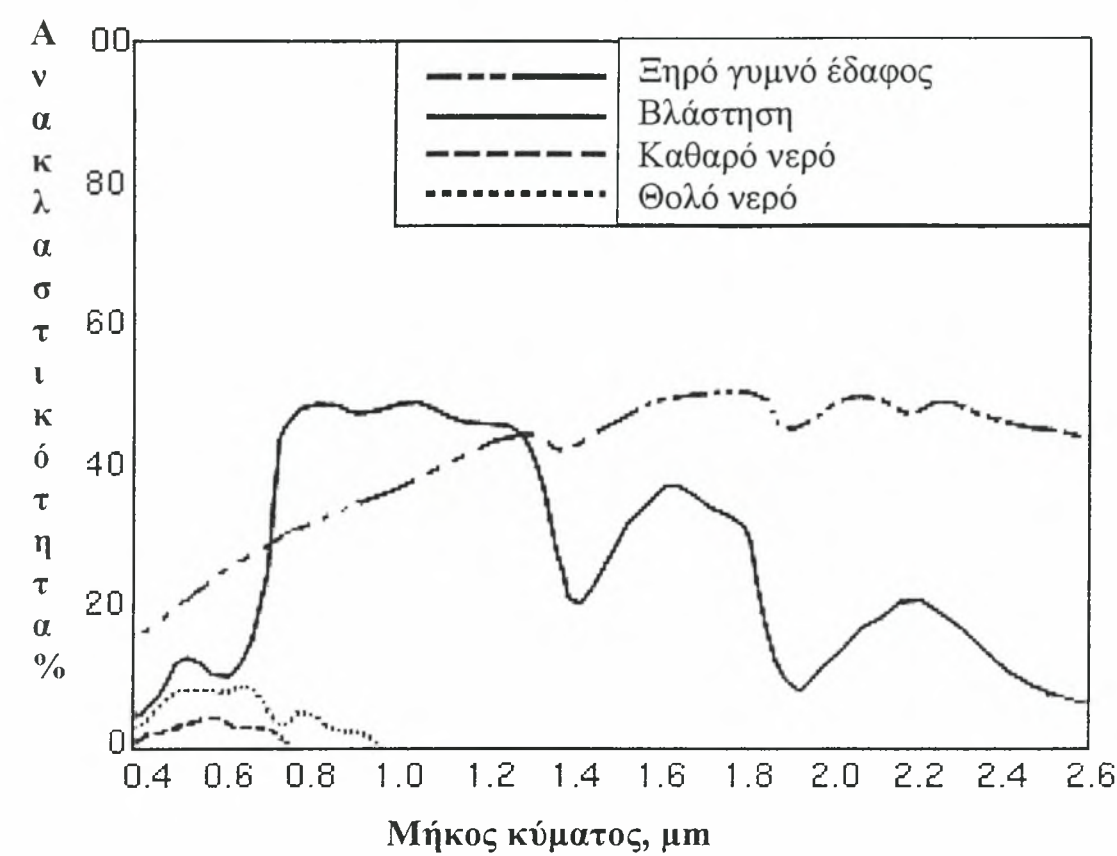
α. Καλλιέργειες που διαμορφώνουν το φύλλωμά τους σε χαμηλά επίπεδα, με παραπλήσια χαρακτηριστικά, που καλύπτουν πρακτικά όλη την επιφάνεια του εδάφους, που αναπτύσσονται σε χωράφια με επαρκή υγρασία σε όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, έχουν την ίδια εξατμισοδιαπνοή ανεξάρτητα από το φυτικό είδος που ανήκουν και τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο οποίο καλλιεργούνται.

β. Στην προηγούμενη περίπτωση, το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες της ατμόσφαιρας στην περιοχή του φυλλώματος και μόνο από αυτές. Εκτεταμένες μεταγενέστερες μελέτες που έγιναν σε πολλά μέρη του κόσμου επιβεβαιώνουν, με μικρές μόνο παρεκκλίσεις, την ορθότητα των διαπιστώσεων αυτών.

#### *Η ανακλαστικότητα του φυλλώματος*

Η ανακλαστικότητα (albedo) του φυλλώματος, αλλά και του εδάφους, καθορίζει το ύψος της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τις επιφάνειες που τη δέχονται και επηρεάζει κατά ανάλογο τρόπο το ύψος της εξατμισοδιαπνοής. Η ανακλαστικότητα επηρεάζεται από το χρώμα και την τραχύτητα της επιφάνειας που δέχεται την ακτινοβολία. Εκτεταμένες παρατηρήσεις που έγιναν από τους Monteith (1959) και Haise et al. (1963) έδειξαν ότι για τις περισσότερες πυκνά φυτεμένες καλλιέργειες η ανακλαστικότητα κυμαίνεται περίπου από το 20-30%. Για το γυμνό έδαφος, η ανακλαστικότητα εξαρτάται από τη σύστασή του και την περιεχόμενη σ' αυτό υγρασία. Έτσι, για ένα γυμνό έδαφος με κανονικές συνθήκες διαβροχής, η ανακλαστικότητα βρέθηκε να κυμαίνεται από 11-23%, ενώ σε ξηρό γυμνό έδαφος το ποσοστό είναι αρκετά μεγαλύτερο. Παρατηρήσεις σε μεμονωμένα φυτά έδειξαν ότι,

σαν συνέπεια της διαφορετικής ανακλαστικότητάς τους, η εξατμισοδιαπνοή επηρεάστηκε σε ποσοστό μέχρι 25%. Όταν τα φυτά αυτά καλλιεργήθηκαν σε πυκνή διάταξη, η διαφορά περιορίστηκε στο ελάχιστο. Ποσοστά ανάκλασης για τα τρία βασικά στοιχεία της γήινης επιφάνειας (νερό, βλάστηση, γυμνό έδαφος) σε σχέση με το μήκος κύματος φαίνονται και στο **Σχήμα 2.1**.



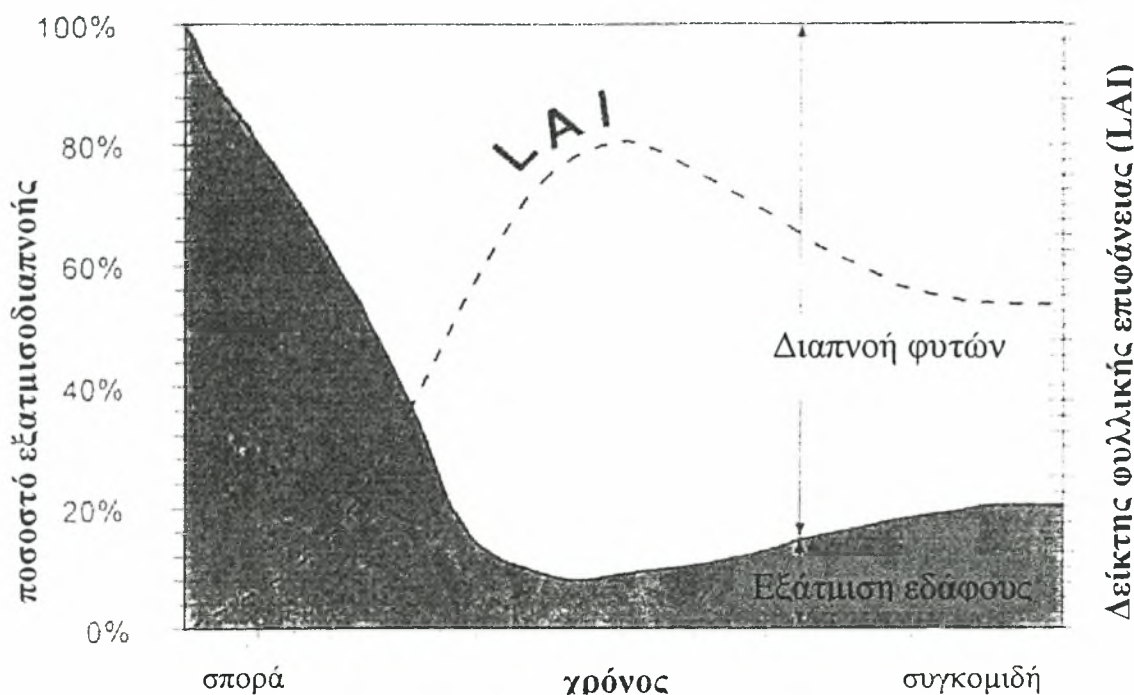
**Σχήμα 2.1:** Ποσοστό ανάκλασης βασικών στοιχείων της γήινης επιφάνειας (νερό καθαρό, νερό στροβιλώδες, βλάστηση, γυμνό έδαφος) σε σχέση με το μήκος κύματος (Δαλέζιος Ν. Ρ., 1999)

**Το ποσοστό καλύψεως του εδάφους από το φύλλωμα**

Επειδή η εξάτμιση και η διαπνοή συμβαίνουν ταυτόχρονα, δεν υπάρχει εύκολος τρόπος να διακριθούν μεταξύ τους οι δύο διαδικασίες. Εκτός από τη διαθεσιμότητα του νερού στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, η εξάτμιση σε καλλιεργούμενα εδάφη καθορίζεται κυρίως από το κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Το κλάσμα αυτό μειώνεται κατά την καλλιεργητική περίοδο όσο τα φυτά αναπτύσσονται και το φύλλωμα σκιάζει περισσότερη επιφάνεια . Όσο τα φυτά είναι μικρά (στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης), οι απώλειες του νερού οφείλονται κυρίως στην εξάτμιση του εδάφους. Όταν τα φυτά φτάσουν στο τελικό στάδιο ανάπτυξης και καλύπτουν όλο σχεδόν το έδαφος, η κύρια διαδικασία στην οποία οφείλονται οι απώλειες του νερού είναι η διαπνοή. Στο **Σχήμα 2.2**, παριστάνονται τα τμήματα της εξατμισοδιαπνοής σε εξάτμιση και διαπνοή σε αντιστοιχία με την έκταση του φυλλώματος ανά μονάδα επιφανείας εδάφους που βρίσκεται κάτω από το φύλλωμα. Κατά τη σπορά περίπου το 100% της εξατμισοδιαπνοής προέρχεται από



την εξάτμιση, ενώ σε πλήρη φυτοκάλυψη περισσότερο από 90% της εξατμισοδιαπνοής προέρχεται από την διαπνοή.



**Σχήμα 2.2** Το ποσοστό της εξατμισοδιαπνοής σε εξάτμιση και διαπνοή κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου για ένα ετήσιο φυτό (Allen et al., 1998)

Η ανακλαστικότητα του γυμνού εδάφους με κανονικές συνθήκες διαβροχής γενικά είναι μικρότερη από αυτή του φυλλώματος. Αυτό σημαίνει ότι το έδαφος απορροφά μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που είναι διαθέσιμο για εξάτμιση. Με βάση την ανακλαστικότητα και μόνο, αν η επιφάνεια του εδάφους είναι υγρή, η εξατμισοδιαπνοή θα είναι μεγαλύτερη όσο μικρότερο είναι το ποσοστό καλύψεως από το φύλλωμα της επιφάνειας του εδάφους. Μια τέτοια ανάλυση όμως είναι ατελής. Σε σωστά συμπεράσματα θα καταλήξουμε αν συγκρίνουμε την εξάτμιση από το έδαφος και τη διαπνοή από τα φυτά κάτω από τις συνθήκες υγρασίας που επικρατούν στο χωράφι. Μετά από βροχή ή άρδευση, το επιφανειακό έδαφος είναι υγρό και η εξάτμιση από αυτό υπερτερεί της διαπνοής. Όμως η επιφάνεια του εδάφους ξηραίνεται ταχύτατα έτσι που μετά από 2-3 ημέρες η εξάτμιση μηδενίζεται από έλλειψη υγρασίας. Αντίθετα, ο ρυθμός της διαπνοής διατηρείται αμείωτος σε όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, εφόσον το εδαφικό νερό διατηρείται στα επίπεδα της ωφέλιμης υγρασίας. Επειδή, κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, ο ρυθμός της διαπνοής διατηρείται αμείωτος ενώ εξάτμιση από το έδαφος γίνεται αποσπασματικά και μόνο όταν η επιφάνεια είναι υγρή, τελικά η εξατμισοδιαπνοή γίνεται μεγαλύτερη όσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό καλύψεως της επιφάνειας του εδάφους από την καλλιέργεια.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εξατμισοδιαπνοή γίνεται μέγιστη όταν η κάλυψη του εδάφους από το φύλλωμα είναι 100%. Αυτό όμως δεν αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση. Μετά από πολλές μακροχρόνιες παρατηρήσεις οι Marlatt (1961), Tanner (1963), και Swan et al. (1963) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για τις περισσότερες καλλιέργειες, όταν το ποσοστό καλύψεως είναι 50-60% της επιφάνειας του εδάφους, η εξατμισοδιαπνοή δεν διαφέρει πολύ από όταν το ποσοστό είναι 100%.



## ***Το ύψος των φυτών***

Γενικά, από τα δεδομένα που υπάρχουν, δεν φαίνεται ότι η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται από το ύψος των φυτών μιας καλλιέργειας. Σε πειράματα όμως που έγιναν σε θερμοκήπια, πράγματι παρατηρήθηκε ότι ψηλά φυτά παρουσίασαν πιο έντονη διαπνοή από χαμηλά. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι τα ψηλά μεμονωμένα φυτά, πέρα από την άμεση, δέχονται περισσότερη έμμεση ανοδική ακτινοβολία από το έδαφος που χρησιμοποιείται για διαπνοή. Στην περίπτωση όμως όχι μεμονωμένων φυτών αλλά καλλιιεργειών που καλύπτουν όλη την επιφάνεια του εδάφους, δεν υπάρχει διαφοροποίηση στην ακτινοβολία κάθε προελεύσεως που δέχονται, με συνέπεια να μη παρατηρείται διαφοροποίηση στην εξατμισοδιαπνοή.

## ***Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος***

Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή κατά έμμεσο τρόπο, σε σχέση με το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Σε υγρά εδάφη με ανοιχτή δομή όπου τα φυτά έχουν άφθονη υγρασία στη διάθεσή τους, φυτά με αβαθές και αραιό ριζικό σύστημα μπορούν να αντλούν, το ίδιο εύκολα, τις απαραίτητες ποσότητες νερού για την ικανοποίηση της μέγιστης εξατμισοδιαπνοής τους όπως και τα φυτά με τις βαθιές και πυκνές ρίζες. Σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα και συνεκτικά εδάφη, φυτά με βαθύ και πυκνό ριζικό σύστημα εκμεταλλεύονται εύκολα όλη την εδαφική υγρασία σε αντίθεση με φυτά που έχουν επιτόλαιο και αραιό ριζικό σύστημα, με συνέπεια τα πρώτα να παρουσιάζουν μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή από τα δεύτερα.

## ***Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας***

Ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής δεν είναι σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Η εξατμισοδιαπνοή αυξάνει με γρήγορο ρυθμό από το φύτευμα μέχρι την πλήρη ανάπτυξη της καλλιέργειας, διατηρείται σταθερή για ένα χρονικό διάστημα και μετά ελαττώνεται. Η ταχεία αύξηση κατά την περίοδο αναπτύξεως οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μεταβολή του ποσοστού φυτοκαλύψεως του εδάφους που ξεκινάει από το μηδέν και φτάνει στο 100%. Η ελάττωση στα τελευταία στάδια της βλαστικής περιόδου οφείλεται στις φυσιολογικές διαφοροποιήσεις των φυτών (βλ. Σχήμα 2.2).

## ***2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΙΑΧΕΪΡΙΣΗΣ***

Παράγοντες όπως η αλατότητα του εδάφους, η μικρή γονιμότητα του εδάφους, η περιορισμένη εφαρμογή λιπασμάτων, η παρουσία σκληρών και αδιαπέρατων στρωμάτων, η απουσία ελέγχου ασθενειών και μυκήτων και η μη καλή διαχείριση του εδάφους μπορεί να περιορίσουν την ανάπτυξη των φυτών και να μειώσουν την εξατμισοδιαπνοή. Επίσης πολύ νερό που μπορεί να προκαλέσει κατάκλυση του εδάφους, μπορεί να προκαλέσει βλάβες στο ριζικό σύστημα και να περιορίσει τη λήψη νερού από τις ρίζες λόγω της αναπνοής.

Κατά τον υπολογισμό του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι διάφορες πρακτικές διαχείρισης που επηρεάζουν τους κλιματικούς και φυτικούς παράγοντες που καθορίζουν την διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. Οι καλλιεργητικές

τεχνικές και ο τύπος της μεθόδου άρδευσης μπορούν να αλλάξουν το μικροκλίμα επηρεάζοντας έτσι τα χαρακτηριστικά του φυτού ή τη διαβροχή της επιφάνειας του εδάφους. Ένας ανεμοφράκτης από δένδρα μειώνει την ταχύτητα του ανέμου και κατά συνέπεια το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να είναι σημαντικό ιδιαίτερα σε θερμές, ξηρές και με δυνατό άνεμο συνθήκες παρόλο που η εξατμισοδιαπνοή από τα δένδρα του ανεμοφράκτη μπορεί να αντισταθμίσει τη μείωση αυτή.

Σε δενδρώδεις καλλιέργειες όπου τα δένδρα είναι αραιά διατεταγμένα, η εξάτμιση από το έδαφος μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα άρδευσης με σταγόνες. Η χρήση φυτικών υπολειμμάτων ιδιαίτερα όταν το φυτό είναι μικρό είναι ένας άλλος τρόπος μείωσης της εξάτμισης του εδάφους.

### **2.3 ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ**

Στην εξάτμιση και τη διαπνοή, για τη μετατροπή των μορίων του νερού από την υγρή στην αέρια κατάσταση, χρειάζεται ενέργεια η οποία προέρχεται κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία και σε μικρότερη έκταση από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η δύναμη που απομακρύνει τους ατμούς του νερού από τις επιφάνειες, είναι η διαφορά της πίεσης των ατμών μεταξύ της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας. Όσο η διαδικασία της εξάτμισης και της διαπνοής προχωράει, ο περιβάλλων αέρας γίνεται σταδιακά κορεσμένος και η διαδικασία μειώνεται ή μπορεί ακόμα και να σταματήσει αν ο περιβάλλων κορεσμένος αέρας δεν απομακρυνθεί και μεταφερθεί στην ατμόσφαιρα. Η αντικατάσταση του κορεσμένου αέρα με ξηρότερο εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Για το λόγο αυτό οι κλιματικοί παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση της εξάτμισης και της διαπνοής είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του αέρα και η ταχύτητα του ανέμου. Πιο λεπτομερής ανάλυση για τον τρόπο και το βαθμό που επηρεάζουν οι κλιματικοί παράγοντες την εξατμισοδιαπνοή, γίνεται παρακάτω.

#### ***Ηλιακή ακτινοβολία***

Η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής καθορίζεται από το ποσό της ενέργειας που είναι διαθέσιμο για την εξάτμιση νερού. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας και είναι δυνατόν να αλλάξει μεγάλες ποσότητες νερού από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Το μέγιστο ποσό ακτινοβολίας που μπορεί να φτάσει σε μια επιφάνεια στην οποία πραγματοποιείται εξάτμιση εξαρτάται από την τοποθεσία και τη χρονική στιγμή του έτους. Λόγω των διαφορών στην θέση του ήλιου, η μέγιστη ακτινοβολία διαφέρει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του χρόνου. Η πραγματική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει σε μια επιφάνεια εξαρτάται από το πόσο θολή είναι η ατμόσφαιρα και από την παρουσία ή όχι σύννεφων τα οποία ανακλούν ή απορροφούν σημαντικό τμήμα της ακτινοβολίας. Όταν τιμάται το αποτέλεσμα της ηλιακής ακτινοβολίας στην εξατμισοδιαπνοή, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι δεν χρησιμοποιείται όλη η διαθέσιμη ενέργεια για την εξάτμιση νερού, αλλά ένα τμήμα της ενέργειας καταναλώνεται για τη θέρμανση της ατμόσφαιρας και του εδάφους.

## ***Θερμοκρασία του αέρα***

Η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφιάται από την ατμόσφαιρα και εκπέμπεται από τη γη αυξάνει την θερμοκρασία του αέρα. Η αισθητή θερμότητα του περιβάλλοντα αέρα μεταφέρει ενέργεια στα φυτά επηρεάζοντας έτσι ως ένα βαθμό το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής των φυτών. Σε ηλιόλουστο, ζεστό καιρό, οι απώλειες νερού λόγω της εξατμισοδιαπνοής είναι μεγαλύτερες από αυτές σε ένα κρύο και με σύννεφα καιρό.

## ***Υγρασία του αέρα***

Ενώ η ενέργεια που παρέχεται από τον ήλιο και ο περιβάλλον αέρας είναι τα κύρια αίτια για την εξάτμιση του νερού, η διαφορά μεταξύ της πίεσης των ατμών στην επιφάνεια όπου πραγματοποιείται εξάτμιση και αυτής του περιβάλλοντος αέρα είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την αφαίρεση των ατμών. Σε θερμές και ξηρές περιοχές και σε εδάφη με καλές συνθήκες διαβροχής καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες νερού λόγω της αφθονίας ενέργειας και της ξηραντικής δύναμης της ατμόσφαιρας. Σε υγρές τροπικές περιοχές, παρά της υψηλής εισροής ενέργειας, η υψηλή υγρασία μειώνει την εξατμισοδιαπνοή. Σε τέτοια περιβάλλοντα, ο αέρας είναι κοντά στον κορεσμό και έτσι λιγότερο νερό μπορεί να αποθηκευτεί σ' αυτόν και επομένως ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής είναι μικρότερος από αυτόν σε ξηρές περιοχές.

## ***Ταχύτητα ανέμου***

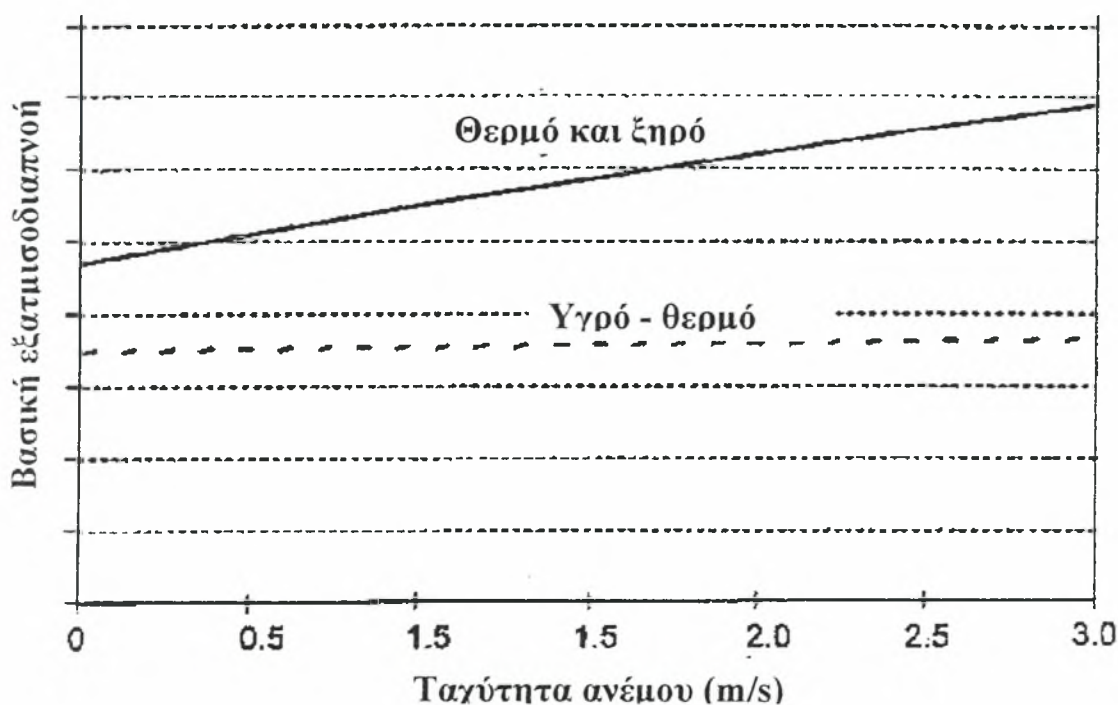
Η διαδικασία της αφαίρεσης των ατμών από τις επιφάνειες στις οποίες πραγματοποιείται εξάτμιση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον άνεμο και το στροβιλισμό ή όχι του αέρα, ο οποίος μεταφέρει μεγάλες ποσότητες αέρα από τις επιφάνειες αυτές. Όταν εξατμίζεται νερό από μια επιφάνεια ο αέρας πάνω από την επιφάνεια αυτή γίνεται σταδιακά κορεσμένος με ατμούς νερού. Όταν ο αέρας αυτός δεν αντικαταστίται από ξηρότερο αέρα, τότε μειώνεται ο ρυθμός απομάκρυνσης των ατμών και επομένως μειώνεται και ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής.

## ***Συνδυαστική επίδραση των κλιματικών παραγόντων***

Η συνδυαστική επίδραση των κλιματικών παραγόντων στην εξατμισοδιαπνοή για δύο διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, φαίνεται στο **Σχήμα 2.3**. Η εξατμισοδιαπνοή είναι υψηλή σε θερμό και ξηρό καιρό λόγω της ξηρότητας του αέρα και του ποσού της ενέργειας που είναι διαθέσιμη ως απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας και λανθάνουσας θερμότητας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μεγάλη ποσότητα ατμών μπορεί να αποθηκευτεί στον αέρα ενώ ο άνεμος μπορεί να μεταφέρει τους ατμούς αυτούς επιτρέποντας έτσι ακόμη μεγαλύτερη αποθήκευση ατμών νερού στον αέρα αυτό. Από την άλλη μεριά, κάτω από υγρές καιρικές συνθήκες, η υψηλή υγρασία του αέρα και η παρουσία σύννεφων προκαλούν μείωση του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής. Το αποτέλεσμα της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου στην εξατμισοδιαπνοή για τις δύο κλιματικές συνθήκες φαίνεται από την κλίση των καμπυλών. Όσο ξηρότερη είναι η ατμόσφαιρα, τόσο μεγαλύτερο είναι το αποτέλεσμα στην εξατμισοδιαπνοή και μεγαλύτερη η κλίση στην καμπύλη. Σε υγρές συνθήκες, ο αέρας μπορεί μόνο να αντικαταστήσει τον κορεσμένο αέρα με ελαφρώς λιγότερο κορεσμένο αέρα και να αφαιρέσει ενέργεια θερμότητας. Συνεπώς, σε υγρά κλίματα, η ταχύτητα του ανέμου

επηρεάζει σε πολύ μικρότερο βαθμό το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής από ότι σε ξηρά, όπου μικρές μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες μεταβολές στο ρυθμό εξατμισοδιαπνοής.

Η μετατροπή της καθαρής ακτινοβολίας, δηλαδή της ενέργειας που μένει στη γη, στις άλλες μορφές ενέργειας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα του νερού. Αν η διαθεσιμότητα αυτή είναι περιορισμένη, το ίδιο περιορισμένη είναι και η λανθάνουσα θερμότητα και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε αισθητή θερμότητα. Αντίθετα, όταν υπάρχει άφθονη υγρασία στο έδαφος, το μεγαλύτερο μέρος της καθαρής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε λανθάνουσα και το μικρότερο σε αισθητή θερμότητα.



**Σχήμα 2.3** Η επίδραση του ανέμου στην εξατμισοδιαπνοή σε ξηροθερμικές και θερμές – υγρές συνθήκες (Allen et al., 1998)

Η λανθάνουσα θερμότητα ( $\lambda$ ) είναι ένας ποσοτικός εκφραστής της εξατμισοδιαπνοής (ET), αφού είναι γνωστό από τη φυσική ότι για την εξάτμιση 1 cm<sup>3</sup> νερού απαιτούνται 590 περίπου cal. Αν η ET εκφράζεται σε mm πάχους υδάτινου στρώματος και η  $\lambda$  σε cal, η σχέση που τις ενώνει είναι

$$ET = \frac{\lambda}{59} \quad (2.1)$$

Από την ανάλυση διαφόρων πειραματικών εργασιών προκύπτει ότι είναι πολύ δύσκολο να γίνει επιμερισμός των επιδράσεων που ασκούν στην τιμή της  $\lambda$  οι διάφοροι κλιματικοί παράγοντες. Η επίδραση που ασκείται από τον καθένα χωριστά είναι συνάρτηση του μεγέθους όλων των υπολοίπων, σε γενικές όμως γραμμές μπορούν να διατυπωθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

α) Η επίδραση του ανέμου στην  $\lambda$  είναι μέγιστη όταν η καθαρή ακτινοβολία είναι περιορισμένη και η ατμόσφαιρα είναι ξηρή.



β) Η επίδραση του ανέμου στην  $\lambda$  είναι περιορισμένη όταν η καθαρή ακτινοβολία είναι σημαντική, ανεξάρτητα απ' τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία.

γ) Η επίδραση της σχετικής υγρασίας στη  $\lambda$  είναι πολύ περιορισμένη όταν η καθαρή ακτινοβολία ( $R_n$ ) είναι υψηλή και η ταχύτητα του ανέμου μικρή, γίνεται όμως σημαντική όταν η καθαρή ακτινοβολία ( $R_n$ ) είναι χαμηλή και η ταχύτητα του ανέμου σχετικά μεγάλη.

δ) Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει τη  $\lambda$  κάτω από συνθήκες χαμηλής σχετικής υγρασίας και σχετικά μεγάλης ταχύτητας ανέμου, ενώ δεν ασκεί καμιά επίδραση όταν επικρατεί νηνεμία και υψηλή σχετική υγρασία.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη  $\lambda$  είναι η *αεροδυναμική τραχύτητα* (αντίσταση) της καλλιέργειας. Αν και δεν είναι γνωστά πολλά πράγματα γι' αυτή, φαίνεται ότι η επίδρασή της είναι ασήμαντη κάτω από συνθήκες νηνεμίας και υψηλής σχετικής υγρασίας, ενώ η επίδραση αυτή μεγαλώνει όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου και η ατμόσφαιρα γίνεται ξηρότερη.

Από τα όσα μέχρι τώρα αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο αυτό βγαίνει το συμπέρασμα ότι η εξατμισοδιαπνοή από μια καλλιέργεια που αναπτύσσεται κανονικά και καλύπτει πρακτικά όλη την επιφάνεια του εδάφους, διαμορφώνεται από το κλίμα της περιοχής. Ποσοτική έκφρασή της κατά την εξίσωση (2.1) είναι η λανθάνουσα θερμότητα, που το μέγεθός της διαμορφώνεται από την καθαρή ακτινοβολία, την ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία, τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, μια έκφραση των οποίων είναι η αεροδυναμική τραχύτητα.

## **2.4 ΜΟΝΑΔΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΦΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ**

Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής κανονικά εκφράζεται σε χιλιοστόμετρα (mm) ανά μονάδα χρόνου. Ο ρυθμός εκφράζει το ποσό του νερού που χάνεται από μια επιφάνεια καλυμμένη με φυτά με μονάδες ύψους νερού. Η μονάδα του χρόνου μπορεί να είναι μια ώρα, ημέρα, δεκαήμερο, μήνας, ολόκληρη η καλλιεργητική περίοδος ή ένας χρόνος.

Αφού ένα στρέμμα είναι μια επιφάνεια  $1000 \text{ m}^2$  και  $1 \text{ mm}$  είναι ίσο με  $0,001 \text{ m}$ , μια απώλεια  $1 \text{ mm}$  νερού αντιστοιχεί σε απώλεια  $1 \text{ m}^3$  ανά στρέμμα. Με άλλα λόγια,  $1 \text{ mm day}^{-1}$  είναι ισοδύναμο με  $1 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$  στρέμμα $^{-1}$ .

Το ύψος νερού μπορεί επίσης να εκφραστεί σε σχέση με την λαμβανόμενη ανά μονάδα επιφάνειας ενέργεια. Η ενέργεια αυτή αναφέρεται στην ενέργεια που χρειάζεται για την εξάτμιση ελεύθερου νερού. Αυτή η ενέργεια, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι γνωστή ως λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης ( $\lambda$ ) και είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του νερού. Για παράδειγμα, στους  $20^\circ\text{C}$ , η  $\lambda$  είναι περίπου  $2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ . Με άλλα λόγια, για την εξάτμιση  $1 \text{ kg}$  ή  $0,001 \text{ m}^3$  νερού χρειάζονται  $2,45 \text{ MJ}$  ανά  $\text{m}^2$ . Έτσι, ενέργεια  $2,45 \text{ MJ}$  ανά  $\text{m}^2$  είναι ικανή να εξατμίσει  $0,001 \text{ m}^3$  ή  $1 \text{ mm}$  νερού και επομένως  $1 \text{ mm}$  νερού είναι ισοδύναμο με  $2,45 \text{ MJ m}^{-2}$ . Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής που εκφράζεται σε  $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  αντιπροσωπεύεται από τη *ροή λανθάνουσας θερμότητας*, ( $\lambda ET$ ).

Στον **πίνακα 2.1** φαίνονται οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για την έκφραση του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής και οι παράγοντες μετατροπής.

Πίνακας 2.1 Παράγοντες μετατροπής για τις μονάδες εξατμισοδιαπνοής (για νερό με πυκνότητα 1000 kg m<sup>-3</sup> στους 20 °C).

	Ύψος mm day <sup>-1</sup>	Όγκος/μονάδα επιφάνειας		Ενέργεια /μονάδα επιφάνειας
		m <sup>3</sup> στρ <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>	L s <sup>-1</sup> στρ <sup>-1</sup>	MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup>
1 mm day <sup>-1</sup>	1	1	0,0116	2,45
1 m <sup>3</sup> στρ <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>	1	1	0,012	2,45
1 L s <sup>-1</sup> στρ <sup>-1</sup>	86,4	86,4	1	211,76
1 MJ m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup>	0,408	0,408	0,0047	1

### 3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

Με βάση τους παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η εξατμισοδιαπνοή αναπτύχθηκαν διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού της:

1. Έμμεσες μικροκλιματικές μέθοδοι:
  - A. Αεροδυναμικές μέθοδοι
  - B. Μέθοδος του ισοζυγίου ενέργειας
  - Γ. Μικτές μέθοδοι
2. Έμμεσες εμπειρικές μέθοδοι:
  - A. Μέθοδος του Thornthwaite
  - B. Μέθοδος των Blaney – Criddle
  - Γ. Μέθοδος των Jensen – Haise
3. Άμεσοι μέθοδοι:
  - A. Μέθοδος των πειραματικών αγροτεμαχίων
  - B. Μέθοδος των διαδοχικών δειγματοληψιών
  - Γ. Μέθοδος του ισοζυγίου υγρασίας
  - Δ. Μέθοδος του λυσίμετρου
4. Βελτιωμένες μέθοδοι έμμεσου προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής:
  - A. Τροποποιημένη μέθοδος των Blaney – Criddle
  - B. Τροποποιημένη μέθοδος του Makkink
  - Γ. Τροποποιημένη μέθοδος του Penman
  - Δ. Τροποποιημένη μέθοδος του εξατμισίμετρου
  - E. Μέθοδος των Penman – Monteith

#### 3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ PENMAN – MONTEITH

##### *Εξίσωση Penman – Monteith*

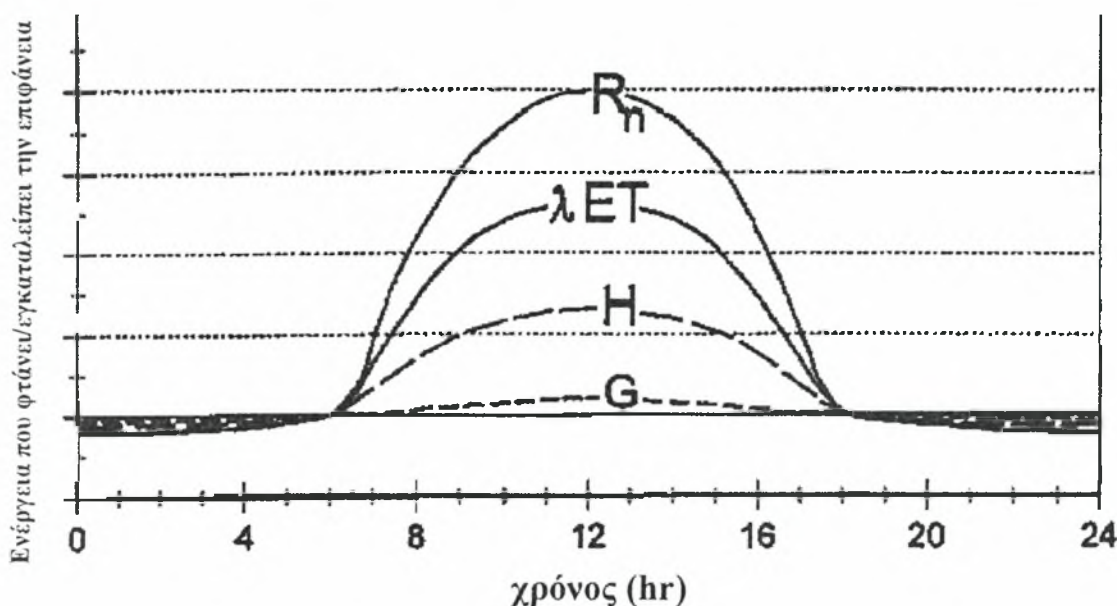
Στην παρούσα εργασία η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της βασικής εξατμισοδιαπνοής (ET<sub>0</sub>), είναι αυτή των Penman – Monteith και πιο συγκεκριμένα η εξίσωση των Penman – Monteith κατά FAO η οποία προκύπτει από αυτή των Penman – Monteith όπως περιγράφεται παρακάτω. Ιστορικά αναφέρεται ότι το 1948, ο Penman συνδύασε τη μέθοδο του ισοζυγίου ενέργειας με αυτή της μεταφοράς μάζας και εξήγαγε μια εξίσωση για τον υπολογισμό της εξάτμισης σε έδαφος ανοιχτής δομής από κλιματολογικά δεδομένα ηλιοφάνειας, θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας ανέμου. Αυτή η συνδυαστική μέθοδος αναπτύχθηκε περισσότερο από πολλούς ερευνητές και επεκτάθηκε σε φυτοκαλυμμένες επιφάνειες, εισάγοντας παράγοντες αντίστασης.

Αφού για την εξάτμιση του νερού χρειάζεται ενέργεια είτε με τη μορφή της αισθητής θερμότητας είτε με τη μορφή της ακτινοβολίας, η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής καθορίζεται από την ανταλλαγή ενέργειας στην φυτοκαλυμμένη επιφάνεια και εξαρτάται από το ποσό της ενέργειας που είναι διαθέσιμη. Έτσι είναι δυνατόν να προβλεφθεί ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής με την εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Η ενέργεια που φτάνει σε μία επιφάνεια πρέπει να είναι

ίση με την ενέργεια που απομακρύνεται από αυτήν για την ίδια χρονική περίοδο. Έτσι η εξίσωση ισοζυγίου της ενέργειας για μια επιφάνεια στην οποία πραγματοποιείται εξάτμιση είναι

$$R_n - G - \lambda ET - H = 0 \quad (3.1)$$

όπου  $R_n$  είναι η καθαρή ακτινοβολία,  $H$  η αισθητή θερμότητα,  $G$  η ροή θερμότητας προς το έδαφος και  $\lambda ET$  η ροή λανθάνουσας θερμότητας. Οι όροι αυτοί μπορεί να είναι θετικοί ή αρνητικοί. Θετική τιμή της  $R_n$  σημαίνει προσθήκη ενέργειας στην επιφάνεια και θετικές τιμές των  $G$ ,  $\lambda ET$  και  $H$  σημαίνει αφαίρεση ενέργειας από την επιφάνεια (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 Σχηματική παράσταση της ημερήσιας μεταβολής των όρων του ισοζυγίου ενέργειας πάνω από μια φυτοκαλυμμένη επιφάνεια με καλές συνθήκες διαβροχής για μια καθαρή από σύννεφα ημέρα (ημέρα ολικής αιθρίας) (Allen et al., 1998)

Στην εξίσωση (3.1) λαμβάνονται μόνο οι κατακόρυφες ροές ενώ η οριζόντια μεταφορά ενέργειας με συναγωγή, αγνοείται. Επομένως η εξίσωση εφαρμόζεται μόνο σε εκτεταμένες επιφάνειες που καλύπτονται από ομοιογενή βλάστηση.

Η μέθοδος μεταφοράς της μάζας, θεωρεί κατακόρυφες μετακινήσεις μικρών αερίων μαζών πάνω από μια ομοιογενή επιφάνεια. Η μάζες αυτές κατά την κίνησή τους μεταφέρουν ύλη (ατμούς νερού) και ενέργεια (θερμότητα) από ή προς την επιφάνεια στην οποία πραγματοποιείται εξάτμιση. Έτσι υποθέτοντας συνθήκες σταθερής κατάστασης και ότι οι συντελεστές μεταφοράς για τους ατμούς του νερού από τις αέριες μάζες είναι ανάλογοι με αυτούς για τη θερμότητα, η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί από τις κάθετες κλίσεις της θερμοκρασίας του αέρα και των ατμών του νερού μέσω του λόγου του Bowen. Η μέθοδος απαιτεί ακριβείς μετρήσεις πίεσης ατμών και θερμοκρασίας αέρα σε διάφορα επίπεδα πάνω από την επιφάνεια.

Οι παράγοντες αντίστασης διακρίνονται σε αεροδυναμικούς και σε επιφανειαί (Σχήμα 3.2). Οι παράμετροι αντίστασης της επιφάνειας συχνά συνδυάζονται σε μία παράμετρο, την αντίσταση της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας η οποία λειτουργεί σε σειρά με την αεροδυναμική παράμετρο. Η αντίσταση της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας,  $r_s$ , περιγράφει την αντίσταση της ροής των ατμών

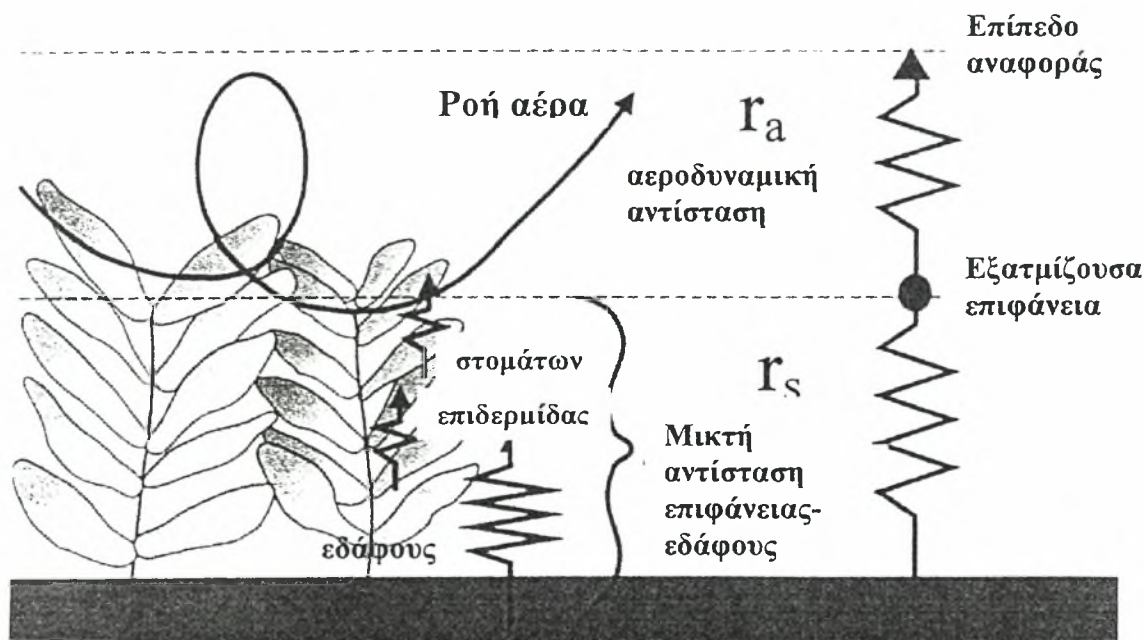


δια μέσου των στοματικών ανοιγμάτων, της συνολικής φυλλικής επιφάνειας και της επιφάνειας του εδάφους. Η αεροδυναμική αντίσταση,  $r_a$ , περιγράφει την αντίσταση από τη βλάστηση προς τα πάνω και περιλαμβάνει την τριβή από τη ροή του αέρα στις επιφάνειες της βλάστησης. Παρόλο που οι διαδικασίες αυτές είναι πολύ πολύπλοκες για να μπορούν να περιγραφούν πλήρως από τους δυο παράγοντες αντίστασης, καλές συσχετίσεις μπορούν να επιτευχθούν μεταξύ υπολογισμένων και μετρημένων ρυθμών εξατμισοδιαπνοής, ειδικά σε μια ομοιόμορφα καλυμμένη με γρασίδι επιφάνεια αναφοράς (χορτοτάπητα).

Η εξίσωση των Penman – Monteith που προέκυψε από το συνδυασμό της μεθόδου του ισοζυγίου ενέργειας και αυτή της μεταφοράς μάζας και τη χρήση των δύο παραγόντων αντίστασης είναι (Monteith, 1981)

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \quad (3.2)$$

όπου  $\lambda ET$  η ροή λανθάνουσας θερμότητας,  $R_n$  η καθαρή ακτινοβολία,  $G$  η πυκνότητα ροής θερμότητας προς το έδαφος,  $(e_s - e_a)$  το έλλειμμα κορεσμού του αέρα,  $\rho_a$  η μέση πυκνότητα του αέρα σε σταθερή πίεση,  $c_p$  η ειδική θερμότητα του αέρα σε σταθερή πίεση,  $\Delta$  η κλίση της καμπύλης της σχέσης μεταξύ της πίεσης ατμών κορεσμού και της θερμοκρασίας,  $\gamma$  η ψυχρομετρική σταθερά, και  $r_a$  και  $r_s$  η αεροδυναμική και της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας αντίστοιχα αντίσταση.



Σχήμα 3.2 Απλοποιημένη παράσταση της αεροδυναμικής αντίστασης και της αντίστασης της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας (Allen et al., 1998)

Η προσέγγιση των Penman – Monteith όπως δίδεται παραπάνω περιλαμβάνει όλες τις παραμέτρους που ελέγχουν και ρυθμίζουν την ανταλλαγή θερμότητας και την αντίστοιχη λανθάνουσα ροή θερμότητας (εξατμισοδιαπνοή) από ομοιόμορφες

εκτάσεις βλάστησης. Οι περισσότερες από τις παραμέτρους μετρούνται ή μπορούν εύκολα να υπολογιστούν από τα κλιματολογικά στοιχεία. Η εξίσωση (3.2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απευθείας υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής για κάθε φυτό όταν η αεροδυναμική και της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας αντιστάσεις είναι καθορισμένες.

### Αεροδυναμική αντίσταση ( $r_a$ )

Η μεταφορά της θερμότητας και των ατμών του νερού από μια επιφάνεια στην οποία πραγματοποιείται εξάτμιση προς τον αέρα πάνω από το φύλλωμα των φυτών, καθορίζεται από την αεροδυναμική αντίσταση

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right) \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right)}{k^2 u_z} \quad (3.3)$$

όπου

$r_a$ , η αεροδυναμική αντίσταση ( $s\ m^{-1}$ ),

$z_m$ , το ύψος των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου (m),

$z_h$ , το ύψος στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις υγρασίας (m),

$d$ , το ύψος της μετατόπισης του μηδενικού επιπέδου δηλαδή η απόσταση ανάμεσα στο έδαφος και το μηδενικό επίπεδο, όπου η ταχύτητα του ανέμου μηδενίζεται (m),

$z_{om}$ , το μήκος (ύψος) τραχύτητας για μεταφορά της ζώσας δύναμης (m),

$z_{oh}$ , το μήκος (ύψος) τραχύτητας για μεταφορά θερμότητας και ατμών (m),

$k$ , η σταθερά του von Karman, 0,41 (-) και

$u_z$ , η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος  $z$  ( $m\ s^{-1}$ ).

Είναι γνωστό από την αεροδυναμική ότι η ταχύτητα του κινούμενου αέρα μέσα σε ένα αγωγό είναι ίση με μηδέν σε επαφή με τα τοιχώματα του αγωγού. Το ίδιο συμβαίνει και με τον αέρα που βρίσκεται σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους. Όταν όμως το έδαφος καλύπτεται από καλλιέργειες, το επίπεδο στο οποίο η ταχύτητα του αέρα είναι ίση με το μηδέν, και το οποίο λέγεται *μηδενικό επίπεδο*, δεν συμπίπτει με την επιφάνεια του εδάφους αλλά βρίσκεται κάπου ψηλότερα. Η απόσταση ανάμεσα στο έδαφος και το μηδενικό επίπεδο λέγεται *μετατόπιση του μηδενικού επιπέδου*.

Η εξίσωση (3.3) περιορίζεται σε σταθερές ουδέτερες συνθήκες, π.χ. όπου η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση και η ταχύτητα του ανέμου ακολουθούν αδιαβατικές κατανομές (χωρίς ανταλλαγή θερμότητας). Για την εφαρμογή της εξίσωσης για μικρές χρονικές περιόδους (ωριαίες ή μικρότερες) μπορεί να χρειάζεται να συνυπολογιστούν διορθώσεις προκειμένου για τη σταθερότητα. Όταν όμως εκτιμάται η ΕΤ<sub>0</sub> σε επιφάνειες αναφοράς με καλές συνθήκες διαβροχής, η ανταλλαγή θερμότητας είναι μικρή, οπότε δεν χρειάζονται διορθώσεις για τη σταθερότητα.

Πολλές μελέτες έχουν εξερευνήσει την δράση του ανέμου στο φύλλωμα των φυτών. Τα ύψη μετατόπισης του μηδενικού επιπέδου και τα μήκη τραχύτητας πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν η επιφάνεια καλύπτεται από βλάστηση. Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται από το ύψος και την αρχιτεκτονική του φυτού. Για τον υπολογισμό των  $d$ ,  $z_{om}$ ,  $z_{oh}$  έχουν αναπτυχθεί διάφορες εμπειρικές εξισώσεις.

**Παρακάτω υπολογίζεται η αεροδυναμική αντίσταση για μια επιφάνεια αναφοράς χορτοτάπητα:**

Για μια μεγάλη σειρά φυτών το ύψος της μετατόπισης του μηδενικού επιπέδου,  $d$  (m), και το μήκος τραχύτητας για μεταφορά της ζώσας δύναμης  $z_{om}$  (m), μπορούν να υπολογιστούν από το ύψος του φυτού  $h$  (m) με τις ακόλουθες εξισώσεις

$$d = 2/3 h \quad (\text{Plate, 1971 και Monteith, 1981})$$

$$z_{om} = \frac{h}{3e} = \frac{h}{8,15} = 0,123 h \quad (\text{Brutsaert, 1975})$$

όπου  $e$  είναι η βάση των νεπέρων λογαρίθμων.

Το μήκος τραχύτητας για μεταφορά θερμότητας και ατμών,  $z_{oh}$  (m), μπορεί να προσεγγιστεί με την εξίσωση (Brutsaert, 1975)

$$z_{oh} = 0,1 z_{om}$$

Υποθέτοντας μια επιφάνεια αναφοράς καλυμμένη με γρασίδι με σταθερό ύψος 0,12 m και ένα ύψος στο οποίο γίνονται οι μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου, της θερμοκρασίας και της υγρασίας 2 m ( $z_m = z_h = 2$  m), η αεροδυναμική αντίσταση  $r_a$  ( $s\ m^{-1}$ ) η εξίσωση (3.3) γίνεται

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{2 - 2/3(0,12)}{0,123(0,12)}\right) \ln\left(\frac{2 - 2/3(0,12)}{(0,1)0,123(0,12)}\right)}{(0,41)^2 u_2} = \frac{208}{u_2} \quad (3.4)$$

όπου  $u_2$  είναι η ταχύτητα του ανέμου σε  $m\ s^{-1}$  στα 2 m.

### **Αντίσταση της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας ( $r_s$ )**

Η αντίσταση της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας περιγράφει την αντίσταση στη ροή των ατμών διαμέσου των διαπνέοντων φυτών και της επιφάνειας του εδάφους στην οποία πραγματοποιείται εξάτμιση. Όπου η βλάστηση δεν καλύπτει πλήρως την επιφάνεια του εδάφους, ο παράγοντας αντίστασης θα πρέπει να περιλαμβάνει και τα αποτελέσματα της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους. Αν το φυτό δεν διαπνέει με τον κανονικό ρυθμό, τότε η αντίσταση εξαρτάται επίσης και από την κατάσταση της βλάστησης από πλευράς νερού. Μια αποδεκτή προσέγγιση της πολύπλοκης σχέσης της αντίστασης της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας για πυκνή βλάστηση που καλύπτει πλήρως μια επιφάνεια είναι

$$r_s = \frac{r_l}{LAI_{active}} \quad (3.5)$$

όπου

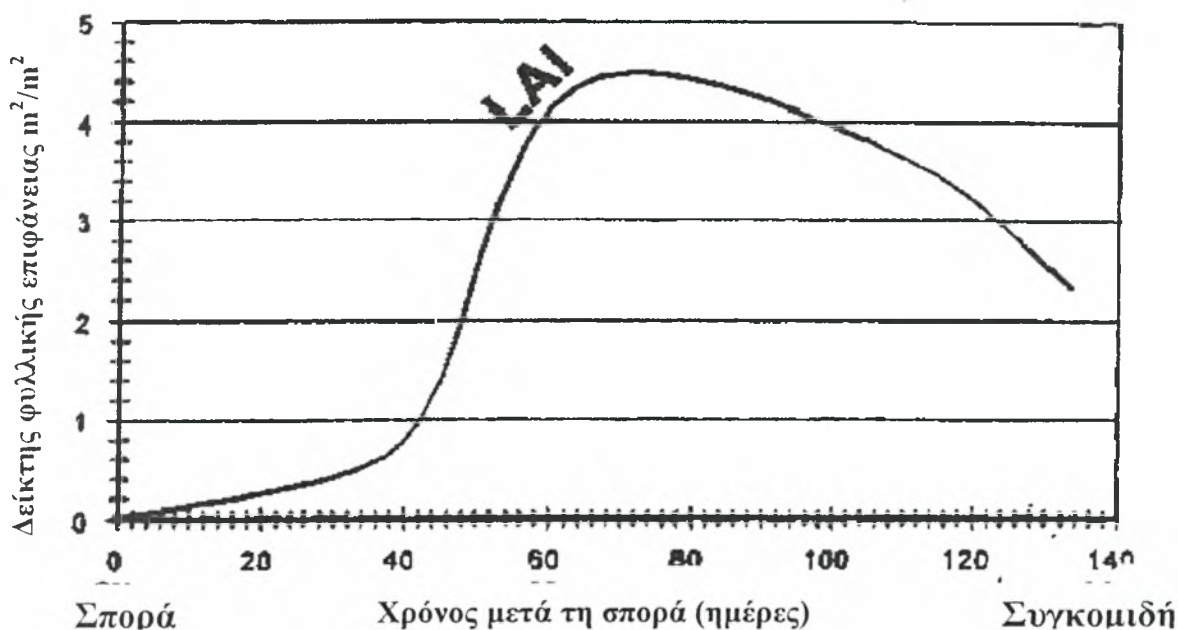
$r_s$ , η αντίσταση της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας ( $s\ m^{-1}$ ),

$r_l$ , η συνολική αντίσταση (αγωγιμότητα) στη ροή των υδρατμών μέσω των ανοιγμάτων των στομάτων ενός καλά φωτισμένου φύλλου ( $s\ m^{-1}$ ) και

$LAI_{active}$ , ο ενεργός δείκτης φυλλικής επιφάνειας (η φυλλική επιφάνεια που είναι εκτεθειμένη στον ήλιο) [ $m^2$  (φυλλική επιφάνεια)  $m^{-2}$  (επιφάνεια εδάφους)].

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) (Leaf area index), μια αδιάστατη ποσότητα, είναι η φυλλική επιφάνεια ανά μονάδα επιφανείας του εδάφους που βρίσκεται κάτω από αυτή και εκφράζεται σε  $m^2$  φυλλικής επιφάνειας ανά  $m^2$  επιφάνειας εδάφους. Ενεργός LAI είναι ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας που συνεισφέρει στη μεταφορά ατμών και θερμότητας. Είναι γενικά το ανώτερο, ηλιόλουστο τμήμα ενός πυκνού φυλλώματος. Οι τιμές του LAI για διάφορα φυτά διαφέρουν ευρέως αλλά τιμές μεταξύ 3 και 5 είναι συνηθισμένες για πολλά ώριμα φυτά. Για ένα φυτό ο LAI αλλάζει κατά τη διάρκεια του κύκλου του και πλησιάζει το μέγιστό του λίγο πριν ή κατά την άνθιση (Σχήμα 3.3). Επίσης ο LAI εξαρτάται και από την πυκνότητα των φυτών και το είδος των φυτών.

Η συνολική αντίσταση (αγωγιμότητα) των στομάτων,  $r_i$ , είναι η μέση αγωγιμότητα ενός φύλλου. Η αγωγιμότητα είναι φυτικό χαρακτηριστικό και διαφέρει ανάλογα με το είδος των φυτών και τη διαχείρισή τους. Συνήθως αυξάνεται όσο το φυτό αναπτύσσεται και αρχίζει να ωριμάζει. Δεν υπάρχει όμως συγκεκριμένη πληροφόρηση σχετικά με τι αλλαγές στην  $r_i$  στον χρόνο για τα διάφορα φυτά. Οι πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στην βιβλιογραφία σχετικά με την αντίσταση ή την αγωγιμότητα των στομάτων συχνά προσανατολίζονται σε μελέτες φυσιολογίας.



Σχήμα 3.3 Τυπική παράσταση της μεταβολής του ενεργού LAI κατά την καλλιεργητική περίοδο για καλλιέργεια καλαμποκιού (Allen et al., 1998)

Η αντίσταση των στομάτων,  $r_i$ , επηρεάζεται από το κλίμα και από τη διαθεσιμότητα του νερού. Ωστόσο, οι επιδράσεις ποικίλουν από φυτό σε φυτό και τα διαφορετικά είδη φυτών μπορεί να επηρεάζονται διαφορετικά. Η αντίσταση αυξάνει όταν το φυτό τελεί υπό υδατικό στρες και η διαθεσιμότητα του νερού του εδάφους περιορίζει την εξατμισοδιαπνοή του φυτού. Μερικές μελέτες υποδεικνύουν ότι η αντίσταση των στομάτων επηρεάζεται μερικώς από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, τη θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού.



**Παρακάτω υπολογίζεται η αντίσταση της μικτής επιφάνειας εδάφους – καλλιέργειας αναφοράς χορτοτάπητα:**

Η γενική εξίσωση για το  $LAI_{active}$  είναι (Monteith, 1965 και Szeicz και Long, 1969)

$$LAI_{active} = 0,5 LAI$$

η οποία λαμβάνει υπόψιν το γεγονός ότι γενικά μόνο το πάνω μισό πυκνό τμήμα του γρασιδιού συμβάλλει στη μεταφορά θερμότητας και ατμών της επιφάνειας. Για την περίπτωση ενός καλά συντηρούμενου χορτοτάπητα που το ύψος του διατηρείται σε επίπεδο χαμηλότερο από 15 cm, οι Allen et al. (1989, 1994) δίνουν για τον LAI τη σχέση

$$LAI = 24 h$$

όπου  $h$  είναι το ύψος του φυτού σε m.

Η αντίσταση των στομάτων (αγωγιμότητα),  $r_s$ , για ένα απλό φύλλο έχει μια τιμή περίπου  $100 \text{ s m}^{-1}$  σε καλές συνθήκες διαβροχής του εδάφους. Υποθέτοντας μια επιφάνεια αναφοράς χορτοτάπητα με ύψος 0,12 m, η αντίσταση επιφανείας,  $r_s(\text{s m}^{-1})$ , σύμφωνα με την **εξίσωση (3.5)** γίνεται

$$r_s = \frac{100}{0,5(24)(0,12)} \approx 70 \text{ sm}^{-1} \quad (3.6)$$

### ***Η εξίσωση των Penman-Monteith κατά FAO***

Για την αποφυγή της ανάγκης καθορισμού παραμέτρων εξάτμισης για κάθε φυτό και για κάθε στάδιο ανάπτυξης, εισάγεται η αρχή της επιφάνειας αναφοράς.

Οι ρυθμοί εξατμισοδιαπνοής για τα διάφορα είδη φυτών σχετίζονται με την εξατμισοδιαπνοή ( $ET_o$ ) από μια επιφάνεια αναφοράς με τους φυτικούς συντελεστές. Στο παρελθόν, μια ανοικτής δομής επιφάνεια είχε προταθεί σαν επιφάνεια αναφοράς. Ωστόσο, οι διαφορές στην αεροδυναμική, στον έλεγχο της βλάστησης, και στα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας, παρουσίασαν μια ισχυρή πρόκληση να συσχετιστεί η  $ET$  με μετρήσεις ελεύθερης εξάτμισης νερού. Η συσχέτιση της  $ET_o$  με ένα συγκεκριμένο φυτό έχει το πλεονέκτημα της ενσωμάτωσης των βιολογικών και φυσιολογικών διαδικασιών που περιλαμβάνονται στην  $ET$  από τις καλλιεργούμενες επιφάνειες.

Το γρασίδι και η μηδική, είναι πολύ εκτενώς μελετημένα φυτά σχετικά με τα αεροδυναμικά και επιφανείας χαρακτηριστικά και είναι αποδεκτά παγκοσμίως ως επιφάνειες αναφοράς. Επειδή η αντίσταση στην διάχυση των ατμών εξαρτάται ισχυρά από το ύψος του φυτού, την κάλυψη του εδάφους, τον LAI και τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους, τα χαρακτηριστικά των φυτών αναφοράς θα πρέπει να είναι καλά καθορισμένα και κανονισμένα. Αλλαγές στο ύψος των φυτών έχουν ως αποτέλεσμα μεταβολές στην τραχύτητα και στο LAI. Συνεπώς, το φύλλωμα και οι αεροδυναμικές αντιστάσεις θα μεταβάλλονται με το χρόνο. Επιπλέον, το υδατικό στρες και ο βαθμός κάλυψης του εδάφους έχουν επίδραση στις αντιστάσεις και στην ανακλαστικότητα των φυτών.

Για την αποφυγή προβλημάτων τοπικής βαθμονόμησης που χρειάζεται απαιτητικές και ακριβείς μελέτες, έχει επιλεγεί μια υποθετική επιφάνεια αναφοράς με

γρασίδι. Δυσκολίες μπορούν να προκύψουν από το γεγονός ότι η ποικιλία και η μορφολογία του γρασιδιού μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της μέγιστης χρήσης. Μεγάλες διαφορές μπορεί να υπάρχουν μεταξύ θερμής και ψυχρής περιόδου τύπου γρασιδιού. Τα ψυχρής περιόδου γρασίδια έχουν ένα μικρότερο βαθμού έλεγχο των στομάτων και επομένως υψηλότερους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής. Μπορεί να είναι δύσκολο να αναπτυχθούν ψυχρής περιόδου γρασίδια σε μερικά ξηρά τροπικά κλίματα.

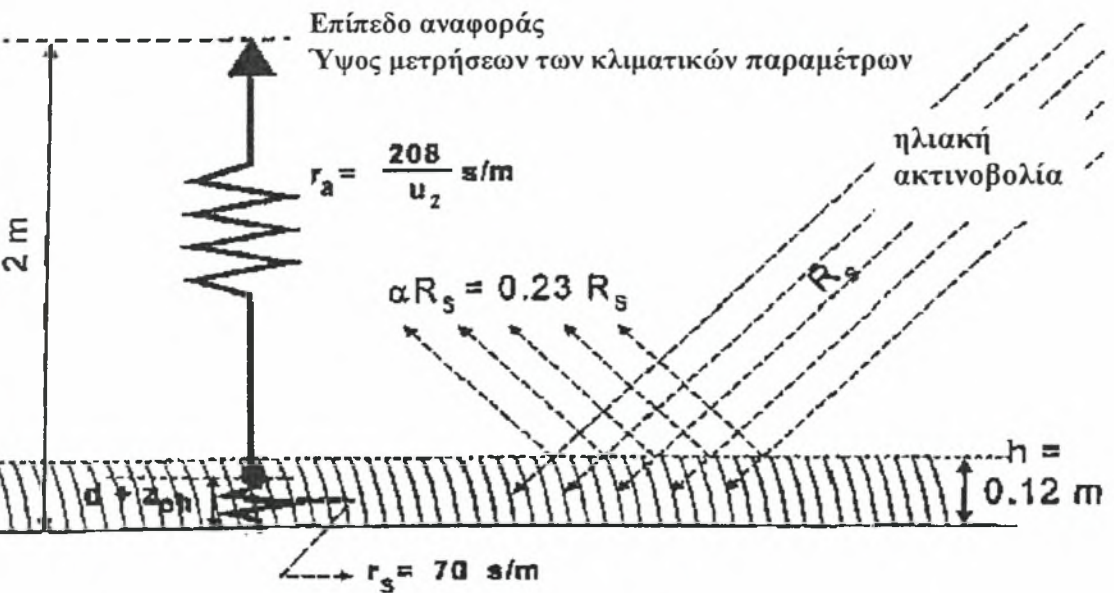
Προκειμένου να επανεξεταστούν οι μεθοδολογίες του FAO για τον προσδιορισμό των Αναγκών των Φυτών σε Νερό, οργανώθηκε συμβούλιο ειδικών και ερευνητών από τον FAO τον Μάιο του 1990, σε συνεργασία με τη Διεθνή Επιτροπή για την Άρδευση και Στράγγιση και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας. Το Ειδικό Συμβούλιο του FAO αποδέχτηκε τον παρακάτω σαφή ορισμό για την **επιφάνεια αναφοράς**:

«Ένα υποθετικό φυτό αναφοράς με ένα υποτιθέμενο ύψος 0,12 m, μια σταθερή και καθορισμένη αντίσταση επιφάνειας  $70 \text{ s m}^{-1}$  και ανακλαστικότητα 0,23.»

Η επιφάνεια αναφοράς ομοιάζει με μία εκτεταμένη επιφάνεια από γρασίδι με ομοιόμορφο ύψος, ενεργά αναπτυσσόμενη, σκιάζοντας πλήρως το έδαφος και με επάρκεια νερού.

Η ομάδα των ερευνητών συνέστησε την υιοθέτηση της συνδυαστικής μεθόδου των Penman-Monteith ως καινούριο πρότυπο για τον υπολογισμό της βασικής εξατμισοδιαπνοής. Η **εξίσωση των Penman-Monteith κατά FAO** προέκυψε καθορίζοντας το φυτό αναφοράς ως ένα υποθετικό φυτό με ένα υποτιθέμενο ύψος 0,12 m, μια καθορισμένη αντίσταση επιφάνειας  $70 \text{ s m}^{-1}$  και ανακλαστικότητα 0,23, που ομοιάζει με μία εκτεταμένη επιφάνεια από γρασίδι με ομοιόμορφο ύψος, ενεργά αναπτυσσόμενη, σκιάζοντας πλήρως το έδαφος και με επάρκεια νερού. Η μέθοδος ξεπέρασε τα ελαττώματα της προηγούμενης μεθόδου Penman του FAO και παρέχει τιμές πιο σωστές και συνεπείς με πραγματικά στοιχεία χρήσης νερού παγκοσμίως.

Τα χαρακτηριστικά αυτής της επιφάνειας αναφοράς φαίνονται στο **Σχήμα 3.4**.



Σχήμα 3.4 Χαρακτηριστικά της επιφάνειας αναφοράς (Allen et al., 1998)

*Η εξίσωση των Penman-Monteith κατά FAO για μια καλυμμένη με γρασίδι επιφάνεια αναφοράς (χορτοτάπητα), προκύπτει από την εξίσωση των Penman-Monteith (εξίσωση 3.2) ως εξής:*

Για ένα καθορισμένο στα 2 m ύψος μετρήσεως της ταχύτητας του ανέμου, της θερμοκρασίας και της υγρασίας ( $z_m = z_h = 2$  m) και ύψος φυτών  $h = 0,12$  m, η αεροδυναμική και η επιφανείας αντίσταση έχουν βρεθεί παραπάνω (εξίσωση 3.4 και 3.6) και είναι

$$\begin{aligned} r_a &= 208/u_2 \text{ s m}^{-1} \text{ (όπου } u_2 \text{ η ταχύτητα του ανέμου στα 2 m),} \\ r_s &= 70 \text{ s m}^{-1} \text{ και} \\ (1 + r_s/r_a) &= (1 + 0,34 u_2) \end{aligned}$$

Η  $R_n$  και  $G$  είναι η διαθέσιμη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και εκφράζεται σε  $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ . Για τη μετατροπή των μονάδων ενέργειας για την ακτινοβολία σε αντίστοιχο ύψος νερού (mm), ως παράγοντας μετατροπής χρησιμοποιείται η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης,  $\lambda$ . Δηλαδή

$$1 \text{ mm day}^{-1} = \text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1} / 2,45 = 0,408 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$$

Η ειδική θερμότητα  $c_p$  δίνεται από την εξίσωση

$$c_p = \frac{\gamma \cdot \varepsilon \cdot \lambda}{P} \quad (3.7)$$

ενώ η μέση πυκνότητα του αέρα  $\rho_a$  σε σταθερή πίεση σύμφωνα με το νόμο των ιδανικών αερίων είναι

$$\rho_a = \frac{P}{T_{KV} R} \quad (3.8)$$

όπου  $T_{KV}$  είναι η πραγματική θερμοκρασία, η οποία μπορεί να αντικατασταθεί με

$$T_{KV} = 1,01(T + 273)$$

Έτσι ο όρος  $\frac{c_p \rho_a}{r_a}$  της εξίσωσης (3.2) είναι

$$\frac{c_p \rho_a}{r_a} = \frac{\gamma \cdot \varepsilon \cdot \lambda}{1,01(T + 273)R(208)} u_2 \text{ (MJ m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ day}^{-1}) \quad (3.9)$$

όπου

$c_p$  η ειδική θερμότητα του αέρα σε σταθερή πίεση ( $\text{MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),

$\rho_a$  η μέση πυκνότητα του αέρα σε σταθερή πίεση ( $\text{kg m}^{-3}$ ),

$r_a$  η αεροδυναμική αντίσταση ( $\text{s m}^{-1}$ ),

$\gamma$  η ψυχομετρική σταθερά ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),

$\varepsilon$  ο λόγος του μοριακού βάρους των ατμών νερού προς τον ξηρό αέρα = 0,622,

$\lambda$  η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ),

$u_2$  η ταχύτητα του ανέμου στα 2 m,

$R$  η ειδική σταθερά των αερίων =  $0,287 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,

T η θερμοκρασία του αέρα (°C) και  
P η ατμοσφαιρική πίεση (kPa).

Έτσι η (3.9) γίνεται

$$\frac{c_p \rho_a}{r_a} = 86400 \frac{\gamma(0,622)\lambda}{1,01(T + 273)(0,287)(208)} u_2 \quad (\text{MJ m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ day}^{-1})$$

ή αν διαιρέσουμε με λ (λ = 2,45) προκύπτει,

$$\frac{c_p \rho_a}{\lambda \cdot r_a} \approx \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 \quad (\text{mm } ^\circ\text{C day}^{-1}).$$

Έτσι από την αρχική εξίσωση των Penman-Monteith, για επιφάνεια αναφοράς όπως ορίστηκε παραπάνω, προκύπτει η **εξίσωση κατά FAO των Penman-Monteith** που είναι

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (3.10)$$

όπου

ET<sub>o</sub> η βασική εξατμισοδιαπνοή (mm day<sup>-1</sup>),

R<sub>n</sub> η καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια των φυτών (MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>),

G η ένταση της ροής θερμότητας προς το έδαφος (MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>),

T η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2 m (°C),

u<sub>2</sub> η ταχύτητα του ανέμου σε 2 m ύψος (m s<sup>-1</sup>),

e<sub>s</sub> η μέση πίεση των ατμών στον κορεσμό (kPa),

e<sub>a</sub> η πραγματική πίεση ατμών (kPa),

e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub> το έλλειμμα κορεσμού (kPa),

Δ η κλίση της καμπύλης της σχέσεως μεταξύ της πίεσης ατμών κορεσμού και της θερμοκρασίας (kPa °C<sup>-1</sup>) και

γ η ψυχομετρική σταθερά (kPa °C<sup>-1</sup>).

Οι παραπάνω παράμετροι θα αναφερθούν αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο και θα περιγραφεί ο τρόπος υπολογισμού τους.

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση Penman-Monteith του FAO, μπορούν να υπολογιστούν οι φυτικοί συντελεστές συσχετίζοντας την εξατμισοδιαπνοή του φυτού που μετρείται (ET<sub>c</sub>) με την υπολογισθείσα ET<sub>o</sub>, (K<sub>c</sub>=ET<sub>c</sub>/ET<sub>o</sub>). Για την προσέγγιση των φυτικών συντελεστών, υπολογίζονται οι διαφορές στο φύλλωμα του φυτού και στην αεροδυναμική αντίσταση σχετικά με το υποθετικό φυτό αναφοράς για κάθε φυτικό συντελεστή. Ο συντελεστής K<sub>c</sub> αποτελεί ένα άθροισμα των φυσικών και φυσιολογικών διαφορών μεταξύ των φυτών και του φυτού αναφοράς.



## 4

## ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής εκτός από μετεωρολογικά δεδομένα, είναι απαραίτητα και τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την **τοποθεσία** στην οποία γίνονται οι μετρήσεις των μετεωρολογικών δεδομένων.

Δηλαδή το *ύψος πάνω από το επίπεδο της θάλασσας (z)* και το *γεωγραφικό πλάτος (μοίρες βόρεια ή νότια)* πρέπει να είναι καθορισμένα. Αυτά τα στοιχεία χρειάζονται για να προσαρμοστούν (ρυθμιστούν) μερικές κλιματικές παράμετροι στην τοπική μέση τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης (μια συνάρτηση για την υψομετρική θέση πάνω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας) και να υπολογιστεί η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ( $R_a$ ) και, σε μερικές περιπτώσεις, οι ώρες ηλιοφάνειας (N). Στις διαδικασίες υπολογισμού των  $R_a$  και N, το γεωγραφικό πλάτος εκφράζεται σε μοίρες.

Για το βόρειο ημισφαίριο χρησιμοποιείται μια θετική ενώ για το νότιο μια αρνητική τιμή.

### 4.1 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Διάφορες σχέσεις είναι διαθέσιμες για να εκφράσουν τις κλιματικές παραμέτρους. Το αποτέλεσμα των κύριων κλιματικών παραμέτρων στην εξατμισοδιαπνοή μπορεί να αποτιμηθεί με τη βοήθεια των εξισώσεων αυτών. Κάποιες από τις εξισώσεις χρειάζονται παραμέτρους οι οποίες εκφράζουν ειδικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Για το λόγο αυτό πριν εξετασθούν οι τέσσερις κύριες κλιματικές παράμετροι, θα παρουσιαστούν κάποιες ατμοσφαιρικές παράμετροι.

#### Ατμοσφαιρική πίεση (P)

Ατμοσφαιρική πίεση, P, είναι η πίεση που ασκείται από το βάρος της ατμόσφαιρας στην επιφάνεια της γης. Σε μεγάλα υψόμετρα η εξάτμιση αυξάνεται λόγω της χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης όπως εκφράζεται στην ψυχομετρική σταθερά. Το αποτέλεσμα ωστόσο είναι μικρό και στις διαδικασίες υπολογισμού, η μέση τιμή για μια τοποθεσία είναι αρκετή.

Η ατμοσφαιρική πίεση δίνεται από την εξίσωση των Burman et al. (1987)

$$P = P_o \left( \frac{T_{ko} - a_1(z - z_o)}{T_{ko}} \right)^{\frac{g}{a_1 R}} \quad (4.1)$$

όπου

P η ατμοσφαιρική πίεση σε υψόμετρο z (kPa),

P<sub>o</sub> η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας = 101,3 (kPa),

z το υψόμετρο του τόπου (m),

z<sub>o</sub> το υψόμετρο αναφοράς (συνήθως η επιφάνεια της θάλασσας) (m),

g η επιτάχυνση της βαρύτητας = 9,807 (m s<sup>-2</sup>),

R η ειδική σταθερά των αερίων = 287 (J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>),

a<sub>1</sub> η σταθερή τιμή ολίσθησης του υγρού αέρα = 0,0065 (K m<sup>-1</sup>),

T<sub>ko</sub> η απόλυτη θερμοκρασία αναφοράς (K) στο υψόμετρο z<sub>o</sub>, η οποία είναι

$$T_{K0} = 273,16 + T \quad (4.2)$$

όπου  $T$  είναι η μέση θερμοκρασία για τη χρονική περίοδο υπολογισμού ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Αν υποθέσουμε  $P_0 = 101,3$  (kPa) σε  $z_0 = 0$ , και  $T_{K0} = 293$  (K) για  $T = 20$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), η εξίσωση (4.1) γίνεται

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (4.3)$$

### **Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης ( $\lambda$ )**

Η λανθάνουσα θερμότητα,  $\lambda$ , εκφράζει την ενέργεια που απαιτείται για την αλλαγή μιας μονάδας νερού από την υγρή στην αέρια κατάσταση σε σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Η τιμή της λανθάνουσας θερμότητας είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Σε υψηλές θερμοκρασίες, θα χρειαστεί λιγότερη ενέργεια από ότι σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η εξίσωση για τη  $\lambda$ , όπως δίνεται από τον Harrison (1963), είναι

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \times 10^{-3}) T \quad (4.4)$$

όπου

$\lambda$  η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ) και

$T$  η θερμοκρασία του αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Σε κανονικές θερμοκρασίες η τιμή της  $\lambda$  αλλάζει ελάχιστα, γι' αυτό στην απλοποίηση της εξίσωσης Penman-Monteith του FAO λαμβάνεται η τιμή  $2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$  που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία αέρα περίπου  $20^{\circ}\text{C}$ .

### **Ψυχομετρική σταθερά ( $\gamma$ )**

Η ψυχομετρική σταθερά,  $\gamma$ , που κατά τον Brunt (1952) αντιπροσωπεύει την ισορροπία μεταξύ της αισθητής θερμότητας που προσκτήθηκε από τον αέρα που προσπερνά το υγρό θερμόμετρο και αυτής που μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, δίνεται από την εξίσωση

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0,665 \times 10^{-3} P \quad (4.5)$$

όπου

$\gamma$  η ψυχομετρική σταθερά ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),

$P$  η ατμοσφαιρική πίεση (kPa),

$\lambda$  η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης,  $2,45$  ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ),

$c_p$  η ειδική θερμότητα του υγρού αέρα σε σταθερή πίεση,  $1,013 \times 10^{-3}$  ( $\text{MJ kg}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) και

$\epsilon$  ο λόγος του μοριακού βάρους των ατμών του νερού προς αυτό του ξηρού αέρα =  $0,622$ .

Η ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση είναι το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας μιας μονάδας μάζας αέρα κατά ένα βαθμό σε σταθερή πίεση. Η τιμή της εξαρτάται από τη σύνθεση του αέρα, π.χ. από την υγρασία του. Για μέσες ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή  $c_p = 1,013 \times 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} ^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Εφόσον για κάθε τοποθεσία χρησιμοποιείται μια μέση

ατμοσφαιρική πίεση (Εξίσωση 4.3), η ψυχομετρική σταθερά διατηρείται σταθερή για κάθε τοποθεσία. Εφόσον η ατμοσφαιρική πίεση εξαρτάται από το υψόμετρο  $z$  τότε και η ψυχομετρική σταθερά θα εξαρτάται από αυτό.

## 4.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ

*Μέτρηση:* Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται συνήθως από τους μετεωρολογικούς σταθμούς για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι τα θερμόμετρα υδραργύρου. Τα θερμόμετρα μεγίστης και ελάχιστης θερμοκρασίας χρησιμοποιούν υδράργυρο και αλκοόλη. Οι διμεταλλικοί θερμογράφοι είναι οι πιο συνηθισμένοι μηχανικοί καταγραφείς της θερμοκρασίας. Είναι εύκολοι στην ανάγνωση και στη συντήρηση, χρειάζονται όμως ρύθμιση της θέσης της γραφίδας.

Λόγω της μη γραμμικότητας των στοιχείων (δεδομένων) υγρασίας που χρειάζονται στην εξίσωση των Penman-Monteith του FAO, η πίεση ατμών για μια συγκεκριμένη περίοδο θα πρέπει να υπολογίζεται ως ο μέσος μεταξύ της πίεσης ατμών στις ημερήσιες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες της περιόδου αυτής. Η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα ( $T_{\max}$ ) και η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα ( $T_{\min}$ ) είναι αντίστοιχα η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα που παρατηρείται κατά τη διάρκεια ενός 24-ώρου, ξεκινώντας από τα μεσάνυχτα. Η μέση θερμοκρασία αέρα ( $T_{\text{mean}}$ ) χρησιμοποιείται στην εξίσωση των Penman-Monteith του FAO μόνο για τον υπολογισμό της κλίσης της πίεσης ατμών κορεσμού ( $\Delta$ ) και η επίδραση της μέσης πυκνότητας του αέρα ( $P_a$ ) ως αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων στην τιμή των κλιματικών παραμέτρων είναι μικρή σε αυτές τις περιπτώσεις. Ως  $T_{\text{mean}}$  για την περίοδο ενός 24-ώρου χρησιμοποιείται ο μέσος της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας παρά ο μέσος όρος των ωριαίων μετρήσεων θερμοκρασίας. Δηλαδή

$$T_{\text{mean}} = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$$

## 4.3 ΥΓΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ

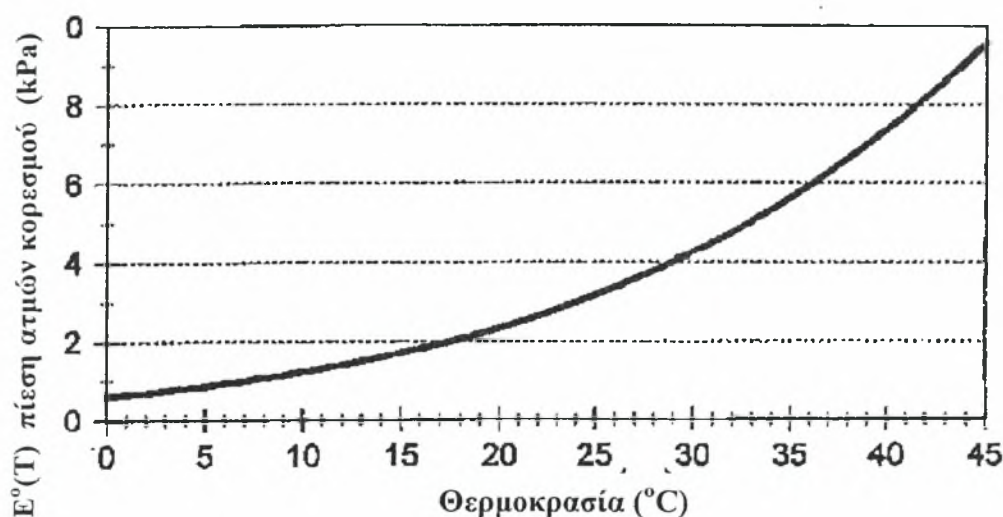
*Μέτρηση:* Στους μετεωρολογικούς σταθμούς μετρείται η θερμοκρασία ξηρού και υγρού βολβού με ψυχρόμετρα. Τα πιο συνηθισμένα είναι αυτά που χρησιμοποιούν δύο θερμόμετρα υδραργύρου, ένα από τα οποία έχει το βολβό καλυμμένο με ένα ύφασμα κορεσμένο με αποσταγμένο νερό και η θερμοκρασία που μετράει είναι μικρότερη λόγω της ψύξης που προκαλείται από την εξάτμιση. Στο ψυχρόμετρο του Assmann γίνεται δυναμικός αερισμός των θερμομέτρων του υγρού και ψυχρού βολβού. Η σχετική υγρασία μπορεί να βρεθεί από μετρήσεις της θερμοκρασίας ψυχρού και υγρού βολβού με το ψυχρόμετρο Assmann, με τη βοήθεια των πινάκων I που βρίσκονται στο τέλος του κεφαλαίου.

Η περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία μπορεί να εκφραστεί με διάφορους τρόπους. Οι πιο συνηθείς εκφράσεις της στην αγρομετεωρολογία είναι η πίεση ατμών, η θερμοκρασία του σημείου δρόσου, και η σχετική υγρασία.

## Πίεση ατμών

Ο ατμός νερού είναι αέριο και η πίεσή του συνεισφέρει στην συνολική ατμοσφαιρική πίεση. Το ποσό του νερού στον αέρα σχετίζεται απ' ευθείας με τη μερική πίεση που ασκείται από τους ατμούς του νερού στον αέρα και είναι επομένως το απ' ευθείας μέτρο της περιεκτικότητας του αέρα σε νερό.

Ο αέρας που βρίσκεται πάνω από μια επιφάνεια στην οποία πραγματοποιείται εξάτμιση, μπορεί να φτάσει σε μια κατάσταση ισορροπίας κατά την οποία όσα μόρια νερού μεταβαίνουν στην αέρια κατάσταση λόγω εξάτμισης τόσα μόρια επιστρέφουν στην υγρή κατάσταση. Σ' αυτή την κατάσταση ο αέρας λέγεται κορεσμένος και δεν μπορεί να αποθηκεύσει άλλα μόρια νερού. Η πίεση που αντιστοιχεί στην κατάσταση αυτή λέγεται *πίεση ατμών κορεσμού* ( $e^o(T)$ ). Ο αριθμός των μορίων του νερού που μπορεί να αποθηκευθεί στον αέρα εξαρτάται από τη θερμοκρασία ( $T$ ). Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο υψηλότερη είναι και η αποθηκευτική ικανότητα και η πίεση ατμών κορεσμού του αέρα αυτού (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 Η πίεση ατμών κορεσμού ως συνάρτηση της θερμοκρασίας: καμπύλη  $e^o(T)$  (Allen et al., 1998)

Όπως φαίνεται στο **σχήμα 4.1**, η κλίση της καμπύλης μεταβάλλεται εκθετικά με τη θερμοκρασία. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, η κλίση είναι μικρή και μεταβάλλεται πολύ λίγο καθώς η θερμοκρασία αυξάνει. Σε υψηλές θερμοκρασίες, η κλίση είναι μεγάλη και μικρές αλλαγές στην θερμοκρασία έχουν ως αποτέλεσμα μεγάλες αλλαγές στην κλίση. Η κλίση της καμπύλης της πίεσης ατμών κορεσμού,  $\Delta$ , είναι μια σημαντική για την περιγραφή της εξάτμισης παράμετρος και είναι απαραίτητη στην εξίσωση με την οποία υπολογίζεται η βασική εξατμισοδιαπνοή  $ET_o$ .

Η *πραγματική πίεση ατμών* ( $e_a$ ) είναι η πίεση των ατμών που ασκείται από το νερό που είναι αποθηκευμένο στον αέρα. Όταν ο αέρας δεν είναι κορεσμένος, η πραγματική πίεση ατμών είναι μικρότερη από την πίεση ατμών κορεσμού. Η διαφορά μεταξύ της πίεσης ατμών κορεσμού και της πραγματικής πίεσης ατμών καλείται *έλλειμμα πίεσης ατμών* ή *έλλειμμα κορεσμού* και είναι ένας ακριβής δείκτης της πραγματικής εξατμιστικής ικανότητας του αέρα.



## Θερμοκρασία σημείου δρόσου ( $T_{dew}$ )

Η θερμοκρασία σημείου δρόσου είναι η θερμοκρασία στην οποία ο αέρας πρέπει να φτάσει για να καταστεί κορεσμένος. Η πραγματική πίεση ατμών του αέρα είναι η πίεση ατμών κορεσμού στη θερμοκρασία του σημείου δρόσου. Όσο ξηρότερος είναι ο αέρας, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου. Για την περίπτωση μετρήσεων με το ψυχρόμετρο Assman, η  $T_{dew}$  υπολογίζεται από τη σχέση

$$T_{dew} = (112 + 0,9T_{wet}) \left( \frac{e_a}{e^o(T_{wet})} \right)^{1/8} - 112 + 0,1T_{wet} \quad (4.6)$$

όπου

$T_{wet}$  η θερμοκρασία του υγρού βολβού ( $^{\circ}\text{C}$ ) και

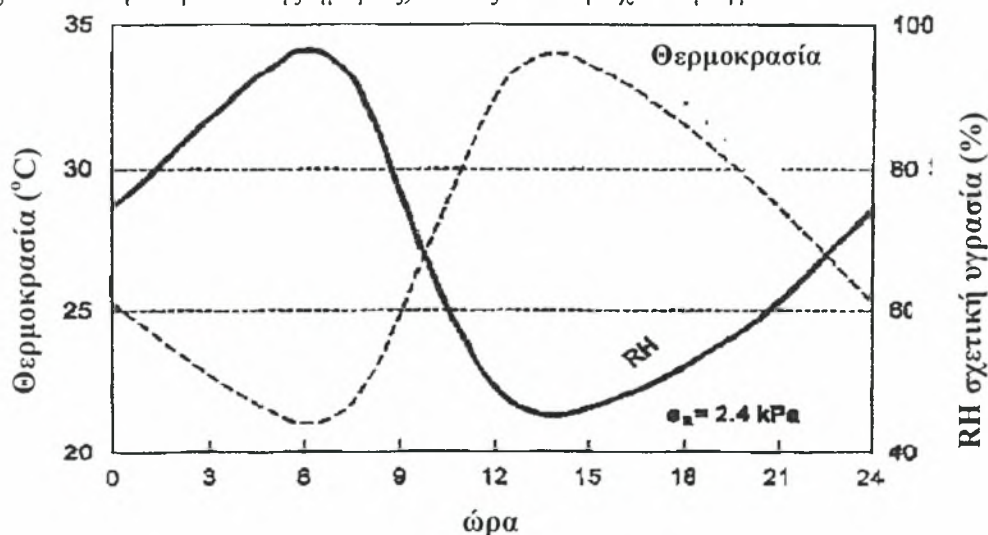
$e^o(T_{wet})$  η πίεση των ατμών κορεσμού στη θερμοκρασία του υγρού βολβού (kPa).

## Σχετική υγρασία

Η σχετική υγρασία (RH) εκφράζει το βαθμό κορεσμού του αέρα ως το λόγο της πραγματικής ( $e_a$ ) προς αυτή του κορεσμού ( $e^o(T)$ ) πίεσης ατμών στην ίδια θερμοκρασία (T):

$$RH = 100 \frac{e_a}{e^o(T)} \quad (4.7)$$

Σχετική υγρασία είναι ο λόγος μεταξύ του ποσού του νερού που ο περιβάλλον αέρας πραγματικά συγκρατεί και του ποσού που μπορεί να συγκρατήσει στην ίδια θερμοκρασία. Είναι αδιάστατη και συχνά δίνεται σαν ποσοστό. Παρόλο που η πραγματική πίεση ατμών μπορεί να είναι σχετικά σταθερή κατά τη διάρκεια της ημέρας, η σχετική υγρασία κυμαίνεται μεταξύ ενός μεγίστου κοντά στην ανατολή του ηλίου και ενός ελαχίστου νωρίς το απόγευμα (**Σχήμα 4.2**). Η μεταβολή αυτή της σχετικής υγρασίας είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι η πίεση ατμών κορεσμού καθορίζεται από τη θερμοκρασία του αέρα. Έτσι καθώς η θερμοκρασία του αέρα αλλάζει κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλάζει και η σχετική υγρασία.



**Σχήμα 4.2** Η μεταβολή της σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια του 24-ώρου για σταθερή πραγματική πίεση ατμών ίση με 2,4 kPa (Allen et al., 1998)

### 4.3.1 Διαδικασία υπολογισμού

#### 1. Της κλίσης της καμπύλης πίεσης ατμών κορεσμού ( $\Delta$ )

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, η κλίση ( $\Delta$ ) της καμπύλης μεταξύ της πίεσης ατμών κορεσμού και της θερμοκρασίας, είναι απαραίτητη. Η κλίση της καμπύλης (**Σχήμα 4.1**) σε μια δοσμένη θερμοκρασία, κατά τους Tetens (1930) και Muggay (1967) μπορεί να υπολογιστεί τη σχέση

$$\Delta = \frac{4098e^{\circ}(T)}{(T + 237,3)^2} = \frac{2504 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,2}\right)}{(T + 237,3)^2} \quad (4.8)$$

όπου

$\Delta$  η κλίση της καμπύλης ατμών κορεσμού σε θερμοκρασία αέρα  $T$  (kPa  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) και  $T$  η θερμοκρασία του αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Στην εξίσωση των Penman-Monteith κατά FAO όπου η  $\Delta$  υπάρχει και στον αριθμητή και στον παρονομαστή, η κλίση της καμπύλης της πίεσης των ατμών κορεσμού υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την μέση θερμοκρασία αέρα.

#### 2. Του ελλείμματος κορεσμού ( $e_s - e_a$ )

##### A. Μέση πίεση ατμών κορεσμού ( $e_s$ )

Εφόσον η πίεση ατμών κορεσμού σχετίζεται με τη θερμοκρασία του αέρα, μπορεί να υπολογιστεί αν αυτή είναι γνωστή με την εξίσωση που διατύπωσε ο Tetens (1930)

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 \exp\left[\frac{17,27T}{T + 237,3}\right] \quad (4.9)$$

όπου

$e^{\circ}(T)$  η πίεση ατμών κορεσμού στην θερμοκρασία  $T$  (kPa) και  $T$  η θερμοκρασία του αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Λόγω της μη γραμμικότητας της παραπάνω εξίσωσης, η μέση πίεση ατμών κορεσμού για μια μέρα, εβδομάδα, δεκαήμερο ή μήνα πρέπει να υπολογίζεται ως ο μέσος όρος της πίεσης ατμών κορεσμού κατά τη μέση μέγιστη και μέση ελάχιστη θερμοκρασία αέρα κατά την περίοδο αυτή, δηλαδή

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2} \quad (4.10)$$

όπου

$e^{\circ}(T_{\max})$  η πίεση ατμών κορεσμού κατά τη μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (kPa) και

$e^{\circ}(T_{\min})$  η πίεση ατμών κορεσμού κατά τη μέση ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (kPa).

Η χρησιμοποίηση της μέσης θερμοκρασίας αντί της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερους υπολογισμούς της

μέσης πίεσης ατμών κορεσμού. Το αντίστοιχο έλλειμμα κορεσμού θα είναι επίσης μικρότερο με αποτέλεσμα την υποεκτίμηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής. Επομένως, η μέση πίεση ατμών κορεσμού πρέπει να υπολογίζεται ως ο μέσος όρος της πίεσης ατμών κορεσμού της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας.

**B. Υπολογισμός της πραγματικής πίεσης ατμών ( $e_a$ ) από τη μέση σχετική υγρασία ( $RH_{mean}$ )**

Η πραγματική πίεση ατμών ( $e_a$ ) μπορεί να υπολογιστεί από τη μέση σχετική υγρασία ( $RH_{mean}$ ) με την εξίσωση

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100} \left[ \frac{e^{\circ}(T_{max}) + e^{\circ}(T_{min})}{2} \right] \tag{4.11}$$

- όπου
- $RH_{mean}$  η μέση σχετική υγρασία (%),
- $e^{\circ}(T_{max})$  η πίεση ατμών κορεσμού κατά τη μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (kPa) και
- $e^{\circ}(T_{min})$  η πίεση ατμών κορεσμού κατά τη μέση ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (kPa).

**Έλλειμμα κορεσμού ( $e_s - e_a$ )**

Έτσι έχοντας υπολογίσει τη μέση πίεση ατμών κορεσμού,  $e_s$  και την πραγματική πίεση ατμών,  $e_a$ , από τις εξισώσεις (4.9), (4.10) και (4.11) αντίστοιχα, μπορεί να υπολογιστεί το έλλειμμα κορεσμού, ( $e_s - e_a$ ) για μια δεδομένη χρονική περίοδο.

**4.4 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ**

**Μέτρηση:** Στους μετεωρολογικούς σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν, υπήρχαν μετρήσεις διάρκειας ηλιοφάνειας με τη χρήση του ηλιογράφου των Campbell-Stokes. Στον ηλιογράφο αυτό μία γυάλινη σφαίρα εστιάζει την δέσμη της ακτινοβολίας σε ένα ειδικό χαρτί καταγραφής το οποίο καίγεται και σχηματίζεται έτσι μία γραμμή καθώς ο ήλιος κινείται. Είναι φανερό ότι όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια το καταγραφικό χαρτί δεν καίγεται. Οι μετρήσεις είναι αξιόπιστες όταν το καταγραφικό χαρτί είναι τοποθετημένο στη σωστή θέση σύμφωνα με τη θέση του ηλίου, ενώ προσοχή χρειάζεται για την αποφυγή συγκέντρωσης βρόχινου νερού στο χαρτί. Ο ηλιογράφος πρέπει να είναι προσανατολισμένος προς το Νότο για το βόρειο ημισφαίριο.

**Αρχές**

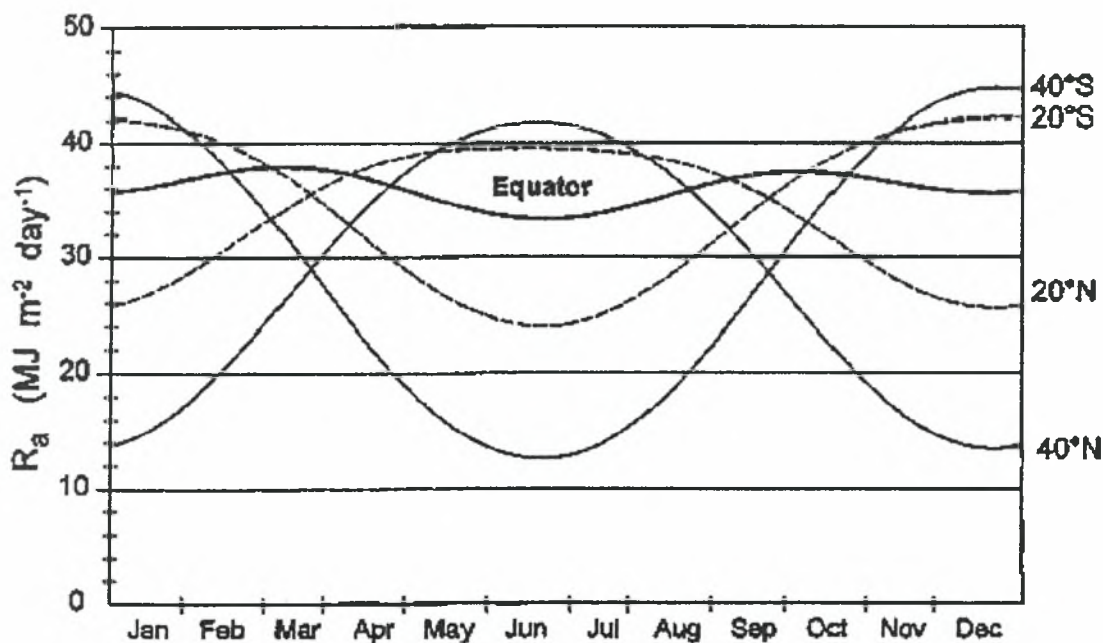
**Άμεση ή εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία ( $R_d$ )**

Η απόσταση γης-ηλίου δεν είναι σταθερή. Μεταβάλλεται λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της γης κατά 1,7% γύρω από μια μέση τιμή  $1,495 \times 10^{11}$  m. Η τιμή αυτή ονομάζεται *Αστρονομική Μονάδα (A.U.)*. Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο όριο της ατμόσφαιρας και για κάθε συγκεκριμένη απόσταση γης-ηλίου, μπορεί να θεωρηθεί σταθερά.

Η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφανεΐας, που δέχεται από τον ήλιο επιφάνεια κάθετη στη διάδοση της ηλιακής ακτινοβολΐας, που βρίσκεται σε απόσταση μιας Αστρονομικής Μονάδας και έξω από το όριο της ατμόσφαιρας, ονομάζεται *ηλιακή σταθερά*  $G_{sc}$  και είναι  $1353 \text{ W/m}^2$  ή περίπου  $0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ .

Σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες μετρήσεις από δορυφόρους η τιμή της ηλιακής σταθεράς είναι  $G_{sc} = 1370 \pm 6 \text{ W/m}^2$ . Παλιότερες μετρήσεις έδιναν την τιμή  $G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$ . Επειδή πολλές χρήσιμες σχέσεις έχουν εξαχθεί με την παλιότερη τιμή, συνήθως χρησιμοποιείται αυτή. ( $1 \text{ W/m}^2 = 0,0864 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1} \Rightarrow 1353 \text{ W/m}^2 = 0,08118 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$  και  $1370 \text{ W/m}^2 = 0,0822 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ).

Η τοπική ένταση της ακτινοβολΐας καθορίζεται από την γωνΐα πρόσπτωσης, δηλαδή τη γωνΐα που σχηματίζεται μεταξύ της διεύθυνσης των ακτινών του ηλΐου και την κάθετη στην επιφάνεια της ατμόσφαιρας. Αυτή η γωνΐα αλλάζει κατά τη διάρκεια της ημέρας και είναι διαφορετική σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη και διαφορετικές εποχές. Η ηλιακή ακτινοβολΐα που φτάνει στο όριο της ατμόσφαιρας σε μία οριζόντια επιφάνεια και επομένως δεν έχει υποστεί σκέδαση από αυτή ονομάζεται *άμεση ηλιακή ακτινοβολΐα*,  $R_a$ . Αν ο ήλιος είναι ακριβώς από πάνω, η γωνΐα πρόσπτωσης είναι μηδέν και η άμεση ηλιακή ακτινοβολΐα είναι  $1353 \text{ W/m}^2$  ή  $0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ . Όταν οι εποχές αλλάζουν, αλλάζει και η θέση του ηλΐου, το μήκος της ημέρας και επομένως και η  $R_a$ . Η άμεση ηλιακή ακτινοβολΐα επομένως είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους, της ημέρας του έτους και της ώρας της ημέρας. Ημερήσιες τιμές της  $R_a$  κατά τη διάρκεια του έτους για διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη δίνονται στο **Σχήμα 4.3** ενώ στον **πίνακα 4.1** φαίνεται η ημερήσια άμεση ηλιακή ακτινοβολΐα ( $R_a$ ) σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη για τη 15<sup>η</sup> ημέρα του μήνα.



**Σχήμα 4.3** Η μεταβολή κατά τη διάρκεια του έτους της άμεσης ηλιακής ακτινοβολΐας ( $R_a$ ) στον ισημερινό, σε 20 και 40° βόρεια και νότια (Allen et al., 1998)



Διάχυτη ή προσπίπτουσα ηλιακή (μικρού μήκους κύματος) ακτινοβολία  $R_s$

Καθώς η ακτινοβολία διεισδύει στην ατμόσφαιρα, υπόκειται σε σκέδαση, ανάκλαση ή απορρόφηση από τα αέρια της ατμόσφαιρας, τα σύννεφα και τη σκόνη. Το ποσό της ακτινοβολίας που φτάνει σε ένα οριζόντιο επίπεδο καλείται διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία,  $R_s$ .

Σε μια χωρίς σύννεφα ημέρα, η  $R_s$  είναι το πολύ το 75% της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Σε μια ημέρα με σύννεφα, η ακτινοβολία διαχέεται στην ατμόσφαιρα, αλλά ακόμη και σε περιπτώσεις με πολύ πυκνά σύννεφα, ένα 25% της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να φτάσει στην επιφάνεια της γης κυρίως ως διαχέομενη ακτινοβολία. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το άθροισμα της απ' ευθείας από τον ήλιο μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας και της διάχυτης ακτινοβολίας του ουρανού.

Πίνακας 4.1 Η ημερήσια άμεση ηλιακή ακτινοβολία ( $R_a$ ) για το βόρειο ημισφαίριο σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη για τη 15<sup>η</sup> ημέρα του μήνα ( $MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$ ) (Allen et al., 1998)

Northern Hemisphere												Lat. deg.
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
0.0	2.6	10.4	23.0	35.2	42.5	39.4	28.0	14.9	4.9	0.1	0.0	70
0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42.0	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0	68
0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1	66
1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30.0	18.4	8.5	2.4	0.6	64
2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39.0	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3	62
3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2	60
4.3	9.6	17.7	28.4	37.0	41.3	39.4	32.0	21.7	12.1	5.5	3.1	58
5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2	56
6.5	12.0	20.0	30.0	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2	54
7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4	52
8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5	50
10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7	48
11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9	46
12.5	18.0	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1	44
13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4	42
15.0	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30.0	22.5	16.3	13.6	40
16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37.0	30.7	23.6	17.5	14.8	38
17.5	22.6	29.0	35.7	40.0	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1	36
18.7	23.7	29.9	36.1	40.0	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3	34
19.9	24.8	30.7	36.5	40.0	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5	32
21.1	25.8	31.4	36.8	40.0	41.2	40.6	38.0	33.4	27.6	22.2	19.8	30
22.3	26.8	32.2	37.1	40.0	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21.0	28
23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2	26
24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3	24
25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5	22
26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6	20
27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8	18
28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9	16
29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9	14
30.9	33.8	36.5	38.0	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0	12
31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0	10
32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0	8
33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9	6
34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9	4
35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8	2
36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6	0

## Σχετική διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ( $R_s/R_{so}$ )

Σχετική διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι ο λόγος της διάχυτης μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας ( $R_s$ ) προς την διάχυτη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία σε καθαρό ουρανό (ή ακτινοβολία ολικής αιθρίας) ( $R_{so}$ ).  $R_s$  είναι η ηλιακή ακτινοβολία που πραγματικά φτάνει στην επιφάνεια της γης σε μια δεδομένη περίοδο, ενώ  $R_{so}$  είναι η ηλιακή ακτινοβολία που θα έφτανε στην ίδια επιφάνεια κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου αλλά σε χωρίς σύννεφα συνθήκες.

Η σχετική διάχυτη ακτινοβολία είναι ένας τρόπος να εκφραστεί η κατάσταση από πλευράς νέφωσης της ατμόσφαιρας. Όσο πιο συννεφιασμένος είναι ο ουρανός τόσο πιο μικρός είναι ο λόγος. Ο λόγος αυτός κυμαίνεται μεταξύ του 0,33 (ουρανός με πυκνά σύννεφα) και 1 (καθαρός ουρανός). Λόγω της μη ύπαρξης της δυνατότητας μιας απ' ευθείας μέτρησης της  $R_n$ , η σχετική διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της καθαρής μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας  $R_{nl}$ .

## Σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας ( $n/N$ )

Η σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας είναι ένας άλλος λόγος ο οποίος εκφράζει την κατάσταση από πλευράς νέφωσης της ατμόσφαιρας. Είναι ο λόγος της πραγματικής διάρκειας ηλιοφάνειας,  $n$ , προς τη μέγιστη πιθανή διάρκεια ηλιοφάνειας  $N$ . Όταν δεν υπάρχουν σύννεφα, η πραγματική ηλιοφάνεια είναι ίση με την μέγιστη πιθανή ηλιοφάνεια ( $n = N$ ) και ο λόγος είναι ένα, ενώ τις ημέρες με σύννεφα η  $n$  και συνεπώς και ο λόγος μπορεί να είναι και μηδέν. Λόγω του ότι δεν μπορεί να γίνει απ' ευθείας μέτρηση της  $R_s$ , η σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας,  $n/N$ , συχνά χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η διάχυτη από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Όπως και με την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, το μήκος της ημέρας  $N$  εξαρτάται από τη θέση του ηλίου και επομένως είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και της ημέρας του έτους και τη χρονική στιγμή της ημέρας. Ημερήσιες τιμές της  $N$  φαίνονται στον Πίνακα 4.2.

## Ανακλαστικότητα ( $\alpha$ ) και καθαρή ηλιακή (μικρού μήκους κύματος) ακτινοβολία ( $R_{ns}$ )

Μια μεγάλη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης ανακλάται. Το κλάσμα,  $\alpha$ , της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από την επιφάνεια της γης καλείται ανακλαστικότητα. Η τιμή της ανακλαστικότητας εξαρτάται από την επιφάνεια, τη γωνία πρόσπτωσης και από την κλίση της επιφάνειας του εδάφους. Μπορεί να έχει τιμή από 0,95 για το χιόνι έως 0,05 για ένα υγρό γυμνό έδαφος. Μια επιφάνεια καλυμμένη από πράσινη βλάστηση έχει ανακλαστικότητα 0,20-0,25. Για μια με γρασίδι καλυμμένη επιφάνεια αναφοράς η  $\alpha$  υποθέτεται ότι έχει τιμή 0,23 (βλ. Σχήμα 2.1).

Η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία,  $R_{ns}$ , είναι το κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας  $R_s$  που δεν ανακλάται από την επιφάνεια και η τιμή της είναι  $(1-\alpha) R_s$ .

## Καθαρή μακρού μήκους κύματος ακτινοβολία ( $R_{nl}$ )

Η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από την γη μετατρέπεται σε ενέργεια θερμότητας. Από διάφορες διαδικασίες όπως η εκπομπή ακτινοβολίας, η γη χάνει αυτή την ενέργεια. Η γη, η οποία έχει πολύ μικρότερη θερμοκρασία από αυτή του

ηλίου, εκπέμπει ακτινοβολία μακρού μήκους κύματος. Η μακρού μήκους κύματος αυτή ακτινοβολία ( $R_{i, up}$ ) απορροφάται από την ατμόσφαιρα ή χάνεται στο διάστημα.

**Πίνακας 4.2** Η μέση θεωρητική διάρκεια ηλιοφάνειας σε ώρες ( $N$ ) για το βόρειο ημισφαίριο σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη για την 15<sup>η</sup> ημέρα του μήνα (Allen et al., 1998)

Northern Hemisphere												Lat. deg.
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
0.0	6.6	11.0	15.6	21.3	24.0	24.0	17.6	12.8	8.3	2.3	0.0	70
2.1	7.3	11.1	15.3	19.7	24.0	22.3	17.0	12.7	8.7	4.1	0.0	68
3.9	7.8	11.2	14.9	18.7	22.0	20.3	16.4	12.7	9.0	5.2	1.9	66
5.0	8.2	11.2	14.7	17.9	20.3	19.2	16.0	12.6	9.3	6.0	3.7	64
5.7	8.5	11.3	14.4	17.3	19.2	18.4	15.7	12.6	9.5	6.6	4.8	62
6.4	8.8	11.4	14.2	16.8	18.4	17.7	15.3	12.5	9.7	7.1	5.6	60
6.9	9.1	11.4	14.1	16.4	17.8	17.2	15.1	12.5	9.9	7.5	6.2	58
7.3	9.3	11.5	13.9	16.0	17.3	16.8	14.8	12.4	10.1	7.9	6.7	56
7.7	9.5	11.5	13.8	15.7	16.8	16.4	14.6	12.4	10.2	8.2	7.1	54
8.0	9.7	11.5	13.6	15.4	16.5	16.0	14.4	12.4	10.3	8.5	7.5	52
8.3	9.8	11.6	13.5	15.2	16.1	15.7	14.3	12.3	10.4	8.7	7.9	50
8.6	10.0	11.6	13.4	15.0	15.8	15.5	14.1	12.3	10.6	9.0	8.2	48
8.8	10.1	11.6	13.3	14.8	15.5	15.2	14.0	12.3	10.7	9.2	8.5	46
9.1	10.3	11.6	13.2	14.6	15.3	15.0	13.8	12.3	10.7	9.4	8.7	44
9.3	10.4	11.7	13.2	14.4	15.0	14.8	13.7	12.3	10.8	9.6	9.0	42
9.5	10.5	11.7	13.1	14.2	14.8	14.6	13.6	12.2	10.9	9.7	9.2	40
9.6	10.6	11.7	13.0	14.1	14.6	14.4	13.5	12.2	11.0	9.9	9.4	38
9.8	10.7	11.7	12.9	13.9	14.4	14.2	13.4	12.2	11.1	10.1	9.6	36
10.0	10.8	11.8	12.9	13.8	14.3	14.1	13.3	12.2	11.1	10.2	9.7	34
10.1	10.9	11.8	12.8	13.6	14.1	13.9	13.2	12.2	11.2	10.3	9.9	32
10.3	11.0	11.8	12.7	13.5	13.9	13.8	13.1	12.2	11.3	10.5	10.1	30
10.4	11.0	11.8	12.7	13.4	13.8	13.6	13.0	12.2	11.3	10.6	10.2	28
10.5	11.1	11.8	12.6	13.3	13.6	13.5	12.9	12.1	11.4	10.7	10.4	26
10.7	11.2	11.8	12.6	13.2	13.5	13.3	12.8	12.1	11.4	10.8	10.5	24
10.8	11.3	11.9	12.5	13.1	13.3	13.2	12.8	12.1	11.5	10.9	10.7	22
10.9	11.3	11.9	12.5	12.9	13.2	13.1	12.7	12.1	11.5	11.0	10.8	20
11.0	11.4	11.9	12.4	12.8	13.1	13.0	12.6	12.1	11.6	11.1	10.9	18
11.1	11.5	11.9	12.4	12.7	12.9	12.9	12.5	12.1	11.6	11.2	11.1	16
11.3	11.6	11.9	12.3	12.6	12.8	12.8	12.5	12.1	11.7	11.3	11.2	14
11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3	12
11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4	10
11.6	11.7	11.9	12.2	12.4	12.5	12.4	12.3	12.0	11.8	11.6	11.5	8
11.7	11.8	12.0	12.1	12.3	12.3	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7	11.7	6
11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.2	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	4
11.9	11.9	12.0	12.0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	11.9	2
12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	0

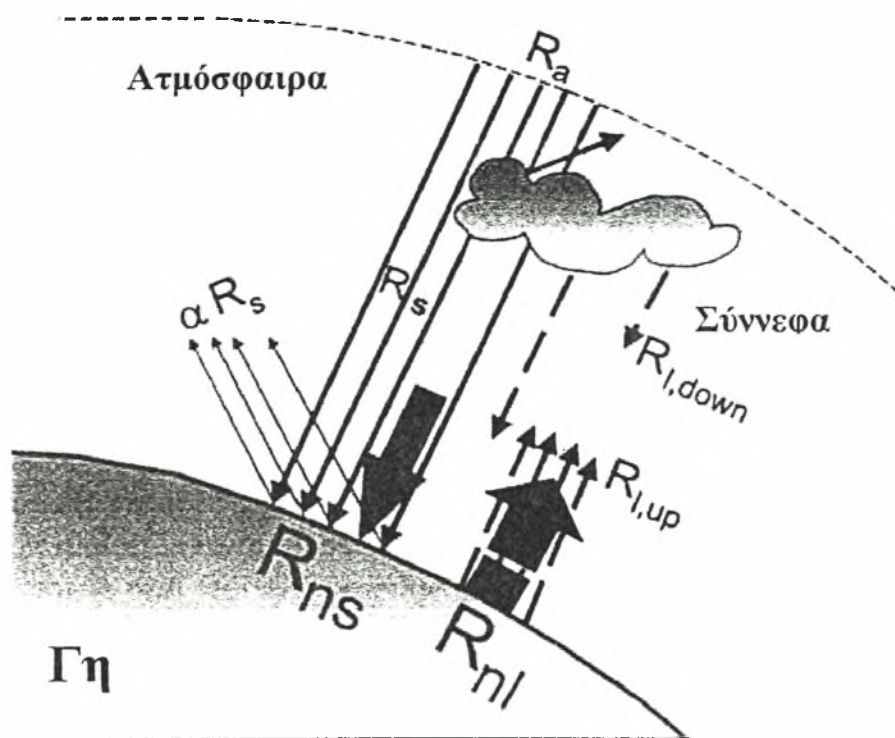
Η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που απορροφάται από την ατμόσφαιρα ( $R_{i, down}$ ) αυξάνει την θερμοκρασία της και συνεπώς, η ατμόσφαιρα ακτινοβολεί ενέργεια από μόνη της όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 4.4**. Μέρος της ακτινοβολίας επιστρέφει στην επιφάνεια της γης και επομένως η γη εκπέμπει και λαμβάνει μεγάλου μήκους ακτινοβολία ταυτόχρονα. Η διαφορά της εξερχόμενης και της εισερχόμενης μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας, καλείται *καθαρή μακρού μήκους κύματος ακτινοβολία*,  $R_{nl}$ . Καθώς η εξερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία είναι



σχεδόν πάντα μεγαλύτερη από την εισερχόμενη, η  $R_{nl}$  αντιπροσωπεύει μια απώλεια ενέργειας.

### Καθαρή ακτινοβολία ( $R_n$ )

Η καθαρή ακτινοβολία είναι η διαφορά μεταξύ της εισερχόμενης και εξερχόμενης μαζί της μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας. Είναι το ισοζύγιο μεταξύ της ενέργειας που απορροφάται, ανακλάται και εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης ή η διαφορά μεταξύ της εισερχόμενης μικρού μήκους ( $R_{ns}$ ) και της εξερχόμενης μεγάλου μήκους ( $R_{nl}$ ) ακτινοβολίας (Σχήμα 4.4). Η  $R_n$  είναι λογικά θετική κατά τη διάρκεια της ημέρας και αρνητική κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η συνολική ημερήσια τιμή της  $R_n$  είναι σχεδόν πάντα θετική κατά τη διάρκεια του 24-ώρου, εκτός από περιπτώσεις ακραίων συνθηκών σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.



Σχήμα 4.4 Οι διάφορες συνιστώσες της ακτινοβολίας (Allen et al., 1998)

### Πυκνότητα ροής θερμότητας προς το έδαφος ( $G$ )

Κατά τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν όλοι οι όροι του ισοζυγίου ενέργειας (Εξίσωση 3.1). Η πυκνότητα ροής θερμότητας προς το έδαφος,  $G$ , είναι η ενέργεια που καταναλώνεται για τη θέρμανση του εδάφους. Η  $G$  είναι θετική όταν το έδαφος θερμαίνεται και αρνητική όταν αυτό κρυώνει. Παρόλο που η πυκνότητα ροής θερμότητας προς το έδαφος είναι μικρή συγκρινόμενη με την  $R_n$  και συχνά αγνοείται, το ποσό της ενέργειας που κερδίζεται ή χάνεται από το



έδαφος με τη διαδικασία αυτή θα πρέπει θεωρητικά να αφαιρείται ή να προστίθεται στην  $R_n$  κατά τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής.

#### 4.4.1 Διαδικασία υπολογισμού

##### 1. Της καθαρής ακτινοβολίας $R_n$

*Υπολογισμός της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας  $R_a$  για ημερήσιες περιόδους*

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία,  $R_a$ , για κάθε μέρα του έτους και για διάφορα γεωγραφικά πλάτη μπορεί να υπολογιστεί από την ηλιακή σταθερά, την ηλιακή απόκλιση και τη χρονική στιγμή του έτους από την εξίσωση των Duffie και Beckman (1980, 1991)

$$R_a = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} G_{sc} d_r \left[ \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) \right] \quad (4.12)$$

όπου

$R_a$  η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ),

$G_{sc}$  η ηλιακή σταθερά  $\approx 1353 \text{ W m}^{-2}$ ,

$d_r$  η αντίστροφη σχετική απόσταση Γης-Ηλίου,

$\omega_s$  η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου (μοίρες),

$\phi$  το γεωγραφικό πλάτος (μοίρες) και

$\delta$  η απόκλιση του ηλίου (μοίρες).

Η  $R_a$  στην παραπάνω εξίσωση εκφράζεται σε  $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ . Η αντίστοιχη ισοδύναμη εξάτμιση σε  $\text{mm day}^{-1}$  λαμβάνεται πολλαπλασιάζοντας την  $R_a$  με 0,408. Δηλαδή

$$\text{Ισοδύναμη εξάτμιση (mm day}^{-1}\text{)} = 0,408 \times \text{ακτινοβολία (MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}\text{)}$$

Το γεωγραφικό πλάτος,  $\phi$ , που εκφράζεται σε μοίρες είναι θετικό για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικό για το νότιο.

Η αντίστροφη σχετική απόσταση Γης-Ηλίου,  $d_r$ , και η ηλιακή απόκλιση,  $\delta$ , δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{360}{365} J\right) \quad (4.13)$$

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284 + J}{365}\right) \quad (4.14)$$

όπου  $J$  είναι ο αριθμός της ημέρας του έτους μεταξύ 1 (1 Ιανουαρίου) έως 365 ή 366 (31 Δεκεμβρίου) (**Για  $J$  Πίνακας 4.3**).

Η ωριαία γωνία δύσης,  $\omega_s$ , δίνεται από την εξίσωση

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\phi) \tan(\delta)] \quad (4.15)$$

Πίνακας 4.3 Ο αριθμός της ημέρας του έτους (J)

ΗΜ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ*	ΑΠΡ*	ΜΑΙ*	ΙΟΥΝ*	ΙΟΥΛ*	ΑΥΓ*	ΣΕΠ*	ΟΚΤ*	ΝΟΕ*	ΔΕΚ*
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	(60)	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30	-	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31	-	90	-	151	-	212	243	-	304	-	365

\* προστίθεται 1 για δίσεκτο έτος

Επειδή η συνάρτηση  $\arccos$  δεν είναι διαθέσιμη σε όλους τους υπολογιστές, η ωριαία γωνία δύσης δίνεται και από την εξίσωση

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan \left[ \frac{-\tan(\phi) \tan(\delta)}{X^{0,5}} \right] \quad (4.16)$$

όπου

$X = 1 - [\tan(\phi)]^2 [\tan(\delta)]^2$  και

$X = 10^{-5}$  αν  $X \leq 0$

### Μέγιστη πιθανή διάρκεια ηλιοφάνειας (N)

Η μέγιστη πιθανή διάρκεια ηλιοφάνειας, N, δίνεται από την εξίσωση

$$N = \frac{2}{15} \omega_s \quad (4.17)$$

όπου  $\omega_s$  η ωριαία γωνία δύσης σε μοίρες και δίνεται από την εξίσωση (4.15) ή (4.16). Μέσες τιμές για τη N (τη 15<sup>η</sup> μέρα για κάθε μήνα) για διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη δίνονται από τον πίνακα 4.2.

### Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ( $R_s$ )

Αν η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία,  $R_s$ , δεν μετρείται, μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο του Angstrom που συσχετίζει την άμεση με τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία και τη σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας:

$$R_s = \left( a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad (4.18)$$

όπου

$R_s$  η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ),

n η πραγματική διάρκεια ηλιοφάνειας (hr),

N η μέγιστη πιθανή διάρκεια ηλιοφάνειας (hr),

n/N η σχετική διάρκεια ηλιοφάνειας,

$R_a$  η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ),

$a_s$  σταθερά παλινδρόμησης, που εκφράζει το κλάσμα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη τις συννεφιασμένες ημέρες (ημέρες ολικής νέφωσης) (n = 0) και

$a_s + b_s$  το κλάσμα της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη τις καθαρές από σύννεφα ημέρες (ημέρες ολικής αιθρίας) (n = N).

Οι τιμές των συντελεστών του Angstrom  $a_s$  και  $b_s$  εξαρτώνται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (υγρασία, σκόνη) και την ηλιακή απόκλιση (γεωγραφικό πλάτος και μήνα). Αν δεν υπάρχουν τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό των παραμέτρων  $a_s$  και  $b_s$ , από τους Doorenbos και Pruitt (1977) προτείνονται οι τιμές  $a_s = 0,25$  και  $b_s = 0,50$  (οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται και στην παρούσα εργασία).

### **Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία καθαρού από σύννεφα ουρανού ή ακτινοβολία ολικής αιθρίας ( $R_{so}$ )**

Ο υπολογισμός της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας καθαρού από σύννεφα ουρανού,  $R_{so}$ , δηλαδή όταν  $n = N$ , είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της καθαρής μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας,  $R_{nl}$ .

Η εξίσωση που δίνει την τιμή της  $R_{so}$  για υψόμετρα σταθμών κάτω των 6000 m και σχετικά καθαρή ατμόσφαιρα είναι

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (4.19)$$

όπου

$z$  είναι το υψόμετρο του σταθμού (m) και

$R_a$  η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ).

Η εξίσωση αυτή αναπτύχθηκε για τη γραμμικοποίηση του νόμου του Beer για την εξάλειψη της ακτινοβολίας (radiation extinction law) ως συνάρτηση του υψόμετρου του σταθμού και υποθέτοντας ότι η μέση γωνία του ήλιου πάνω από τον ορίζοντα είναι περίπου  $50^\circ$ .

### **Καθαρή ηλιακή (μικρού μήκους κύματος) ακτινοβολία ( $R_{ns}$ )**

Η καθαρή μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία,  $R_{ns}$ , προκύπτει από το ισοζύγιο μεταξύ της εισερχόμενης και της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας και δίνεται από την εξίσωση

$$R_{ns} = (1-\alpha)R_s \quad (4.20)$$

όπου

$R_{ns}$  η καθαρή μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ),

$\alpha$  η ανακλαστικότητα ή συντελεστής ανάκλασης του φυλλώματος και έχει τιμή 0,23 για μια με γρασίδι επιφάνεια αναφοράς (χορτοτάπητα) και

$R_s$  η εισερχόμενη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ).

### **Καθαρή μεγάλου μήκους κύματος (θερμική) ακτινοβολία ( $R_{nl}$ )**

Ο ρυθμός εκπομπής μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας είναι ανάλογος της τέταρτης δύναμης της απόλυτης θερμοκρασίας της επιφάνειας. Η σχέση αυτή εκφράζεται ποσοτικά από το νόμο των Stefan-Boltzmann

$$H = \sigma T^4 \quad (4.21)$$

όπου  $H$  είναι η ροή θερμότητας,  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία και  $\sigma$  είναι η σταθερά Stefan-Boltzmann.

Η καθαρή ροή ενέργειας που εγκαταλείπει την επιφάνεια της γης και τελικά χάνεται στο διάστημα, είναι όμως μικρότερη από αυτή που εκπέμπεται από αυτήν και δίνεται από το νόμο των Stefan-Boltzmann, λόγω της απορρόφησης της ακτινοβολίας από τον ουρανό και της επιστροφής της προς τα κάτω. Οι ατμοί νερού, τα σύννεφα, το διοξείδιο του άνθρακα και η σκόνη απορροφούν και επανεκπέμπουν μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία. Οι συγκεντρώσεις τους επομένως θα πρέπει να είναι γνωστές κατά τον υπολογισμό της καθαρής εξερχόμενης ροής. Έτσι καθώς η υγρασία



και η κατάσταση από πλευράς νέφωσης παίζουν σημαντικό ρόλο, ο νόμος των Stefan-Boltzmann διορθώνεται για τους δύο αυτούς παράγοντες όταν υπολογίζεται η καθαρή εξερχόμενη ροή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας. Αν θεωρηθεί ότι οι συγκεντρώσεις των άλλων στοιχείων που απορροφούν μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία είναι σταθερές η εξίσωση για τον υπολογισμό της καθαρής μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας είναι

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \left( 1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (4.22)$$

όπου

$R_{nl}$  η καθαρή εξερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ),

$\sigma$  η σταθερά των Stefan-Boltzmann ( $4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ),

$T_{\max,K}$  η μέγιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια ενός 24-ώρου ( $K = ^\circ\text{C} + 273,16$ ),

$T_{\min,K}$  η ελάχιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια ενός 24-ώρου ( $K = ^\circ\text{C} + 273,16$ ),

$e_a$  η πραγματική πίεση ατμών (kPa),

$R_s/R_{so}$  η σχετική μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία ( $\leq 1$ ),

$R_s$  η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία η οποία μετρείται ή υπολογίζεται ( $\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ),

$R_{so}$  η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία καθαρού από σύννεφα ουρανού ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ).

Στην εξίσωση των Stefan-Boltzmann για 24-ωρα χρονικά διαστήματα, συνήθως χρησιμοποιούνται μέσοι όροι της τέταρτης δύναμης της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα. Ο όρος  $(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a})$  εκφράζει τη διόρθωση για την υγρασία του αέρα και μικραίνει όταν αυξάνεται η υγρασία. Η επίδραση της νέφωσης εκφράζεται από τον όρο  $(1,35 R_s/R_{so} - 0,35)$ . Ο όρος αυτός γίνεται μικρότερος όταν η νέφωση αυξάνει αφού η  $R_s$  μικραίνει. Όσο μικρότεροι είναι οι όροι αυτοί, τόσο μικραίνει και η καθαρή εξερχόμενη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία.

### **Καθαρή ακτινοβολία ( $R_n$ )**

Η καθαρή ακτινοβολία,  $R_n$ , είναι η διαφορά μεταξύ της εισερχόμενης μικρού μήκους κύματος ( $R_{ns}$ ) και της εξερχόμενης μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας ( $R_{nl}$ )

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (4.23)$$

## **2. Της πυκνότητας της ροής της θερμότητας προς το έδαφος (G)**

Πολύπλοκα μοντέλα είναι διαθέσιμα για την περιγραφή της πυκνότητας της ροής της θερμότητας προς το έδαφος. Επειδή η πυκνότητα της ροής της θερμότητας προς το έδαφος είναι μικρή συγκρινόμενη με την  $R_n$ , ιδιαίτερα όταν η επιφάνεια καλύπτεται από βλάστηση και τα χρονικά διαστήματα υπολογισμών είναι 24 ωρών και μεγαλύτερα, μια απλή διαδικασία υπολογισμού παρουσιάζεται παρακάτω, η οποία βασίζεται στην ιδέα ότι η θερμοκρασία του εδάφους ακολουθεί αυτή του αέρα, σύμφωνα με τη σχέση που διατύπωσαν οι Wijk και Vries (1963)

$$G = c_s \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta t} \Delta z \quad (4.24)$$

όπου

$G$  η πυκνότητα της ροής της θερμότητας προς το έδαφος ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ),

$c_s$  η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους ( $\text{MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ),

$T_i$  η θερμοκρασία του αέρα τη χρονική στιγμή  $i$  ( $^\circ\text{C}$ ),

$T_{i-1}$  η θερμοκρασία του αέρα τη χρονική στιγμή  $i-1$  ( $^\circ\text{C}$ ),

$\Delta t$  το μήκος του χρονικού διαστήματος (ημέρες) και

$\Delta z$  το ενεργό βάθος εδάφους (m).

Αφού στις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα η θερμοκρασία του εδάφους παρουσιάζει υστέρηση λόγω της μεγαλύτερης θερμοχωρητικότητας του εδάφους από αυτή του αέρα, για την εκτίμηση της ημερήσιας πυκνότητας της ροής της θερμότητας προς το έδαφος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν η μέση θερμοκρασία μιας περιόδου μεγαλύτερης της μιας ημέρας. Το βάθος διείσδυσης στο έδαφος του θερμοκρασιακού κύματος καθορίζεται από το μήκος του χρονικού διαστήματος. Το ενεργό βάθος του εδάφους,  $\Delta z$ , είναι μόνο 0,10-0,20 m για ένα χρονικό διάστημα μιας ή μερικώς ημερών αλλά μπορεί να είναι 2 m ή και περισσότερο για περιόδους ενός μήνα. Η θερμοχωρητικότητα του εδάφους εξαρτάται από την ορυκτολογική του σύσταση και από την περιεκτικότητά του σε νερό.

#### Για μηνιαίες περιόδους

Αν υποτεθεί μια σταθερή πυκνότητα της ροής της θερμότητας προς το έδαφος με τιμή 2,1 ( $\text{MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) και ένα κατάλληλο βάθος, η εξίσωση (4.24) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της  $G$  για μηνιαίες περιόδους (Jensen et al., 1990)

$$G_{\text{month}, i} = 0,07 (T_{\text{month}, i+1} - T_{\text{month}, i-1}) \quad (4.25)$$

ή, αν η  $T_{\text{month}, i+1}$  είναι άγνωστη

$$G_{\text{month}, i} = 0,14 (T_{\text{month}, i} - T_{\text{month}, i-1}) \quad (4.26)$$

όπου

$T_{\text{month}, i}$  η μέση θερμοκρασία του αέρα του μήνα  $i$  ( $^\circ\text{C}$ ),

$T_{\text{month}, i-1}$  η μέση θερμοκρασία του αέρα του προηγούμενου μήνα ( $^\circ\text{C}$ ) και

$T_{\text{month}, i+1}$  η μέση θερμοκρασία του αέρα του επόμενου μήνα ( $^\circ\text{C}$ ).

## 4.5 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ

**Μέτρηση:** Η ταχύτητα του ανέμου μετρείται με τα ανεμόμετρα τα οποία είναι τοποθετημένα συνήθως στα 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Τα πιο συνηθισμένα είναι τα ανεμόμετρα “τριών κυπέλλων”, ενώ συνηθισμένα είναι και τα ανεμόμετρα με προπέλα. Οι μετρήσεις είναι αξιόπιστες όταν τα μηχανικά μέρη των ανεμόμετρων είναι καλά διατηρημένα. Στους σταθμούς της Ελλάδας, χρησιμοποιούνται ανεμόμετρα με μετρητή. Για να είναι ακριβής οι μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου, πρέπει τα ανεμόμετρα να τοποθετούνται σε χώρους που δεν υπάρχουν κτίρια, δένδρα ή άλλα εμπόδια που περιορίζουν τον άνεμο.

Η ταχύτητα του ανέμου όταν μετρείται σε διαφορετικά ύψη πάνω από την επιφάνεια του εδάφους είναι διαφορετική. Η τριβή από την επιφάνεια του εδάφους τείνει να μειώσει την ταχύτητα του ανέμου. Έτσι η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη και θεωρείται ίση με μηδέν στην επιφάνεια του εδάφους και αυξάνεται με το ύψος. Όταν όμως το έδαφος καλύπτεται από καλλιέργειες, το επίπεδο στο οποίο η ταχύτητα του αέρα είναι ίση με το μηδέν, και το οποίο λέγεται *μηδενικό επίπεδο*, δεν συμπίπτει με την επιφάνεια του εδάφους αλλά βρίσκεται κάπου ψηλότερα. Η απόσταση ανάμεσα στο έδαφος και το μηδενικό επίπεδο λέγεται *μετατόπιση του μηδενικού επιπέδου*. Ακόμη, κάτω από αδιαβατικές συνθήκες της ατμόσφαιρας, παρατηρήθηκε ότι η σχέση μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου και της απόστασης πάνω από το μηδενικό επίπεδο είναι εκθετική.

Λόγω της μεταβολής αυτής με το ύψος, τα ανεμόμετρα είναι τοποθετημένα σε ένα συγκεκριμένο ύψος, π.χ. στα 10 m στην μετεωρολογία και στα 2 ή 3 m στην αγρομετεωρολογία. Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, απαιτείται η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου να γίνεται στα 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Για να προσαρμοστούν τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου που έχουν ληφθεί από συσκευές που είναι τοποθετημένες σε ύψος διαφορετικό από αυτό των 2 m, οι Thompson et al. (1981) και Allen et al. (1989) παρουσίασαν μια σχέση αναγωγής στο ύψος των 2 m που έχει τη μορφή

$$u_2 = u_z \frac{\ln\left(\frac{z_2 - d}{z_{om}}\right)}{\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right)} \quad (4.27)$$

όπου

$u_z$  η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$  m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους ( $\text{msec}^{-1}$ ),

$u_2$  η ταχύτητα του ανέμου στα 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους ( $\text{msec}^{-1}$ ),

$z_m$  το ύψος μέτρησης (m),

$d$  η μετατόπιση του μηδενικού επιπέδου (m) και

$z_{om}$  μια παράμετρος τραχύτητας της επιφάνειας για ζώσα δύναμη (m).

Για μετρήσεις που γίνονται πάνω από μια επιφάνεια καλυμμένη με χαμηλό γρασίδι, ύψους 0,12 m σύμφωνα με τον ορισμό της επιφάνειας αναφοράς κατά FAO, η λογαριθμική κατατομή της ταχύτητας ανέμου όπως προκύπτει από την παραπάνω **εξίσωση (4.27)** είναι

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \quad (4.28)$$

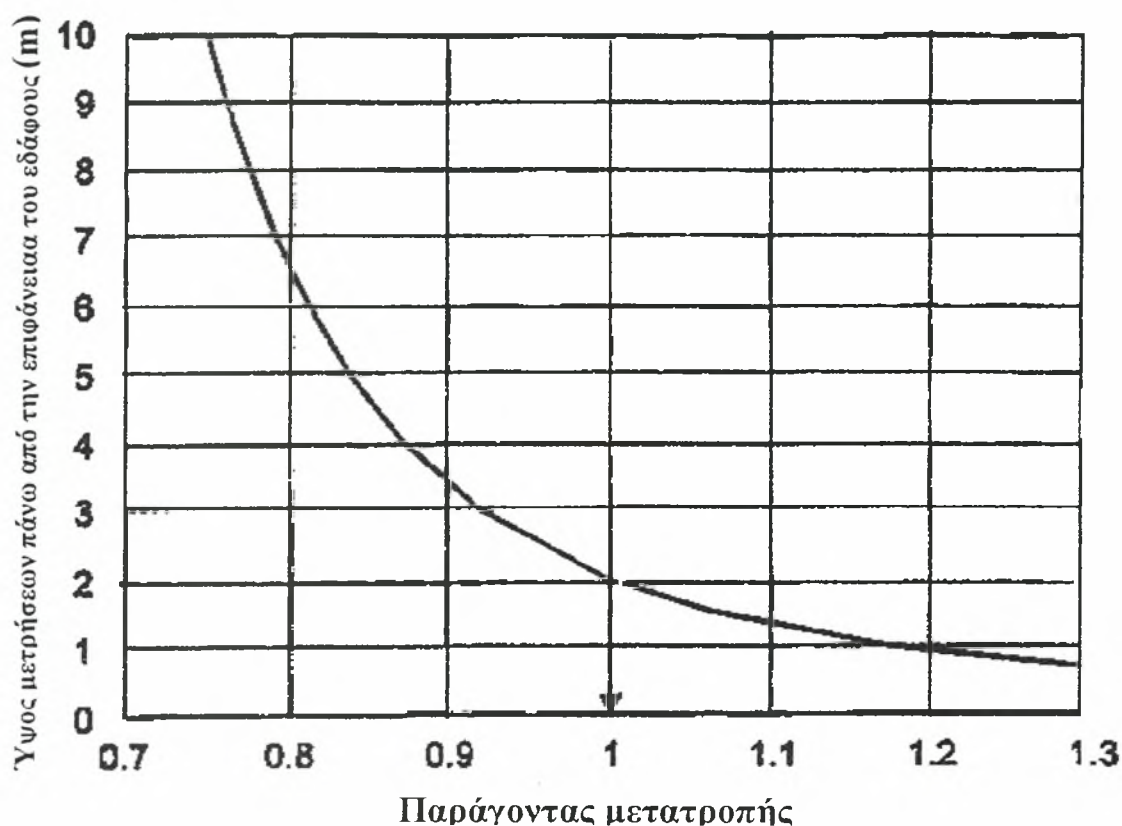
όπου

$u_2$  η ταχύτητα του ανέμου στα 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους ( $\text{msec}^{-1}$ ),

$u_z$  η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$  m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους ( $\text{msec}^{-1}$ ) και

$z$  το ύψος μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (m).

Ο παράγοντας μετατροπής της ταχύτητας ανέμου που μετρείται σε ύψος  $z$  σε ταχύτητα ανέμου στα 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους φαίνεται στο **Σχήμα 4.5**.



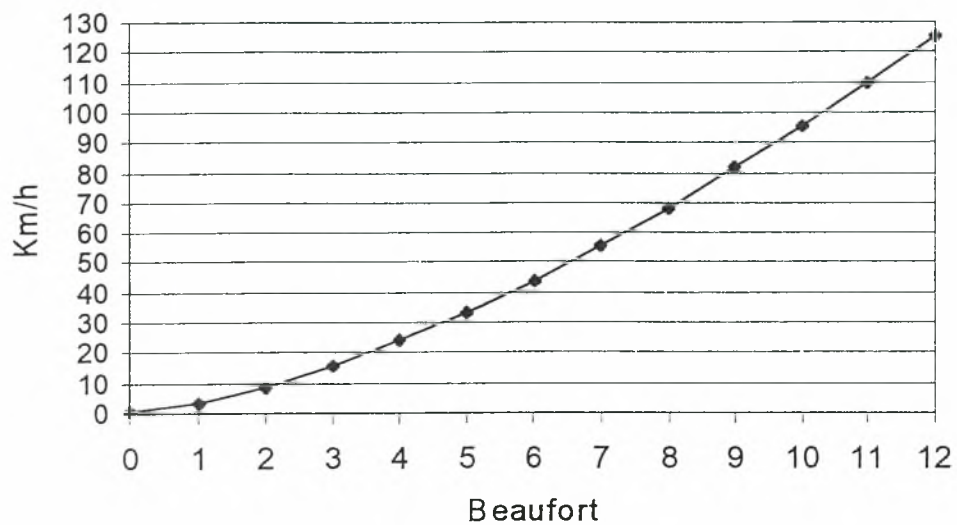
**Σχήμα 4.5** Παράγοντας μετατροπής της ταχύτητας ανέμου που μετρείται σε ένα ύψος  $z$  πάνω από την επιφάνεια του εδάφους σε ταχύτητα ανέμου στα 2 m (Allen et al., 1998)

Αν η ταχύτητα του ανέμου δίνεται σε κλίμακα Beaufort, η αντιστοιχία της κλίμακας Beaufort και Km/h ( $1 \text{ m/sec} = 3,6 \text{ Km/h}$ ) δίνεται στον **πίνακα 4.4** και στο διάγραμμα του **Σχήματος 4.6** που έγινε με βάση τις τιμές του **πίνακα 4.4**.

**Πίνακας 4.4** Αντιστοιχία κλίμακας Beaufort και Km/h

Beaufort	Km/hr
0	0 - 1
1	1 - 5
2	6 - 11(12)
3	12 - 19
4	20 - 28
5	29 - 38
6	39 - 49
7	50 - 61
8	62 - 74
9	75 - 88
10	89 - 102
11	103 - 117
12	118 - 133





Σχήμα 4.6 Αντιστοιχία κλίμακας Beaufort και Km/h

**ΠΙΝΑΚΑΣ Ia**  
**ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΟ ASSMANN**

θερμό- μετρο υγρό θ' °C	ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ θ-θ' °C																
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,0	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
0	100	96	93	90	86	83	80	77	74	71	68	65	62	59	57	54	52
1	100	97	93	90	87	84	81	78	75	72	69	66	64	61	59	56	54
2	100	97	94	90	87	84	81	79	76	73	70	68	65	63	60	58	56
3	100	97	94	91	88	85	82	80	77	74	72	69	67	64	62	60	58
4	100	97	94	91	88	86	83	80	78	75	73	70	68	66	63	61	59
5	100	97	94	91	89	86	84	81	79	76	74	71	69	67	65	63	61
6	100	97	95	92	89	87	84	82	79	77	75	73	70	68	66	64	62
7	100	97	95	92	90	87	85	82	80	78	76	73	71	69	67	65	63
8	100	97	95	92	90	88	85	83	81	79	76	74	72	70	68	66	65
9	100	97	95	93	90	88	86	84	81	79	77	75	73	71	69	68	66
10	100	98	95	93	91	88	86	84	82	80	78	76	74	72	70	69	67
11	100	98	95	93	91	89	87	85	83	81	79	77	75	73	71	70	68
12	100	98	96	93	91	89	87	85	83	81	79	78	76	74	72	71	69
13	100	98	96	94	92	90	88	86	84	82	80	78	76	75	73	71	70
14	100	98	96	94	92	90	88	86	84	82	81	79	77	76	74	72	71
15	100	98	96	94	92	90	88	86	85	83	81	79	78	76	75	73	71
16	100	98	96	94	92	90	89	87	85	83	82	80	78	77	75	74	72
17	100	98	96	94	92	91	89	87	85	84	82	81	79	77	76	74	73
18	100	98	96	94	93	91	89	87	86	84	83	81	79	78	76	75	74
19	100	98	96	95	93	91	90	88	86	85	83	82	80	79	77	76	74
20	100	98	97	95	93	91	90	88	87	85	84	83	80	79	78	76	74
21	100	98	97	95	93	92	90	88	87	85	84	83	81	79	78	77	75
22	100	98	97	95	93	92	90	89	87	86	84	83	81	80	78	77	76
23	100	98	97	95	93	92	90	89	87	86	84	83	82	80	79	78	76
24	100	98	97	95	94	92	91	89	88	86	85	83	82	81	79	78	77
25	100	98	97	95	94	92	91	89	88	86	85	84	82	81	80	78	77
26	100	98	97	95	94	92	91	90	88	87	85	84	83	81	80	79	78
27	100	98	97	95	94	93	91	90	88	87	86	84	83	82	81	79	78
28	100	99	97	96	94	93	91	90	89	87	86	85	83	82	81	80	78

**ΠΙΝΑΚΑΣ Ib**  
**ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΟ ASSMANN**

θερμό- μετρο υγρό θ' °C	ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ θ-θ' °C																
	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2	6,4	6,6
0	49	47	45	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	23	21	19	18
1	51	49	47	45	43	41	38	37	35	33	31	29	27	26	24	22	21
2	54	51	49	47	45	43	41	39	37	35	34	32	30	29	27	25	24
3	55	53	51	49	47	45	43	41	40	38	36	34	33	31	30	28	27
4	57	55	53	51	49	47	45	44	42	40	38	37	35	34	32	31	29
5	59	57	55	53	51	49	47	46	44	42	41	39	38	36	35	33	32
6	61	58	56	54	53	51	49	48	46	44	43	41	40	38	37	35	34
7	62	61	58	56	54	53	51	49	48	46	45	43	42	40	39	37	36
8	63	61	59	57	56	54	52	51	49	48	46	45	43	42	41	39	38
9	64	62	61	59	57	56	54	52	51	49	48	47	45	44	43	41	40
10	65	63	62	60	59	57	55	54	52	51	50	48	47	46	44	43	42
11	66	65	63	61	60	58	57	55	54	52	51	50	48	47	46	45	43
12	67	66	64	63	61	60	58	57	55	54	52	51	50	49	47	46	45
13	68	67	65	64	62	61	59	58	56	55	54	53	51	50	49	48	46
14	69	68	66	65	63	62	60	59	57	56	55	54	53	51	50	49	48
15	70	68	67	66	64	63	61	60	59	57	56	55	54	53	51	50	49
16	71	69	68	66	65	64	62	61	60	59	57	56	55	54	53	51	50
17	71	70	69	67	66	65	63	62	61	60	58	57	56	55	54	53	52
18	72	71	69	68	67	65	64	63	62	60	59	58	57	56	54	54	53
19	73	71	70	69	68	66	65	64	63	61	60	59	58	57	56	55	54
20	73	72	71	70	68	67	66	64	63	62	61	60	59	58	57	56	54
21	74	73	71	70	69	68	66	65	64	63	62	61	60	58	57	56	55
22	74	73	72	71	69	68	67	66	65	64	63	61	60	59	58	57	56
23	75	74	72	71	70	69	68	67	65	64	63	62	61	60	59	58	57
24	75	74	73	72	71	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58
25	76	75	74	72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59
26	76	75	74	73	72	71	70	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59
27	77	76	75	73	72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60
28	77	76	75	74	73	72	71	70	69	67	66	65	65	64	63	62	61

# ΠΙΝΑΚΑΣ Ic ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΟ ASSMANN

Θερμό- μετρο υγρό θ' °C	ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ θ-θ' °C																
	6,8	7,0	7,2	7,4	7,6	7,8	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8	9,0	9,2	9,4	9,6	9,8	10,0
0	16	14	13	11													
1	19	18	16	15	13	12											
2	22	21	19	18	17	15	14	13	12								
3	25	24	22	21	20	18	17	16	15	14	12						
4	28	26	25	24	22	21	20	19	18	16	15	14	13	12			
5	30	29	28	26	25	24	23	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
6	33	31	30	29	28	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
7	35	33	32	31	30	29	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
8	37	36	34	33	32	31	30	29	27	26	25	24	23	22	21	21	20
9	39	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22
10	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24
11	42	41	40	39	38	37	36	34	33	32	31	30	30	29	28	27	26
12	44	43	42	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	30	29	28
13	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	30
14	47	46	45	43	42	41	40	39	38	37	37	36	35	34	33	32	31
15	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	34	33
16	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	38	37	36	35	34
17	50	49	48	47	46	45	44	43	43	42	41	40	39	38	37	36	36
18	51	50	49	48	47	46	46	45	44	43	42	41	40	39	39	38	37
19	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	41	40	39	38
20	53	52	51	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	42	41	40	39
21	54	53	52	51	50	50	49	48	47	46	45	44	44	43	42	41	40
22	55	54	53	52	51	50	50	49	48	47	46	45	45	44	43	42	41
23	56	55	54	53	52	51	50	50	49	48	47	46	45	45	44	43	42
24	57	56	55	54	53	52	51	51	50	49	48	47	46	46	45	44	43
25	58	57	56	55	54	53	52	52	51	50	49	48	47	47	46	45	44
26	58	58	57	56	55	54	53	52	52	51	50	49	48	48	47	46	45
27	59	58	57	56	56	55	54	53	52	51	51	50	49	48	48	47	46
28	60	59	58	57	56	55	55	54	53	52	51	51					



**ΠΙΝΑΚΑΣ Ιδ**  
**ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΟ ASSMANN**

θερμό- μετρο υγρό θ' °C	ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ θ-θ' °C												
	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	16,0	17,0	18,0
0													
1													
2													
3													
4	10	8	6	4	2								
5	12	10	8	7	5	3	2						
6	15	13	11	9	7	6	4	3	1				
7	17	15	13	12	10	8	7	5	4	3			
8	20	18	16	14	12	11	9	8	6	5	3		
9	22	20	18	16	14	13	11	10	8	7	5	3	1
10	24	22	20	18	17	15	13	12	11	9	7	5	3
11	26	24	22	20	19	17	15	14	13	11	9	7	5
12	28	26	24	22	20	19	17	16	14	13	11	9	7
13	29	27	26	24	22	21	19	18	16	15	13	10	8
14	31	29	27	25	24	22	21	19	18	17	14	12	10
15	32	30	29	27	25	24	22	21	19	18	16	14	12
16	34	32	30	28	27	25	24	22	21	20	17	15	13
17	35	33	31	30	28	27	25	24	22	21	19	16	14
18	36	34	33	31	29	28	26	25	24	22	20	18	16
19	38	36	34	32	31	29	26	25	24	22	21	19	17
20	39	37	35	33	32	30	29	27	26	25	22	20	18
21	40	38	36	34	33	31	30	29	27	26	24	24	19
22	41	39	37	36	34	32	31	30	28	27	25		
23	42	40	38	37	35	34	32	31	29	28			
24	43	41	39	38									
25	44	42											
26													
27													
28													

ΠΙΝΑΚΑΣ Ιε  
ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΟ ASSMANN

Ταχύτητα τεχνητού ρεύματος  
Αέρος > 3,6 m/sec

H = 1000 mbs (750,062 mm Hg)

θερμό- μετρο υγρό θ' °C	ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ θ-θ' °C															
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2, 4	2,6	2,8	3,0
-10	100	94	88	82	77	71	66	61	56	51	46	41	37	33	28	24
-9	100	95	89	84	78	73	68	63	58	54	49	45	41	36	33	29
8	100	95	89	84	79	74	70	65	60	56	52	48	44	40	36	32
7	100	95	90	85	80	76	71	67	63	58	54	50	47	43	39	36
6	100	95	90	86	81	77	73	69	65	61	57	53	49	46	43	39
-5	100	95	91	87	82	78	74	70	66	63	59	55	52	49	45	42
4	100	96	91	87	83	79	75	72	68	64	61	57	54	51	48	45
3	100	96	92	88	84	80	77	73	70	66	63	60	57	53	51	48
2	100	96	92	88	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50
-1	100	96	93	89	86	82	79	76	72	69	66	63	60	58	55	52
0	100	96	93	89	86	83	80	77	73	70	67	64	61	58	56	53
θ' °C	ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ θ-θ' °C															
	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,2
-10	20															
9	25	21														
8	29	25	21													
7	32	29	26	23												
6	36	33	30	27	24											
-5	39	36	33	30	27	25	22									
4	42	39	36	33	31	28	26	23	21							
3	45	42	39	37	34	32	29	27	25	22						
2	47	45	42	40	37	35	32	30	28	26	24	22				
1	50	47	45	42	40	38	35	33	31	29	27	25	23			
0	51	48	46	44	41	39	37	35	33	31	29	27	25	23		

\* Οι τιμές της σχετικής υγρασίας γενικώς με το ψυχρόμετρο Assmann ελήφθησαν από: Aspiratations-Psychrometer-Tafeln του Reichschmit fur Wetterdienst, Berlin, 1940.

## 5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΚΑΙ ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

Μετά τον υπολογισμό της βασικής εξατμισοδιαπνοής και αφού επιλεγεί ο κατάλληλος φυτικός συντελεστής, υπολογίζεται η πραγματική εξατμισοδιαπνοή από τη σχέση

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (5.1)$$

όπου

$ET_c$  η πραγματική εξατμισοδιαπνοή,

$ET_o$  η βασική εξατμισοδιαπνοή και

$K_c$  ο φυτικός συντελεστής.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται τόσο σε μέγεθος όσο και σε κατανομή από την ύπαρξη υψηλής υπόγειας στάθμης νερού. Στην περίπτωση αυτή, κάτω από συνθήκες παρόμοιες με τις ελληνικές, τα εδάφη την άνοιξη ζεσταίνονται αργά με αποτέλεσμα να καθυστερεί το φύτρωμα και η ανάπτυξη των φυτών. Καθυστερούν επίσης οι εργασίες προετοιμασίας των χωραφιών για τη σπορά. Συνέπεια των παραπάνω είναι η διαφοροποίηση της  $ET_c$  τόσο κατά το πρώτο στάδιο όσο και κατά τα επόμενα στάδια αναπτύξεως.

Το ύψος της  $ET_c$  επηρεάζεται επίσης από τη μέθοδο με την οποία εφαρμόζεται το νερό στο χωράφι. Κατά την άρδευση με αυλάκια, μέρος μόνο της επιφάνειας του εδάφους υγραίνεται. Αυτό δεν φαίνεται να έχει ουσιαστική επίδραση στην εξατμισοδιαπνοή, εκτός από την περίπτωση που η διαβροχή δεν ξεπερνά το 30% και το φύλλωμα της καλλιέργειας καλύπτει σχετικά περιορισμένη επιφάνεια του χωραφιού. Αυτό συμβαίνει συνήθως σε οπωρώνες και αμπέλια, οπότε η  $ET_c$  μπορεί να περιοριστεί σε ποσοστό μέχρι 5%.

Κατά την άρδευση με καταιονισμό, η διαπνοή των φυτών περιορίζεται δραστικά κατά την διάρκεια της αρδεύσεως που όμως αντισταθμίζεται από αυξημένη εξάτμιση από τα υγρά φύλλα και το έδαφος. Ουσιαστική επίδραση κατά την εφαρμογή της μεθόδου ασκεί η ταχύτητα του ανέμου. Οι απώλειες του νερού φτάνουν το 15% όταν η ταχύτητα φτάσει τα 5 m/sec. Η άρδευση με καταιονισμό πρέπει να διακόπτεται όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά την τιμή αυτή. Διαφοροποίηση της εξατμισοδιαπνοής παρουσιάζεται κατά κανόνα όταν εφαρμόζεται στάγδην άρδευση. Και στη μέθοδο αυτή η διαφοροποίηση είναι ασήμαντη όταν η καλλιέργεια καλύπτει όλη την επιφάνεια του εδάφους. Αντίθετα, η  $ET_c$  περιορίζεται ουσιαστικά όταν υπάρχει μερική μόνο κάλυψη της επιφάνειας από τα φυτά που γίνεται μεγαλύτερη όταν το έδαφος γίνεται ελαφρό και οι κλιματικές συνθήκες ευνοούν έντονους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής.

### 5.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΦΥΤΙΚΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ

Όπως πολύ γενικά αναφέρθηκε, οι φυτικοί συντελεστές,  $K_c$ , χρησιμοποιούνται μαζί με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (βασική),  $ET_o$ , για τον υπολογισμό των αναγκών σε νερό των διαφόρων καλλιεργειών. Οι ανάγκες αυτές εκφράζονται από την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας,  $ET_c$ . Οι φυτικοί συντελεστές προσδιορίζονται από πειραματικά δεδομένα και εκφράζονται από τη σχέση

$$K_e = \frac{ET_e}{ET_o} \quad (5.2)$$

όπου  $K_e$  είναι ο αδιάστατος φυτικός συντελεστής μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες εδαφικής υγρασίας,  $ET_e$  είναι η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας και  $ET_o$ , είναι η ημερήσια βασική εξατμισοδιαπνοή.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή των φυτικών συντελεστών είναι τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, η εποχή σποράς ή φύτευσης, ο ρυθμός ανάπτυξης της καλλιέργειας, η διάρκεια της βλαστικής περιόδου, οι εδαφικές και κλιματικές συνθήκες. Η ημερομηνία σποράς ή φύτευσης επηρεάζει το μήκος της βλαστικής περιόδου, το ρυθμό ανάπτυξης μέχρι την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια και το χρόνο προς την ωριμότητα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η  $ET_e$  είναι το άθροισμα της διαπνοής από τα φυτά και της εξάτμισης από το έδαφος. Κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης, η εξάτμιση από το έδαφος είναι σημαντική και εξαρτάται από την υγρότητα της επιφάνειας του εδάφους, η οποία επηρεάζεται από τη συχνότητα των βροχών ή των αρδεύσεων κατά την περίοδο αυτή, επηρεάζοντας ανάλογα την τιμή του  $K_e$ . Η εξάτμιση, πλην των άλλων, επηρεάζεται και από τα χαρακτηριστικά της επιφανειακής στρώσης του εδάφους. Οι κλιματικές συνθήκες και, ιδιαίτερα, η υγρασία της ατμόσφαιρας και η ταχύτητα του ανέμου, επηρεάζουν την τιμή του  $K_e$ . Σε σύγκριση με την ομαλή επιφάνεια ενός χορτοτάπητα, ο άνεμος επηρεάζει τον ρυθμό της διαπνοής των υψηλότερων καλλιεργειών η οποία οφείλεται στην αναταραχή που προκαλείται πάνω από αυτήν, την πιο ανώμαλη, φυτική επιφάνεια. Η επίδραση είναι μεγαλύτερη κάτω από ξηρές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Τα παραπάνω δείχνουν ότι ο, κατά περίπτωση, προσδιορισμός της τιμής του  $K_e$  είναι μια μάλλον πολύπλοκη διαδικασία.

## 5.2 ΒΑΣΙΚΟΙ, ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΟΙ ΚΑΙ ΜΕΣΟΙ ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

*Βασικός φυτικός συντελεστής*,  $K_{cb}$ , είναι ο συντελεστής που προσδιορίζεται όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι ξερή, έτσι που η εξάτμιση από αυτή είναι ελάχιστη αλλά η διαθεσιμότητα του εδαφικού νερού δεν περιορίζει την ανάπτυξη της καλλιέργειας.

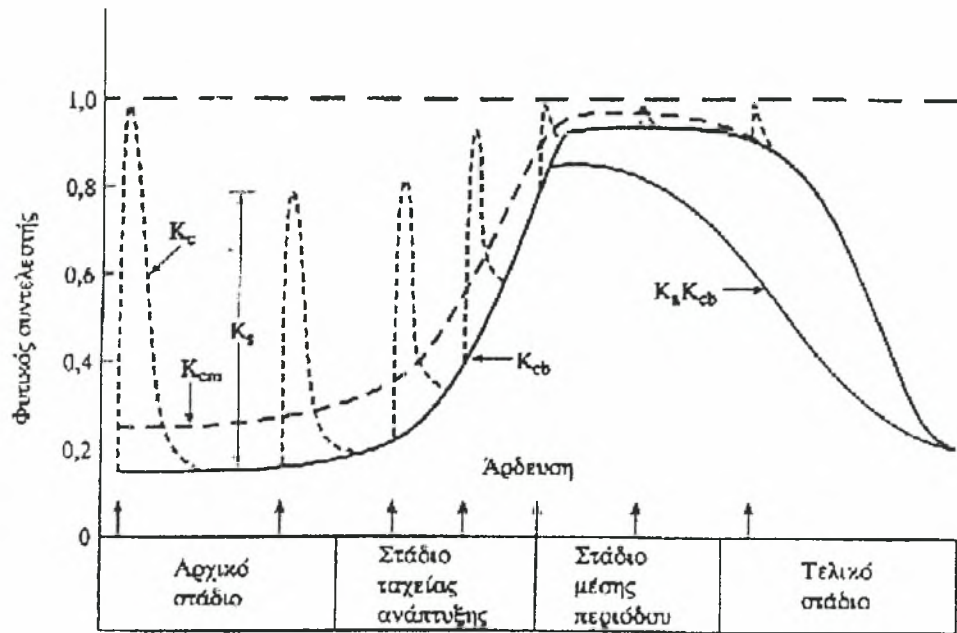
*Προσαρμοσμένος φυτικός συντελεστής*,  $K_e$ , είναι αυτός που προκύπτει αν συνυπολογιστούν και οι επιπτώσεις από την υγρασία της επιφάνειας του εδάφους. Ο Wright (1982), συνέδεσε τους δύο αυτούς συντελεστές με τη σχέση

$$K_e = K_{cb} K_a + K_s \quad (5.3)$$

όπου  $K_a$  είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από το διαθέσιμο εδαφικό νερό στη ζώνη του ριζοστρώματος και  $K_s$  είναι ένας συντελεστής προσαρμογής στις συνθήκες αυξημένης εξάτμισης που διαμορφώνονται κατά την περίοδο αμέσως μετά από βροχή ή άρδευση. Η τιμή του  $K_a$  είναι ίση με τη μονάδα, εκτός αν το διαθέσιμο εδαφικό νερό δεν είναι επαρκές, με συνέπεια τον περιορισμό της διαπνοής των φυτών, οπότε η τιμή του είναι μικρότερη της μονάδας. Όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι υγρή,  $K_s > 0$  οπότε  $K_e > K_{cb}$ . Όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι ξερή, έτσι που η εξάτμιση είναι ελάχιστη αλλά το διαθέσιμο εδαφικό νερό δεν παρεμποδίζει την ανάπτυξη ή τη



διαπνοή της καλλιέργειας,  $K_c = K_{cb}$  επειδή  $K_a = 1$  και  $K_s = 0$ . Όταν το διαθέσιμο νερό στη ζώνη των ριζών αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των φυτών,  $K_a < 1$  και, κατά συνέπεια,  $K_c < K_{cb}$  όταν  $K_s = 0$ . Γραφικά, καμπύλες που αντιπροσωπεύουν τη διακύμανση των τιμών των διαφόρων συντελεστών που εμπλέκονται στη σχέση 5.3, όπως αυτές αναπτύχθηκαν από τον Wright (1982), δίνονται στο Σχήμα 5.1.



**Σχήμα 5.1** Καμπύλες φυτικών συντελεστών όπου φαίνεται η επίδραση των σταδίων ανάπτυξης, της υγρότητας της επιφάνειας του εδάφους και της περιορισμένης διαθεσιμότητας υγρασίας.  $K_c$  – καμπύλη προσαρμοσμένου φυτικού συντελεστή,  $K_{cb}$  – καμπύλη βασικού συντελεστή,  $K_a K_{cb}$  – καμπύλη περιορισμένης εδαφικής υγρασίας ( $K_a < 1$ ,  $K_s = 0$ ),  $K_s$  – αύξηση λόγω υγρότητας της επιφάνειας του εδάφους,  $K_{cm}$  – μέσος φυτικός συντελεστής (Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1999)

Για τον υπολογισμό του  $K_a$ , οι Jensen et al. (1970), πειραματιζόμενοι σε ένα έδαφος του νοτίου Idaho των ΗΠΑ, έδωσαν τη σχέση

$$K_a = \frac{\ln(A_w + 1)}{\ln(101)} \tag{5.4}$$

όπου  $A_w$  είναι το ποσοστό του διαθέσιμου εδαφικού νερού στη ζώνη των ριζών ( $A_w = 100$  όταν η υγρασία του εδάφους είναι στην υδατοϊκανότητα). Αν  $A_w = 100$  τότε  $K_a = 1$ . Γενικά, για τιμές του  $A_w > 50$ , η επίπτωση του  $K_a$  στον  $K_c$  είναι σχετικά μικρή. Οι Boonyatharokol και Walker (1979) έκαναν μια εκτίμηση των διαφόρων σχέσεων υπολογισμού του  $K_a$  με χρήση δεδομένων από πειράματα που έκαναν στο Colorado των ΗΠΑ. Με βάση τις εκτιμήσεις αυτές εισηγήθηκαν τις τιμές

$$K_a = 1 \quad \text{για} \quad A_w \geq 50 \tag{5.5a}$$

$$K_a = A_w/50 \quad \text{για} \quad A_w < 50 \tag{5.5b}$$

Για τον υπολογισμό του  $K_s$  οι Jensen et al. (1970, 1971), ανέπτυξαν μια σχέση για την περιοχή του Kimberly του Idaho που έχει τη μορφή

$$K_s = (K_l - K_{ci})e^{-\xi t}, \text{ για } K_l > K_{ci} \quad (5.6)$$

όπου  $t$  είναι ο χρόνος σε ημέρες μετά από βροχή ή άρδευση,  $\xi$  είναι ένας συντελεστής που αντιπροσωπεύει τη συνδυασμένη επίδραση των χαρακτηριστικών του εδάφους και της εξατμισικής ζήτησης,  $K_{ci}$  είναι η τιμή του  $K_c$  κατά το χρόνο της βροχής ή άρδευσης και το  $K_l$  είναι μια μέγιστη τιμή που διαμορφώνεται ανάλογα με το έδαφος και την τοποθεσία.

Μια σχέση για τον υπολογισμό του  $K_c$  αναπτύχθηκε από τον Wright (1982) και βασίζεται στον  $K_{cb}$ , την επίδραση της υγρασίας της επιφάνειας του εδάφους, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και την μέθοδο άρδευσης. Η σχέση αυτή έχει τη γενική μορφή

$$K_c = K_a K_{cb} + (K_l - K_a K_{cb}) \left[ 1 - \left( \frac{t}{t_d} \right)^{1/2} \right] f_w, \text{ για } t \leq t_d \quad (5.7)$$

όπου  $K_c$  είναι ο προσαρμοσμένος φυτικός συντελεστής,  $K_a$  είναι όπως υπολογίζεται από τη **σχέση (5.4)**,  $K_l$  είναι η μέγιστη τιμή του  $K_c$  η οποία συνήθως παρατηρείται αμέσως μετά από βροχή ή άρδευση,  $t$  είναι ο χρόνος σε ημέρες μετά από βροχή ή άρδευση,  $t_d$  είναι ο συνήθης χρόνος σε ημέρες μετά από βροχή ή άρδευση κατά τον οποίο η επιφάνεια του εδάφους γίνεται ξερή και  $f_w$  είναι το ποσοστό της επιφάνειας του εδάφους το οποίο αρχικά υγραίνεται κατά την εφαρμογή της άρδευσης. Κανονικά, κάτω από ξερές συνθήκες, ο  $K_l$  έχει μέγιστη τιμή 0,8 – 1,0, ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης, το κλίμα και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Αν η άρδευση ολοκληρώνεται πριν το μεσημέρι,  $t = 0$  για τη μέρα αυτή, διαφορετικά  $t = 0$  για την επόμενη ημέρα. Για επιφανειακές μεθόδους που υγραίνουν όλη την επιφάνεια του εδάφους  $f_w = 1$ , ενώ για αρδεύσεις που δίνουν νερό σε αυλάκι παρά αυλάκι,  $f_w = 0,5$ . Για άρδευση με καταιονισμό ή μετά από βροχή που ισοδυναμεί με πλήρη άρδευση,  $f_w = 1$ . Αν το ύψος βροχής,  $P$ , είναι

$$P < 0,35(1,5 + t_d)[K_l - K_a K_{cb}]ET_o] \quad (5.8)$$

τότε

$$f_w = P \{ [0,35(1,5 + t_d)] / [(K_l - K_a K_{cb})ET_o] \}^{-1} \quad (5.9)$$

Πειραματικά δεδομένα στο Kimberly έδειξαν ότι, για γυμνά πηλώδη εδάφη με μικρή φυτοκάλυψη, πέντε ή περισσότερες ημέρες μετά από πλήρη διαβροχή της επιφάνειας του εδάφους χρειάζεται να περάσουν ώστε ο  $K_c$  να γίνει ίσος με τον  $K_{cb}$ , οπότε  $t_d = 5$ . Για αμμώδη εδάφη, ο  $t_d$  περιορίζεται σε δύο με τρεις ημέρες, ενώ για αργιλοπηλώδη εδάφη ο  $t_d$  είναι επτά ή περισσότερες ημέρες. Κατά τον Wright (1982), η ολική αύξηση της εξατμίσης από την επιφάνεια του εδάφους που οφείλεται σε άρδευση ή ισοδύναμη βροχή είναι περίπου ίση με  $[0,35(1,5 + t_d)] / [(K_l - K_a K_{cb})ET_o]$ . Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης αυτής παρατηρείται τις λίγες πρώτες ημέρες μετά την πλήρη διαβροχή της επιφάνειας του εδάφους. Η **σχέση (5.7)** παράγει τις ισοδύναμες αιχμές του  $K_s$  πάνω από τον  $K_{cb}$  που φαίνονται στο **Σχήμα 5.1**.

Μερικές φορές είναι πιο ωφέλιμο να προσδιοριστεί ένας μέσος φυτικός συντελεστής,  $K_{cm}$ , για τον υπολογισμό της ημερήσιας τιμής της  $ET_c$ , αντί του βασικού,  $K_{cb}$ , επειδή δεν είναι πρακτικό να υπολογιστεί η επίδραση της υγρότητας

της επιφάνειας του εδάφους ή επειδή χρειάζεται να υπολογιστεί η  $ET_c$  από ιστορικά δεδομένα, κάτι που είναι απαραίτητο κατά το στάδιο σχεδίασης των αρδευτικών δικτύων.

Βασικοί φυτικοί συντελεστές,  $K_{cb}$ , για διάφορες καλλιέργειες, σε σχέση με την βασική εξατμισοδιαπνοή από μηδική, δόθηκαν από τον Wright (1982) για την περιοχή του νοτίου Idaho των ΗΠΑ. Για την απόκτησή τους χρησιμοποιήθηκαν ζυγιστικά λυσίμετρα και οι συντελεστές αυτοί κατά τον Wright μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε ξηρές περιοχές. Αντίστοιχοι συντελεστές για την Καλιφόρνια, με καλλιέργεια αναφοράς χορτοτάπητα, αναπτύχθηκαν από τους Burman et al. (1980) και Pruitt (1986). Οι συντελεστές αυτοί μπορεί γενικά να χρησιμοποιηθούν σε ξηρά μεσογειακά κλίματα. Μέσοι φυτικοί συντελεστές,  $K_{cm}$ , αναπτύχθηκαν από τους Doorenbos και Pruitt (1977) στα πλαίσια του FAO (φυτικοί συντελεστές κατά FAO-24) και βρήκαν μεγάλη παγκόσμια εφαρμογή. Ανάλογους συντελεστές παρουσίασαν και οι Burman et al. (1980, 1983). Οι Snyder et al. (1987a, 1987b) παρουσίασαν μια τροποποιημένη έκδοση της διαδικασίας των Doorenbos και Pruitt.

### 5.3 ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΑΤΑ FAO-24

Κατά τους Doorenbos και Pruitt (1977), οι φυτικοί συντελεστές αντιπροσωπεύουν το λόγο της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας προς την βασική εξατμισοδιαπνοή χορτοτάπητα. Ο προσδιορισμός τους έγινε με βάση μετρήσεις των  $ET_c$  και  $ET_o$ , κατά κύριο λόγο με χρήση λυσίμετρων. Επειδή οι φυτικοί συντελεστές διαφέρουν από καλλιέργεια σε καλλιέργεια, αλλά και για την ίδια καλλιέργεια κατά τα διάφορα στάδια της βλαστικής περιόδου, και, επιπρόσθετα, επηρεάζονται από τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες της περιοχής, την καλλιεργητική και την αρδευτική πρακτική, γίνεται διαχωρισμός τους κατά κατηγορίες καλλιεργειών.

#### Φυτικοί συντελεστές ετήσιων καλλιεργειών

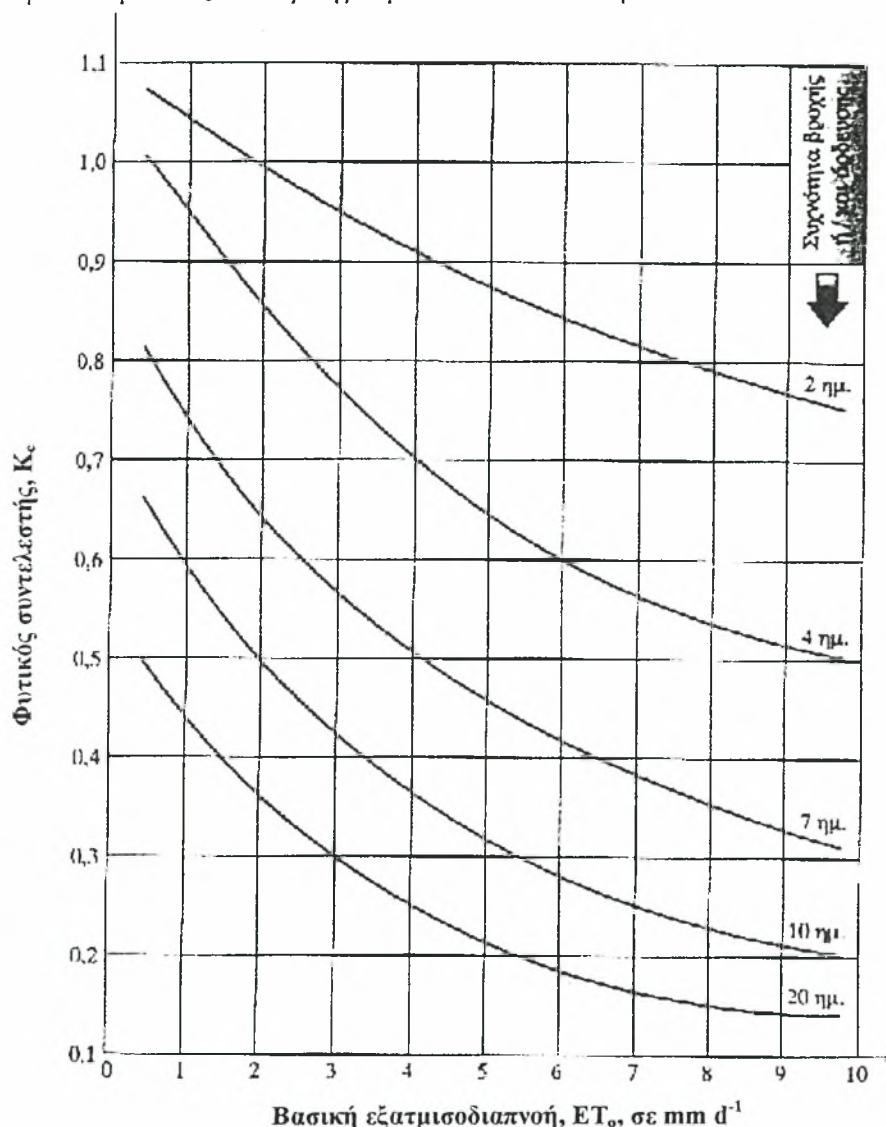
Οι ετήσιες καλλιέργειες παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση, κυρίως σε ότι αφορά το ποσοστό κάλυψης του εδάφους κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Αυτό έχει άμεση επίπτωση στη διαμόρφωση της  $ET_c$  και, κατά συνέπεια, στις τιμές των φυτικών συντελεστών. Για τη διευκόλυνση του προσδιορισμού των τιμών των συντελεστών αυτών, η βλαστική περίοδος χωρίζεται σε τέσσερα κύρια στάδια ανάπτυξης.

1. *Αρχικό στάδιο ή στάδιο εγκατάστασης.* Το στάδιο αυτό αρχίζει με τη σπορά ή φύτευση και φτάνει μέχρι την οριστική εγκατάσταση της καλλιέργειας. Κατά το στάδιο αυτό το ποσοστό κάλυψης του εδάφους είναι από μηδενικό μέχρι το πολύ ίσο με 10%, οπότε η  $ET_c$  κυριαρχείται από την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους, λόγω του πολύ μικρού ποσοστού φυτοκάλυψης, το μέγεθος της οποίας διαμορφώνεται από την υγρότητα της επιφάνειας, η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα των βροχών ή/και των αρδεύσεων. Η τιμή του φυτικού συντελεστή κατά το αρχικό στάδιο θεωρείται σταθερή και υπολογίζεται από ένα διάγραμμα που έδωσαν οι Doorenbos και Pruitt (1977) σαν συνάρτηση της συχνότητας των βροχών ή/και των αρδεύσεων και της ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοής. Το διάγραμμα αυτό δίνεται στο Σχήμα 5.2.

2. *Στάδιο ταχείας ανάπτυξης ή στάδιο κύριας βλάστησης.* Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από την έντονη ανάπτυξη των φυτών, αρχίζει μετά το τέλος του προηγούμενου σταδίου και τελειώνει με την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια. Το έδαφος θεωρείται πλήρως καλυμμένο όταν το ποσοστό φυτοκάλυψης



είναι  $\geq 70\%$ . Η σταδιακή αύξηση του ποσοστού κάλυψης συνεπάγεται μια συνεχή μεταβολή του φυτικού συντελεστή, που αρχίζει από μια ελάχιστη τιμή που είναι ίση με αυτή του αρχικού σταδίου και φτάνει μέχρι μια μέγιστη τιμή, όταν το φύλλωμα καλύψει πλήρως την επιφάνεια του χωραφιού, η οποία είναι ίση με το φυτικό συντελεστή του επόμενου σταδίου. Η μεταβολή του  $K_c$  κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού θεωρείται γραμμική και μπορεί να υπολογιστεί για οποιοδήποτε χρόνο σαν συνάρτηση των τιμών  $K_c$  του προηγούμενου και του επόμενου σταδίου.



**Σχήμα 5.2** Διάγραμμα υπολογισμού κατά FAO-24 του φυτικού συντελεστή του αρχικού σταδίου σε συνάρτηση με τη συχνότητα των βροχών ή/και των αρδεύσεων και της βασικής εξατμισοδιαπνοής (Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1999)

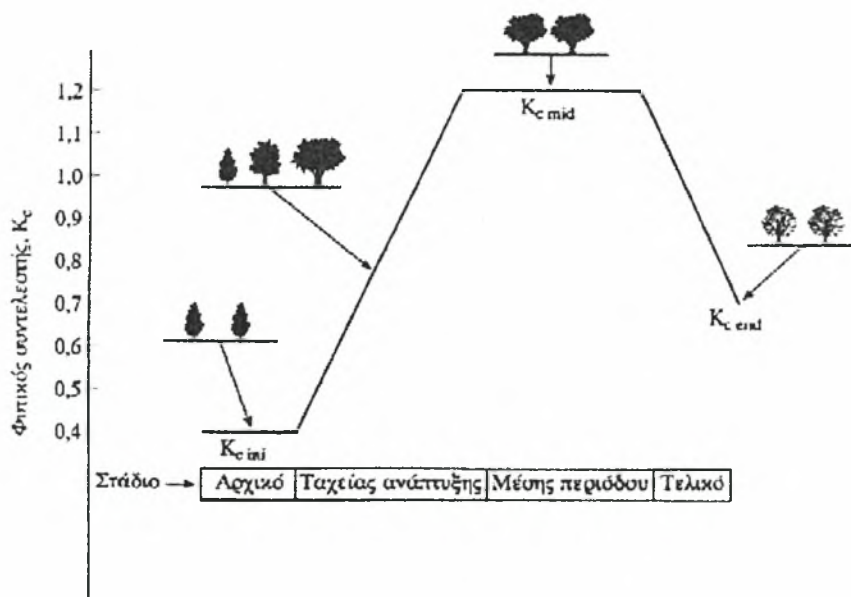
3. Στάδιο μέσης περιόδου ή στάδιο διαμόρφωσης της παραγωγής. Κατά το στάδιο αυτό η κάλυψη του εδάφους από τα φυτά είναι πλήρης και περιλαμβάνει την περίοδο ανθοφορίας και σχηματισμού των καρπών. Λόγω της πλήρους φυτοκάλυψης, η τιμή του  $K_c$  παραμένει σταθερή για όλη την περίοδο και διαμορφώνεται στο υψηλότερο επίπεδο όλης της βλαστικής περιόδου. Προσδιορίζεται πειραματικά για κάθε καλλιέργεια και τόπο, αφού στη διαμόρφωσή της ασκούν σημαντική επίδραση οι επικρατούσες κλιματικές συνθήκες.



4. *Τελικό στάδιο ή στάδιο ωρίμανσης.* Κατά το στάδιο αυτό συντελείται η ωρίμανση των καρπών και τερματίζεται με τη συγκομιδή. Το στάδιο αυτό έχει ορισμένες ιδιαιτερότητες, αφού η ποιότητα και ποσότητα των συγκομιζόμενων προϊόντων έχει άμεση σχέση με το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας και τις φυσιολογικές διαφοροποιήσεις των φυτών που γίνονται κατά τη διάρκειά του. Λογικά, η τιμή του  $K_c$  του σταδίου αυτού πρέπει να μειώνεται όσο προχωρούμε προς το χρόνο συγκομιδής. Η τιμή του  $K_c$  σε οποιοδήποτε χρόνο μπορεί να βρεθεί από την τιμή του  $K_c$  του σταδίου μέσης περιόδου και αυτής κατά τη συγκομιδή, η οποία προσδιορίζεται πειραματικά.

Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου και των επί μέρους σταδίων ανάπτυξης διαφέρει από καλλιέργεια σε καλλιέργεια και επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε τόπο. Για το λόγο αυτό, πρώτο μέλημα στη διαδικασία προσδιορισμού των φυτικών συντελεστών είναι ο καθορισμός της βλαστικής περιόδου και των επί μέρους σταδίων ανάπτυξης για κάθε εδαφικό διαμέρισμα. Τα στοιχεία αυτά, για ένα μεγάλο αριθμό καλλιεργειών που μπορούν να αναπτυχθούν στην Ηπειρωτική Ελλάδα, διερευνήθηκαν από τον Παπαζαφειρίου (1984, 1997).

Η διαδικασία που αναπτύχθηκε παραπάνω βασίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό των τιμών του  $K_c$  κατά το στάδιο της μέσης περιόδου και το χρόνο συγκομιδής και τον υπολογισμό των τιμών του  $K_c$  κατά το αρχικό, το στάδιο ταχείας ανάπτυξης και το τελικό στάδιο. Οι Doorenbos και Pruitt (1977) προσδιόρισαν τιμές του  $K_c$  κατά το στάδιο μέσης περιόδου και του χρόνου συγκομιδής για ένα μεγάλο αριθμό καλλιεργειών. Δεδομένου ότι οι τιμές του  $K_c$  επηρεάζονται και από τις κλιματικές συνθήκες, για κάθε καλλιέργεια δίνουν τέσσερις τιμές ανάλογα με την ελάχιστη σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας και την ταχύτητα του ανέμου. Οι τιμές του  $K_c$  κατά τη διάρκεια του αρχικού, του σταδίου ταχείας ανάπτυξης και του τελικού σταδίου υπολογίζονται με τις διαδικασίες που δόθηκαν παραπάνω. Μετά το πέρας της διαδικασίας προσδιορισμού των τιμών του  $K_c$  για όλη τη βλαστική περίοδο, συντάσσονται διαγράμματα που αναφέρονται σαν **διαγράμματα  $K_c$  καλλιέργειας**. Ένα τέτοιο διάγραμμα δίνεται στο **Σχήμα 5.3**.



**Σχήμα 5.3** Διάγραμμα που δείχνει τη μεταβολή του φυτικού συντελεστή ετήσιας καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου (Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1999)

## **Φυτικοί συντελεστές άλλων καλλιεργειών**

Για τη *μηδική* οι τιμές του  $K_c$  μεταβάλλονται κατά τρόπο ανάλογο προς τις ετήσιες καλλιεργείες, μόνο που τα τέσσερα στάδια επαναλαμβάνονται τόσες φορές κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου όσος είναι και ο αριθμός των κοπών. Το  $K_c$  παίρνει τη μικρότερη τιμή του αμέσως μετά από μια κοπή όταν τα κομμένα χόρτα απομακρύνονται άμεσα από το χωράφι, ή μερικές μέρες αργότερα όταν τα κομμένα χόρτα αφήνονται σε σειρές στο χωράφι και μετά δεματοποιούνται. Η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται μερικές μέρες πριν από την επόμενη κοπή. Οι ενδιάμεσες τιμές επηρεάζονται από τη συχνότητα των αρδεύσεων.

Στα *φυλλοβόλα παρωφόρα* οι φυτικοί συντελεστές διαφέρουν ανάλογα με το είδος των δένδρων, το ποσοστό φυτοκάλυψης και τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, με έμφαση στην ταχύτητα του ανέμου και την υγρασία της ατμόσφαιρας. Η τιμή του  $K_c$  επηρεάζεται επίσης σε σημαντικό βαθμό από την κατάσταση που επικρατεί στο χωράφι κάτω από τα δένδρα, αν δηλαδή το χωράφι διατηρείται ελεύθερο ή όχι από ζιζάνια. Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου διαμορφώνεται από το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο του τόπου.

Τα *εσπεριδοειδή* κατά κανόνα καλλιεργούνται σε ξηρά, μεσογειακού τύπου κλίματα. Η επίδραση του ανέμου στα δένδρα αυτά δεν είναι καθοριστική γιατί διαθέτουν μηχανισμούς ελέγχου της διαπνοής με ρύθμιση της αντίστασης στα στόματα. Η αντίσταση αυτή μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα, έτσι που αυτή μεγαλώνει κάτω από συνθήκες ξηρού και θερμού καιρού και μικραίνει όταν ο καιρός είναι δροσερός και υγρός. Στη δεύτερη περίπτωση η τιμή του  $K_c$  πρέπει να αυξάνεται κατά 15-20%. Η τιμή του  $K_c$  επηρεάζεται επίσης, όπως και στα φυλλοβόλα, από την κατάσταση του χωραφιού κάτω από τα δένδρα, αν δηλαδή το χωράφι διατηρείται ελεύθερο ή όχι από ζιζάνια.

Στα *αμπέλια* οι τιμές του  $K_c$  διαμορφώνονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε ποικιλίας και την ακολουθούμενη καλλιεργητική πρακτική. Γενικά, οι αμπελώνες διατηρούνται ελεύθεροι από ζιζάνια, καλύπτουν το έδαφος σε ποσοστό 30-35% και καταναλώνουν λιγότερο νερό από τις άλλες καλλιεργείες, κυρίως με έλεγχο της διαπνοής μέσω των στομάτων. Στην Ελλάδα, αμπέλια καλλιεργούνται σε περιοχές με ήπιο σχετικά χειμώνα και ξηρό και θερμό καλοκαίρι.

Τα *ελαιόδενδρα* είναι δένδρα κατ' εξοχή ανθεκτικά στην ξηρασία, που όμως αν παραταθεί υπέρμετρα έχει σοβαρές επιπτώσεις στην παραγωγή. Λιγότερο ανθεκτικές στην ξηρασία είναι ποικιλίες που οι ελιές τους προορίζονται για επιτραπέζιες. Οι ελιές ευδοκιμούν σε μεσογειακές περιοχές με ετήσια βροχόπτωση 400-600 mm, αλλά εμφανίζονται ακόμη και σε κλίματα με ετήσια βροχόπτωση της τάξης των 200 mm, εμφανίζουν δε μια κρίσιμη περίοδο πριν το δέσιμο του καρπού και μια κατά το γέμισμά του. Γενικά εφαρμογή κατά περιόδους συνολικής άρδευσης 200 mm για τις ελληνικές συνθήκες, δίνει πολύ καλά αποτελέσματα. Για συστηματικούς ελαιώνες, ανάλογα με τις αποστάσεις φύτευσης και την ποικιλία, η τιμή του  $K_c$  κυμαίνεται μεταξύ 0,4 και 0,7.

## **5.4 ΑΝΑΘΕΩΡΗΜΕΝΟΙ ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΚΑΤΑ FAO**

Στα πλαίσια της όλης διαδικασίας αναθεώρησης του υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών από τον FAO, ένα σημαντικό μέρος αναφέρεται και στη διαδικασία προσδιορισμού των φυτικών συντελεστών. Κατά το αρχικό δημοσίευμα του FAO-24 (Doorenbos και Pruitt, 1977), οι φυτικοί συντελεστές,  $K_c$ , είναι τιμές που εμπεριέχουν και τις, χρονικά μέσες, επιπτώσεις στην εξατμισοδιαπνοή

από υγρή επιφάνεια εδάφους. Αυτοί οι χρονικά μέσοι συντελεστές εκφράζονται τώρα από τη σχέση

$$K_c = \overline{K_{cb} + K_e} \quad (5.10)$$

όπου  $K_{cb}$  είναι ο βασικός φυτικός συντελεστής που αντιπροσωπεύει το λόγο της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας,  $ET_c$ , προς την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς,  $ET_o$ , όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι ουσιαστικά ξερή και  $K_e$ , είναι ένας συντελεστής που αντιπροσωπεύει τις χρονικά μέσες επιπτώσεις της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους. Επειδή το  $K_{cb} + K_e$  αντιπροσωπεύει τους  $K_c$  για διάφορες καταστάσεις υγρασίας της επιφάνειας του εδάφους, οι τιμές που προκύπτουν μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της  $ET_c$  εβδομαδιαίας ή μεγαλύτερης διάρκειας. Όπως και προηγούμενα, η  $ET_c$  υπολογίζεται με πολλαπλασιασμό της  $ET_o$  επί  $K_c$ , δηλαδή

$$ET_c = K_c ET_o \quad (5.11)$$

Ο συντελεστής  $K_c$  αντιπροσωπεύει το συνδυασμένο αποτέλεσμα τριών κύριων χαρακτηριστικών που διακρίνουν την  $ET_c$  από την  $ET_o$ . Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

(1) το ύψος της καλλιέργειας που επηρεάζει την τραχύτητα και την αεροδυναμική αντίσταση,

(2) η αντίσταση της μικτής επιφάνειας εδάφους-καλλιέργειας που επηρεάζεται από την επιφάνεια των φύλλων, το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από το φύλλωμα, την ηλικία και την κατάσταση των φύλλων, το μηχανισμό ρύθμισης των στομάτων και την υγρασιακή κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους και

(3) η ανακλαστικότητα της μικτής επιφάνειας εδάφους-καλλιέργειας που επηρεάζεται από το ποσοστό φυτοκάλυψης και την υγρασία της επιφάνειας του εδάφους. Κατά συνέπεια, η διακύμανση των τιμών του  $K_c$  οφείλεται κατά κύριο λόγο στα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και κάπως στις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες. Αυτό δίνει τη δυνατότητα μεταφοράς των τιμών του  $K_c$  από θέση σε θέση με διαφορετικά κλίματα και αποτελεί τον κύριο λόγο για τη μεγάλη επιτυχία, αποδοχή και χρησιμότητα της διαδικασίας  $K_c ET_o$  για τον υπολογισμό της  $ET_c$ .

Όπως και στην αρχικά προτεινόμενη διαδικασία στο FAO-24 δημοσίευμα, η βλαστική περίοδος χωρίζεται σε τέσσερα στάδια που είναι το αρχικό, το ταχείας ανάπτυξης, το μέσης περιόδου και το τελικό. Η τιμή του  $K_c$  κατά το αρχικό και το στάδιο μέσης περιόδου παραμένει σταθερή, κατά το στάδιο ταχείας ανάπτυξης μεταβάλλεται αυξητικά από την τιμή του αρχικού σταδίου μέχρι αυτή του σταδίου μέσης περιόδου και κατά το τελικό στάδιο μειώνεται από την τιμή του μέσου σταδίου μέχρι την τιμή της ωρίμανσης ή συγκομιδής. Έτσι, για τη διαμόρφωση της καμπύλης  $K_c$  μιας καλλιέργειας, όπως αυτή που φαίνεται στο **Σχήμα 5.3**, απαιτούνται τρεις τιμές του  $K_c$  που είναι, η τιμή κατά το αρχικό στάδιο,  $K_{c\ ini}$ , η τιμή του  $K_c$  κατά τη μέση περίοδο,  $K_{c\ mid}$ , και η τιμή κατά το χρόνο ωρίμανσης ή συγκομιδής,  $K_{c\ end}$ . Η τιμή του  $K_{c\ ini}$  υπολογίζεται ενώ οι τιμές των  $K_{c\ mid}$  και  $K_{c\ end}$  είναι απαραίτητο να δίνονται για κάθε καλλιέργεια. Ένας πίνακας με τιμές των συντελεστών αυτών δόθηκε από τους Allen et al. (1996) και περιλαμβάνει 80 καλλιέργειες. Οι τιμές του πίνακα αυτού είναι αντιπροσωπευτικές ενός ημίυγρου κλίματος που έχει μέση ελάχιστη ημερήσια υγρασία  $RH_{min} = 45\%$  και ταχύτητα ανέμου  $0-5\ m\ s^{-1}$  (με μέσο



όρο περίπου  $2 \text{ m s}^{-1}$ ). Οι συντελεστές αυτοί βρίσκουν εφαρμογή όταν η  $ET_o$  υπολογίζεται με τη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO για υποθετική καλλιέργεια αναφοράς που προσομοιάζει αυτή του χορτοτάπητα.

Λόγω της αεροδυναμικής διαφοράς που υπάρχει μεταξύ του χορτοτάπητα και των περισσότερων καλλιεργειών, παρατηρείται αύξηση του λόγου  $ET_c / ET_o$  όταν αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου και ελαττώνεται η σχετική υγρασία. Το ίδιο παρατηρείται και όταν αυξάνει το ύψος της καλλιέργειας. Κατά συνέπεια, για συνθήκες διαφορετικές από  $RH_{\min} = 45\%$  και  $U_2 = 2 \text{ m s}^{-1}$ , οι τιμές του  $K_c$  πρέπει να τροποποιηθούν ανάλογα. Η προσαρμογή του  $K_{c \text{ mid}}$  σε όποιες άλλες συνθήκες, κατά τους Allen et al. (1996), μπορεί να γίνει με τη σχέση

$$(K_{c \text{ mid}})' = K_{c \text{ mid}} + 0,004[4(U_2 - 2) - RH_{\min} - 45] \left( \frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (5.12)$$

όπου  $K_{c \text{ mid}}$  είναι η τιμή που δίνεται στον πίνακα των Allen et al. (1996),  $U_2$  είναι η μέση ημερήσια ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $2 \text{ m}$  πάνω από το έδαφος σε  $\text{m s}^{-1}$ ,  $RH_{\min}$  είναι η μέση ελάχιστη ημερήσια υγρασία εκφρασμένη σαν ποσοστό στα εκατό και  $h$  είναι το μέσο ύψος των φυτών κατά τη μέση περίοδο ανάπτυξης σε  $\text{m}$ .

Μια ανάλογη σχέση ισχύει και για τον  $K_{c \text{ end}}$ , όπου

$$(K_{c \text{ end}})' = K_{c \text{ end}} + 0,004[4(U_2 - 2) - RH_{\min} - 45] \left( \frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (5.13)$$

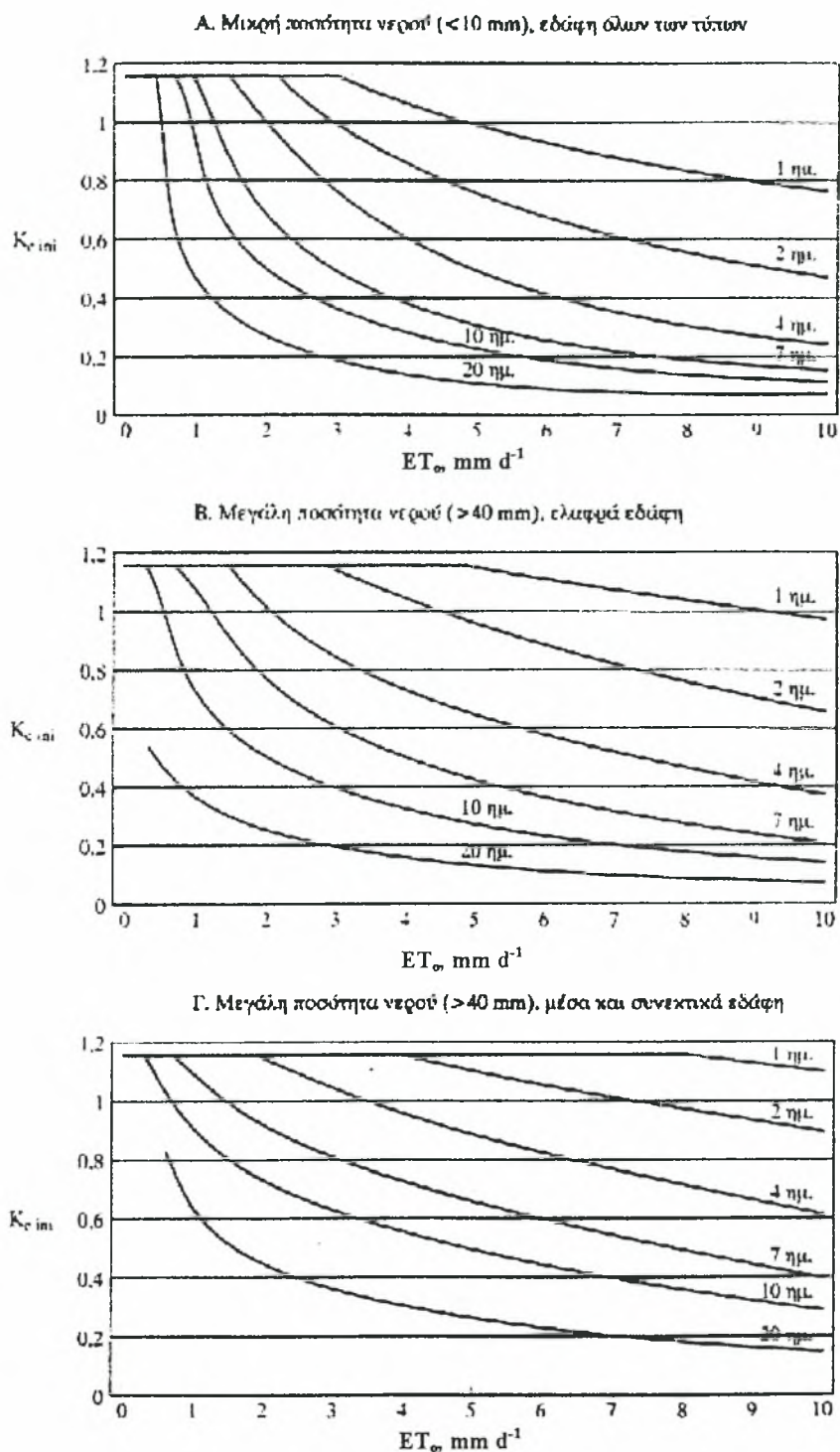
που εφαρμόζεται όταν  $K_{c \text{ end}} \geq 45\%$  και του οποίου η τιμή δίνεται στον πίνακα των Allen et al. (1996). Η σχέση αυτή εφαρμόζεται μόνο στην περίπτωση καλλιεργειών που το συγκομιζόμενο προϊόν είναι “πράσινο” ή γενικά όταν τα φυτά κατά τη συγκομιδή δεν είναι τελείως νεκρά και ξερά, όταν δηλαδή  $K_{c \text{ end}} \geq 0,45$ . Δεν γίνεται καμιά προσαρμογή όταν τα φυτά κατά το χρόνο συγκομιδής είναι ξερά, όταν δηλαδή  $K_{c \text{ end}} < 45\%$ .

### Υπολογισμός του $K_c$ του αρχικού σταδίου

Η αναθεωρημένη διαδικασία για τον υπολογισμό της τιμής του φυτικού συντελεστή κατά το αρχικό στάδιο,  $K_{c \text{ ini}}$ , χρησιμοποιεί τρία διαγράμματα αντί του ενός της κατά FAO-24 διαδικασίας που δίνεται στο Σχήμα 5.2. Τα τρία αυτά διαγράμματα φαίνονται στο Σχήμα 5.4.

Το διάγραμμα Α του Σχήματος 5.4 αντιπροσωπεύει την περίπτωση που εφαρμόζεται στο χωράφι μικρή ποσότητα νερού ( $< 10 \text{ mm}$ ) σε εδάφη όλων των τύπων υφής, το διάγραμμα Β αντιπροσωπεύει την περίπτωση εφαρμογής μεγάλης ποσότητας νερού ( $> 40 \text{ mm}$ ) σε ελαφρά εδάφη και το διάγραμμα Γ αναφέρεται στην περίπτωση εφαρμογής μεγάλης ποσότητας νερού σε μέσα και συνεκτικά εδάφη. Τα διαγράμματα αυτά προκύπτουν από μια εξίσωση που ανέπτυξαν οι Allen et al. (1996) και η οποία βασίζεται στον υπολογισμό της εξάτμισης κατά το πρώτο και δεύτερο στάδιο ξήρανσης του εδάφους. Κατά το πρώτο στάδιο ξήρανσης γίνεται δεκτό ότι η εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους είναι δυναμική και εξαρτάται μόνο από τη διαθεσιμότητα ενέργειας. Κατά το δεύτερο στάδιο ξήρανσης, η εξάτμιση διαμορφώνεται από τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους και ο ρυθμός της υπολογίζεται σαν το γινόμενο της διαθέσιμης ενέργειας και του κλάσματος του νερού που παραμένει στην επιφανειακή στρώση του εδάφους.





Σχήμα 5.4 Καμπύλες για τον υπολογισμό του φυτικού συντελεστή κατά το αρχικό στάδιο ανάπτυξης,  $K_{c,ini}$ , σαν συνάρτηση του διαστήματος σε ημέρες μεταξύ υγρανσεων, της  $ET_0$ , του τύπου του εδάφους και της εφαρμοζόμενης ποσότητας νερού σε mm (Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1999)

Η εξίσωση αυτή έχει τη μορφή

$$K_{cini} = \frac{W_x - (W_x - W_1) \exp \left[ \frac{-(I_w - t_1) E_{so} (1 - \frac{W_1}{W_x - W_1})}{W_x} \right]}{I_w ET_o} \quad (5.14)$$

όπου  $W_x$  είναι η αθροιστική εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι τη στιγμή της οριστικής παύσης της, η οποία μπορεί να θεωρηθεί σαν το μέγιστο πάχος του νερού που μπορεί να εξατμιστεί από την επιφάνεια του εδάφους μεταξύ δύο διαβροχών σε mm,  $W_1$  είναι η αθροιστική εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους κατά το πρώτο στάδιο ξήρανσης σε mm,  $I_w$  είναι το διάστημα σε μέρες μεταξύ δύο διαδοχικών διαβροχών (αρδεύσεων),  $t_1$  είναι η διάρκεια σε ημέρες του πρώτου σταδίου ξήρανσης,  $E_{so}$  είναι η δυναμική εξάτμιση κατά το πρώτο στάδιο ξήρανσης σε mm d<sup>-1</sup> και  $ET_o$  είναι η βασική εξατμισοδιαπνοή σε mm d<sup>-1</sup>. Η  $E_{so}$  μπορεί κατά προσέγγιση να παρθεί ίση 1,15  $ET_o$ . Η **σχέση (5.14)** ισχύει για την περίπτωση που  $I_w > t_1$ .

Ένας προτεινόμενος τρόπος για τον υπολογισμό του άνω ορίου του  $W_x$ , που συμβολίζεται σαν  $W_{x \max}$ , είναι με τη σχέση

$$W_{x \max} = D_e (\theta_{ul} - 0,5\theta_{ll}) \quad (5.15)$$

όπου  $D_e$  είναι το πάχος της εξατμίζουσας επιφανειακής στρώσης του εδάφους σε mm,  $\theta_{ul}$  είναι το άνω όριο της περιεχόμενης στο έδαφος υγρασίας μετά τη στράγγιση που, κατά κανόνα, αντιστοιχεί στην υδατοϊκανότητα σε mm mm<sup>-1</sup> και  $\theta_{ll}$  είναι η περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία στο κάτω όριο που τα φυτά μπορούν να αντλούν νερό από το έδαφος και αντιστοιχεί σε κάποιο επίπεδο πάνω από το σημείο μόνιμης μάρανσης σε mm mm<sup>-1</sup>. Ο όρος 0,5 με τον οποίο είναι πολλαπλασιασμένη η  $\theta_{ll}$  δείχνει ότι η εξάτμιση μπορεί να ξηράνει την επιφανειακή στρώση του εδάφους σε επίπεδα κάτω από το όριο ll. Για συνθήκες χαμηλών τιμών  $ET_o$  και αισθητής θερμότητας, η τιμή  $W_{x \max}$  μπορεί να προσεγγιστεί με τη σχέση

$$W_{x \max} = [D_e (\theta_{ul} - 0,5\theta_{ll})] \left[ \frac{ET_o}{5} \right]^{0,5} \quad \text{για } ET_o < 5 \text{ mm d}^{-1} \quad (5.16)$$

Όταν το μέσο βάθος διαβροχής της επιφανειακής στρώσης του εδάφους κατά μια άρδευση (ή βροχή) δεν φτάνει το  $W_{x \max}$ , η υγρασία της στρώσης αυτής δεν φτάνει στο άνω όριο (υδατοϊκανότητα). Έτσι, το  $W_x$  στη **σχέση (5.14)** υπολογίζεται γενικά σαν

$$W_x = \min (W_{avail}, W_{x \max}) \quad (5.17)$$

και το  $W_1$  σαν

$$W_1 = W_{1 \max} \left[ \min \left( \frac{W_{avail}}{W_{x \max}}, 1 \right) \right] \quad (5.18)$$

όπου  $W_{avail}$  είναι το διαθέσιμο βάθος νερού στην επιφανειακή στρώση μετά από ένα συμβάν διαβροχής (άρδευση ή βροχή) σε mm. Το  $W_{1\ max}$  είναι η μέγιστη αθροιστική εξάτμιση από την επιφανειακή στρώση στο τέλος του πρώτου σταδίου που, για τα περισσότερα εδάφη, κυμαίνεται από 8 μέχρι 10 mm. Στην άρδευση με αυλάκια, το κλάσμα της επιφάνειας του εδάφους που υγραίνεται μπορεί να είναι από 0,3 μέχρι 0,8. Στην περίπτωση αυτή, η τιμή του  $K_{c\ ini}$  που υπολογίζεται με τα διαγράμματα του Σχήματος 5.4 ή τη σχέση (5.14) πρέπει να πολλαπλασιαστεί με το κλάσμα αυτό.

### **Προσδιορισμός των τιμών του φυτικού συντελεστή με τη διαδικασία του βασικού συντελεστή**

Η προηγούμενη διαδικασία προσδιορίζει τους “μέσους” φυτικούς συντελεστές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της  $ET_c$  εβδομαδιαίας ή μεγαλύτερης διάρκειας. Πολλές φορές, κυρίως κατά τη διαδικασία προγραμματισμού των αρδεύσεων, είναι αναγκαίος ο υπολογισμός του  $K_c$  επί ημερήσιας βάσης. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο βασικός συντελεστής στα πλαίσια μιας εξίσωσης της μορφής

$$K_c = K_s K_{cb} + K_e \quad (5.19)$$

όπου  $K_s$  είναι ένας περιοριστικός συντελεστής που εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους στη ζώνη του ριζοστρώματος και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1 και  $K_e$  είναι ένας συντελεστής εξάτμισης από το έδαφος. Ο  $K_{cb}$  αντιπροσωπεύει το λόγο  $ET_c / ET_o$  όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι ξερή αλλά η περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος είναι αρκετή για την πλήρη κάλυψη των αναγκών διαπνοής της καλλιέργειας. Το  $K_s$  περιορίζει την τιμή του  $K_{cb}$  όταν η υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη των αναγκών διαπνοής. Ο  $K_e$  αντιπροσωπεύει την εξάτμιση από υγρό έδαφος επιπλέον της  $ET$  που αντιπροσωπεύεται στο  $K_{cb}$ . Το άθροισμα  $K_{cb} + K_e$  δεν μπορεί να υπερβεί τη μέγιστη τιμή για μια καλλιέργεια. Η τιμή του  $K_{cb\ ini}$  θεωρείται ότι είναι ίση με 0,15 στις ετήσιες καλλιέργειες πριν το ποσοστό κάλυψης του εδάφους φτάσει το 10%.

### **Γενικές εξισώσεις**

Η εξάτμιση από ένα έδαφος που βρίσκεται κάτω από το φύλλωμα μιας καλλιέργειας ή μεταξύ των φυτών εξαρτάται από τη διαθέσιμη ενέργεια στην επιφάνεια του εδάφους, μετά την κατανάλωση ενός μέρους της ολικής διαθέσιμης ενέργειας για διαπνοή από τα φυτά. Η διαθέσιμη για εξάτμιση νερού από το έδαφος ενέργεια,  $E_{sp}$ , εκφρασμένη σαν ισοδύναμο πάχος νερού αναγμένο στο σύνολο της επιφάνειας, κατά τους Allen et al. (1996), εκφράζεται από τη σχέση

$$E_{sp} = (K_{c\ max} - K_{cb}) ET_o \quad (5.20)$$

όπου  $E_{sp}$  και  $ET_o$  είναι σε  $mm\ d^{-1}$  και  $K_{c\ max}$  είναι η μέγιστη τιμή του  $K_c$  αμέσως μετά από βροχή ή άρδευση. Ο  $K_{c\ max}$  αντιπροσωπεύει το άνω όριο της  $ET$  όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι υγρή και το φύλλωμα καλύπτει σχεδόν ολικά την επιφάνεια του εδάφους. Ο  $K_{c\ max}$  είναι περίπου 1,2 για τους  $K_c$  που βασίζονται σε  $ET_o$  χορτοτάπητα. Η τιμή του  $K_{c\ max}$  προσαρμόζεται ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και το ύψος της καλλιέργειας με τη σχέση

$$K_{c \max} = \max \left\{ 1,2 + 0,004[4(U_2 - 2) - (RH_{\min} - 45)] \left( \frac{h}{3} \right)^{0,3}, K_{cb} + 0,05 \right\} \quad (5.21)$$

Η σχέση αυτή δείχνει ότι πάντοτε  $K_{c \max} \geq K_{cb} + 0,05$ , που σημαίνει ότι το υγρό έδαφος προκαλεί αύξηση του  $K_c$  τουλάχιστον κατά 0,05, ακόμη και στην περίπτωση που το έδαφος είναι πλήρως φυτοκαλυμμένο.

Η τιμή της  $E_{sp}$  που προκύπτει από την **εξίσωση (5.20)** αντιπροσωπεύει τη διαθέσιμη για εξάτμιση νερού από το έδαφος ενέργεια, αναγμένη στο σύνολο της επιφάνειας. Ο ρυθμός όμως της εξάτμισης ανά μονάδα επιφάνειας από το μέρος εκείνο του εδάφους που είναι εκτεθειμένο στην ηλιακή ακτινοβολία και τον αερισμό, μπορεί να είναι μεγαλύτερος του  $E_{sp}$ , λόγω της "συγκέντρωσης" του  $E_{sp}$  πάνω από την υγρή και εκτεθειμένη εδαφική επιφάνεια. Παίρνοντας αυτό υπόψη, ο ρυθμός της εξάτμισης,  $E_s$ , κατά το πρώτο στάδιο ξήρανσης της επιφάνειας του εδάφους υπολογίζεται με τη σχέση

$$E_s = \frac{E_{sp}}{FS} \quad (5.22)$$

όπου  $E_s$  είναι ο πραγματικός ρυθμός εξάτμισης σε  $mm \cdot d^{-1}$  και  $FS$  είναι το κλάσμα της επιφάνειας του εδάφους που είναι υγρό και εκτεθειμένο στην ακτινοβολία και τον αερισμό, έχει δε όρια από 0 μέχρι 1. Για το δεύτερο στάδιο ξήρανσης του επιφανειακού εδάφους

$$E_s = \frac{E_{sp}}{FS} \frac{W_{x \max} - W_e}{W_{x \max} - W_1} \quad (5.23)$$

όπου  $W_e$  είναι το τρέχον πάχος νερού που απομακρύνθηκε από το κλάσμα  $FS$  της επιφάνειας του εδάφους. Γενικά, το  $W_{x \max}$  υπολογίζεται για βάθος εδάφους από 100 μέχρι 500 mm. Στη **σχέση (5.23)** συνήθως το  $W_1$  παίρνεται ίσο με το  $W_{1 \max}$  που συζητήθηκε στα προηγούμενα.

Σε αρδεύσεις όπου μέρος μόνο της επιφάνειας του εδάφους υγραίνεται, το κλάσμα  $FS$  περιορίζεται στα όρια που δίνει η σχέση

$$FS = \min (1-C, f_w) \quad (5.24)$$

όπου  $C$  είναι το κλάσμα της επιφάνειας του εδάφους που καλύπτεται από τη βλάστηση, το οποίο κυμαίνεται από 0 μέχρι 0,99, και  $f_w$  είναι το μέσο κλάσμα της επιφάνειας του εδάφους που υγραίνεται με άρδευση ή βροχή, το οποίο κυμαίνεται από 0 μέχρι 1. Ο περιορισμός που εισάγει η **σχέση (5.24)** προϋποθέτει ότι το κλάσμα του εδάφους που υγραίνεται με άρδευση βρίσκεται μέσα στα όρια του κλάσματος του εδάφους που είναι εκτεθειμένο στην ηλιακή ακτινοβολία. Συνήθως αυτό συμβαίνει στην πράξη, εκτός ίσως από τη στάγδην άρδευση. Για την περίπτωση βροχής ή άρδευσης με καταιονισμό, κατάκλυση και άρδευση με λωρίδες, όπου έχουμε διαβροχή όλης της επιφάνειας του εδάφους,  $f_w = 1,0$ . Στην περίπτωση της άρδευσης με σταγόνες το  $f_w$  κυμαίνεται από 0,3 μέχρι 0,4. Στην περίπτωση άρδευσης με



αυλάκια, αν το νερό παροχετεύεται σε όλα τα αυλάκια, το  $f_w$  κυμαίνεται από 0,8 μέχρι 1,0 ενώ, στην περίπτωση που το νερό παροχετεύεται σε αυλάκι παρά αυλάκι, το  $f_w$  κυμαίνεται από 0,4 μέχρι 0,5. Το  $C$  στην **εξίσωση (5.24)** περιορίζεται σε τιμές  $< 0,99$  για να εξασφαλιστεί σταθερότητα στις **σχέσεις (5.23) και (5.24)**.

Επειδή το  $(1-C)$  ή το  $f_w$  σε κάποιες μεθόδους άρδευσης μπορεί να είναι πολύ μικρό, για να εξασφαλιστεί ότι η  $E_s$  από το εξατμίζον κλάσμα του εδάφους δεν ξεπερνά τη διαθέσιμη ενέργεια ανά μονάδα επιφανείας του εδάφους, πρέπει να μπει κάποιος περιορισμός στην  $E_s$  που υπολογίζεται με τις **σχέσεις (5.23) και (5.24)**, ο οποίος εκφράζεται από τη σχέση

$$E_s \leq K_{c \max} ET_o \quad (5.25)$$

Με βάση τα παραπάνω, ο συντελεστής εξατμίσης από το υγρό έδαφος,  $K_e$ , εκφρασμένος για όλη την επιφάνεια του εδάφους, θα είναι

$$K_e = E_s \frac{FS}{ET_o} \quad (5.26)$$

Το κλάσμα του εδάφους που καλύπτεται από την καλλιέργεια,  $C$ , αν δεν έχει μετρηθεί, μπορεί κατά προσέγγιση να υπολογιστεί με τη σχέση

$$C = \left[ \frac{K_{cb} - K_{c \min}}{K_{c \max} - K_{c \min}} \right]^{1+h} \quad (5.27)$$

όπου  $K_{c \min}$  είναι ο  $K_c$  όταν το έδαφος είναι ξερό χωρίς καθόλου φυτοκάλυψη, έχει δε τιμές που κυμαίνονται από 0,15 μέχρι 0,20 και  $h$  είναι το μέσο ύψος της καλλιέργειας κατά τη μέση περίοδο ανάπτυξης σε m. Οι περιορισμοί για τη χρήση της **σχέσης (5.27)** είναι  $K_{cb} - K_{c \min} \geq 0,01$  και  $K_{cb} \leq K_{c \max}$ .

### Φυτικοί συντελεστές για άγνωστες συνθήκες

Για καλλιέργειες ή, γενικά, βλάστηση που ο  $K_c$  είναι άγνωστος, αλλά όπου μπορεί να υπολογιστεί το κλάσμα του εδάφους που καλύπτεται από τη βλάστηση,  $C$ , ο βασικός συντελεστής της μέσης περιόδου,  $K_{cb \text{ mid}}$ , μπορεί κατά προσέγγιση να υπολογιστεί με τη σχέση

$$K_{cb \text{ mid}} = K_{c \min} + (K_{cb_h} - K_{c \min}) \left[ \min \left( 2C, C_{\text{eff}}^{\frac{1}{1+h}} \right) \right] \quad (5.28)$$

όπου  $C_{\text{eff}}$  είναι το ενεργό κλάσμα του εδάφους που καλύπτεται από τη βλάστηση, του οποίου οι τιμές κυμαίνονται από 0,01 μέχρι 1, και  $K_{cb_h}$  είναι η μέγιστη τιμή του  $K_{cb}$  όταν η βλάστηση καλύπτει πλήρως την επιφάνεια του εδάφους. Για επιφάνειες με εμβαδόν  $> 500 \text{ m}^2$ , ο  $K_{cb_h}$  μπορεί να υπολογιστεί με τη σχέση

$$K_{cb_h} = \min \left( 1,0 + \frac{h}{10}, 1,2 \right) + 0,004 [4(U_2 - 2) - (RH_{\min} - 45)] \left( \frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (5.29)$$

### Φυτικοί συντελεστές υπό περιορισμένη εδαφική υγρασία

Η τιμή του  $K_s$  που προκύπτει από τη **σχέση (5.19)** πρέπει να περιοριστεί αν η εδαφική υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη των αναγκών της  $ET_c$ . Στην περίπτωση αυτή, το  $K_s$  υπολογίζεται με τη σχέση των Doorenbos και Kassam (1979)

$$K_s = \frac{\theta - \theta_{II}}{\theta_I - \theta_{II}} \quad (5.30)$$

όπου  $K_s$  είναι ένας συντελεστής περιορισμού που εξαρτάται από τη διαθέσιμη υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος και κυμαίνεται από 0 μέχρι 1,  $\theta$  είναι η μέση εδαφική υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος σε  $mm \cdot mm^{-1}$ ,  $\theta_I$  είναι η υγρασία του εδάφους κάτω από την οποία η διαπνοή αρχίζει να μειώνεται σε  $mm \cdot mm^{-1}$  και  $\theta_{II}$  είναι όπως ορίστηκε στα προηγούμενα. Η  $\theta_I$  μπορεί να υπολογιστεί με τη σχέση

$$\theta_I = (1 - F_{ns}) (\theta_{ul} - \theta_{II}) + \theta_{II} \quad (5.31)$$

όπου  $F_{ns}$  είναι το μέσο κλάσμα της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από την καλλιέργεια πριν αρχίσει ο περιορισμός της διαπνοής και κυμαίνεται από 0 μέχρι 1.

## 6 ΟΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ

### ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ

#### 6.1 ΚΑΘΑΡΕΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό προσδιορίζονται από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, όπως αυτή προσδιορίστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Με φυσικό τρόπο οι ανάγκες αυτές μπορούν να καλυφθούν από τη βροχή, το υπόγειο νερό και το νερό που είναι αποθηκευμένο στο έδαφος στη ζώνη του ριζοστρώματος. Σε περίπτωση που οι τρεις παραπάνω πηγές είναι ανεπαρκείς, είναι αναγκαίο για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών να δοθεί πρόσθετο νερό με άρδευση. Έτσι, οι καθαρές σε αρδευτικό νερό ανάγκες ( $I_n$ ) μπορούν να υπολογιστούν με τη σχέση

$$I_n = ET_c - (P_e + G_w + SM) \quad (6.1)$$

όπου  $ET_c$  είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή,  $P_e$  είναι το μέρος εκείνο της βροχής που μπορεί να αξιοποιηθεί από τις καλλιέργειες και λέγεται *ωφέλιμη βροχή*,  $G_w$  είναι η συμβολή του υπόγειου νερού και  $SM$  είναι το νερό που είναι αποθηκευμένο στη ζώνη του ριζοστρώματος στην αρχή της βλαστικής περιόδου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις καλλιέργειες.

Πέρα όμως από τις καθαρές σε νερό ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν με άρδευση, πρόσθετες ποσότητες νερού χρειάζονται για την έκπλυση των αλάτων που συγκεντρώνονται στο ριζόστρωμα σαν συνέπεια της αρδεύσεως και για την κάλυψη των απωλειών κατά τη μεταφορά του νερού και την εφαρμογή του στο χωράφι. Έτσι, οι *ολικές σε νερό ανάγκες* ( $I_t$ ) υπολογίζονται με μια σχέση της μορφής

$$I_t = \frac{I_n}{E(1 - LR)} \quad (6.2)$$

όπου  $E$  είναι η *αρδευτική αποδοτικότητα* και  $LR$  είναι ο *συντελεστής εκπλύσεως*.

#### Η ωφέλιμη βροχή

Από τη βροχή που πέφτει σε ένα χωράφι μέρος της μπορεί να χαθεί με επιφανειακή απορροή, βαθιά διήθηση ή εξάτμιση. Εκείνο που απομένει αποτελεί την *ωφέλιμη βροχή*. Δηλαδή, η ωφέλιμη βροχή είναι το μέρος της ολικής βροχής που αποθηκεύεται στο έδαφος στη ζώνη του ριζοστρώματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των σε νερό αναγκών της καλλιέργειας. Το ύψος της ωφέλιμης βροχής που αποθηκεύεται στο έδαφος κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου εξαρτάται από τη συχνότητα, από την ποσότητα, τη διάρκεια και την ένταση της βροχής, την κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους και της αποθηκευτικής σε νερό ικανότητας του εδάφους κατά το χρόνο πτώσης της βροχής.

Η αποθηκευτική σε νερό ικανότητα του εδάφους εξαρτάται από το βάθος και τα χαρακτηριστικά του εδάφους στη ζώνη των ριζών, τον χρόνο που πέρασε από την προηγούμενη βροχή ή άρδευση, το επίπεδο υποβιβασμού της εδαφικής υγρασίας που

επιτρέπεται πριν εφαρμοστεί άρδευση και το ρυθμό του υποβιβασμού της υγρασίας που προκαλείται από την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Γενικά, η ωφέλιμη βροχή αυξάνει σαν ποσοστό της ολικής βροχής όταν η εξατμισοδιαπνοή είναι αυξημένη και όταν η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους είναι μεγάλη.

Τρεις από τις μεθοδολογίες που υπάρχουν για τον καθορισμό της ωφέλιμης βροχόπτωσης παρουσιάζονται παρακάτω:

1. *Καθορισμένο ποσοστό βροχόπτωσης*: Η ωφέλιμη βροχόπτωση υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση

$$Pe = a P_{tot} \quad (6.3)$$

όπου α ένα καθορισμένο ποσοστό που πρέπει να δοθεί για τις απώλειες εξαιτίας της απορροής και της βαθιάς διήθησης. Κανονικά οι απώλειες είναι περίπου 10 ως 30%, έτσι το  $\alpha = 0.7-0.9$ .

2. *Εμπειρικός τύπος*: Οι παράμετροι του τύπου καθορίζονται από μια ανάλυση των τοπικών κλιματικών δεδομένων, η οποία μπορεί να επιτρέψει έναν υπολογισμό της ωφέλιμης βροχόπτωσης. Ο τύπος μπορεί, τις περισσότερες φορές, να απλοποιηθεί με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Pe = a P_{tot} + b \text{ για } P_{tot} < 70 \text{ mm} \quad (6.4a)$$

$$Pe = c P_{tot} + d \text{ για } P_{tot} > 70 \text{ mm} \quad (6.4b)$$

Οι τιμές των  $a, b, c$  και  $d$  είναι συντελεστές συσχέτισης.

3. *Μέθοδος της USDA (Soil Conservation Service)* με την οποία η ωφέλιμη βροχόπτωση μπορεί να υπολογιστεί με τις σχέσεις

$$Pe = P_{tot} (125 - 0,2 P_{tot}) / 125 \quad \text{για } P_{tot} < 250 \text{ mm} \quad (6.5a)$$

$$Pe = 125 + 0,1 P_{tot} \quad \text{για } P_{tot} > 250 \text{ mm} \quad (6.5b)$$

## Το υπόγειο νερό

Η συμβολή του υπόγειου νερού στην κάλυψη των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών εξαρτάται από το βάθος που βρίσκεται η υπόγεια στάθμη, τα χαρακτηριστικά του υπερκείμενου εδάφους και την υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος. Στα συνεκτικά εδάφη το νερό μπορεί να φτάσει πολύ ψηλά πάνω από την υπόγεια στάθμη με βραδύ όμως ρυθμό ενώ, στα ελαφρά εδάφη, το ύψος ανόδου του νερού είναι μικρό αλλά ο ρυθμός ανόδου είναι ταχύς. Γενικά, χρειάζονται πολύ λεπτομερείς μετρήσεις για να υπολογιστεί η ποσοτική συμβολή του υπόγειου νερού σε κάθε περιοχή που πρόκειται να αρδευτεί.

## Το αποθηκευμένο νερό στο έδαφος

Οι βροχές του χειμώνα, η τήξη του χιονιού την άνοιξη και η κατάκλυση με νερό των χωραφιών σαν αποτέλεσμα πλημμύρων, έχουν σαν συνέπεια να ανεβάσουν την υγρασία της ζώνης του ριζοστρώματος μέχρι την υδατοϊκανότητα στην αρχή της βλαστικής περιόδου. Η υγρασία αυτή είναι ισοδύναμη με μια πλήρη άρδευση και πρέπει να αφαιρείται κατά τον υπολογισμό των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών.



## Η αρδευτική αποδοτικότητα

Απώλειες παρατηρούνται τόσο κατά τη μεταφορά όσο και κατά την εφαρμογή του αρδευτικού νερού στο χωράφι, με συνέπεια να χρειάζονται επιπρόσθετες ποσότητες για την κάλυψη των καθαρών σε νερό αναγκών των καλλιεργειών. Για το λόγο αυτό, κατά την εκτίμηση των συνολικών σε νερό αναγκών, πρέπει να περιλαμβάνεται ένας αναλογικός συντελεστής ενδεικτικός των απωλειών. Ο συντελεστής αυτός λέγεται *αρδευτική αποδοτικότητα*.

Σε ένα αρδευτικό δίκτυο διακρίνονται οι ακόλουθες αποδοτικότητες: Η *αποδοτικότητα του δικτύου μεταφοράς* ( $E_1$ ) που είναι η αναλογία ανάμεσα στο νερό που φτάνει στις υδροληψίες των αγωγών εφαρμογής ( $Q_s$ ) και αυτού που παροχετεύτηκε στην πηγή τροφοδοσίας του δικτύου ( $Q_{in}$ ). Η αποδοτικότητα αυτή εκφράζεται με μια σχέση της μορφής

$$E_1 = \frac{Q_s}{Q_{in}} \quad (6.6)$$

Η *αποδοτικότητα του δικτύου εφαρμογής* ( $E_2$ ) αντιπροσωπεύει την αναλογία ανάμεσα στο νερό που φτάνει στην αρχή του χωραφιού ( $Q_f$ ) και αυτού που παροχετεύτηκε στην υδροληψία του αγωγού εφαρμογής ( $Q_s$ ), είναι δηλαδή

$$E_2 = \frac{Q_f}{Q_s} \quad (6.7)$$

Η *αποδοτικότητα εφαρμογής του νερού* ( $E_f$ ) είναι η αναλογία ανάμεσα στο νερό που αποθηκεύτηκε στη ζώνη του ριζοστρώματος και είναι 100% διαθέσιμο για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών ( $M_s$ ) και αυτού που παροχετεύτηκε στην αρχή του χωραφιού ( $Q_f$ ). Η αποδοτικότητα αυτή εκφράζεται από τη σχέση

$$E_f = \frac{M_s}{Q_f} \quad (6.8)$$

Η *αποδοτικότητα του αρδευτικού δικτύου* ( $E_p$ ) είναι η αναλογία ανάμεσα στο νερό που αποθηκεύτηκε στο ριζόστρωμα ( $M_s$ ) και αυτού που παροχετεύτηκε στην πηγή τροφοδοσίας του δικτύου ( $Q_{in}$ ), είναι δηλαδή

$$E_p = E_1 \cdot E_2 \cdot E_f = \frac{M_s}{Q_{in}} \quad (6.9)$$

Πολλές φορές οι αποδοτικότητες  $E_1$  και  $E_2$  συνδυάζονται και αποτελούν την *αποδοτικότητα διανομής του νερού* ( $E_d$ ) που είναι η αναλογία ανάμεσα στο νερό που φτάνει στην αρχή του χωραφιού και αυτού που παροχετεύτηκε στην πηγή τροφοδοσίας του δικτύου, είναι δηλαδή

$$E_d = E_1 \cdot E_2 = \frac{Q_f}{Q_{in}} \quad (6.10)$$

Η αποδοτικότητα διανομής του νερού επηρεάζεται από το μέγεθος του αρδευτικού δικτύου, τον αριθμό και το είδος των καλλιεργειών, το είδος του δικτύου διανομής του νερού και τα έργα ρυθμίσεως της ροής. Η αποδοτικότητα αυτή είναι κατ' εξοχήν ευαίσθητη στην αποτελεσματικότητα με την οποία είναι οργανωμένο και λειτουργεί το δίκτυο.

Η αποδοτικότητα εφαρμογής του νερού επηρεάζεται από τη μέθοδο αρδεύσεως και την επιδεξιότητα των αγροτών. Οι απώλειες του νερού κατά την εφαρμογή του στο χωράφι μπορεί να είναι πολύ μεγάλες. Χαμηλή αποδοτικότητα προκύπτει όταν ο ρυθμός εφαρμογής του νερού υπερβαίνει την διηθητικότητα του εδάφους οπότε το επιπλέον νερό χάνεται με επιφανειακή απορροή. Όταν η ποσότητα του νερού που εφαρμόζεται ξεπερνά την ωφέλιμη υγρασία, το πλεονάζον νερό χάνεται με βαθιά διήθηση. Στην επιφανειακή άρδευση σημαντικό ρόλο παίζει η κατάσταση της επιφάνειας του χωραφιού. Σχετικά ανώμαλη επιφάνεια συνεπάγεται άνιση κατανομή του νερού, με αποτέλεσμα αλλού να παρατηρείται υπεράρδευση και αυξημένες απώλειες επιφανειακής απορροής και βαθιάς διηθήσεως και αλλού ελλιπής άρδευση, με δυσμενή επίπτωση πάνω στην ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών.

Κατά το στάδιο σχεδιασμού ενός αρδευτικού δικτύου οι αποδοτικότητες διανομής και εφαρμογής του νερού πρέπει να είναι γνωστές. Επειδή συνήθως στην πράξη αυτό δεν είναι δυνατό, οι τιμές τους καθορίζονται εμπειρικά με αποτέλεσμα, είτε να παίρνονται μεγάλες, οπότε κατά τη λειτουργία του δικτύου στην περίοδο αιχμής ζήτησεως θα παρουσιάζεται έλλειψη νερού, είτε να παίρνονται μικρές, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η προς άρδευση έκταση και να γίνεται σημαντική σπατάλη νερού. Ενδεικτικές τιμές της  $E_d$  και  $E_f$  δίνονται στον **Πίνακα 6.1**. Οι αποδοτικότητες αυτές αναφέρονται σε καλά οργανωμένα δίκτυα που βρίσκονται σε λειτουργία επί αρκετά χρόνια.

**Πίνακας 6.1** Αποδοτικότητες διανομής ( $E_d$ ) και εφαρμογής ( $E_f$ ) του νερού σε καλά οργανωμένα αρδευτικά δίκτυα (Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1999)

Τύπος δικτύου	Συντήρηση και λειτουργία	Αποδοτικότητα διανομής, $E_d$
Επιφανειακό	Πολύ καλή μέχρι άριστη	0,60 – 0,75
	Ικανοποιητική	0,50 – 0,60
	Ελλιπής	0,35 – 0,50
	Κακή	0,20 – 0,35
Υπό πίεση	Ικανοποιητική μέχρι άριστη	0,80 – 0,95
Μέθοδος άρδευσης		Αποδοτικότητα εφαρμογής, $E_f$
Κατάκλυση (λεκάνες)		0,60 – 0,80
Περιορισμένη διάχυση (λωρίδες)		0,60 – 0,75
Αυλάκια		0,50 – 0,75
Καταιονισμός:		
Κλασικό σύστημα		0,60 – 0,80
Αυτοκινούμενος εκτοξευτήρας υψηλής πίεσης (καρούλι)		0,55 – 0,75
Αυτοκινούμενη γραμμή άρδευσης		0,75 – 0,90
Περιστρεφόμενο σύστημα (Pivot)		0,75 – 0,90
Στάγδην		0,80 – 0,95

## Η έκπλυση των αλάτων

Η αλατότητα του εδάφους των χωραφιών διαμορφώνεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, την ποιότητα του αρδευτικού νερού, τον τρόπο εφαρμογής του και το μέγεθος και την κατανομή των βροχών. Η αλατότητα αυξάνει με την πρόοδο της βλαστικής περιόδου. Για να κρατηθεί η αλατότητα σε επιτρεπτά επίπεδα, είναι απαραίτητη η έκπλυση του εδάφους με νερό πριν, κατά τη διάρκεια ή μετά τη βλαστική περίοδο, με την προϋπόθεση ότι σε καμιά περίπτωση η συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος δεν θα ξεπεράσει τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια. *Η άρδευση λοιπόν συνεπάγεται πάντοτε αύξηση της αλατότητας του εδάφους που, αν δεν προσεχθεί από την αρχή, μπορεί να προκαλέσει σοβαρό υποβιβασμό της γονιμότητας της γεωργικής γης.*

Μέτρο για τον υπολογισμό του νερού που χρειάζεται για έκπλυση αποτελεί η ανθεκτικότητα των καλλιεργειών σε διάφορα επίπεδα αλατότητας και η συγκέντρωση αλάτων στο αρδευτικό νερό. Η ανθεκτικότητα των καλλιεργειών εκφράζεται έμμεσα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκχυλίσματος κορεσμού του εδάφους. Στον **Πίνακα 6.2** παρουσιάζεται η αντοχή των φυτών και οι αποδόσεις τους σε σχέση με την αλατότητα του νερού άρδευσης ( $EC_{iw}$ ) και τη μέση αλατότητα ( $(EC_e)$ ) που μπορεί να ανεχθεί το φυτό, εκφρασμένα σε mS/cm.

Ο υπολογισμός της ποσότητας του νερού που χρειάζεται για έκπλυση γίνεται με τη βοήθεια του *συντελεστή εκπλύσεως* (LR) που αντιπροσωπεύει την ελάχιστη ποσότητα νερού, εκφρασμένης σαν κλάσμα της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, που πρέπει να διηθηθεί βαθιά μέσα από τη ζώνη του ριζοστρώματος για να διατηρήσει την αλατότητα του εδάφους σε προκαθορισμένο επίπεδο. Ο συντελεστής εκπλύσεως μπορεί έμμεσα να υπολογιστεί με τη σχέση

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5EC_e - EC_{iw}} \quad (6.11)$$

όπου  $EC_{iw}$  είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αρδευτικού νερού σε MS/cm ή mmhos/cm και  $EC_e$  είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε MS/cm ή mmhos/cm του εκχυλίσματος κορεσμού που αντιστοιχεί σε μια καλλιέργεια και το επιθυμητό επίπεδο αποδόσεώς της. Η **σχέση (6.11)** εφαρμόζεται όταν η άρδευση γίνεται με επιφανειακές μεθόδους ή καταιονισμό και αφορά χωράφια με αμμοπηλώδη (SL) μέχρι αργιλοπηλώδη (CL) εδάφη. Στην στάγδην άρδευση ο συντελεστής εκπλύσεως υπολογίζεται με τη σχέση

$$LR = \frac{EC_{iw}}{3EC_{50}} \quad (6.12)$$

όπου  $EC_{50}$  είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε MS/cm ή mmhos/cm που αντιστοιχεί σε απόδοση 50% της καλλιέργειας και δίνεται στον **Πίνακα 6.2**.

Οι **σχέσεις (6.11) και (6.12)** βρίσκουν εφαρμογή όταν η έκπλυση είναι 100% αποτελεσματική. Αυτό είναι σπάνια περίπτωση γιατί στην πραγματικότητα, η αποτελεσματικότητα της εκπλύσεως κυμαίνεται από 100% μέχρι 30%, εξαρτώμενη από την υφή και τη δομή του εδάφους.

Πίνακας 6.2 Αντοχή των φυτών και οι αποδόσεις τους σε σχέση με την αλατότητα του νερού άρδευσης  $EC_{iw}$  και τη μέση αλατότητα του εδάφους  $EC_e$  που μπορεί να ανεχθεί το φυτό (Maas και Hoffman, 1977, Maas, 1984)

Καλλιεργούμενα φυτά		100% απόδοση		90% απόδοση		75% απόδοση		50% απόδοση		0% της μέγιστης απόδοσης	
Βοτανικό είδος	Ελληνικό όνομα	EC <sub>e</sub>	EC <sub>iw</sub>	EC <sub>e</sub>	EC <sub>iw</sub>	EC <sub>e</sub>	EC <sub>iw</sub>	EC <sub>e</sub>	EC <sub>iw</sub>	EC <sub>e</sub>	EC <sub>iw</sub>
1. Φυτά μεγάλης καλλιέργειας											
Hordeum vulgare	Κριθάρι	8,0	5,3	10,0	6,7	13,0	8,7	18,0	12,0	28,0	19,0
Gossypium hirsutum	Βαμβάκι	7,7	5,1	9,6	6,4	13,0	8,4	17,0	12,0	27,0	18,0
Beta vulgaris	Ζαχαρότευτλα	7,0	4,7	8,7	5,8	11,0	7,5	15,0	10,0	24,0	16,0
Sorghum bicolor	Σόργο	6,8	4,5	7,4	5,0	8,4	5,6	9,9	6,7	13,0	8,7
Triticum aestivum	Σιτάρι	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,3	13,0	8,7	20,0	13,0
Triticum turgidum	Σιτάρι σκληρό	5,7	3,8	7,6	5,0	10,0	6,9	15,0	10,0	24,0	16,0
Glycine max	Σόγια	5,0	3,3	5,5	3,7	6,3	4,2	7,5	5,0	10,0	6,7
Arachis hypogaea	Αράπικο φιστίκι	3,2	2,1	3,5	2,4	4,1	2,7	4,9	3,3	6,6	4,4
Oryza sativa	Ρύζι	3,0	2,0	3,8	2,6	5,1	3,4	7,2	4,8	11,0	7,6
Saccharum officinarum	Ζαχαροκάλαμο	1,7	1,1	3,4	2,3	5,9	4,0	10,0	6,8	19,0	12,0
Zea mays	Αραβόσιτος	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Linum usitatissimum	Λινάρι	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Vicia faba	Κουκιά	1,5	1,1	2,6	1,8	4,2	2,0	6,8	4,5	12,0	8,0
Phaseolus vulgaris	Φασόλι	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
2. Λαχανικά											
Cucurbita pepo	Κολοκυθάκι	4,7	3,1	5,8	3,8	7,4	4,9	10,0	6,7	15,0	10,0
Brassica oleracea var. italica	Μπρόκολο	2,8	1,9	3,9	2,6	5,5	3,7	8,2	5,5	14,0	9,1
Lycopersicum esculentum	Τομάτα	2,5	1,7	3,5	2,3	5,0	3,4	7,6	5,0	13,0	8,4
Spinacia oleracea	Σπανάκι	2,0	1,3	3,3	2,2	5,3	3,5	8,6	5,7	15,0	10,0
Apium graveolens	Σέλινό	1,8	1,2	3,4	2,3	5,8	3,9	8,9	6,6	18,0	12,0
Brassica oleracea var. capitata	Λάχανο κεφαλωτό	1,8	1,2	2,8	1,9	4,4	2,9	7,0	4,6	12,0	8,1
Solanum tyberosum	Πατάτα	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Capsicum annum	Πιπεριά	1,5	1,0	2,2	1,5	3,3	2,2	5,1	3,4	8,6	5,8
Lactuca sativa	Μαρούλι	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,1	3,4	9,0	6,0
Raphanus sativus	Ραπανάκι	1,2	0,8	2,0	1,3	3,1	2,1	5,0	3,4	8,9	5,9
Allium cepa	Κρεμμύδι	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9	7,4	5,0
Daucus carota	Καρότο	1,0	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3,0	8,1	5,4
Phaseolus vulgaris	Φασόλι	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2
Brassica oleracea var. gongylodes	Γογγύλι	0,9	0,6	2,0	1,3	3,7	2,5	6,5	4,3	12,0	8,0



<b>3. Χορτοδοτικά</b>										
Agropyron elongatum	Αγρόπυρο	7,5	5,0	9,9	6,6	13,0	9,0	19,0	13,0	21,0
Agropyron cristatum	Αγρόπυρο	7,5	5,0	9,0	6,0	11,0	7,4	15,0	9,8	15,0
Cynodon dactylon	Βερμούδα	6,9	4,6	8,5	5,6	11,0	7,2	15,0	9,8	15,0
Hordeum vulgare	Κριθάρι	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,4	13,0	8,7	13,0
Lolium parenne	Λόλιο το πολυετές- Ήρα	5,6	3,7	6,9	4,6	8,9	5,9	12,0	8,1	13,0
Phalaris tuberosa	Πολυετές γκαζόν Φάλαρη	4,6	3,1	5,9	3,9	7,9	5,3	11,0	7,4	12,0
Festuca elatior	Φεστούκα	3,9	2,6	5,5	3,6	7,8	5,2	12,0	7,8	13,0
Agropyron sibiricum	Αγρόπυρο	3,5	2,3	6,0	4,0	9,8	6,5	16,0	11,0	19,0
Vicia angustifolia	Αγριοκούκι, αγριόραχο	3,0	2,0	3,9	2,6	5,3	3,5	7,6	5,0	8,1
Sorgum sudanense	Σόργο του Σουδάν	2,8	1,9	5,1	3,4	8,6	5,7	14,0	9,6	17,0
Medicago sativa	Μηδική	2,0	1,3	3,4	2,2	5,4	3,6	8,8	5,9	10,0
Zea mays	Αραβόσιτος	1,8	1,2	3,2	2,1	5,2	3,5	8,6	5,7	10,0
Trifolium alexadrinum	Αλεξανδρινό τριφύλλι	1,5	1,0	3,2	2,2	5,9	3,9	10,0	6,8	13,0
Dactylis glomareta	Δακτυλίδα	1,5	1,0	3,1	2,1	5,5	3,7	9,6	6,4	12,0
Alopecurus pratensis	Ασβέλιαφος	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5	7,9
Trifolium pratense (red)	Τριφύλλι το λειμάνιο	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	6,6
Trifolium hybridum (alsike)	Αγριοτριφύλλο	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	6,6
Trifolium repens (ladino)	Ασπροτριφύλλο	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	6,6
Trifolium fragiferum	Τριφύλλι το χαμοκέρασο	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	6,6
<b>4. Οπωροφόρα δένδρα</b>										
Phoenix dactylifera	Χουρμαδιά	4,0	2,7	6,8	4,5	11,0	7,3	18,0	12,0	21,0
Citrus paradisi	Βοτρυόκαρπος	1,8	1,2	2,4	1,6	3,4	2,2	4,9	3,3	5,4
Citrus sinensis	Πορτοκαλιά	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2	5,3
Prunus percica	Ροδακινιά	1,7	1,1	2,2	1,5	2,9	1,9	4,1	2,7	4,3
Prunus armeniaca	Βερικοκιά	1,6	1,1	2,0	1,3	2,6	1,8	3,7	2,5	3,8
Vitis spp	Αμπέλι	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5	7,9
Prunus domestica	Δαμασκηνιά	1,5	1,0	2,1	1,4	2,9	1,9	4,3	2,9	4,7

Η αποτελεσματικότητα εκφράζεται με το συντελεστή αποτελεσματικότητας εκπλύσεως (E<sub>l</sub>) που είναι περίπου ίσος με 1 στα αμώδη εδάφη και 0,3 στα συνεκτικά αργιλώδη εδάφη. Εισάγοντας τον συντελεστή αυτό, οι σχέσεις (6.11) και (6.12) γίνονται

$$LR = \frac{1}{E_l} \frac{EC_{iw}}{5EC_e - EC_{iw}} \tag{6.13}$$

και

$$LR = \frac{1}{E_l} \frac{EC_{iw}}{3EC_{50}} \tag{6.14}$$

Ανεξάρτητα από την ποσότητα του νερού που θα χρειαστεί για έκπλυση, το νερό αυτό πρέπει να απομακρυνθεί από το χωράφι με υποστράγγιση. Έτσι, είναι πάντοτε απαραίτητο μαζί με κάθε αρδευτικό να κατασκευάζεται και το αντίστοιχο στραγγιστικό δίκτυο, ώστε να διατηρείται αφ' ενός το ριζόστρωμα ελεύθερο από υπερβολική υγρασία και αφ' εταίρου να εξασφαλίζονται οι κατάλληλες συνθήκες για την απομάκρυνση του νερού εκπλύσεως.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΔΑΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΝΟΜΟΥΣ ΛΑΡΙΣΑΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ

### 7.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοής κάθε μήνα χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά στοιχεία 20 ετών (1980 – 2000) από 7 μετεωρολογικούς σταθμούς (ΕΜΥ, ΔΕΚΕ, ΔΕΒ, Οργανισμός Βάμβακος κλπ.) των Νομών Λάρισας και Μαγνησίας οι οποίοι φαίνονται στον **πίνακα 7.1**.

**Πίνακας 7.1** Οι μετεωρολογικοί σταθμοί των Νομών Λάρισας και Μαγνησίας

Α/Α	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΝΟΜΟΣ	ΥΨΟΜ	Γ.Π.	Γ.Μ.	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	RH <sub>mean</sub>	n	u <sub>d</sub>
1	ΛΑΡΙΣΑ	ΛΑΡΙΣΑΣ	73	39° 38'	22° 25'	+	+	+	+	+
2	ΛΙΒΑΔΙ	ΛΑΡΙΣΑΣ	1183	40° 08'	22° 09'	+	+	+	+	+
3	ΣΚΟΠΙΑ	ΛΑΡΙΣΑΣ	580	39° 09'	22° 28'	+	+	+	+	+
4	ΣΩΤΗΡΙΟ	ΛΑΡΙΣΑΣ	51	39° 30'	22° 43'	+	+	+	+	+
5	ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΦΑΡΣΑΛΩΝ*	ΛΑΡΙΣΑΣ	148	39° 23'	22° 19'	+	+	+	-	-
6	ΚΑΤΩ ΛΕΧΩΝΙΑ**	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	70	39° 20'	23° 03'	+	+	+	-	-
7	ΝΕΑ ΑΓΧΙΑΛΟΣ	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	15	39° 15'	22° 48'	+	+	+	+	+

\* Τα ελλειπή στοιχεία του σταθμού συμπληρώθηκαν από τα αντίστοιχα του σταθμού Λάρισας από τον οποίο απέχει 32 Km.

\*\* Τα ελλειπή στοιχεία του σταθμού συμπληρώθηκαν από τα αντίστοιχα του σταθμού Νέας Αγχιάλου από τον οποίο απέχει 21,6 Km.

Στον **Πίνακα 7.1**, T<sub>max</sub> και T<sub>min</sub> είναι η μέση μέγιστη και μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία, RH<sub>mean</sub> η μέση μηνιαία σχετική υγρασία, n η μέση μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας (πραγματική ηλιοφάνεια) και u<sub>d</sub> η μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου της ημέρας. Τα σύμβολα (+) ή (-) ενημερώνουν για την ύπαρξη ή όχι των μετεωρολογικών στοιχείων στους σταθμούς.

Για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά στοιχεία 20 ετών (1980 – 2000) από 25 βροχομετρικούς σταθμούς οι οποίοι φαίνονται στον **πίνακα 7.2**.

**Πίνακας 7.2** Βροχομετρικοί σταθμοί

Α/Α	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΝΟΜΟΣ	Α/Α	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΝΟΜΟΣ
1	ΛΑΡΙΣΑ	ΛΑΡΙΣΑΣ	14	ΣΠΗΛΙΑ	ΛΑΡΙΣΑΣ
2	ΛΙΒΑΔΙ	ΛΑΡΙΣΑΣ	15	ΤΥΡΝΑΒΟΣ	ΛΑΡΙΣΑΣ
3	ΣΚΟΠΙΑ	ΛΑΡΙΣΑΣ	16	ΧΑΛΚΙΑΔΕΣ	ΛΑΡΙΣΑΣ
4	ΣΩΤΗΡΙΟ	ΛΑΡΙΣΑΣ	17	ΚΑΤΩ ΛΕΧΩΝΙΑ	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ
5	ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΑ	ΛΑΡΙΣΑΣ	18	ΝΕΑ ΑΓΧΙΑΛΟΣ	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ
6	ΓΙΑΝΝΩΤΑ ΕΛ	ΛΑΡΙΣΑΣ	19	ΑΝΑΒΡΑ	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ
7	ΕΛΑΣΣΟΝΑ	ΛΑΡΙΣΑΣ	20	ΒΟΛΟΣ	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ
8	ΖΑΠΠΕΙΟ	ΛΑΡΙΣΑΣ	21	ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑ	ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ
9	ΚΡΥΟΒΡΥΣΗ	ΛΑΡΙΣΑΣ	22	ΑΓΡΙΕΛΙΑ	ΤΡΙΚΑΛΩΝ
10	ΜΑΓΟΥΛΑ	ΛΑΡΙΣΑΣ	23	ΛΙΟΠΡΑΣΟ	ΤΡΙΚΑΛΩΝ
11	ΜΥΡΑ	ΛΑΡΙΣΑΣ	24	ΦΑΡΚΑΔΟΝΑ	ΤΡΙΚΑΛΩΝ
12	ΠΥΘΙΟ	ΛΑΡΙΣΑΣ	25	ΔΕΣΚΑΤΗ	ΓΡΕΒΕΝΩΝ
13	ΠΥΡΙΓΕΤΟΣ	ΛΑΡΙΣΑΣ			

### **7.1.1 Μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής σε σταθμούς που δεν υπήρχαν στοιχεία για τον υπολογισμό όλων των αναγκαίων κλιματικών παραμέτρων**

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής στο σταθμό της περιοχής Φαρσάλων και των Κάτω Λεχωνίων όπου έλλειπαν δεδομένα διάρκειας ηλιοφάνειας για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του ανέμου, ήταν η *χρησιμοποίηση των στοιχείων αυτών από γειτονικούς σταθμούς*.

#### **A. Στοιχεία διάρκειας ηλιοφάνειας από γειτονικό σταθμό**

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι για τον ίδιο μήνα και συχνά για την ίδια ημέρα, οι μεταβλητές που επηρεάζουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία,  $R_s$ , και τη διάρκεια ηλιοφάνειας,  $n$ , είναι όμοια για μια δεδομένη περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι:

- (i) το μέγεθος της περιοχής πρέπει να είναι μικρό,
- (ii) οι αέριες μάζες που καθορίζουν τη βροχόπτωση και τη νέφωση να είναι σχεδόν ίδιες στην περιοχή αυτή και
- (iii) η φυσιογραφία της περιοχής να είναι σχεδόν ομοιογενής.

Οι διαφορές στο ανάγλυφο της περιοχής θα πρέπει να είναι αμελητέες αφού επηρεάζουν έντονα την κίνηση των αερίων μαζών. Επίσης δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται στοιχεία από σταθμούς που βρίσκονται από την άλλη πλευρά ενός βουνού. Έτσι εφόσον ισχύουν οι παραπάνω προϋποθέσεις και η βοράς-νότος απόσταση του γειτονικού σταθμού δεν υπερβαίνει τα 50 Km ώστε η τιμή της  $R_a$  να μην αλλάζει, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία διάρκειας ηλιοφάνειάς του.

#### **B. Στοιχεία ταχύτητας ανέμου από γειτονικό σταθμό**

Η χρησιμοποίηση στοιχείων ταχύτητας ανέμου από γειτονικό σταθμό, όπως και με τα στοιχεία διάρκειας ηλιοφάνειας, βασίζεται στο γεγονός ότι η ροή του αέρα πάνω από μια ομοιογενή περιοχή μπορεί να παρουσιάζει σχετικά μεγάλες διαφορές κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά όταν αναφερόμαστε σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους ή σε ολόκληρη την ημέρα, οι διαφορές αυτές στην ροή του αέρα είναι μικρές. Στοιχεία από γειτονικό σταθμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν οι αέριες μάζες είναι της ίδιας προέλευσης ή όταν τα μέτωπα που καθορίζουν τη ροή των αερίων μαζών και το ανάγλυφο είναι παρόμοια.

Όταν χρησιμοποιούνται στοιχεία ταχύτητας ανέμου από άλλο γειτονικό σταθμό, θα πρέπει να συγκριθούν το τοπικό κλίμα, οι μεταβολές των άλλων κλιματικών παραμέτρων και το ανάγλυφο. Δυνατοί άνεμοι συχνά σχετίζονται με χαμηλή σχετική υγρασία και αντιστρόφως. Έτσι οι μεταβολές στην σχετική υγρασία θα πρέπει να είναι παρόμοιες και στις δύο τοποθεσίες. Στις ορεινές περιοχές, τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν δεν πρέπει να είναι απαραίτητα από τον πιο κοντινό σταθμό αλλά είναι προτιμότερο να είναι από γειτονικό σταθμό που έχει παρόμοιο υψόμετρο και έκθεση στους ανέμους. Ανάλογα με τη διεύθυνση των ανέμων, μπορεί από εποχή σε εποχή να χρησιμοποιούνται στοιχεία από διαφορετικούς γειτονικούς σταθμούς.

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προηγούμενα τα στοιχεία διάρκειας ηλιοφάνειας και ταχύτητας ανέμου για το σταθμό των Φαρσάλων ελήφθησαν από το σταθμό της Λάρισας και για το σταθμό των Κάτω Λεχωνίων από το σταθμό της Νέας Αγχιάλου.



## 7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΑΣΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

Ο ακριβής υπολογισμός της βασικής εξατμισοδιαπνοής στους Νομούς Λάρισας και Μαγνησίας που έγινε στην παρούσα εργασία αλλά και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας που καλλιεργούνται εντατικά, παρουσιάζει δυσκολίες γιατί ο αριθμός των μετεωρολογικών σταθμών είναι μικρός, δεν υπάρχουν σε όλους του σταθμούς στοιχεία για τον υπολογισμό όλων των κλιματικών παραμέτρων, ενώ οι χρονοσειρές ορισμένων δεδομένων μπορεί να παρουσιάζουν κενά.

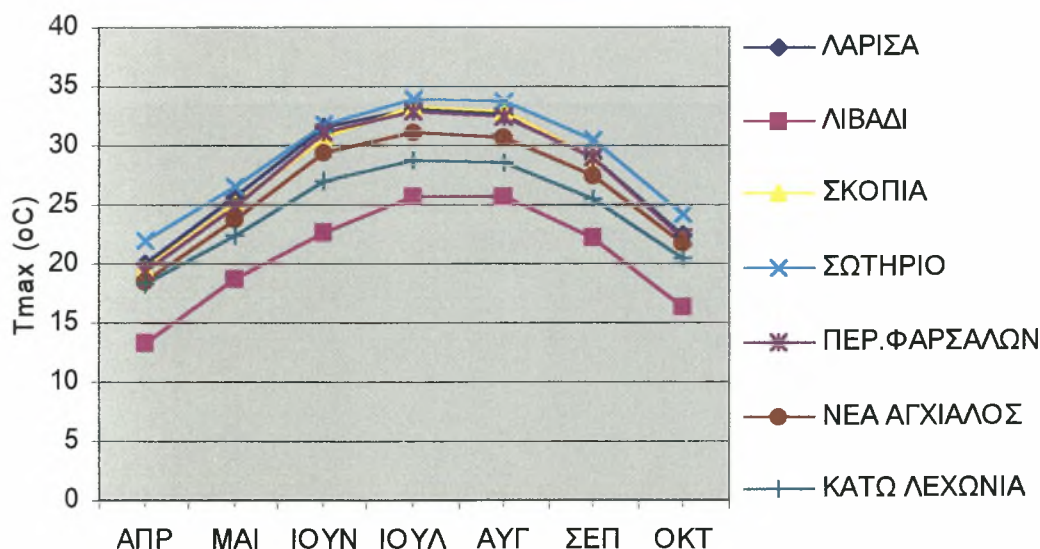
Σύμφωνα με τους Snyder και Jensen, ένας αξιόπιστος τρόπος εκτίμησης της μέσης ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοής, είναι η *χρήση του μηνιαίου μέσου όρου των τιμών μιας χρονοσειράς ιστορικών κλιματικών δεδομένων*.

Για τον υπολογισμό της βασικής εξατμισοδιαπνοής στις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση των Penman-Monteith κατά FAO (εξίσωση 3.10). Στη συνέχεια με βάση τις τιμές αυτές στις θέσεις των σταθμών, βρέθηκαν οι τιμές της μέσης ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοής κάθε μήνα σε όλους τους Δήμους των Νομών Λάρισας και Μαγνησίας με μεθοδολογία που περιγράφεται παρακάτω. Οι παραπάνω υπολογισμοί έγιναν με τη βοήθεια ειδικών πακέτων επεξεργασίας στον H/Y.

### Αποτελέσματα της βασικής εξατμισοδιαπνοής στις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών

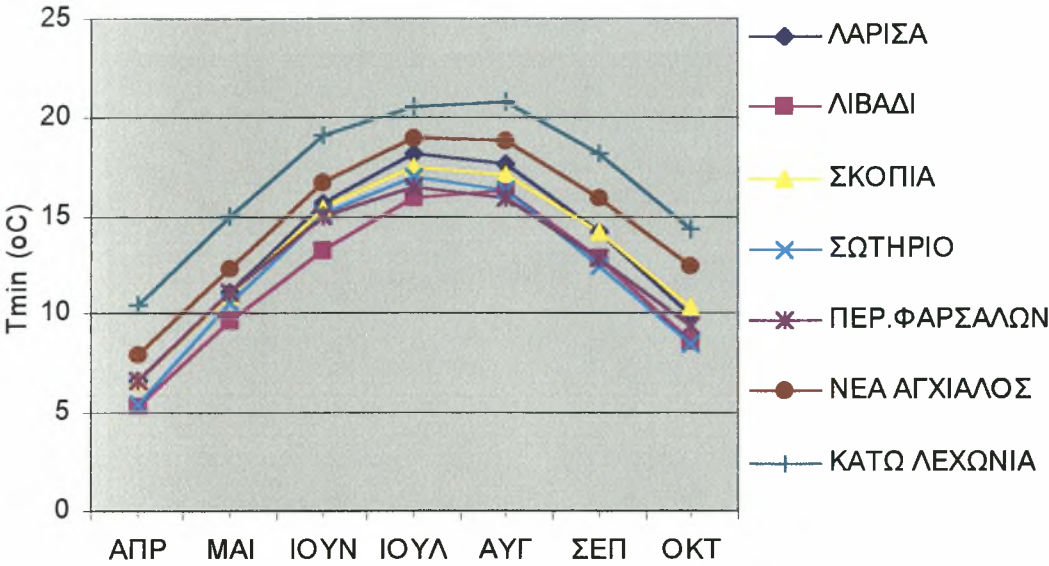
Οι τιμές των μέσων όρων κάθε χρονοσειράς, για κάθε μήνα και κάθε κλιματικό παράγοντα, για όλους του μετεωρολογικούς σταθμούς φαίνονται στα **γραφήματα 7.1** έως **7.6**.

Γράφημα 7.1 Μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία  $T_{max}$  (°C)

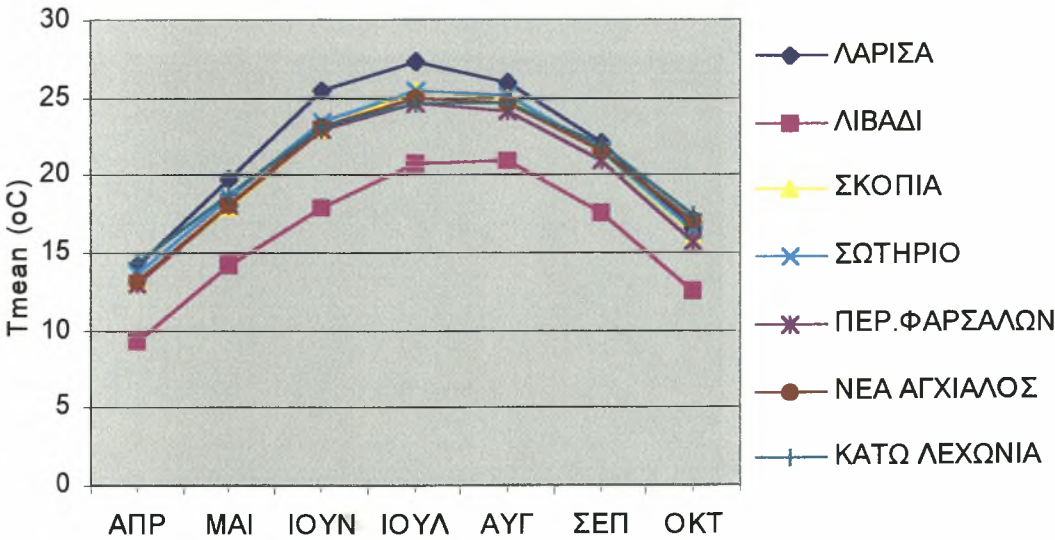




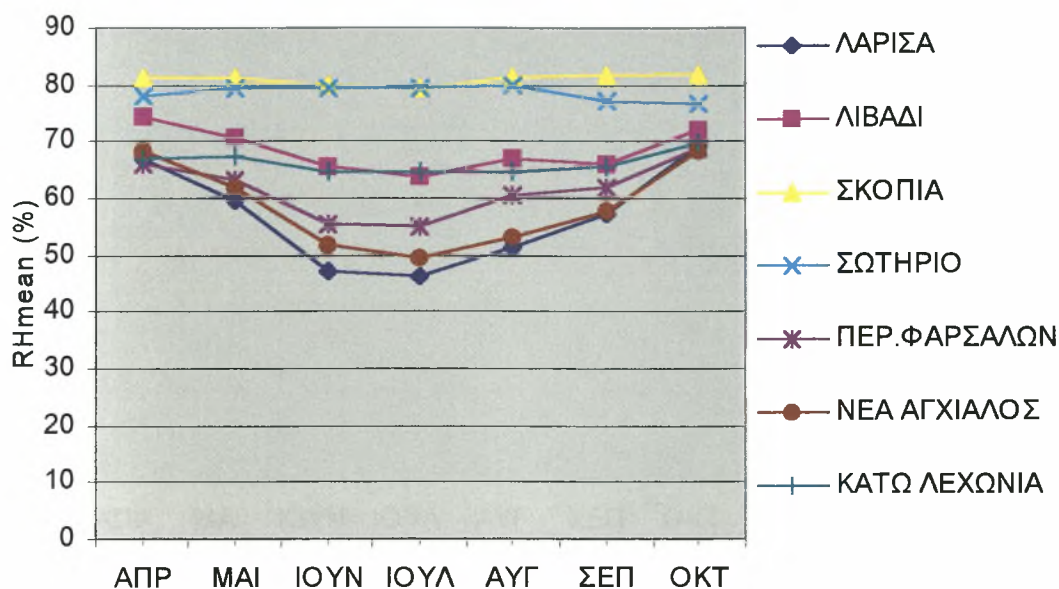
Γράφημα 7.2 Μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία  $T_{min}$  (°C)



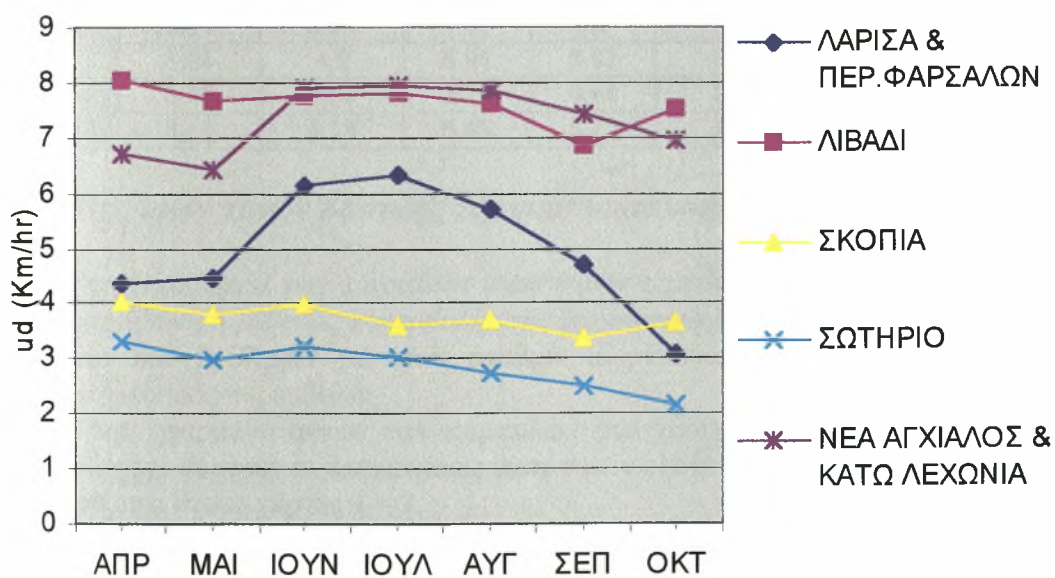
Γράφημα 7.3 Μέση μηνιαία θερμοκρασία  $T_{mean}$  (°C)



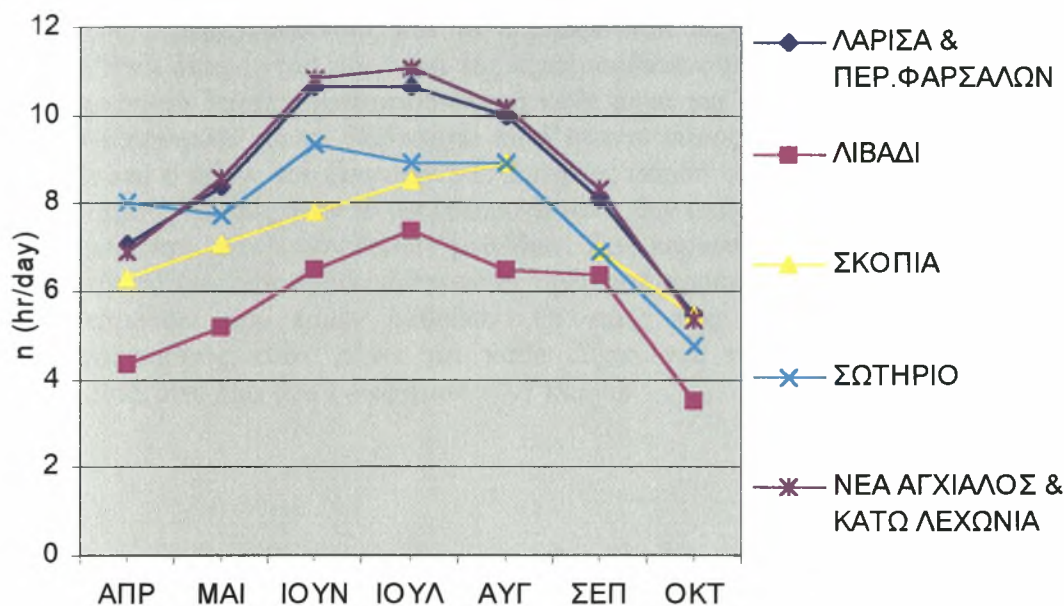
Γράφημα 7.4 Μέση μηνιαία σχετική υγρασία  $RH_{mean}$  (%)



Γράφημα 7.5 Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου της ημέρας  $u_d$  (Km/hr)



Γράφημα 7.6 Μέση μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας (πραγματική ηλιοφάνεια) n (hr)



Έτσι με την εφαρμογή στην εξίσωση των Penman-Monteith κατά FAO της μέσης τιμής των κλιματικών παραμέτρων λαμβάνονται οι τιμές της μέσης ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοή κάθε μήνα για κάθε μετεωρολογικό σταθμό, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.3.

Πίνακας 7.3 Μέσες τιμές της ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοής ET<sub>0</sub> (mm/day) στις θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ
ΛΑΡΙΣΑ	3,09	4,32	6,11	6,31	5,45	3,79	1,92
ΛΙΒΑΔΙ	2,35	3,3	4,18	4,68	4,09	3,13	1,85
ΣΚΟΠΙΑ	2,77	3,7	4,58	4,87	4,52	3,13	1,87
ΣΩΤΗΡΙΟ	3,11	3,84	4,86	4,9	4,42	3,1	1,75
ΦΑΡΣΑΛΑ	3,05	4,2	5,91	6,07	5,29	3,73	1,91
ΝΕΑ ΑΓΧΙΑΛΟΣ	3,13	4,38	6,14	6,44	5,72	4,22	2,42
ΚΑΤΩ ΛΕΧΩΝΙΑ	3,15	4,15	5,49	5,72	5,16	3,81	2,29

Καμπύλες ίσων τιμών βασικής εξατμισοδιαπνοής

Για τη δημιουργία των καμπυλών ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής για κάθε μήνα, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος παρεμβολής της γεωστατικής Kriging - γραμμική, μεταξύ των τιμών που βρέθηκαν για κάθε σταθμό. Η μέθοδος αυτή θεωρείται η πλέον αξιόπιστη μέθοδος παρεμβολής.

Με την εφαρμογή αυτών των καμπυλών στο χάρτη των Νομών Λάρισας και Μαγνησίας προκύπτουν οι απεικονίσεις ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής ανά μήνα όπως παρουσιάζεται στους χάρτες 1 – 7.

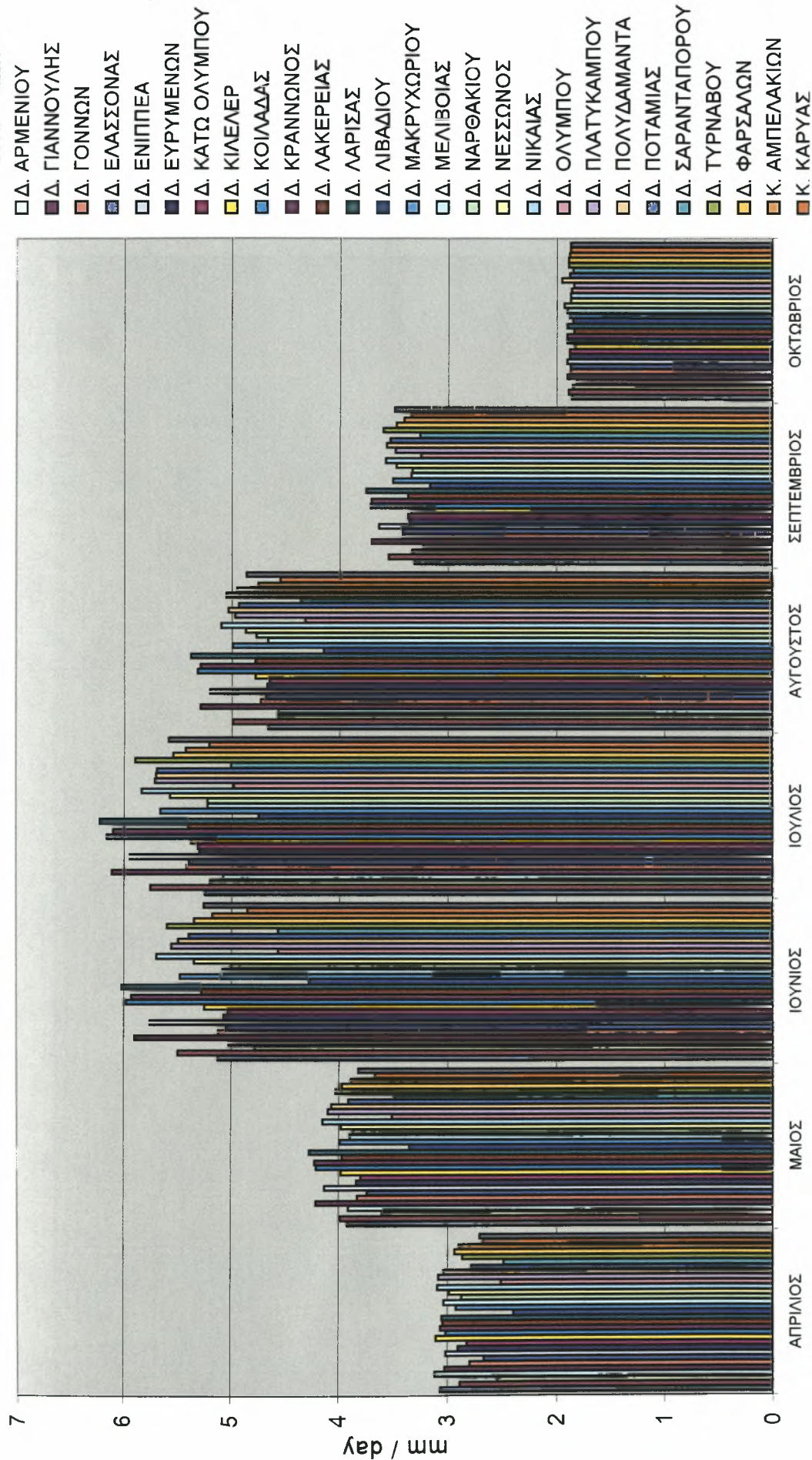
Αποτελέσματα της βασικής εξατμισοδιαπνοής ανά Καποδιστριακό Δήμο

Για να υπολογιστούν οι συνολικές απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό, πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η βασική εξατμισοδιαπνοή ανά Δήμο. Αυτό έγινε με τη χρήση

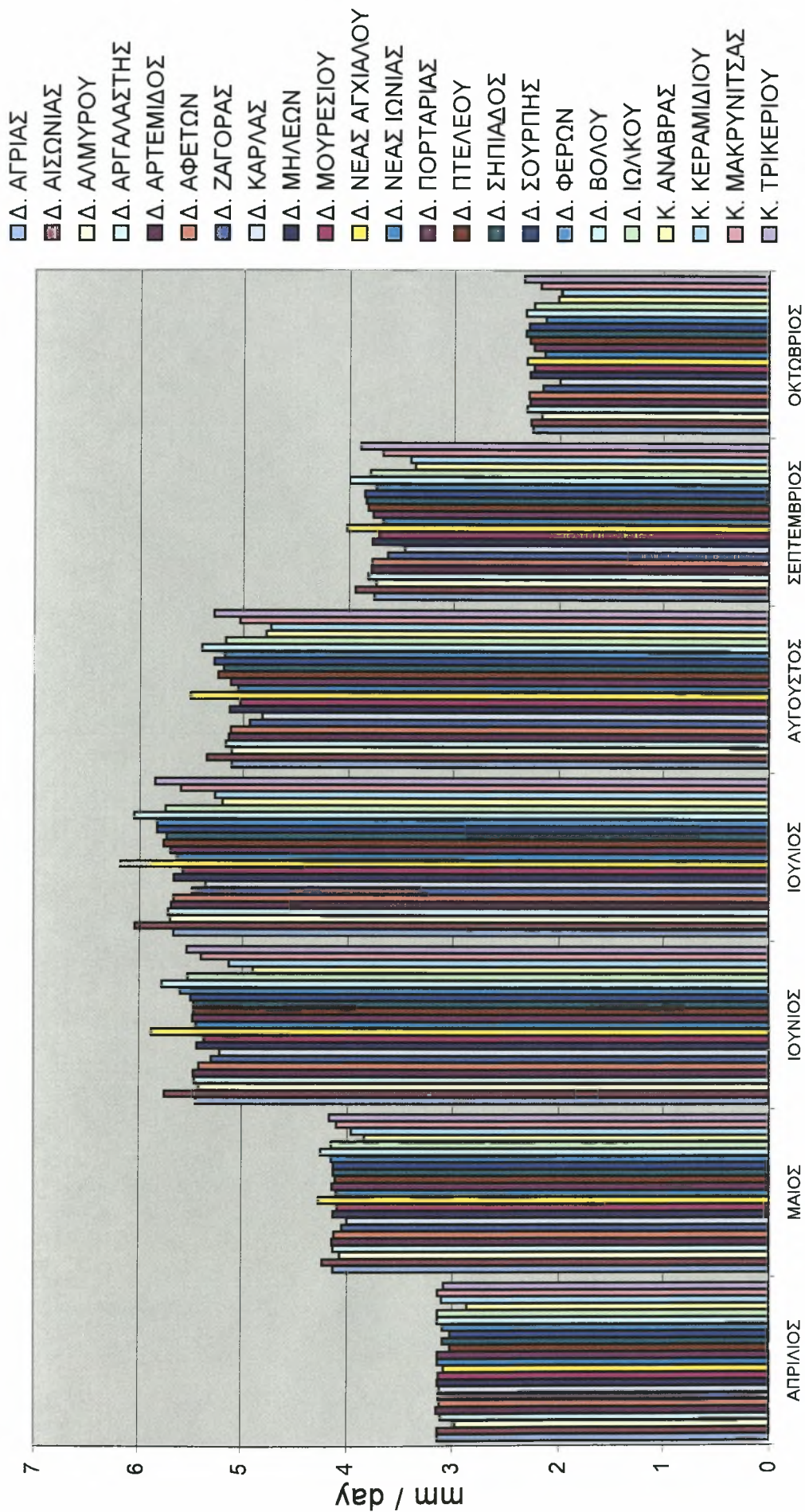
των χαρτών ίσων τιμών εξαμισοδιαπνοής και την εφαρμογή σε αυτούς ολοκληρωμάτων εμβαδού για κάθε Δήμο. Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση ειδικού λογισμικού, σε κάθε χάρτη, αφού δόθηκαν τα όρια του κάθε Δήμου, υπολογίστηκαν ο όγκος της εξαμισοδιαπνοής και το εμβαδόν που περικλείουν τα όρια του κάθε Δήμου. Έτσι διαιρώντας τον όγκο της εξαμισοδιαπνοής με το εμβαδόν, βρέθηκε η μέση ημερήσια βασική εξαμισοδιαπνοή κάθε μήνα για κάθε Δήμο. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαδικασία αυτή ήταν *ο νόμος του τραπεζίου, ο νόμος του Simpson και ο νόμος του Simpson 3/8*. Συνήθως επειδή το βήμα που δόθηκε για τους υπολογισμούς αυτούς ήταν το μικρότερο δυνατό, δεν υπήρχαν αποκλίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων των τριών αυτών μεθόδων. Στις περιπτώσεις που υπήρχαν κάποιες μικρές αποκλίσεις χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που προέκυψαν από το μέσο όρο των αποτελεσμάτων των τριών μεθόδων. Οι τιμές της μέσης ημερήσιας βασικής εξαμισοδιαπνοής κάθε μήνα για κάθε Δήμο για τους Νομούς Λάρισας και Μαγνησίας, δίνονται στα **Γραφήματα 7.7 και 7.8**.



**Γράφημα 7.7** Οι τιμές της μέσης ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοής κάθε μήνα για κάθε Δήμο του Νομού Λάρισας (mm/day)



**Γράφημα 7.8** Οι τιμές της ημερήσιας βασικής εξατμισοδιαπνοής κάθε μήνα για κάθε Δήμο του Νομού *Μαγνησίας*  
(mm/day)

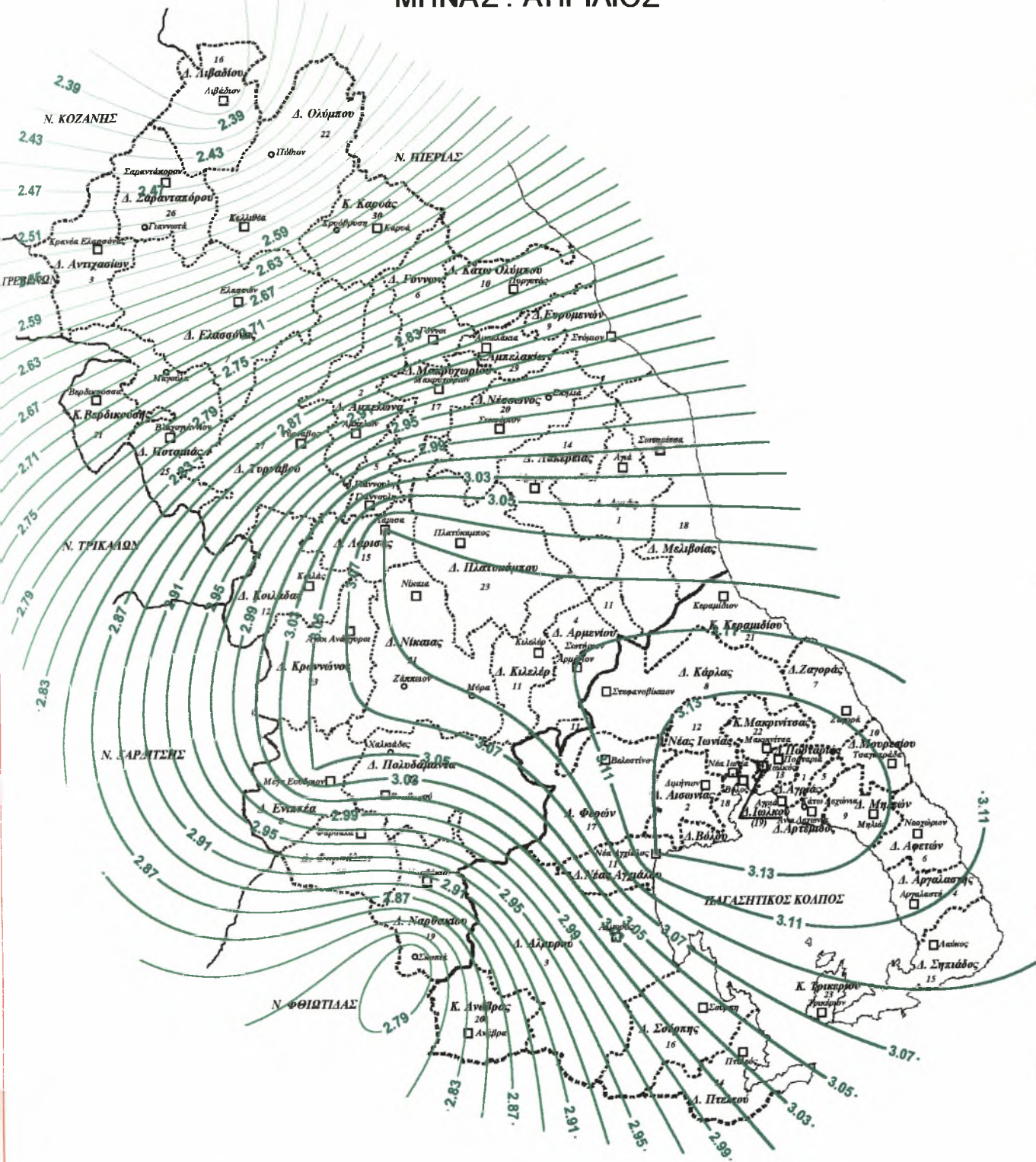




ΧΑΡΤΗΣ 1

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ  
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (mm/day)

ΜΗΝΑΣ : ΑΠΡΙΛΙΟΣ

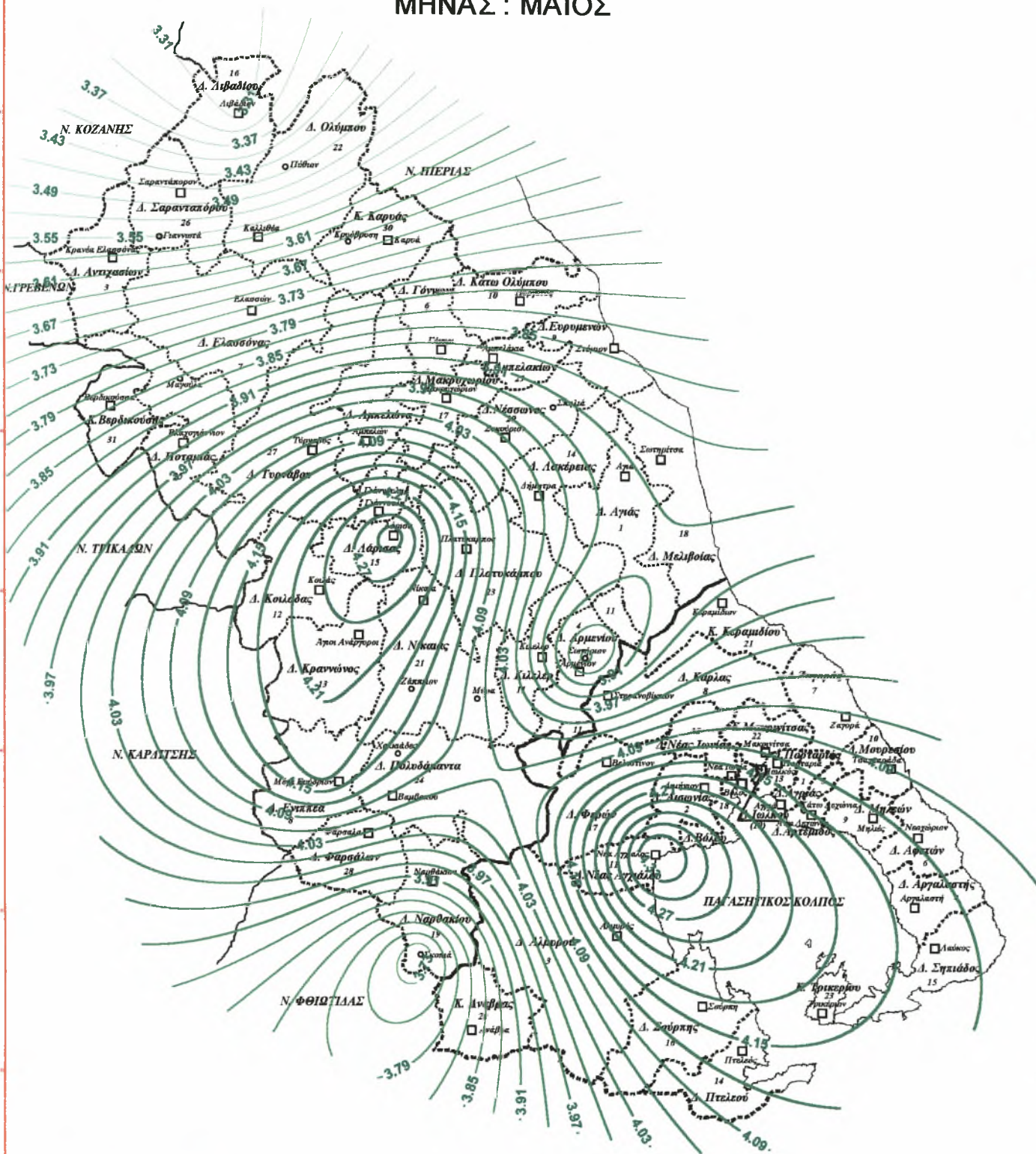




# ΧΑΡΤΗΣ 2

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ  
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (mm/day)

ΜΗΝΑΣ : ΜΑΪΟΣ

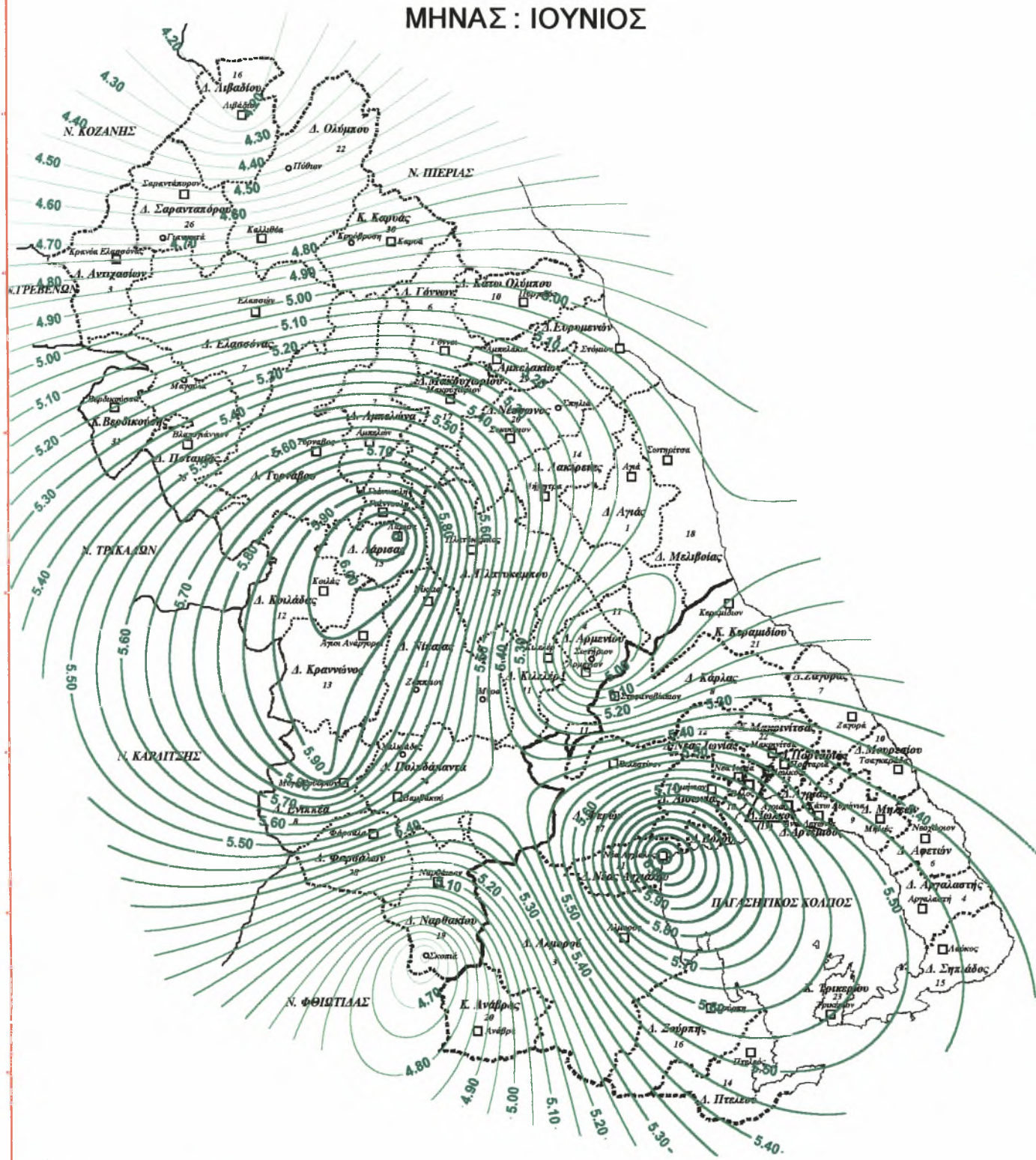




# ΧΑΡΤΗΣ 3

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ  
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (mm/day)

ΜΗΝΑΣ : ΙΟΥΝΙΟΣ



ΚΛΙΜΑΚΑ 1 : 730.000

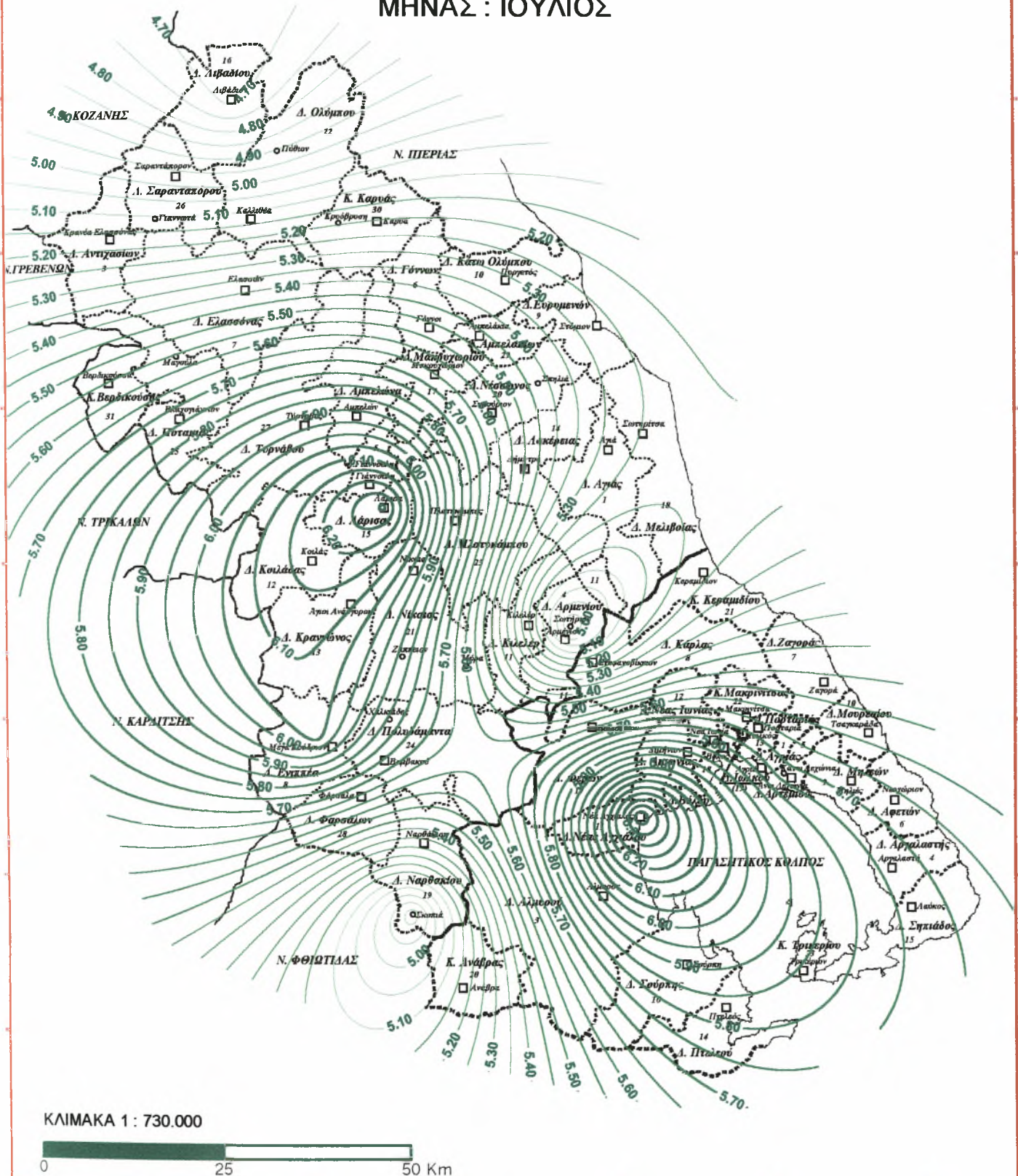




## ΧΑΡΤΗΣ 4

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ  
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (mm/day)

ΜΗΝΑΣ : ΙΟΥΛΙΟΣ

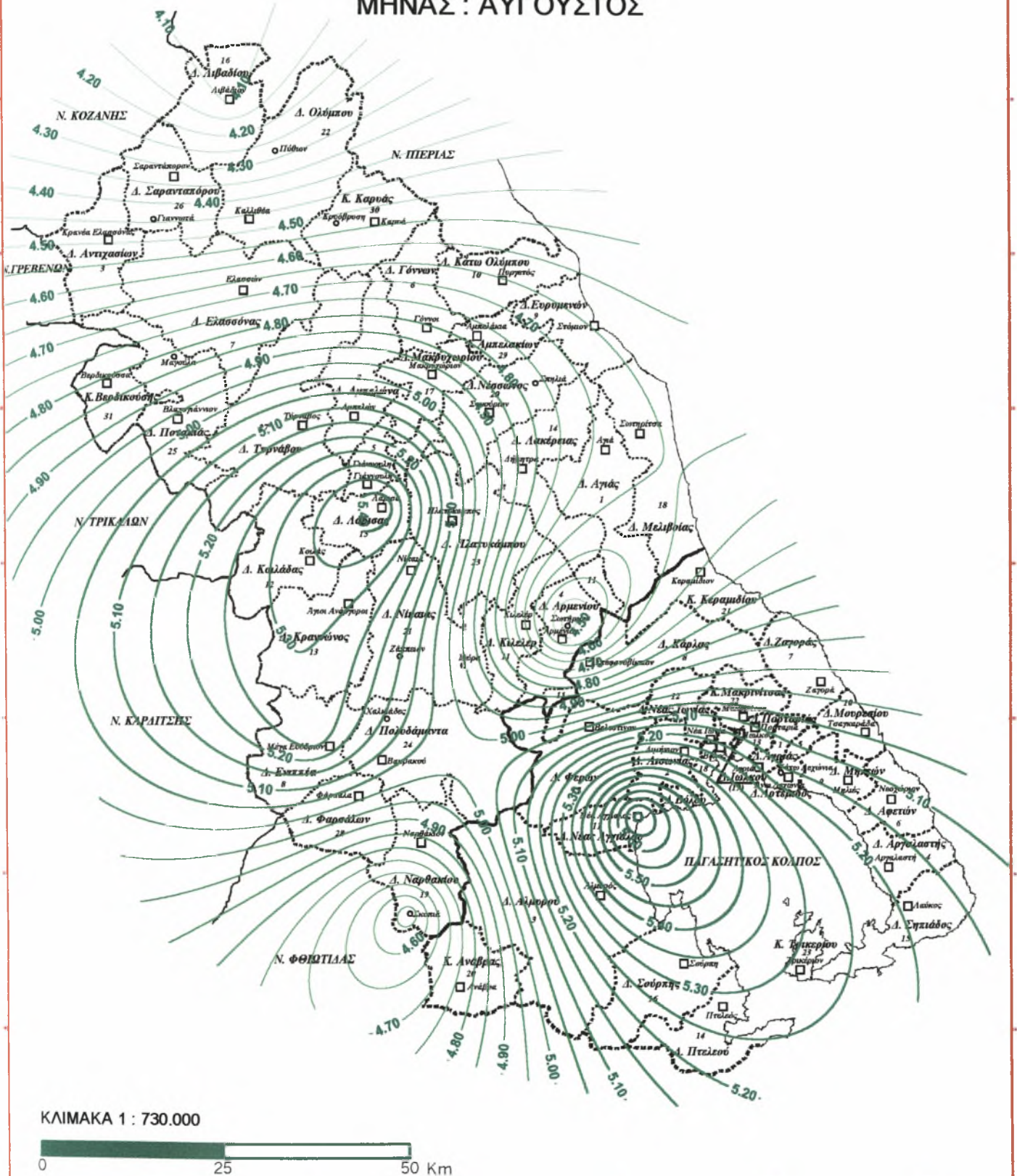




## ΧΑΡΤΗΣ 5

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ  
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (mm/day)

ΜΗΝΑΣ : ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

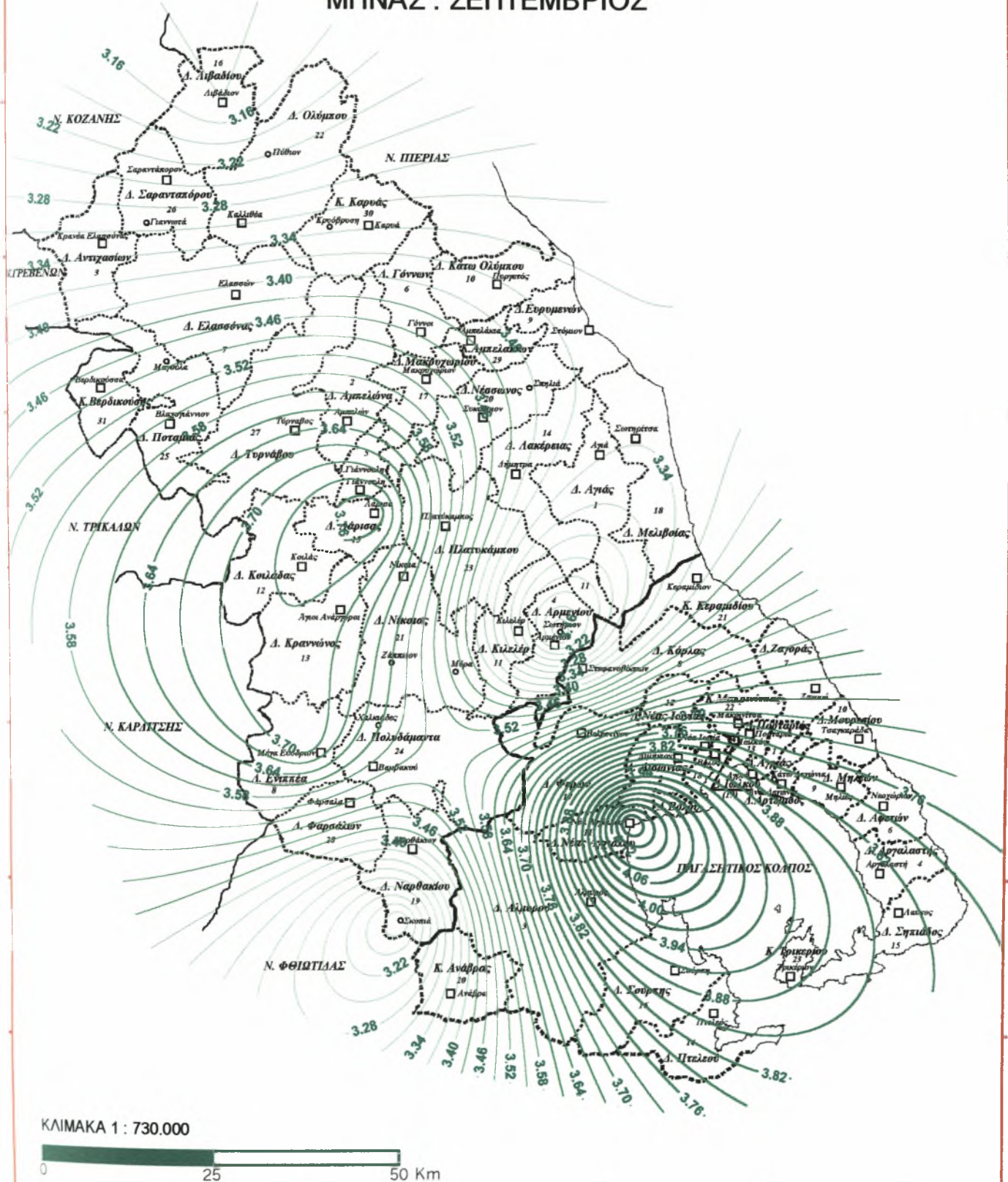




## ΧΑΡΤΗΣ 6

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ  
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (mm/day)

ΜΗΝΑΣ : ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

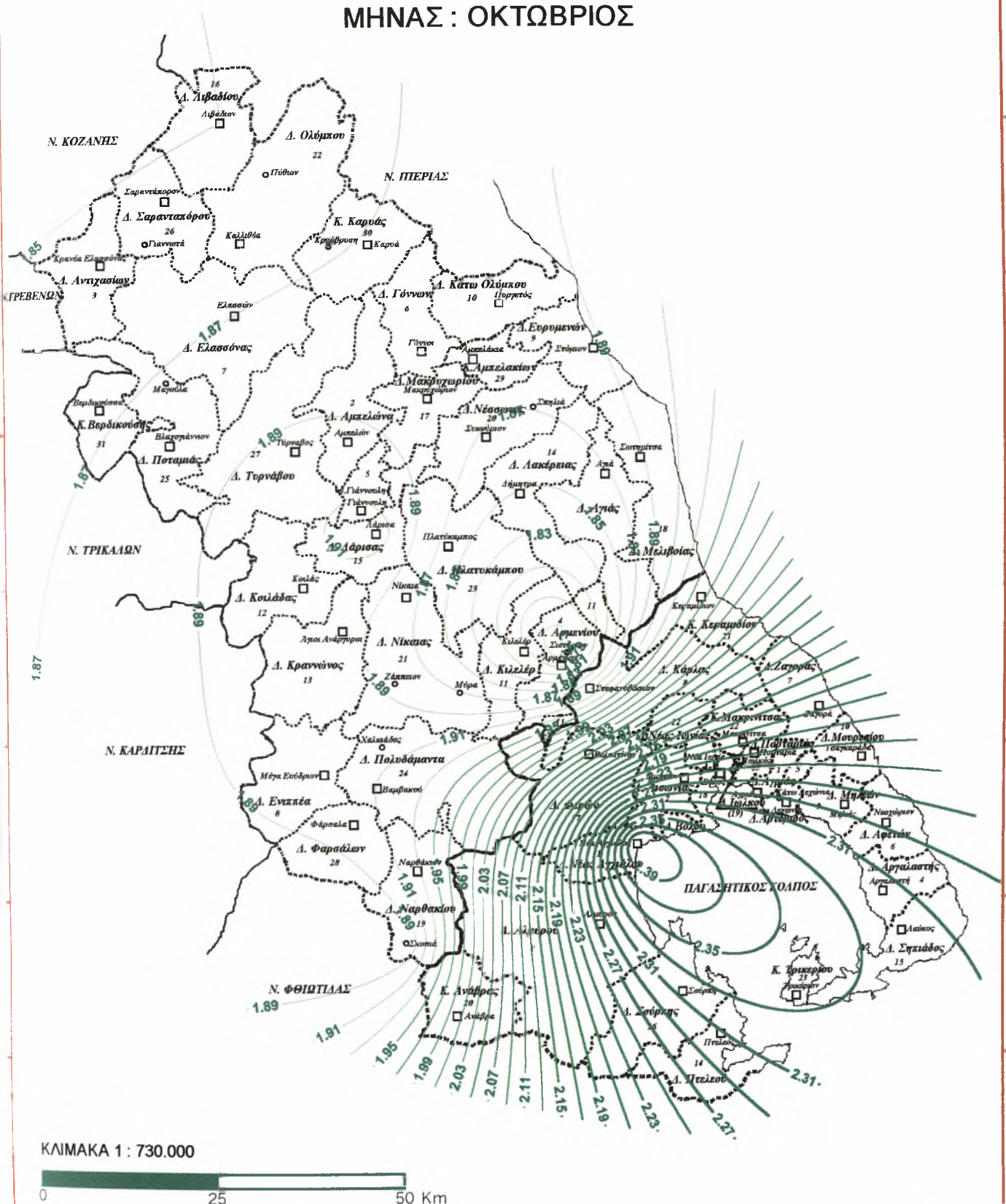




# ΧΑΡΤΗΣ 7

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ  
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (mm/day)

ΜΗΝΑΣ : ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



### **7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**

#### ***Αποτελέσματα βροχόπτωσης στις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών***

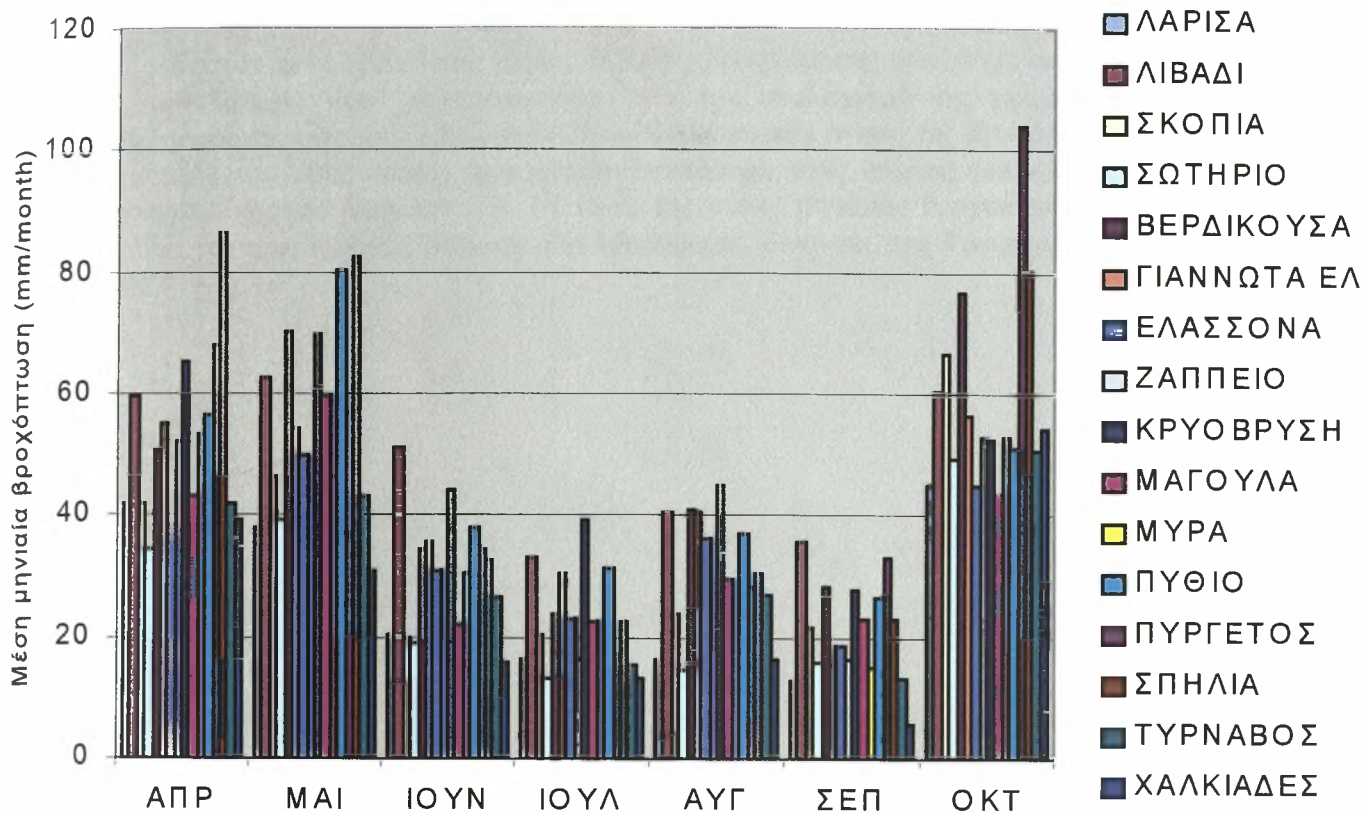
Για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά στοιχεία 20 ετών (1980 – 2000) των 25 μετεωρολογικών σταθμών που φαίνονται στον **πίνακα 7.2** και τα αποτελέσματα δίνονται στο **γράφημα 7.9** για τους μετεωρολογικούς σταθμούς του Νομού Λάρισας και στο **γράφημα 7.10** για τους μετεωρολογικούς σταθμούς των Νομών Μαγνησίας, Τρικάλων και Γρεβενών.

#### ***Καμπύλες ίσων τιμών βροχόπτωσης***

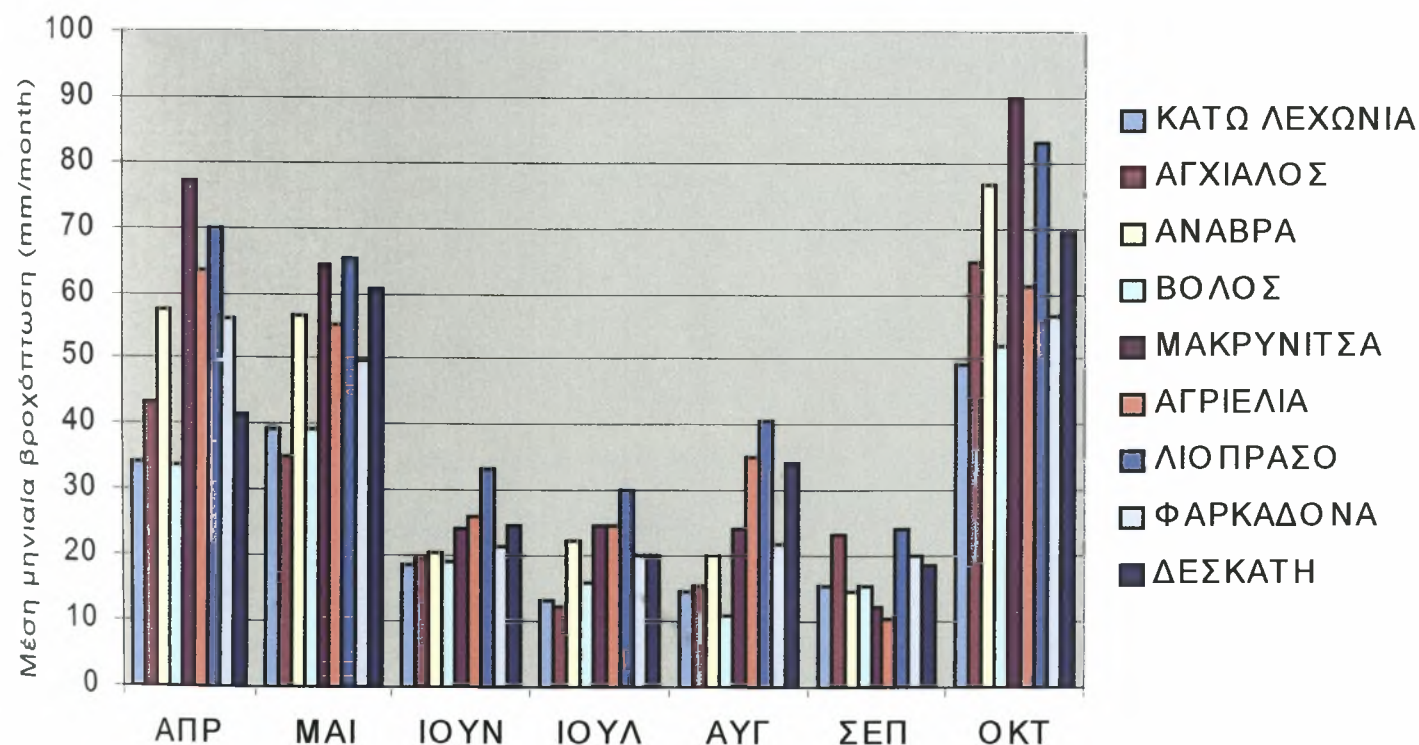
Για τη δημιουργία των καμπυλών ίσων τιμών βροχόπτωσης για κάθε μήνα χρησιμοποιήθηκε, όπως και προηγουμένως για τη δημιουργία καμπυλών ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής, η μέθοδος παρεμβολής της γεωστατικής *Kriging* - γραμμική, μεταξύ των τιμών που βρέθηκαν για κάθε σταθμό.

Με την εφαρμογή αυτών των καμπυλών στο χάρτη των Νομών Λάρισας και Μαγνησίας προκύπτουν οι απεικονίσεις ίσων τιμών βροχόπτωσης ανά μήνα όπως παρουσιάζεται στους **χάρτες 8 – 14**.

**Γράφημα 7.9** Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm/month) στις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών του Νομού Λάρισας.



**Γράφημα 7.10** Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm/month) στις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών των Νομών Μαγνησίας, Τρικάλων και Γρεβενών.



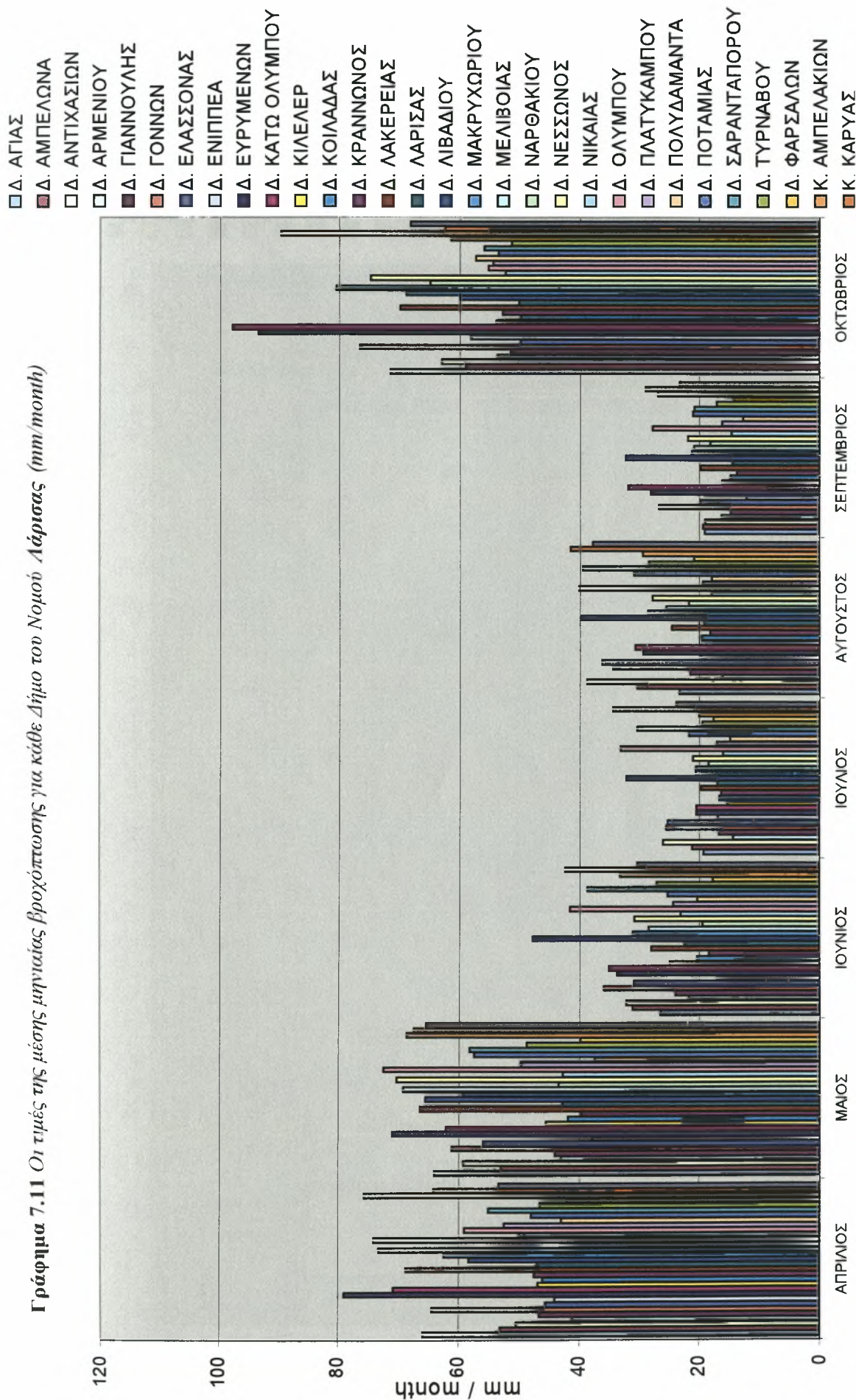


### ***Αποτελέσματα της βροχόπτωσης ανά Καποδιστριακό Δήμο***

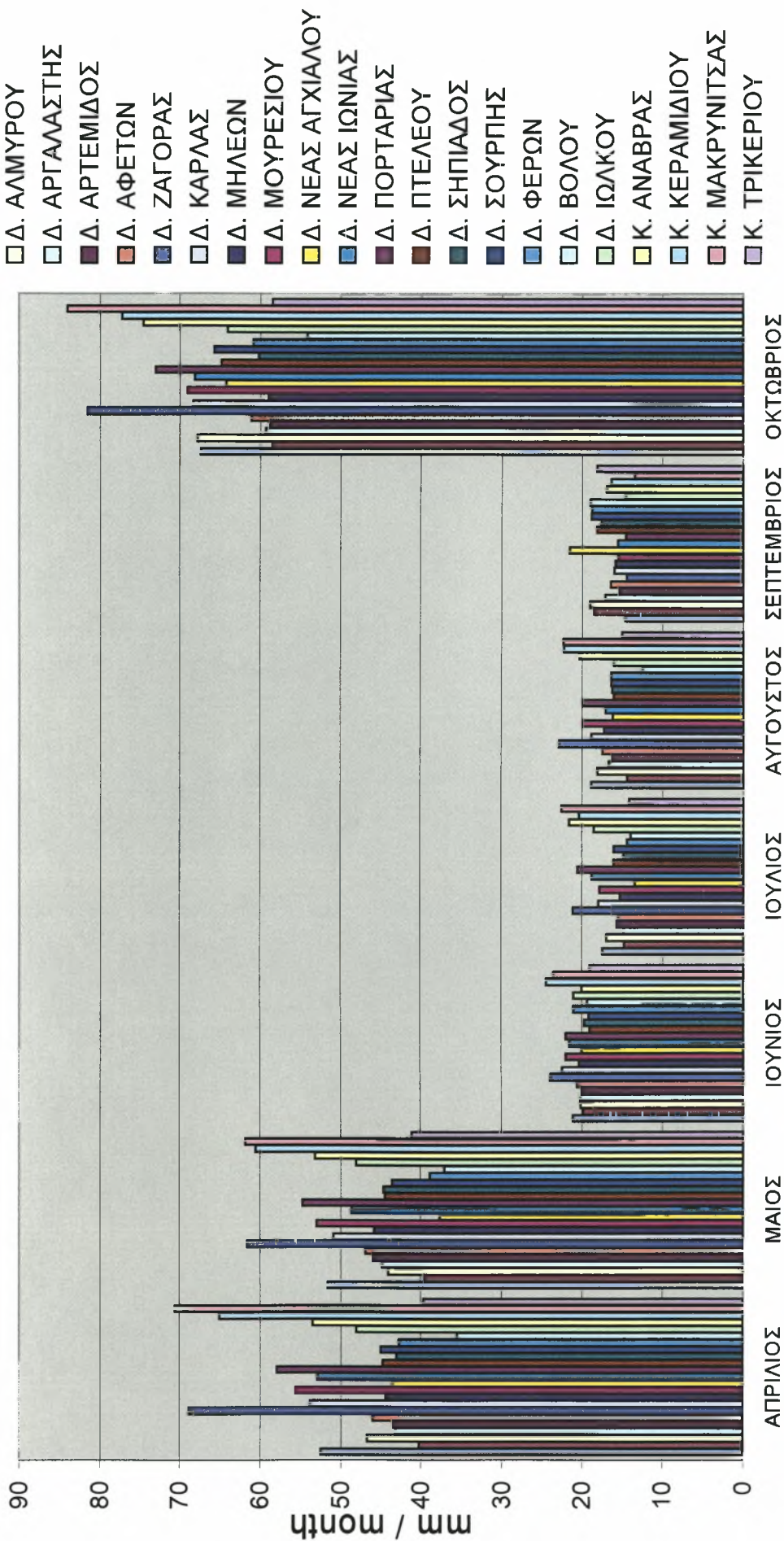
Για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης ανά Δήμο ακολουθήθηκε η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής ανά Δήμο, δηλαδή με διαίρεση του όγκου της βροχόπτωσης με το εμβαδόν του κάθε Δήμου που υπολογίστηκαν με τους νόμους του τραπεζίου, του Simpson και του Simpson 3/8. Οι τιμές της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης για κάθε Δήμο για τους Νομούς Λάρισας και Μαγνησίας, δίνονται στα **Γραφήματα 7.11 και 7.12**.



Γράφημα 7.11 Οι τιμές της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης για κάθε Δήμο του Νομού Λάρισας (mm/month)



Γράφημα 7.12 Οι τιμές της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης για κάθε Δήμο του Νομού *Μαγνησίας* (mm/month)

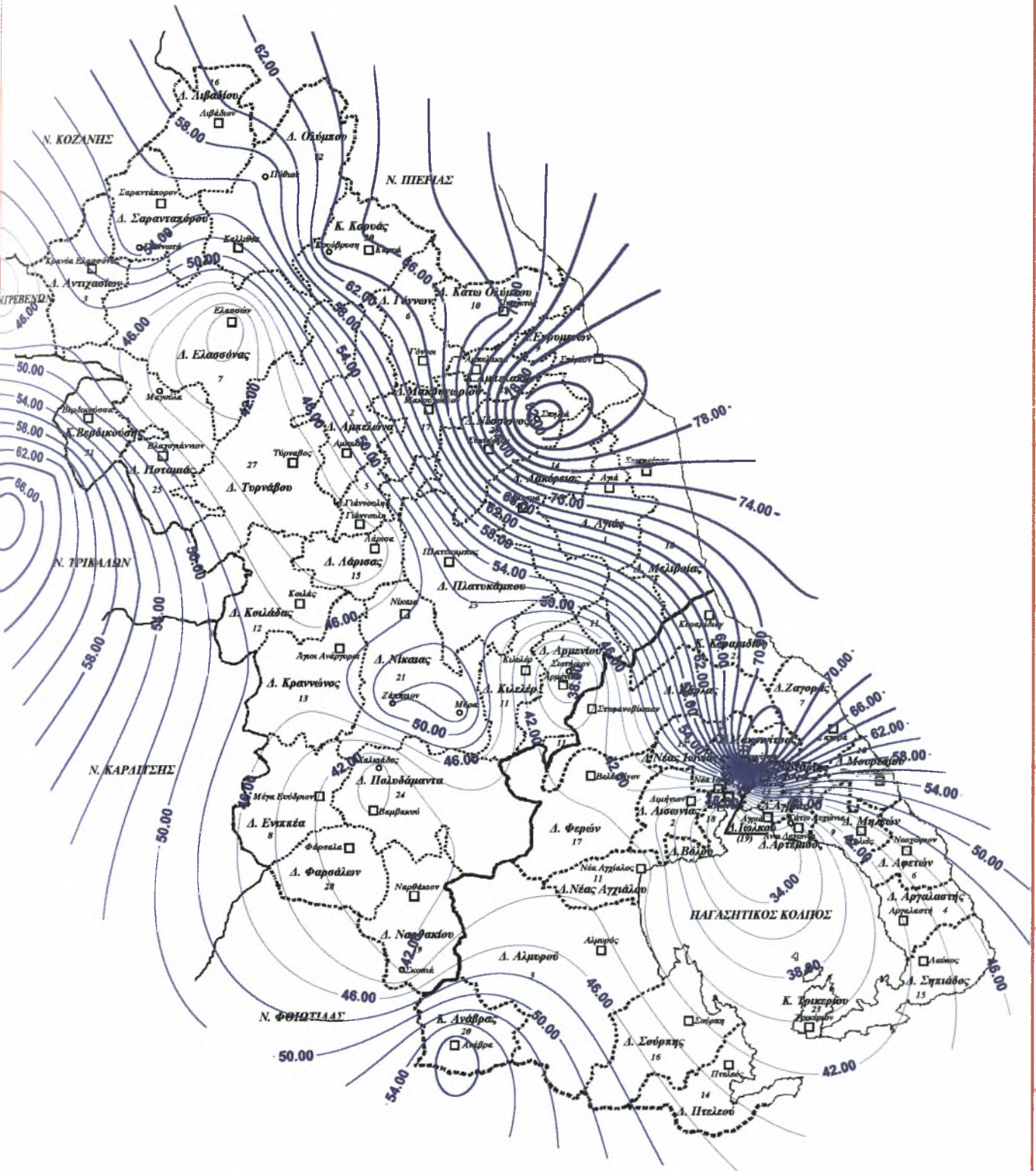




## ΧΑΡΤΗΣ 8

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm/month)

ΜΗΝΑΣ : ΑΠΡΙΛΙΟΣ



ΚΛΙΜΑΚΑ 1 : 730.000

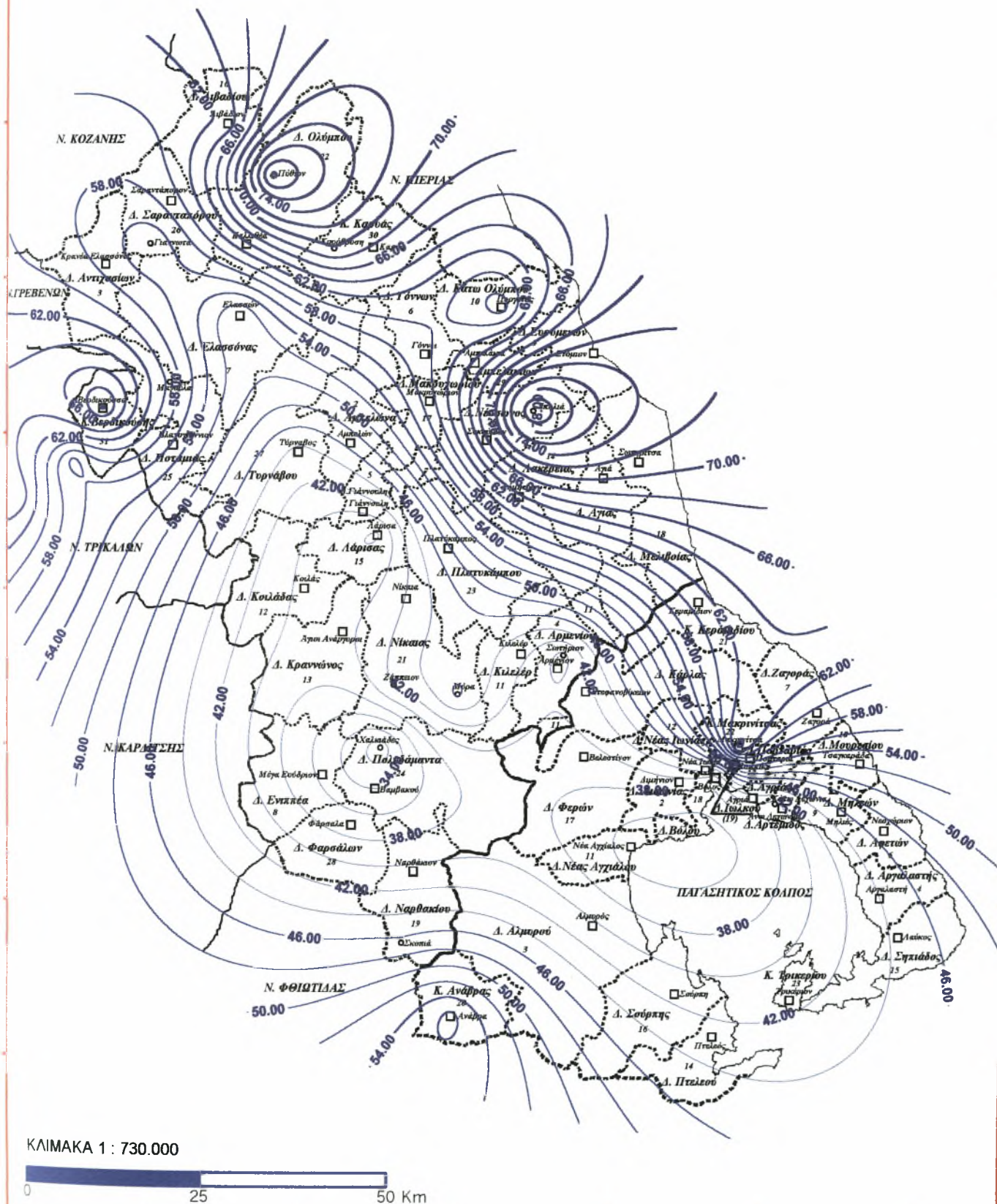
0 25 50Km



# ΧΑΡΤΗΣ 9

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm/month)

ΜΗΝΑΣ : ΜΑΙΟΣ

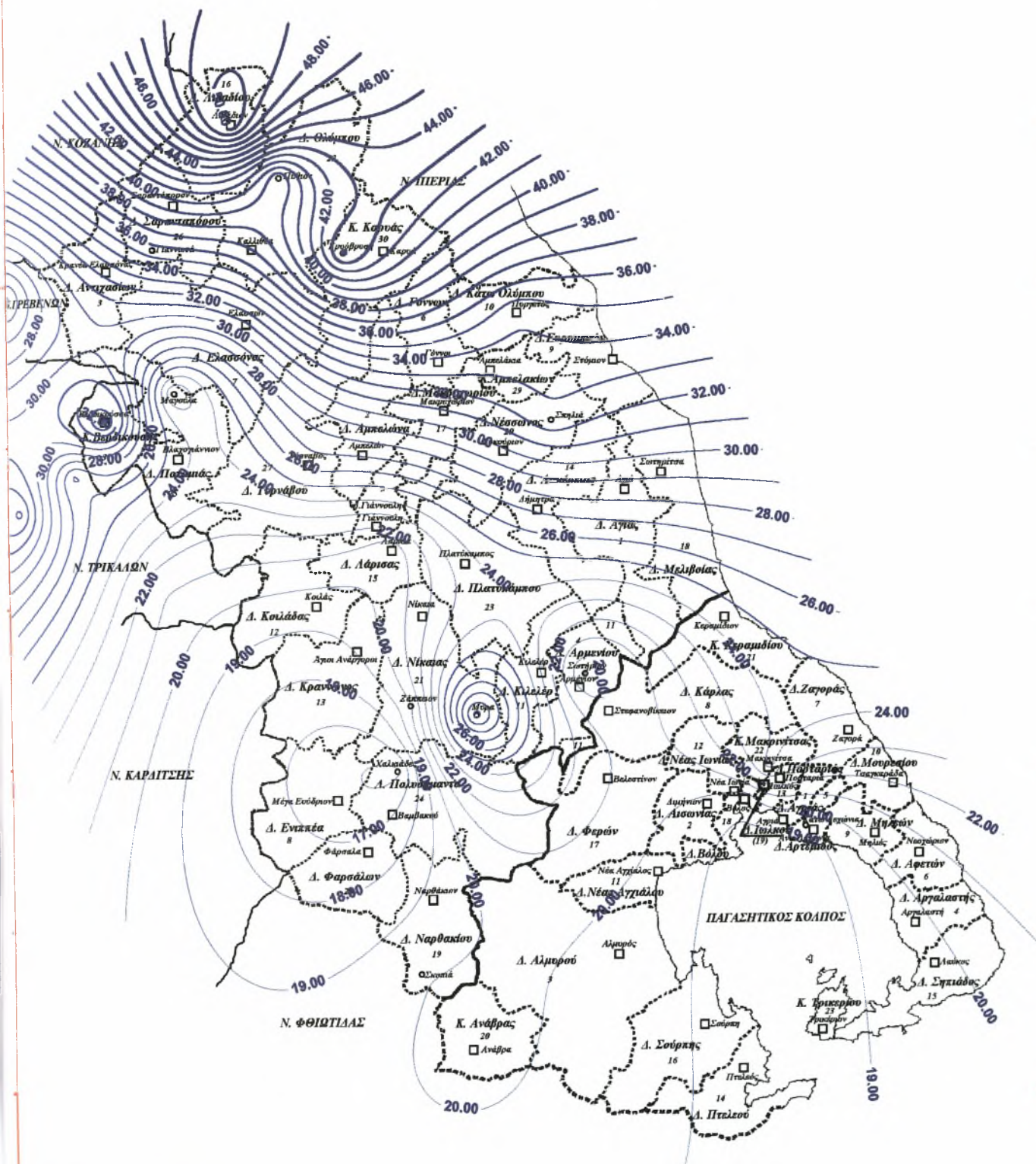




# ΧΑΡΤΗΣ 10

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm/month)

ΜΗΝΑΣ : ΙΟΥΝΙΟΣ



ΚΛΙΜΑΚΑ 1 : 730.000

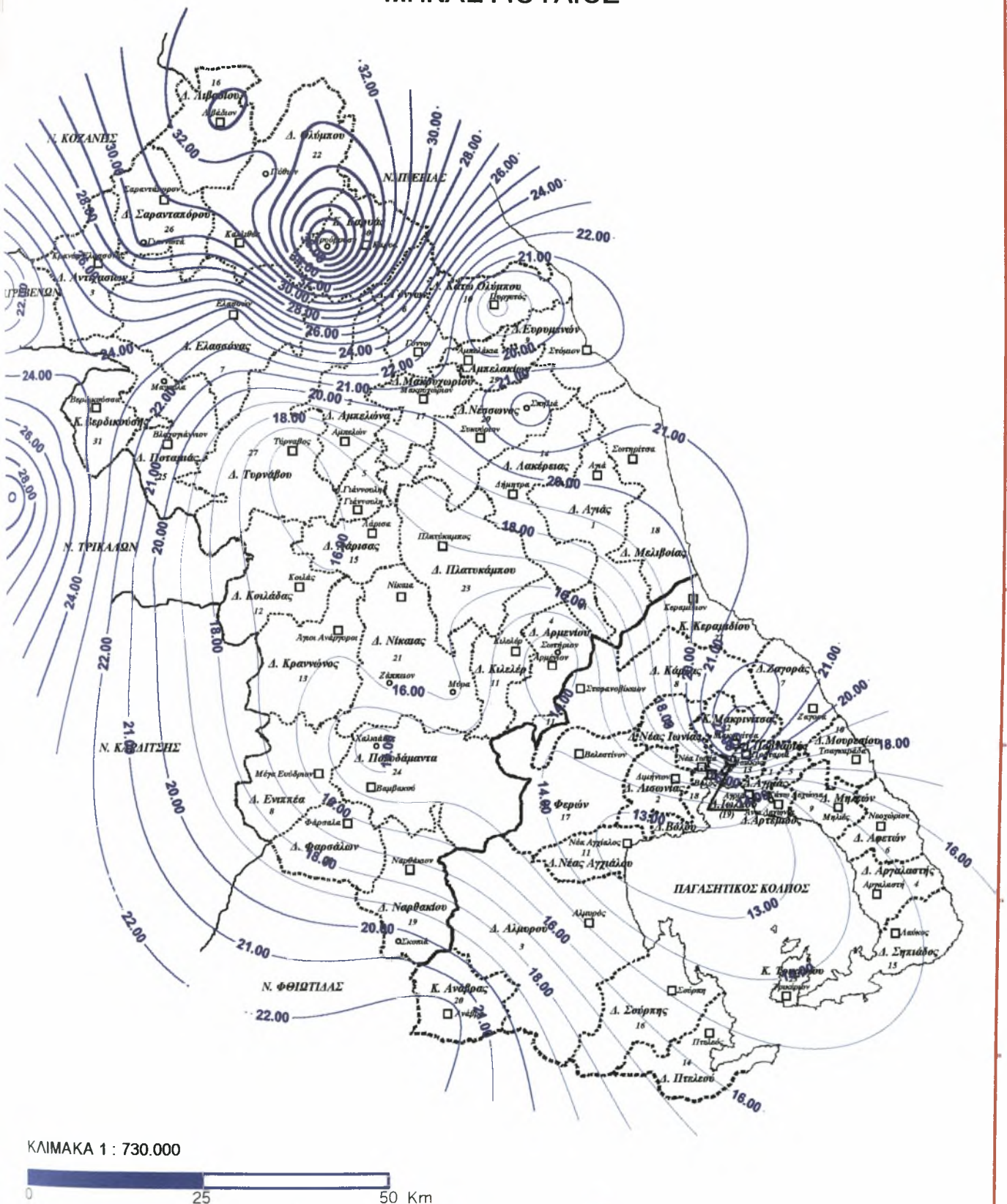
0 25 50 Km



# ΧΑΡΤΗΣ 11

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm/month)

ΜΗΝΑΣ : ΙΟΥΛΙΟΣ





## ΧΑΡΤΗΣ 12

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm/month)

ΜΗΝΑΣ : ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

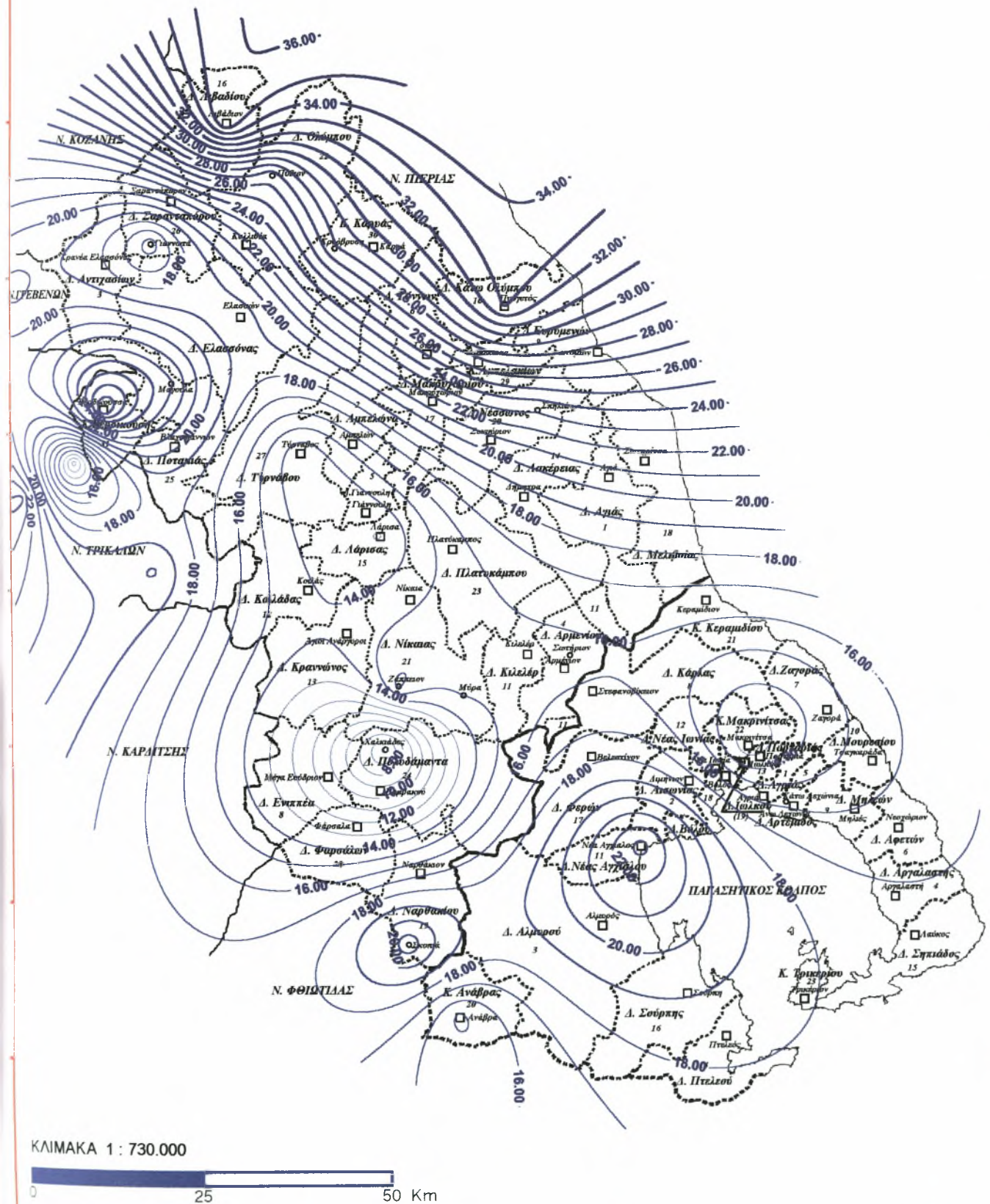




## ΧΑΡΤΗΣ 13

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm/month)

ΜΗΝΑΣ : ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

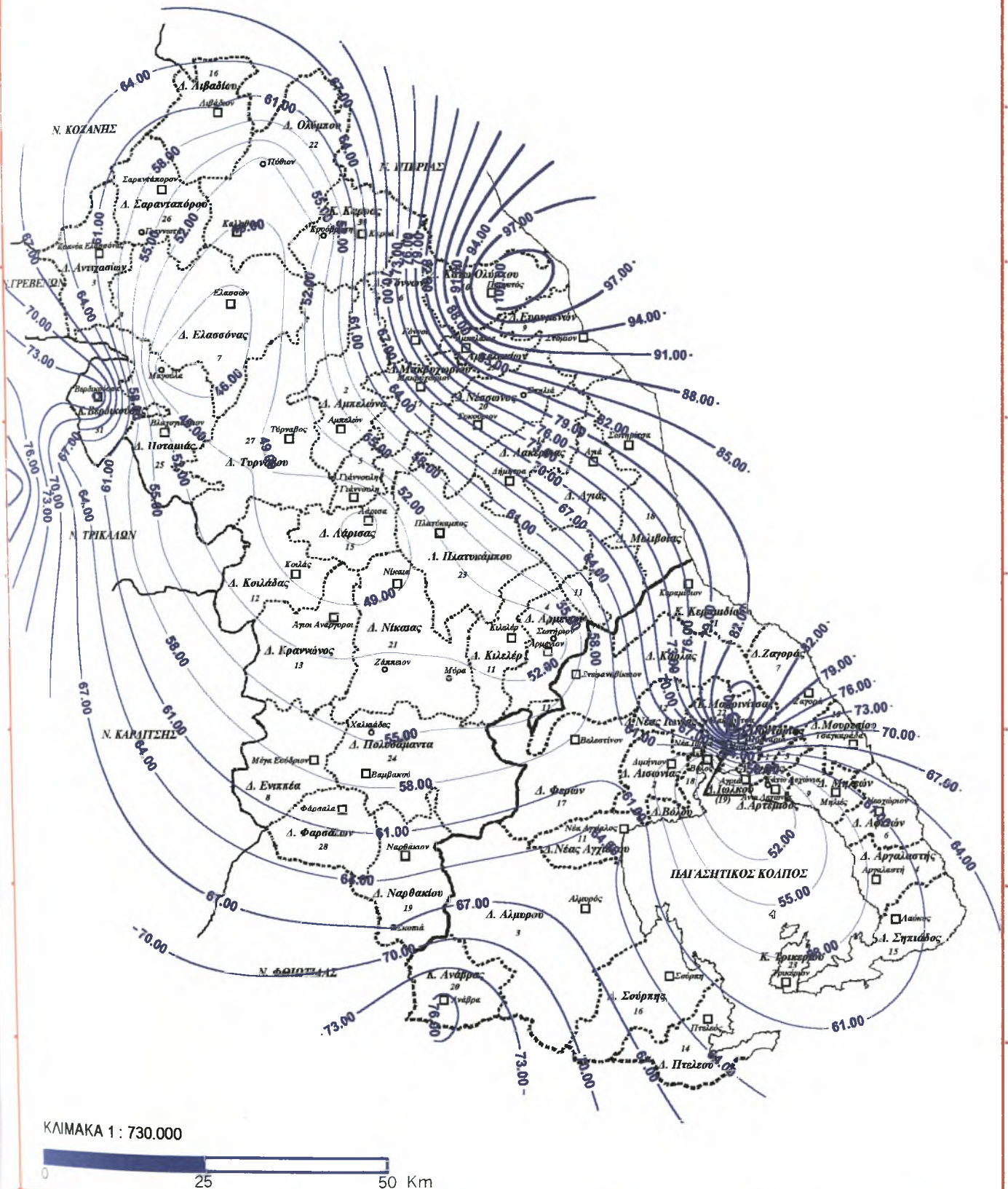




## ΧΑΡΤΗΣ 14

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΙΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm/month)

ΜΗΝΑΣ : ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



## 7.4 ΚΑΘΑΡΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΣΕ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ Ή ΥΔΑΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

Ως καθαρές ανάγκες σε νερό αρδεύσεως μιας καλλιέργειας μπορεί να οριστεί η ποσότητα νερού, η οποία είναι απαραίτητη για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας αυτής. Οι καθαρές ανάγκες σε νερό αρδεύσεως των καλλιεργειών υπολογίστηκαν από την **εξίσωση (6.1)** που είναι

$$I_n = ET_c - (P_e + G_w + SM)$$

όπου  $ET_c$  είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή,  $P_e$  είναι το μέρος εκείνο της βροχής που μπορεί να αξιοποιηθεί από τις καλλιέργειες και λέγεται ωφέλιμη βροχή,  $G_w$  είναι η συμβολή του υπόγειου νερού και  $SM$  είναι το νερό που είναι αποθηκευμένο στη ζώνη του ριζοστρώματος στην αρχή της βλαστικής περιόδου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις καλλιέργειες.

Στην παρούσα εργασία ο όρος  $G_w$  θεωρήθηκε ίσος με μηδέν, διότι η υπόγεια στάθμη στο Θεσσαλικό κάμπο είναι πολύ χαμηλή λόγω της υπεράντλησης. Επίσης έγινε η παραδοχή ότι η εδαφική υγρασία κατά τη σπορά και τη συγκομιδή ήταν στο ίδιο επίπεδο, οπότε ο όρος  $SM$  ελήφθη ίσος με μηδέν.

Επομένως για τον υπολογισμό των καθαρών αναγκών σε νερό αρδεύσεως, είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_c$  των καλλιεργειών και η ωφέλιμη βροχόπτωση  $P_e$ . Η διαφορά αυτών των δύο, δίνει τις καθαρές ανάγκες σε νερό αρδεύσεως των καλλιεργειών.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε από τη βασική με τη χρήση φυτικών συντελεστών σύμφωνα με την **εξίσωση (5.1)** που είναι

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

όπου

$ET_c$  η πραγματική εξατμισοδιαπνοή,

$ET_o$  η βασική εξατμισοδιαπνοή και

$K_c$  ο φυτικός συντελεστής.

Η ωφέλιμη βροχόπτωση υπολογίστηκε με τη μέθοδο της USDA (Soil Conservation Service) ως εξής

$$P_e = P_{tot} (125 - 0.2 P_{tot}) / 125 \quad \text{για } P_{tot} < 250 \text{ mm}$$

$$P_e = 125 + 0.1 P_{tot} \quad \text{για } P_{tot} > 250 \text{ mm}$$

όπου  $P_{tot}$  το συνολικό ύψος βροχόπτωσης.

### 7.4.1 ΦΥΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

Ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών έγινε με τη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO. Χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι φυτικοί συντελεστές,  $K_c$ , για καλά προσεγμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε ημίυγρο κλίματα ( $RH_{\min} \approx 45\%$ ,  $u_2 \approx 2$  m/sec) που δίνονται από τους Allen et al. (1996). Οι φυτικοί αυτοί συντελεστές φαίνονται στα **Σχήματα 7.1 έως 7.10**.

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν και οι φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης,  $K_c$ , για χρήση με τη συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO που προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

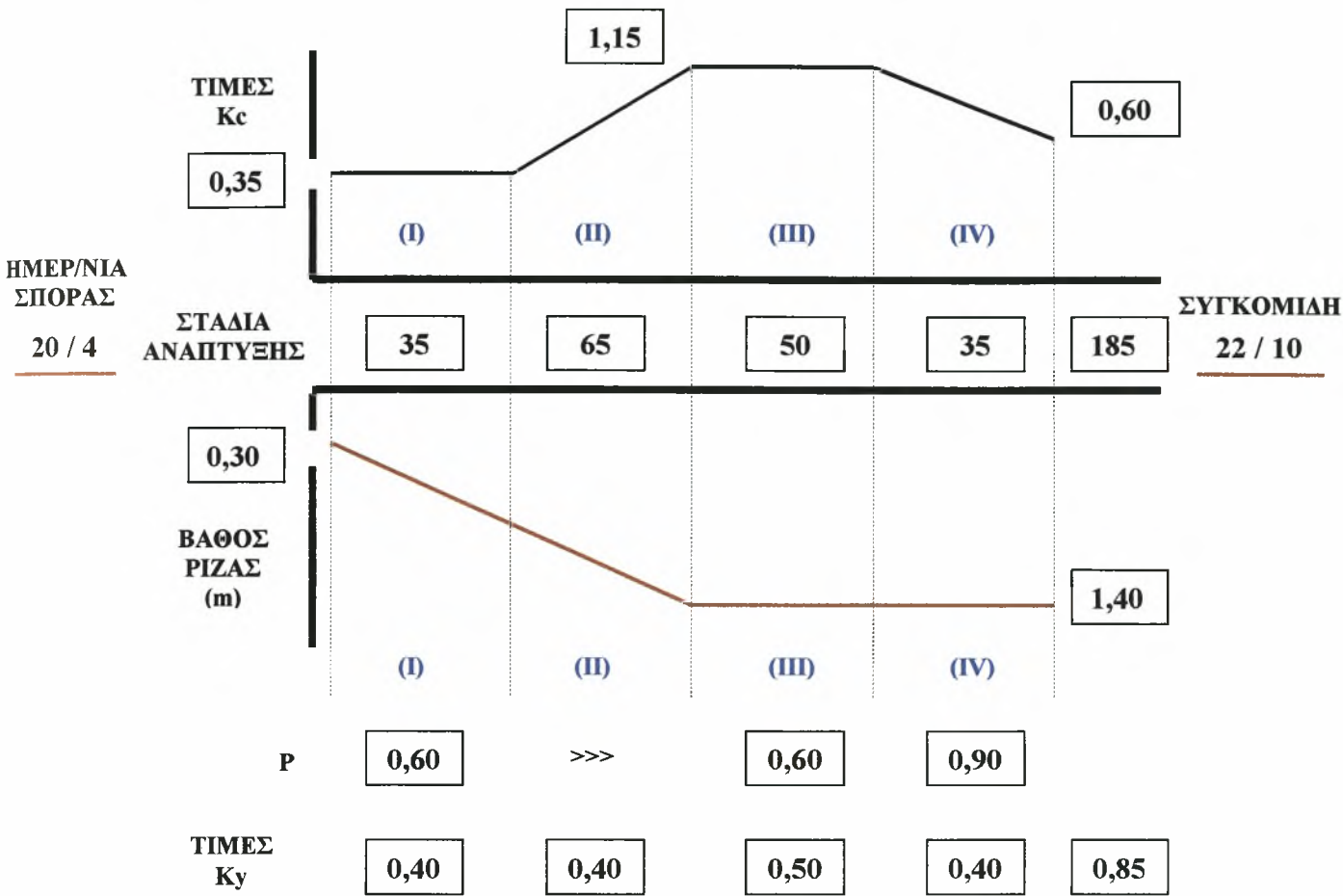
για τις καλλιέργειες βαμβακιού, καλαμποκιού, τεύτλων και αμπελιού που φαίνονται στα **Σχήματα 7.11** έως **7.14**.

Οι φυτικοί συντελεστές των δένδρων,  $K_c$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996), συμπίπτουν με τους αντίστοιχους φυτικούς συντελεστές που προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας (**Σχήμα 7.6**).

Η βλαστική περίοδος και τα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών που χρησιμοποιήθηκαν, ελήφθησαν από τον Παπαζαφειρίου (1984, 1997), από ημερολόγια αγροτών, από ειδικό αφιέρωμα του περιοδικού 'Γεωργία και Τεχνολογία' και από τον Πίνακα 22 του FAO Irrigation and Drainage Paper 24 (Doorenbos and Pruiitt, 1977).

Το βάθος της ρίζας, η επιτρεπτή μείωση της υγρασίας ( $P$ ) και οι τιμές  $K_y$  που δίνονται στα επόμενα σχήματα (7.1 έως 7.14), χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς για τον προγραμματισμό αρδεύσεων. Η *επιτρεπτή μείωση της υγρασίας ( $P$ )* αντιπροσωπεύει το κριτικό επίπεδο της υγρασίας του εδάφους στο οποίο συμβαίνει το πρώτο στρες ξηρασίας. Οι μικρότερες τιμές αφορούν ευαίσθητα φυτά με περιορισμένο ριζικό σύστημα κάτω από συνθήκες υψηλής εξάτμισης και οι μεγαλύτερες τιμές φυτά με βαθύ και πυκνό ριζικό σύστημα κάτω από συνθήκες χαμηλής εξάτμισης. Οι τιμές  $K_y$  είναι παράγοντες απόκρισης στην απόδοση και χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της μείωσης στην απόδοση των φυτών λόγω των στρες ξηρασίας.

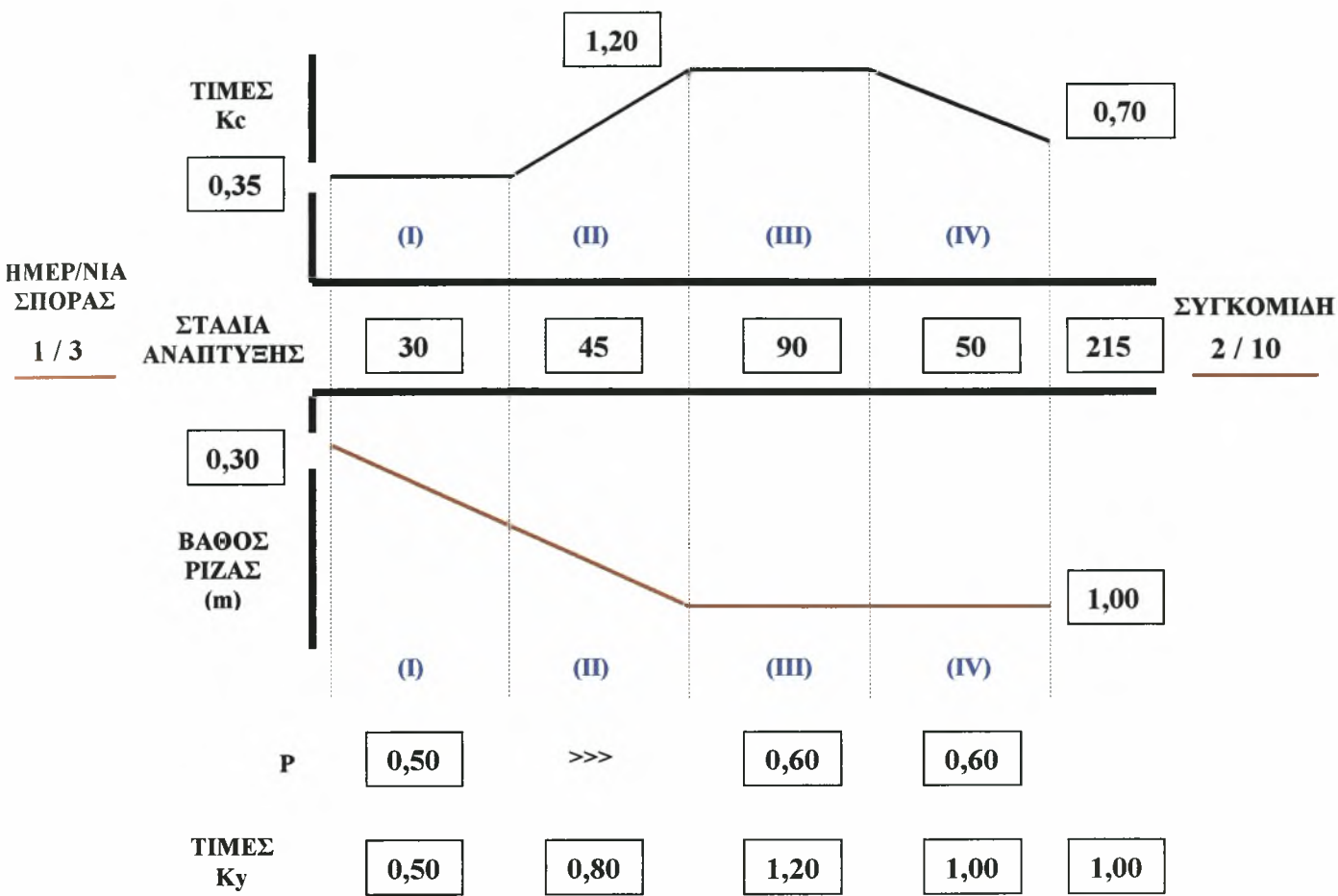
**ΦΥΤΟ : ΒΑΜΒΑΚΙ**



**Σχήμα 7.1** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης,  $K_c$ , για καλά προσεγμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε ημίυγρο κλίματα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996).

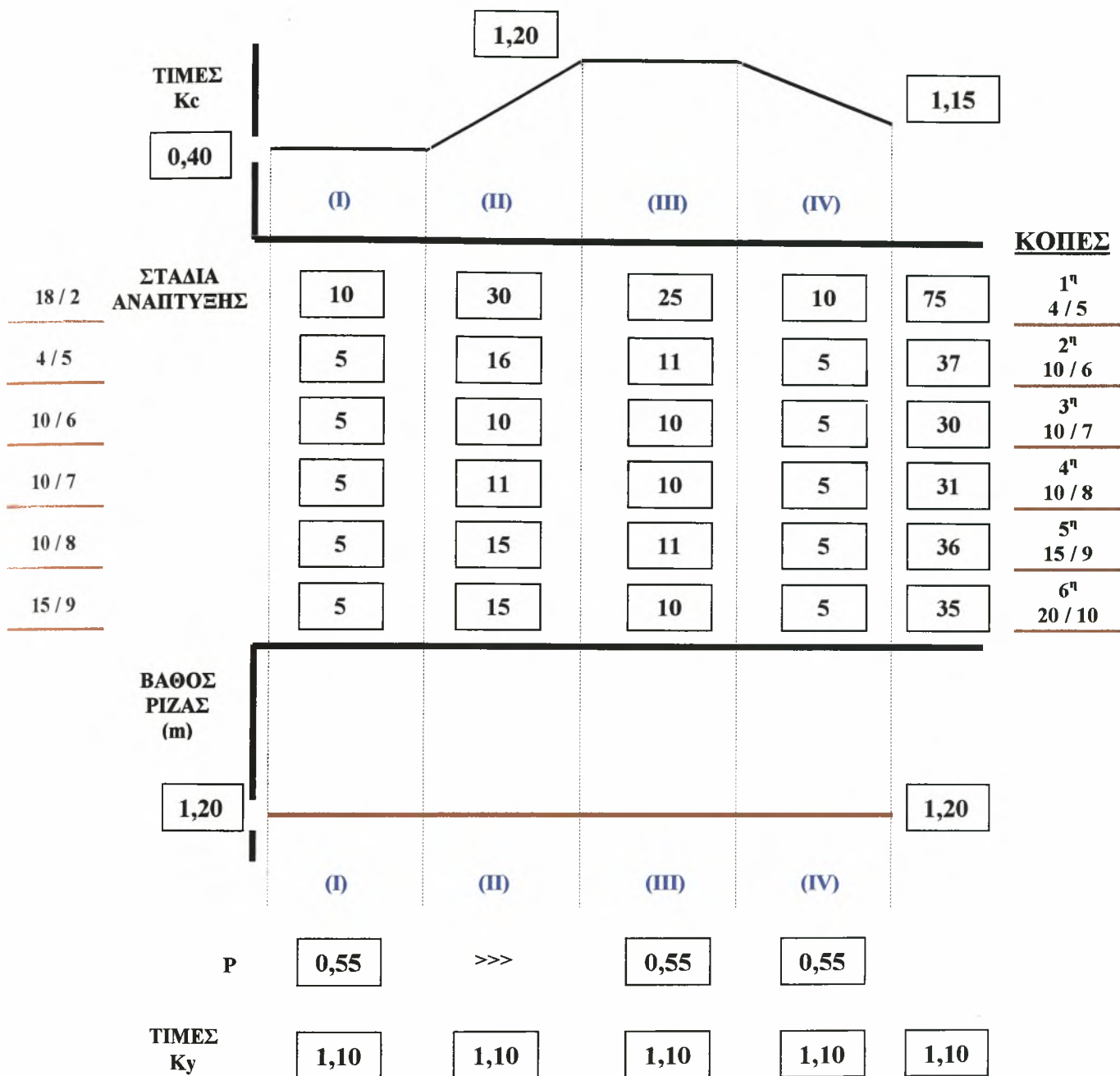


**ΦΥΤΟ : ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ**



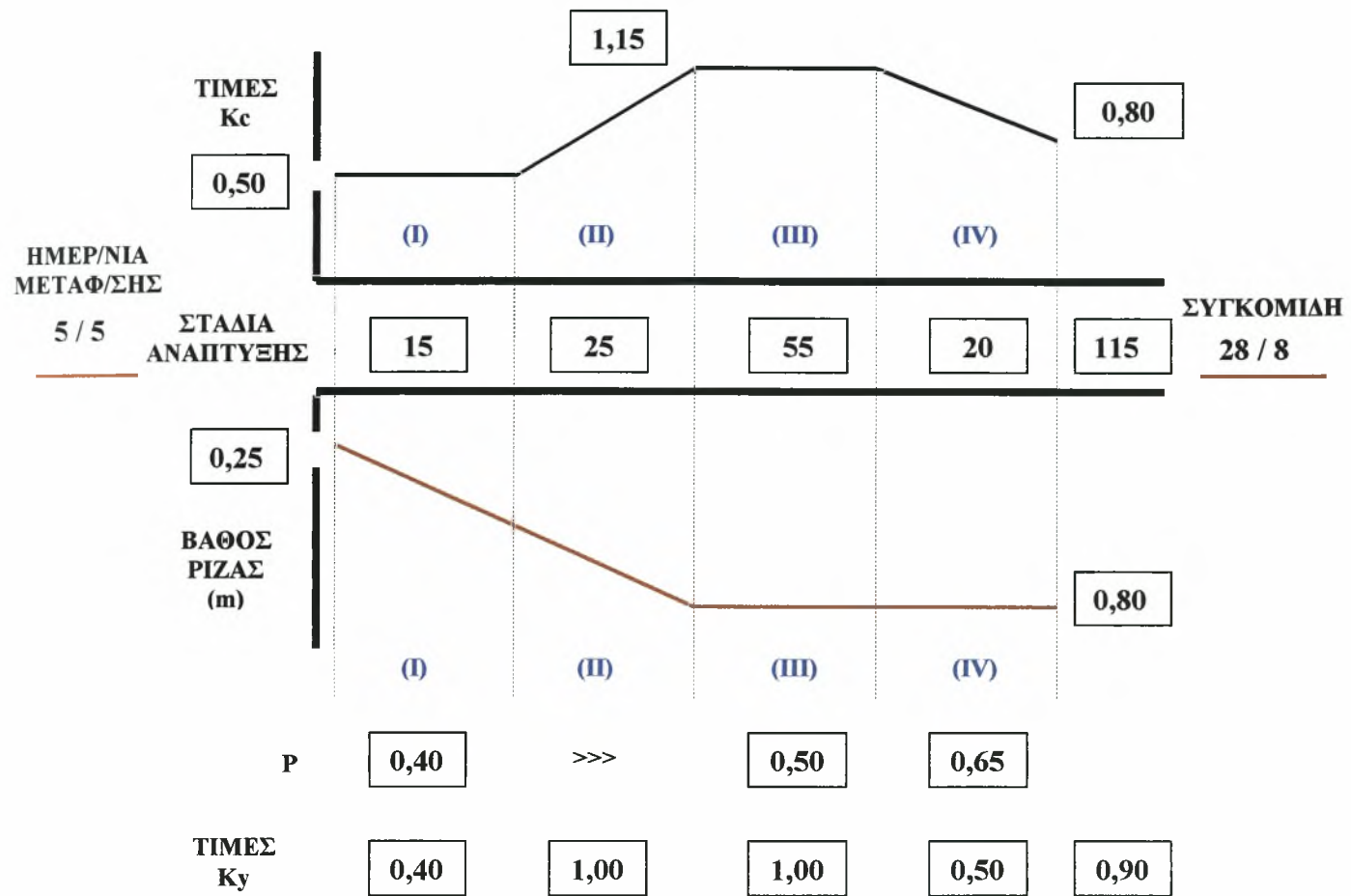
**Σχήμα 7.2** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης,  $K_c$ , για καλά προσεγμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε ημίυγρο κλίμα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996).

**ΦΥΤΟ : ΜΗΔΙΚΗ**



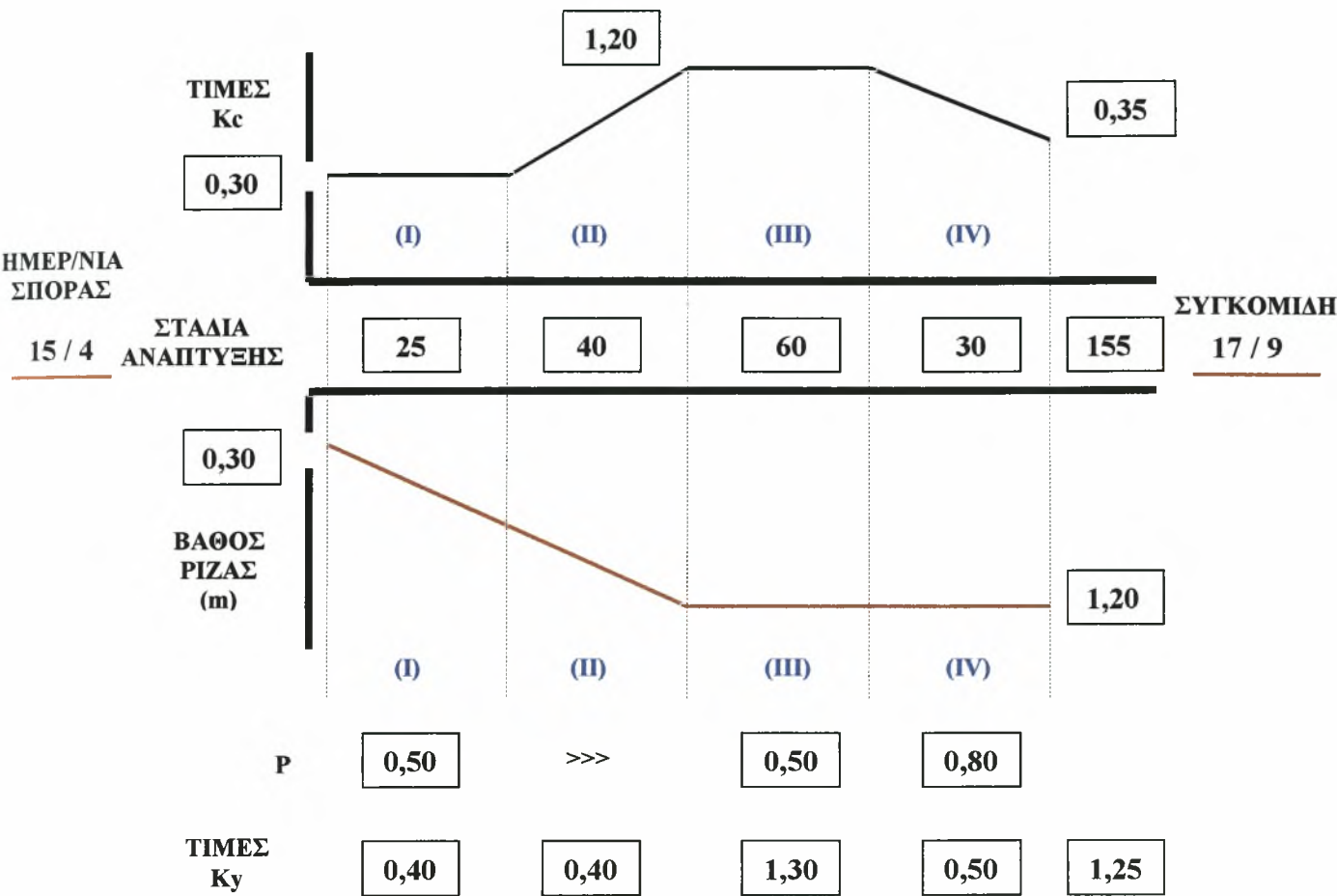
**Σχήμα 7.3** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης, Kc, για καλά προσεγμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε ημίξηρα κλίματα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996).

**ΦΥΤΟ : ΚΑΠΝΟΣ**



**Σχήμα 7.4** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης, K<sub>c</sub>, για καλά προσεγμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε ημίυγρο κλίμα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996).

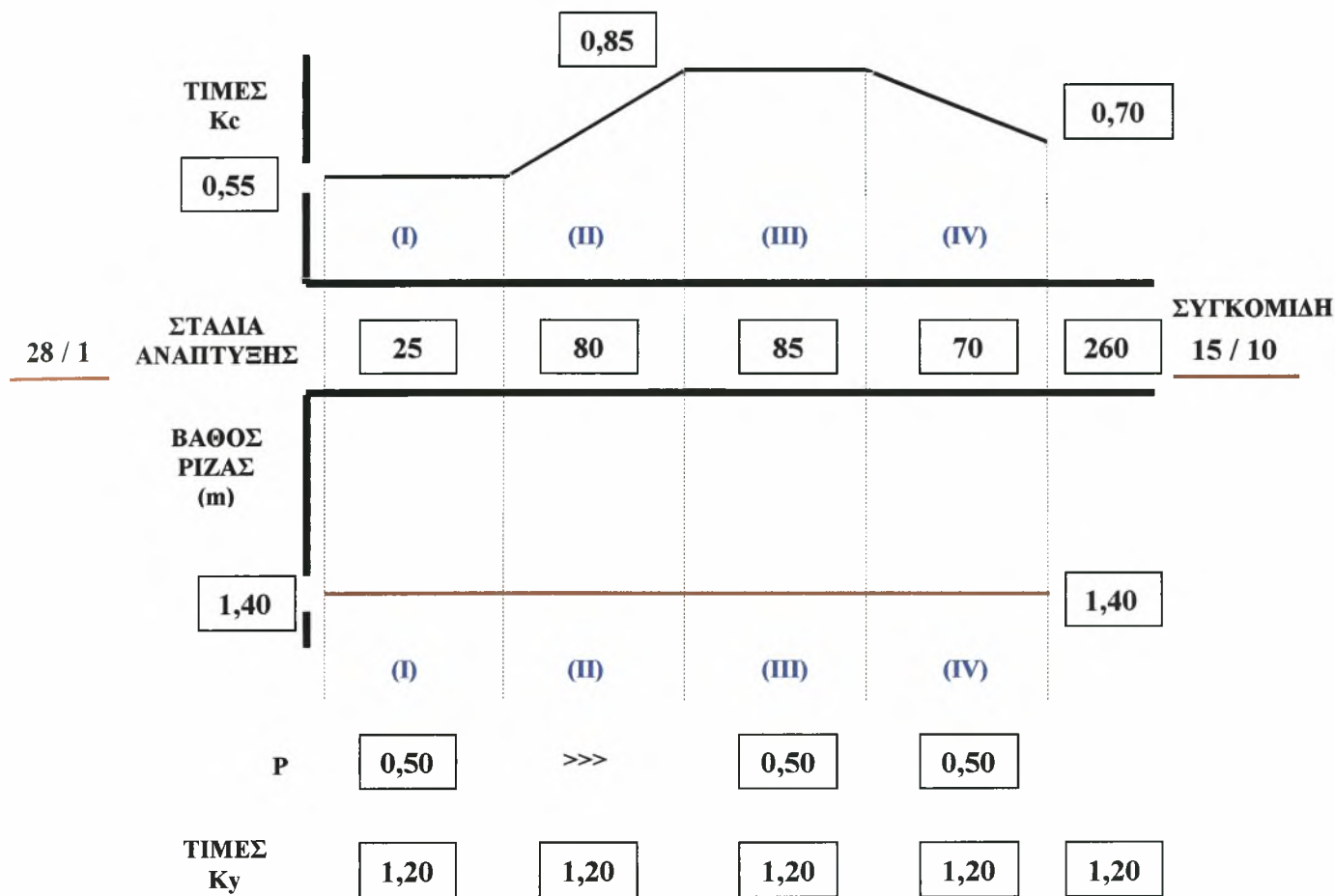
**ΦΥΤΟ : ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ**



**Σχήμα 7.5** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης,  $K_c$ , για καλά προσεγμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε ημίυγρο κλίμα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996).

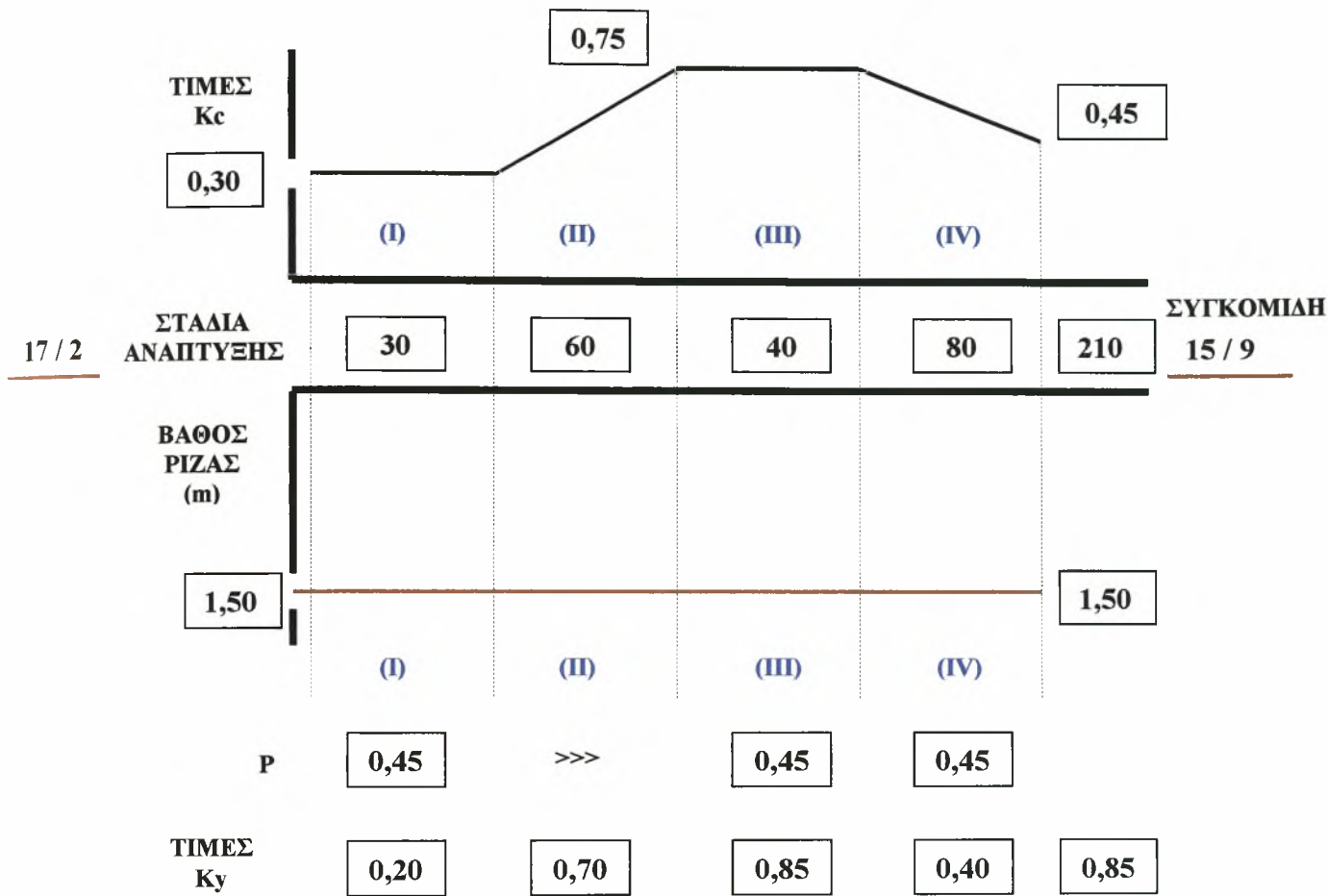


**ΦΥΤΟ : ΔΕΝΔΡΑ**



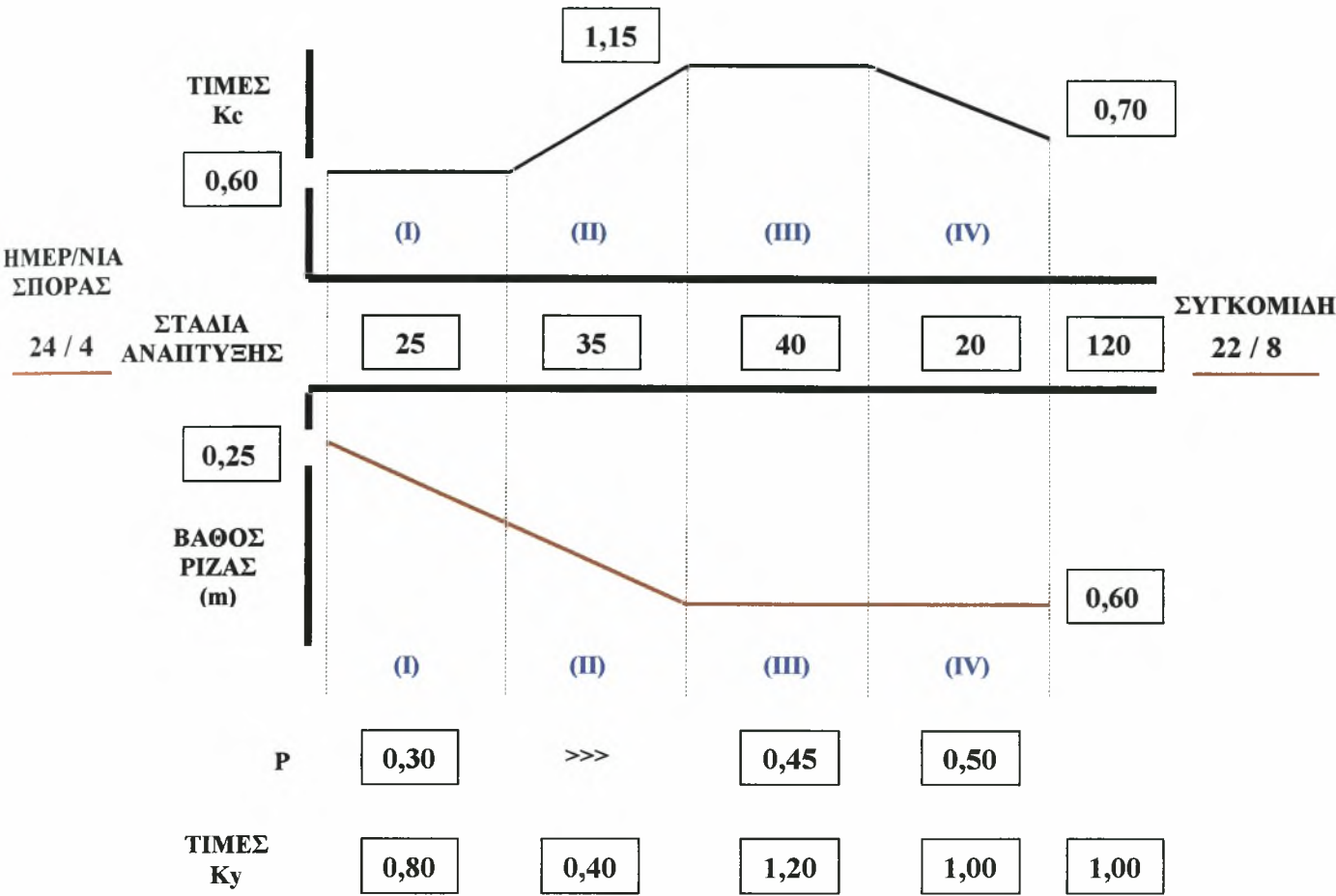
**Σχήμα 7.6** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης,  $K_c$ , για καλά προσεγμένες καλλιέργειες σε ημίυγρο κλίματα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996), οι οποίοι συμπίπτουν με τους αντίστοιχους φυτικούς συντελεστές που προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

**ΦΥΤΟ : ΑΜΠΕΛΙ**



**Σχήμα 7.7** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης, K<sub>c</sub>, για καλά προσεγμένες καλλιέργειες σε ημίωρα κλίματα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996).

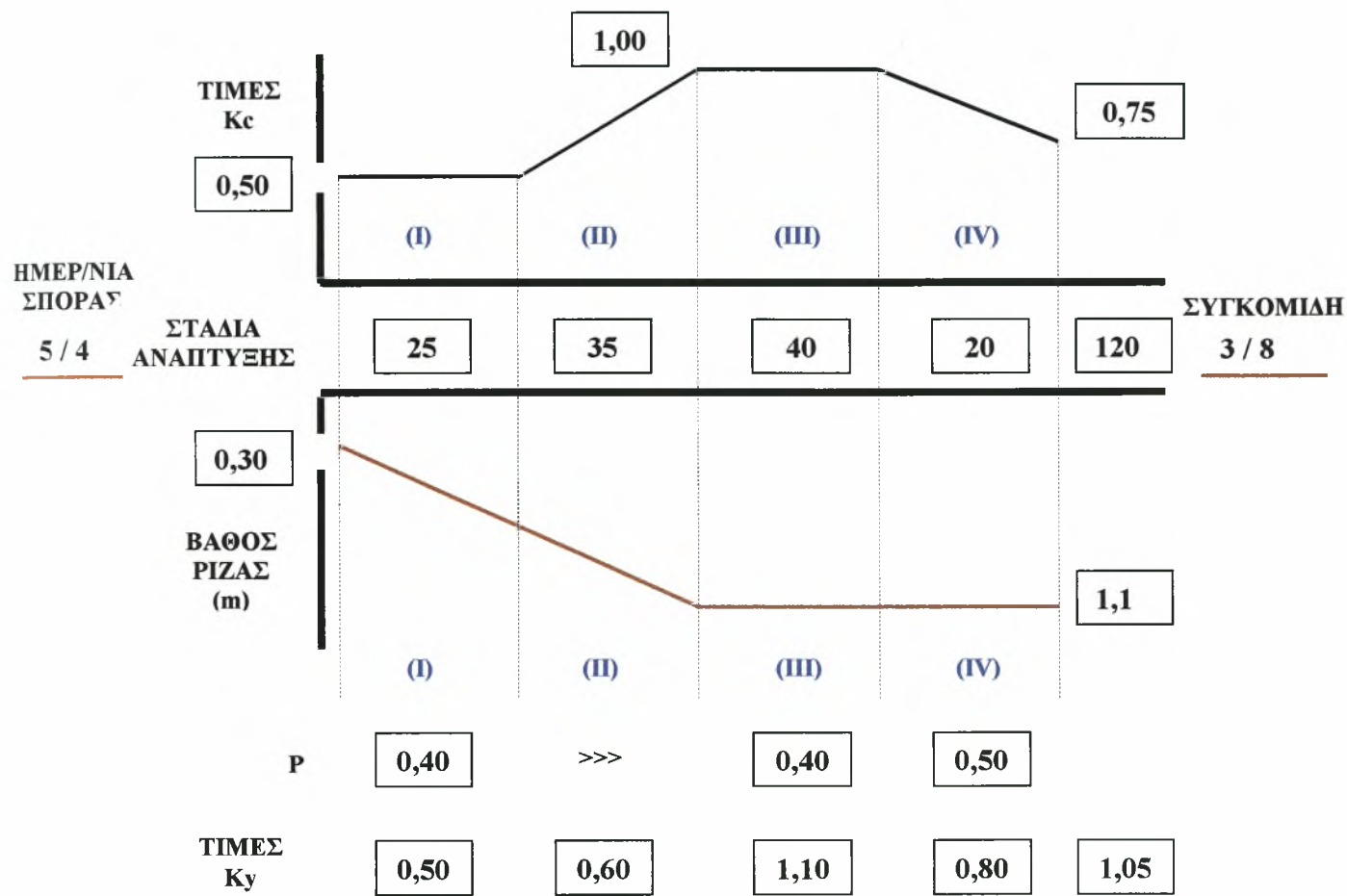
**ΦΥΤΟ : ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ**



**Σχήμα 7.8** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης,  $K_c$ , για καλά προσεγμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε ημίυγρο κλίμα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996).

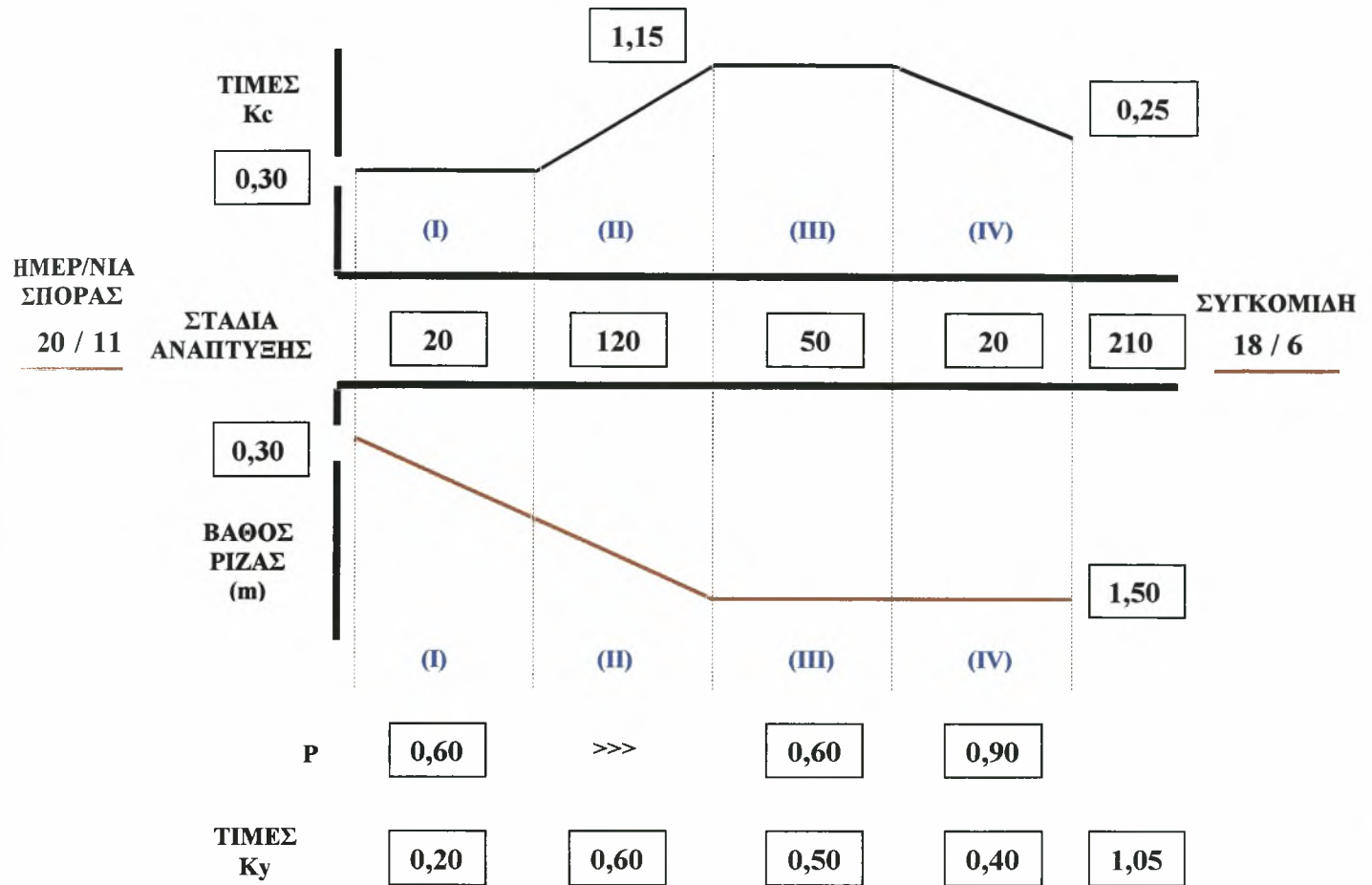


**ΦΥΤΟ : ΜΠΟΣΤΑΝΙΚΑ**



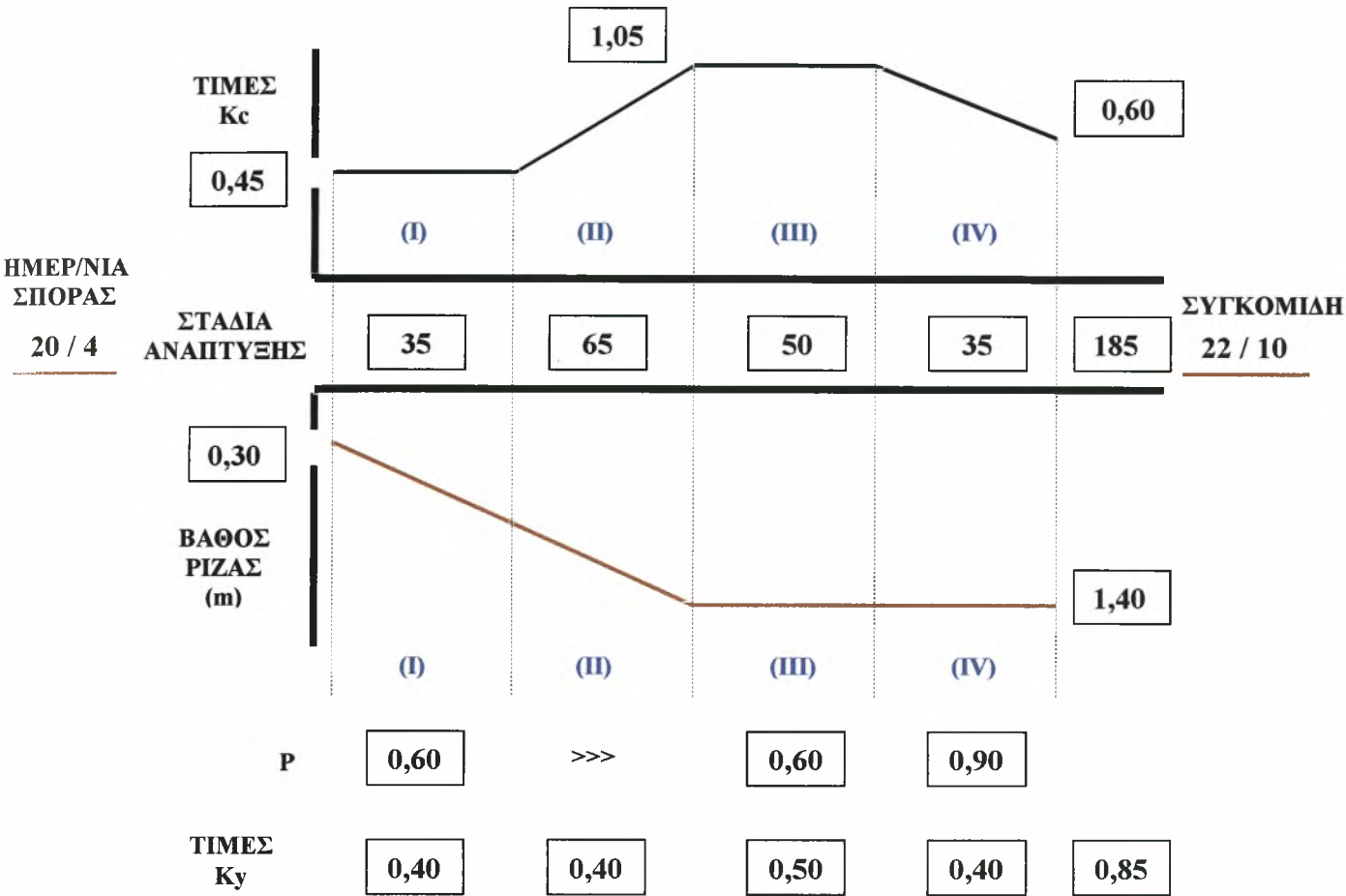
**Σχήμα 7.9** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης,  $K_c$ , για καλά προσεγμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε ημίυγρο κλίμα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996).

**ΦΥΤΟ : ΣΙΤΗΡΑ**



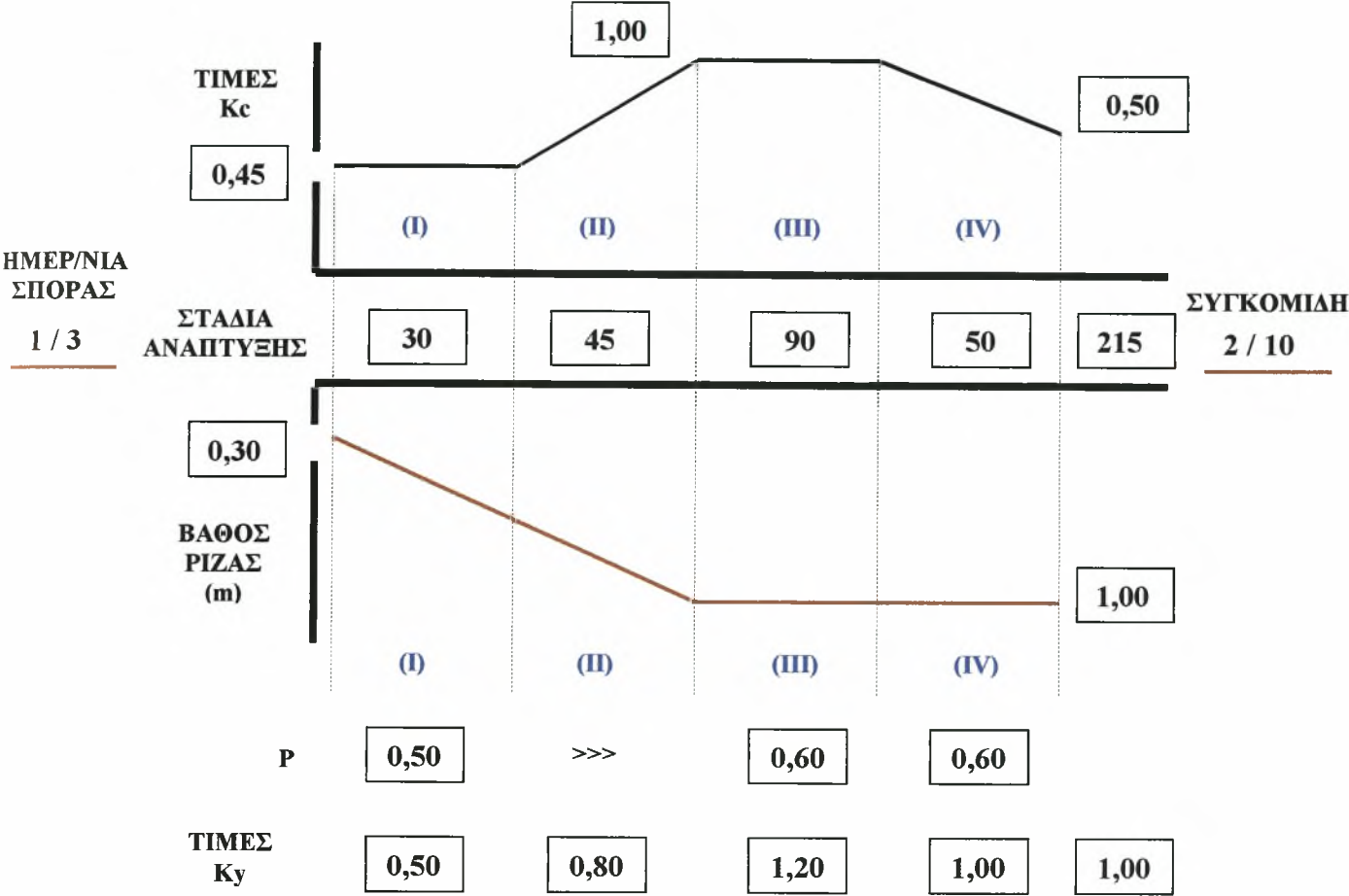
**Σχήμα 7.10** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης, Kc, για καλά προσεγμένες καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε ημίξηρα κλίματα, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996).

**ΦΥΤΟ : ΒΑΜΒΑΚΙ**



**Σχήμα 7.11** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης, K<sub>c</sub>, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

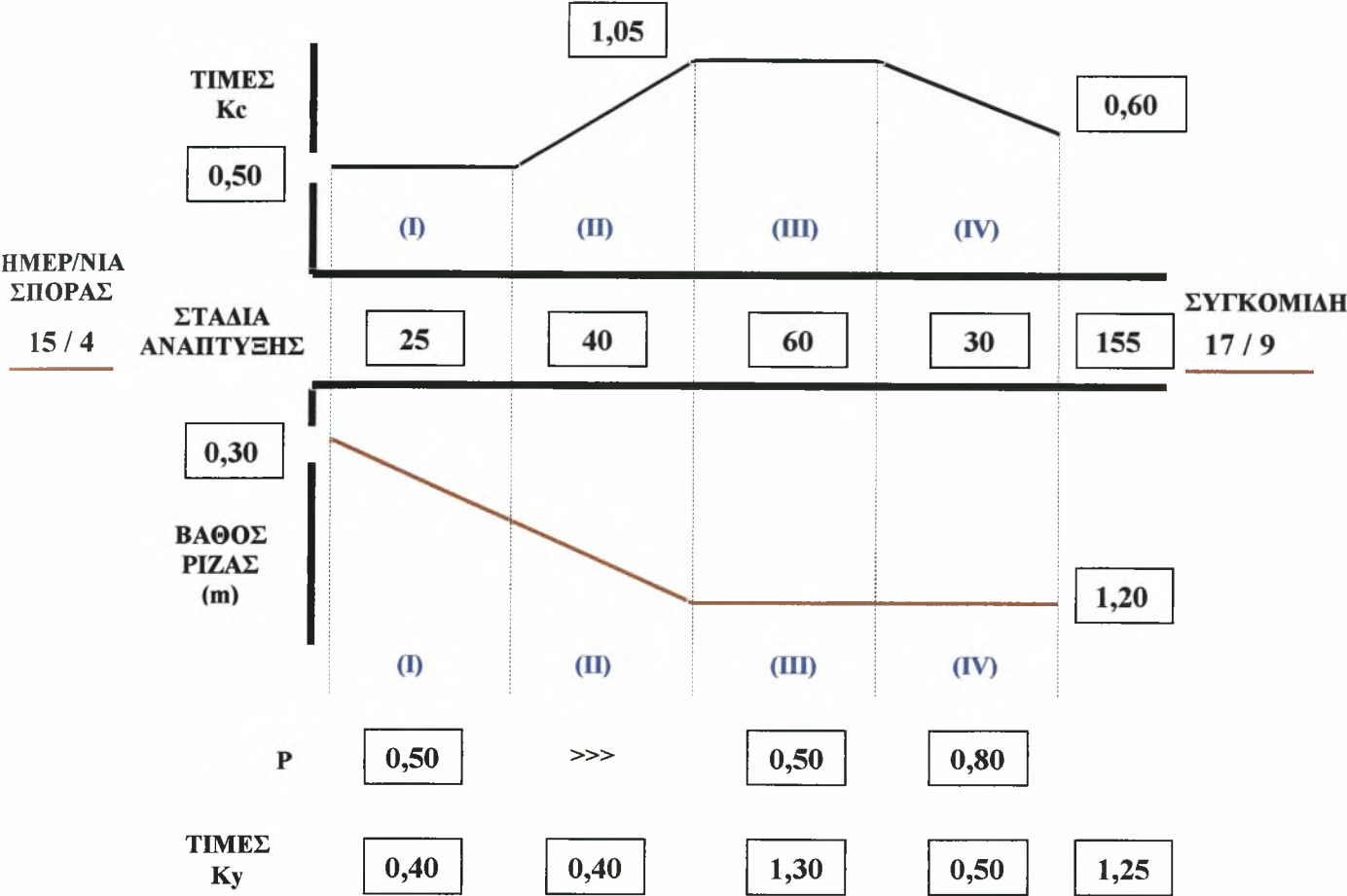
**ΦΥΤΟ : ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ**



**Σχήμα 7.12** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης,  $K_c$ , για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

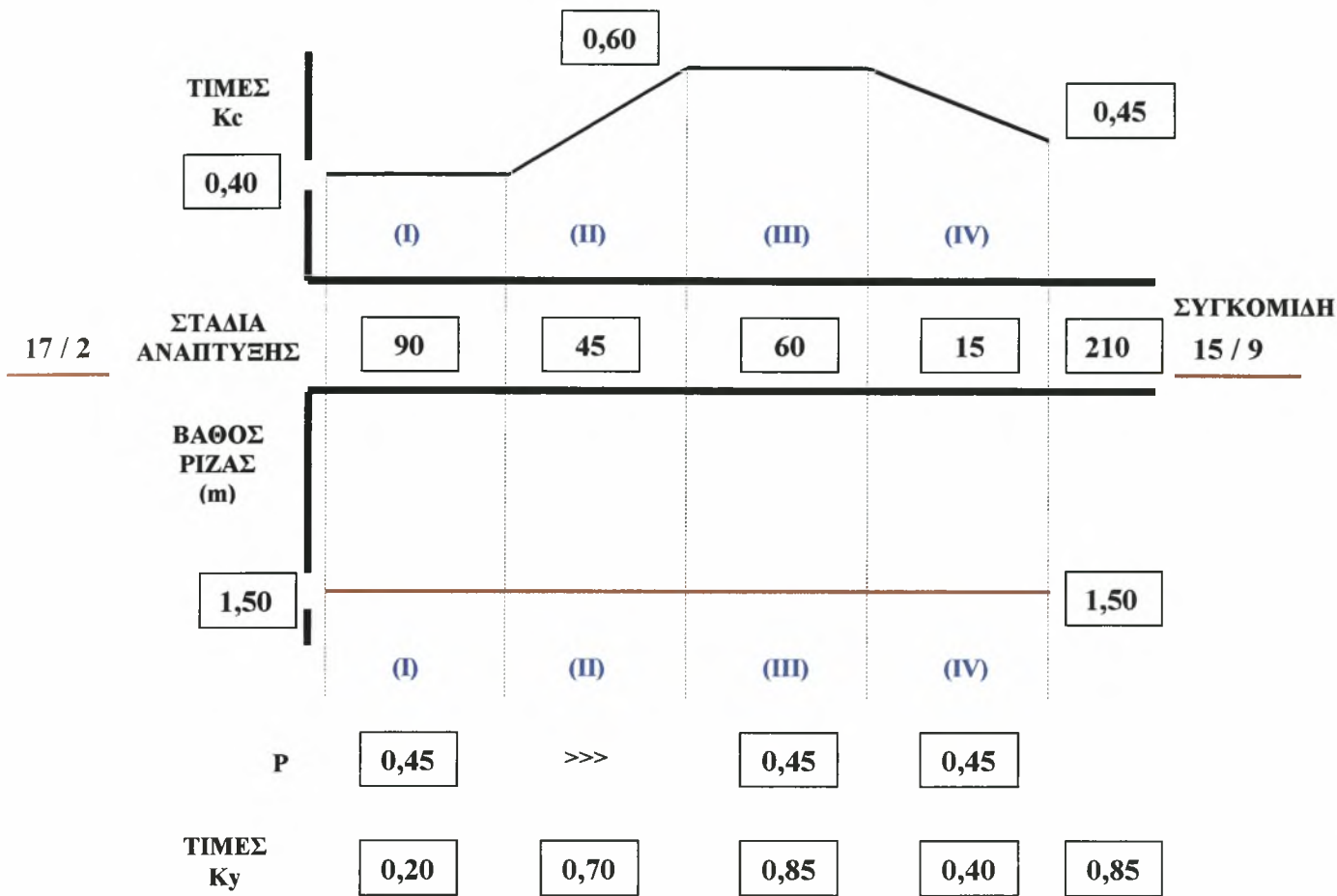


**ΦΥΤΟ : ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ**



**Σχήμα 7.13** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης,  $K_c$ , για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

**ΦΥΤΟ : ΑΜΠΕΛΙ**



**Σχήμα 7.14** Φυτικοί συντελεστές κατά στάδιο ανάπτυξης, K<sub>c</sub>, για χρήση με την συνδυασμένη μέθοδο Penman-Monteith κατά FAO, όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

#### **7.4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ET<sub>c</sub> ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΑΡΔΕΥΣΕΩΣ I<sub>n</sub> ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟ**

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ET<sub>c</sub> (mm/περίοδο) και οι καθαρές ανάγκες σε νερό I<sub>n</sub> για κάθε καλλιέργεια και κάθε Δήμο των Λάρισας και Μαγνησίας, φαίνονται στους **Πίνακες 7.4 έως 7.31**.

Η αποδοτικότητα διανομής και εφαρμογής του αρδευτικού νερού στον αγρό θεωρήθηκε για τη μηδική 80% και για τις άλλες καλλιέργειες 90%. Έτσι υπολογίστηκε η εφαρμογή του νερού στον αγρό FWS (Field Water Supply) σε l/sec/ha.

Οι μέσοι όροι της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ET<sub>c</sub> (mm/περίοδο) και των καθαρών αναγκών σε νερό I<sub>n</sub> για κάθε καλλιέργεια για τους Νομούς Λάρισας και Μαγνησίας παρουσιάζονται στον **Πίνακα 7.32**.

Πίνακας 7.4 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_c$  και καθαρές ανήγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του βαμβάκιού στους Διήμους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_c$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$ET_o$ (mm/period)	$ET_c$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	761,58	622,10	222,78	204,98	441,05	0,31
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	807,67	665,43	213,42	199,44	477,04	0,33
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ						
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	747,26	608,43	153,90	145,03	469,15	0,33
5	Δ. ΠΑΝΝΟΥΛΗΣ	853,85	703,10	162,49	153,21	555,69	0,39
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ	766,90	631,67	258,29	237,84	420,46	0,29
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ						
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ	836,99	689,06	149,04	140,59	553,63	0,38
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	759,61	623,55	273,18	246,94	417,24	0,29
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	756,51	622,24	271,41	246,30	412,63	0,29
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	775,93	634,22	163,21	153,45	488,93	0,34
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	859,04	707,52	153,21	144,80	567,95	0,39
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	855,27	703,64	149,05	140,92	567,86	0,39
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	778,05	636,55	229,20	210,72	451,36	0,31
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	867,54	714,47	156,75	148,04	571,66	0,40
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ						
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	803,34	661,05	229,05	212,18	469,12	0,33
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ						
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	759,00	623,90	179,00	168,03	462,87	0,32
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	791,93	650,35	247,88	226,76	454,21	0,32
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	827,67	678,95	157,38	148,40	536,92	0,37
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ						
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	810,38	663,75	181,41	170,38	501,88	0,35
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	813,37	668,51	137,97	129,96	543,18	0,38
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ						
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ						
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	819,49	675,75	191,91	180,57	501,97	0,35
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	793,12	652,52	156,62	147,45	512,81	0,36
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ						
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	781,77	646,49	245,48	226,63	440,28	0,31



**Πίνακας 7.5** Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_T$ , και καθαρές ανάρκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των βαμβάκων στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_c$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ET <sub>o</sub> (mm/period)	E <sub>t</sub> (mm/period)	P <sub>tot</sub> (mm/period)	P <sub>e</sub> (mm/period)	I <sub>n</sub> (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΡΙΑΣ						
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ	865,59	714,72	138,36	129,82	587,93	0,41
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	822,34	678,76	178,93	167,40	517,42	0,36
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ						
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ						
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ						
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ						
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	784,15	641,99	189,37	176,17	477,02	0,33
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ						
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ						
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	882,86	730,89	159,37	149,66	585,73	0,41
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	819,83	673,72	184,10	171,42	510,73	0,36
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ						
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ						
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ						
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	842,29	696,89	172,80	161,86	539,91	0,38
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	837,01	689,27	156,60	147,30	546,60	0,38
18	Δ. ΒΟΛΟΥ						
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ						
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ						
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ	772,31	631,76	216,55	198,83	454,11	0,32
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ						
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ						

Πίνακας 7.6 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_c$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων στους λόφους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$ET_o$ (mm/period)	$ET_c$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	770,45	830,68	223,68	205,76	633,39	0,38
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	811,74	880,51	212,69	198,82	686,09	0,41
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ						
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	758,15	816,02	144,61	136,93	679,18	0,41
5	Δ. ΠΑΝΝΟΥΛΗΣ	859,24	933,33	158,73	149,89	785,05	0,47
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ						
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	759,78	823,32	218,62	204,56	621,97	0,37
8	Δ. ΕΝΙΓΠΕΑ	842,62	914,29	140,14	132,98	782,12	0,47
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	765,29	826,52	268,57	243,45	598,71	0,36
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	760,83	822,40	258,59	236,57	598,78	0,36
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	785,90	848,13	157,31	148,25	700,38	0,42
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	864,04	939,27	149,81	141,77	798,80	0,48
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	861,22	935,18	145,18	137,55	799,29	0,48
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	786,53	849,65	232,43	213,27	646,28	0,39
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	873,16	948,98	153,93	145,53	805,02	0,48
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	673,32	726,87	279,44	257,14	478,34	0,29
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	808,47	876,21	228,51	211,75	672,36	0,40
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ						
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	764,20	824,82	170,08	160,67	666,78	0,40
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	798,43	863,76	251,43	229,54	647,11	0,39
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	835,31	905,07	155,54	146,71	760,71	0,46
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	704,99	762,03	278,38	255,41	515,50	0,31
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	818,84	886,53	182,73	171,44	718,77	0,43
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	819,12	886,33	128,71	122,05	764,57	0,46
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ						
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ						
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	822,93	893,78	191,86	180,50	716,31	0,43
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	798,67	864,32	143,90	136,68	727,84	0,44
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ						
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ						

**Πίνακας 7.7** Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_T'$ , και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$  όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_T'$ (mm/period)	$E_{tc}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΡΙΑΣ						
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ						
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	823,06	889,44	169,98	160,02	732,59	0,44
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ						
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ						
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ						
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ						
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	791,17	852,37	185,10	172,86	683,75	0,41
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ						
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ						
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	881,82	954,79	145,42	137,82	817,30	0,49
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ						
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ						
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ						
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ						
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ						
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	840,21	908,34	144,32	136,80	771,74	0,46
18	Δ. ΒΟΛΟΥ						
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ						
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ						
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ	779,63	839,54	214,92	197,80	649,97	0,39
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ						
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ						

Πίνακας 7.8 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_{Tc}$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια της μηδικής στους Δήμους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_{Tc}$ (mm/period)	$E_{Tc}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ						
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	851,01	812,12	242,86	226,28	585,82	0,40
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ	769,91	734,78	263,58	244,30	490,48	0,34
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	795,16	761,10	173,18	163,15	597,96	0,40
5	Δ. ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ	899,12	857,58	186,07	175,09	682,48	0,47
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ	809,17	772,66	293,74	269,52	503,14	0,35
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	798,40	761,98	243,93	228,00	533,99	0,37
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ	882,26	841,84	170,51	160,63	681,23	0,47
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	803,81	768,30	316,84	284,85	487,30	0,34
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	799,41	763,80	309,68	280,08	487,02	0,34
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	823,50	787,52	185,90	174,54	613,00	0,42
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	903,98	862,04	176,31	166,23	695,81	0,48
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	901,13	859,65	173,06	163,14	696,52	0,48
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	824,45	788,08	268,05	245,12	542,99	0,38
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	913,18	870,81	180,55	170,13	700,69	0,48
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	710,93	679,17	311,89	286,64	396,24	0,28
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	847,40	808,89	263,84	243,37	565,51	0,40
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ						
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	803,07	767,56	203,24	190,52	577,04	0,39
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	837,18	799,74	289,62	263,35	537,63	0,38
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	874,35	834,83	183,28	172,22	662,60	0,46
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	743,00	709,64	307,44	282,11	431,11	0,30
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	857,16	818,72	210,65	197,07	621,65	0,43
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	859,29	820,78	158,70	149,40	671,37	0,46
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	838,51	799,92	236,63	220,85	579,06	0,40
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	743,85	710,25	275,62	255,39	455,42	0,31
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	862,38	822,62	217,97	204,58	618,03	0,42
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	837,58	799,83	176,20	165,89	633,93	0,43
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ	778,14	743,20	316,03	289,62	455,73	0,32
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	807,42	771,53	275,69	254,15	517,37	0,36



Πίνακας 7.9 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_{Tc}$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια της μηδικής στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_c$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_{T_o}$ (mm/period)	$E_{T_c}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΡΙΑΣ						
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ	912,81	872,01	157,14	147,52	724,48	0,46
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	867,14	828,31	204,82	191,29	637,04	0,41
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	881,83	843,14	180,07	168,87	674,26	0,43
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ						
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ						
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ						
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	831,85	795,83	219,67	203,79	592,02	0,38
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ						
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ						
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	928,90	886,74	179,93	168,93	717,79	0,46
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ						
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ	878,44	839,93	218,21	201,50	638,44	0,41
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ	882,20	842,90	196,64	183,87	659,03	0,42
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ						
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	887,96	848,29	197,68	184,89	663,39	0,43
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	883,70	844,27	176,77	166,22	678,04	0,43
18	Δ. ΒΟΛΟΥ						
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ						
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ						
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ	819,81	784,49	253,63	231,92	552,55	0,36
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ						
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ						

Πίνακας 7.10 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_c$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του καπνού στους λήμους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φητικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$ET_c$ (mm/period)	$ET_c$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	551,04	543,91	112,62	105,35	438,56	0,49
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	590,27	585,60	117,29	110,80	474,80	0,53
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ	528,07	524,19	133,14	124,74	399,46	0,45
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ						
5	Δ. ΠΙΑΝΝΟΥΛΗΣ						
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ	556,25	551,16	136,63	127,93	423,23	0,47
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	549,95	545,64	127,88	120,25	425,39	0,48
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ						
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ						
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ						
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ						
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ						
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	628,73	623,70	83,62	80,25	543,45	0,61
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	565,76	559,11	117,78	109,89	449,22	0,50
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ						
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	480,67	476,40	165,99	153,44	325,70	0,36
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	586,49	581,36	119,99	112,86	468,49	0,52
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ						
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ						
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	576,31	570,55	127,67	118,79	451,76	0,51
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ						
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	505,88	501,34	164,58	151,74	352,11	0,39
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	593,14	586,99	95,30	90,47	496,52	0,56
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ						
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	581,66	577,42	115,16	108,52	468,90	0,52
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	507,31	503,22	146,27	136,50	366,71	0,41
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	600,68	596,42	106,64	101,17	495,25	0,55
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ						
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ	532,15	527,42	164,30	151,89	376,53	0,42
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	569,46	565,53	132,96	124,17	441,37	0,49

Πίνακας 7.11 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_t$ , και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του καπνού στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φυτόικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E T_o$ (mm/period)	$E t_c$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΡΙΑΣ						
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ						
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ						
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ						
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ						
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ						
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ						
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ						
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ						
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ						
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ						
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ						
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ						
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ						
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ						
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	602,62	597,44	80,74	77,15	520,29	0,58
17	Δ. ΦΕΡΩΝ						
18	Δ. ΒΟΛΟΥ						
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ						
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ						
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ						
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ						
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ						

**Πίνακας 7.12** Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_c$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του καλαμποκιού στους δήμους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ET <sub>c</sub> (mm/period)	ET <sub>c</sub> (mm/period)	P <sub>tot</sub> (mm/period)	P <sub>e</sub> (mm/period)	I <sub>n</sub> (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	693,23	628,73	173,41	160,64	493,81	0,41
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	734,87	674,94	170,68	160,28	531,24	0,44
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ	660,50	606,48	189,19	176,53	450,81	0,37
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	681,21	615,06	115,45	109,54	513,46	0,43
5	Δ. ΠΑΝΝΟΥΛΗΣ	779,54	717,01	134,46	127,26	599,14	0,50
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ	695,65	636,67	201,28	187,06	475,77	0,39
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	686,46	630,18	180,81	169,46	477,16	0,40
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ	763,45	701,20	117,24	111,65	597,32	0,50
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	689,39	628,19	205,54	188,37	475,34	0,39
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	685,82	626,29	197,21	182,62	473,18	0,39
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	708,16	643,39	125,74	118,80	536,09	0,44
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	784,56	722,58	126,13	119,70	612,03	0,51
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	781,13	717,86	120,63	114,77	612,11	0,51
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	709,34	645,49	181,20	167,35	506,05	0,42
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	792,77	729,72	129,69	122,94	615,97	0,51
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	604,83	552,87	232,34	214,15	369,02	0,31
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	731,38	670,40	179,84	167,76	525,84	0,44
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ						
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	687,81	626,25	130,99	124,68	510,20	0,42
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	720,91	658,58	196,20	180,47	510,18	0,42
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	755,95	691,64	129,38	122,51	579,24	0,48
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	634,63	580,53	232,14	213,20	398,60	0,33
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	740,50	676,42	143,51	135,31	554,47	0,46
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	739,60	676,12	106,35	101,19	582,21	0,48
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	723,83	665,75	169,23	158,69	523,66	0,43
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	635,90	582,74	204,34	190,02	416,69	0,35
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	746,06	686,76	154,76	146,11	552,39	0,46
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	721,29	659,55	121,83	116,03	551,68	0,46
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ	666,75	610,09	233,07	214,42	425,65	0,35
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	709,09	652,54	194,34	180,53	494,91	0,41



Πίνακας 7.13 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_{Tc}$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του καλαμποκιού στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φυτόκων συντελεστών,  $K_s$  όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_{Tc}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΓΙΑΣ					
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ					
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	740,85	129,11	122,55	564,04	0,47
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	749,70	117,64	111,37	580,91	0,48
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ					
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ					
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ					
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	710,73	141,86	133,50	525,11	0,44
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ					
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ					
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	795,23	110,98	105,77	631,45	0,52
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ					
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ					
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ					
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ					
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	756,92	124,21	118,01	582,87	0,48
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	757,15	112,03	106,70	592,31	0,49
18	Δ. ΒΟΛΟΥ					
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ					
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ					
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ					
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ					
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ					

**Πίνακας 7.14** Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_T$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των δένδρων στους Δήμους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996), οι οποίοι συμπίπτουν με τους αντίστοιχους φυτικούς συντελεστές που προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ΕΤ <sub>ο</sub> (mm/period)	ΕΤ <sub>c</sub> (mm/period)	P <sub>tot</sub> (mm/period)	P <sub>e</sub> (mm/period)	I <sub>n</sub> (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	799,56	654,34	249,46	228,77	429,55	0,21
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	841,87	689,93	234,24	218,46	471,47	0,23
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ	761,06	623,09	254,66	236,26	388,01	0,19
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	786,49	643,46	164,49	155,22	488,24	0,24
5	Δ. ΠΑΝΝΟΥΛΗΣ	889,91	729,72	177,87	167,58	562,14	0,28
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ	800,15	655,26	282,35	259,52	402,40	0,20
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	789,38	646,52	236,94	221,53	424,99	0,21
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ	873,07	715,68	161,23	152,22	563,47	0,28
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	794,77	650,55	302,84	272,93	392,72	0,19
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	790,35	647,01	294,90	267,61	394,14	0,19
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	814,71	667,01	177,19	166,54	500,46	0,25
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	894,74	733,85	168,40	158,96	574,88	0,28
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	891,90	731,32	164,66	155,45	575,87	0,28
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	815,58	667,84	257,71	235,93	436,50	0,22
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	903,96	741,40	172,59	162,80	578,60	0,29
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	702,06	574,09	303,00	278,58	299,10	0,15
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	838,35	686,94	253,64	234,30	455,87	0,23
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ	797,84	652,79	272,98	247,98	413,42	0,20
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	793,98	649,72	193,58	181,87	468,79	0,23
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	828,15	678,28	278,56	253,62	432,83	0,21
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	865,30	709,14	174,96	164,62	544,53	0,27
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	734,05	600,61	299,54	274,86	327,95	0,16
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	848,23	695,05	202,53	189,65	505,41	0,25
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ						
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	829,40	679,72	229,03	213,87	465,84	0,23
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	734,96	601,43	267,55	248,01	354,85	0,18
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	853,20	699,47	210,54	197,76	501,71	0,25
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	828,55	678,61	166,39	157,06	522,27	0,26
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ	769,14	629,57	306,88	281,34	352,51	0,17
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	813,26	666,38	266,02	245,51	423,10	0,21

Πίνακας 7.15 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_T$ , και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των δένδρων στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_T$ (mm/period)	$E_{tc}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΓΙΑΣ	865,12	707,43	191,39	178,29	529,14	0,26
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ	901,86	738,02	147,82	139,08	598,93	0,30
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	856,78	701,03	194,62	182,17	518,86	0,26
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	870,79	711,99	170,47	160,18	551,80	0,27
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ	869,25	710,75	182,40	139,42	571,33	0,28
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ	864,90	707,14	176,61	165,46	541,68	0,27
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ	841,58	688,13	232,46	212,63	478,69	0,24
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	822,26	672,60	209,45	194,70	478,69	0,24
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ	866,55	708,50	171,79	161,22	547,28	0,27
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ	854,51	698,63	213,82	173,62	525,01	0,26
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	917,83	751,32	169,58	159,68	591,64	0,29
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	857,19	701,22	203,64	189,45	511,77	0,25
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ	867,70	709,62	206,56	191,20	519,16	0,26
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ	871,35	712,70	186,89	175,11	537,59	0,27
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ	872,55	713,45	170,16	159,87	553,58	0,27
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	877,05	717,41	187,77	176,04	541,37	0,27
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	873,47	714,97	166,94	157,36	557,61	0,28
18	Δ. ΒΟΛΟΥ	907,62	742,62	138,37	130,83	611,80	0,30
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ	873,55	714,49	180,40	168,95	545,54	0,27
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ						
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ	810,33	662,77	242,15	221,85	445,02	0,22
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ	854,47	698,81	235,17	214,58	487,69	0,24
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ						

Πίνακας 7.16 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_c$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του αμπελιού στους Δήμους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φυσικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

Α/Α	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ΕΤ <sub>ο</sub> (mm/period)	Εt <sub>c</sub> (mm/period)	P <sub>tot</sub> (mm/period)	P <sub>e</sub> (mm/period)	I <sub>n</sub> (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	721,29	463,67	200,85	184,94	292,97	0,18
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	759,92	489,71	191,96	179,60	317,55	0,19
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ						
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	710,02	456,14	129,87	123,01	333,13	0,20
5	Δ. ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ	805,57	519,61	153,15	144,61	377,05	0,23
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ						
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	709,44	456,70	198,70	185,96	276,29	0,17
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ						
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ						
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	710,95	457,26	225,73	207,47	269,27	0,16
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	736,56	473,65	142,67	134,43	340,11	0,21
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	810,34	522,96	144,32	136,57	388,05	0,24
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	807,59	520,88	139,73	132,40	390,65	0,24
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	736,84	474,11	209,58	192,38	298,03	0,18
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	818,94	528,40	148,47	140,35	390,04	0,24
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	625,73	401,65	253,56	233,30	183,56	0,11
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	756,94	487,60	205,25	190,42	310,18	0,19
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ						
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	713,67	458,55	149,17	141,41	320,79	0,20
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	747,47	481,08	226,66	207,04	294,57	0,18
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	783,24	504,71	149,93	141,40	366,61	0,22
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	656,56	422,00	254,49	233,33	204,41	0,13
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	768,04	494,80	164,96	154,82	345,82	0,21
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ						
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	747,72	481,83	188,24	176,11	311,80	0,19
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	657,47	422,54	226,21	209,86	225,67	0,14
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	770,70	497,01	173,43	163,27	338,50	0,21
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ						
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ						
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	732,21	471,63	215,61	199,85	282,59	0,17



Πίνακας 7.17 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_T$ , και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του αμπελιού στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_T$ (mm/period)	$E_{t_c}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΡΙΑΣ						
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ	807,66	519,23	107,52	101,89	417,34	0,26
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	766,77	492,83	148,67	140,44	356,97	0,22
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	777,27	499,02	132,70	125,37	373,70	0,23
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ						
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ						
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ						
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	739,15	474,76	164,68	154,17	327,39	0,20
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ						
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ						
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	821,64	528,51	126,62	120,27	409,01	0,25
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ						
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ	776,19	498,54	173,45	161,53	341,36	0,21
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ						
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ						
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	783,34	503,11	142,97	135,26	371,17	0,23
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	784,42	504,50	127,40	120,98	383,99	0,24
18	Δ. ΒΟΛΟΥ	811,71	521,75	99,88	95,10	426,64	0,26
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ						
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ						
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ						
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ	765,29	491,52	198,09	182,02	321,81	0,20
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ						

**Πίνακας 7.18** Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_{Tc}$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των κηπευτικών στους Δήμους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

Α/Α	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_{Tc}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	565,68	135,22	125,34	408,34	0,44
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	601,85	134,14	125,98	445,55	0,48
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ	537,45	149,39	139,35	371,21	0,40
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	555,29	92,11	87,14	435,42	0,47
5	Δ. ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ	639,84	110,29	104,45	503,46	0,54
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ	567,77	156,57	145,51	392,74	0,42
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	560,23	142,56	133,55	398,45	0,43
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ	625,85	95,93	91,46	502,79	0,54
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ					
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	559,33	150,18	139,17	391,22	0,42
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	578,57	100,39	94,63	451,68	0,48
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	644,70	103,22	98,09	514,84	0,55
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	641,22	98,18	93,59	515,35	0,55
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	579,85	141,24	130,51	417,42	0,45
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	651,14	106,50	101,04	517,80	0,55
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	489,79	184,16	169,49	296,96	0,32
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	598,59	140,27	130,88	436,93	0,47
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ	562,86	146,19	134,55	397,24	0,43
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	559,64	101,05	96,22	432,94	0,46
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	589,26	152,55	140,42	418,71	0,45
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	619,65	105,47	100,02	487,08	0,52
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	515,79	184,11	168,87	322,26	0,35
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	607,00	112,81	106,38	468,27	0,50
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ					
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	592,36	131,15	122,94	440,02	0,47
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	516,69	163,07	151,55	338,84	0,36
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	611,87	121,55	114,75	466,93	0,50
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	588,98	100,19	95,48	462,56	0,50
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ					
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ					
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	579,52	150,89	140,11	410,87	0,44

Πίνακας 7.19 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_t$ , και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των κηπευτικών στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$  όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E T_o$ (mm/period)	$E t_c$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΓΙΑΣ	605,34	572,43	116,45	109,34	463,09	0,50
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ	634,95	602,22	71,50	67,73	534,49	0,57
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	602,22	570,66	99,51	94,53	476,13	0,51
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	608,11	575,54	93,54	88,32	487,22	0,52
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ	607,59	574,61	98,01	80,46	494,14	0,53
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ	603,98	571,31	97,65	91,94	479,37	0,51
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ	588,96	556,23	139,39	129,21	427,01	0,46
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	578,37	545,71	111,30	104,84	440,87	0,47
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ	605,34	572,46	95,61	90,09	482,37	0,52
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ	597,02	564,21	113,58	103,68	460,53	0,49
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	647,45	615,10	84,83	80,66	534,44	0,57
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	602,52	569,73	107,73	101,64	468,09	0,50
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ	607,83	574,89	125,82	117,66	457,23	0,49
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ	609,99	578,24	96,05	91,13	487,11	0,52
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ	609,31	576,88	92,57	87,43	489,44	0,52
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	614,24	582,52	95,67	90,94	491,59	0,53
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	617,16	584,76	87,52	83,19	501,57	0,54
18	Δ. ΒΟΛΟΥ	637,80	604,88	67,27	63,93	540,95	0,58
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ	612,41	579,52	111,12	104,92	474,60	0,51
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ						
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ						
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ	599,06	566,20	141,00	130,64	435,56	0,47
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ	617,90	585,56	72,02	68,07	517,49	0,55

**Πίνακας 7.20** Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_T$ , και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των **μυροστανικών** στους Δήμους του **Νομού Λάρισας**, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους *Allen et al. (1996)*

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_T$ (mm/period)	$E_{tc}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	528,63	443,46	169,61	155,11	300,83	0,32
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	554,00	469,40	155,87	144,93	330,05	0,35
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ	492,88	417,46	167,89	155,40	270,81	0,29
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	521,34	435,94	106,06	99,79	336,15	0,36
5	Δ. ΠΑΝΝΟΥΛΗΣ	588,31	499,09	125,43	117,94	381,54	0,41
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ	523,91	442,72	183,26	168,01	288,78	0,31
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	514,74	436,09	157,38	146,54	293,75	0,31
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ						
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ						
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	517,69	436,62	183,70	167,41	287,17	0,31
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	539,93	453,37	116,87	109,40	343,97	0,37
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	592,18	502,93	118,85	112,06	391,08	0,42
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	590,30	500,46	115,35	108,92	392,01	0,42
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ						
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	598,24	507,84	122,95	115,78	392,43	0,42
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ						
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	552,13	467,10	169,13	155,71	322,24	0,35
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ						
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ						
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	545,76	460,39	189,63	171,78	308,03	0,33
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	573,45	484,45	124,65	117,11	368,37	0,39
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	475,00	401,38	203,48	185,18	232,85	0,25
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	563,16	475,09	138,50	129,22	349,20	0,37
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ						
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	543,80	461,34	150,21	139,61	326,38	0,35
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	474,72	401,56	180,93	166,95	246,60	0,26
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	561,96	477,02	140,20	131,28	348,14	0,37
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	544,20	459,48	112,35	106,42	353,06	0,38
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ						
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ						



Πίνακας 7.21 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_{Tc}$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του μπιστοτανικών στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φαικικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_{Tc}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΡΙΑΣ					
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ	585,29	95,46	90,14	404,44	0,43
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	555,24	123,27	115,88	354,80	0,38
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ					
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ					
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ					
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ					
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	539,65	139,87	130,31	326,59	0,35
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ					
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ					
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	594,09	100,36	94,74	408,65	0,44
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ					
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ					
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ					
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ					
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	565,49	119,05	112,11	366,60	0,39
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	570,38	102,34	96,62	384,83	0,41
18	Δ. ΒΟΛΟΥ	587,48	88,43	83,90	412,61	0,44
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ					
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ					
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ					
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ					
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ					

Πίνακας 7.22 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_t$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των σιτηρών στους Δήμους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$  όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E T_o$ (mm/period)	$E t_c$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	296,90	295,52	142,92	128,91	166,61	0,10
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ						
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ						
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	296,29	295,74	95,66	89,50	206,24	0,13
5	Δ. ΠΑΝΝΟΥΛΗΣ	318,04	313,29	103,41	96,38	216,91	0,13
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ						
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ						
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ						
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ						
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	284,92	282,24	149,85	134,95	147,29	0,09
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ						
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	319,06	313,95	98,16	91,66	222,29	0,14
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ						
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	300,58	298,47	148,89	133,67	164,80	0,10
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ						
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	246,10	243,57	148,89	134,68	108,88	0,07
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	301,11	297,42	136,85	124,44	172,98	0,11
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ	294,75	293,34	156,07	139,32	154,02	0,09
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	287,72	285,64	95,87	89,67	195,97	0,12
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	300,47	297,59	159,27	142,00	155,59	0,10
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	314,75	311,29	104,62	97,31	213,98	0,13
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	259,42	256,54	153,58	138,03	118,51	0,07
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	310,60	307,58	113,99	105,27	202,31	0,12
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ						
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	293,45	289,07	118,20	108,67	180,40	0,11
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ						
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	302,91	298,22	108,60	100,74	197,47	0,12
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	298,54	295,45	90,65	85,16	210,28	0,13
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ						
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	285,96	281,62	134,10	121,94	159,68	0,10

**Πίνακας 7.23** Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_T$ , και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των σπτηριών στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φηπικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996)

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ET <sub>o</sub> (mm/period)	ET <sub>c</sub> (mm/period)	P <sub>tot</sub> (mm/period)	P <sub>e</sub> (mm/period)	I <sub>n</sub> (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΡΙΑΣ						
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ	319,54	316,00	89,89	84,49	231,51	0,14
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	304,11	300,91	100,38	93,59	207,32	0,13
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	310,58	308,06	98,59	92,00	216,06	0,13
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ						
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ	309,90	307,60	103,69	96,41	211,19	0,13
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ						
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	302,75	301,37	115,43	106,46	194,91	0,12
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ						
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ						
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	321,18	316,79	90,81	85,28	231,51	0,14
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	310,35	308,11	111,78	103,27	204,84	0,13
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ						
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ	307,48	304,35	98,47	91,85	212,51	0,13
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ	310,19	307,50	98,00	91,47	216,03	0,13
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	308,64	305,35	97,84	91,43	213,93	0,13
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	313,03	309,86	91,97	86,36	223,49	0,14
18	Δ. ΒΟΛΟΥ	320,64	317,03	82,72	78,18	238,85	0,15
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ						
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ	284,79	282,94	116,26	106,99	175,95	0,11
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ	299,42	298,27	136,90	123,90	174,37	0,11
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ	309,52	307,47	143,33	129,02	178,45	0,11
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ						

Πίνακας 7.24 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_T$ , και καθарές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του βαμβακιού στους Δήμους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φωνικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

Α/Α	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_{T_0}$ (mm/period)	$E_{T_c}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	761,58	607,93	222,78	204,98	417,97	0,29
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	807,67	649,02	213,42	199,44	454,44	0,32
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ						
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	747,26	595,03	153,90	145,03	453,28	0,32
5	Δ. ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ	853,85	685,91	162,49	153,21	534,65	0,37
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ	766,90	616,08	258,29	237,84	395,93	0,28
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ						
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ	836,99	672,22	149,04	140,59	535,11	0,37
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	759,61	608,63	273,18	246,94	391,89	0,27
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	756,51	607,06	271,41	246,30	387,91	0,27
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	775,93	619,73	163,21	153,45	469,35	0,33
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	859,04	690,19	153,21	144,80	547,08	0,38
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	855,27	686,57	149,05	140,92	547,76	0,38
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	778,05	621,86	229,20	210,72	427,23	0,30
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	867,54	696,99	156,75	148,04	550,71	0,38
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ						
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	803,34	644,93	229,05	212,18	445,08	0,31
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ						
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	759,00	608,76	179,00	168,03	445,59	0,31
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	791,93	634,78	247,88	226,76	428,26	0,30
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	827,67	662,92	157,38	148,40	516,64	0,36
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ						
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	810,38	648,30	181,41	170,38	481,17	0,33
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	813,37	652,36	137,97	129,96	525,20	0,37
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ						
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ						
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	819,49	658,97	191,91	180,57	480,45	0,33
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	793,12	636,62	156,62	147,45	494,29	0,34
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ						
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	781,77	629,97	245,48	226,63	415,22	0,29



Πίνακας 7.25 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_t$ , και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του βαμβάκιού στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_t$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΡΙΑΣ					
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ	865,59	138,36	129,82	568,60	0,40
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	822,34	178,93	167,40	497,50	0,35
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ					
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΙΟΣ					
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ					
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ					
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	784,15	189,37	176,17	457,20	0,32
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ					
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ					
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	882,86	159,37	149,66	564,92	0,39
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	819,83	184,10	171,42	490,23	0,34
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ					
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ					
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ					
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	842,29	172,80	161,86	519,34	0,36
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	837,01	156,60	147,30	527,72	0,37
18	Δ. ΒΟΛΟΥ					
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ					
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ					
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ	772,31	216,55	198,83	431,81	0,30
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ					
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ					

Πίνακας 7.26 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_{Tc}$  και καθαρές ανιγέες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των **ζαχαρότευτλων** στους Δήμους του **Νομού Λάρισας**, με τη χρήση των μέσων φητικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_{Tc}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	770,45	223,68	205,76	496,99	0,30
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	811,74	212,69	198,82	539,88	0,32
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ					
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	758,15	144,61	136,93	546,12	0,33
5	Δ. ΠΑΝΝΟΥΛΗΣ	859,24	158,73	149,89	630,09	0,38
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ					
7	Δ. ΕΛΑΣΣΙΟΝΑΣ	759,78	218,62	204,56	485,01	0,29
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ	842,62	140,14	132,98	630,95	0,38
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	765,29	268,57	243,45	464,63	0,28
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	760,83	258,59	236,57	465,25	0,28
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	785,90	157,31	148,25	561,33	0,34
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	864,04	149,81	141,77	642,89	0,38
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	861,22	145,18	137,55	644,12	0,39
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	786,53	232,43	213,27	506,48	0,30
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	873,16	153,93	145,53	647,44	0,39
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	673,32	279,44	257,14	358,13	0,21
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	808,47	228,51	211,75	527,39	0,32
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ					
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	764,20	170,08	160,67	530,15	0,32
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	798,43	251,43	229,54	504,98	0,30
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	835,31	155,54	146,71	610,87	0,37
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	704,99	278,38	255,41	389,05	0,23
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	818,84	182,73	171,44	572,18	0,34
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	819,12	128,71	122,05	618,71	0,37
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ					
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ					
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	822,93	191,86	180,50	567,78	0,34
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	798,67	143,90	136,68	585,59	0,35
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ					
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ					
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ					

Πίνακας 7.27 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_c$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων στους δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_c$ , όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ET <sub>o</sub> (mm/period)	ET <sub>c</sub> (mm/period)	P <sub>tot</sub> (mm/period)	P <sub>e</sub> (mm/period)	I <sub>n</sub> (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΓΙΑΣ						
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ						
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	823,06	742,82	169,98	160,02	584,69	0,35
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ						
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ						
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ						
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ						
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	791,17	712,90	185,10	172,86	542,92	0,32
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ						
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ						
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	881,82	797,05	145,42	137,82	659,24	0,39
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ						
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ						
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ						
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ						
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ						
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	840,21	758,93	144,32	136,80	622,12	0,37
18	Δ. ΒΟΛΟΥ						
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ						
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ						
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ	779,63	702,26	214,92	197,80	511,73	0,31
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ						
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ						

Πίνακας 7.28 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_{Tc}$  και καθαρές ανιγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του καλαμποκιού στους δήμους του Νομού Λαρίσας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_{Tc}$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	693,23	173,41	160,64	454,25	0,38
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	734,87	170,68	160,28	491,21	0,41
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ	660,50	189,19	176,53	412,18	0,34
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	681,21	115,45	109,54	485,90	0,40
5	Δ. ΠΑΝΝΟΥΛΗΣ	779,54	134,46	127,26	562,18	0,47
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ	695,65	201,28	187,06	434,62	0,36
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	686,46	180,81	169,46	438,74	0,36
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ	763,45	117,24	111,65	562,95	0,47
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	689,39	205,54	188,37	432,93	0,36
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	685,82	197,21	182,62	432,06	0,36
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	708,16	125,74	118,80	502,63	0,42
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	784,56	126,13	119,70	574,74	0,48
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	781,13	120,63	114,77	575,70	0,48
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	709,34	181,20	167,35	464,55	0,39
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	792,77	129,69	122,94	578,52	0,48
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	604,83	232,34	214,15	332,02	0,28
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	731,38	179,84	167,76	483,64	0,40
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ					
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	687,81	130,99	124,68	479,86	0,40
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	720,91	196,20	180,47	466,37	0,39
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	755,95	129,38	122,51	543,80	0,45
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	634,63	232,14	213,20	359,52	0,30
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	740,50	143,51	135,31	517,53	0,43
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	739,60	106,35	101,19	550,45	0,46
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	723,83	169,23	158,69	483,41	0,40
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	635,90	204,34	190,02	378,58	0,31
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	746,06	154,76	146,11	514,50	0,43
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	721,29	121,83	116,03	519,60	0,43
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ					
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ	666,75	233,07	214,42	384,37	0,32
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	709,09	194,34	180,53	452,70	0,38



**Πίνακας 7.29** Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_{Tc}$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του καλαμποκιού στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φωτοικών συντελεστών,  $K_o$  όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ET <sub>o</sub> (mm/period)	ET <sub>c</sub> (mm/period)	P <sub>tot</sub> (mm/period)	P <sub>e</sub> (mm/period)	I <sub>n</sub> (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΓΓΙΑΣ						
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ						
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	740,85	652,79	129,11	122,55	530,24	0,44
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	749,70	659,40	117,64	111,37	548,03	0,45
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ						
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ						
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ						
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	710,73	623,03	141,86	133,50	490,72	0,41
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ						
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ						
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	795,23	702,80	110,98	105,77	597,04	0,50
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ						
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ						
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ						
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ						
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	756,92	667,41	124,21	118,01	549,40	0,46
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	757,15	667,08	112,03	106,70	560,38	0,46
18	Δ. ΒΟΛΟΥ						
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ						
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ						
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ						
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ						
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ						

Πίνακας 7.30 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_c$  και καθαρές ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του αμπελιού στους Δήμους του Νομού Λάρισας, με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_c$ , όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ET <sub>c</sub> (mm/period)	ET <sub>c</sub> (mm/period)	P <sub>tot</sub> (mm/period)	P <sub>e</sub> (mm/period)	I <sub>n</sub> (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ. ΑΠΑΣ	721,29	377,47	200,85	184,94	220,99	0,14
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	759,92	400,19	191,96	179,60	237,07	0,15
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ						
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	710,02	370,78	129,87	123,01	248,99	0,15
5	Δ. ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ	805,57	424,44	153,15	144,61	286,38	0,18
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ						
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	709,44	373,76	198,70	185,96	202,23	0,12
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ						
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ						
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	710,95	373,49	225,73	207,47	201,66	0,12
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	736,56	385,73	142,67	134,43	257,16	0,16
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	810,34	427,17	144,32	136,57	296,71	0,18
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	807,59	425,29	139,73	132,40	299,50	0,18
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	736,84	386,21	209,58	192,38	225,54	0,14
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	818,94	431,62	148,47	140,35	297,72	0,18
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	625,73	329,33	253,56	233,30	132,84	0,08
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	756,94	398,25	205,25	190,42	233,01	0,14
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ						
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	713,67	374,50	149,17	141,41	241,11	0,15
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	747,47	392,60	226,66	207,04	223,85	0,14
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	783,24	411,56	149,93	141,40	278,45	0,17
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	656,56	345,48	254,49	233,33	149,23	0,09
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	768,04	403,20	164,96	154,82	261,02	0,16
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ						
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	747,72	394,14	188,24	176,11	233,14	0,14
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	657,47	346,30	226,21	209,86	163,37	0,10
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	770,70	406,27	173,43	163,27	253,48	0,16
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ						
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ						
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ						
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	732,21	386,16	215,61	199,85	210,14	0,13

Πίνακας 7.31 Πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $E_t$ , και καθάρες ανάγκες σε νερό  $I_n$  για την καλλιέργεια του αμπελιού στους Δήμους του Νομού Μαγνησίας, με τη χρήση των μέσων φητικών συντελεστών,  $K_s$ , όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας

A/A	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	$E_t$ (mm/period)	$P_{tot}$ (mm/period)	$P_e$ (mm/period)	$I_n$ (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	Δ.ΑΓΓΡΙΑΣ					
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ	807,66	107,52	101,89	323,56	0,20
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	766,77	148,67	140,44	272,23	0,17
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	777,27	132,70	125,37	285,36	0,17
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ					
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ					
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ					
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	739,15	164,68	154,17	246,97	0,15
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ					
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ					
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	821,64	126,62	120,27	315,98	0,19
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ					
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ	776,19	173,45	161,53	261,92	0,16
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ					
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ					
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	783,34	142,97	135,26	284,59	0,17
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	784,42	127,40	120,98	293,84	0,18
18	Δ. ΒΟΛΟΥ	811,71	99,88	95,10	332,05	0,20
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ					
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ					
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ					
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ	765,29	401,35	182,02	248,93	0,15
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ					

**Πίνακας 7.32** Οι μέσοι όροι της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής  $ET_c$  (mm/περίοδο) και των καλλιεργών αναγκών σε νερό  $I_n$  (mm/περίοδο) για κάθε καλλιέργεια για το Νομό Λάρισας και Μαγνησίας

A/A	ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΝΟΜΟΣ	ET <sub>c</sub> (mm/period)	Et <sub>c</sub> (mm/period)	P <sub>tot</sub> (mm/period)	P <sub>e</sub> (mm/period)	I <sub>n</sub> (mm/period)	FWS (l/s/ha)
1	ΖΑΧΛΕΥΤΛΑ (Kc Allen et al. 1996)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	797,53	863,39	194,56	181,18	687,10	0,41
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	823,18	888,90	171,95	161,06	731,07	0,44
2	ΜΗΔΙΚΗ (Kc Allen et al. 1996)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	827,67	790,32	236,11	218,79	572,18	0,39
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	877,46	838,59	198,46	184,88	653,70	0,42
3	ΖΑΧΛΕΥΤΛΑ (Kc ΠΑΠΑΖΑΦΕΙΡΙΟΥ)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	797,53	721,54	194,56	181,18	544,61	0,33
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	823,18	742,79	171,95	161,06	584,14	0,35
4	ΔΕΝΔΡΑ (Kc Allen et al.1996=ΠΑΠΑΖΑΦΕΙΡΙΟΥ)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	816,69	668,92	231,89	214,79	456,95	0,23
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	866,51	708,74	189,45	173,89	535,44	0,27
5	ΒΑΜΒΑΚΙ (Kc Allen et al. 1996)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	801,19	658,33	194,67	181,03	491,72	0,34
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	828,30	682,25	174,51	162,81	527,43	0,37
6	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ (Kc Allen et al. 1996)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	712,57	652,21	165,41	154,55	516,01	0,43
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	751,76	686,57	122,64	116,32	579,45	0,48
7	ΒΑΜΒΑΚΙ (Kc ΠΑΠΑΖΑΦΕΙΡΙΟΥ)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	801,19	642,49	194,67	181,03	470,24	0,33
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	828,30	665,33	174,51	162,81	507,17	0,35
8	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ (Kc ΠΑΠΑΖΑΦΕΙΡΙΟΥ)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	712,57	628,32	165,41	154,55	478,26	0,40
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	751,76	662,09	122,64	116,32	545,97	0,45
9	ΚΑΠΝΟΣ (Kc Allen et al. 1996)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	559,05	554,12	127,52	119,34	435,14	0,49
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	602,62	597,44	80,74	77,15	520,29	0,58
10	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ (Kc Allen et al. 1996)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	582,99	552,61	129,98	121,54	431,33	0,46
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	609,88	577,32	100,86	94,30	483,01	0,52
11	ΑΜΠΕΛΙ (Kc Allen et al. 1996)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	740,33	476,66	186,02	173,30	311,71	0,19
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	783,34	503,38	142,20	133,70	372,94	0,23
12	ΜΠΟΣΤΑΝΙΚΑ (Kc Allen et al. 1996)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	542,68	458,72	149,16	138,31	326,83	0,35
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	571,09	482,17	109,83	103,39	379,79	0,41
13	ΑΜΠΕΛΙ (Kc ΠΑΠΑΖΑΦΕΙΡΙΟΥ)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	740,33	389,27	186,02	173,30	234,25	0,14
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	783,34	411,70	142,20	133,70	286,54	0,17
14	ΣΙΤΗΡΑ (Kc Allen et al. 1996)	N. ΛΑΡΙΣΑΣ	295,09	292,03	125,53	114,57	177,46	0,11
		N. ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	308,81	306,11	105,07	97,38	208,73	0,13



## **7.5 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΜΗ ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗΣ ΥΠΟΨΗ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ( $ET_{ctot}$ ) ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΣΥΝΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΗΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ( $I_{n\ tot}$ )**

Ο υπολογισμός των συνολικών αναγκών σε νερό μη λαμβανόμενης υπόψη της βροχόπτωσης για κάθε καλλιέργεια και για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο σε κάθε Δήμο,  $ET_{ctot}$ , έγινε με τον πολλαπλασιασμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής  $ET_c$  των καλλιεργειών με τις αντίστοιχες εκτάσεις που καλύπτουν σε κάθε Δήμο.

Ομοίως ο υπολογισμός των συνολικών αναγκών σε νερό συνυπολογιζομένης της βροχόπτωσης για κάθε καλλιέργεια και για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο σε κάθε Δήμο,  $I_{n\ tot}$ , έγινε με τον πολλαπλασιασμό των καθαρών αναγκών σε νερό αρδεύσεως  $I_n$  των καλλιεργειών με τις αντίστοιχες εκτάσεις που καλύπτουν σε κάθε Δήμο.

Για τους παραπάνω υπολογισμούς, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής,  $ET_c$  και των καθαρών αναγκών σε νερό αρδεύσεως  $I_n$ , που βρέθηκαν με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_c$ , όπως προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας για τις καλλιέργειες βαμβακιού, τεύτλων, καλαμποκιού, αμπελιού, ενώ για τις υπόλοιπες καλλιέργειες χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα που βρέθηκαν με τη χρήση των μέσων φυτικών συντελεστών,  $K_c$ , όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996). Οι φυτικοί συντελεστές των δένδρων όπως δίνονται από τους Allen et al. (1996), συμπίπτουν με τους αντίστοιχους φυτικούς συντελεστές που προσδιορίστηκαν από τον Ζ. Παπαζαφειρίου στις κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας.

Στα **Γραφήματα 7.13 και 7.14** παρουσιάζονται οι συνολικές ανάγκες σε νερό μη λαμβανομένης υπόψη της βροχόπτωσης για κάθε καλλιέργεια και για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο,  $ET_{ctot}$ , στους Νομούς Λάρισας και Μαγνησίας.

Στα **Γραφήματα 7.15 και 7.16** παρουσιάζονται οι συνολικές ανάγκες σε νερό αρδεύσεως συνυπολογιζομένης της βροχόπτωσης για κάθε καλλιέργεια και για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο,  $I_{n\ tot}$  στους Νομούς Λάρισας και Μαγνησίας.

### **Κατανομή των αρδευόμενων καλλιεργειών στους Νομούς Λάρισας και Μαγνησίας**

Στους **Πίνακες 7.33 και 7.34** παρουσιάζεται η κατανομή των αρδευόμενων καλλιεργειών με συνολικά νερά, δηλαδή από γεωτρήσεις ιδιωτικές και κρατικές και από επιφανειακά νερά, σε στρέμματα ανά Δήμο των Νομών Λάρισας και Μαγνησίας για το έτος 1999, σύμφωνα με τα στοιχεία (Πίνακες Α2) που ελήφθησαν για το Νομό Λάρισας από τη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων και για το Νομό Μαγνησίας από τη Διεύθυνση Γεωργίας της Νομαρχίας του Νομού αυτού.

Πίνακας 7.33 Αρδευόμενες εκτάσεις με συνολικά νερά έτους 1999 σε κάθε Δήμο του Νομού Λάρισας (στρέμματα)

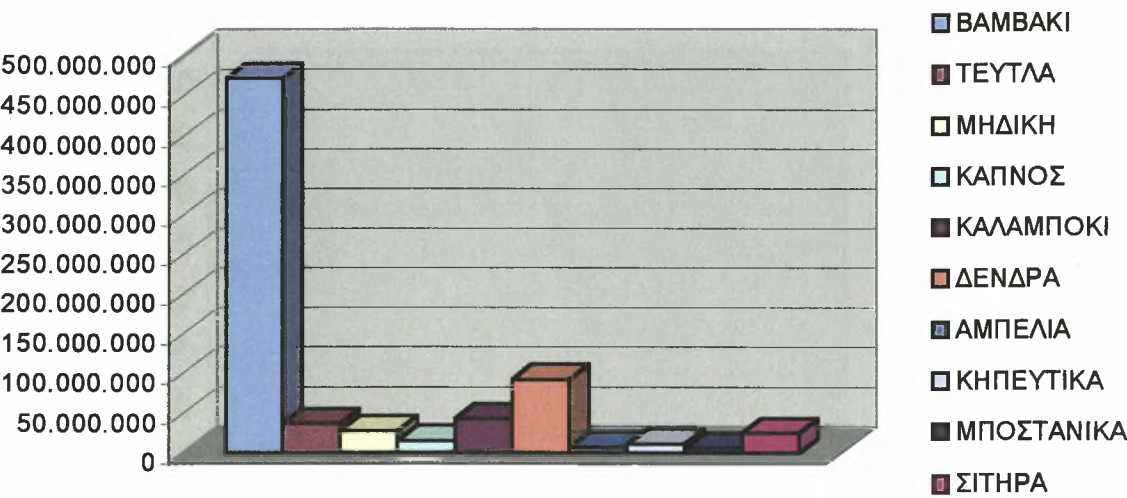
Α/Α	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΤΕΥΤΛΑ	ΜΗΔΙΚΗ	ΚΑΠΝΟΣ	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΔΕΝΔΡΑ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	ΜΠΟΣΤΑΝΙΚΑ	ΣΙΤΗΡΑ	ΣΥΝΟΛΟ
1	Δ. ΑΓΙΑΣ	145	250	0	70	3883	21395	33	1825	80	2889	30570
2	Δ. ΑΜΠΕΛΩΝΑ	5558	2155	4174	403	3693	4459	3086	2305	1019	0	26852
3	Δ. ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ	0	0	220	4130	220	9	0	80	10	0	4669
4	Δ. ΑΡΜΕΝΙΟΥ	45100	2000	600	0	1700	240	10	10	50	15500	65210
5	Δ. ΠΑΝΝΟΥΛΗΣ	19582	1150	2030	0	442	4018	265	500	1700	6168	35855
6	Δ. ΓΟΝΝΩΝ	300	0	850	1300	1850	15100	0	1300	200	0	20900
7	Δ. ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	0	469	3268	11180	5697	1598	744	749	190	0	23895
8	Δ. ΕΝΙΠΠΕΑ	105657	9864	459	0	1162	37	0	1104	0	0	118283
9	Δ. ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	2766	3050	3946	0	4767	5200	0	0	0	0	19729
10	Δ. ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	1860	4840	3650	0	2560	3190	445	578	25	1300	18448
11	Δ. ΚΙΛΕΛΕΡ	43395	1185	110	0	1505	70	20	627	30	0	46942
12	Δ. ΚΟΙΛΑΔΑΣ	50330	2460	588	0	4581	225	40	890	830	1000	60944
13	Δ. ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	56060	2732	165	87	1228	699	100	330	183	0	61584
14	Δ. ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	34225	2830	750	14	1342	6554	23	883	0	3112	49733
15	Δ. ΛΑΡΙΣΑΣ	37422	970	520	0	1740	533	130	222	120	0	41657
16	Δ. ΛΙΒΑΔΙΟΥ	0	84	712	677	5368	550	118	643	0	1050	9202
17	Δ. ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	5390	449	730	788	703	9946	30	250	4820	25	23131
18	Δ. ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ	0	0	0	0	0	19115	0	2655	0	480	22250
19	Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	10435	230	420	0	10	1874	55	2245	0	11400	26669
20	Δ. ΝΕΣΣΩΝΟΣ	7230	1064	410	200	1250	20087	31	411	450	10124	41257
21	Δ. ΝΙΚΑΙΑΣ	57555	4157	100	0	210	734	110	203	79	795	63943
22	Δ. ΟΛΥΜΠΟΥ	0	1126	1186	3020	3890	945	74	195	25	550	11011
23	Δ. ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	129528	5712	4208	70	4154	438	70	1758	150	13000	159088
24	Δ. ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	72227	1989	26	0	3572	0	0	0	0	0	77814
25	Δ. ΠΟΤΑΜΙΑΣ	0	0	2440	4330	6000	4790	285	330	225	200	18600
26	Δ. ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	0	0	920	1358	1630	3136	225	308	28	0	7605
27	Δ. ΤΥΡΝΑΒΟΥ	6859	1023	1806	700	3437	13614	12923	300	3087	189	43938
28	Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	28534	708	13	0	259	8	0	96	8	16478	46104
29	Κ. ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Κ. ΚΑΡΥΑΣ	0	0	310	15	285	160	0	0	0	0	770
31	Κ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	29	0	300	300	2000	250	50	50	0	500	3479
ΣΥΝΟΛΟ		720187	50497	34911	28642	69138	138974	18867	20847	13309	84760	1.180.132

Πίνακας 7.34 Αρδευόμενες εκτάσεις με συνολικά νερά έτους 1999 σε κάθε Δήμο του Νομού Μαγνησίας (στρέμματα)

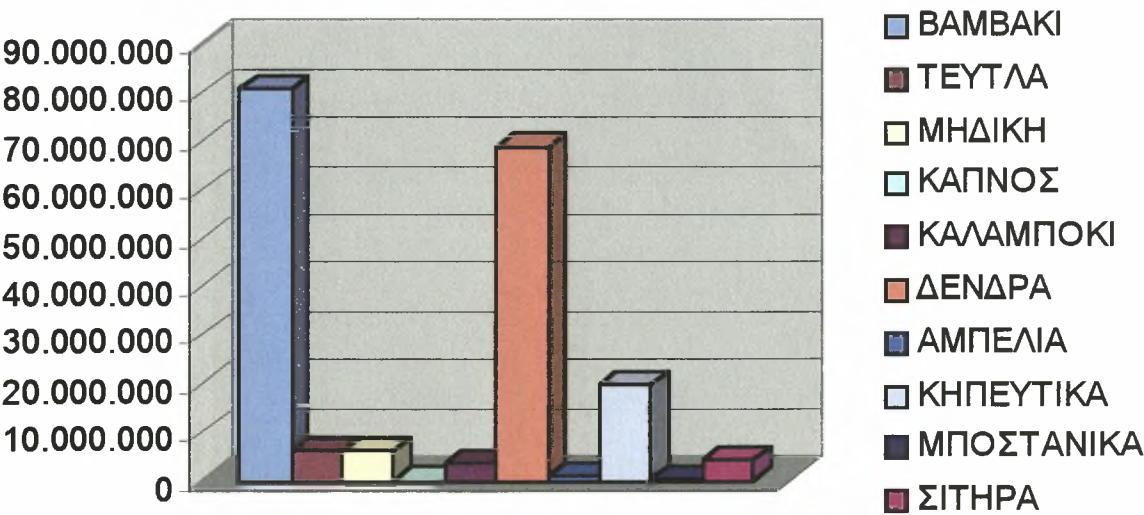
Α/Α	ΔΗΜΟΣ Η ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ	ΒΑΜΒΑΚΙ	ΤΕΥΤΛΑ	ΜΗΔΙΚΗ	ΚΑΠΝΟΣ	ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΔΕΝΔΡΑ	ΑΜΠΕΛΙΑ	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	ΜΠΟΣΤΑΝΙΚΑ	ΣΙΤΗΡΑ	ΣΥΝΟΛΟ
1	Δ. ΑΓΡΙΑΣ	0	0	0	0	0	9250	0	122	0	0	9372
2	Δ. ΑΙΣΩΝΙΑΣ	350	0	150	0	0	3585	30	2430	290	227,25	7062,25
3	Δ. ΑΛΜΥΡΟΥ	33335	600	2200	0	3400	2272	80	7821	210	6070,9	55988,9
4	Δ. ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	0	0	40	0	20	163	20	75	0	349,5	667,5
5	Δ. ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ	0	0	0	0	0	16242	0	749	0	0	16991
6	Δ. ΑΦΕΤΩΝ	0	0	0	0	0	543	0	147	0	36	726
7	Δ. ΖΑΓΟΡΑΣ	0	0	0	0	0	16735	0	498	0	0	17233
8	Δ. ΚΑΡΛΑΣ	47399	2750	3950	0	763	2784	21	1054	80	1502,9	60303,9
9	Δ. ΜΗΛΕΩΝ	0	0	0	0	0	10653	0	300	0	0	10953
10	Δ. ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ	0	0	0	0	0	5068	0	581	0	0	5649
11	Δ. ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	770	350	220	0	350	19295	2248	3765	170	527,2	27695,2
12	Δ. ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	900	0	0	0	0	90	0	302	0	232,5	1524,5
13	Δ. ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ	0	0	10	0	0	1258	58	208	0	0	1534
14	Δ. ΠΤΕΛΕΟΥ	0	0	30	0	0	573	0	26	0	379	1008
15	Δ. ΣΗΠΙΑΔΟΣ	0	0	0	0	0	131	0	85	0	55	271
16	Δ. ΣΟΥΡΠΗΣ	7700	0	235	27	550	3870	5	2731	20	899	16037
17	Δ. ΦΕΡΩΝ	31362	4600	500	0	678	1807	4	10559	80	3377	52967
18	Δ. ΒΟΛΟΥ	0	0	0	0	0	524	99	2132	35	25	2815
19	Δ. ΙΩΛΚΟΥ	0	0	0	0	0	122	0	140	0	0	262
20	Κ. ΑΝΑΒΡΑΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	340	340
21	Κ. ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ	1550	100	100	0	0	9	0	0	0	290,8	2049,8
22	Κ. ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑΣ	0	0	0	0	0	1118	61,5	201	0	10	1390,5
23	Κ. ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	17
ΣΥΝΟΛΟ		123366	8400	7435	27	5761	96092	2626,5	33943	885	14322,05	292.857,6



**Γράφημα 7.13** Οι συνολικές ανάγκες σε νερό μη λαμβανομένης υπόψη της βροχόπτωσης για κάθε καλλιέργεια και για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο,  $ET_{c\ tot}$  ( $m^3$ ), στον Νομό Λάρισας

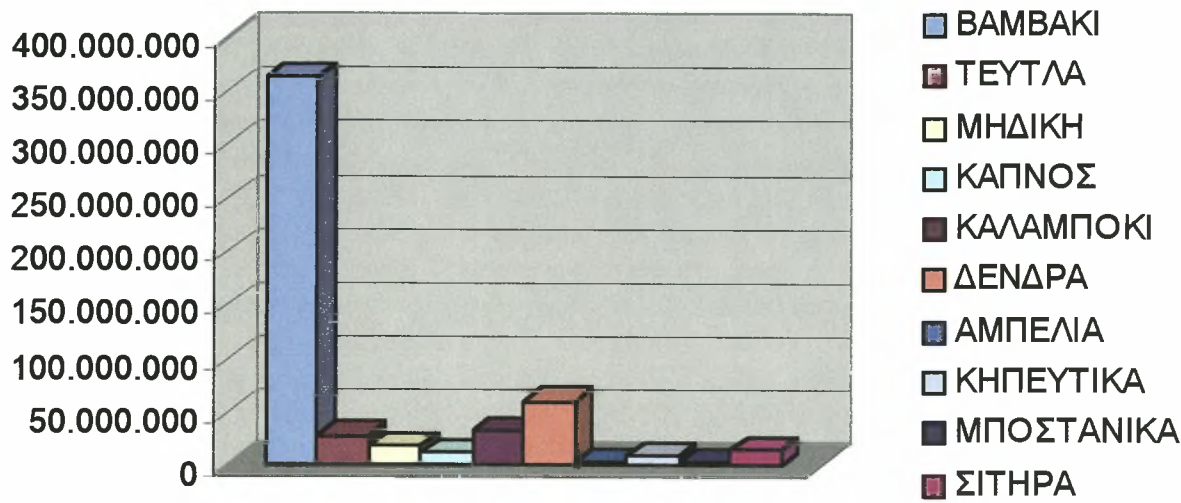


**Γράφημα 7.14** Οι συνολικές συνολικές ανάγκες σε νερό μη λαμβανομένης υπόψη της βροχόπτωσης για κάθε καλλιέργεια και για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο,  $ET_{c\ tot}$  ( $m^3$ ), στον Νομό Μαγνησίας

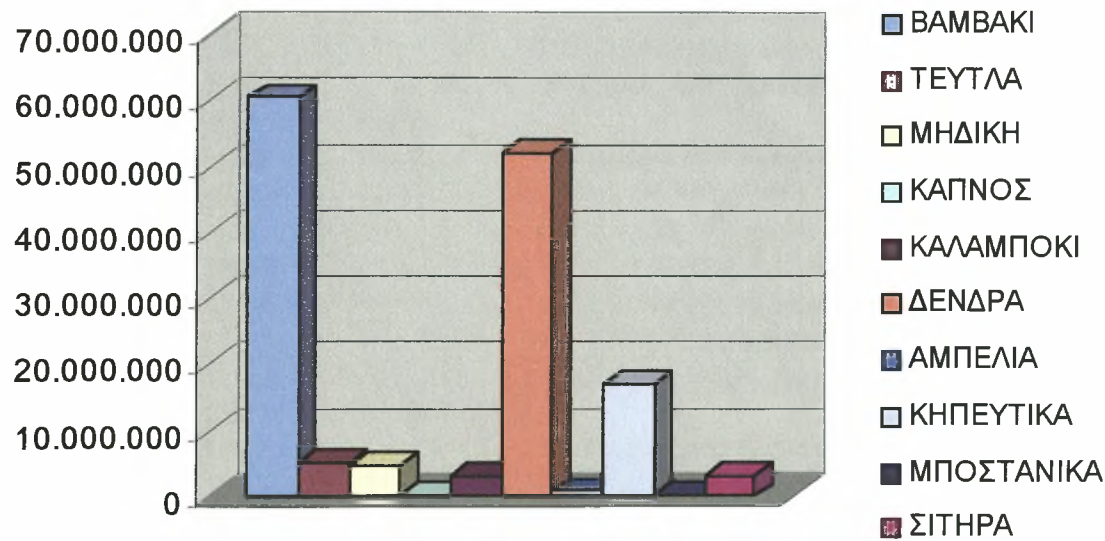




**Γράφημα 7.15** Οι συνολικές ανάγκες σε νερό αρδεύσεως συνυπολογιζομένης της βροχόπτωσης για κάθε καλλιέργεια και για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο σε κάθε Δήμο,  $I_{n\ tot}$  (m<sup>3</sup>) στο Νομό Λάρισας



**Γράφημα 7.16** Οι συνολικές ανάγκες σε νερό αρδεύσεως συνυπολογιζομένης της βροχόπτωσης για κάθε καλλιέργεια και για ολόκληρη την καλλιεργητική περίοδο σε κάθε Δήμο,  $I_{n\ tot}$  (m<sup>3</sup>) στο Νομό Μαγνησίας



## 7.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι συνολικές ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό μη λαμβανομένης υπόψη της βροχόπτωσης,  $ET_{c\ tot}$  κατά την αρδευτική περίοδο για τα 1.180.132 στρέμματα αρδευόμενων εκτάσεων του Νομού Λάρισας είναι 738.634.839,5 m<sup>3</sup> με μέσο όρο 625,89 m<sup>3</sup>/στρέμμα και για τα 292.857,6 στρέμματα αρδευόμενων εκτάσεων του Νομού Μαγνησίας είναι 190.857.949,5 m<sup>3</sup> με μέσο όρο 651,71 m<sup>3</sup>/στρέμμα.

Επίσης, οι συνολικές ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό αρδεύσεως συνυπολογιζομένης της βροχόπτωσης  $I_{n\ tot}$ , κατά την αρδευτική περίοδο για τα 1.180.132 στρέμματα αρδευόμενων εκτάσεων του Νομού Λάρισας είναι 551.423.043,1 m<sup>3</sup> με μέσο όρο 467,26 m<sup>3</sup>/στρέμμα και για τα 292.857,6 στρέμματα αρδευόμενων εκτάσεων του Νομού Μαγνησίας είναι 146.569.377 m<sup>3</sup> με μέσο όρο 500,48 m<sup>3</sup>/στρέμμα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι μόλις το 25,3% των συνολικών αναγκών σε νερό των καλλιεργειών του Νομού Λάρισας καλύπτονται από τη βροχόπτωση, ενώ το υπόλοιπο 74,7% πρέπει να καλυφθεί με άρδευση. Τα αντίστοιχα ποσοστά για το Νομό Μαγνησίας είναι 23,2% και 76,8%.

Οι μεγαλύτεροι όγκοι νερού και στους δύο Νομούς καταναλώνονται από την καλλιέργεια του βαμβακιού, διότι καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση. Σε ποσοστά οι όγκοι νερού αρδεύσεως που καταναλώνουν οι καλλιέργειες είναι:

- Για το Νομό Λάρισας: Βαμβάκι 65,89%, Ζαχαρότευτλα 5,20%, Μηδική 3,53%, Καπνός 2,18%, Καλαμπόκι 5,87%, Δένδρα 11,05%, Αμπέλια 0,84%, Κηπευτικά 1,63%, Μποστανικά 0,82% και Σιτηρά 2,98%.
- Για το Νομό Μαγνησίας: Βαμβάκι 41,31%, Ζαχαρότευτλα 3,40%, Μηδική 3,15%, Καπνός 0,01%, Καλαμπόκι 2,10%, Δένδρα 35,65%, Αμπέλια 0,56%, Κηπευτικά 11,53%, Μποστανικά 0,23% και Σιτηρά 2,06%.

Στην εργασία της Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη κ.α. (1996) με τίτλο "Η υδατοκατανάλωση των καλλιεργειών στο Ν. Λάρισα", στην οποία χρησιμοποιήθηκαν μέσες μηνιαίες τιμές μετεωρολογικών δεδομένων 22 ετών από σταθμούς του Ν. Λάρισας, με τη χρήση της τροποποιημένης μεθόδου του Penman η βασική εξατμισοδιαπνοή για την περίοδο από Μάιο έως και Σεπτέμβριο βρέθηκε 834,36 mm. Στην παρούσα εργασία με τη χρήση μέσων μηνιαίων τιμών μετεωρολογικών δεδομένων 20 ετών από τους ίδιους σταθμούς του Ν. Λάρισας και για το ίδιο χρονικό διάστημα, η βασική εξατμισοδιαπνοή με τη χρήση της μεθόδου των Penman-Monteith βρέθηκε 703,95 mm, δηλαδή 18,5% μικρότερη.

Η εργασία αυτή επιτρέπει στους μελετητές καθώς και στις αρμόδιες υπηρεσίες των Νομών Λάρισας και Μαγνησίας που ασχολούνται με τη μελέτη και την κατασκευή αρδευτικών δικτύων, ταμιευτήρων και φραγμάτων, να εκτιμούν με τη βοήθεια των χαρτών και των πινάκων που παρατίθενται, τις ανάγκες σε νερό αρδεύσεως των καλλιεργειών για κάθε μελετούμενη έκταση. Επίσης μπορεί να συμβάλει στην εύρυθμη λειτουργία των υφιστάμενων αρδευτικών δικτύων και γενικότερα στην ορθολογική χρήση και διαχείριση του νερού. Σε αυτά βοηθάει και η μικρή τμηματική διαίρεση των Νομών κατά Δήμο όπου έγιναν οι υπολογισμοί.

Η διαδικασία υπολογισμού της βασικής εξατμισοδιαπνοής είναι δυναμική, δηλαδή οι τιμές της πρέπει να ανανεώνονται με την προσθήκη νέων κλιματικών δεδομένων από τους υφιστάμενους ή τους νέους μετεωρολογικούς σταθμούς που εγκαθίστανται. Διαπιστώνεται ότι ο αριθμός των μετεωρολογικών σταθμών είναι μικρός και η κατανομή τους στο χώρο δεν είναι η άριστη. Επίσης είναι απαραίτητη η σωστή αρχειοθέτηση των στοιχείων που υπάρχουν, ώστε να είναι δυνατή η διατήρηση και η αξιοποίησή τους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome.
- Allen, R.G., Smith, M., Pereira, L. S. and Pruitt, W. O. 1996. Proposed revision to the FAO procedure for estimating crop water requirements. Proc. Of the 2<sup>nd</sup> Int. Symp. On Irrigation of Horticultural Crops., K. S. Hartzoulakis (ed.), Vol. 1, p. 17-33.
- Allen, R. G. and Pruitt, W.O. 1986. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE 112(IR2):139-155.
- Allen, R. G., and Pruitt, W. O., 1991. FAO-24 reference evapotranspiration factors. J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 117 (5), 758-773.
- Allen, R. G., Jensen, M. E., Wright, J. L., and Burman, R. D. 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. Agron. J. 81: 650-662.
- Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A., and Pereira, L. S. 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. ICID Bulletin.
- Βασιλόπουλος, Η., 1991, Μεθοδολογία εκτίμησης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για τον ορθολογικό σχεδιασμό των αρδευτικών έργων. Διδακτορική διατριβή. Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
- Beard, J. R. 1985. An assessment of water use by turfgrass. p. 45-60 in Gibeault, V. A. and Cockerham, S. T. (Editors). Turfgrass Water Conservation. Publ. 21405, Univ. Calif., Div. of Agr. and Nat. Resour., Berkley, Calif.
- Biran, I., Bravdo, B., Bushkin-Harav, I., and Rawitz, E. 1981. Water consumption and growth rate of 11 turfgrasses as affected by mowing height, irrigation frequency and soil moisture. Agron. J. 73: 85-90.
- Blaney, H.F. and Criddle, W. D. 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA Soil Conserv. Serv. SCS-TP96. 44pp.
- Brutsaert, W. H., 1982. Evaporation into the Atmosphere. R. Deidel Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- Burman, R. D., Jensen, M. E., and Allen, R. G. 1987. Thermodynamic factors in evapotranspiration. In: James, L. G. and M. J. English (editors), Proc. Irrig. and Drain. Spec. Conf., ASCE, Portland, Ore., p. 28-30.
- Choudhury, B. J., Idso, S. B., and Reginato, R. J. 1987. Analysis of an empirical model for soil heat flux under a growing wheat crop for estimating evaporation by an infrared temperature based energy balance equation. Agric. for. Meteorol. 39: 283-297.
- Clothier, B. E., Clawson, K.L., Pinter, P. J., Moran, M.S., Reginato, R. J. and Jackson, R. D. 1986. Estimates of soil heat flux from net radiation during the growth of alfalfa. Agric. for. Meteorol. 37: 319-329.
- Δαλέζιος, Ν. Ρ., 1999. Σημειώσεις Φυσικών Περιβαλλοντικών Κινδύνων, Βόλος.
- Doorenbos, J. and Kassam, A. H., 1979. Yield response to water. FAO Irrig. and Drain. Paper No 33, FAO, Rome, 193p.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977, Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No 24, 2<sup>nd</sup> Ed. 144 p., FAO, Rome, Italy.



- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1975. Guidelines for predicting crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 179p.
- Duffie, J. A. and Beckman, W. A. 1991. Solar engineering of thermal processes. 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley and sons, New York. 994 p.
- Harrison, L. P. 1963. Fundamentals concepts and definitions relating to humidity. In Wexler, A. (Editor). Humidity and moisture Vol 3, Reinhold Publishing Co., N.Y.
- Feddes, R. A. 1987. Crop factors in relation to Makkink reference crop evapotranspiration. Tech. Bull. Inst. for Land and Water Management Research. No. 67, pp. 33-45.
- Frank, A.B. 1981. Effect of leaf age and position on photosynthesis and stomatal conductance of forage grasses. Agron. J. 73: 70-74.
- Frevert, D. K., Hill, R. W., and Braaten, B. C. 1983. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE 109(IR2):265-270.
- George, W., Pruitt, W. O., and Dong, A. 1985. Evapotranspiration modeling. In: California Irrigation Management Information System, Final Report, by R. Snyder, D. W. Henderson, Pruitt, W. O., and Dong, A. Calif. Dept. Water Resour. Contract. No. B53812. Land, Air and Water Resources Pap. 10013-A, Univ. Calif., Davis, III-36 to III-59.
- Hatfield, J. L. and Fuchs, M. 1990. Evapotranspiration models. Chapter 3, pp 33-59 in Management of Irrigation Systems (G. L. Hoffman, T. A. Howell, and K. H. Solomon (ed)), ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Jensen, M. E. 1968. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T. T. (ed) Water Deficits and Plant Growth, vol II, Academic Press, New York: 1-22.
- Jensen, M. E. 1974. (ed). Consumptive use of water and irrigation water requirements. Rep. Tech. Com. On Irrig. Water Requirements, Irrig. and Drain. Div., ASCE, 227pp.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G., (ed). 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70., Am. Soc. Civil Engrs., New York, NY, 360 p.
- Κερκίδης Π. 1996. "ΦΥΣΙΚΗ ΕΛΑΦΟΥΣ (Συμπληρωματικές σημειώσεις)".
- Κούγκουλος, Κ., 1979. Τα προβλήματα της Θεσσαλίας. Πρακτικά Συνεδρίου Υδάτινου Δυναμικού Θεσσαλίας, Τ.Ε.Ε. Λάρισα.
- Κωτσόπουλος, Σ., και Μπαμπατζιμόπουλος, Χ., 1995, Υπολογισμός παραμέτρων της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς. Πρακτικά 5<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ, 482-489.
- List, R. J. 1984. Smithsonian Meteorological Tables, 6<sup>th</sup> rev. Ed., Smithsonian Institution, Washington D. C., U.S.A. 539 p.
- Maas, E. V. and Hoffman, G. J., 1977. Crop salt tolerance – current assessment. J. Irrigation and Drainage division. ASCE 103 (I.R.Z.), 115, 134. Proc. paper 12993.
- Maas, E. V., 1984. Salt tolerance of plant in: The handbook of plant science in agriculture. B. R. Cristie (id.). CRC Press, Florida.
- Marlatt, W. E., 1961. The interactions of microclimate, plant cover and soil moisture content affecting evapotranspiration rate. Colorado State Univ., Dept. of Atm. Sci. Tech. Paper No 23.
- Menachem A, 1996, Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation.
- Μήτσιος, Ι.Κ, 1999.Εδαφολογία, Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.



- Monteith, J. L., 1959. The reflection of short-wave radiation by vegetation. Quarterly J. Royal Meteor. Soc. 85: 386-392.
- Monteith, J. L. 1981. Evaporation and surface temperature. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 107: 1-27.
- Monteith, J. L. 1985. Evaporation from land surfaces: progress in analysis and prediction since 1948. Pp. 4-12 in Advances in Evapotranspiration, Chicago, III. ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Monteith, J. L., 1965. Evaporation and Environment. 19<sup>th</sup> Symposia of the Society for Experimental Biology, University Press, Cambridge, 19:205-234.
- Monteith, J. L., 1973. Principles of Environmental Physics, Edward Arnold, London.
- Πανώρας, Α. και Μαυρουδής, Ι., 1995, Μέσες ανάγκες σε νερό των εαρινών καλλιεργειών της λεκάνης απορροής του ποταμού Λουδία. Γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα. Τόμος 6, τεύχος 1, 53-61.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1984, Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1991, Προσδιορισμός φυτικών συντελεστών προσαρμοσμένων στις Ελληνικές συνθήκες. Υπουργείο Γεωργίας, σ. 28.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1999. Οι ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Πατμανίδης, Ι., 1979, Ανάγκες της Θεσσαλίας σε νερό για αρδεύσεις και υδρεύσεις ζώων. Πρακτικά Συνεδρίου Υδάτινου Δυναμικού Θεσσαλίας, Τ.Ε.Ε. Λάρισα.
- Penman, H. L., 1948. "Natural evaporation from open water, bare soil and grass." Proc. Roy. Soc. London, A193, 120-146.
- Penman, H. L., 1963. Vegetation and hydrology. Tech. Comm. No. 53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, England. 125p.
- Penman, H. L., 1956. Evapotranspiration: An introductory survey. The Netherlands J. Agr. Sci. 4: 9-29.
- Pereira, L. S. and Smith, M. 1989. Proposed procedures for revision of guidelines for predicting crop water requirements. Land and Water Use Div., FAO Rome, 36p.
- Perrier, A. 1982. Land surface processes: vegetation. pp. 395-448 in P. S. Eagleson (Editor), Land Surface Processes in Atmospheric General Circulation Models. Cambridge Univ. Press, Cambridge, Mass.
- Πουλοβασίλη Α. "ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ" (ΣΤΡΑΤΗΓΙΣΕΙΣ).
- Πουλοβασίλη Α. 1986. "ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ" (ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ: Ι).
- Rijtema, P. E., (1965). "Analysis of actual evapotranspiration." Agric. Res. Rep. No. 69, Centre for Agric. Publ. and Doc., Wageningen.
- Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Πανώρας, Α., Μαυρουδής, Ι., και Πογιαρίδης, Θ., 1996, Καμπύλες ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης στο Νομό Λάρισας. Β' Πανελλήνιο Συνέδριο "Εγγειοβελτιωτικά έργα-Διαχείριση υδατικών πόρων-Εκμηχάνιση Γεωργίας", ΓΕΩΤΕΕ Κεντρικής Ελλάδας, Απρίλιος, Λάρισα.
- Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Πανώρας, Α., Μαυρουδής, Ι., και Πογιαρίδης, Θ., 1996, "Χάρτες κατανομής μέσης μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης στους Νομούς Καρδίτσας και Τρικάλων. Διεθνές Επιστημονικό Συνέδριο "Διαχείριση υδατικών πόρων", Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Περιφερειακό Τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας, Νοέμβριος, Λάρισα.
- Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 1996, Συνολικές ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών του θεσσαλικού κάμπου, Υδροτεχνικά, Τόμος 6, σελ. 62-77.

- Sharma, M. L. 1985. Estimating evapotranspiration. p. 213-281 in Adv. in Irrigation.
- Smith, M., Allen, R. G., Monteith, J. L., Perrier, A., Pereira, L., and Segeren, A. 1992. Report of the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. UN-FAO, Rome, Italy, 54p.
- Smith, M., Allen, R. G., Monteith, J. L., Perrier, A., Pereira, L. and Segeren, A., 1991. Report of the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. UN-FAO, Rome, Italy, 54 p.
- Stringer, W. C., Wolf, D. D., and Baser, R. E. 1981. Summer regrowth of tall fescue: stubble characteristics and microenvironment. Agron. J. 73: 96-100.
- Swan, J. B., Groskopp, M. D. and Tanner, C. B., 1963. Net radiation and evapotranspiration from irrigated snapbeans. Agr. Abstracts, p. 67.
- Szeicz, G. and Long, I. F. 1969. Surface resistance of crop canopies. Water resour. Res. 5, 622-633.
- Tanner, C. B., 1963. Basic instrumentation and measurements for plant environment and microclimatology. Univ. Of Wisconsin, Soils Bull. No 6, Madison, 156 p.
- Tarantino, E. 1991. Grass reference measurements in Italy in Allen, R. G., Howell, T. A., Pruitt, W. O., Walter, L.A., and Jensen, M. E. (Editors), Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements, ASCE, New York, NY p. 200-209.
- Thompson, N., Barrie, I. A. and Ayles, M., 1981. The Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system MORECS. Hydrological Memorandum 45, Hydrometeorological Services, London, 66 p.
- U.S.D.A., Soil conservation service 1970. Irrigation water requirements. Tech. Release No 21, 92-94.
- Van Wijk, W. R. and de Vries, D. A. 1963. Periodic temperature variations in a homogeneous soil. In: van Wijk, W. R. (Editor). Physics of the plant environment. North-Holland Publ. Co. Amsterdam, p. 102-143.
- Watts, P. J. and Hancock, N. H. 1985. Evaporation and potential evaporation-a practical approach for agricultural engineers. Mech. Engrg. Trans. 10(4):231-240 plus discussions during 1986.
- Wright, J. L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. J. Irrig. and Drain. Div., ASCE, 108(IR2): 57-74.
- YEET, 1980, (Υπηρεσία Επιστημονικής Έρευνας και Τεχνολογίας). Συντονισμένο πρόγραμμα για την ανάπτυξη και προσαρμογή μεθόδων εκτίμησης του υδατικού δυναμικού της χώρας. Τεχνική Έκθεση, αρ. 4, σελ. 88.
- Υπουργείο Ανάπτυξης, 1996. Σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας. Αθήνα, σελ. 23-24.
- Χατζηλάκος, Γ., 1979. Υπολογισμός των αναγκών σε νερό για άρδευση στο Θεσσαλικό χώρο. Πρακτικά Συνεδρίου Υδάτινου Δυναμικού Θεσσαλίας, Τ.Ε.Ε. Λάρισα.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072399