



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ-ΑΓΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΜΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΩΝ  
ΦΥΤΩΝ (ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ, ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ  
ΥΨΗΛΗΣ ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗΣ ΑΞΙΑΣ)

**Βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης (φαρμακευτικών, αρωματικών,  
φυτών) σε υφιστάμενα μεσογειακά θερμοκήπια χαμηλής έντασης  
κεφαλαίου**

**Παναγιώτης Παπαγεωργίου**

**Επιβλέπων καθηγητής: Παπαϊωάννου Χρυσούλα**

**Σεπτέμβριος 2022**

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να μελετηθούν παράγοντες που μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης (φαρμακευτικών, αρωματικών, φυτών) σε υφιστάμενα μεσογειακά θερμοκήπια χαμηλής έντασης κεφαλαίου. Πιο συγκεκριμένα, οι παράγοντες που εξετάστηκαν ήταν α) το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου, β) το κλίμα εντός του θερμοκηπίου και ο έλεγχος αυτού και γ) η ποιότητα του νερού άρδευσης. Για την κάλυψη του σκοπού αυτού, έλαβε χώρα μια βιβλιογραφική ανασκόπηση υπαρχόντων πηγών, που σχετίζονται με το θέμα. Από όλα όσα εξετάστηκαν εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι ένα θερμοκήπιο και ειδικότερα ένα θερμοκήπιο στη Μεσόγειο είναι ένα πολυσύνθετο «σύστημα», που για να μπορέσει να λειτουργήσει με αποτελεσματικό τρόπο, ώστε να εξασφαλίσει μια βελτιωμένη ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών απαιτεί ένα διαρκή έλεγχο και μια ορθή διαχείριση τόσο του σχεδιασμού του (υλικά κάλυψης) όσο και του επικρατούντος κλίματος και της ποιότητας του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση.

*Λέξεις - κλειδιά:* θερμοκήπιο, Μεσόγειος, βελτίωση ανάπτυξης καλλιεργούμενων φυτών

## **Abstract**

The purpose of this research was to study factors that can contribute to the improvement of the growth conditions (pharmaceutical, aromatic, plants) in existing Mediterranean greenhouses of low capital intensity. More specifically, the factors examined were a) the covering material of the greenhouse, b) the climate inside the greenhouse and its control and c) the quality of the irrigation water. To cover this purpose, a bibliographic review of existing sources related to the subject took place. From all that was examined, it was concluded that a greenhouse and in particular a greenhouse in the Mediterranean is a complex "system", which in order to be able to function in an effective way, in order to ensure an improved growth of cultivated plants, requires a constant control and a correct management of its design (covering materials), the prevailing climate and the quality of the water used for irrigation.

**Keywords:** *greenhouse, Mediterranean, growth improvement of cultivated plants*

## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	i
Abstract.....	ii
Πίνακας Περιεχομένων.....	iii
Κατάλογος Εικόνων και Σχημάτων .....	vi
Κατάλογος Πινάκων .....	vii
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΘΕΜΑ.....	1
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ .....	2
1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	4
1.4 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	4
<b>2. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΝΤΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ – ΥΛΙΚΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ6</b>	
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	6
2.2 ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ ΩΣ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ.....	8
2.2.1 Πολυμερή και πρόσθετα .....	9
2.2.2 Ιδιότητες πλαστικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων που σχετίζονται με μια βελτιωμένη ανάπτυξη των φυτών .....	11
2.2.2.1 Διαφανείς μεμβράνες και μεμβράνες διάχυσης .....	11
2.2.2.2 Μεμβράνες κατά της σκόνης .....	12
2.2.2.3 Μεμβράνες κατά των σταγονιδίων .....	12
2.2.3 Πλαστικά που εμποδίζουν την εγγύς υπέρυθη ηλιακή ακτινοβολία .....	13
2.2.4 Αποκλεισμός της υπεριώδους ακτινοβολίας για τον περιορισμό της επιβλαβούς δραστηριότητας των εντόμων .....	14
2.3 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ.....	15

<b>3. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΝΤΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ - ΚΛΙΜΑ.....</b>	<b>17</b>
3.1 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ .....	17
3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ.....	19
3.2.1 Αερισμός, σκίαση και ψύξη.....	19
2.2.1.1 Αερισμός.....	20
3.2.1.2 Σκίαση.....	24
3.2.1.3 Ψύξη με εξάτμιση .....	26
3.2.2 Θέρμανση.....	32
3.2.2.1 Συστήματα θέρμανσης.....	34
3.2.3 Εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα.....	43
3.2.4 Αφύγρανση .....	46
3.2.4.1 Τρόποι αφύγρανσης .....	46
3.2.4.2 Καλυπτικά υλικά με αντισταγονικές ιδιότητες.....	48
3.2.4.3 Συστάσεις για μια βελτιωμένη αφύγρανση.....	48
<b>4. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΝΤΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ – ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ .....</b>	<b>50</b>
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	50
4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ – ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ.....	50
4.2.1 Φυσικές παράμετροι .....	51
4.2.1.1 Θερμοκρασία .....	51
4.2.1.2 Αιωρούμενα στερεά.....	52
4.2.2 Χημικές παράμετροι .....	54
4.2.2.1 Οξυγόνο και άλλα αέρια συστατικά .....	54
4.2.2.2 pH.....	55
4.2.2.3 Αλκαλικότητα .....	56
4.2.2.4 Αλατότητα (ολικά διαλυτά άλατα) .....	56
4.2.2.5 Τοξικά στοιχεία.....	58

4.2.2.6 Σκληρότητα.....	61
4.2.2.7 Τροφικές ουσίες.....	63
4.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	64
4.4 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΑΛΑΤΟΥΧΟ Ή ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΝΕΡΟ .....	66
4.5 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΖΗΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ.....	68
4.5.1 Αφαλάτωση.....	68
4.5.2 pH.....	71
4.5.2.1 Αύξηση οξύτητας.....	71
4.5.2.2 Προσθήκη διττανθρακικών.....	74
4.5.3 Διήθηση.....	75
4.6 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΝΕΤΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.....	76
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>78</b>
5.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	78
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>80</b>

## Κατάλογος Εικόνων και Σχημάτων

Εικόνα 2.1 Διαφανής μεμβράνη (αριστερά) και μεμβράνη διάχυσης (δεξιά) (Montero et al., 2013) .....	12
Εικόνα 2.2 Συμβατική μεμβράνη (αριστερά) έναντι μεμβράνης με πρόσθετα κατά των σταγονιδίων (δεξιά) (Montero et al., 2013) .....	13
Σχήμα 3.1 Μέση ηλιακή ακτινοβολία έναντι της μέσης θερμοκρασίας του αέρα για διαφορετικές ευρωπαϊκές τοποθεσίες (Kittas et al., 2013) .....	18
Εικόνα 3.1 Διαφορετικοί συνδυασμοί ανοιγμάτων με σκοπό την εξασφάλιση φυσικού αερισμού (Kittas et al., 2013) .....	21
Εικόνα 3.2 Ανεμιστήρες σε θερμοκήπια για τον τεχνητό αερισμό τους (Van Straten et al., 2010) .....	22
Εικόνα 3.3 Ανακλαστικά σκίαστρα για τη σκίαση του θερμοκηπίου και την αποφυγή της υπερθέρμανσης (Kittas et al., 2013) .....	25
Εικόνα 3.4 Σύστημα ομίχλης (Kittas et al., 2013) .....	28
Εικόνα 3.5 Σύστημα ψύξης με βρεγμένη παρειά (Kittas et al., 2013).....	31
Εικόνα 3.6 Θερμαντήρες (Kittas et al., 2013).....	35
Εικόνα 3.7 α) Κεντρικός λέβητας και β) σωλήνες θέρμανσης για την απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας (Kittas et al., 2013).....	36
Εικόνα 3.8 Σωλήνες περιμετρικά των τοίχων του θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013) .	36
Εικόνα 3.9 Σωλήνες στην οροφή του θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013) .....	37
Εικόνα 3.10 Σωλήνες κοντά στη βάση των φυτών (Kittas et al., 2013).....	38
Εικόνα 3.11 Σωλήνες σε ράγες εντός του θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013).....	39

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Πυκνότητα διαφορετικών πολυμερών, που χρησιμοποιούνται σε θερμοκήπια (Abdel-Bary, 2003; Schiller, 2016) .....	9
Πίνακας 3.1 Συντελεστής απώλειας θερμότητας (U) για μια ταχύτητα ανέμου η m/ s (Kittas et al., 2013).....	33
Πίνακας 4.1 Επίδραση της ποιότητας του νερού στην πιθανότητα απόφραξης σε συστήματα τοπικής (στάγδην) άρδευσης (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).....	53
Πίνακας 4.2 Παράμετροι που μετριοούνται για να καθοριστεί η ποιότητα του νερού (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013) .....	64
Πίνακας 4.3 Επίδραση της αλατότητας, τοξικότητας και θρεπτικών συστατικών στην ποιότητα του νερού (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).....	65
Πίνακας 4.4 Επιθυμητά επίπεδα θρεπτικών συστατικών και άλλων στοιχείων στο νερό άρδευσης (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).....	66



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΘΕΜΑ

Λαμβάνοντας υπόψη ότι στην σύγχρονη εποχή παρατηρείται μια υψηλή ζήτηση για την υψηλής ποιότητας παραγωγή του οποιουδήποτε τύπου φυτού καθόλη τη διάρκεια του έτους, είναι λογικό τα θερμοκήπια να πρέπει να μπορούν να ανταποκριθούν μέσα από την υιοθέτηση των κατάλληλων στρατηγικών.

Σε ότι αφορά ειδικότερα μέρη, που χαρακτηρίζονται από το ήπιο μεσογειακό κλίμα, μια τέτοια υψηλής ποιότητας παραγωγή καθόλη τη διάρκεια του έτους δεν είναι εφικτή με αποτέλεσμα να κρίνεται σκόπιμη η υιοθέτηση μιας από τις δύο παρακάτω στρατηγικές (Castilla και Hernandez, 2007):

- Καλλιέργεια σε θερμοκήπια υψηλής τεχνολογίας, στα οποία επιτυγχάνεται η αποφυγή μιας μεγάλης εξάρτησης από το κλίμα που επικρατεί εκτός του θερμοκηπίου.
- Καλλιέργεια σε τουλάχιστον δύο διαφορετικές τοποθεσίες, των οποίων η παραγωγή λειτουργεί συμπληρωματικά με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή η συνεχής παραγωγή και έτσι και κάλυψη της ζήτησης της αγοράς/ αγορών καθόλη τη διάρκεια του έτους.

Σημειώνεται ότι η δεύτερη στρατηγική της καλλιέργειας σε διαφορετικές τοποθεσίες και ενδεχομένως σε θερμοκήπια διαφορετικού τεχνολογικού επιπέδου κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος σε παγκόσμιο επίπεδο (Castilla και Hernandez, 2007).

Ωστόσο, μέχρι τουλάχιστον πρόσφατα στην περιοχή της Μεσογείου, την πιο συνηθισμένη στρατηγική στην παραγωγή των διαφορετικών φυτών αποτέλεσε η προσαρμογή τους σε ένα περιβάλλον χαρακτηριζόμενο από όχι τις πλέον βέλτιστες συνθήκες. Αντίθετα, στις χώρες της Βόρειας Ευρώπης, και με στόχο τη μεγιστοποίηση της παραγωγής, η επιλεγόμενη στρατηγική ήταν συνήθως αυτή της βελτίωσης των περιβαλλοντικών συνθηκών εντός του θερμοκηπίου (FAO, 1990).

Βέβαια στην σύγχρονη εποχή και λόγω του αυξημένου ανταγωνισμού ως απόρροιας μιας παγκοσμιοποιημένης αγοράς, αποτελεί αδήριτη ανάγκη και για τις

χώρες τις Μεσογείου η βελτιστοποίηση του κλίματος εντός του θερμοκηπίου, που συνεπάγεται έτσι και την καλύτερη ποιότητα των παραγόμενων φυτών (Castilla και Montero, 2008).

Ποιες είναι όμως οι παράμετροι του κλίματος που θα έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη και να βελτιστοποιούνται, ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες ανάπτυξης εντός ενός υφιστάμενου μεσογειακού θερμοκηπίου; Πώς μπορεί ακόμη να επιτευχθεί ένας βέλτιστος έλεγχος της ποιότητα του νερού της άρδευσης; Πριν όμως από τον έλεγχο του κλίματος και της ποιότητας του νερού, πόσο σημαντικός είναι ο ίδιος ο σχεδιασμός του ίδιου του θερμοκηπίου;

Αυτά τα ερωτήματα απαντώνται μεταξύ άλλων διεξοδικά στα Κεφάλαια που ακολουθούν, απαντώντας ταυτόχρονα και στο κεντρικό ερώτημα της παρούσας εργασίας που είναι το εξής:

*Με ποιον τρόπο μπορούν να βελτιωθούν οι συνθήκες ανάπτυξης (φαρμακευτικών, αρωματικών, φυτών) σε υφιστάμενα μεσογειακά θερμοκήπια χαμηλής έντασης κεφαλαίου;*

## 1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να μελετηθούν παράγοντες που μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης (φαρμακευτικών, αρωματικών, φυτών) σε υφιστάμενα μεσογειακά θερμοκήπια χαμηλής έντασης κεφαλαίου.

Για το σκοπό αυτό, επιλέχτηκαν τρεις θεμελιώδεις παράγοντες που μπορούν να επιδράσουν θετικά στη βελτίωση αυτή: α) υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου και βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης μέσα από την αντικατάστασή του με πιο σύγχρονα και καινοτόμα υλικά, β) κλίμα και έλεγχος αυτού για την εξασφάλιση ότι εντός του θερμοκηπίου θα επικρατούν οι βέλτιστες κλιματικές συνθήκες για μια βελτιωμένη ανάπτυξη και γ) ποιότητα του νερού άρδευσης και εξασφάλιση αυτής και πάλι για μια βελτιωμένη ανάπτυξη.

Σημειώνεται ότι οι τρεις αυτοί παράγοντες επιλέχτηκαν για τους εξής λόγους:

- Όπως θα διαπιστωθεί στη συνέχεια τα περισσότερα υφιστάμενα μεσογειακά θερμοκήπια χαμηλής έντασης κεφαλαίου είναι κατασκευασμένα με φτηνά και

συμβατικά υλικά κάλυψης, που δε συνηγορούν στο έλεγχο του κλίματος και παράλληλα δεν ευνοούν μια βέλτιστη ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών.

Μάλιστα τα υλικά αυτά φθείρονται εύκολα, απαιτώντας αντικατάσταση, κάτι που επιτρέπει αντί των φτηνών και συμβατικών υλικών κάλυψης την εφαρμογή νέων και καινοτόμων υλικών, που θα συμβάλουν ώστε να βελτιωθεί η ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών.

- Το κλίμα επιλέχτηκε, καθώς πρώτη ανάγκη και προϋπόθεση για τη βελτίωση της ανάπτυξης των καλλιεργούμενων φυτών είναι να επικρατούν οι κατά το δυνατόν βέλτιστες κλιματικές συνθήκες.

Έναν ακόμη λόγο αποτελεί η κλιματική αλλαγή, η οποία θα ασκήσει επιπλέον πίεση στις κλιματικές συνθήκες που θα επικρατούν σε υφιστάμενα θερμοκήπια, γεγονός που «αναγκάζει» του καλλιεργητές να προετοιμαστούν όσο το δυνατόν καλύτερα, εξασφαλίζοντας εκ των προτέρων βέλτιστες κλιματικές συνθήκες εντός των θερμοκηπίων τους.

- Το νερό άρδευσης και η ποιότητα αυτού επιλέχτηκε, γιατί ενδεχομένως είναι ένας παράγοντας στον οποίο οι καλλιεργητές φυτών θερμοκηπίου δεν αποδίδουν τη μέγιστη προσοχή, αφού σίγουρα εστιάζουν σε άλλους παράγοντες, όπως για παράδειγμα το έδαφος και η λίπανση αυτού. Κατά συνέπεια, ένας λόγος για την επιλογή της εξέτασης της ποιότητας του νερού άρδευσης αποτελεί το γεγονός ότι ενώ συμβάλει σε μεγάλο βαθμό σε μια βέλτιστη ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών, συχνά παραβλέπεται επειδή άλλοι παράγοντες ίσως να θεωρούνται πιο σημαντικοί.

Ένας ακόμη λόγος είναι το γεγονός ότι οι διαθέσιμες ποσότητες νερού κατάλληλου για άρδευση μειώνονται σε παγκόσμιο επίπεδο, γεγονός που θα αναγκάσει όλους τους καλλιεργητές να αναζητήσουν πηγές νερού μιας ανεπαρκούς ποιότητας, το οποίο και θα πρέπει να γνωρίζουν πώς να αναβαθμίσουν σε ό,τι αφορά την ποιότητα.

Ένας επιπλέον λόγος είναι το ζήτημα της ποιότητας του νερού δεν είναι ένα ζήτημα για το οποίο οι καλλιεργητές έχουν τόσο μεγάλη γνώση όσο για άλλες παραμέτρους, όπως η ποιότητα του εδάφους ή η συχνότητα άρδευσης, που έχουν μελετηθεί από την υπάρχουσα βιβλιογραφία πιο

εντατικά και σαν αποτέλεσμα έχουν υπάρξει πολύ πιο αναλυτικές και διεξοδικές οδηγίες και κατευθυντήριες γραμμές.

Για την κάλυψη του παραπάνω σκοπού, οι επιμέρους στόχοι της έρευνας έχουν ως εξής:

1. Εξέταση και ανάλυση των υλικών κάλυψης ενός θερμοκηπίου που μπορούν να συμβάλουν σε βελτιωμένες συνθήκες ανάπτυξης εντός ενός υφιστάμενου μεσογειακού θερμοκηπίου
2. Εξέταση και ανάλυση του ποιες είναι οι παράμετροι του κλίματος που θα έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη και να βελτιστοποιούνται, ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες ανάπτυξης εντός ενός υφιστάμενου μεσογειακού θερμοκηπίου
3. Εξέταση και ανάλυση του ποιες είναι οι παράμετροι της ποιότητας του νερού άρδευσης που θα έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη και να βελτιστοποιούνται, ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες ανάπτυξης εντός ενός υφιστάμενου μεσογειακού θερμοκηπίου.

### 1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Με στόχο να διερευνηθούν και να αναλυθούν τα παραπάνω ζητήματα, στην παρούσα έρευνα λαμβάνει χώρα μια βιβλιογραφική ανασκόπηση υπαρχόντων πηγών, που σχετίζονται με το θέμα. Τα δεδομένα έτσι που χρησιμοποιούνται είναι δευτερογενή είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά και προέρχονται αποκλειστικά από επιστημονικά περιοδικά, βιβλία και εκθέσεις από διεθνείς οργανισμούς.

### 1.4 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στην παρούσα έρευνα γίνεται μια προσπάθεια να παρουσιαστούν εμπειριστατωμένες, αναλυτικές και συγκεντρωμένες οδηγίες και κατευθυντήριες γραμμές για τη βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης εντός υφιστάμενων θερμοκηπίων, που βρίσκονται εξειδικευμένα στην περιοχή της Μεσογείου. Οι οδηγίες και κατευθυντήριες αυτές γραμμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε από τους ίδιους

τους καλλιεργητές για τη βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης εντός των θερμοκηπίων είτε από συναφείς και υπεύθυνους κρατικούς φορείς για την ενημέρωση των καλλιεργητών.

Με τον τρόπο αυτό και ακολουθώντας τις συστάσεις, που προκύπτουν, οι καλλιεργητές μπορούν όντως να επιτύχουν μια βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης των καλλιέργειών τους, αυξάνοντας έτσι την απόδοσή τους με αποτέλεσμα να γίνουν πιο ανταγωνιστικοί στην παγκόσμια αγορά και ταυτόχρονα να εξασφαλίσουν τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του θερμοκηπίου τους.

## **2. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΝΤΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ – ΥΛΙΚΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ**

### **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο παρόν Κεφάλαιο γίνονται συστάσεις για την αντικατάσταση του υλικού κάλυψης σε υπάρχοντα μεσογειακά θερμοκήπια με στόχο τη βελτιωμένη ανάπτυξη των καλλιεργημένων φυτών. Προηγουμένως όμως λαμβάνει χώρα μια βασική περιγραφή του κύριου τύπου θερμοκηπίων χαμηλής έντασης κεφαλαίου στην περιοχή της Μεσογείου.

Ο κύριος τύπος θερμοκηπίου είναι το θερμοκήπιο τοπικού τύπου. Ο συγκεκριμένος τύπος θερμοκηπίου αποτελεί συνήθως μια κατασκευή με πολύ μικρό αρχικό κόστος, που διαθέτει έναν πολύ χαμηλού επιπέδου κλιματικό έλεγχο πέραν του φυσικού αερισμού. Κατασκευάζεται από τοπικά υλικά και κυρίως ξύλο, ενώ ως υλικό κάλυψης χρησιμοποιούν πλαστική μεμβράνη πολυαιθυλενίου (Baeza et al., 2009).

Μια κατηγορία θερμοκηπίων τοπικού τύπου, η οποία είναι πιο ευρέως διαδεδομένη από την άποψη των στρεμμάτων που καταλαμβάνει στη Μεσόγειο, είναι το θερμοκήπιο, που κατασκευάζεται από μια κατακόρυφη δομή από άκαμπτες κολόνες με υλικό το ξύλο ή τον χάλυβα, στις οποίες πρώτα τοποθετείται ένα διπλό πλέγμα από σύρμα, που λειτουργεί ως βάση για να στερεωθεί η πλαστική μεμβράνη (Baeza et al., 2009).

Όπως προειπώθηκε, στα θερμοκήπια τοπικού τύπου απαιτείται ένα σχετικά χαμηλό κεφάλαιο, γεγονός που καθιστά τα συγκεκριμένα θερμοκήπια κατάλληλα για μικρούς και μεσαίους καλλιεργητές. Όμως ο σχεδιασμός τους οδηγεί σε πολλαπλά και κρίσιμης σημασίας ζητήματα, όπως είναι για παράδειγμα η έλλειψη επαρκούς φυσικού αερισμού και επαρκούς στεγανότητας και η χαμηλού επιπέδου μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους χειμερινούς μήνες. Αυτά τα ζητήματα προκαλούνται από (Pérez Parra et al., 2004; Baeza et al., 2009):

- Μικρή επιφάνεια του αεριστήρα επειδή συνδυάζονται με κακό τρόπο ο αερισμός από τις πλευρές και την οροφή του θερμοκηπίου και επειδή οι αεραγωγοί της οροφής κατασκευάζονται με ένα υπερβολικά μικρό μέγεθος.

Συνήθως ο κακός αυτός σχεδιασμός οφείλεται στον φόβο του καλλιεργητή για το ενδεχόμενο αρνητικής επίδρασης ξαφνικών και ισχυρών ανέμων στους αεριστήρες.

- Μη αποτελεσματικός σχεδιασμός του αεριστήρα, που χρησιμοποιείται για τον αερισμό οροφής. Ενώ θα πρέπει να προτιμάται ο αερισμός με πτερύγια από τους κυλιόμενους αναπνευστήρες λόγω του ότι συμβάλει σε μια κατά περίπου τριπλάσια ροή αέρα, αυτό συνήθως δε συμβαίνει λόγω του κακού σχεδιασμού του αεριστήρα.
- Χρήση πλεγμάτων προστασίας από τα έντομα χαμηλού πορώδους, που μειώνουν σε σημαντικό βαθμό την τιμή ανταλλαγής αέρα.

Ωστόσο, για μια βελτιωμένη ανάπτυξη των καλλιεργειών εντός ενός θερμοκηπίου απαιτείται τόσο καλός αερισμός όσο και καλή μετάδοση φωτός. Η έλλειψη επαρκούς ή καλού αερισμού στα θερμοκήπια τοπικού τύπου μπορεί να αντισταθμιστεί με την εφαρμογή βελτιωμένων συστημάτων αερισμού. Από την άλλη, η μετάδοση του φωτός επηρεάζεται από τις ιδιότητες του υλικού κάλυψης και τον αριθμό και το μέγεθος των αδιαφανών στοιχείων στήριξης του θερμοκηπίου και φυσικά από τη γεωμετρία και τον προσανατολισμό του (Montero et al., 2013).

Βέβαια σε ένα υπάρχον θερμοκήπιο δεν υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής είτε του προσανατολισμού είτε της γεωμετρίας του θερμοκηπίου είτε των στοιχείων σχεδιασμού του πέραν των υλικών κάλυψης. Έτσι συστάσεις για τη βελτίωση της μετάδοσης του φωτός δε μπορούν να δοθούν εδώ σε ό,τι αφορά για παράδειγμα την κλίση της οροφής ή τον βέλτιστο προσανατολισμό του θερμοκηπίου για τη μέγιστη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα (Montero et al., 2013).

Ωστόσο ένα απλό βήμα βελτίωσης για τον αερισμό είναι η διόρθωση της τοποθέτησης των αεριστήρων, η οποία συνιστάται να είναι κάθετη προς τους επικρατούντες ανέμους για την ενίσχυση της ανταλλαγής αέρα (Montero et al., 2013).

Σε ό,τι αφορά από την άλλη υλικό κάλυψης και τα πλέγματα προστασίας από τα έντομα, συστάσεις για μια βελτιωμένη ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών, παρατίθενται στις Υποενότητες που ακολουθούν.

## 2.2 ΠΛΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ ΩΣ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Η επιλογή ενός υλικού κάλυψης γίνεται για τις οπτικές και μηχανικές του ιδιότητες και εξαρτάται από το κλίμα και την τοποθεσία του θερμοκηπίου (Waaijenberg και Sonneveld, 2004).

Σαν καλή πρακτική και με στόχο την βελτιωμένη ανάπτυξη των φυτών, προτείνεται η πλαστική μεμβράνη ενός θερμοκηπίου α) να επιτρέπει την μέγιστη δυνατή μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο καθαρισμός της από την σκόνη πρέπει να μπορεί να γίνεται εύκολα και η ίδια η μεμβράνη να μην επιτρέπει στην σκόνη να κολλάει πάνω της και β) να είναι αδιαφανής στην ακτινοβολία μεγάλων κυμάτων, ώστε να αποφεύγονται οι απώλειες θερμότητας και τη διάρκεια της νύχτας (Montero et al., 2013).

Η μεμβράνη σε ένα θερμοκήπιο αποτελείται από πολυμερή και πρόσθετα με τα πολυμερή να είναι το κύριο συστατικό και τα πρόσθετα να προσφέρουν μια σειρά από διαφορετικές ιδιότητες μεταξύ των οποίων η απορρόφηση/ αντανάκλαση στο υπέρυθρο και η διάχυση φωτός. Οι μεμβράνες κάλυψης ενός θερμοκηπίου έχουν συνήθως ένα πάχος που κυμαίνεται μεταξύ 80 μm και 200 μm και ένα πλάτος μέχρι και 20 m. Οι μεμβράνες μονής στρώσης ή πολλαπλών στρώσεων (συνήθως τριών στρώσεων) είναι αυτές που κατεξοχήν χρησιμοποιούνται για μια εμπορική παραγωγή (Ponce et al., 2014).

Ωστόσο, προτιμότερες είναι η μεμβράνες πολλαπλών στρώσεων λόγω της ικανότητάς τους για συνδυασμό των ιδιοτήτων των επιμέρους στοιχείων τους, όπως είναι για παράδειγμα η καλή μηχανική αντίσταση και η καλή μετάδοση φωτός. Η διάρκεια ζωής των μεμβρανών θερμοκηπίου στην σύγχρονη εποχή έχει αυξηθεί από τους 9 μήνες που ήταν κατά τη δεκαετία του 1950 σε περίπου 45 μήνες (Hamid, 2000; Abdel-Bary, 2003).

Έτσι κατά την αντικατάστασή τους, μπορούν κάλλιστα να ακολουθηθούν οι συστάσεις, που προτείνονται εδώ, ώστε στη συνέχεια να βελτιωθεί η ανάπτυξη των φυτών (Hamid, 2000).



Σημειώνεται ότι η φθορά των μεμβρανών εξαρτάται από τα πρόσθετα φωτός, που ενσωματώνονται σε αυτές, από τη γεωγραφική θέση του θερμοκηπίου και τέλος την έκθεση των μεμβρανών σε φυτοϋγειονομικές αγωγές (Hamid, 2000).

### 2.2.1 Πολυμερή και πρόσθετα

Τα πολυμερή είναι μεγάλα μόρια που σχηματίζονται από τη σύνδεση μικρότερων μονάδων που ονομάζονται μονομερή. Τα πλέον συνηθισμένα πολυμερή, που εφαρμόζονται στα θερμοκήπια, καλύπτοντας πάνω από ένα 80% της παγκόσμιας αγοράς, είναι το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (low density polyethylene (LDPE)), ο οξικός βινυλεστέρας αιθυλενίου (ethylene vinyl acetate (EVA)) και ο ακρυλικός αιθυλενοβουτυλεστέρας (ethylene butyl acrylate (EBA)) (Hamid, 2000; Abdel-Bary, 2003; Schiller, 2016).

Άλλα δημοφιλή υλικά είναι το πολυβινυλοχλωρίδιο (polyvinyl chloride (PVC)) και το γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (linear low density polyethylene (LLDP)). Σε σύγκριση με το γυαλί, μια ιδιότητα κοινή για όλα τα πλαστικά υλικά είναι η χαμηλή τους πυκνότητα και επομένως το χαμηλό τους βάρος (Πίνακας 2.1) (Abdel-Bary, 2003; Schiller, 2016):

**Πίνακας 2.1** Πυκνότητα διαφορετικών πολυμερών, που χρησιμοποιούνται σε θερμοκήπια (Abdel-Bary, 2003; Schiller, 2016)

Υλικό	Πυκνότητα (g/ cm <sup>3</sup> )
<b>LDPE</b>	0,915-0,93
<b>EVA</b>	0,92-0,93
<b>Συμπολυμερής ακρυλικός αιθυλενοβουτυλεστέρας (copolymer ethylene butyl acrylate (EBA))</b>	0,92-0,93
<b>PVC</b>	1,25-1,5
<b>Μεθακρυλικός πολυμεθυλεστέρας (polymethyl methacrylate (PMMA))</b>	1,18
<b>Πολυεστέρας/ υαλονήματα</b>	1,5-1,6
<b>γυαλί</b>	2,4

Οι ιδιότητες της χαμηλής πυκνότητας και του μικρού πάχους, για τις οποίες διακρίνονται τα πλαστικά υλικά, αποτελεί ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τα

θερμοκήπια, καθώς επιτρέπουν την εύκολη μεταφορά, εγκατάσταση και μεταχείριση. Έτσι, για παράδειγμα, ένα τετραγωνικό μέτρο μιας μεμβράνης από LDPE, που έχει πάχος 200  $\mu\text{m}$ , έχει ένα βάρος κατά προσέγγιση της τάξης των 184 g. Μια αντίστοιχη μεμβράνη από PVC έχει ένα βάρος κατά προσέγγιση της τάξης των 260 g, ενώ ένας υαλοπίνακας πάχους 4 mm έχει ένα βάρος κατά προσέγγιση της τάξης των 10 kg (Abdel-Bary, 2003).

Το μικρό αυτό βάρος των μεμβρανών σε σύγκριση ιδίως με το γυαλί, επιτρέπει σε συνδυασμό με την ευελιξία τους, να λειτουργούν ως ένα υλικό κάλυψης που δεν απαιτούν ένα μεγάλο αριθμό ή ένα μεγάλο μέγεθος μελών στήριξης για το θερμοκήπιο με αποτέλεσμα μια ελαφριά και κατά συνέπεια αρκετά οικονομικότερη κατασκευή (Montero et al., 2013).

Πέραν των πολυμερών ένα κρίσιμης σημασίας στοιχείο για την κάλυψη των θερμοκηπίων είναι τα πρόσθετα, που διασπείρονται μεταξύ των αλυσίδων των μορίων πολυμερούς χωρίς να οδηγούν σε κάποια χημική αλληλεπίδραση. Η χρήση τους αφορά τη διευκόλυνση από τη μια της κατασκευής της μεμβράνης και τη βελτίωση της απόδοσής του από την άλλη. Ο τύπος και η ποσότητα του πρόσθετου βασίζεται στις υπό βελτίωση ιδιότητες του υλικού κάλυψης (Montero et al., 2013).

Τα δύο πρόσθετα, που κυρίως χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια, είναι τα πρόσθετα σταθεροποίησης υπεριώδους ακτινοβολίας και τα πρόσθετα απορρόφησης υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι σταθεροποιητές υπεριώδους ακτινοβολίας απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία ή προστατεύουν τα μόρια του πολυμερούς. Κατά συνέπεια μια μεμβράνη φθείρεται με πιο αργό ρυθμό, ο οποίος στην πλειονότητα των πλαστικών μεμβρανών με σταθεροποιητές υπεριώδους ακτινοβολίας ξεπερνά το ένα έτος (Morgan, 2021).

Μια καλή μεμβράνη θερμοκηπίου είναι απαραίτητο να εμποδίζει την ακτινοβολία υπέρυθρων μακρών κυμάτων (μήκος κύματος μεταξύ 0,7  $\mu\text{m}$  και 4  $\mu\text{m}$ ), για να αποτρέπει την απώλεια θερμότητας. Οι λεγόμενες θερμικές μεμβράνες είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές σε ό,τι αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας των φύλλων σε μη θερμαινόμενα θερμοκήπια κατά τη διάρκεια των καθαρών νυχτών (Castilla, 2013; Morgan, 2021).

Επειδή οι μεμβράνες πολυαιθυλενίου έχουν ένα μεγάλο ποσοστό διαφάνειας απέναντι στην ακτινοβολία υπέρυθρων μακρών κυμάτων, γίνεται συνήθως χρήση πρόσθετων που απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία, έτσι ώστε οι συγκεκριμένες μεμβράνες να παρατηρήσουν βελτιωμένες θερμικές ιδιότητες (Morgan, 2021).

## 2.2.2 Ιδιότητες πλαστικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων που σχετίζονται με μια βελτιωμένη ανάπτυξη των φυτών

### 2.2.2.1 Διαφανείς μεμβράνες και μεμβράνες διάχυσης

Σε περιοχές με καθαρό ουρανό και υψηλή ηλιακή ακτινοβολία, η άμεση ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει κάψιμο φύλλων σε καλλιέργειες θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια των ζεστών ημερών. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου, έχουν αναπτυχθεί νέου τύπου πλαστικές μεμβράνες, που αυξάνουν το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας εντός του θερμοκηπίου (Montero et al., 2013).

Σημειώνεται ότι με τον όρο διάχυτη ακτινοβολία, νοείται η ακτινοβολία που παρατηρεί μια απόκλιση μεγαλύτερη των  $2,5^\circ$  από την άμεση προσπίπτουσα ακτινοβολία (Hemming et al., 2008).

Η αυξημένη διάχυτη ακτινοβολία οδηγεί σε μια μεγαλύτερη ομοιομορφία φωτός εντός του θερμοκηπίου και υψηλότερες αποδόσεις στις καλλιέργειες αυτού όταν πρόκειται για τις μεσογειακές χώρες (Castilla και Hernández, 2007; Cabrera et al., 2009).



**Εικόνα 2.1** Διαφανής μεμβράνη (αριστερά) και μεμβράνη διάχυσης (δεξιά) (Montero et al., 2013)

### 2.2.2.2 Μεμβράνες κατά της σκόνης

Καθώς η πλειοψηφία των πολυμερών αποτελούν κακούς αγωγούς της ηλεκτρικής ενέργειας και είναι σε μεγάλο βαθμό επιρρεπή στη συσσώρευση στατικού ηλεκτρισμού όταν παρατηρείται τριβή μεταξύ δύο επιφανειών ή τριβή λόγω του ανέμου, είναι λογικό να προσελκύουν τη σκόνη (Castilla, 2013).

Με στόχο τον περιορισμό του στατικού ηλεκτρισμού, χρησιμοποιούνται διαφορετικά πρόσθετα, που διακρίνονται για την ικανότητά τους να αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα των μεμβρανών. Η εφαρμογή των πρόσθετων αυτών γίνεται είτε με ενσωμάτωση εντός των μεμβρανών ή με ενσωμάτωση στην επιφάνειά τους (Yildiz, 2021).

Οι μεμβράνες από EVA έχει διαπιστωθεί ότι μειώνουν σε μεγαλύτερο βαθμό τη μετάδοση φωτός σε σύγκριση με τις μεμβράνες από άλλα πολυμερή λόγω του ότι παρατηρούν τη μεγαλύτερη συσσώρευση σκόνης (Castilla, 2013).

### 2.2.2.3 Μεμβράνες κατά των σταγονιδίων

Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται στην κρύα εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος, έχοντας σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό σταγονιδίων υγρού νερού, οδηγώντας τελικά στη μειωμένη μετάδοση του φωτός. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις για τις οποίες και για μια γωνία προσπίπτουσας ακτινοβολίας άνω των 15° έχουν αναφερθεί απώλειες μετάδοσης της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας. Ωστόσο, σε γενικές γραμμές η απώλεια στη μετάδοση του φωτός εξαρτάται από το μέγεθος των σταγονιδίων (FAO, 1990).

Πιο συγκεκριμένα τα σταγονίδια μεγάλου μεγέθους μειώνουν τη μετάδοση σε μικρότερο βαθμό σε σύγκριση με τα σταγονίδια μικρού μεγέθους εξαιτίας της διαφορετικής γωνίας επαφής των σταγονιδίων με το πλαστικό (Castilla, 2005). Επιπλέον, η συμπύκνωση μπορεί να πέσει στην καλλιέργεια προκαλώντας την ανάπτυξη μυκητιακών ασθενειών (Orsini et al., 2017).

Για την αποφυγή των παραπάνω εφαρμόζονται πρόσθετα κατά των σταγονιδίων, που οδηγούν στην τροποποίηση της επιφανειακής τάσης του νερού με αποτέλεσμα την εξάλειψη των σταγονιδίων και το σχηματισμό ενός λεπτού στρώματος νερού (Orsini et al., 2017).



**Εικόνα 2.2** Συμβατική μεμβράνη (αριστερά) έναντι μεμβράνης με πρόσθετα κατά των σταγονιδίων (δεξιά) (Montero et al., 2013)

Υπάρχουν ποικίλοι τρόποι για να παραχθεί ένα συνεχές στρώμα συμπυκνωμένου νερού, όπως είναι για παράδειγμα η επεξεργασία της επιφάνειας της μεμβράνης ή η οξείδωση της επιφάνειας του πολυμερούς. Ωστόσο, τον πιο αποτελεσματικό τρόπο για τις χρησιμοποιούμενες σε θερμοκήπια μεμβράνες αποτελεί η ενσωμάτωση προσθέτων κατά τη διαδικασία κατασκευής των μεμβρανών (Montero et al., 2013; Orsini et al., 2017).

Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι τα συγκεκριμένα πρόσθετα μεταναστεύουν προς την πλαστική επιφάνεια, που ξεπλένεται από τη βροχή ή τη συμπύκνωση με αποτέλεσμα να χάνονται, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ιδιότητες κατά των σταγονιδίων πριν το τέλος του κύκλου ζωής του πλαστικού. Για να αποφευχθεί αυτό, μια λύση αποτελεί η χρησιμοποίηση πλαστικών πολλαπλών στρώσεων, στα οποία η μια από τις στρώσεις λειτουργεί ως δεξαμενή για τα πρόσθετα κατά των σταγονιδίων. Τα πρόσθετα της δεξαμενής αυτής αντικαθιστούν άμεσα τα πρόσθετα, που έχουν εκπλυθεί (Montero et al., 2013).

### **2.2.3 Πλαστικά που εμποδίζουν την εγγύς υπέρυθρη ηλιακή ακτινοβολία**

Μόνο ένα περίπου 50% της ενέργειας που εισέρχεται σε ένα θερμοκήπιο ως ηλιακή ακτινοβολία, ανήκει στο εύρος μήκους κύματος στη χρήσιμη για τη φωτοσύνθεση φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (Kempkes, Stanghellini και Hemming, 2008). Σχεδόν όλο το υπόλοιπο ενεργειακό κλάσμα ανήκει στην εγγύς υπέρυθη ηλιακή ακτινοβολία, η οποία είναι υπεύθυνη για τη θέρμανση του θερμοκηπίου και της εκάστοτε καλλιέργειας και η οποία συμβάλλει στη διαπνοή. Ωστόσο, δεν είναι πάντα επιθυμητές αυτές οι δύο δράσεις της εγγύς υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας (Hemming et al., 2006).

Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πρότυπες μεμβράνες που περιέχουν σε διάφορες συγκεντρώσεις χρωστικές, που αντανακλούν την εγγύς υπέρυθη ηλιακή ακτινοβολία και έτσι μειώνουν σε σημαντικό βαθμό το ενεργειακό περιεχόμενο της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της εγγύς υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας, χωρίς ταυτόχρονα να μειώνουν σημαντικό βαθμό την περιοχή της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (Hemming et al., 2006).

Η αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου τύπου μεμβρανών στη μείωση της θερμοκρασίας τόσο του αέρα του θερμοκηπίου όσο και των καλλιεργειών και η επίδρασή τους στην απόδοση και την ποιότητα της καλλιέργειας είναι συνάρτηση διαφορετικών παραμέτρων μεταξύ των οποίων η διαπνοή του θόλου, η ικανότητα αερισμού του θερμοκηπίου, η ποσότητα εγγύς υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας που φιλτράρεται από τη μεμβράνη και η πυκνότητα της καλλιέργειας (Hemming et al., 2006; Kempkes, Stanghellini και Hemming, 2008).

Τρεις μέθοδοι εφαρμογής είναι δυνατές για τις εμπορικά διαθέσιμες μεμβράνες, που εμποδίζουν την εγγύς υπέρυθη ηλιακή ακτινοβολία: α) μόνιμα πρόσθετα ή επικαλύψεις της κάλυψης του θερμοκηπίου, β) εποχιακή επιφανειακή επικάλυψη και γ) κινητά πετάσματα. Ο συνδυασμός των εξωτερικών κλιματικών συνθηκών και του τύπου του θερμοκηπίου καθορίζει την καταλληλότερη μορφή εφαρμογής σε μια δεδομένη τοποθεσία (Hemming et al., 2006).

#### **2.2.4 Αποκλεισμός της υπεριώδους ακτινοβολίας για τον περιορισμό της επιβλαβούς δραστηριότητας των εντόμων**

Ο όρος «αποκλεισμός της υπεριώδους ακτινοβολίας» αναφέρεται σε πλαστικές μεμβράνες, των οποίων η κατασκευή στοχεύει στην απορρόφηση του

ηλιακού φωτός, που κυμαίνεται κάτω από 380 nm (Dreistadt, 2001). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η υπεριώδης ακτινοβολία ευνοεί την μολυσματική δράση διαφορετικών εντόμων και την μετάδοση από αυτά ιογενών ασθενειών, είναι κρίσιμης σημασίας η εφαρμογή πλαστικών υλικών που απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία και έτσι μειώνουν και την επιβλαβή δραστηριότητα των εντόμων (González et al., 2003).

Ωστόσο, η μείωση της υπεριώδους ακτινοβολίας ενδέχεται να περιορίσει και το ρόλο που διαδραματίζουν τα διάφορα έντομα στην επικοινωνία. Για να αποφευχθεί αυτό θα πρέπει να παρέχεται αρκετός χρόνος προσαρμογής των εντόμων στα χαμηλά επίπεδα υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας εντός του θερμοκηπίου (Dreistadt, 2001).

### 2.3 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ

Για την εξασφάλιση ότι σε ένα θερμοκήπιο χρησιμοποιούνται τα καταλληλότερα για την ανάπτυξη των φυτών πλαστικά υλικά κάλυψης, προτείνονται οι εξής πρακτικές (κάποιες από αυτές έχουν ήδη ειπωθεί παραπάνω, αλλά συγκεντρώνονται και συνοψίζονται εδώ για να προκύψει μια πλήρης λίστα συστάσεων) (Montero et al., 2013):

- Χρήση μεμβρανών πολλαπλών στρώσεων έναντι μεμβρανών μονής στρώσης λόγω του πλεονεκτήματος που αυτές παρουσιάζουν σε ό,τι αφορά την εκμετάλλευση των θετικών ιδιοτήτων καθενός από τα στοιχεία, που αποτελούν τη μεμβράνη
- Οι διαχυτικές μεμβράνες προτιμώνται από τις διαφανείς μεμβράνες, καθώς συμβάλουν τόσο σε μια αυξημένη ομοιομορφία του φωτός όσο και σε μια αυξημένη αναχαίτιση του φωτός από την καλλιέργεια
- Οι μεμβράνες από EVA στην εξωτερική επιφάνεια της κάλυψης του θερμοκηπίου είναι σημαντικό να μη χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που το θερμοκήπιο βρίσκεται σε μια τοποθεσία που ευνοεί τη συσσώρευση σκόνης, καθώς στην αντίθετη περίπτωση θα παρατηρηθούν σημαντικές απώλειες στη μετάδοση του φωτός.

- Οι μεμβράνες κατά των σταγονιδίων βελτιώνουν τη μετάδοση του φωτός και περιορίζουν το σχηματισμό σταγονιδίων από την εσωτερική επιφάνεια. Προσοχή πρέπει, ωστόσο, να αποδίδεται στο γεγονός ότι οι ιδιότητές τους κατά των σταγονιδίων χάνονται συνήθως πριν το τέλος του κύκλου ζωής του πλαστικού.
- Στην περιοχή της Μεσογείου η χρήση μιας εποχιακής ή κινητής μεμβράνης από πλαστικά, που εμποδίζουν την εγγύς υπέρυθρη ηλιακή ακτινοβολία, είναι ευεργετική κατά το καλοκαίρι και δεν επιδρά αρνητικά στο θερμοκήπιο κατά το χειμώνα.
- Οι μεμβράνες που εμποδίζουν την υπεριώδη ακτινοβολία είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνική για τη μείωση της προσβολής από τα έντομα.



### **3. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΝΤΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ - ΚΛΙΜΑ**

#### **3.1 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ**

Ανεξαρτήτως τόσο του τύπου του συστήματος του υφιστάμενου θερμοκηπίου όσο και της τοποθεσίας του, κρίνεται αναγκαίος ο έλεγχος του κλίματος στο εσωτερικό του με σκοπό την βελτίωση ανάπτυξης των φυτών, που καλλιεργούνται σε αυτό (Bakker et al., 1995). Ωστόσο, ο σχεδιασμός και το επίπεδο πολυπλοκότητάς του, σίγουρα επιδρούν στο βαθμό ελέγχου των κλιματικών συνθηκών, καθώς και στην ανάπτυξη των κατάλληλων συνθηκών για την βελτιστοποίηση της ανάπτυξης και της παραγωγικότητας των φυτών (FAO, 2017).

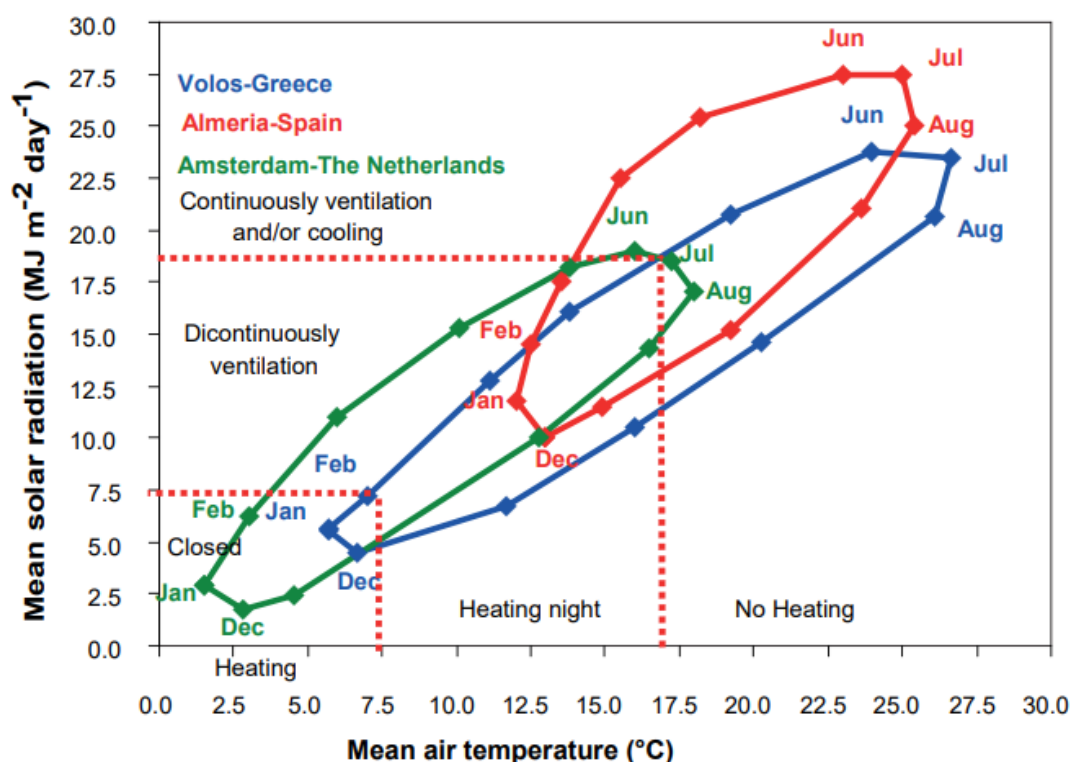
Η θερμοκρασία του αέρα, καθώς και η ηλιακή ακτινοβολία και η σχετική υγρασία του αέρα, είναι από τις πιο σημαντικές προς έλεγχο κλιματικές παραμέτρους στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Van Straten et al., 2010). Η θερμοκρασία του αέρα διαμορφώνει την ανάπτυξη και την παραγωγή των καλλιεργειών, ενώ ταυτόχρονα καθορίζει και τις ανάγκες σε ενεργειακή κατανάλωση, οι οποίες μάλιστα αντιπροσωπεύουν μέχρι και ένα 40% του συνολικού κόστους παραγωγής (FAO, 2017).

Η πλειονότητα των καλλιεργημένων σε θερμοκήπια φυτών είναι είδη, που σε εξωτερικό χώρο ευδοκιμούν κατά την καλοκαιρινή περίοδο, προσαρμοσμένα σε μέσες θερμοκρασίες ενός εύρους από 17 °C έως και 27 °C με τα κατώτερα και τα ανώτερα όρια να εκτείνονται κατά προσέγγιση μεταξύ 10 °C και 35 °C (Kittas et al., 2013).

Στην περίπτωση που η μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη από 10 °C, είναι πιθανή η ανάγκη χρήσης κάποιου συστήματος θέρμανσης και κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες (Bakker et al., 1995). Από την άλλη, στην περίπτωση που η μέση μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία είναι κάτω 27 °C, η εφαρμογή κάποιου συστήματος αερισμού θα συμβάλει στην αποφυγή υψηλών και ανεπιθύμητων θερμοκρασιών εντός του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ακόμη και στην περίπτωση που η μέση μέγιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 27 °C με 28 °C, υπάρχει ενδεχομένως η ανάγκη εφαρμογής κάποιου συστήματος τεχνητής ψύξης (Kittas et al., 2013).

Σε κάθε περίπτωση, ωστόσο, η μέγιστη θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου δεν πρέπει να ξεπερνά τους 30 °C με 35 °C για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα. Όπως φαίνεται από το κλιμογράφημα (climograph) διαφορετικών περιοχών της Μεσογείου και της Βόρειας Ευρώπης, που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1, σε περιοχές με εύκρατο κλίμα, όπως για παράδειγμα το Άμστερνταμ της Ολλανδίας, η εφαρμογή ενός συνδυασμού θέρμανσης και ψύξης οδηγεί σε έναν ετήσιο έλεγχο της θερμοκρασίας (Kittas et al., 2013).

Αντίθετα, σε περιοχές σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη με μεσογειακό κλίμα, όπως είναι για παράδειγμα η Αλμερία (της Ισπανίας) και ο Βόλος, ο αερισμός και λόγω των ιδιαίτερα υψηλών θερμοκρασιών κατά το καλοκαίρι δεν επαρκεί για την παροχή της απαραίτητης ψύξης. Στην περίπτωση αυτή, αναγκαία κρίνεται και η απαιτείται κάποιο επιπλέον σύστημα ψύξης, ώστε να διατηρηθούν οι επιθυμητές θερμοκρασίες εντός του θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013).



Σχήμα 3.1 Μέση ηλιακή ακτινοβολία έναντι της μέσης θερμοκρασίας του αέρα για διαφορετικές ευρωπαϊκές τοποθεσίες (Kittas et al., 2013)

Μια δεύτερη κρίσιμη παράμετρο αποτελεί η υγρασία (που εκφράζεται ως σχετική υγρασία). Μια σχετική υγρασία σε ένα εύρος από 60% μέχρι και 90% επιδρά σε μικρό βαθμό στα φυτά. Η σχετική υγρασία μπορεί να καταστεί χαμηλότερη από

ένα 60% κατά την εφαρμογή αερισμού σε ξηρά κλίματα ή όταν τα φυτά είναι νεαρά με μικρά φύλλα, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στο λεγόμενο υδατικό στρες (Bakker et al., 1995). Η κατάσταση είναι ακόμη σοβαρότερη στην περίπτωση που η σχετική υγρασία ξεπεράσει το 95% για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα και κυρίως όταν πρόκειται για τη διάρκεια της νύχτας. Ο λόγος είναι ότι μια τόσο υψηλού επιπέδου σχετική υγρασία ευνοεί την ταχεία ανάπτυξη μυκητιακών ασθενειών (FAO, 2017).

Κατά τη ημέρα, η εφαρμογή κάποιου συστήματος αερισμού μπορεί να συμβάλει στην μείωση της υγρασίας. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της νύχτας, σε ένα θερμοκήπιο χωρίς κάποιο σύστημα θέρμανσης, η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας στο εξωτερικό και εσωτερικό περιβάλλον του μπορεί να είναι μικρή. Στην περίπτωση αυτή και εφόσον παρατηρηθεί μια υψηλού επιπέδου υγρασία στο εξωτερικό χώρο του θερμοκηπίου, είναι δύσκολο να μειωθεί το επίπεδο υγρασίας εντός του θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, στις Υποενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται μια σειρά από προτεινόμενες μεθόδους ελέγχου των κλιματικών συνθηκών εντός ενός μεσογειακού θερμοκηπίου, ώστε να εξασφαλιστεί ότι θα επιτευχθεί μια βελτιωμένη ανάπτυξη των φυτών, που καλλιεργούνται σε αυτό.

## 3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

### 3.2.1 Αερισμός, σκίαση και ψύξη

Το θερμικό φορτίο θα πρέπει να αφαιρείται από το εκάστην περίπτωση που επικρατούν ξηρές ή ημίξηρες κλιματικές συνθήκες, όπως αυτές σε διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου. Για το σκοπό αυτό, προτείνονται τα εξής (FAO, 2017):

1. Μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας
2. Αφαίρεση της επιπλέον θερμότητας μέσω της ανταλλαγής αέρα
3. Αύξηση του κλάσματος της ενέργειας που κατανέμεται σε λανθάνουσα θερμότητα.

Το άσπρισμα με ασβέστη (whitewash) και τα αλεξήλια πετάσματα (shade screens) αποτελούν θεμελιώδη μέτρα για τη μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ ο αερισμός είναι ένα αποδοτικό μέσο για να αφαιρεθεί η επιπλέον θερμότητα μέσω της ανταλλαγής αέρα μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού με την προϋπόθεση ότι στο εξωτερικό του θερμοκηπίου επικρατεί μια χαμηλότερη θερμοκρασία του αέρα (FAO, 2017).

Από την άλλη, η ψύξη με εξάτμιση αποτελεί μια συνηθισμένη πρακτική ώστε να μειωθεί το θερμικό φορτίο μέσα από την αύξηση της λανθάνουσας θερμότητας της διαχεόμενης ενέργειας (Bakker et al., 1995). Πέραν των συγκεκριμένων πρακτικών υπάρχουν και άλλες εφαρμογές ψύξης, όπως είναι για παράδειγμα, οι αντλίες θερμότητας και οι εναλλάκτες θερμότητας. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες εφαρμογές δεν είναι ευρέως διαδεδομένες και ιδίως στην περίπτωση της Μεσογείου λόγω του υψηλού κεφαλαιουχικού κόστους τους (Kittas et al., 2013).

Στις Υποενότητες που ακολουθούν, παρουσιάζονται επιπλέον λεπτομέρειες για τις παραπάνω εφαρμογές.

### 2.2.1.1 Αερισμός

Οι υψηλές καλοκαιρινές θερμοκρασίες απαιτούν τη διαρκή απομάκρυνση της θερμότητας από το εσωτερικό του θερμοκηπίου. Μια εύκολη και αποτελεσματική μέθοδος μείωσης της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στο εσωτερικό και το εξωτερικό ενός θερμοκηπίου είναι να βελτιωθεί, όπως προειπώθηκε, ο αερισμός (Bakker et al., 1995).

Ο φυσικός αερισμός χρειάζεται μια μικρού βαθμού χρήση εξωτερικής ενέργειας. Η αρχή λειτουργίας του φυσικού αερισμού έχει τη βάση της στη διαφορά πίεσης μεταξύ εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Η διαφορά αυτή είναι αποτέλεσμα του ανέμου ή τη θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου (FAO, 2017).

Για να επιτευχθεί ο φυσικός αερισμός μια πρόταση είναι να εφαρμοστούν ανοίγματα κοντά στο έδαφος και ταυτόχρονα στην οροφή του θερμοκηπίου (Εικόνα 3.1), ώστε ο θερμός και ελαφρύτερος αέρας στο εσωτερικό να διαφεύγει ως ελαφρύτερος από τα ανοίγματα της οροφής και έτσι να αντικαθίσταται από τον ψυχρότερο αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος που εισέρχεται από τα ανοίγματα κοντά στο έδαφος κατά τη διάρκεια των ημερών του καλοκαιριού και όταν υπάρχει

πνέων άνεμος. Σαν αποτέλεσμα η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου μειώνεται (Kittas et al., 2013).

Η επάρκεια αερισμού είναι κρίσιμης σημασίας για την βελτιστοποίηση της ανάπτυξης των φυτών, ιδίως όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες στο εξωτερικό περιβάλλον και υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας, μια συνθήκη τυπική σε πολλές περιοχές της Μεσογείου κατά την καλοκαιρινή περίοδο (Kittas et al., 2013).



**Εικόνα 3.1** Διαφορετικοί συνδυασμοί ανοιγμάτων με σκοπό την εξασφάλιση φυσικού αερισμού (Kittas et al., 2013)

Με στόχο τη μελέτη των μεταβλητών, που καθορίζουν τη θερμοκρασία του αέρα εντός του θερμοκηπίου και τον υπολογισμό των απαραίτητων μετρήσεων για τον έλεγχο της θερμοκρασίας αυτής, οι Kittas, Karamanis και Katsoulas (2005) παρέχουν την εξής απλοποιημένη εξίσωση για το ενεργειακό ισοζύγιο του θερμοκηπίου:

$$V_a = \frac{0,0003 \cdot \tau \cdot R_{s,o-max}}{\Delta T} \quad (3.1)$$

Όπου:

$V_a$ : λόγος  $Q/ A_g$ , όπου  $Q$  είναι ο ρυθμός ροής αερισμού ( $m^3_{αέρα}/ sec$ ) και  $A_g$  είναι η επιφάνεια του θερμοκηπίου ( $m^2$ )

$\tau$ : συντελεστής μετάδοσης θερμοκηπίου προς την ηλιακή ακτινοβολία

$R_{s,o-max}$ : μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία εξωτερικού περιβάλλον ( $W/ m^2$ )

$\Delta T$ : διαφορά θερμοκρασίας αέρα εντός και εκτός του θερμοκηπίου ( $^{\circ}\text{C}$ )

Κάνοντας χρήση της παραπάνω εξίσωσης, ο υπολογισμός των αναγκών σε αερισμό είναι εύκολος για τις διαφορετικές τιμές των  $R_{s,o-max}$  και  $\Delta T$  (Kittas, Karamanis και Katsoulas, 2005).

Έτσι, για παράδειγμα για το νομό Μαγνησίας, οι Kittas, Karamanis και Katsoulas (2005) για ένα θερμοκήπιο μέσου ύψους 3 m, μια ανταλλαγή αέρα την ώρα και για μια εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία πάνω από  $900 \text{ W/ m}^2$  το καλοκαίρι, υπολόγισαν ότι απαιτείται ένας ρυθμός αερισμού της τάξης των  $0,06 \text{ m}^3/\text{sec}\cdot\text{m}^2$  για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί μια διαφορά θερμοκρασίας,  $\Delta T$ , της τάξης των



περίπου  $4^{\circ}\text{C}$ .

**Εικόνα 3.2** Ανεμιστήρες σε θερμοκήπια για τον τεχνητό αερισμό τους (Van Straten et al., 2010)

Πέραν του φυσικού αερισμού, ο αναγκαίος ρυθμός αερισμού μπορεί να επιτευχθεί και μέσω του τεχνητού αερισμού. Τα συστήματα τεχνητού αερισμού θα πρέπει, εφόσον είναι επιτεύξιμο, να τοποθετούνται στην κορυφογραμμή, στα πλευρικά τοιχώματα και στο αέτωμα του θερμοκηπίου (FAO, 2017).

Οι White and Aldrich (1975) προτείνουν η συνολική επιφάνεια ενός τέτοιου συστήματος να αντιστοιχεί σε ένα 15% με 30% της επιφάνειας του δαπέδου. Αν υπερβεί το 30%, τότε η πρόσθετη επιφάνεια δεν έχει κάποια ουσιαστική επιρροή στην διαφορά θερμοκρασίας.

Ορισμένα συστήματα, μεταξύ των οποίων ο ανεμιστήρας απαγωγής και ο φυσητήρας, έχουν τη δυνατότητα παροχής υψηλών τιμών ανταλλαγής αέρα όταν αυτό απαιτείται (Bakker et al., 1995). Αυτά τα απλά και αξιόπιστα συστήματα αυξάνουν σημαντικά τον ρυθμό μεταφοράς αέρα από το θερμοκήπιο με αποτέλεσμα

η εσωτερική του θερμοκρασία να μπορεί να διατηρηθεί σε ένα επίπεδο ελαφρώς πάνω από την εξωτερική θερμοκρασία (Bakker et al., 1995; Kittas et al., 2013).

Η αρχή λειτουργίας του τεχνητού αερισμού είναι η δημιουργία ροής αέρα μέσα από το χώρο. Ο αέρας από τη μια αναρροφάται από τους ανεμιστήρες και αφήνεται να εισέλθει από τα ανοίγματα από την άλλη. Ο τεχνητός αερισμός των ανεμιστήρων αποτελεί την αποτελεσματικότερη μέθοδο αερισμού για ένα θερμοκήπιο. Ωστόσο, απαιτεί την κατανάλωση ενέργειας, με την κατανάλωση αυτή ειδικά για την περιοχή της Μεσογείου να ισοδυναμεί κατά προσέγγιση με  $7 \text{ kWh/ m}^2$  (Van Straten et al., 2010).

#### *2.2.1.1.1 Συστάσεις για έναν βελτιωμένο αερισμό*

Ορισμένες σημαντικές συστάσεις για την εξασφάλιση ενός επαρκούς αερισμού ή για τη βελτίωση αυτού σε ένα θερμοκήπιο έχουν ως εξής (κάποιες από αυτές έχουν ήδη ειπωθεί παραπάνω, αλλά συγκεντρώνονται και συνοψίζονται εδώ για να προκύψει μια πλήρης λίστα συστάσεων) (Kittas et al., 2013; FAO, 2017):

- Για μια παράκτια περιοχή, όπως η Μαγνησία, στην οποία κατά το καλοκαίρι η ηλιακή ακτινοβολία του εξωτερικού περιβάλλοντος ξεπερνά τα  $900 \text{ W/ m}^2$ , ένας ρυθμός αερισμού της τάξης των  $0,06 \text{ m}^3/ \text{ sec} \cdot \text{m}^2$  απαιτείται για να επιτευχθεί και να διατηρηθεί μια διαφορά θερμοκρασίας,  $\Delta T$ , της τάξης των περίπου  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  για ένα θερμοκήπιο μέσου ύψους  $3 \text{ m}$ . Ο φυσικός αερισμός επιτρέπει μια ταχύτητα ανταλλαγής αέρα περίπου  $40 \text{ h}^{-1}$ , πάνω από την οποία είναι απαραίτητος ο τεχνητός αερισμός.
- Για μέγιστη απόδοση, οι αεριστήρες θα πρέπει, εάν είναι εφικτό, να βρίσκονται στην κορυφογραμμή, στα πλευρικά τοιχώματα και στο αέτωμα του θερμοκηπίου.
- Η συνολική επιφάνεια του αεριστήρα προτείνεται να ισοδυναμεί με ένα 15% με 30% της επιφάνειας του δαπέδου του θερμοκηπίου.
- Στην περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου δεν είναι πολύ χαμηλή, ο φυσικός αερισμός μπορεί να αποτελεί την καταλληλότερη λύση, οδηγώντας

ένα πιο υγρό και πιο δροσερό (αν και λιγότερο ομοιογενές) περιβάλλον γύρω από το θόλο του θερμοκηπίου.

- Με τους ανεμιστήρες οροφής, επιτυγχάνονται οι υψηλότεροι ρυθμοί αερισμού (100%) ανά μονάδα επιφάνειας ανεμιστήρα, όταν οι ανεμιστήρες είναι προσανατολισμένοι απευθείας προς τον άνεμο. Ακολουθούν οι ανεμιστήρες που κοιτούν μακριά από τον άνεμο (67%), ενώ οι χαμηλότεροι ρυθμοί παρατηρούνται για τους κινούμενους αναπνευστήρες (28%).
- Συστήματα όπως ο ανεμιστήρας απαγωγής και ο φυσητήρας μπορούν να παρέχουν υψηλές τιμές ανταλλαγής αέρα όποτε κρίνεται απαραίτητο. Ωστόσο, καταναλώνουν ενέργεια, που ειδικά για την περιοχή της Μεσογείου ισοδυναμεί κατά προσέγγιση με 7 kWh/ m<sup>2</sup>.
- Οι ανεμιστήρες εξαερισμού θα πρέπει να έχουν μια δυναμικότητα μιας περίπου 30 Pa στατικής πίεσης (3 mm σε μετρητή νερού), θα πρέπει να βρίσκονται στην υπήνεμη πλευρά ή στο άκρο του θερμοκηπίου και η απόσταση μεταξύ δύο ανεμιστήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 8 m με 10 m. Επιπλέον, το άνοιγμα εισόδου του αέρα στην αντίθετη πλευρά ενός ανεμιστήρα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,25 φορές το εμβαδόν του ανεμιστήρα. Η ταχύτητα του εισερχόμενου αέρα δεν πρέπει να είναι πολύ υψηλή στην περιοχή των φυτών (δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 0,5 m/ s). Τα ανοίγματα πρέπει να κλείνουν αυτόματα όταν οι ανεμιστήρες δεν είναι σε λειτουργία.

### 3.2.1.2 Σκίαση

Ο φυσικός ή ο τεχνητός αερισμός γενικά δεν επαρκούν για την εξαγωγή της περίσσειας θερμότητας κατά το καλοκαίρι με αποτέλεσμα ο αερισμός να πρέπει να συνδυάζεται με άλλες μεθόδους αποφυγής υπερθέρμανσης του θερμοκηπίου. Η είσοδος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των καλυμμάτων του περιβλήματος του θερμοκηπίου είναι η κύρια πηγή για αύξηση των κερδών θερμότητας. Η ανεπιθύμητη αυτή κατάσταση μπορεί να περιοριστεί και να ελεγχθεί μέσω σκίασης ή ανάκλασης (Baille, 1999).





**Εικόνα 3.3** Ανακλαστικά σκίαστρα για τη σκίαση του θερμοκηπίου και την αποφυγή της υπερθέρμανσης (Kittas et al., 2013)

Η σκίαση ή η ανάκλαση μπορούν να εφαρμοστούν με διαφορετικές πρακτικές μεταξύ των οποίων, οι βαφές, τα εσωτερικά δίχτυα σκίασης μιας ποικιλίας χρωμάτων, τα εξωτερικά υφάσματα σκίασης, τα μερικώς ανακλαστικά σκίαστρα, ο υγρός αφρός (liquid foam) μεταξύ των τοίχων του θερμοκηπίου και οι υδάτινες μεμβράνες (water films) πάνω από την οροφή (FAO, 2017).

Η σκίαση είναι η τελευταία λύση για την αποφυγή της υπερθέρμανσης των θερμοκηπίων, καθώς επιδρά στην παραγωγικότητά του. Ωστόσο, η σκίαση μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να οδηγήσει σε βελτιωμένη ποιότητα (Bakker et al., 1995). Μια μέθοδος που υιοθετείται ευρέως από τους καλλιεργητές λόγω του χαμηλού κόστους της είναι η λευκή βαφή ή βάψιμο με λευκό χρώμα του υλικού κάλυψης (Kittas et al., 2013).

Η χρήση σκίαστρων έχει καταστεί σταδιακά αποδεκτή από τους καλλιεργητές με αποτέλεσμα την τελευταία δεκαετία να έχει αυξηθεί η επιφάνεια των καλλιεργειών θερμοκηπίου, που αναπτύσσονται κάτω από σκίαστρα. Η εφαρμογή λευκού χρώματος στην οροφή του θερμοκηπίου και επειδή κυρίως χαρακτηρίζεται από ένα χαμηλό κόστος, αποτελεί μια συνηθισμένη εφαρμογή στην Μεσόγειο (Cohen et al., 2005).

Οι Baille, Kittas και Katsoulas (2001) εξηγούν ότι το λευκό χρώμα στις γυάλινες επιφάνειες αυξάνει σε ένα μικρό βαθμό την αναλογία την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να μειώνεται το εισερχόμενο στο θερμοκήπιο ηλιακό υπέρυθρο κλάσμα. Αυτό είναι ενδεχομένως ένα σημαντικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης πρακτικής έναντι άλλων εφαρμογών σκίασης, ιδίως όταν πρόκειται για την περίπτωση χωρών που το καλοκαίρι παρατηρούν υψηλές θερμοκρασίες και υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας (Bakker et al., 1995).

Ένα επιπλέον προτέρημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι το γεγονός ότι δεν έχει κάποια επίδραση στον αερισμό σε αντίθεση με τα εσωτερικά δίχτυα σκίασης που ασκούν μια αρνητική επιρροή στον αερισμό οροφής. Παράλληλα, με την συγκεκριμένη μέθοδο αυξάνεται σε σημαντικό βαθμό το κλάσμα της διάχυτης ακτινοβολίας, γεγονός που συμβάλλει σε μια αποτελεσματικότερη χρήση της ακτινοβολίας (Kittas et al., 2013).

Τα σκίαστρα που τοποθετούνται εσωτερικά στο θερμοκήπιο συμβάλουν επίσης στην μείωση της εσωτερικής ταχύτητας του ανέμου, με αποτέλεσμα τη μείωση του οριακού στρώματος των φύλλων και τον περιορισμό της διαθεσιμότητας διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) κοντά στην επιφάνεια του φύλλου (Kittas et al., 2013).

Δεν έχει καταστεί σαφές αν τα εσωτερικά δίχτυα σκίασης χρησιμοποιούνται καλύτερα σε όλο τον κύκλο ανάπτυξης ή μόνο στα πιο ευαίσθητα στάδια όταν οι καλλιέργειες έχουν χαμηλή επιφάνεια φύλλων και ο ρυθμός διαπνοής του θόλου του θερμοκηπίου δεν μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αποφυγή υπερθέρμανσης του θερμοκηπίου (Seginer, 1994).

### 3.2.1.3 Ψύξη με εξάτμιση

Μια από τις αποδοτικότερες λύσεις για τον μετριασμό των κλιματικών συνθηκών υψηλής θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί η εφαρμογή συστημάτων ψύξης με εξάτμιση, που ως αρχή λειτουργίας τους έχουν τη μετατροπή της αισθητής σε λανθάνουσα θερμότητα μέσω της εξάτμισης του νερού, που είτε τροφοδοτείται απευθείας στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου (μέσω ενός συστήματος ομίχλης (fog system) ή μέσω ψεκαστήρων) είτε παρέχεται μέσω παρειών εξάτμισης (evaporative pads) (Van Straten et al., 2010).

Με την εφαρμογή της ψύξης με εξάτμιση επιτυγχάνεται ταυτόχρονα η μείωση της θερμοκρασίας και η μείωση του ελλείμματος πίεσης ατμών. Σημειώνεται ότι η απόδοση της ψύξης με εξάτμιση είναι μεγαλύτερη όταν πρόκειται για ξηρά περιβάλλοντα (Kittas et al., 2013).

Το πλεονέκτημα των συστημάτων ομίχλης έναντι των συστημάτων παρειών εξάτμισης είναι ότι οι συνθήκες που προκύπτουν είναι ομοιόμορφες εντός του συνόλου του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να μην απαιτείται τεχνητός αερισμός και αεροστεγές περίβλημα. Τονίζεται ότι πριν να εγκατασταθεί κάποιο σύστημα ψύξης με εξάτμιση, θα πρέπει να υπολογίζεται ο αναγκαίος ρυθμός ροής τόσο του αέρα όσο και του νερού (FAO, 2017).

#### *3.2.1.3.1 Συστήματα ομίχλης*

Σε ένα σύστημα ομίχλης το νερό ψεκάζεται με υψηλή πίεση ως μικρά σταγονίδια (στο εύρος της ομίχλης, σε μια διάμετρο 2–60 nm) στον αέρα πάνω από τα φυτά με στόχο να αυξηθεί η επιφάνεια του νερού που έρχεται σε επαφή με τον αέρα. Η ταχύτητα ελεύθερης πτώσης αυτών των σταγονιδίων είναι αργή με αποτέλεσμα να μεταφέρονται με ευκολία από τα ρεύματα αέρα εντός του θερμοκηπίου (Ponce et al., 2014).

Σαν αποτέλεσμα παρατηρείται μια υψηλή απόδοση της εξάτμισης του νερού, ενώ ταυτόχρονα το φύλλωμα των φυτών διατηρείται στεγνό. Η χρήση ενός συστήματος ομίχλης έχει σαν στόχο να δημιουργηθεί μια υψηλή σχετική υγρασία εντός του θερμοκηπίου παράλληλα με την ψύξη (Bakker et al., 1995).

**Εικόνα 3.4** Σύστημα ομίχλης (Kittas et al., 2013)

Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία έχει διαπιστωθεί ένα ευρύ φάσμα σε ό,τι αφορά την απόδοση ψύξης ενός συστήματος ομίχλης (Kittas et al., 2013).

Έτσι για παράδειγμα, σύμφωνα με τους Arbel, Barak και Shklyar (2003), μια αυξημένη απόδοση στη διαδικασία ψύξης σε σχέση με την κατανάλωση νερού μπορεί να παρατηρηθεί στην περίπτωση που η ομίχλη συνδυάζεται με έναν μειωμένο ρυθμό αερισμού.



Παράλληλα έχει παρατηρηθεί μια στενή σχέση μεταξύ της απόδοσης ψύξης ενός συστήματος ομίχλης και του κύκλου λειτουργίας συστήματος (Abdel-Ghany και Kozai, 2006). Παρόμοιες τιμές για την απόδοση ψύξης ενός συστήματος ομίχλης έχουν αναφερθεί από τους Li, Willits και Yunkel (2006), που έχουν διαπιστώσει ότι η απόδοση ψύξης ομίχλης αυξάνεται με τον ρυθμό ψεκασμού και μειώνεται με τον ρυθμό αερισμού.

Σημειώνεται ότι συστήματα ομίχλης μπορεί να είναι συστήματα υψηλής (40 bar) ή χαμηλής (5 bar) πίεσης. Από τις δύο αυτές κατηγορίες αποτελεσματικότερα είναι τα συστήματα υψηλής πίεσης (FAO, 2017).

Παράλληλα με στόχο την εξασφάλιση της βελτίωσης των συνθηκών ψύξης εντός του θερμοκηπίου και έτσι και βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης των φυτών εντός αυτού, τα ακροφύσια του συστήματος ομίχλης πρέπει να βρίσκονται στην υψηλότερη δυνατή θέση μέσα στο θερμοκήπιο, για να επιτρέπεται η εξάτμιση του νερού πριν πέσει το νερό στην καλλιέργεια ή στο έδαφος (Van Straten et al., 2010).

Μάλιστα όταν τα ακροφύσια διαθέτουν ανεμιστήρες προκύπτει μια κατά 1,5 φορά καλύτερη αναλογία εξάτμισης και κατά τρεις φορές μεγαλύτερη περιοχή ψύξης σε σύγκριση με τα ακροφύσια που δε διαθέτουν ανεμιστήρες (Kittas et al., 2013).

Επιπλέον τα ακροφύσια που διαθέτουν ανεμιστήρες οδηγούν σε μια πιο ομοιόμορφη και παράλληλα χαμηλότερη θερμοκρασία αέρα. Τέλος κατά τη λειτουργία του συστήματος ομίχλης, θα πρέπει να διατηρείται ένα άνοιγμα αερισμού 20% του μέγιστου ανοίγματος (FAO, 2017).

### *3.2.1.3.2 Συστήματα ψύξης με βρεγμένη παρειά*

Το σύστημα ψύξης με βρεγμένη παρειά (fan and pad cooling system) χρησιμοποιείται πιο συχνά στην κηπουρική. Ο αέρας από το εξωτερικό περιβάλλον διοχετεύεται μέσω παρειών που έχουν μια κατά το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια και οι οποίες ψεκάζονται, ώστε να παραμένουν συνεχώς υγρές. Το νερό των παρειών εξατμίζεται και ψύχει τον αέρα. Επομένως, η εξωτερική υγρασία του αέρα πρέπει να είναι χαμηλή (Kittas et al., 2013).

Υπάρχουν δύο βασικά συστήματα ψύξης με βρεγμένη παρειά (Kittas et al., 2013):

1. Το σύστημα αρνητικής πίεσης αποτελείται από μια παρειά στη μια πλευρά του θερμοκηπίου και έναν ανεμιστήρα στην άλλη. Ο ανεμιστήρας ρουφά τον αέρα μέσα από τα παρειά και μέσα από το θερμοκήπιο. Η πίεση μέσα στο θερμοκήπιο είναι χαμηλότερη από την πίεση του περιβάλλοντος εκτός του θερμοκηπίου. Ο ζεστός αέρας και η σκόνη μπορούν επομένως να εισχωρήσουν στο θερμοκήπιο. Υπάρχει μια διαβάθμιση θερμοκρασίας από την παρειά στον ανεμιστήρα.

2. Το σύστημα θετικής πίεσης αποτελείται από ανεμιστήρες και παρειές στη μια πλευρά του θερμοκηπίου και αεραγωγούς στην άλλη. Οι ανεμιστήρες φυσούν τον αέρα μέσα από τις παρειές στο θερμοκήπιο. Η πίεση μέσα στο θερμοκήπιο είναι υψηλότερη από την πίεση του περιβάλλοντος εκτός του θερμοκηπίου. Η σκόνη δεν μπορεί να μπει στο θερμοκήπιο.

Για τη διασφάλιση μιας βέλτιστης ψύξης, θα πρέπει το θερμοκήπιο να σκιαζεται. Ο ρυθμός ροής νερού, το σύστημα διανομής νερού, η δυναμικότητα της αντλίας, ο ρυθμός ανακυκλοφορίας και ο ρυθμός εξόδου του συστήματος ψύξης με βρεγμένη παρειά πρέπει να υπολογίζονται προσεκτικά και να σχεδιάζονται, ώστε να παρέχουν επαρκή διαβροχή της παρειάς και να αποφεύγεται η εναπόθεση υλικού (Van Straten et al., 2010).

Κρίσιμη είναι επίσης η τήρηση των οδηγιών του κατασκευαστή για την επιλογή και την τοποθέτηση παρειών. Επιπλέον, θα πρέπει πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις και να λαμβάνονται μια σειρά από ζητήματα. Μια πρώτη προϋπόθεση είναι η απόδοση ψύξης να παρέχει μια εσωτερική υγρασία αέρα στην έξοδο κατά προσέγγιση ίση με 85% (FAO, 2017).

Ένα ζήτημα από την άλλη είναι ότι με την υψηλότερη υγρασία του αέρα επιβραδύνεται ο ρυθμός διαπνοής των φυτών με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του φυτού να είναι πιθανό να αυξηθεί πάνω από τη θερμοκρασία του αέρα (FAO, 2017).

Μια ακόμη κρίσιμης σημασίας προϋπόθεση είναι το υλικό της παρειάς να έχει μια μεγάλη επιφάνεια, υψηλή ανθεκτικότητα, καλές ιδιότητες διαβροχής και υψηλή απόδοση ψύξης, ενώ παράλληλα θα πρέπει να οδηγεί σε μια μικρή απώλεια πίεσης (Van Straten et al., 2010). Επιπλέον συνιστάται το μέσο πάχος της παρειάς να είναι μεταξύ 100 mm και 200 mm, καθώς και να μην έχει διαρροές, ώστε να μη μπορεί να τη διαπεράσει ο αέρας χωρίς να έρθει σε ουσιαστική επαφή μαζί της (Kittas et al., 2013).

Σημειώνεται ότι η επιφάνεια της παρειάς είναι συνάρτηση α) του ρυθμού ροής του αέρα που απαιτείται για το σύστημα ψύξης και β) της επιτρεπόμενης επιφανειακής ταχύτητας πάνω από την παρειά (Kittas et al., 2013).



**Εικόνα 3.5**  
με βρεγμένη  
al., 2013)

Σύστημα ψύξης  
παρειά (Kittas et

Οι μέσες μετωπικές ταχύτητες του αέρα κυμαίνονται από 0,75 m/ s έως και 1,5 m/ s. Οι υπερβολικά υψηλές ταχύτητες μπορεί να οδηγήσουν σε προβλήματα με την είσοδο σταγόνων στο θερμοκήπιο. Η επιφάνεια της παρειάς σε γενικές γραμμές συνιστάται να είναι κατά προσέγγιση 1 m<sup>2</sup> ανά 20 m<sup>2</sup> με 30 m<sup>2</sup> επιφάνειας θερμοκηπίου, ενώ η μέγιστη απόσταση ανάμεσα στον ανεμιστήρα και την παρειά συνιστάται να είναι μεταξύ 30 m και 40 m (Kittas et al., 2013).

Σε ό,τι αφορά την τοποθέτηση των παρειών, αυτή μπορεί να είναι οριζόντια ή κατακόρυφη, αν και πιο συχνά προτιμάται η κατακόρυφη. Οι παρειές είναι σημαντικό να βρίσκονται και να τοποθετούνται έτσι ώστε να διευκολύνεται ο καθαρισμός και η συντήρησή τους. Επιπλέον η τοποθέτησή τους θα πρέπει να γίνεται στην πλευρά του θερμοκηπίου, στην οποία πνέει ο επικρατών άνεμος (Van Straten et al., 2010).

Όμοια με τις παρειές και η ανεμιστήρες θα πρέπει να μπορούν να καθαριστούν και να συντηρηθούν εύκολα. Επιπρόσθετα και σε αντίθεση με τις παρειές θα πρέπει να τοποθετούνται στην υπήνεμη πλευρά του θερμοκηπίου, καθώς στην περίπτωση που τοποθετηθούν στην πλευρά που πνέει ο επικρατών άνεμος, τότε θα πρέπει ο ρυθμός αερισμού να αυξηθεί κατά ένα 10% (Kittas et al., 2013).

Οι ανεμιστήρες δε θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους μια απόσταση μεγαλύτερη των 7,5 m με 10 m, ενώ δε θα πρέπει να εκκενώνονται προς τις παρειές

ενός παρακείμενου θερμοκηπίου σε απόσταση μικρότερη από 15 m (Kittas et al., 2013).

Όλοι οι ανεμιστήρες θα πρέπει να είναι εξοπλισμένοι με αυτόματα κλείστρα, σε σκοπό την αποτροπή της ανταλλαγής αέρα όταν δεν βρίσκονται σε λειτουργία, για να αποτρέπεται η ανταλλαγή αέρα όταν οι ανεμιστήρες δεν λειτουργούν.

Κατά την εκκίνηση του συστήματος ψύξης, πρέπει πρώτα να ξεκινά η ροή του νερού μέσω των παρειών, να μην παρατηρηθούν προβλήματα απόφραξης τους. Οι ανεμιστήρες δεν πρέπει να ξεκινήσουν να λειτουργούν πριν ολοκληρωθεί η παρεία να έχει βραχεί. Το βράδυ, όταν παύει η λειτουργία του συστήματος ψύξης, η παύση της λειτουργίας του ανεμιστήρα πρέπει να λαμβάνει χώρα πριν από τη ροή του νερού μέσω της παρείας (FAO, 2017).

Συνιστάται το όλο σύστημα ψύξης να λειτουργεί με ένα απλό σύστημα ελέγχου ανάλογα με την εσωτερική θερμοκρασία. Ο ρυθμός ροής αέρα εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία μέσα στο θερμοκήπιο, δηλαδή από το υλικό επένδυσης και τη σκίαση και από τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής από τα φυτά και το έδαφος. Ο ρυθμός ροής αέρα μπορεί να υπολογιστεί με ένα ενεργειακό ισοζύγιο (Van Straten et al., 2010).

Γενικά, ένας βασικός ρυθμός ροής αέρα μεταξύ 120 m<sup>3</sup> και 150 m<sup>3</sup> ανά ένα m<sup>2</sup> επιφάνειας θερμοκηπίου ανά ώρα θα επιτρέψει την ικανοποιητική λειτουργία ενός συστήματος ψύξης με εξάτμιση (Kittas et al., 2013).

### 3.2.2 Θέρμανση

Η θέρμανση του θερμοκηπίου είναι αναγκαία ακόμη και όταν πρόκειται για τις χώρες της Μεσογείου, που χαρακτηρίζονται από εύκρατο κλίμα. Ο λόγος είναι ότι μέσω της θέρμανσης μπορεί να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή των φυτών σε ό,τι αφορά τόσο την ποιότητα όσο και την ποιότητα με αποτέλεσμα τελικά να βελτιωθεί και η απόδοση του θερμοκηπίου. Το κόστος θέρμανσης δεν σχετίζεται απλά με την κερδοφορία ενός θερμοκηπίου, αλλά μπορεί να καθορίσει και την μακροπρόθεσμη βιωσιμότητά του (FAO, 2017).

Πέραν όμως του κόστους, που αναφέρεται σε υψηλά ποσοστά ενεργειακής κατανάλωσης, η θέρμανση μπορεί να οδηγήσει σε περιβαλλοντικά προβλήματα, που προκύπτουν από την εκπομπή επιβλαβών αερίων κατά τη λειτουργία ενός συστήματος θέρμανσης, που χρησιμοποιεί συμβατικά καύσιμα.



Ωστόσο, όπως προειπώθηκε, οι ανάγκες σε θέρμανση δε μπορούν να παραλειφθούν. Για τον υπολογισμό των αναγκών ενός θερμοκηπίου σε θέρμανση ( $H_g$  (W)), ένας απλοποιημένος τύπος έχει ως εξής (ASAE, 2000):

$$H_g = U * A * (T_i - T_o) \quad (3.2)$$

Όπου:

U: συντελεστής απώλειας θερμότητας ( $W/ m^2 * ^\circ K$ ) (βλέπε Πίνακα 3.1)

A: εκτεθειμένη επιφάνεια θερμοκηπίου ( $m^2$ )

$T_i$ : εσωτερική θερμοκρασία αέρα ( $^\circ K$ )

$T_o$ : θερμοκρασία εξωτερικού αέρα ( $^\circ K$ )

Σημειώνεται ότι ο υπολογισμός των αναγκών του θερμοκηπίου μέσω της εξίσωσης 2 δεν λαμβάνει υπόψη την απώλεια θερμότητας λόγω διαρροής. Ωστόσο, είναι ένας απλός τύπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των αναγκών θέρμανσης ανάλογα με την επιφάνεια, που καλύπτει το θερμοκήπιο, και την επιθυμητή διαφορά θερμοκρασίας εντός και εκτός του θερμοκηπίου (ASAE, 2000).

**Πίνακας 3.1** Συντελεστής απώλειας θερμότητας (U) για μια ταχύτητα ανέμου n m/ s (Kittas et al., 2013)

Υλικό κάλυψης	Συντελεστής απώλειας θερμότητας ( $W/ m^2 * ^\circ K$ )
Μονός υαλοπίνακας	6,0 – 8,8
Διπλός υαλοπίνακας με διάκενο αέρα 9 mm	4,2 – 5,2
Διπλό ακρυλικό πάχους 16 mm	4,2 – 5,0
Μονό πλαστικό	6,0 – 8,0
Διπλό πλαστικό	4,2 – 6,0
Μονός υαλοπίνακας σε συνδυασμός με ενεργειακό παραπέτασμα μονής μεμβράνης χωρίς πλέξη	4,1 – 4,8
Μονός υαλοπίνακας σε συνδυασμός με ενεργειακό παραπέτασμα αλουμινωμένης μονής μεμβράνης	3,4 – 3,9

Στις παρακάτω Υποενότητες παρουσιάζονται συστήματα θέρμανσης που ενδείκνυνται για την βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης σε υφιστάμενα μεσογειακά θερμοκήπια.

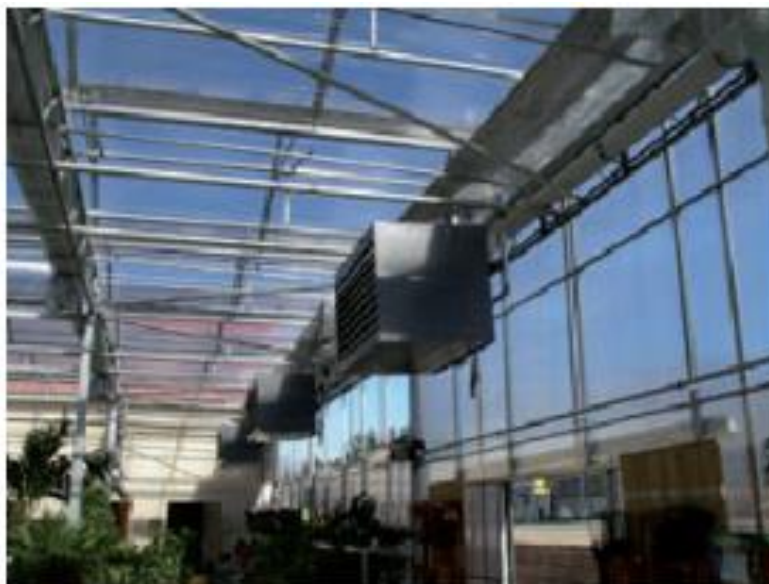
### 3.2.2.1 Συστήματα θέρμανσης

Το σύστημα θέρμανσης πρέπει να παρέχει θερμότητα στο θερμοκήπιο με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο αυτή η θερμότητα χάνεται. Υπάρχουν ποικίλοι ευρέως διαδεδομένοι τύποι συστημάτων θέρμανσης για τα θερμοκήπια (FAO, 2017).

Αυτό που χρησιμοποιείται πιο συχνά και που είναι παράλληλα η οικονομικότερη λύση είναι οι θερμαντήρες (FAO, 2017).

Σε ένα θερμοκήπιο ο θερμός αέρας διοχετεύεται στους θερμαντήρες με αυτόνομες εστίες. Οι θερμαντήρες βρίσκονται σε όλο το θερμοκήπιο με τον καθένα να έχει τη δυνατότητα να θερμαίνει μια επιφάνεια δαπέδου, που κυμαίνεται από 180 m<sup>2</sup> έως και 500 m<sup>2</sup>. Το τυπικό κόστος, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης, κυμαίνεται από 4 €/ m<sup>2</sup> έως και 8 €/ m<sup>2</sup> (Van Straten et al., 2010).

Πέραν των θερμαντήρων μπορούν να εφαρμοστούν και μια σειρά από άλλα



συστήματα, με τα συνηθέστερα να αναλύονται παρακάτω.

**Εικόνα 3.6** Θερμαντήρες (Kittas et al., 2013)

#### *3.2.2.1.1 Κεντρική θέρμανση*

Παράγεται ατμός ή ζεστό νερό, καθώς και ένας μηχανισμός ακτινοβολήσης στο θερμοκήπιο για τη διάχυση της θερμότητας (Εικόνα 2.6). Το τυπικό κόστος ενός κεντρικού συστήματος λέβητα για 10 στρέμματα, συμπεριλαμβανομένης της διανομής και εγκατάστασης θερμότητας, κυμαίνεται από 30 €/ m<sup>2</sup> έως και 80 €/ m<sup>2</sup>, ανάλογα με τον αριθμό των ζωνών θερμότητας και τις ακριβείς ανάγκες θερμότητας (Van Straten et al., 2010).

Σε αντίθεση με τα συστήματα θερμαντήρων, ένα μέρος της θερμότητας από τα κεντρικά συστήματα λεβήτων παραδίδεται στη ζώνη της ρίζας και του στέμματος της καλλιέργειας, οδηγώντας σε μια βελτιωμένη ανάπτυξη και σε ένα υψηλότερο επίπεδο ελέγχου πιθανών ασθενειών της. Η τοποθέτηση των σωλήνων θέρμανσης είναι πολύ σημαντική, καθώς έχει άμεση σχέση με την απώλεια θερμότητας. Έτσι για παράδειγμα, στην περίπτωση που οι σωλήνες τοποθετηθούν στους τοίχους, θα παρατηρηθούν μεγάλες πλευρικές απώλειες (Van Straten et al., 2010).



(α)

(β)

**Εικόνα 3.7** α) Κεντρικός λέβητας και β) σωλήνες θέρμανσης για την απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας (Kittas et al., 2013)

Η θέρμανση περιμετρικά των τοίχων του θερμοκηπίου έχει τη δυνατότητα παρέχει μέρος των πρόσθετων αναγκών σε θερμότητα και να οδηγήσει σε ένα ομοιόμορφο θερμικό περιβάλλον στο θερμοκήπιο. Οι πλαϊνοί σωλήνες θα πρέπει να έχουν ελάχιστα εκατοστά διάκενο σε όλες τις πλευρές, για να επιτρέπεται η δημιουργία ρευμάτων αέρα και θα πρέπει να βρίσκονται αρκετά χαμηλά, ώστε να επιτρέπεται στο φως να εισέρχεται από τους πλευρικούς τοίχους (Kittas et al., 2013).

**Εικόνα 3.8** Σωλήνες περιμετρικά των τοίχων του θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013)

Από την άλλη μπορούν να τοποθετηθούν σπειροειδείς σωλήνες στην οροφή κατά μήκος όλου του θερμοκηπίου, οι οποίοι, ωστόσο, οδηγούν σε απώλεια θερμότητας μέσω της οροφής και των αετωμάτων. Ο συγκεκριμένος τύπος

θέρμανσης δεν είναι η πιο επιθυμητή πηγή θερμότητας, καθώς βρίσκεται πάνω από τα φυτά (FAO, 2017).

Ωστόσο, τα συστήματα θέρμανσης οροφής μπορούν να παρέχουν την πρόσθετη θερμότητα, που είναι απαραίτητη το χειμώνα. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης ασθενειών, μια σημαντική ανησυχία για πολλούς καλλιεργητές θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013).

**Εικόνα 3.9** Σωλήνες στην οροφή του θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013)

Όταν η διάταξη του θερμοκηπίου είναι κατάλληλη, προτιμάται οι σπειροειδείς



σωλήνες να τοποθετούνται κοντά στη βάση των φυτών, καθώς οι ρίζες και το στέμμα των φυτών λαμβάνουν περισσότερη θερμότητα σε σύγκριση με τους σωλήνες

οροφής. Η κίνηση του αέρα που προκαλείται από τον θερμότερο σωλήνα μειώνει την υγρασία γύρω από το φυτό. Η θερμότητα διατηρείται επίσης χαμηλότερη στο θερμοκήπιο με αποτέλεσμα μια βελτιστοποιημένη ενεργειακή απόδοση (FAO, 2017).

Μια ακόμη λύση αποτελεί η επιδαπέδια θέρμανση, που είναι και η αποδοτικότερη μέθοδος σε σύγκριση με τις δύο παραπάνω. Εκτός από τα πλεονεκτήματα της θέρμανσης κοντά στη βάση των φυτών, που και η επιδαπέδια θέρμανση παρουσιάζει, η επιδαπέδια θέρμανση συμβάλει στο γρήγορο στέγνωμα του δαπέδου. Αυτό είναι απαραίτητο όταν τα δάπεδα πλημμύρας (flood floors) χρησιμοποιούνται για άρδευση και λίπανση (Van Straten et al., 2010).



**Εικόνα 3.10** Σωλήνες κοντά στη βάση των φυτών (Kittas et al., 2013)

Ακόμη υπάρχει η δυνατότητα συστήματα θέρμανσης με σωλήνες σε ράγες, που διατηρούν ομοιόμορφες θερμοκρασίες με θετική επίδραση στο μικροκλίμα. Η κίνηση του αέρα που προκαλείται από τον θερμότερο σωλήνα - ράγα μειώνει την υγρασία γύρω από το φυτό (Kittas et al., 2013).



**Εικόνα 3.11** Σωλήνες σε ράγες εντός του θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013)

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής συστημάτων θερμαντήρων ακτινοβολίας, οι οποίοι εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία, η οποία ταξιδεύει σε ευθεία διαδρομή με την ταχύτητα του φωτός. Ο αέρας μέσω του οποίου ταξιδεύει η ακτινοβολία δεν θερμαίνεται. Αφού θερμανθούν αντικείμενα όπως φυτά, διάδρομοι και παγκάκια, θα ζεστάνουν τον αέρα που τα περιβάλλει (Van Straten et al., 2010).

Οι θερμοκρασίες του αέρα στα θερμοκήπια που θερμαίνονται με υπέρυθη ακτινοβολία μπορεί να είναι 3 °C με 6 °C χαμηλότερες από ό,τι σε συμβατικά θερμαινόμενα θερμοκήπια με ισοδύναμη ανάπτυξη φυτών (FAO, 2017). Οι αναφορές των καλλιεργητών σχετικά με την εξοικονόμηση καυσίμου υποδηλώνουν μείωση 30% με 50% των καυσίμων με τη χρήση θερμαντήρων χαμηλής ενέργειας υπέρυθρης ακτινοβολίας, σε σύγκριση με το σύστημα θέρμανσης μονάδας (Kittas et al., 2013).

### *3.2.2.2 Θερμοστάτες και έλεγχος*

Διάφοροι θερμοστάτες και περιβαλλοντικοί ελεγκτές είναι διαθέσιμοι για την εμπορική παραγωγή σε ένα θερμοκήπιο. Οι συσκευές ανίχνευσης πρέπει να τοποθετούνται στο επίπεδο των φυτών στο θερμοκήπιο, καθώς οι θερμοστάτες στο ύψος των ματιών του ιδιοκτήτη του θερμοκηπίου είναι ευανάγνωστοι, αλλά δεν παρέχουν τα απαραίτητα δεδομένα για τον βέλτιστο περιβαλλοντικό έλεγχο. Απαιτείται κατάλληλος αριθμός αισθητήρων σε όλη την περιοχή παραγωγής. Οι

περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά σε μικρή απόσταση (FAO, 2017).

Οι θερμοστάτες δεν πρέπει να τοποθετούνται στις άμεσες ακτίνες του ήλιου, καθώς αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα κακές μετρήσεις. Θα πρέπει να τοποθετούνται με βόρεια ή σε προστατευμένη θέση. Μπορεί να χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί ένας μικρού μεγέθους ανεμιστήρας, για να απομακρύνεται ο αέρας πάνω από τον θερμοστάτη και έτσι να λαμβάνονται οι ορθές μετρήσεις (Van Straten et al., 2010).

### *3.1.2.3 Ενεργειακοί θερμαντήρες και γεννήτριες*

Οι κίνδυνοι που συνδέονται με την ηλεκτρική ενέργεια είναι πάντα παρόντες. Οι θερμάστρες και οι λέβητες εξαρτώνται από την ηλεκτρική ενέργεια και εάν συμβεί διακοπή ρεύματος κατά τη διάρκεια μιας ψυχρής περιόδου, όπως μια ισχυρή καταιγίδα χιονιού ή πάγου, είναι πιθανή η απώλεια των καλλιεργειών λόγω παγετού (Van Straten et al., 2010).

Μια εφεδρική ηλεκτρική γεννήτρια χρειάζεται για κάθε λειτουργία θερμοκηπίου. Αν και μπορεί να μην χρησιμοποιηθεί ποτέ στην πραγματικότητα, ακόμα κι αν χρειαστεί μόνο για μια κρίσιμη κρύα νύχτα, αποτελεί μια εξαιρετικά κερδοφόρα επένδυση. Απαιτείται τουλάχιστον 1 kW χωρητικότητας γεννήτριας ανά 200 m<sup>2</sup> επιφάνειας του θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013).

### *3.2.2.4 Θέρμανση για την προστασία από τον παγετό*

Η θέρμανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προστασία των καλλιεργειών από το πάγωμα. Μπορεί επίσης να διατηρήσει τη θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου σε επίπεδα πάνω από τα κρίσιμα όρια για τον έλεγχο της συμπτύκνωσης. Όταν το θερμοκήπιο δεν είναι εξοπλισμένο με βαριά και περίπλοκα συστήματα θέρμανσης, συνήθως αρκεί μια μονάδα θέρμανσης (FAO, 2017).

Παρακάτω παρατίθενται άλλες χρήσιμες συστάσεις για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου προκειμένου να αποφευχθεί το πάγωμα των φυτών (Kittas et al., 2013):

- Χρήση πρόσθετης μόνωσης στον βόρειο τοίχο του θερμοκηπίου για πρόσθετη προστασία από τους ψυχρούς βόρειους ανέμους.



- Χρήση νερού για την αποθήκευση θερμότητας (ένα απλό παθητικό σύστημα ηλιακής θέρμανσης), η οποία στη συνέχεια απελευθερώνεται τη νύχτα όταν πέφτουν οι θερμοκρασίες.
- Μόνωση του θερμοκηπίου και ειδικότερα ενός θερμοκηπίου με πλαστικό ως το υλικό κάλυψης με ένα φύλλο αφρού, που τοποθετείται εύκολα πάνω από τη δομή τη νύχτα και αφαιρείται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ένα επιπλέον στρώμα πλαστικού μπορεί επίσης να τοποθετηθεί στο εσωτερικό του θερμοκηπίου για πρόσθετη μόνωση.

### 3.2.2.5 Συστάσεις για μια βελτιωμένη θέρμανση

Ορισμένες σημαντικές συστάσεις για την εξασφάλιση μιας αποδοτικής θέρμανσης ή για τη βελτίωση αυτής σε ένα θερμοκήπιο έχουν ως εξής (κάποιες από αυτές έχουν ήδη ειπωθεί παραπάνω, αλλά συγκεντρώνονται και συνοψίζονται εδώ για να προκύψει μια πλήρης λίστα συστάσεων) (Kittas et al., 2013):

- Διατήρηση ενός εφεδρικού σχεδίου θέρμανσης σε περίπτωση βλάβης του θερμοαντήρα
- Αποφυγή υπερβολικής σφράγισης του θερμοκηπίου το χειμώνα, καθώς ο κακός αερισμός οδηγεί σε προβλήματα υγρασίας
- Χρήση ενός εσωτερικού μετρητής θερμοκρασίας του θερμοκηπίου, για να διατηρείται σταθερή η ελάχιστη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο
- Χρήση ανεμιστήρων για την κυκλοφορία της θερμότητας από την οροφή του θερμοκηπίου στο πάτωμα
- Αντικατάσταση του θερμοκηπίου μετά από 15 με 20 έτη και κυρίως του εξοπλισμού ελέγχου του κλίματος για την εξασφάλιση της αποδοτικής λειτουργίας της θέρμανσης.

Ειδικότερες συστάσεις σε ό,τι αφορά τη δομή του συστήματος θέρμανσης έχουν ως εξής (Kittas et al., 2013):

1. Κάλυμμα

- Αντικατάσταση των κατεστραμμένων ή των υπερβολικά σκοτεινών πάνελ
- Επισκευή ή σφράγιση ρωγμών και τρυπών
- Αφαίρεση της περιττής σκίασης για να επιτραπεί η διείσδυση του φωτός

2. Σύστημα αερισμού

- Επισκευή ή ρύθμιση των αεραγωγών για την μείωση των ρωγμών στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή

3. Σύστημα θέρμανσης - θερμαντήρας

- Έλεγχος και καθαρισμός των ακροφύσιων του καυστήρα
- Εξασφάλιση ότι υπάρχει επαρκής εξωτερικός αέρας στους καυστήρες
- Έλεγχος των καπναγωγών για το σωστό μέγεθος και τυχόν εμπόδια
- Έλεγχος των γραμμών καυσίμου για διαρροές
- Έλεγχος των εναλλακτών θερμότητας για ρωγμές και συσσώρευση άνθρακα και βρωμιάς

4. Λέβητες (ατμός ή ζεστό νερό)

- Έλεγχος και εξασφάλιση ότι οι βαλβίδες ασφαλείας ή εκτόνωσης λειτουργούν και δεν παρουσιάζουν διαρροές
- Καθαρισμός των σωλήνων
- Καθαρισμός των πτερυγίων του ανεμιστήρα
- Διατήρηση ακριβών στοιχείων επεξεργασίας νερού
- Έλεγχος της πίεσης λειτουργίας του λέβητα και ρύθμιση της σωστής πίεσης
- Μόνωση θερμοσίφωνα ή λέβητα
- Εξασφάλιση ότι η καλωδίωση είναι σε καλή κατάσταση
- Εξασφάλιση ότι υπάρχει διαθέσιμο νερό καλής ποιότητας για το σύστημα

5. Σύστημα παράδοσης και επιστροφής ατμού ή ζεστού νερού

- Διόρθωση διαρροών σωλήνων

- Εξασφάλιση ότι υπάρχει αρκετός σωλήνας για τη μεταφορά της διαθέσιμης θερμότητας για τη διατήρηση των επιθυμητών θερμοκρασιών θερμοκηπίου
- Καθαρισμός των σωλήνων θέρμανσης
- Καθαρισμός των πτερυγίων θέρμανσης
- Ρύθμιση των βαλβίδων και αντικατάσταση αν απαιτείται
- Έλεγχος για τη σωστή διάταξη των σωληνώσεων για μέγιστη απόδοση

#### 6. Έλεγχος

- Εξασφάλιση ότι οι κύκλοι ή τα στάδια θέρμανσης και ψύξης δεν αλληλεπικαλύπτονται - Ελέγξτε
- έλεγχος για την ακρίβεια των θερμοστατών με ένα θερμόμετρο
- Βαθμονόμηση, ρύθμιση ή αντικατάσταση θερμοστάτη
- Εξασφάλιση ότι οι θερμοστάτες βρίσκονται κοντά ή στο επίπεδο της εγκατάστασης και δεν εκτίθενται σε κοντινές πηγές θερμότητας

#### 7. Εφεδρική γεννήτρια αναμονής

- Έλεγχος και καθαρισμός της μπαταρίας
- Άδειασμα και εκ νέου γέμισμα των δεξαμενών καυσίμου
- Έλεγχος της δεξαμενής καυσίμου και των γραμμών για διαρροές
- Εκκίνηση και λειτουργία εβδομαδιαία

### 3.2.3 Εμπλουτισμός με διοξείδιο του άνθρακα

Η έλλειψη κλιματικού ελέγχου σε πολλά θερμοκήπια στις μεσογειακές χώρες οδηγεί σε ένα ανεπαρκές μικροκλίμα, που έχει αρνητική επίδραση στα στοιχεία απόδοσης των φυτών. Ο εμπλουτισμός με CO<sub>2</sub> είναι απαραίτητος για τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, καθώς έχει αποδειχτεί ότι η συνεχής ή περιοδική αύξηση του CO<sub>2</sub> μέσα στο θερμοκήπιο μπορεί να αυξήσει κατά πάνω από 20% την παραγωγή του θερμοκηπίου (Shanchez-Guerrero et al., 2005).

Ο καλύτερος έλεγχος του εναέριου περιβάλλοντος του θερμοκηπίου μπορεί να βελτιώσει την εμπορεύσιμη απόδοση και ποιότητα και να παρατείνει την καλλιεργητική περίοδο. Μέσα σε ένα μη εμπλουτισμένο θερμοκήπιο, η συγκέντρωση

CO<sub>2</sub> πέφτει κάτω από το ατμοσφαιρικό επίπεδο κάθε φορά που ο ρυθμός κατανάλωσης CO<sub>2</sub> μέσω της φωτοσύνθεσης είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό παροχής μέσω των αεραγωγών του θερμοκηπίου (Baille, 1999).

Η κακή απόδοση των συστημάτων εξαερισμού σε θερμοκήπια χαμηλού κόστους στις μεσογειακές χώρες, σε συνδυασμό με τη χρήση αδιάβροχων δικτυών (Muñoz et al., 1999), εξηγεί για παράδειγμα τη σχετικά υψηλή μείωση του CO<sub>2</sub> (περίπου 20% ή περισσότερο), που έχει αναφερθεί στη νότια Ισπανία. (Lorenzo, Maroto και Castilla, 1990). Πιθανές λύσεις είναι (Kittas et al., 2013):

- Αύξηση του ρυθμού αερισμού μέσω τεχνητού αερισμού
- Βελτίωση του σχεδιασμού και της διαχείρισης του συστήματος αερισμού
- Παροχή εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub>.

Η παροχή εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub> έχει υιοθετηθεί σε πολύ μεγάλη κλίμακα σε θερμοκήπια της βόρειας Ευρώπης με σκοπό να ενισχυθεί η φωτοσύνθεση των καλλιεργειών, κατά το χειμώνα, που η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Ο εμπλουτισμός έχει διαπιστωθεί ότι μπορεί να αυξήσει την απόδοση και την ποιότητα των καλλιεργειών υπό μια συγκέντρωση CO<sub>2</sub> της τάξης των 700 μmol/mol με 900 μmol/mol (Nederhoff, 1994).

Ένας σημαντικός περιορισμός είναι η μικρή χρονική περίοδος που είναι διαθέσιμη για την αποτελεσματική χρήση του εμπλουτισμού CO<sub>2</sub> λόγω της ανάγκης αερισμού για έλεγχο της θερμοκρασίας. Το γεγονός ότι τα θερμοκήπια πρέπει να αερίζονται σε μεγάλο μέρος της ημέρας καθιστά αντιοικονομική τη διατήρηση υψηλής συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> κατά τη διάρκεια της ημέρας (Epoch, 1984).

Ωστόσο, ο Nederhoff (1994) συνεχίζει να προτείνει την παροχή CO<sub>2</sub> ακόμη και όταν λειτουργεί αερισμός με σκοπό να διατηρηθεί η ίδια συγκέντρωση CO<sub>2</sub> τόσο εντός όσο και εκτός του θερμοκηπίου, εφαρμόζοντας έναν εμπλουτισμό σε επίπεδα κατά προσέγγιση ίσα με 700 μmol/mol ή/ και 800 μmol/mol όταν το θερμοκήπιο παραμένει κλειστό, δηλαδή συνήθως νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα τεχνητά αποθέματα CO<sub>2</sub> εντός του θερμοκηπίου, το CO<sub>2</sub>, που απορροφάται κατά τη φωτοσύνθεση, πρέπει τελικά να παρέχεται από το εξωτερικό περιβάλλον μέσω των ανοιγμάτων αερισμού.

Προϋπόθεση αποτελεί η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> εντός του θερμοκηπίου να κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτήν του εξωτερικού περιβάλλοντος, ώστε να προκύψει μια ροή προς τα μέσα (Kittas et al., 2013).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η πιθανή αφομοίωση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συγκέντρωση CO<sub>2</sub>, η αφομοίωση μειώνεται, ανεξάρτητα από το επίπεδο φωτός ή την κατάσταση της καλλιέργειας. Ο αερισμός του θερμοκηπίου συνεπάγεται μια αντιστάθμιση μεταξύ της εξασφάλισης εισροής CO<sub>2</sub> και της διατήρησης μιας κατάλληλης θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα κατά τις ηλιόλουστες μέρες (FAO, 2017).

Οι Stanghellini et al. (2008) εφάρμοσαν ένα απλό μοντέλο για την εκτίμηση της πιθανής απώλειας παραγωγής, χρησιμοποιώντας δεδομένα που ελήφθησαν σε εμπορικά θερμοκήπια στην Αλμερία της Ισπανίας και στη Σικελία της Ιταλίας. Ανέλυσαν το κόστος, τα πιθανά οφέλη και τις συνέπειες της εισαγωγής περισσότερου CO<sub>2</sub> στο θερμοκήπιο είτε μέσω αυξημένου αερισμού με συνέπεια τη μείωση της θερμοκρασίας είτε μέσω τεχνητής παροχής.

Όπως διαπίστωσαν, ενώ η μείωση της παραγωγής που προκαλείται από την εξάντληση είναι συγκρίσιμη με τη μείωση που προκύπτει από τις χαμηλότερες θερμοκρασίες, που προκαλούνται από τον αερισμό για να αποφευχθεί η εξάντληση, η αντιστάθμιση της επίδρασης της εξάντλησης είναι πολύ φθηνότερη από την αναπλήρωση της απώλειας με θέρμανση (Stanghellini et al., 2008).

Ο βέλτιστος εμπλουτισμός με CO<sub>2</sub> εξαρτάται από το περιθώριο μεταξύ της αύξησης της αξίας της καλλιέργειας και του κόστους παροχής του CO<sub>2</sub>. Η προσπάθεια να καθοριστεί η βέλτιστη συγκέντρωση με πείραμα δεν είναι εφικτή επειδή η οικονομική αξία του εμπλουτισμού δεν είναι σταθερή, αλλά ποικίλλει ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία μέσω του ρυθμού φωτοσύνθεσης και με τον ρυθμό αερισμού του θερμοκηπίου μέσω της απώλειας CO<sub>2</sub> (Bailey και Chalabi, 1994).

Το βέλτιστο σημείο ρύθμισης CO<sub>2</sub> εξαρτάται από διάφορες επιρροές: την επίδραση του CO<sub>2</sub> στον ρυθμό φωτοσυνθετικής αφομοίωσης, την κατανομή στους καρπούς και τη βλαστική δομή, την κατανομή του φωτοσυνθετικού υλικού σε επόμενες συγκομιδές τον ρυθμό αερισμού του θερμοκηπίου, την τιμή του CO<sub>2</sub> και την τιμή των προϊόντων σε αυτές τις συγκομιδές, επιπλέον της ποσότητας του CO<sub>2</sub> που χρησιμοποιείται (Kittas et al., 2013).

Η κύρια πηγή εμπλουτισμού CO<sub>2</sub> στο θερμοκήπιο ήταν το καθαρό αέριο. Στη σύγχρονη εποχή γίνεται πιο συχνή χρήση των αερίων καύσης από καύσιμο υδρογονάνθρακα, όπως για παράδειγμα, παραφίνη χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, προπάνιο, βουτάνιο ή φυσικό αέριο και πιο πρόσφατα επίσης από βιοαέριο. Σε αυτές τις περιπτώσεις, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην παρακολούθηση των επιπέδων του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>), του τριοξειδίου του θείου (SO<sub>3</sub>) και των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), τα οποία μπορούν να βλάψουν τις καλλιέργειες ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (Kittas et al., 2013).

### 3.2.4 Αφύγρανση

Η συμπύκνωση αναφέρεται στο σχηματισμό σταγόνων νερού από υδρατμούς. Η συμπύκνωση συμβαίνει όταν ο θερμός, υγρός αέρας σε ένα θερμοκήπιο έρχεται σε επαφή με μια ψυχρή επιφάνεια, όπως είναι για παράδειγμα το γυαλί, το πλαστικό, ο υαλοβάμβακας ή τα διαφορετικά δομικά στοιχεία του θερμοκηπίου (FAO, 2017). Ο αέρας που έρχεται σε επαφή με την ψυχρή επιφάνεια ψύχεται στη θερμοκρασία της επιφάνειας. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία της επιφάνειας είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα, οι ατμοί στον αέρα θα συμπυκνωθούν στην επιφάνεια (Van Straten et al., 2010).

Η συμπύκνωση είναι μεγαλύτερη στα θερμοκήπια από τη δύση του ηλίου έως αρκετές ώρες μετά την ανατολή του ηλίου. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, υπάρχει επαρκής θέρμανση από την ηλιακή ακτινοβολία για την ελαχιστοποίηση ή την πρόληψη της συμπύκνωσης, εκτός από τις πολύ κρύες, συνεφιασμένες μέρες. Τα θερμοκήπια είναι πιο πιθανό να εμφανίσουν έντονη συμπύκνωση κατά την ανατολή του ηλίου ή λίγο πριν. Η συμπύκνωση είναι ένα σύμπτωμα υψηλής υγρασίας και μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα, όπως είναι για παράδειγμα, η βλάστηση σπορίων παθογόνων μυκήτων. Η συμπύκνωση μπορεί να είναι ένα σημαντικό πρόβλημα, που όμως σε ορισμένες περιόδους του έτους, είναι αδύνατο να αποφευχθεί εντελώς (Kittas et al., 2013).

#### 3.2.4.1 Τρόποι αφύγρανσης

##### 3.2.4.1.1 Συνδυασμένη χρήση θέρμανσης και αερισμού

Μια κοινή πρακτική αφύγρανσης είναι απλώς το άνοιγμα των παράθυρων, που επιτρέπει στον υγρό αέρα του θερμοκηπίου να αντικατασταθεί από τον σχετικά ξηρό αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Με την συγκεκριμένη πρακτική δεν καταναλώνεται ενέργεια, όταν στο θερμοκήπιο παρατηρείται υπερβολική θερμότητα και απαιτείται αερισμός για τη μείωση της θερμοκρασίας (Kittas et al., 2013).

Ωστόσο, όταν ο αερισμός που απαιτείται για τη μείωση της θερμοκρασίας κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτόν που απαιτείται για την απομάκρυνση της υγρασίας από τον αέρα, καταναλώνεται ενέργεια για την αφύγρανση. Ο λόγος είναι ότι τον ζεστό αέρα του θερμοκηπίου αντικαθιστά ο κρύος και ξηρός αέρας τους εξωτερικού περιβάλλοντος με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου (Van Straten et al., 2010).

#### *3.2.4.1.2 Απορρόφηση με υγροσκοπικό υλικό*

Έχει γίνει ελάχιστη έρευνα σχετικά με την εφαρμογή της υγροσκοπικής αφύγρανσης σε θερμοκήπια, επειδή η εγκατάσταση είναι πολύπλοκη και η χρήση χημικών δεν είναι ευνοϊκή (Van Straten et al., 2010).

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, ο υγρός αέρας του θερμοκηπίου έρχεται σε επαφή με το υγροσκοπικό υλικό, απελευθερώνοντας τη λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης, καθώς απορροφώνται οι υδρατμοί. Το υγροσκοπικό υλικό πρέπει να αναγεννηθεί σε υψηλότερο επίπεδο θερμοκρασίας (FAO, 2017).

Το μεγάλο ποσοστό του 90% της ενέργειας που παρέχεται στο υλικό για αναγέννηση μπορεί να επιστραφεί στον αέρα του θερμοκηπίου με ένα εξελιγμένο σύστημα, που περιλαμβάνει διάφορες διαδικασίες ανταλλαγής θερμότητας, συμπεριλαμβανομένης της συμπύκνωσης του ατμού που παράγεται κατά τη διαδικασία αναγέννησης (Kittas et al., 2013).

#### *3.2.4.1.3 Συμπύκνωση σε ψυχρές επιφάνειες*

Ο υγρός αέρας ωθείται σε μια ψυχρή επιφάνεια που βρίσκεται μέσα στο θερμοκήπιο και διαφορετική από το υλικό κάλυψης. Η συμπύκνωση εμφανίζεται στην ψυχρή επιφάνεια, το νερό συλλέγεται και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και η απόλυτη υγρασία του υγρού αέρα του θερμοκηπίου μειώνεται. Ένα μέτρο σωλήνα με

περύγιο που χρησιμοποιείται σε θερμοκρασία 5 °C μπορεί να αφαιρέσει 54 g ατμού την ώρα από τον αέρα σε θερμοκρασία 20 °C και με σχετική υγρασία 80% (Kittas et al., 2013).

#### 3.2.4.1.4 Τεχνητός αερισμός συνήθως με την συνδυασμένη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας

Εφαρμόζεται μηχανικός αερισμός για να ανταλλαχθεί ο ξηρός αέρας εκτός του θερμοκηπίου με τον υγρό αέρα του θερμοκηπίου μέσα από την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των δύο ροών αέρα. Σύμφωνα με τους Campen, Bot και de Zwart (2003), μια δυναμικότητα του αεριστήρα της τάξης των 0,01 m<sup>3</sup>/s επαρκεί για όλες τις καλλιέργειες. Η κατανάλωση ενέργειας των αεριστήρων μικρότερη από το 1% της εξοικονομούμενης ενέργειας.

#### 3.2.4.2 Καλυπτικά υλικά με αντισταγονικές ιδιότητες

Η χρήση καλυπτικών υλικών με αντισταγονικές ιδιότητες ή χρήση μεμβρανών κατά των σταγονιδίων, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο για την αφύγρανση θερμοκηπίου. Οι μεμβράνες με αντισταγονικές ιδιότητες περιέχουν ειδικά πρόσθετα με τα οποία εξαλείφονται τα σταγονίδια με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένα λεπτό στρώμα νερού, που τρέχει στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου (Van Straten et al., 2010; FAO, 2017).

#### 3.2.4.3 Συστάσεις για μια βελτιωμένη αφύγρανση

Ορισμένες σημαντικές συστάσεις για την εξασφάλιση μιας αποδοτικής αφύγρανσης ή για τη βελτίωση αυτής σε ένα θερμοκήπιο έχουν ως εξής (κάποιες από αυτές έχουν ήδη ειπωθεί παραπάνω, αλλά συγκεντρώνονται και συνοψίζονται εδώ για να προκύψει μια πλήρης λίστα συστάσεων) (Kittas et al., 2013):

- Η αφύγρανση πρέπει να λαμβάνει χώρα το σούρουπο με την υγρασία να μειώνεται σε ένα 70% με 80% για την αποφυγή της συμπύκνωσης, καθώς και την αυγή, ώστε και πάλι να αποτρέπεται η συμπύκνωση και να καθίσταται δυνατή η έναρξη της διαπνοής



- Αφαίρεση τυχόν υπερβολικών πηγών νερού εντός του θερμοκηπίου
- Άνοιγμα των παράθυρων ή της πόρτας του θερμοκηπίου, ώστε μέσω του αερισμού να απομακρύνεται η υπερβολική υγρασία
- Άνοιγμα του ανεμιστήρα του θερμοκηπίου, ώστε ο αέρας να κυκλοφορεί με βελτιωμένο τρόπο
- Αγορά ενός ελεγκτή υγρασίας ή ενός αφυγραντήρα για χρήση στο θερμοκήπιο
- Χρήση θερμικούς πλέγματος τη διάρκεια της νύχτας με σκοπό να μην χάνεται θερμότητα από τις επιφάνειες των φυτών
- Τοποθέτηση πηγών θερμότητας ακτινοβολίας κοντά στην καλλιέργεια για να μπορούν οι επιφάνειες των φυτών να διατηρούνται ελαφρώς πιο ζεστές από τον αέρα.

## 4. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΝΤΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ – ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ποιότητα, καθώς και η ποσότητα του νερού είναι υψίστης σημασίας για την εξασφάλιση μιας βελτιωμένης ανάπτυξης εντός οποιουδήποτε θερμοκηπίου ειδικά στην σύγχρονη εποχή, όπου λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας του νερού, συχνά γίνεται χρήση νερού χαμηλής ποιότητας για την άρδευση. Αυτό είναι ένα συχνό φαινόμενο στη Μεσόγειο, όπου οι καλλιεργητές έρχονται ολοένα και περισσότερο αντιμέτωποι με το ζήτημα της χρήσης ενός νερού χαμηλής ποιότητας.

Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, αρχικά παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές φυσικές και χημικές παράμετροι ποιότητας του νερού και οι τιμές αυτών για την εξασφάλιση μιας βελτιωμένης ανάπτυξης εντός ενός υφιστάμενου μεσογειακού θερμοκηπίου και παράλληλα προτείνονται μέθοδοι για τη βελτίωση της ποιότητας του νερού χαμηλής ποιότητας.

### 4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ – ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ

Τα χαρακτηριστικά του νερού άρδευσης εξαρτώνται από την πηγή, από την οποία αυτό προέρχεται. Το νερό άρδευσης μπορεί να ταξινομηθεί με βάση την προέλευσή του ως (Castilla, 2013):

- Επιφανειακά ύδατα (νερό προερχόμενο από ποτάμια, κανάλια, φυσικές ή τεχνητές λίμνες)
- Υπόγεια νερά (νερό προερχόμενο μεταξύ άλλων από πηγές και πηγάδια)
- Λύματα (νερό προερχόμενο από αστικές και βιομηχανικές αποχετεύσεις, που υποβάλλονται σε διάφορα είδη επεξεργασίας καθαρισμού).

Έτσι για παράδειγμα, ενδέχεται τα υπόγεια ύδατα σε παράκτιες ζώνες να χαρακτηρίζονται από μια οριακή ποιότητα, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για

άρδευση, καθώς διακρίνονται για την υψηλή τους περιεκτικότητα σε διαλυμένο αλάτι, ενώ τα αστικά λύματα μπορεί να κρίνονται επικίνδυνα επειδή μπορεί να επιφέρουν κινδύνους για την υγεία (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν την ποιότητα του νερού άρδευσης διακρίνονται στις εξής δύο κατηγορίες (Castilla, 2013):

- Φυσικές παράμετροι, όπως η θερμοκρασία και τα αιωρούμενα στερεά (σωματίδια εδάφους, ακαθαρσίες και ούτω καθεξής)
- Χημικές παράμετροι, όπως οι αέριες ουσίες, το pH, τα διαλυτά άλατα, η σκληρότητα, η συγκέντρωση νατρίου και χλωρίου και ούτω καθεξής

Στις παρακάτω Υποενότητες παρουσιάζονται διεξοδικότερα οι παραπάνω παράμετροι.

## **4.2.1 Φυσικές παράμετροι**

### **4.2.1.1 Θερμοκρασία**

Για σκοπούς άρδευσης, η θερμοκρασία του νερού πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτήν των φυτών και στο στρώμα του υποστρώματος, που περιέχει τα ριζικά συστήματα (Rodríguez et al., 2014).

Το νερό χαμηλής θερμοκρασίας συμβάλλει στην τροποποίηση της θερμοκρασίας του εδάφους (Wierenga et al., 1971), που στη συνέχεια μειώνει τη δραστηριότητα των ριζών, που σχετίζεται με την πρόσληψη νερού και θρεπτικών συστατικών από και προς τις ρίζες (υδατανθράκων και αυξητικών μεταβολιτών αντίστοιχα) (Newman, 2008). Το νερό χαμηλής θερμοκρασίας ενδέχεται ακόμη να οδηγήσει σε υδατικό στρες με αποτέλεσμα να αυξηθεί το χάσμα ανάμεσα στη διαπνοή των φυτών και την πρόσληψη νερού (Langridge, 1963).

Από την άλλη, για τις καλλιέργειες, το νερό μπορεί να θεωρηθεί κρύο όταν η θερμοκρασία του είναι μικρότερη από τα τρία τέταρτα της θερμοκρασίας του αέρα. Το κρύο νερό μπορεί να προκαλέσει φυσιολογικές διαταραχές, ειδικά σε πιο ευαίσθητες καλλιέργειες (Newman, 2008). Το κρύο νερό μπορεί να αποθηκευτεί σε λεκάνες, για να ενθαρρυνθεί η άνοδος της θερμοκρασίας. Το ζεστό νερό μπορεί να

χρησιμοποιηθεί επωφελώς για τη θέρμανση των καλλιεργειών, καθώς και για την κάλυψη των αναγκών σε νερό. Ωστόσο, το νερό σε θερμοκρασία άνω των 35 °C είναι επικίνδυνο για τα φυτά (Newman, 2008; Rodríguez et al., 2014).

Η θερμοκρασία του νερού μπορεί να επηρεάσει το τελικό προϊόν και ιδιαίτερα όταν πρόκειται για την καλλιέργεια φυλλωδών φυτών, ενώ οι ακατάλληλες θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν κηλίδες στα φύλλα, γεγονός που μειώνει την αξία του προϊόντος (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

#### 4.2.1.2 Αιωρούμενα στερεά

Στο νερό μπορούν να βρεθούν στερεές ουσίες, που έχουν διαφορετική προέλευση, όπως (Hanan, 2017):

- Σωματίδια του εδάφους ως αποτέλεσμα της διάβρωσης
- Πολύ λεπτή διασπορά αργίλου, πυριτικών και ανθρακικών υλικών από τις βιομηχανίες σκυροδέματος, πυρίμαχων, κεραμικών και γυαλιού
- Διαφορετικοί τύποι αιωρούμενων υλών που διατίθενται σε υδάτινα ρεύματα από διάφορες βιομηχανίες
- Σωματίδια που περιέχονται σε μη καθαρισμένα ή μερικώς καθαρισμένα αστικά λύματα.

Αυτός ο τύπος ρύπανσης σε γενικές γραμμές δεν προκαλεί στις καλλιέργειες κάποια άμεση ζημιά. Ενδέχεται να προκύψουν προβλήματα όταν λερώνονται φυτά και εμπορικά προϊόντα με αποτέλεσμα την υποτίμησή τους σε ό,τι αφορά την υγεία, την υγιεινή και την εμφάνισή τους (Hanan, 2017).

Ωστόσο, τα αιωρούμενα στο νερό άρδευσης στερεά είναι πιο πιθανό να προκαλέσουν ζημιές στον εξοπλισμό άρδευσης. Η υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά ύλη μπορεί να οδηγήσει σε καθίζηση της αιωρούμενης ύλης, εμποδίζοντας την ορθή λειτουργία του εξοπλισμού άρδευσης με αποτέλεσμα για παράδειγμα την αλλαγή της ροής του νερού, τη μείωση της απόδοσης των δικτύων διανομής και την αύξηση των αναγκών συντήρησης (Hanan, 2017).

Παράλληλα ενδέχεται να παρατηρηθούν έμμεσες ζημιές στις καλλιέργειες, που σχετίζονται με τις ελλείψεις που δημιουργούνται από την ανεπαρκή διαθεσιμότητα νερού ή/ και την απόφραξη του εξοπλισμού διανομής και κυρίως των σταγονόμετρων. Το πρόβλημα των αιωρούμενων στο νερό άρδευσης στερεών θα πρέπει να αντιμετωπίζεται σε ό,τι αφορά τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο διανομής (Merhaut, Williams και Magniafico, 2018).

Τα συστήματα μικροάρδευσης, που χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό σημείων διανομής με μικρά στόμια και σωλήνες μικρής διαμέτρου, είναι πιο επιρρεπή στην απόφραξη με αποτέλεσμα να καθίστανται πιο ευάλωτα όταν το νερό περιέχει αιωρούμενα στερεά, που συμβάλουν στην απόφραξη (Newman, 2008). Μια εκτίμηση του κινδύνου απόφραξης σε σχέση με την παρουσία αυτών των ουσιών, καθώς και άλλων παραμέτρων ποιότητα νερού, παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.1 (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

**Πίνακας 4.1** Επίδραση της ποιότητας του νερού στην πιθανότητα απόφραξης σε συστήματα τοπικής (στάγδην) άρδευσης (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013)

Πιθανό ζήτημα		Βαθμός περιορισμού χρήσης		
		Κανένας	Μικρός με μέτριος	Μεγάλος
<b>Φυσικές παράμετροι</b>				
	<b>Αιωρούμενα στερεά</b>	< 50 mg/ lt	50-10 mg/ lt	> 100 mg/ lt
<b>Χημικές παράμετροι</b>				
	<b>pH</b>	< 7 mg/ lt	7-8 mg/ lt	> 8 mg/ lt
	<b>Διαλυμένα στερεά</b>	< 500 mg/ lt	500-2.000 mg/ lt	> 2.000 mg/ lt
	<b>Μαγγάνιο*</b>	< 0,1 mg/ lt	0,1-1,5 mg/ lt	> 1,5 mg/ lt
	<b>Σίδηρος**</b>	< 0,1 mg/ lt	0,1-1,5 mg/ lt	> 1,5 mg/ lt
	<b>Υδρόθειο</b>	< 0,5 mg/ lt	0,5-2 mg/ lt	> 2 mg/ lt
<b>Βιολογικές παράμετροι</b>				
	<b>Βακτηριακοί πληθυσμοί</b>	< 10.000 μέγιστος αριθμός/ ml	10.000-50.000 μέγιστος αριθμός/ ml	> 50.000 μέγιστος αριθμός/ ml
*Ενώ περιορισμοί στη χρήση συστημάτων τοπικής (στάγδην) άρδευσης μπορεί να μην υπάρχουν σε αυτές τις συγκεντρώσεις μαγγανίου, τοξικότητες στα φυτά μπορεί να εμφανιστούν σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις				
**Συγκεντρώσεις σιδήρου > 5,0 mg/ lt μπορεί να προκαλέσουν διατροφικές ανισορροπίες σε ορισμένες καλλιέργειες				

Το υλικό που αιωρείται στα λύματα μπορεί να περιλαμβάνει μεταβλητές ποσότητες οργανικών ουσιών, οδηγώντας σε προβλήματα διανομής του νερού.

Επιπλέον, η χρήση λυμάτων που περιέχουν αιωρούμενα οργανικά στερεά μπορεί να οδηγήσει σε κινδύνους για την υγεία και την υγιεινή (Merhaut, Williams και Magniafico, 2018).

Η ρύπανση από φυσικές οργανικές ουσίες είναι η πιο συχνή μορφή μόλυνσης των επιφανειακών υδάτων και οφείλεται στις αστικές αποχετεύσεις, την κτηνοτροφία και τη βιομηχανία (για παράδειγμα, βιομηχανία τροφίμων) (Newman, 2008). Οι οργανικές ουσίες στο νερό αρχίζουν να αποσυντίθενται, οδηγώντας στην ολοένα και πιο γρήγορη διάσπαση της αρχικής ύλης και στο σχηματισμό πολύ απλών τελικών ενώσεων, όπως CO<sub>2</sub>, νιτρικά, θειικά και φωσφορικά άλατα. Οι οργανικές ουσίες διασπώνται κυρίως από οξειδωτικά βακτήρια. Ο πολλαπλασιασμός τους μπορεί να οδηγήσει σε δραματική μείωση της ποσότητας του οξυγόνου, που διαλύεται στο νερό. Η ένταση αυτών των διεργασιών ρυθμίζεται από τις κλιματικές και περιβαλλοντικές συνθήκες (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Κανονικά, οι υψηλές συγκεντρώσεις φυσικών οργανικών ουσιών στο νερό συνοδεύονται από άλλους ρύπους, ιδιαίτερα παθογόνα μικρόβια. Το φιλτράρισμα έχει σχεδιαστεί για την εξάλειψη αιωρούμενων στερεών ουσιών ορυκτής ή οργανικής προέλευσης (Merhaut, Williams και Magniafico, 2018).

Συνοψίζοντας, τα αιωρούμενα στερεά είναι πιθανά προβλήματα, καθώς μπορούν να φράξουν το ακροφύσιο άρδευσης και να προκαλέσουν τριβή στον εξοπλισμό άρδευσης. Η απόφραξη των εκπομπών που προκαλείται από την παρουσία στερεών σωματιδίων στο νερό αυξάνει το κόστος και αυξάνει τη συντήρηση των συστημάτων στάγδην άρδευσης και μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τη χρήση τους.

## 4.2.2 Χημικές παράμετροι

### 4.2.2.1 Οξυγόνο και άλλα αέρια συστατικά

Η παρουσία οξυγόνου στο νερό επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και από την παρουσία βιοαποδομήσιμων ουσιών. Ωστόσο, η συγκέντρωσή του περιορίζεται πάντα από τη χαμηλή διαλυτότητα του αέρα στο νερό. Για το λόγο αυτό, πρέπει να προτιμώνται το βρόχινο νερό και τα επιφανειακά νερά (Newman, 2008). Το CO<sub>2</sub>, το υδρόθειο (H<sub>2</sub>S), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) και το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) μπορούν επίσης να βρεθούν σε αέρια κατάσταση και η παρουσία τους μπορεί να περιορίσει τη δυνατότητα χρήσης νερού. Το χλώριο που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του

πόσιμου νερού υπάρχει μερικές φορές σε αέρια μορφή, αλλά γίνεται πτητικό όταν έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον λόγω της συνδυασμένης δράσης φωτός και αέρα (Newman, 2008; Hanan, 2017).

#### 4.2.2.2 pH

Το pH εκφράζει τη συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου (πρωτόνια,  $H^+$ ) σε ένα υδατικό διάλυμα. Το pH μπορεί να ποικίλλει σε κλίμακα από 0 έως 14 με ένα pH 7 να είναι ουδέτερο, λιγότερο από 7 όξινο και πάνω από 7 βασικό ή αλκαλικό (Hanan, 2017).

Το pH ρυθμίζει όλες τις βιολογικές λειτουργίες και αν είναι ακατάλληλο, μπορεί να αναστείλει ορισμένες ζωτικές διεργασίες. Το pH του νερού, μαζί με αυτό του εδάφους ή των διαφορετικών υποστρωμάτων καλλιέργειας, επηρεάζει τη διαλυτότητα των διαφόρων ιοντικών ειδών και επομένως τη διατροφή που παρέχεται από το μέσο. Στην πραγματικότητα, κάθε θρεπτικό στοιχείο έχει μέγιστη διαλυτότητα για σαφώς καθορισμένα διαστήματα pH. Το βέλτιστο pH του νερού άρδευσης είναι συνήθως μεταξύ 6,5 και 7,5. το ελάχιστο αποδεκτό όριο είναι 5,0 (Newman, 2008).

Σε χαμηλότερα επίπεδα pH, η παρουσία ελεύθερων οξέων μπορεί επίσης να προκαλέσει άμεση βλάβη στο ριζικό σύστημα των καλλιεργειών. Η αντίδραση του νερού μπορεί να επηρεάσει αυτή του υποστρώματος. Η παρατεταμένη χρήση του ίδιου υποστρώματος προκαλεί την απομάκρυνση του pH από τα βέλτιστα επίπεδα, γενικά προς τα πάνω. Αυτό το φαινόμενο αυξάνεται με τη χρήση αλκαλικών νερών που προκύπτουν από την παρουσία ανθρακικών αλάτων (Hanan, 2017).

Αν η διαφορά pH δεν είναι υπερβολική, το υπόστρωμα μπορεί να αντιμετωπίσει αυτόν τον τύπο αλλαγής μέσω ισχύος ρυθμιστικού διαλύματος. Όπως και με την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, η ισχύς του ρυθμιστή ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος και είναι εξαιρετικά χαμηλή σε ορισμένα αδρανή υποστρώματα (Merhaut, Williams και Magnifico, 2018).

Το νερό με ένα pH μεταξύ 6,0 και 8,5 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Αναμφισβήτητο το όξινο νερό (pH ίσο με 8,5) ταξινομείται ως «ανώμαλο» για σκοπούς άρδευσης. Μια αντίδραση που διαφέρει σημαντικά από την ουδετερότητα δείχνει πάντα μια ανωμαλία, όπως η παρουσία ορισμένων αλάτων (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

#### 4.2.2.3 Αλκαλικότητα

Ο όρος αλκαλικό (pH μεγαλύτερο του 7) είναι διαφορετικός από τον όρο αλκαλικότητα (ικανότητα αλλαγής ή αντίστασης σε αλλαγή του pH). Δεν είναι ασυνήθιστο να υπάρχει νερό άρδευσης με pH ίσο με 7,5 (αλκαλικό), αλλά με χαμηλή τιμή αλκαλικότητας, αποδεκτή για την καλλιέργεια φυτών (Sonneveld και Vooqt 2009). Ενώ το pH είναι ένα μέτρο της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου, η αλκαλικότητα είναι μια σχετική μέτρηση της ικανότητας του νερού να αντιστέκεται σε μια αλλαγή στο pH ή στην ικανότητά του να αλλάζει το pH των μέσων ανάπτυξης (Hanan, 2017).

Χημικά αυτό εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ισοδυνάμων ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ). Τα διττανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ ), τα ανθρακικά ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) και τα ιόντα υδροξυλίου ( $\text{OH}^-$ ) είναι οι κύριες χημικές ουσίες που συμβάλλουν στην αλκαλικότητα του νερού. Η αλκαλικότητα αυξάνεται καθώς αυξάνεται η ποσότητα των διαλυμένων ανθρακικών και διττανθρακικών αλάτων (Merhaut, Williams και Magniastico, 2018).

Το νερό άρδευσης με υψηλή αλκαλικότητα (για παράδειγμα 400 ppm  $\text{CaCO}_3$ ) τείνει να αυξάνει το pH του καλλιεργητικού μέσου με την πάροδο του χρόνου και θα απαιτεί περισσότερο οξύ για να μειώσει το pH του νερού σε ένα αποδεκτό επίπεδο, αν είναι επιθυμητό (Hanan, 2017).

Το νερό με υψηλή αλκαλικότητα (για παράδειγμα με λιγότερα από 100 ppm  $\text{CaCO}_3$ ) απαιτεί από έναν καλλιεργητή να εξετάσει το ενδεχόμενο χρήσης διαλυτών λιπασμάτων τύπου οξέος αντί λιπασμάτων με βάση το ασβέστιο. Η έγχυση οξέος χρησιμοποιείται συνήθως για τη διαχείριση του νερού με υψηλή αλκαλικότητα (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

#### 4.2.2.4 Αλατότητα (ολικά διαλυτά άλατα)

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του νερού άρδευσης είναι η αλατότητα. Η αλατότητα του νερού είναι απλώς άμεση απόδειξη της διάστασης των διαλυτών ορυκτών αλάτων (Sonneveld και Vooqt 2009). Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση ενός άλατος, τόσο περισσότερο συμβάλλει στην αλατότητα, ιδιαίτερα εάν είναι διαλυτά (Merhaut, Williams και Magniastico, 2018).



Τα πιο συχνά άλατα στο νερό είναι τα νιτρικά, χλωριούχα, θειικά, ανθρακικά και τα διττανθρακικά στοιχεία αλκαλικών και αλκαλικών γαιών (νάτριο, κάλιο, μαγνήσιο και ασβέστιο) (Sonneveld και Vooqt 2009). Ορισμένα μεμονωμένα στοιχεία (όπως για παράδειγμα, το βόριο, το νάτριο και το χλώριο) έχουν εξίσου σημαντικές επιδράσεις. Κατά τον καθορισμό των κριτηρίων καταλληλότητας του νερού άρδευσης, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά (Sonneveld και Vooqt 2009; Hanan, 2017):

- Στη συνολική συγκέντρωση αλάτων στο διάλυμα
- Στη σχετική αναλογία νατρίου (Na) προς τα άλλα κατιόντα
- Στη συγκέντρωση συγκεκριμένων ιόντων που μπορεί να είναι τοξικά για τα φυτά (π.χ. βόριο, χλωρίδιο και νάτριο).

Η χρήση ακατάλληλου νερού (ως προς την ποσότητα ή την ποιότητα των υπαρχόντων αλάτων) για σκοπούς άρδευσης έχει αρνητική επίδραση στη συνολική σχέση εδάφους-νερού του φυτού, μερικές φορές ακόμη και περιορίζοντας δραστικά τη φυσιολογική δραστηριότητα και την παραγωγική ικανότητα των καλλιεργειών (Hanan, 2017).

Η αλατότητα μπορεί να μετρηθεί με μεθόδους αναλυτικής ή ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Στην περίπτωση αναλυτικών μετρήσεων, η αλατότητα εκφράζεται ως η συνολική περιεκτικότητα σε άλατα διαλυμένα στη μονάδα όγκου (g/ lt ή mg/ lt) ή ως συγκέντρωση ορυκτών αλάτων σε ppm. Το νερό ορίζεται ως υφάλμυρο όταν έχει συνολική περιεκτικότητα σε αλάτι (σταθερά στερεά ή συνολικά διαλυμένα άλατα) 2 g/ lt (ή 2.000 ppm) ή περισσότερο (Merhaut, Williams και Magniatico, 2018).

Η χρήση αλατούχου νερού άρδευσης μπορεί να οδηγήσει σε τρεις τύπους προβλημάτων (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

- Αύξηση του οσμωτικού δυναμικού του κυκλοφορούντος διαλύματος (οσμωτική επίδραση) με αυξανόμενα προβλήματα απορρόφησης νερού για τα φυτά (φυσιολογική ξηρασία)
- Επιδράσεις της χημείας και της φυσικής του υποστρώματος
- Φυτοτοξικότητα.

#### 4.2.2.5 Τοξικά στοιχεία

Η παρουσία συγκεκριμένων ιόντων στο νερό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα φυτοτοξικότητας (άμεση τοξικότητα για διάφορες φυσιολογικές διεργασίες του φυτού ή διατροφικές ανισορροπίες) με διαφορετικά επίπεδα ανοχής σε διαφορετικά φυτά (Hanan, 2017).

Προβλήματα τοξικότητας προκύπτουν όταν στοιχεία στο νερό άρδευσης συσσωρεύονται στον φυτικό ιστό σε τέτοιο βαθμό, ώστε να προκαλούν μειώσεις στην απόδοση, ανεξάρτητα από τη συνολική συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας. Στοιχεία ικανά να δημιουργήσουν φαινόμενα τοξικότητας είναι το χλώριο, το θείο, το βόριο, το νάτριο και το αμμώνιο. Τα φαινόμενα τοξικότητας εκδηλώνονται με τυπικό τρόπο για κάθε στοιχείο και είναι εμφανή στα παλιά φύλλα, όπου η συσσώρευση είναι μεγαλύτερη (Hanan, 2017).

Το υψηλό νάτριο (Na) προκαλεί ανησυχία για τους καλλιεργητές, καθώς μπορεί να συμβάλει σε προβλήματα αλατότητας, να επηρεάσει τη διαθεσιμότητα μαγνησίου και ασβεστίου στα μέσα και να προκαλέσει εγκαύματα στα φύλλα (Sonneveld και Vooqt 2009).

Το θείο (S) και το χλώριο (Cl) είναι απαραίτητα στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών. Ορισμένες καλλιέργειες αφαιρούν σημαντικές ποσότητες θείου. Ωστόσο, αν υπάρχουν μεγάλες ποσότητες αυτού του στοιχείου στο νερό άρδευσης, μπορεί να βλάψει τις καλλιέργειες ως αποτέλεσμα της άμεσης τοξικότητας (Sonneveld και Vooqt 2009). Το θείο βρίσκεται γενικά στο νερό με τη μορφή θεικού οξέος ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Ωστόσο, σε αναγωγικά περιβάλλοντα, τα θειικά άλατα μπορούν να μετατραπούν σε σουλφίδια ( $\text{SO}^{3-}$ ), τα οποία έχουν υψηλότερη φυτοτοξική δράση. Τα σουλφίδια προκαλούν την καθίζηση του σιδήρου, οδηγώντας σε συμπτώματα τοξικότητας στα φυτά (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Το χλωρίδιο ( $\text{Cl}^-$ ) στο νερό προέρχεται από τη διάσπαση των αλάτων χλωρίου που περιέχονται στο νερό και τη χλωρίωση ( $\text{Cl}_2$ ) των καθαρών λυμάτων. Το αυξημένο χλώριο συνδέεται συχνά με αυξημένη συγκέντρωση νατρίου. Το  $\text{Cl}^-$  δεν απορροφάται από το έδαφος, αλλά μετακινείται εύκολα μέσα στο κυκλοφορούν διάλυμα, από το οποίο απορροφάται από τις ρίζες και συσσωρεύεται στα φύλλα (Newman, 2008; Hanan, 2017).

Σε υψηλές συγκεντρώσεις, μπορεί να επηρεάσει την απορρόφηση των νιτρικών και τη μεταφορά οργανικών οξέων εντός και μεταξύ των κυττάρων. Τα συμπτώματα της τοξικότητας από το χλώριο εμφανίζονται ως κάψιμο και ξήρανση του ιστού των φύλλων (ξεκινώντας από τις άκρες και συνεχίζοντας κατά μήκος των άκρων), καθώς και μαύρισμα, πρόωρο κιτρίνισμα και πτώση των φύλλων (Hanan, 2017).

Η πιθανότητα πρόκλησης ζημιών από χλωριούχα και θειικά άλατα εξαρτάται από την ευαισθησία των αρδευόμενων ειδών και εκδηλώνεται κυρίως όταν η βλάστηση διαβρέχεται (δηλαδή άρδευση με καταιονισμό) (Sonneveld και Vooqt 2009).

Το βόριο (B) είναι απαραίτητο στοιχείο για τη ζωή των φυτών, αλλά μπορεί να είναι τοξικό ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Σε γενικές γραμμές, τοξικές συγκεντρώσεις βορίου βρίσκονται σχεδόν αποκλειστικά σε εδάφη σε άνυδρες ζώνες και σε νερά πηγαδιών σε γεωθερμικές και ηφαιστειακές περιοχές (Sonneveld και Vooqt 2009).

Αντίθετα, τα περισσότερα επιφανειακά ύδατα περιέχουν αποδεκτά επίπεδα βορίου. Σημαντικές ποσότητες βορίου μπορεί να βρεθούν στο νερό άρδευσης λόγω εκροών από οικιακές εγκαταστάσεις καθαρισμού, καθώς αυτό το στοιχείο περιέχεται στα οικιακά απορρυπαντικά με τη μορφή υπερβορικού νατρίου. Επίπεδα μεταξύ 0,2 mg/ lt και 0,5 mg/ lt θεωρούνται φυσιολογικά στο νερό άρδευσης (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Ωστόσο, επίπεδα άνω των 0,3 mg/ lt μπορεί να είναι επιβλαβή για ευαίσθητες καλλιέργειες. Το νερό άρδευσης με περιεκτικότητα σε βόριο πάνω από 4,0 mg/ lt είναι ακατάλληλο για όλες σχεδόν τις καλλιέργειες. Τα φυτά έχουν διαφορετικά επίπεδα ανοχής που κυμαίνονται μεταξύ των δύο ακραίων τιμών (Hanan, 2017).

Οι τοξικές επιδράσεις του βορίου είναι αρχικά εμφανείς στα παλιά φύλλα με τη μορφή κιτρινίσματος, χλωρωτικών κηλίδων ή ξηρού ιστού στην άκρη και στις άκρες του φύλλου. Η ηλικία του φυτού επηρεάζει επίσης την ευαισθησία ή την έκταση του προβλήματος. Τα σπορόφυτα είναι γενικά πιο ευαίσθητα από τα ώριμα φυτά του ίδιου είδους (Hanan, 2017).

Οι στρατηγικές διαχείρισης για την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων βορίου όταν η πηγή νερού είναι υψηλή περιλαμβάνουν την εξάλειψη του βορίου από τις πηγές του λιπάσματος, την αύξηση του pH του μέσου και την αύξηση του επιπέδου ασβεστίου (Hanan, 2017).

Το νερό των πηγαδιών είναι μερικές φορές ιδιαίτερα πλούσιο σε σίδηρο (Fe). Τα όξινα φυτά μπορεί να αντιμετωπίσουν προβλήματα όταν ποτίζονται με σιδηρούχο νερό και επομένως καλλιεργούνται σε όξινο έδαφος ή υποστρώματα. Σε όξινο περιβάλλον, ο σίδηρος με τη μορφή ιόντων σιδήρου δεν κατακρημνίζεται, αλλά αυξάνει τη συγκέντρωσή του στο διάλυμα και μπορεί να είναι τοξικός (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Τα αυξημένα επίπεδα σιδήρου γενικά προκαλούν αισθητικά προβλήματα στα φυτά και στις δομές του θερμοκηπίου. Τα υψηλά επίπεδα μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε συσσώρευση στον εξοπλισμό άρδευσης με αποτέλεσμα φραγμένους εκπομπούς. Τα χαμηλότερα επίπεδα προκαλούν αποχρωματισμό και υψηλότερα επίπεδα τοξικότητας στον φυτικό ιστό (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Πολλά άλλα στοιχεία αντιδρούν με το έδαφος και δεν μπορούν να απομακρυνθούν με έκπλυση με αποτέλεσμα τοξικές συσσωρεύσεις στο έδαφος και στα φυτά, παρά την παρουσία πολύ χαμηλών συγκεντρώσεων στο νερό άρδευσης. Αυτά τα λεγόμενα «ιχνοστοιχεία» περιέχονται γενικά σε μικρές ποσότητες στο νερό. Συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο και προκαλούν παρόμοια προβλήματα (Sonneveld και Vooqt 2009).

Πολλά από αυτά τα στοιχεία (όπως για παράδειγμα, το αρσενικό, το κάδμιο, το κοβάλτιο, το χρώμιο, ο χαλκός, ο υδράργυρος, το μαγγάνιο, το νικέλιο, ο μόλυβδος, και ο κασσίτερος) είναι τα λεγόμενα βαρέα μέταλλα (με πυκνότητα άνω των 5 g/ cm<sup>3</sup>). Η ρύπανση από βαρέα μέταλλα προέρχεται κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες (βιομηχανία και μεταφορές). Μερικά είναι απαραίτητα για πολλούς ζωντανούς οργανισμούς, αλλά γίνονται τοξικά όταν οι συγκεντρώσεις τους υπερβαίνουν τα μεταβλητά όρια από στοιχείο σε στοιχείο και από οργανισμό σε οργανισμό (Hanan, 2017).

Όταν χρησιμοποιείται νερό με υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθοι κίνδυνοι (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

- Άμεση βλάβη που προκαλείται από φυτοτοξικότητα
- Συσσώρευση του στοιχείου στο υπόστρωμα
- Απορρόφηση, μεταφορά και συσσώρευση στο φυτό

- Διάχυση μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των επιπέδων αλατότητας και νατρίου χρησιμοποιούνται επίσης για τον έλεγχο των φαινομένων τοξικότητας. Όπως συμβαίνει με όλα τα προβλήματα αλατότητας, τα προβλήματα τοξικότητας αυξάνονται επίσης κατά την περίοδο της μεγαλύτερης ζήτησης περιβαλλοντικής εξατμισοδιαπνοής, πράγμα που σημαίνει ότι όπου υπάρχει διαθέσιμο νερό καλής ποιότητας, είναι καλύτερο να χρησιμοποιείται κατά την πιο ζεστή περίοδο της αρδευτικής περιόδου (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

#### 4.2.2.6 Σκληρότητα

Το ασβέστιο (Ca) και το μαγνήσιο (Mg) είναι βασικά στοιχεία για τις καλλιέργειες και παίζουν θεμελιώδη ρόλο στην ισορροπία κατιόντων του εδάφους, μετριάζοντας τις αρνητικές επιπτώσεις του νατρίου. Γενικά βρίσκονται στο νερό με τη μορφή ιόντων που παράγονται από τη διάσπαση αλάτων, όπως είναι για παράδειγμα τα νιτρικά, χλωριούχα, θειικά, ανθρακικά και διττανθρακικά άλατα. Η έκταση της περιεκτικότητας σε άλατα ασβεστίου και μαγνησίου στο νερό αντιπροσωπεύεται από τη σκληρότητα (Hanan, 2017).

Η σκληρότητα μετριέται συνήθως σε γερμανικούς βαθμούς. Ένας γερμανικός βαθμός ( $^{\circ}\text{dH}$ ) αντιστοιχεί σε 10 mg οξειδίου του ασβεστίου ή 7,19 mg οξειδίου του μαγνησίου ανά λίτρο νερού. Το νερό μπορεί να ταξινομηθεί ως (Hanan, 2017):

- Μαλακό (0–10  $^{\circ}\text{dH}$ )
- Μέτριο (10–20  $^{\circ}\text{dH}$ )
- Σκληρό (> 20  $^{\circ}\text{dH}$ ).

Η σκληρότητα του νερού είναι (Hanan, 2017):

- Είτε προσωρινή, που προκαλείται από ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου (απαλείφεται με το βράσιμο του νερού)

- Είτε μόνιμη, λόγω της παρουσίας θεικών, νιτρικών και χλωριδίων ασβεστίου και μαγνησίου.

Η προσωρινή σκληρότητα επηρεάζει τις γενικές διατροφικές συνθήκες στο υπόστρωμα, αυξάνοντας το pH. Αυτό μπορεί να έχει αρνητική επίδραση στα οξεόφιλα φυτά (δηλαδή ορισμένα καλλωπιστικά φυτά). Σε πολύ όξινα υποστρώματα, το σκληρό νερό μπορεί να έχει θετική επίδραση (Sonneveld και Vooqt 2009).

Η ικανότητα των φυτών να αντιστέκονται στη σκληρότητα του νερού άρδευσης εξαρτάται από: την ρυθμιστική ισχύ του υποστρώματος, το αρχικό pH και την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται. Γενικά, στην περίπτωση της προσωρινής σκληρότητας, το ανώτερο όριο αντίστασης των φυτών είναι περίπου 10 °dH. Με συνολική σκληρότητα, το ανώτερο όριο είναι περίπου 20 °dH (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Ορισμένες καλλιέργειες ευδοκιμούν ακόμη και όταν ποτίζονται με νερό με μόνιμη σκληρότητα μεγαλύτερη από 20 °dH. Στην περίπτωση αυτή, η προσωρινή σκληρότητα είναι κάτω από 10 °dH. Αντίθετα, τα φυτά που είναι πολύ ευαίσθητα στη σκληρότητα μπορούν ακόμη και να καταστραφούν από νερό με σκληρότητα μικρότερη 10 °dH (Newman, 2008).

Η υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικά και διττανθρακικά άλατα στο νερό άρδευσης μπορεί να εμποδίσει τον εξοπλισμό διανομής νερού, ειδικά αυτόν που χρησιμοποιείται στη μικροάρδευση (στάγδην πομποί, μικροψεκαστήρες) (Newman, 2008). Αν το επίπεδο των ανθρακικών υπερβαίνει το όριο που υποδεικνύεται στην ταξινόμηση, θα πρέπει να αξιολογηθεί η ανάγκη επεξεργασίας του νερού είτε φυσική είτε χημική (Sonneveld και Vooqt 2009).

Μπορούν να ληφθούν μέτρα για τη βελτίωση του σκληρού νερού, για παράδειγμα με την προσθήκη οξέων (Newman, 2008; De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

- Συμπυκνωμένο θεικό οξύ της τάξης των 10 cm<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup> νερού για κάθε γερμανικό βαθμό προσωρινής σκληρότητας
- Οξαλικό οξύ της τάξης των 22,5 cm<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup> νερού για κάθε γερμανικό βαθμό προσωρινής σκληρότητας.

Η σκληρότητα μπορεί επίσης να εξαλειφθεί με τη χρήση ρητινών ανταλλαγής ιόντων. Αυτό το σύστημα εξαλείφει το ασβέστιο και το μαγνήσιο από το νερό και τα αντικαθιστά με ιόντα καλίου, νατρίου και σε κάποιες φορές με ιόντα  $H^+$  και  $OH^-$  (Newman, 2008).

#### 4.2.2.7 Τροφικές ουσίες

Το άζωτο (N) και ο φώσφορος (P) είναι τα κύρια στοιχεία στη διατροφή των φυτών. Όταν τα επιφανειακά ύδατα εμπλουτίζονται με υπερβολικές τροφικές ουσίες, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγικότητας της φυτομάζας στο σώμα του νερού (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως ευτροφισμός, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο νερό, μετά από αλλοίωση της οργανικής ουσίας που σχηματίζεται με αυτόν τον τρόπο, με αλλοιώσεις στην υδρόβια βιοκένωση (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Αυτή η μορφή ρύπανσης των υδάτων συνήθως αποδίδεται στη γεωργική δραστηριότητα, λόγω της απελευθέρωσης αζώτου και φωσφόρου από γονιμοποιημένα χωράφια. Αυτό μπορεί να ισχύει σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από έντονη κτηνοτροφία και αλόγιστη γεωπονική χρήση κοπριάς (Newman, 2008). Ωστόσο, σημαντικές ποσότητες N και P εισάγονται επίσης στα υδάτινα ρεύματα από οικιακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις καθαρισμού ή ακόμη χειρότερα από μη επεξεργασμένους σωλήνες απορριμμάτων (Hanap, 2017).

Από γεωπονική άποψη, η παρουσία αζώτου στο νερό άρδευσης μπορεί γενικά να θεωρηθεί πλεονέκτημα, καθώς μειώνει ή εξαλείφει το κόστος της αζωτούχου λίπανσης. Ωστόσο, μπορεί να προκύψουν προβλήματα σε ό,τι αφορά την ποσότητα και την κατανομή του με την πάροδο του χρόνου. Συνιστάται λοιπόν η προσαρμογή της λίπανσης στις ποσότητες θρεπτικών συστατικών που περιέχονται στο νερό άρδευσης προκειμένου να αποφευχθεί η υπερβολική διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών και η απελευθέρωσή τους στο νερό απορροής από την αρδευόμενη γη (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Η περίσσεια θρεπτικών ουσιών στο νερό και η επακόλουθη ανάπτυξη φυκιών μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα στο σύστημα διανομής νερού που προκύπτουν από την απόφραξη της ροής του νερού και την ανύψωση αναρρόφησης των αντλιών και την απόφραξη των διανομέων (Sonneveld και Vooqt 2009). Με την παρουσία

στερεάς οργανικής ύλης σε εναιώρημα, συνιστάται η χρήση φίλτρων άμμου και πλέγματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να είναι απαραίτητη η απονιτροποίηση (Hanan, 2017).

#### 4.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι παράμετροι που μετριοούνται για τον καθορισμό της ποιότητας του νερού παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

**Πίνακας 4.2** Παράμετροι που μετριοούνται για να καθοριστεί η ποιότητα του νερού (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013)

Παράμετρος	Σύμβολο	Συνήθεις μονάδες μέτρησης
<b>Φυσικές παράμετροι</b>		
Συνολικά διαλυμένα στερεά	TDS	mg/ lt
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	EC	dS/ m (deciSiemen/ m)
Θερμοκρασία	T	°C
Σκληρότητα	-	mg <sub>equiv.</sub> CaCO <sub>3</sub> / lt
Ιζήματα		g/ lt
<b>Χημικές παράμετροι</b>		
Όξινο ή αλκαλικό νερό	pH	
Τύπος και συγκέντρωση ανιόντων και κατιόντων:		
Ασβέστιο	Ca <sup>++</sup>	meq/ lt (milliequivalent/ l)
Μαγνήσιο	Mg <sup>++</sup>	meq/ lt
Νάτριο	Na <sup>+</sup>	meq/ lt
Ανθρακικό	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	meq/ lt
Διττανθρακικό	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	meq/ lt
Χλωρίδιο	Cl <sup>-</sup>	meq/ lt
Θεικό	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	meq/ lt
Αναλογία απορρόφησης νατρίου	SAR	
Βόριο	B	mg /lt ή ppm
Ιχνοστοιχεία		mg /lt ή ppm
Βαρέα μέταλλα		mg /lt ή ppm
Νιτρικό-Άζωτο	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N	mg /lt ή ppm
Φωσφορικό-Φόσφορο	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> P	mg /lt ή ppm



Κάλιο	K	mg /lt ή ppm
-------	---	--------------

Τα προβλήματα στην ποιότητα του νερού παρατηρούνται όταν οι τιμές των παραμέτρων αλατότητας, τοξικότητας και των θρεπτικών συστατικών ξεπεράσουν κάποια όρια, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα, ενώ τα επιθυμητά επίπεδα θρεπτικών συστατικών και άλλων στοιχείων στο νερό άρδευσης παρουσιάζονται στο Πίνακα 4.4 (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

**Πίνακας 4.3** Επίδραση της αλατότητας, τοξικότητας και θρεπτικών συστατικών στην ποιότητα του νερού (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013)

Πιθανό ζήτημα	Βαθμός προβλήματος		
	Κανένας	Αυξανόμενος	Μεγάλος
<b>Αλατότητα</b>			
EC (mS/ cm)	<0,75	0,75-3	>3
TDS (ppm)	<480	480-1.920	>1.920
Προκληθείσα από το νάτριο αλατότητα (SAR)	<6	6-9	>9
<b>Τοξικότητα από την απορρόφηση της ρίζας</b>			
Na <sup>+</sup> (SAR)	<3	3-9	>9
Cl <sup>-</sup> (me/ lt)	<4	3-10	>10
Cl <sup>-</sup> (ppm)	<140	140-350	>350
B (ppm)	<0,5	0,5-2	>2
<b>Περίσσεια θρεπτικών συστατικών</b>			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N (ppm)	<5	5-30	>30
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/ lt)	<1,5	1,5-8,5	>8,5

**Πίνακας 4.4** Επιθυμητά επίπεδα θρεπτικών συστατικών και άλλων στοιχείων στο νερό άρδευσης (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013)

Παράμετρος	Επιθυμητό εύρος
pH	5,8-6
Αλκαλικότητα (meq/ lt CaCO <sub>3</sub> )	0,75-2,6
EC (mS/cm)	<1,5
Σκληρότητα (mg CaCO <sub>3</sub> / lt)	100–150
Ca (ppm)	40-100
Mg (ppm)	30-50
Na <sup>+</sup> (ppm)	<50
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (ppm)	<50
CL <sup>-</sup> (ppm)	<100-150
B (ppm)	<0,5
Φθορίδιο (F <sup>-</sup> ) (ppm)	<0,75

#### 4.4 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΑΛΑΤΟΥΧΟ Ή ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΝΕΡΟ

Στην περίπτωση που για την άρδευση γίνεται χρήση νερού κακής ποιότητας, είναι σημαντικό να εφαρμόζονται μια ή περισσότερες, ώστε να αποφευχθούν προβλήματα στο έδαφος, που μπορεί να οδηγήσουν στην συνέχεια στον περιορισμός της απόδοσης των καλλιεργούμενων στο θερμοκήπιο φυτών (Sonneveld και Vooqt 2009; De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013; Hanan, 2017):

1. Παροχή επαρκούς εσωτερικής αποστράγγισης: στην περίπτωση που τα εμπόδια οδηγούν στον περιορισμό της κίνησης νερού διαμέσου της ζώνης των ριζών των καλλιεργούμενων φυτών, πρέπει να αποφεύγεται η χρήση νερού με μια αναλογία απορρόφησης νατρίου μεγαλύτερη του 6 (μέτριος κίνδυνος) ή μια ηλεκτρική αγωγιμότητα μεγαλύτερη του 1,5 (που θα οδηγούσε σε κίνδυνο αλατότητας). Η μόνη εναλλακτική για να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο νερό είναι να μπορεί να παρασχεθεί επαρκής εσωτερική αποστράγγιση.

2. Ικανοποίηση των απαραίτητων αναγκών έκπλυσης κατόπιν μιας υπερβολικής άρδευσης και ανάλογα με την καλλιέργεια και την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού. Οι ανάγκες έκπλυσης εξαρτώνται από τα επίπεδα ανοχής που παρουσιάζει η εκάστοτε καλλιέργεια. Ο λόγος της έκπλυσης είναι να μη υπάρξει συσσώρευση άλατος στο εδαφικό διάλυμα σε έναν τέτοιο βαθμό, που θα μειωνόταν η απόδοση των καλλιεργούμενων φυτών.
3. Διατήρηση μιας υψηλού επιπέδου διαθεσιμότητας νερού στο έδαφος: το έδαφος δεν πρέπει να στεγνώνει σε έναν βαθμό υψηλότερο από τον μέτριο, γιατί αλλιώς τα καλλιεργούμενα φυτά και εξαιτίας της αυξημένης περιεκτικότητας σε αλάτι δε θα μπορέσουν να αφαιρέσουν την συνολική ποσότητα του κανονικά διαθέσιμου νερού.
4. Έλεγχος των επιπέδων σε αλάτι και νάτριο μέσω διεξαχθεισών ανά ένα με δύο έτη δοκίμων αλατούχου-αλκαλικού εδάφους για την αποφυγή του κινδύνου νατρίου, που χρειάζεται χρόνο για να αναπτυχθεί: οι δοκιμές εδάφους για SAR εκχυλίσματος κορεσμού ή οι δοκιμές ποσοστού ανταλλάξιμου νατρίου, συμβάλουν στην ανίχνευση αλλαγών πριν προκύψει κάποιο πρόβλημα. Αν εφαρμόζεται μια ορθή διαχείριση, τότε οι τιμές SAR και αλατότητας παραμένουν σταθερές χωρίς να υπάρχει κίνδυνος. Σημειώνεται ότι τα δείγματα θα πρέπει να γίνονται μέχρι και σε ένα βάθος της τάξης των 60 cm, ενώ περιοδικά τα δείγματα θα πρέπει να λαμβάνονται από ένα βάθος μέχρι και 1 m.
5. Προσθήκη διαλυτού ασβεστίου, όπως είναι για παράδειγμα ο γύψος (θειικό ασβέστιο), ώστε το SAR να μειωθεί σε ένα επίπεδο, που δεν δημιουργεί προβλήματα. Η εφαρμογή του γύψου μπορεί να γίνεται σε ετήσιο επίπεδο πριν την άρδευση ή με την καλή ενσωμάτωση στο στρώμα άρδευσης με στόχο την αποφυγή προβλημάτων, που σχετίζονται με το σχηματισμό κρούστας. Στην περίπτωση που στο έδαφος υπάρχει ελεύθερος ασβέστης, μια εναλλακτική λύση είναι η εφαρμογή στοιχειακού θείου. Το θείο διαλυτοποιεί το ασβέστιο από τον ελεύθερο ασβέστη που βρίσκεται ήδη στο έδαφος. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση εφαρμογής γύψου, υπάρχει το ενδεχόμενο οι ανάγκες έκπλυσης να αυξηθούν.

6. Η χρήση του νερού θα πρέπει να περιορίζεται σε περιόδους ξηρασίας ως συμπληρωματική σε μια μειωμένη πέραν των φυσιολογικών δεδομένων βροχόπτωση ή στην περίπτωση που οι διαθέσιμες πηγές νερού είναι ανεπαρκείς.

Ο κατάλληλος συνδυασμός των παραπάνω πρακτικών είναι συνάρτηση του κινδύνου ή των κινδύνων, που σχετίζονται με το χρησιμοποιούμενο νερό και της σοβαρότητας αυτών. Σε κάποιες περιπτώσεις ο κίνδυνος και το κόστος είναι πολύ μεγάλο, για να χρησιμοποιηθεί τελικά ο συγκεκριμένος τύπος νερού (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

## 4.5 ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΖΗΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

### 4.5.1 Αφαλάτωση

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα αποθέματα νερού εξαντλούνται σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι λογικό για την άρδευση να πρέπει με αυξανόμενο ρυθμό να χρησιμοποιείται αλμυρό νερό ή νερό από πηγάδια που έχουν υποστεί μόλυνση λόγω διεισδύσεων του θαλασσινού νερού ή ακόμη και νερό από λύματα βιομηχανικών δραστηριοτήτων, που και πάλι έχει μολυνθεί με αλμυρό νερό (Hanapan, 2017).

Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται η αφαλάτωση, για την οποία υπάρχουν πολλές και διαφορετικές πρακτικές, που έχουν βασιστεί σε διαφορετικές αρχές (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

- Εξάτμιση νερού (ηλιακή εξάτμιση, θερμοσυμπίεση, πολλαπλές διαστολές)
- Κατάψυξη (διαδικασία άμεσης κατάψυξης)
- Χρήση μεμβρανών διαπερατών από άλατα (ηλεκτροδιάλυση)
- Χρήση ρητινών ανταλλαγής ιόντων (ιοντική ανταλλαγή)
- Χρήση ημιπερατών μεμβρανών (αντίστροφη ώσμωση)

Ωστόσο, στη γεωργία, οι εφαρμοζόμενες πρακτικές είναι επί της ουσίας οι δύο τελευταίες (Newman, 2008).

Υπάρχει ειδικότερα η δυνατότητα χρήσης εξοπλισμού ανταλλαγής ρητίνης για την επεξεργασία μικρών όγκων νερού (παροχή νερού για συστήματα ομίχλης ή ψύξης, νεφελοποιητές και ούτω καθεξής). Το εύρος της χρήσης του ποικίλει από την αφαλάτωση σε σκληρό μέχρι και αλμυρό νερό (Sonneveld και Vooqt 2009).

Πρακτικά το νερό αρχικά διοχετεύεται μέσω μιας κλίνης κατιονικής ρητίνης με υψηλή ταχύτητα ανταλλαγής κατιόντων, που αναγεννάται με υδροχλωρικό οξύ (HCl), ενώ κατόπιν διοχετεύεται μέσω μιας κλίνης ανιονικής ρητίνης και πάλι με υψηλή ταχύτητα ανταλλαγής, αλλά αυτή τη φορά ανιόντων, που αναγεννάται με σόδα (NaOH). Κατόπιν των δύο παραπάνω σταδίων, το νερό έχει αποκτήσει πλέον μια σχετικά μέτρια περιεκτικότητα σε αλάτι, κάτι που φυσικά εξαρτάται από το επίπεδο πραγματοποίησης της διαδικασίας (Hanap, 2017).

Από την άλλη, υπάρχει η δυνατότητα χρήσης της τεχνολογίας της αντίστροφης ώσμωσης, που όμως αναφέρεται στην αφαλάτωση σε μεγαλύτερους όγκους νερού. Παρόλο που η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι πιο καινούργια σε επίπεδο αγοράς, έχει καταφέρει με ταχύτετους ρυθμούς να καθιερωθεί, καθώς παρουσιάζει μια σειρά από σημαντικά πλεονεκτήματα: εξαιρετική απόδοση, ευελιξία και ευκολία στη χρήση (Newman, 2008).

Για την επεξήγηση της εφαρμοζόμενης διαδικασίας, είναι κρίσιμης σημασίας να γίνεται κατανοητό ότι στην περίπτωση που δύο διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης έρχονται σε επαφή μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης (διαπερατής από τον διαλύτη και όχι από τη διαλυμένη ουσία), το νερό να διέλθει με αυθόρμητο τρόπο από το πιο αραιωμένο στο πιο συμπυκνωμένο διάλυμα (Newman, 2008).

Η πίεση που πρέπει να ασκηθεί σε ένα διάλυμα σε επαφή με τον καθαρό διαλύτη μέσω ημιπερατής μεμβράνης προκειμένου να σταματήσει η ροή του διαλύτη προς το διάλυμα ονομάζεται οσμωτική πίεση. Όταν ασκηθεί πίεση στο πιο συμπυκνωμένο διάλυμα, η ροή του διαλύτη θα επιβραδυνθεί μέχρι να σταματήσει και κατόπιν θα αντιστραφεί όταν η πίεση αυξηθεί σε μια διαδικασία γνωστή ως αντίστροφη ώσμωση. Η συγκεκριμένη διαδικασία χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό του καθαρού διαλύτη (εδώ του νερού) από ένα διάλυμα (Hanap, 2017).

Σημειώνεται ότι η απαιτούμενη εφαρμοζόμενη πίεση για να εξασφαλιστεί η αντίστροφη ώσμωση είναι συνάρτηση διαφορετικών παραμέτρων μεταξύ των οποίων

η συγκέντρωση του διαλύματος και η θερμοκρασία. Με σκοπό να εξασφαλιστεί μια επαρκής ροή νερού, γίνεται χρήση υψηλών πιέσεων λειτουργίας, αφού η τιμή της οσμωτικής πίεσης για το θαλασσινό νερό κυμαίνεται κατά προσέγγιση σε ένα επίπεδο 22 atm (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Ο εκάστοτε τύπος της χρησιμοποιούμενης μεμβράνης και έτσι και της αντίστοιχης ποιότητας και απόδοσής της, οδηγεί σε διαφορετικά επίπεδα αφαλάτωσης και κατά συνέπεια σε ένα νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για βιομηχανικές δραστηριότητες είτε για γεωργικές εργασίες είτε ακόμη και για χρήση ως πόσιμο νερό.

Τα κύρια στοιχεία για τις μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην αντίστροφη ώσμωση είναι τα εξής (Hanan, 2017):

- Υψηλή μηχανική αντίσταση ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
- Διαπερατότητα στο διαλύτη ( $\text{m}^3/\text{m}^2$  ανά ημέρα)
- Υψηλή απόρριψη (ικανότητα αντίκρουσης της διέλευσης διαλυμένων ουσιών, που μετράται σαν ποσοστό των διαλυμένων ουσιών που περιέχονταν αρχικά και κατόπιν επεξεργασίας στο διάλυμα που υπέστη την επεξεργασία).

Ο ωφέλιμος χρόνος ζωής (σε σχέση με τις πιέσεις λειτουργίας) μιας μεμβράνης αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται στην αντίστροφη ώσμωση είναι το χρονικό διάστημα για το οποίο συνεχίζει να έχει τα χαρακτηριστικά διαπερατότητάς της με αποτέλεσμα να εξακολουθεί να μπορεί να διατηρηθεί η ροή του νερού σταθερή σε ένα δεδομένο βαθμό καθαρότητας (Sonneveld και Vooqt 2009).

Η μείωση του ωφέλιμου χρόνου ζωής μιας μεμβράνης είναι αποτέλεσμα, όπως προειπώθηκε, της εναπόθεσης ουσιών στη μεμβράνη, καθώς και αποτέλεσμα της δράσης διαφορετικών μικροοργανισμών, για τα οποία κρίνεται σκόπιμη και απαραίτητα η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων προεπεξεργασίας (Hanan, 2017).

Τα συστήματα μαζικής παραγωγής που διατίθενται στις σύγχρονες αγορές κατηγοριοποιούνται με βάση την ποιότητα του του εισερχόμενου νερού που δέχονται, εκφρασμένη σε  $\text{mg}/\text{lt}$  συνολικών TDS (Newman, 2008).

Έτσι βάσει της ποιότητας του νερού τα συστήματα κυμαίνονται σε αυτά που δέχονται νερό ποιότητας από 1.500  $\text{mg}/\text{lt}$  μέχρι και 2.000  $\text{mg}/\text{lt}$ , δηλαδή νερού

χαμηλής αλατότητας, σε αυτά που δέχονται νερό ποιότητας ως και 5.000 mg/ lt, δηλαδή υφάλμυρου νερού και σε αυτά που δέχονται νερό ποιότητας ως και 15.000 mg/ lt, δηλαδή θαλασσινού νερού. Διακρίνονται επίσης και με βάση την ημερήσια παραγωγή, που μπορεί να ποικίλει από μερικά m<sup>3</sup> μέχρι και περισσότερα από 1.000 m<sup>3</sup> (Sonneveld και Vooqt 2009).

#### 4.5.2 pH

Στην άρδευση και κυρίως στη λίπανση, το pH του νερού θα πρέπει να διορθώνεται και ειδικά όταν το νερό παρουσιάζει μια σκληρότητα μεγαλύτερη από 200 mg/ lt με 300 mg/ lt CaCO<sub>3</sub> με το σκοπό να μειωθεί ο σχηματισμός κρούστας και κατά συνέπεια και η πρόκληση ζημιών στο ίδιο το σύστημα άρδευσης, καθώς και με σκοπό να διατηρηθεί το pH του υποστρώματος στο απαιτούμενο εύρος για μια φυσιολογική δραστηριότητα των ριζών και για μια επαρκή διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

##### 4.5.2.1 Αύξηση οξύτητας

Σε συνθήκες όμοιες με αυτές που χαρακτηρίζουν τις χώρες της Μεσογείου, στις οποίες η καλλιέργεια φυτών λαμβάνει χώρα σε θερμοκήπια, το υπόγειο νερό, που χρησιμοποιείται για σκοπούς άρδευσης, διακρίνεται για τα υψηλά επίπεδα αλκαλικότητάς του. Αυτό προκύπτει σαν αποτέλεσμα ενός pH τουλάχιστον της τάξης του 8, στο οποίο παρατηρείται μια σχετικά υψηλή (υπερκορεσμός) συγκέντρωση CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> και μιας ακόμη πιο υψηλής συγκέντρωσης HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Επί της ουσίας το pH του νερού εξαρτάται από τη χημική ισορροπία μεταξύ του CO<sub>2</sub>, του ανθρακικού οξέος (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), του HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, του CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> και του ιόντος υδρογόνου (H<sup>+</sup>) (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):



Η πρώτη και η δεύτερη διάσταση του H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> χαρακτηρίζονται από τις ακόλουθες σταθερές ισορροπίας (K) (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

$$K_1 = \frac{([HCO_3^-] * [H^+])}{[H_2CO_3]} = 4,45 * 10^{-7}$$

$$K_2 = \frac{([CO_3^{2-}] * [H^+])}{[HCO_3^-]} = 4,7 * 10^{-11}$$

Επομένως  $pK_1$  είναι η σταθερά διάστασης οξέος, που ορίζεται ως  $-\log_{10}K_1 = 6,35$  και  $pK_2$  είναι η σταθερά διάστασης οξέος, που ορίζεται ως  $\log_{10}K_2 = 10,32$  (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Η σταθερά της δεύτερης διάστασης είναι σαφώς χαμηλή (καθώς τα ανθρακικά άλατα υπάρχουν ουσιαστικά μόνο σε νερό με pH μεγαλύτερο του 8). Για την απλοποίηση των υπολογισμών, εξετάζεται μόνο η πρώτη διάσταση σε μια προσέγγιση απόλυτα αποδεκτή για την περίπτωση του pH του νερού, που χρησιμοποιείται στην άρδευση. Έτσι, το pH μπορεί να υπολογιστεί ως εξής (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

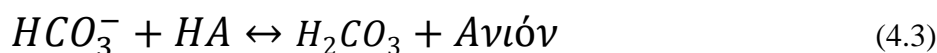
$$pH = pK_1 + \log\left(\frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}\right) \quad (4.2)$$

Όπως προειπώθηκε, το νερό άρδευσης είναι πολύ πλούσιο σε διττανθρακικά και ανθρακικά άλατα. Αυτό μετακινεί τη χημική ισορροπία της εξίσωσης 4.1 προς τα αριστερά και οδηγεί στο σχηματισμό  $CO_2$ , που έχει την τάση να διασκορπιστεί στον αέρα, αφαιρώντας σαν αποτέλεσμα το  $H^+$  από το διάλυμα και αυξάνοντας το pH (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Αυτό εξηγεί τις διακυμάνσεις του pH που παρατηρούνται συχνά όταν ένα δείγμα νερού παραμένει σε επαφή με τον αέρα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ενώ παράλληλα εξηγεί την απουσία στενής σχέσης ανάμεσα στην αλκαλικότητα και το pH του νερού (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Η προσθήκη οξέος στο νερό έχει σαν αποτέλεσμα να μετασχηματίζονται προοδευτικά τα ανθρακικά και διττανθρακικά άλατα σε ανθρακικό οξύ και στη συνέχεια σε  $CO_2$ . Κατά συνέπεια η ποσότητα του οξέος που απαιτείται για να φτάσει το pH σε μια ορισμένη τιμή είναι συνάρτηση της αρχικής συγκέντρωσης ανθρακικού και διττανθρακικού ή μάλλον της αλκαλικότητας. Η αντίδραση αύξησης της οξύτητας έχει ως εξής (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):





Σημειώνεται ότι ο αριθμός των ισοδυνάμων οξέος [HA], των διττανθρακικών που αφαιρούνται από το διάλυμα και του ανθρακικού οξέος που σχηματίστηκε είναι ίσοι κατά συνέπεια με (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

$$[H_2CO_3] = [HA] \quad (4.4)$$

Παίρνοντας την εξίσωση 4.3 και αντικαθιστώντας τις εξισώσεις 4.4 και 4.2 προκύπτει (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

$$pH = pK_1 + \log\left(\frac{[HCO_3^-]_{\alpha\rho\chi\iota\kappa\acute{o}} - [HA]}{[HA]}\right)$$

Και αφαιρώντας το [HA] λαμβάνεται η συγκέντρωση του οξέος που είναι αναγκαία για να προκύψει το επιθυμητό pH βάσει της συγκέντρωσης διττανθρακικών (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

$$[HA] = [HCO_3^-] / (1 + 10^{pH-pK_1}) \quad (4.5)$$

Από την εξίσωση 4.5 προκύπτει ότι μια συγκέντρωση οξέος ( $H^+$ ) ισοδύναμη με περίπου 70% της συγκέντρωσης διττανθρακικών στο νερό οδηγεί σε μια τιμή pH ίση με 6 (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Με βάση την υπολογιζόμενη συγκέντρωση [HA] και τα χαρακτηριστικά (συγκέντρωση, πυκνότητα, ισοδύναμο βάρος) του υπό χρήση προϊόντος, η ποσότητα του οξέος υπολογίζεται ως εξής (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

$$Q = [HA] * EW / (10 * D * AC)$$

Όπου:

Q: απαραίτητη ποσότητα του οξέος (ml/ lt ή lt/ m<sup>3</sup>) για να προκύψει το επιθυμητό pH

EW: ισοδύναμο βάρος του οξέος

D: πυκνότητα του οξέος (kg/ lt)

AC: συγκέντρωσή του οξέος (επί της % υγρή βάση (% w/w))

Τόσο το νιτρικό όσο και φωσφορικό (όταν θεωρείται μονοπρωτικό), θειικό και χλωριούχο οξύ μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μεγάλη προσοχή και το οξύ να πρέπει πάντα να προστίθεται στο νερό και όχι το αντίθετο (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Πιο συχνά από όλα τα παραπάνω χρησιμοποιείται το νιτρικό οξύ, που είναι ταυτόχρονα ένα κρίσιμης αξίας λίπασμα και που οδηγεί σε λιγότερα προβλήματα σε σύγκριση με το θειικό οξύ (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Το κόστος που απαιτείται για να χρησιμοποιηθεί το νιτρικό οξύ εξισορροπείται από το κέρδος που προκύπτει από την ταυτόχρονη λειτουργία του ως λίπασμα (δεν απαιτούνται έτσι άλλα αζωτούχα λιπάσματα) (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

Σημειώνεται ότι καθώς τα οξέα είναι πολύ διαβρωτικά για τον χάλυβα, το σκυρόδεμα και το αλουμίνιο, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το εκάστοτε διάλυμα οξέος περνάει μόνο μέσω σωλήνων πολυαιθυλενίου ή πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) και ότι η αντλία διανομής του παρουσιάζει ανθεκτικότητα στα οξέα. Σύσταση αποτελεί να μην ξεπερνά μια συγκέντρωση της τάξης του 5% στο μητρικό διάλυμα (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013).

#### 4.5.2.2 Προσθήκη διττανθρακικών

Όταν πρόκειται για βρόχινο νερό, επιφανειακά ύδατα ή ακόμη και αφαλατωμένο νερό, υπάρχει περίπτωση να παραστεί ανάγκη προσθήκης μικρών ποσοτήτων, δηλαδή συγκεντρώσεων κατά προσέγγιση της τάξης των 100 mg/ lt και 150 mg/ lt, διττανθρακικού νατρίου ( $\text{NaHCO}_3$ ) ή διττανθρακικού καλίου ( $\text{KHCO}_3$ ) (Sonneveld και Vooqt 2009).

Ο λόγος για την προσθήκη αυτή είναι η ενίσχυση της ικανότητας του νερού άρδευσης να διατηρεί ένα σχετικά σταθερό pH, η οποία και εξαρτάται από το σύστημα ανθρακικού οξέος/ διττανθρακικού. Η προσθήκη διττανθρακικών αποτελεί μια απλή διαδικασία με την οποία αποφεύγονται οι απότομες και αισθητές πτώσεις του pH (ακόμη και σε ένα επίπεδο χαμηλότερο του 4), οι οποίες και είναι

ενδεχομένως αποτέλεσμα μιας μη ακριβούς δόσης οξέος ή/ και μιας φυσιολογικής αύξησης της αλατότητας στις ρίζες (Sonneveld και Vooqt 2009).

### 4.5.3 Διήθηση

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι φίλτρων στην αγορά, χρήσιμοι για αιωρούμενα στερεά υλικά (Newman, 2008; De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013; Hanan, 2017):

- Φίλτρα πλέγματος: το νερό φιλτράρεται μέσω ενός πλέγματος από ανοξείδωτο χάλυβα ή/ και νάιλον με το μέγεθος του πάχους των οπών του να εξαρτάται από τα σωματίδια που στοχεύεται να φιλτραριστούν. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί γενικά φίλτρα με μια διάμετρο οπών που κυμαίνεται από 75 mm μέχρι και 210 mm. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι κατάλληλο να εφαρμοστεί στην περίπτωση που το νερό δεν περιέχει οργανική ύλη, αλλά περιέχει είτε πολύ λεπτή είτε λεπτή άμμο. Ο καθαρισμός των φίλτρων γίνεται είτε χειροκίνητα είτε είναι αυτόματος και προκύπτει με την αντιστροφή της ροής.
- Αμμοσυλλέκτες δίνης ή υδροκυκλώνα: στην περίπτωση αυτή, το νερό αναγκάζεται σε δίνη με αποτέλεσμα και υπό την επίδραση της φυγόκεντρου δύναμης το διαχωρισμό της ύλης με μεγαλύτερο ειδικό βάρος (όπως είναι για παράδειγμα το χώμα και άμμος), που συγκεντρώνεται στο κάτω μέρος του φίλτρου. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι κατάλληλο να εφαρμοστεί στην περίπτωση που το νερό και πάλι δεν περιέχει οργανική ύλη, αλλά περιέχει μεγάλες ποσότητες άμμου και μεγάλα σωματίδια. Για τη σωστή χρήση της θα πρέπει να συνδυάζεται με φίλτρα πλέγματος.
- Φίλτρα άμμου: το φίλτρο αποτελείται από στρώματα άμμου ή/ και χαλίκι, που τοποθετούνται σε μεγάλα δοχεία. Η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι κατάλληλο να εφαρμοστεί στην περίπτωση που το νερό περιέχει και οργανική, η οποία και εξαλείφεται. Για τη σωστή χρήση της θα πρέπει να συνδυάζεται

με φίλτρα πλέγματος. Τα φίλτρα εδώ θα πρέπει να καθαρίζονται συχνά και συνεχώς.

#### 4.6 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΝΕΤΟ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

Επειδή η προέλευση του νερού άρδευσης ενός θερμοκηπίου ποικίλει, είναι λογικό να ποικίλει και ποιότητά του. Για την εξασφάλιση ότι η ποιότητα αυτή δεν θα επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη των καλλιεργειών εντός του θερμοκηπίου, σημαντικό είναι να ακολουθούνται οι παρακάτω συστάσεις (κάποιες από αυτές έχουν ήδη ειπωθεί παραπάνω, αλλά συγκεντρώνονται και συνοψίζονται εδώ για να προκύψει μια πλήρης λίστα συστάσεων) (De Pascale, Orsini και Pardossi, 2013):

- Πριν από την καλλιέργεια, το νερό πρέπει να ελέγχεται από διαπιστευμένο εργαστήριο για την ποιότητά του
- Η γνώση της ποιότητας του νερού καθιστά δυνατό τον προγραμματισμό της επεξεργασίας του νερού με στόχο την αποφυγή ζητημάτων, όπως οι βουλωμένοι σωλήνες ποτίσματος, που τελικά επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών και δεν επιτρέπουν κατά συνέπεια μια βελτιωμένη ανάπτυξη
- Τα ζητήματα που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού μπορεί να σχετίζονται με φυσικές ή χημικές παραμέτρους
- Το βέλτιστο pH σε ό,τι αφορά το νερό άρδευσης κυμαίνεται από 6,5 μέχρι και 7,5. Υπάρχει η δυνατότητα χρήσης νερού ενός pH από 6 μέχρι και 8,5, αλλά η χρήση νερού κάτω από 5 ή πάνω από 8,5 είναι ακατάλληλη για άρδευση
- Η βέλτιστη τιμή της αλκαλικότητας είναι μεταξύ 0,75 meq/ lt και 2,6 meq/ lt, ενώ μπορεί να μειωθεί ακόμη παραπάνω όταν πρόκειται για νεότερα φυτά
- Η αλατότητα επηρεάζει άμεσα την ικανότητα απορρόφησης του νερού από τα φυτά και την ικανότητα φωτοσύνθεσής τους. Μια βέλτιστη για την αλατότητα

ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού είναι μικρότερη από 0,75 dS/ m. Η ανάπτυξη των φυτών γενικά δεν επηρεάζεται για μια ηλεκτρική αγωγιμότητα μέχρι και 2,0 dS/ m, αν και αυτό ποικίλει ανάλογα με το είδος του καλλιεργούμενου φυτού. Μια μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών του θερμοκηπίου παρατηρείται στην περίπτωση που η ηλεκτρική αγωγιμότητα ξεπεράσει μια τιμή της τάξης των 2,0 dS/ m.

- Η σύνθεση των αλάτων είναι σημαντικό να ελέγχεται, καθώς ορισμένα στοιχεία μπορεί να παρουσιάζουν ειδική τοξικότητα στα φυτά.
- Το νερό χαμηλής ποιότητας μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά μέσα από την εφαρμογή αφαλάτωσης, της διόρθωσης του pH μέσω της αύξησης της οξύτητας και της προσθήκης διττανθρακικών και τέλος διήθησης.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όλα όσα εξετάστηκαν παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι ένα θερμοκήπιο και ειδικότερα ένα θερμοκήπιο στη Μεσόγειο είναι ένα πολυσύνθετο «σύστημα», που για να μπορέσει να λειτουργήσει με αποτελεσματικό τρόπο, ώστε να εξασφαλίσει μια βελτιωμένη ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών απαιτεί ένα διαρκή έλεγχο και μια ορθή διαχείριση τόσο του σχεδιασμού του (υλικά κάλυψης) όσο και του επικρατούντος κλίματος και της ποιότητας του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση.

### 5.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Σαν προτάσεις για μελλοντική έρευνα, προτείνονται τα εξής:

1. Εξέταση και ανάλυση και άλλων παραγόντων, που μπορούν να συμβάλουν σε μια βελτίωση των συνθηκών ανάπτυξης (φαρμακευτικών, αρωματικών, φυτών) σε υφιστάμενα μεσογειακά θερμοκήπια χαμηλής έντασης κεφαλαίου, όπως είναι για παράδειγμα το έδαφος και η λίπανση αυτού και η διαχείριση της άρδευσης.
2. Εξέταση ενός υπαρκτού θερμοκηπίου στην περιοχή της Ελλάδας και ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασής του σε ότι αφορά το υλικό κάλυψής τους, τις κλιματικές συνθήκες, που επικρατούν σε αυτό και την ποιότητα του νερού άρδευσης, που χρησιμοποιεί με στόχο στη συνέχεια να προταθούν πιο συγκεκριμένες παρεμβάσεις και πρακτικές. Αν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν στην πράξη οι παρεμβάσεις και στρατηγικές αυτές μπορεί να λάβει χώρα και μια μελέτη της βελτίωσης, στην οποία οδηγούν.



## Βιβλιογραφία

- Abdel-Bary, E. 2003. *Handbook of Plastic Films*. iSmithers Rapra Publishing.
- Abdel-Ghany, A. και Kozai, T. 2006. Cooling efficiency of fogging systems for greenhouses. *Biosystem Engineering*, 94(1), 97–109.
- Arbel, A., Barak, M. και Shklyar, A. 2003. Combination of Forced Ventilation and Fogging Systems for Cooling Greenhouses. *Biosystem Engineering*, 84(1), 41–45.
- ASAE. 2000. *ANSI/ASAE EP406.3 MAR98, heating, venting and cooling greenhouses*. American Society for Agricultural Engineers.
- Baeza, E., Pérez-Parra, J., Montero, J., Bailey, B., Lopez, J. και Gazquez, J. 2009. Analysis of the role of sidewall vents on buoyancy-driven natural ventilation in parral-type greenhouses with and without insect screens using computational fluid dynamics. *Biosystem Engineering*, 104(1), 86–96.
- Bailey, B. και Chalabi, Z. 1994. Improving the cost effectiveness of greenhouse climate control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 10, 203–214.
- Baille, A. 1999. Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Horticulturae*, 491, 37–47.
- Baille, A., Kittas, C. και Katsoulas, N. 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107, 193–306.
- Bakker, J., Bot, G., Challa, H. και Van de Braak, N. 1995. *Greenhouse climate control: an integrated approach*. Wageningen Academic Publishers.
- Cabrera, F., Baille, A., Lopez, J., Gonzalez-Real, M. και Pérez-Parra, J. 2009. Effects of cover diffuse properties on the components of greenhouse solar radiation. *Biosystem Engineering*, 103, 344–356.
- Campen, J., Bot, G. και de Zwart, H. 2003. Dehumidification of greenhouses at northern latitudes. *Biosystem Engineering*, 86(4), 487–493.
- Castilla, N. 2013. *Greenhouse Technology and Management*. CABI.



- Castilla, N. και Hernández, J. 2007. Greenhouse technological packages for high-quality crop production. *Acta Horticulturae*, 761, 285–297.
- Cohen, S., Raveh, E., Li, Y., Grava, A. και Goldschmidh, E. 2005. Physiological response of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shading screens. *Scientia Horticulturae*, 107, 15–35.
- De Pascale, S., Orsini, F. και Pardossi, A. 2013. Irrigation water quality for greenhouse horticulture, Στο FAO (εκδ.) *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas*. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (169-204).
- Dreistadt, S. 2001. *Integrated Pest Management for Floriculture and Nurseries*. University of California Agriculture and Natural Resources.
- FAO. 1990. *Protected Cultivation in the Mediterranean Climate*. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
- FAO. 2017. *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries: Principles for sustainable intensification of smallholder farms*. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
- Enoch, H.Z. 1984. Carbon dioxide uptake efficiency in relation to crop-intercepted solar radiation. *Acta Horticulturae*, 162, 137–147.
- González, A., Rodríguez, R., Bañón, S., Franco, J., Fernández, J., Salmerón, A. και Espí, E. 2003. Strawberry and cucumber cultivation under fluorescent photosensitive plastic films cover. *Acta Horticulturae*, 614, 407–414.
- Hanan, J. 2017. *Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture*. CRC Press.
- Hamid, H. 2000. *Handbook of Polymer Degradation*. CRC Press.
- Hemming, S., Kempkes, F., van der Braak, N., Dueck, T. και Marissen, N. 2006. Greenhouse cooling by NIR-reflection. *Acta Horticulturae*, 719, 97–106.
- Hemming, S., Dueck, T., Janse, J. και Van Noort, F. 2008. The effect of diffuse light on crops. *Acta Horticulturae*, 801, 1293–1300.

- Kempkes, F., Stanghellini, C. και Hemming, S. 2008. Cover materials excluding Near Infrared Radiation. What is the best strategy in mild climates? *Acta Horticulturae*, 807, 67–72.
- Kittas, C., Katsoulas, N., Bartzanas, T. και Bakker, S. 2013. Greenhouse climate control and energy use, Στο FAO (εκδ.) *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas*. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (63-96).
- Kittas, C., Karamanis, M. και Katsoulas, N. 2005. Air temperature regime in a forced ventilated greenhouse with rose crop. *Energy & Buildings*, 37(8), 807–812.
- Langridge. 1963. Biochemical aspects of temperature response. *Annual Review of Plant Physiology*, 14, 441–462.
- Li, S., Willits, D. και Yunkel, C. 2006. Experimental study of a high-pressure fogging system in naturally ventilated greenhouses. *Acta Horticulturae*, 719, 393–400.
- Lorenzo, P., Maroto, C. και Castilla, N. 1990. CO<sub>2</sub> in plastic greenhouse in Almería (Spain). *Acta Horticulturae*, 268, 165–169.
- Merhaut, D., Williams, K. και Magniafico, S. 2018. *Water, Root Media, and Nutrient Management for Greenhouse Crops*. UCANR Publications.
- Montero, J., Teitel, M., Baeza, E., Lopez, J. και Kacira, M. 2013. Greenhouse design and covering materials, Στο FAO (εκδ.) *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas*. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (35-62).
- Morgan, L. 2021. *Hydroponics and Protected Cultivation: A Practical Guide*. CABI.
- Muñoz, P., Montero, J.L., Antón, A. και Giuffrida, F. 1999. Effect of insect-proof screens and roof openings on greenhouse ventilation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73: 171–178.
- Nederhoff, E. 1994. *Effects of CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops* (διδακτορική διατριβή). Wageningen.
- Newman, J. 2008. *Greenhouse and Nursery Management Practices to Protect Water Quality*. UCANR Publications.

- Orsini, F., Dubbeling, M., de Zeeuw, H., Gianquinto, G. 2017. *Rooftop Urban Agriculture*. Springer.
- Pérez Parra, J., Baeza, E., Montero, J. και Bailey, B. 2004. Natural ventilation of Parral greenhouses. *Biosystem Engineering*, 87(3), 355–366.
- Ponce, P., Molina, A., Cepeda, P., Lugo, E. και MacCleery, B. 2014. *Greenhouse Design and Control*. CRC Press.
- Rodríguez, F., Berenguel, M., Guzmán, J. και Ramírez-Arias, A. 2014. *Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth*. Springer.
- Schiller, L. 2016. *The Year-Round Solar Greenhouse: How to Design and Build a Net-Zero Energy Greenhouse*. New Society Publishers.
- Seginer, I. 1994. Transpirational cooling of a greenhouse crop with partial ground cover. *Agricultural and Forest Meteorology*, 71, 265–281.
- Sonneveld, C. και Vooqt. W. 2009. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer Science & Business Media.
- Stanghellini, C., Incrocci, L., Gázquez, J. και Dimauro, B. 2008. Carbon dioxide concentration in Mediterranean greenhouses: How much lost production? *Acta Horticulturae*, 801, 1541–1550.
- Van Straten, G., Van Willigenburg, Van Henten, E. και Van Oortqhem. 2010. *Optimal Control of Greenhouse Cultivation*. CRC Press.
- Waaijenberg, D. και Sonneveld, P. 2004. Greenhouse design for the future with a cladding material combining high insulation capacity with high light transmittance. *Acta Horticulturae*, 633, 137–143.
- White, J. και Aldrich, R. 1975. Progress report on energy conservation for greenhouses research. *Floriculture Review*, 156, 63–65.
- Wierenga, P., Hagan, R. και Gregory, E. 1971. Effects of irrigation water temperature on soil temperature. *Agronomy Journal*, 63, 33–36.
- Yildiz, I. 2021. *Greenhouse Engineering: Integrated Energy Management*. CRC Press.