

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΤΩΝ  
ΦΥΤΩΝ»**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: ΤΣΟΓΚΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ**



**Επιβλέπουσα: Δρ Άννα Ασημακοπούλου, Επίκ. Καθηγήτρια**

**ΚΑΛΑΜΑΤΑ 2014**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω στην καθηγήτριά μου κα. Άννα Ασημακοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος Τεχνολογίας Γεωπονίας του ΑΤΕΙ Πελοποννήσου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τη συνεχή καθοδήγησή της και την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον φίλο και συμφοιτητή μου Ντάνο Ευστάθιο που με βοήθησε στη συγγραφή της πτυχιακής μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Γεωπόνο κα. Καπιτσιμάδη Χρυσή για τις πολύτιμες συμβουλές της.

Τέλος, ένα μεγάλο και εγκάρδιο ευχαριστώ αξίζει η ηρωίδα της καθημερινότητάς μου, η μητέρα μου Πηνελόπη Καραμπάτσου, στην οποία και αφιερώνω την παρούσα πτυχιακή εργασία.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>4</b>
1.1.Γενικά .....	4
1.2.Ταξινομήσεις καλλιεργειών εκτός εδάφους .....	4
1.3.Ιστορικά στοιχεία .....	5
1.4.Στατιστικά στοιχεία .....	7
1.5.Πλεονεκτήματα .....	8
1.6.Μειονεκτήματα .....	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΘΡΕΨΗ ΦΥΤΩΝ .....</b>	<b>11</b>
2.1.Γενικά .....	11
2.2. Μακροστοιχεία .....	13
2.3.Ιχνοστοιχεία.....	16
2.4.Θρεπτικά διαλύματα.....	19
2.5.Υπολογισμός σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος.....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ .....</b>	<b>23</b>
3.1.Γενικά .....	23
3.2.Υδροκαλλιέργειες .....	23
3.2.1.N.F.T. (Nutrient Film Technique) .....	23
3.2.2.FLOATING SYSTEM.....	25
3.2.3.ΑΕΡΟΠΟΝΙΑ .....	28
3.3.Παραλλαγές βασικών τύπων υδροκαλλιέργειας.....	30
3.3.1.NGS.....	30
3.3.2.DFT .....	31
3.3.3.Επιδαπέδια υδροπονία.....	31
3.3.4.Ενυδροπονία .....	31

3.4.Υποστρώματα καλλιεργειών εκτός εδάφους .....	34
3.4.1.Επιθυμητά χαρακτηριστικά υποστρωμάτων .....	34
3.4.2.Ανόργανα χημικά αδρανή υποστρώματα.....	36
3.4.3.Ανόργανα χημικά ενεργά υποστρώματα.....	38
3.4.4.Συνθετικά οργανικά υποστρώματα .....	39
3.4.5.Φυσικά οργανικά υποστρώματα .....	39
3.4.6.Μείγματα υποστρωμάτων.....	40
3.5.Εγκαταστάσεις υδροπονικών συστημάτων με υπόστρωμα.....	40
3.5.1.Ebb-and-Flow .....	40
3.5.2.Με σταλάκτες.....	42
3.5.3. Σύστημα παθητικής άρδευσης.....	44
3.5.4 Θερμοκήπιο με χρήση θαλασσινού νερού (Seawater greenhouse)- Σχέδιο Σαχάρας (Sahara Forest Project) .....	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>47</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>51</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1.Γενικά

Η ολοένα μεγαλύτερη ζήτηση τροφίμων, λόγω της υπέρμετρης πληθυσμιακής αύξησης, και η εξάντληση των υδατικών αποθεμάτων, έχει επιφέρει την ανάγκη εύρεσης νέων τεχνικών καλλιέργειας. Οι καλλιέργειες αυτές θα πρέπει όχι μόνο να διατηρήσουν την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και να μεγιστοποιήσουν την παραγωγικότητά τους αλλά κυρίως να έχουν λιγότερες απαιτήσεις σε εισροές.

Η εξάπλωση των εκτός εδάφους καλλιεργειών οφείλεται στα πλεονεκτήματά τους, όπως είναι η μεγάλη παραγωγικότητα (Koochakan, et al 2004) και οι ελάχιστες έως μηδενικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον

Οι εκτός εδάφους καλλιέργειες φυτών πραγματοποιούνται συνήθως μέσα σε θερμοκηπιακές κατασκευές, αποτελούν την πιο σύγχρονη μορφή καλλιέργειας και έχουν γίνει όλο ένα και πιο δημοφιλείς παγκοσμίως μέσα στις τελευταίες δεκαετίες (Koochakan, et al 2004).

### 1.2.Ταξινομήσεις καλλιεργειών εκτός εδάφους

Αντικαθιστώντας το πρώτο συνθετικό της λέξης γεωπονία με τη λέξη ύδωρ προκύπτει η λέξη υδροπονία, η οποία επινοήθηκε από τον Dr.W.F.Gericke το 1936 για να περιγράψει την καλλιέργεια φυτών αποκλειστικά σε νερό και διαλυμένα θρεπτικά στοιχεία (Roberto, 2003). Ωστόσο, στις μέρες μας, αν και λανθασμένα, η υδροπονία είναι ταυτόσημη με τις εκτός εδάφους καλλιέργειες.

Οι καλλιέργειες εκτός εδάφους κατηγοριοποιούνται σε καλλιέργειες με υποστρώματα και σε υδροκαλλιέργειες, ανάλογα με την ύπαρξη ή όχι στερεού μέσου στην περιοχή του ριζικού συστήματος. Η κάθε μία από τις προαναφερόμενες κατηγορίες δύναται να υποδιαιρεθεί σε υποκατηγορίες, διότι έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα καλλιέργειας. Αυτά τα συστήματα μπορεί να είναι απλά συστήματα που χρησιμοποιούν άμμο μέχρι περίτεχνα και ακριβά μεγάλης εμπορικής κλίμακας (Lim, 1982).

Οι καλλιέργειες που χρησιμοποιούν υποστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τις φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων ή ακόμα και τη διάρκεια ωφέλιμης ζωής τους. Όσο αφορά τις υδροκαλλιέργειες μπορούν να διακριθούν ανάλογα με το ύψος του θρεπτικού διαλύματος μέσα στο οποίο αναπτύσσονται οι ρίζες, με τη διάρκεια έκθεσης των ριζών στο θρεπτικό διάλυμα αλλά και με τη στασιμότητα ή μη του θρεπτικού διαλύματος στην περιοχή του ριζικού συστήματος.

Άλλη μια διάκριση των υδροπονικών συστημάτων μπορεί να γίνει ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής του θρεπτικού διαλύματος στα καλλιεργούμενα είδη. Το θρεπτικό διάλυμα μπορεί να χορηγηθεί με ψεκασμό, με στάγδην άρδευση, με ρέουσα άρδευση ή ακόμα και στάσιμη. Επίσης, διαχωρισμός των υδροπονικών συστημάτων μπορεί να γίνει με βάση τον τρόπο διαχείρισης των απορροών του συστήματος. Τα συστήματα στα οποία το θρεπτικό διάλυμα απορρέει από το χώρο του ριζοστρώματος στο περιβάλλον ονομάζονται ανοιχτά συστήματα, ενώ αυτά που το διάλυμα επαναχρησιμοποιείται ονομάζονται κλειστά συστήματα.

### **1.3.Ιστορικά στοιχεία**

Πολλοί θεωρούν ότι οι καλλιέργειες εκτός εδάφους είναι μια μοντέρνα πρακτική καλλιέργειας φυτικών ειδών. Όμως, είναι παλιές μέθοδοι καλλιέργειας φυτών, που με την πάροδο των χρόνων επανήλθαν στο προσκήνιο κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς, με στόχο τη μελέτη της ανάπτυξης των φυτών και πλέον, έχουν επεκταθεί σε εμπορική κλίμακα.

Ιστορικοί έχουν βρει αιγυπτιακά ιερογλυφικά που απεικονίζουν καλλιέργειες φυτών σε νερό. Συγκεκριμένα, οι τοιχογραφίες που βρέθηκαν στον αρχαιοαιγυπτιακό ναό Deir EL Bahari και χρονολογούνται σχεδόν 4.000 χρόνια πριν, είναι η πρώτη απόδειξη ύπαρξης καλλιέργειας εκτός εδάφους (Raviv and Lieth, 2008).

Κείμενα των αρχαίων Ελλήνων ιστορικών Διόδωρου Σικελιώτη και Στράβωνα, αναφέρουν ότι στην περιοχή του σημερινού Ιράκ, γύρω στο 600 π.Χ., ήταν χτισμένοι οι περίφημοι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας. Σύμφωνα με τα αρχαία κείμενα, στην πολυεπίπεδη κατασκευή των κήπων καλλιεργούνταν ετερόχθονα είδη δέντρων και λουλουδιών, των οποίων η άρδευση γινόταν από νερό που προερχόταν από τον Ευφράτη. Το νερό

μεταφερόταν, ανυψωνόταν, όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται από μηχανές ύδατος, και οδηγούταν στα κανάλια των καλλιεργειών. Η περιγραφή αυτού του τρόπου καλλιέργειας φυτικών ειδών θεωρείται πρόδρομος των σημερινών καλλιεργειών εκτός εδάφους.

Αργότερα, το 10 αιώνα μ.Χ. οι Αζτέκοι ανέπτυξαν ένα σύστημα επιπλεόντων κήπων στη λίμνη Texcoco (Crossley, 2004). Οι πλωτοί κήποι αποτελούνταν από ένα μείγμα λάσπης και οργανικής ύλης όπως καλάμια, κομπόστα κ.ά. Είχαν διαστάσεις περίπου 30 μέτρα μήκος και 2,5 μέτρα πλάτος και πάνω τους καλλιεργούσαν φασόλια, καλαμπόκι, κολοκύθες κ.ά. Οι πλωτοί κήποι εξακολουθούν να υπάρχουν ακόμα και σήμερα, και θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως οι πρώτες ενυδροπονικές καλλιέργειες.



**Εικόνα 1.** Εκτός εδάφους καλλιέργειες των αρχαίων χρόνων

Το 1699 ο άγγλος John Woodward δημοσίευσε μελέτη στην οποία υποστήριξε πως τα φυτά δυόσμου που καλλιεργήθηκαν με την άρδευση απλού νερού παρουσίαζαν καλύτερη ανάπτυξη, συγκριτικά με φυτά στα οποία εφαρμόστηκε αποσταγμένο νερό. Σύμφωνα με τον Gericke (1945), ένας άλλος ερευνητής το 1842 σύνταξε μια λίστα με 9 στοιχεία του περιοδικού πίνακα, υποστηρίζοντας ότι αυτά ήταν τα θρεπτικά στοιχεία που παρείχε το έδαφος στα φυτά.

Στη νεότερη ιστορία, η εκτός εδάφους καλλιέργεια των φυτών έκανε την εμφάνιση της το 1860, όταν ο χημικός Knor και ο βοτανολόγος Sachs παρασκεύασαν θρεπτικά διαλύματα θέλοντας να μελετήσουν την ανάπτυξη των φυτών. Το 1929 παρουσιάστηκε η θεωρία της υδροπονίας, επισημαίνοντας ότι η καλλιέργεια φυτών δεν χρειάζεται το έδαφος και ότι

ορισμένες εμπορικές καλλιέργειες θα μπορούσαν να αναπτυχθούν μέσα σε μεγάλες λεκάνες θρεπτικού διαλύματος (Gericke, 1945).

Το 1930 μέσα από μία σειρά εκδόσεων έγινε ευρέως γνωστή η εκτός εδάφους καλλιέργεια των φυτών (Jones, 2005) και το 1970 παρασκευάστηκε η πρώτη πλήρης φόρμουλα θρεπτικού διαλύματος, κατάλληλη για υδροπονικές καλλιέργειες (Ravin and Lieth, 2008).

Κατά τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου πολέμου η υδροπονία εφαρμόστηκε στην πράξη, βοηθώντας τον εφοδιασμό των αμερικανικών στρατευμάτων.

#### 1.4. Στατιστικά στοιχεία

Τη δεκαετία του 1980 υπήρξε μια ραγδαία εξάπλωση της υδροπονικής παραγωγής αγροτικών προϊόντων (Hassall, 2001). Σύμφωνα με τον Howard M. Resh (2013), η παγκόσμια έκταση υδροπονικής παραγωγής αυξήθηκε από 50.000 στρέμματα το 1980, σε 350.000 στρέμματα το 2001.

Η Ελλάδα το 1999, σύμφωνα με τον πίνακα 1 περιελάμβανε 600 στρέμματα υδροπονικών εγκαταστάσεων στη συνολική καλλιεργούμενη έκτασή της.

Σήμερα, η παγκόσμια έκταση, που καταλαμβάνουν, οι καλλιέργειες εκτός εδάφους παρουσιάζει αυξητική τάση λόγω των πλεονεκτημάτων τους συγκριτικά με τη συμβατική καλλιέργεια.

**Πίνακας 1:** Παγκόσμια παραγωγή προϊόντων υδροπονικών καλλιεργειών, και συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας (1980-2001)

Κράτος	Έτος	Έκταση (στρ)	Συστήματα	Καλλιέργειες
Ολλανδία	1987	35.000	Πετροβάμβακας κ.ά.	Τομάτα, αγγούρι, πιπεριά, μελιτζάνα, δρεπτά άνθη, φασόλια
	2001	100.000		Τομάτα, αγγούρι, πιπεριά, μελιτζάνα, φράουλα, μαρούλι, ραπανάκι, ανθοκομικά
Ισπανία	1996	10.000	Πετροβάμβακας	Μαρούλι, αγγούρι, πιπεριά, τομάτες
	2001	40.000		
Καναδάς	1987	1.000	Περλίτης, άμμος, πετροβάμβακας	Τομάτα, αγγούρι, πιπεριά, μαρούλι
	2001	15.740		
Γαλλία	1996	10.000	πετροβάμβακας	Αγγούρι, πιπεριά, τομάτα, μελιτζάνα, δρεπτά άνθη
Ιαπωνία	1984	2.930	Πετροβάμβακας και NFT	Καρτότο, τομάτα, φρέσκο κρεμμύδι, μαρούλι, μοσχοπέπνο, αγγούρι



Ισραήλ	1996	6.500	Σκωρία, περλίτης, άμμος, αεροπονία	
Βέλγιο	1996	6.000	πετροβάμβακας	
	1996	6.500	Πετροβάμβακας	
Νέα Ζηλανδία	1996	2.000	NFT, ελαφρόπετρα, πριονίδι,	Δρεπτά άνθη, φράουλα, τομάτα, πιπεριά, αγγούρι, μαρούλι, ασιατικά λαχανικά
	2001	5.500		
Αυστραλία	1996	5.000	NFT, πετροβάμβακας, πριονίδι, άμμος, σκωρία, περλίτης	Τομάτα, μαρούλι, αγγούρι, δρεπτά άνθη, βότανα, φράουλα
Ηνωμένο Βασίλειο	1988	3.920	Πετροβάμβακας	Τομάτα, αγγούρι, πιπεριά
Νότια Αφρική	1984	750	Διάφορα υποστρώματα όπως πριονίδι και φλοιός	Τομάτα, αγγούρι, μαρούλι, λουλούδια
	1996	4.200		
Ιταλία	1990	500	Γερμανία	Τριαντάφυλλα, τομάτα, ζέρμπερα, φράουλα
	1999	4.000		
Η.Π.Α	1984	2.280	Περλίτης, χαλίκι, άμμος, NFT	Τομάτα, αγγούρι, μαρούλι
	1999	4.000		
Φιλανδία	1996	3.700		
Κορέα	1987	2.740	NFT, πετροβάμβακας,	Τομάτα, αγγούρι, μαρούλι
	1996		Περλίτης, NFT, DFT, πετροβάμβακας, αεροπονία	
Μεξικό	1996	150		
	1999	1.200		
Κίνα	1987	50	Χαλίκι	Τομάτα, αγγούρι, μαρούλι, γλυκιά πιπεριά, σχινόπρασο, λουλούδια
	1999	1.200		
Ελλάδα	1996	330	NFT, πετροβάμβακας, περλίτης	Τομάτα, αγγούρι, πιπεριά, μαρούλι
	1999	600		
Βραζιλία	1999	500	NFT	Μαρούλι, ρόκα, νεροκάρδαμο
Ταϊβάν	1996	350		
Σιγκαπούρη	1996	300	NFT, αεροπονία	

Πηγή πίνακα: Carruthers, 2002

### 1.5.Πλεονεκτήματα

Η τεχνική των καλλιεργειών εκτός εδάφους υπερέρχει σε αρκετά σημεία σε σχέση με τη συμβατική καλλιέργεια.

Η μειωμένη παραγωγικότητα αλατούχων εδαφών και οι ανεκμετάλλετες εκτάσεις εδαφών με συσσωρευμένα βαρέα μέταλλα είναι προβλήματα που δύνανται να αντιμετωπισθούν με την εγκατάσταση καλλιεργειών εκτός εδάφους. Έτσι, αφενός μεν αξιοποιούνται εκτάσεις που αλλιώς είναι αδύνατη η καλλιέργειά τους και αφετέρου ελαχιστοποιούνται οι μολύνουσες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στα προβληματικά αυτά εδάφη.

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα έντομα εδάφους δεν μειώνουν την παραγωγή, όπως συμβαίνει στις εδαφικές καλλιέργειες διότι στην

υδροπονία δεν γίνεται χρήση εδάφους. Αντίθετα όπου είναι απαραίτητη η χρήση οργανικών υποστρωμάτων, ως μέσο στήριξης των φυτών, αυτά είναι αποστειρωμένα.

Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους οι πιθανότητες εμφάνισης τροφοπενιών και τοξικοτήτων των φυτών ελαχιστοποιούνται, λόγω του απόλυτου ελέγχου της θρέψης των καλλιεργούμενων φυτών. Επιπλέον, οι ελεγχόμενες θερμοκηπιακές συνθήκες σε συνδυασμό με τον έλεγχο της θρέψης των φυτών αποφέρουν τη μείωση της εφαρμογής των λιπασμάτων και των φυτοπροστατευτικών προϊόντων.

Ο υδάτινος όγκος που χρησιμοποιείται στις υδροπονικές εγκαταστάσεις κλειστού συστήματος είναι σαφώς μικρότερος από τον όγκο νερού άρδευσης των συμβατικών εδαφικών καλλιεργειών. Σύμφωνα με τον Hitchin (2014) στην άρδευση είναι εφικτή ακόμα και η χρήση θαλασσινού νερού στις υδροπονικές καλλιέργειες που αφαλατώνεται με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η σημαντική μείωση του κόστους άρδευσης.

Ο παραγωγός υδροπονικών καλλιεργειών δεν επωμίζεται το πρόσθετο υψηλό κόστος εργατικού δυναμικού, συγκριτικά με τον συμβατικό τρόπο καλλιέργειας για την πραγματοποίηση καλλιεργητικών εργασιών, όπως το φρεζάρισμα, το σκάλισμα κ.ά. Άλλος ένας λόγος που μειώνεται το κόστος παραγωγής είναι η δυνατότητα αυτοματοποίησης της εγκατάστασης.

Τέλος, η βελτιωμένη διατροφική ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων (Palermo et al., 2011) και οι αυξημένες αποδόσεις των καλλιεργειών, εν συγκρίσει με τις συμβατικές, είναι άξιες προσοχής. Επίσης, η παραγωγική περίοδος των φυτών μπορεί να αυξηθεί, λόγω των καλύτερων συνθηκών ανάπτυξης των φυτών (Πεπονάκης, 2012).

## **1.6.Μειονεκτήματα**

Όπως κάθε κανόνας που σέβεται τον εαυτό του έχει και εξαιρέσεις, έτσι δεν δύναται οι καλλιέργειες εκτός εδάφους να μην έχουν και τα αδύνατα σημεία τους. Τα μειονεκτήματα των υδροπονικών καλλιεργειών είναι ελάχιστα, συγκριτικά με τα προτερήματά τους.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των καλλιεργειών εκτός εδάφους είναι η ανάγκη της απαιτούμενης τεχνολογικής κατάρτισης ενός μεγάλου τμήματος

του εργατικού δυναμικού. Εφόσον, οι υδροπονικές εγκαταστάσεις στηρίζονται και χρησιμοποιούν την τεχνολογία, η όποια κακοδιαχείριση του συστήματος μπορεί να αποβεί μοιραία για την παραγωγή. Η σύνθεση, οι ρυθμίσεις και ο απαραίτητος έλεγχος των τιμών του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να επηρεάσουν όλη την καλλιέργεια, έτσι επιβάλλεται η παροχή των απαραίτητων γνώσεων.

Το υψηλό κόστος των εγκαταστάσεων και των υλικών που χρησιμοποιούνται σε αυτές, πολλές φορές καθιστούν την υλοποίηση των υδροπονικών καλλιεργειών απαγορευτική για τον μέσο παραγωγό. Παρότι, τα έσοδα από την παραγωγή υδροπονικών προϊόντων είναι αυξημένα, λόγω καλύτερης ποιότητας (Merle,1996) σε σχέση με αυτά των συμβατικών καλλιεργειών, η διάρκεια απόσβεσης του αρχικού κεφαλαίου είναι μεγάλη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΘΡΕΨΗ ΦΥΤΩΝ

#### 2.1.Γενικά

Για την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών, μέχρι στιγμής, έχουν βρεθεί ότι τα απαραίτητα στοιχεία που απαιτούνται είναι 17. Τα στοιχεία αυτά που είναι απαραίτητα για τη θρέψη των φυτών ονομάζονται θρεπτικά στοιχεία και είναι τα εξής: οξυγόνο, υδρογόνο, άνθρακας, άζωτο, φώσφορος, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, θείο, σίδηρος, μαγγάνιο, ψευδάργυρος, μολυβδαίνιο, βόριο, χαλκός, χλώριο και νικέλιο. Τα εννέα πρώτα ονομάζονται μακροστοιχεία γιατί τα φυτά τα απαιτούν σε μεγάλες ποσότητες, ενώ τα επόμενα οκτώ ονομάζονται ιχνοστοιχεία επειδή τα φυτά τα έχουν μεν ανάγκη αλλά σε μικρότερες ποσότητες. Αξίζει να αναφερθεί, πως μερικά είδη φυτών έχουν την ανάγκη περισσότερων στοιχείων από τα βασικά, όπως τα αλόφυτα που απαιτούν νάτριο.

Με την εισαγωγή στο νερό των 13 στοιχείων από τα 17 επιτυγχάνουμε την παρασκευή του επονομαζόμενου θρεπτικού, για τα φυτά, διαλύματος. Τα δύο από τα υπόλοιπα τρία, δηλαδή το υδρογόνο και το οξυγόνο, αποτελούν τα συστατικά του νερού, στο οποίο προστίθενται τα θρεπτικά στοιχεία. Όσο αφορά τον άνθρακα, τα φυτά τον απορροφούν από τον αέρα, μέσω στοματίων με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων, διαφέρουν ανάλογα με το είδος του φυτού, όπως φαίνεται και στον πίνακα 2 που ακολουθεί.

**Πίνακας 2.** Ενδεικτικές συγκεντρώσεις στοιχείων ανάλογα το είδος του φυτού

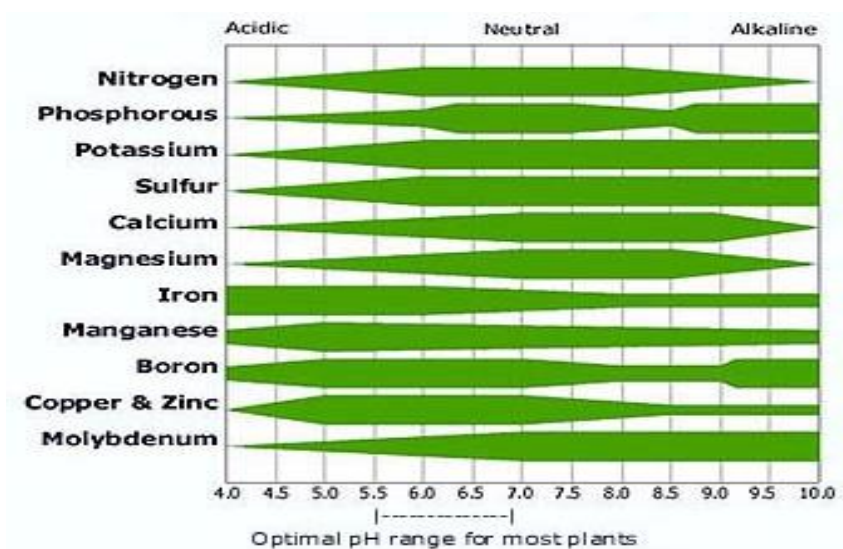
Crop	N	P	K	Ca	Mg
Concentration in mg/l (ppm)					
Tomato	190	40	310	150	45
Cucumber	200	40	280	140	40
Pepper	190	45	285	130	40
Strawberry	50	25	150	65	20
Melon	200	45	285	115	30
Roses	170	45	285	120	40

Πηγή πίνακα: [www.smart-fertilizer.com/](http://www.smart-fertilizer.com/)

Όταν τα στοιχεία του θρεπτικού διαλύματος βρίσκονται σε μικρότερη συγκέντρωση από την απαιτούμενη, τα φυτά εμφανίζουν συμπτώματα τροφοπενίας, ενώ όταν βρίσκονται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση από την επιθυμητή τα φυτά εμφανίζουν συμπτώματα τοξικότητας. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στο θρεπτικό διάλυμα εκφράζονται με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), αν και στην ουσία, η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκτιμά τα ηλεκτρικά φορτία των ιόντων των στοιχείων που βρίσκονται στο θρεπτικό διάλυμα και όχι το είδος αυτών.

Η περιεκτικότητα του θρεπτικού διαλύματος σε ιόντα υδρογόνου επηρεάζει την ανάπτυξη και τη λειτουργία της ρίζας και κατ'επέκταση του φυτού. Το pH προσδιορίζει την ποσότητα των ιόντων υδρογόνου στο θρεπτικό διάλυμα και μπορεί να πάρει τιμές από το 1 έως το 14. Πολλά θρεπτικά στοιχεία καθίστανται δυσδιάλυτα σε υψηλές τιμές pH και είναι δύσκολο να απορροφηθούν από τα φυτά, ενώ το αντίθετο συμβαίνει σε χαμηλές τιμές pH, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Για την ρύθμιση του pH στα επιθυμητά επίπεδα γίνεται αραίωση ή εισαγωγή οξέος στο θρεπτικό διάλυμα. Τα περισσότερα είδη φυτών αναπτύσσονται χωρίς πρόβλημα σε pH 5 έως 7. Η απορρόφηση των αναγκαίων ποσοτήτων θρεπτικών στοιχείων πέρα από την περιεκτικότητά τους στο διάλυμα και τη μορφή που τους προσδίδει το pH, εξαρτώνται και από τις μεταξύ τους σχέσεις.

**Εικόνα.2.** Διαθεσιμότητα στοιχείων με βάση το Ph



Πηγή εικόνας: [www.smart-fertilizer.com/](http://www.smart-fertilizer.com/)

Τα θρεπτικά στοιχεία μεταξύ τους έχουν δράση είτε συνεργιστική είτε ανταγωνιστική, και αυτός είναι ο λόγος που στις υδροπονικές εγκαταστάσεις τα θρεπτικά στοιχεία εισάγονται σε περισσότερες των δυο διαφορετικές δεξαμενές.

## **2.2. Μακροστοιχεία**

### Άζωτο (N)

Το άζωτο παίζει σπουδαίο ρόλο στην αύξηση και στην ανάπτυξη των φυτών. Τα πρώτα συμπτώματα έλλειψής του εμφανίζονται στα παλιά φύλλα ως διάχυτη χλώρωση. Η περίσσεια αζώτου επηρεάζει την ποιότητα των καρπών αρνητικά και κάνει τα φυτά ευάλωτα σε ασθένειες. Τα φυτά λαμβάνουν άζωτο μέσω νιτρικών  $\text{NO}_3^-$  ή αμμωνιακών ιόντων  $\text{NH}_4^+$ . Διατηρώντας σε ισορροπία αυτές τις δύο μορφές αζώτου, ρυθμίζεται το pH. Τα περισσότερα φυτά προσλαμβάνουν άζωτο και με τη μορφή ουρίας. Η διαδικασία της υδρόλυσης της ουρίας στα φυτά είναι αργή, γι'αυτό και δεν χρησιμοποιείται στα ανοικτά υδροπονικά συστήματα. Μικρή αύξηση των νιτρικών στη συγκέντρωση των θρεπτικών διαλυμάτων μειώνει τον αριθμό και το μήκος των ριζικών τριχιδίων, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών προκαλούν ανεπάρκεια οξυγόνου στις ρίζες, λόγω της κατανάλωσης του οξυγόνου από τα νιτροβακτήρια κατά τη νιτροποίηση της αμμωνίας. Οι κυριότερες ενώσεις που χρησιμοποιούνται στα θρεπτικά διαλύματα των υδροπονιών είναι το νιτρικό αμμώνιο, το νιτρικό ασβέστιο, το νιτρικό κάλιο, το νιτρικό μαγνήσιο, το νιτρικό οξύ, το μολυβδαινικό αμμώνιο και το φωσφορικό μονοαμμώνιο.

### Φωσφόρος (P)

Η έλλειψη φωσφόρου έχει ως αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία απορροφητικής ικανότητας των ριζών και την μειωμένη ανάπτυξη. Τα συμπτώματα τροφοπενίας φωσφόρου εμφανίζονται στα παλαιά φύλλα, προσδίδοντάς τους πορφυροϊώδη απόχρωση ελάσματος. Η απορρόφηση φωσφόρου επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, γι'αυτό τα συμπτώματα έλλειψής του ενισχύονται από χαμηλές θερμοκρασίες και εξαφανίζονται όταν αυτές επανέλθουν στα ιδανικά επίπεδα της εκάστοτε καλλιέργειας. Η περίσσεια φωσφόρου επηρεάζει κυρίως τις λειτουργίες άλλων στοιχείων,

όπως ο σίδηρος (Fe) και ο ψευδάργυρος (Zn). Λόγω των πολύ χαμηλών συγκεντρώσεων φωσφόρου στο εδαφικό νερό τα φυτά έχουν αναγκαστεί στην πορεία της εξέλιξής τους να αναπτύξουν ιδιαίτερα αποτελεσματικούς μηχανισμούς ενεργητικής απορρόφησης φωσφόρου. Αυτό σημαίνει ότι, όσο αργός είναι ο ρυθμός απελευθέρωσης φωσφόρου από τα φωσφορικά ορυκτά στο εδαφικό διάλυμα, τόσο αργός είναι και ο ρυθμός απορρόφησής του από τα φυτά. Στα θρεπτικά διαλύματα επειδή δεν υπάρχει η δυνατότητα της παραπάνω διαδικασίας, πρέπει η συγκέντρωση του φωσφόρου στο θρεπτικό διάλυμα να είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη. Ο προσδιορισμός της κατάλληλης ποσότητας φωσφόρου που προστίθεται στο θρεπτικό διάλυμα πρέπει να συνυπολογίζεται με τις τιμές του pH. Σε pH μεγαλύτερο του 6,0 ο φώσφορος κατακρημνίζεται με τη μορφή ιζημάτων και δεν απορροφάται από τα φυτά, επειδή σχηματίζει σύμπλοκο με το ασβέστιο (Ca). Οι κυριότερες ενώσεις που χρησιμοποιούνται στα υδατικά διαλύματα, ως πηγές φωσφόρου είναι το φωσφορικό μονοαμμώνιο, το φωσφορικό διαμμώνιο, το φωσφορικό μονοκάλιο και το φωσφορικό δικάλιο. Το φωσφορικό οξύ χρησιμοποιείται όταν προτιμάται η όξινη επίδραση αυτού του οξέως και κυρίως όταν δεν είναι επιθυμητή η προσθήκη αμμωνίας και καλίου.

### Κάλιο (K)

Το κάλιο είναι υπεύθυνο για κάθε κίνηση των οργάνων του φυτού που οφείλεται σε σπαργή και κυρίως για το άνοιγμα των στοματίων. Κατά την έλλειψη καλίου, τα καταφρακτικά κύτταρα χάνουν τη σπαργή τους, με αποτέλεσμα να κλείνουν. Επακόλουθο του κλεισίματος των στοματίων είναι η μείωση της διαπνοής και της φωτοσύνθεσης. Τα συμπτώματα της έλλειψης καλίου αρχικά είναι η περιφερειακή χλώρωση των παλαιών φύλλων, που εξελίσσεται σε περιφερειακή ξήρανση. Σε μερικά είδη φυτών παρατηρείται αποδυνάμωση του βλαστού και μειωμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Στις εδαφικές καλλιέργειες το κάλιο που είναι προσροφημένο στα κolloειδή του εδάφους, αναπληρώνει την ποσότητα του καλίου που απορροφάται από τα φυτά. Στις υδροπονικές καλλιέργειες, λόγω της μη ύπαρξης υποστρώματος ή της χρήσης μικρού όγκου υποστρώματος, το κάλιο πρέπει να βρίσκεται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις συγκριτικά με τις εδαφικές. Η υψηλή συγκέντρωση καλίου προκαλεί παρεμπόδιση απορρόφησης ασβεστίου (Ca) και μαγνησίου

(Mg) λόγω ανταγωνισμού. Η εισαγωγή καλίου στα θρεπτικά διαλύματα γίνεται με προσθήκη νιτρικού καλίου, θειικού καλίου και σε μερικές περιπτώσεις με προσθήκη χλωριούχου καλίου.

### Ασβέστιο (Ca)

Κύρια λειτουργία του ασβεστίου είναι η ενίσχυση της ακεραιότητας των κυτταρικών μεμβρανών. Η έλλειψη ασβεστίου συνήθως εκδηλώνεται με λέπτυνση ριζών, με νέκρωση επάκριου οφθαλμού και με καχεκτική ανάπτυξη του φυτού. Η τροφοπενία ασβεστίου λαμβάνει χώρα όταν δεν βρίσκονται σε ισορροπία οι συγκεντρώσεις ασβεστίου, καλίου και αμμωνίας. Τα συμπτώματα της περίσσειας ασβεστίου μοιάζουν με της έλλειψης μαγνησίου. Σε τιμές pH 5-7 το ασβέστιο σχηματίζει σύμπλοκα, καταβυθίζεται και δεν μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τροφοπενία ασβεστίου διορθώνεται με μείωση του pH, σε αντίθεση με την περίσσειά του, η οποία δεν διορθώνεται. Αν το νερό άρδευσης προέρχεται από πηγές και γεωτρήσεις πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τους υπολογισμούς της παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος ότι υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου σε αυτές. Το νιτρικό ασβέστιο, το θειικό ασβέστιο και το χλωριούχο ασβέστιο χρησιμοποιούνται ως πηγές ασβεστίου.

### Μαγνήσιο (Mg)

Το μαγνήσιο είναι δομικό συστατικό της χλωροφύλλης και συμμετέχει σε διαδικασίες μεταφοράς ενέργειας μέσα στο φυτό. Η έλλειψη μαγνησίου παρουσιάζεται ως μεσονεύρια χλώρωση των παλαιότερων φύλλων. Προκαλείται από περιβαλλοντικές αιτίες όπως χαμηλή θερμοκρασία, από ανισορροπία στη σχέση του με το κάλιο και με το ασβέστιο, καθώς και από αυξημένες τιμές pH. Τοξικότητα μαγνησίου δεν παρατηρείται στις υδροπονικές καλλιέργειες. Στα θρεπτικά διαλύματα ως πηγή μαγνησίου χορηγείται το θειικό μαγνήσιο. Αξίζει να σημειωθεί, πως το μαγνήσιο αποτελεί συστατικό πολλών πετρωμάτων, με αποτέλεσμα αφενός τα υπόγεια ύδατα και αφετέρου τα επιφανειακά να περιέχουν σημαντικές ποσότητες μαγνησίου, που επαρκούν για τις ανάγκες των φυτών.



## Θείο (S)

Το θείο μετέχει στη σύνθεση πρωτεϊνών και οι ανάγκες των φυτών σε θείο και άζωτο χρονικά συμπίπτουν. Τα περισσότερα φυτά έχουν μειωμένες απαιτήσεις πρόσληψης θείου, οι οποίες καλύπτονται με πολλούς τρόπους. Στις υδροπονικές καλλιέργειες τα φυτά προσλαμβάνουν θείο κυρίως μέσω των αρδευτικών νερών, γι' αυτό και τα συμπτώματα έλλειψης θείου είναι σπάνιο να εκδηλωθούν. Πρόσληψη θείου γίνεται και από τα στομάτια των φυτών με τη μορφή αερίων, ιδιαίτερα εάν οι υδροπονικές εγκαταστάσεις βρίσκονται κοντά σε βιομηχανικές ζώνες. Χορήγηση θείου στα θρεπτικά διαλύματα γίνεται με προσθήκη θειικού μαγνησίου, θειικού καλίου και θειικής αμμωνίας.

## **2.3.Ιχνοστοιχεία**

Τα φυτά για τις ανάγκες τους απαιτούν μικρότερες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, συγκριτικά με τα μακροστοιχεία που προαναφέρθηκαν. Σε γενικότερες γραμμές, τα ιχνοστοιχεία έχουν μικρό εύρος μεταξύ τροφοπενίας και τοξικότητας. Η διαθεσιμότητα των περισσότερων ιχνοστοιχείων επηρεάζεται από τις τιμές του pH του θρεπτικού διαλύματος και από τις συγκεντρώσεις των μακροστοιχείων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μειωμένη διαθεσιμότητα σιδήρου ( $Fe^{2+}$ ), μαγγανίου ( $Mn^{2+}$ ), ψευδαργύρου ( $Zn^{2+}$ ) και χαλκού ( $Cu^{2+}$ ) σε υψηλές τιμές pH του θρεπτικού διαλύματος, ενώ σε τιμές pH χαμηλότερες από 6,5 ακινητοποιούνται οι δισθενείς μορφές και των τεσσάρων αυτών ιχνοστοιχείων. Ανταγωνιστικότητα μεταξύ ιχνοστοιχείων και μακροστοιχείων παρατηρείται, παραδείγματος χάρη, στο μολυβδαίνιο (Mo) που η πρόσληψη του οποίου παρεμποδίζεται από τα θειικά στις θέσεις απορρόφησης της ρίζας και στο βόριο (B) που ανταγωνίζεται το ασβέστιο ( $Ca^{2+}$ ) κυρίως σε υψηλό pH θρεπτικού διαλύματος. Αναλυτικότερα :

- Σίδηρος (Fe) : Ο σίδηρος σχετίζεται με τη σύνθεση χλωροφύλλης και τη μεριστωματική αύξηση του άκρου της ρίζας. Τα συμπτώματα έλλειψης σιδήρου μοιάζουν με αυτά της έλλειψης μαγνησίου, αλλά ξεχωρίζουν από τη θέση εμφάνισής τους στο φυτό. Η μεσονεύρια χλώρωση των παλαιών φύλλων οφείλεται σε έλλειψη μαγνησίου, ενώ η εμφάνιση αυτής σε νεαρά φύλλα οφείλεται σε τροφοπενία σιδήρου. Στις υδροπονικές καλλιέργειες, ως πηγή σιδήρου, συνήθως χρησιμοποιείται

χηλικός σίδηρος. Στα θρεπτικά διαλύματα μπορούν επίσης να χορηγηθούν ανόργανες ενώσεις σιδήρου, όπως ο θειικός σίδηρος, ο θειούχος σίδηρος, ο χλωριούχος σίδηρος και ο θειικός αμμωνιακός σίδηρος, καθώς και οργανικές ενώσεις σιδήρου όπως ο κιτρικός και ο τρυγικός σίδηρος.

- Μαγγάνιο (Mn) : Το μαγγάνιο βοηθά στην αφομοίωση του CO<sub>2</sub> στη φωτοσύνθεση, στη διάσπαση H<sub>2</sub>O κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης και στη σύνθεση της χλωροφύλλης. Τα συμπτώματα τροφопενίας μαγγανίου μοιάζουν με αυτά του μαγνησίου, το οποίο ανταγωνίζεται και αντικαθιστά σε πολλές αντιδράσεις, και με αυτά του σιδήρου, ως προς τη θέση εμφάνισης των συμπτωμάτων στο φυτό. Στα θρεπτικά διαλύματα το μαγγάνιο χορηγείται με θειικό μαγγάνιο και με χλωριούχο μαγγάνιο.
- Ψευδάργυρος (Zn) : Ο ρόλος του ψευδαργύρου μοιάζει με αυτόν του μαγγανίου και του μαγνησίου. Τα κοντά μεσογονάτια και η χλώρωση παλαιών φύλλων σχετίζονται με έλλειψη ψευδαργύρου. Συμπτώματα τροφопενίας ψευδαργύρου εμφανίζονται σε θρεπτικά διαλύματα με περίσσεια φωσφόρου, το οποίο παρεμποδίζει την πρόσληψη ψευδαργύρου και σε διαλύματα με υψηλές συγκεντρώσεις χηλικού σιδήρου σε συνδυασμό με υψηλές τιμές pH. Ο θειικός ψευδάργυρος είναι η κύρια πηγή ψευδαργύρου στις υδροπονικές καλλιέργειες.
- Μολυβδαίνιο (Mo) : Το μολυβδαίνιο είναι το θεμελιώδες συστατικό των ενζύμων που ανάγουν τα νιτρικά σε νιτρώδη, γι'αυτό και η έλλειψη του παρουσιάζεται με τη μορφή συμπτωμάτων τροφопενίας αζώτου. Τροφопενία μολυβδαινίου παρατηρείται σε υψηλές συγκεντρώσεις θείου, επειδή τα δυο στοιχεία ανταγωνίζονται στις θέσεις απορρόφησης της ρίζας. Σε καλλιέργειες εδάφους ο φώσφορος αντικαθιστά το μολυβδαίνιο στα εδαφικά κολλοειδή, με συνέπεια να αυξάνεται η συγκέντρωση του μολυβδαινίου στα εδαφικά διαλύματα. Στα υδροπονικά συστήματα, που χρησιμοποιούνται οργανικά υποστρώματα, η τοξικότητα μολυβδαινίου είναι σπάνια λόγω του μικρού όγκου υποστρωμάτων. Το μολυβδαινικό αμμώνιο είναι η ένωση που χρησιμοποιείται στις υδροπονίες.

- Βόριο (B) : Το βόριο σχετίζεται κυρίως με τη μεριστωματική αύξηση και την ενίσχυση των κυτταρικών τοιχωμάτων. Τα συμπτώματα τροφопενίας βορίου περιλαμβάνουν εύθραυστα παραμορφωμένα φύλλα και βλαστούς, γλοιώδεις ρίζες με νεκρωμένες άκρες και καχεκτική ανάπτυξη φυτών. Τα συμπτώματα τοξικότητας βορίου εμφανίζονται ως αποχρωματισμός των περιθωρίων των φύλλων που καταλήγουν σε νέκρωση. Η διαθεσιμότητα του βορίου στα φυτά μειώνεται όταν το pH υπερβεί το 8, αλλά επειδή τέτοιες τιμές pH δεν υφίστανται στις υδροπονικές καλλιέργειες, το pH δεν αποτελεί πρόβλημα στην πρόσληψη βορίου. Στα θρεπτικά διαλύματα των υδροπονικών καλλιεργειών το βόριο χορηγείται με βορικό οξύ και με βόρακα.
- Χαλκός (Cu) : Ο χαλκός βοηθά στη μεταφορά ηλεκτρονίων κατά τη φωτοσύνθεση. Το εύρος μεταξύ της τροφопενίας και της τοξικότητας χαλκού είναι σημαντικά μικρό. Στα θρεπτικά διαλύματα η χορήγηση γίνεται με προσθήκη θειικού χαλκού. Η χρήση χάλκινων εξαρτημάτων υδροπονικών εγκαταστάσεων παρέχει στα φυτά την απαιτούμενη ποσότητα χαλκού που χρειάζονται και γι'αυτό πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή.
- Χλώριο (Cl) : Πολύ λίγα πράγματα είναι γνωστά για τη λειτουργία του χλωρίου στο φυτό. Τροφопενίες χλωρίου δεν παρουσιάζονται συχνά, επειδή το χλώριο συναντάται στον ατμοσφαιρικό αέρα και στο πόσιμο νερό. Αντίθετα υπάρχουν πολλές πιθανότητες τα φυτά να εμφανίσουν τοξικότητα χλωρίου από έκθεσή τους σε περιβάλλον κορεσμένο από χλώριο.
- Νικέλιο (Ni) : Είναι απαραίτητο στο μεταβολισμό του αζώτου (διάσπαση της ουρίας) καθώς και στη δέσμευση του στοιχείου από τα αζωτοδεσμευτικά φυτά. Θεωρείται στοιχείο μεγάλης κινητικότητας μέσα στο φυτικό οργανισμό και κατά τη διάρκεια της βλαστικής ανάπτυξης των φυτών συγκεντρώνεται κυρίως στα φύλλα. Τα συμπτώματα τροφопενίας νικελίου αφορούν σε χλώρωση και νέκρωση των φύλλων που ξεκινά από την κορυφή του ελάσματος.

## 2.4.Θρεπτικά διαλύματα

Κατά καιρούς, έχουν προταθεί, από διάφορους συγγραφείς, πολλές βασικές συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων, οι οποίες έχουν αρκετές διαφορές, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.

**Πίνακας 3.** Βασικές συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων

Nutrient	Hoagland & Arnon (1938)	Hewitt (1966)	Cooper (1979)	Steiner (1984)
N	210	168	200-236	168
P	31	41	60	31
K	234	156	300	273
Ca	160	160	170-185	180
Mg	34	36	50	48
S	64	48	68	336
Fe	2.5	2.8	12	2-4
Cu	0.02	0.064	0.1	0.02
Zn	0.05	0.065	0.1	0.11
Mn	0.5	0.54	2.0	0.62
B	0.5	0.54	0.3	0.44
Mo	0.01	0.04	0.2	-

Πηγή πίνακα: Asao, 2012

Το σύνηθες εύρος των χρησιμοποιούμενων των θρεπτικών στοιχείων, καθώς και οι αφομοιώσιμες, από τα φυτά, μορφές των στοιχείων που εισάγονται σε απιονισμένο ή βρόχινο νερό παρατίθενται στον πίνακα 4, που ακολουθεί. Η διακύμανση των τιμών των θρεπτικών στοιχείων εξαρτάται από το είδος του φυτού, από το στάδιο ανάπτυξής του, από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής της καλλιέργειας και από την ποσότητα των αλάτων του νερού που χρησιμοποιείται στην υδροπονική καλλιέργεια.

**Πίνακας 4.** Εύρος ποσοτήτων στοιχείων που προστίθενται στα θρεπτικά διαλύματα

Element	Ionic forms absorbed by plants	common range (ppm = mg/l)
Nitrogen	Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	100-250
Phosphorus	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	30-50
Potassium	Potassium (K <sup>+</sup> )	100-300
Calcium	Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	80-140
Magnesium	Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	30-70
Sulfur	Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	50-120
Iron	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	1.0-3.0
Copper	Copper (Cu <sup>2+</sup> )	0.08-0.2
Manganese	Manganese (Mn <sup>2+</sup> )	0.5-1.0
Zinc	Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	0.3-0.6
Molybdenum	Molybdate (MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	0.04-0.08
Boron	BO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	0.2-0.5
Chloride	Chloride (Cl <sup>-</sup> )	<75
Sodium		<50

Πηγή πίνακα: [www.smart-fertilizer.com/](http://www.smart-fertilizer.com/)

## 2.5. Υπολογισμός σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος

Για τον υπολογισμό σύνθεσης θρεπτικού διαλύματος υδροπονικών καλλιεργειών πρέπει απαραίτητα να συνυπολογίζεται η περιεκτικότητα και το είδος των διαλυμένων αλάτων του νερού άρδευσης. Στον πίνακα 5 δίνεται μια φόρμα, η οποία χρησιμεύει στον τρόπο υπολογισμού των θρεπτικών διαλυμάτων ώστε να προσδιοριστούν οι συγκεντρώσεις των λιπασμάτων. Οι αριθμοί δείχνουν την ακολουθία των βημάτων συμπλήρωσής της.

**Πίνακας 5.** Τρόπος υπολογισμού παρασκευής θρεπτικού διαλύματος

	Κατιόντα διαλύματος	Κατιόντα νερού	Κατιόντα λιπάσματος	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σύνολο
<b>Ανιόντα διαλύματος</b>	X	X	X	7	5	6	1	1	2
<b>Ανιόντα νερού</b>	X	X	X	1			1	1	
<b>Ανιόντα λιπάσματος</b>	X	X	X	8	8	8	8	8	
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	4	1	8						
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	4	1	8						
<b>K<sup>+</sup></b>	4		8						
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	3		8						
<b>Na<sup>+</sup></b>	1	1	8						
<b>H<sup>+</sup></b>	1		8						
<b>Σύνολο</b>	2								

Πηγή πίνακα: Κώτσιρας, 2011

#### Τρόπος συμπλήρωσης φόρμας:

Βήμα 1: Συμπληρώνεται μετά από ανάλυση του νερού άρδευσης και με βάση τα αποτελέσματα. Για επιθυμητές τιμές pH 5,5 ο αριθμός των κατιόντων H<sup>+</sup> του διαλύματος παίρνει τις ίδιες τιμές των ανιόντων HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Οι συγκεντρώσεις ανιόντων Cl<sup>-</sup> και ανιόντων HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> που αναλύθηκαν στο νερό, μεταφέρονται και στην στήλη ανιόντα διαλύματος. Το ίδιο συμβαίνει και στα κατιόντα Na<sup>+</sup>, τα οποία μεταφέρονται στη στήλη κατιόντων διαλύματος.

Βήμα 2: Συμπληρώνεται με βάση την επιθυμητή EC, από τον τύπο C=11\* EC.

Βήμα 3: Αναγράφεται η συγκέντρωση της αμμωνίας.

Βήμα 4: Υπολογίζεται πρώτα το άθροισμα των κατιόντων Ca, Mg και K, που προκύπτει όταν από το σύνολο των κατιόντων του διαλύματος, αφαιρεθούν τα κατιόντα των NH<sub>4</sub><sup>+</sup> και Na<sup>+</sup>. Δηλαδή A= C - (NH + Na)

Κατόπιν συμπληρώνεται ο πίνακας με βάση τον τύπο:

$$\text{θέση 4} = K\Sigma * A\Sigma/A$$

Όπου KΣ = (K ή Mg ή Ca) και

AΣ = Αμοιβαίες αναλογίες συγκεντρώσεων μεταξύ των κατιόντων K, Mg και Ca

Βήμα 5: Προκύπτει από τη σχέση N/K

Βήμα 6: Αναγράφεται η συγκέντρωση του  $\text{HPO}_4^-$

Βήμα 7: Από το σύνολο των ανιόντων αφαιρούνται τα  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_4^-$  και  $\text{Cl}^-$

Βήμα 8: Αναγράφονται τα ιόντα των στοιχείων που προκύπτουν από τη διαφορά ιόντων διαλύματος και ιόντων νερού.

Αξίζει να αναφερθεί πως στην ιστοσελίδα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών <http://www.ekk.aua.gr/excel/index.htm> διατίθεται δωρεάν πρόγραμμα υπολογισμού θρεπτικών διαλυμάτων για υδροπονικές καλλιέργειες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΚΤΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

#### 3.1.Γενικά

Στην μακρά ιστορία της καλλιέργειας των φυτών έχουν επινοηθεί και εξελιχθεί πολλές τεχνικές και μέθοδοι καλλιέργειας. Μια από αυτές τις μεθόδους είναι και η καλλιέργεια των φυτών εκτός εδάφους. Με βάση αυτή έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά συστήματα καλλιέργειας, τα οποία διαφοροποιούνται με βάση το μέσο στο οποίο αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα των φυτών και τον τρόπο τροφοδότησης του θρεπτικού διαλύματος.

Έτσι σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια περιγραφής των κυριότερων συστημάτων καλλιέργειας των φυτών εκτός εδάφους.

#### 3.2.Υδροκαλλιέργειες

##### 3.2.1.N.F.T. (Nutrient Film Technique)

Το σύστημα NFT ή Τεχνική λεπτής θρεπτικής στοιβάδας είναι μία υδροπονική μέθοδος καλλιέργειας φυτών, που το βάθος του ρέοντος θρεπτικού διαλύματος, μέσα στο οποίο αναπτύσσονται οι ρίζες των φυτών, κυμαίνεται μεταξύ των 2-4 mm. Στην ουσία, η άριστη οξυγόνωση της ριζικής μάζας επιτυγχάνεται λόγω της απευθείας έκθεσης αυτής στον αέρα, μιας και δεν γίνεται χρήση στερεού υποστρώματος, παρά μόνο αυτού πάνω στο οποίο είχαν μεταφτευθεί ή σπαρθεί τα φυτά (Σάββας, 2011)

Αποτελείται από:

- ένα σύστημα υδρορροών (καναλιών), μέσα από τα οποία περνά το θρεπτικό διάλυμα
- ένα σύστημα παρασκευής και διανομής θρεπτικού διαλύματος στις υδρορροές
- εγκαταστάσεις συλλογής διαλύματος από τις υδρορροές και επιστροφής του στην κεφαλή υδρολίπανσης

Τα κανάλια φέρουν ειδικές οπές στην πάνω επιφάνειά τους για την τοποθέτηση των φυτών, οι αποστάσεις των οποίων επιλέγονται ανάλογα την εκάστοτε καλλιέργεια. Ο πυθμένας των καναλιών συνήθως είναι επίπεδος, αλλά υπάρχουν και ειδικά σωληνοειδή κανάλια με ελλειψοειδές σχήμα (gully



system). Άλλο ένα σχήμα καναλιού, που προτάθηκε από τον είναι το διηρημένο ελλειψοειδές σχήμα «W», όπου το φυτό τοποθετείται στην κορυφή του κέντρου του καναλιού ( $\dot{W}$ ) και οι ρίζες εκατέρωθεν αυτού, στα επιμέρους αυλάκια. Ωστόσο, ανεξάρτητα το σχήμα τους, για τη σωστή ροή του διαλύματος τα κανάλια πρέπει να έχουν κλίση τουλάχιστον 1% κατά μήκος. Το πλάτος των καναλιών κυμαίνεται από 20 έως 30 εκατοστά ή και μεγαλύτερο όταν φιλοξενούνται φυτά σε διπλή σειρά. Το μήκος των καναλιών δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 μέτρα ή αν πρόκειται για φυτά μεγάλης καλλιεργητικής περιόδου, να αυξάνεται το πλάτος αυτών, διότι καθώς η ρίζα των φυτών μεγαλώνει και καταλαμβάνει περισσότερο χώρο μέσα στο κανάλι, τα πρώτα φυτά καταναλώνουν το οξυγόνο και τα θρεπτικά στοιχεία του διαλύματος με σημαντικά δυσμενή επίδραση στα τελευταία φυτά του καναλιού.

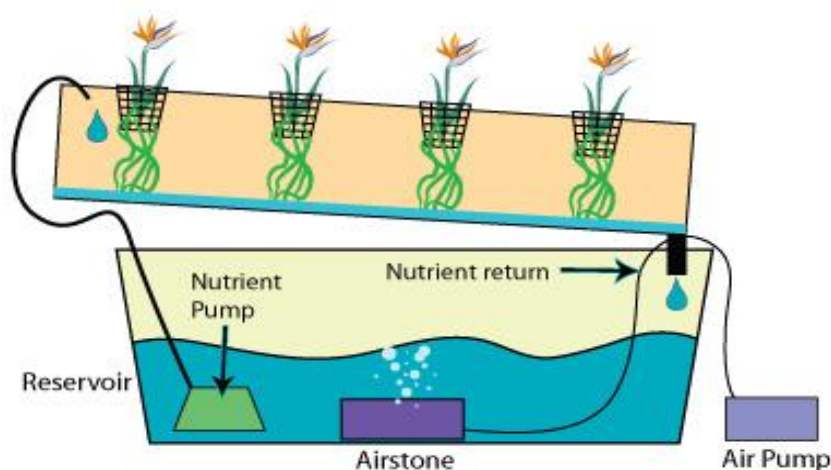
Τα κανάλια κατασκευάζονται από γαλβανισμένο μέταλλο ή σκληρή πλαστική ύλη για το πλεονέκτημα της δομικής τους αντοχής. Η έλλειψη αυτής μπορεί να οδηγήσει σε ανωμαλίες του πυθμένα τους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών στην περιοχή της ρίζας λόγω συσσώρευσης θρεπτικού διαλύματος. Το χρώμα των καναλιών είναι αδιάφορο, αλλά σίγουρα πρέπει να είναι αδιαπέραστα στην ηλιακή ακτινοβολία, ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός αλγών.

Το σύστημα παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος αποτελείται από ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου και μια κεφαλή υδρολίπανσης. Το σύστημα αυτόματου ελέγχου κάνει μετρήσεις των τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και pH του θρεπτικού διαλύματος, μέσω αισθητήρων συνεχούς καταγραφής και τις διατηρεί στα επιθυμητά επίπεδα ελέγχοντας τη συχνότητα και τη διάρκεια έκχυσης πυκνών διαλυμάτων και οξέων στο δοχείο παροχής θρεπτικού διαλύματος. Η κεφαλή υδρολίπανσης αναλαμβάνει την αυτόματη αραίωση των πυκνών διαλυμάτων και ελέγχεται από κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ωστόσο, σε ορισμένες υδροπονικές μονάδες, μικρού μεγέθους, το συγκεκριμένο σύστημα αυτόματου ελέγχου και η κεφαλή υδρολίπανσης απουσιάζουν και η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος γίνεται χειρωνακτικά.

Η διανομή του θρεπτικού διαλύματος από το δοχείο παροχής στα κανάλια γίνεται με τη χρήση αντλιών, δια μέσου του δικτύου σωληνώσεων. Η

παροχή των αντλιών πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες του δικτύου και να επιτυγχάνει ρυθμό ροής διαλύματος 100-200 λίτρα ανά ώρα (Σάββας 2011).

Οι δεξαμενές συλλογής διαλύματος, σε συστήματα NFT, συνήθως γίνονται κάτω από την θερμοκηπιακή καλλιέργεια, για χρήση περισσότερης καλλιεργήσιμης επιφάνειας, για εξασφάλιση οικονομικών πόρων μέσω επιστροφής του διαλύματος με την επίδραση της βαρύτητας και κυρίως για την διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας του θρεπτικού διαλύματος. Η χωρητικότητα των δεξαμενών πρέπει να υπολογίζεται αφενός με βάση τις ανάγκες της καλλιέργειας και αφετέρου την πιθανότητα υπερχειλίσης λόγω διακοπής της διανομής του θρεπτικού διαλύματος, για τον οποιοδήποτε λόγο.



Εικόνα 3: Σύστημα NFT

### **3.2.2.FLOATING SYSTEM**

Το floating system ή σύστημα επίπλευσης είναι μια υδροπονική μέθοδος καλλιέργειας φυτών σε στάσιμο θρεπτικό διάλυμα, το οποίο εμπεριέχεται σε διαφόρων μεγεθών ειδικές λεκάνες. Βασίζεται στο σύστημα καλλιέργειας που αναπτύχθηκε από τον καθηγητή Gericke το 1937 στην προσπάθειά του να εφαρμόσει σε εμπορική κλίμακα την καλλιέργεια φυτών αποκλειστικά και μόνο μέσω θρεπτικών διαλυμάτων. Κατά το αρχικό σύστημα του Gericke τα φυτά τοποθετούνταν σε ειδικό πλέγμα, το οποίο χρησίμευε για τη στήριξη του φυτού, και ήταν στερεωμένο πάνω από τη λεκάνη καλλιέργειας.

Ένα από τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν σε αυτό το σύστημα ήταν ότι σε μεγάλης κλίμακας λεκάνες θρεπτικού διαλύματος, το δίκτυο

στήριξης δεν άντεχε το βάρος των φυτών. Γι' αυτό και σήμερα, δεν γίνεται εφαρμογή αυτού του συστήματος, παρά μόνο σε επιστημονικά εργαστήρια που εξετάζεται η καταλληλότητα σύστασης θρεπτικών διαλυμάτων ανάλογα το είδος της καλλιέργειας και τα φυτά αναπτύσσονται σε μικρά, ατομικά φυτοδοχεία για τις ανάγκες των πειραμάτων.

Το κυριότερο όμως πρόβλημα που παρουσιάστηκε στην εφαρμογή του συστήματος αυτού στην γεωργική πράξη, ήταν οι δυσκολίες αερισμού και οξυγόνωσης των ριζών των φυτών. Για την αντιμετώπιση της ανοξίας των ριζών, ανάμεσα στο δίκτυ στήριξης των φυτών και στο θρεπτικό διάλυμα μεσολαβεί ένα στενό στρώμα αέρα ή χρησιμοποιείται ειδικό σύστημα εμπλουτισμού του θρεπτικού διαλύματος με οξυγόνο.

Όπως προαναφέρθηκε, το floating system ως εξελιγμένη μορφή του συστήματος Gericke έχει υποστεί πολλές τροποποιήσεις για την εφαρμογή του σε εμπορικό επίπεδο. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης, οι οποίες λόγω του μικρού ειδικού βάρους τους επιπλέουν πάνω στο θρεπτικό διάλυμα. Οι πλάκες αυτές φέρουν κατάλληλου μεγέθους οπές σε καθορισμένες αποστάσεις ανάλογα με την εκάστοτε καλλιέργεια, όπου τοποθετούνται ειδικά πλαστικά ποτηράκια, μέσα στα οποία τοποθετούνται τα φυτά. Τα ποτηράκια αυτά είναι διάτρητα ώστε να έρχονται σε επαφή οι ρίζες των φυτών με το θρεπτικό διάλυμα και να μπορούν να αναπτυχθούν μέσα σε αυτό.

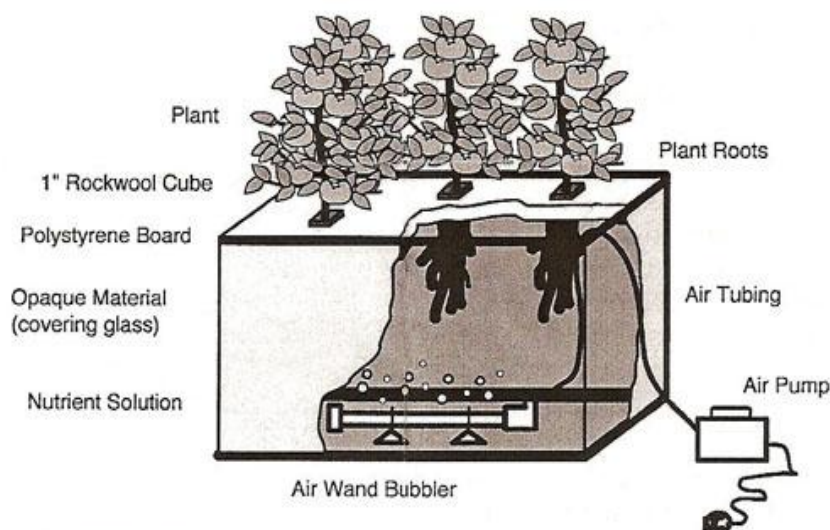
Οι λεκάνες μέσα στις οποίες εμπεριέχεται το θρεπτικό διάλυμα μπορεί να είναι διαφόρων μεγεθών, ωστόσο το ύψος τους πρέπει να υπερβαίνει τα 20 εκατοστά, το οποίο είναι και το ελάχιστο προτεινόμενο ύψος θρεπτικού διαλύματος κατά τον Σάββα. Το ύψος του θρεπτικού διαλύματος μπορεί να φτάνει και τα 100 εκατοστά με στόχο την ρυθμιστική ικανότητα του νερού ως προς τις μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και το ρυθμό μεταβολών της χημικής σύστασής του. Η στάθμη του θρεπτικού διαλύματος παραμένει σε σταθερά επίπεδα και μπορεί να ελέγχεται μέσω ενός μηχανικού πλωτήρα, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με έναν κεντρικό υπολογιστή.

Για τον έλεγχο των θρεπτικών διαλυμάτων, η εγκατάσταση είναι εφοδιασμένη με σύστημα αυτόματου ελέγχου. Το προς διόρθωση θρεπτικό διάλυμα αναρροφάται μέσω διάτρητων σωλήνων από τον πυθμένα των λεκανών, με την βοήθεια μιας εξωτερικής αντλίας. Αμέσως μετά οδηγείται

στην κεφαλή υδρολίπανσης, όπου και εγχύονται, σε αυτό, πυκνά διαλύματα λιπασμάτων και οξέος ώστε να έρθει στα επιθυμητά επίπεδα. Η εισαγωγή του διορθωμένου διαλύματος στις λεκάνες γίνεται από μεγάλο ύψος, σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους, που σκοπό έχει τον εμπλουτισμό του με οξυγόνο, ανεξάρτητα με το αν υπάρχουν στο σύστημα ειδικές αντλίες έγχυσης φυσαλίδων αέρα.

Στο σύστημα επίπλευσης δεν γίνεται χρήση υποστρωμάτων. Το μόνο ίχνος υποστρώματος που υπάρχει, είναι κατά την παραγωγή σποροφύτων. Οι σπόροι των φυτών τοποθετούνται σε δίσκους σποράς, όπου υπάρχουν ειδικοί υποδοχείς, στους οποίους εμπεριέχεται κατάλληλο κοκκώδες υπόστρωμα ή μείγμα υποστρωμάτων. Οι δίσκοι σποράς τοποθετούνται σε λεκάνες θρεπτικού διαλύματος, που το ύψος του θρεπτικού διαλύματος δεν ξεπερνά τα 10 εκατοστά. Μετά την επίτευξη της ριζοβολίας και της ανάπτυξης των νεαρών φυταρίων στο κατάλληλο στάδιο, γίνεται η μεταφύτευσή τους στις μεγαλύτερες λεκάνες.

Η παραγωγή σποροφύτων μέσω της τεχνικής επίπλευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε φυτώρια ανεξάρτητα τη μετέπειτα καλλιεργητική τεχνική που θα χρησιμοποιηθεί από των παραγωγό.



**Εικόνα 4.**Floating system.

### **3.2.3.ΑΕΡΟΠΟΝΙΑ**

Αεροπονία είναι η διαδικασία καλλιέργειας φυτών στον αέρα χωρίς τη χρήση υποστρωμάτων, αλλά επειδή το νερό εφαρμόζεται ως μέσο μεταφοράς θρεπτικών στοιχείων στο φυτό, θεωρείται υδροπονικό σύστημα καλλιέργειας φυτών.

Η αεροπονία ξεκίνησε ως έρευνα του τρόπου ανάπτυξης του ριζικού συστήματος από τον Carter το 1942. Σήμερα συνεχίζεται να γίνεται εφαρμογή της σε πειραματικές έρευνες μέχρι και στη NASA αλλά έχει επεκταθεί ως μια μέθοδος καλλιέργειας φυτών και ριζοβολίας μοσχευμάτων τόσο σε εμπορική κλίμακα όσο και σε οικιακή χρήση.

Στο σύστημα της αεροπονικής καλλιέργειας, που στην ουσία, περιγράφεται εύκολα αν φανταστεί κανείς το floating system χωρίς την ύπαρξη στάσιμου υδατικού διαλύματος στις λεκάνες καλλιέργειας των φυτών, τα φυτά αναπτύσσονται μέσα σε κενές λεκάνες ή επιμήκεις σωλήνες. Στην περίπτωση των κενών λεκανών τα φυτά είναι τοποθετημένα στις οπές πλακών διογκωμένης πολυστερίνης και στερεώνονται σε αυτές, με τη χρήση ειδικού σπογγώδους υλικού, ειδικά μανταλάκια στην περιοχή του λαιμού του φυτού ή διάτρητους πλαστικούς υποδοχείς. Ενώ στην περίπτωση των επιμήκων σωλήνων, τα φυτά στερεώνονται, μέσω τοποθέτησης ειδικών διάτρητων πλαστικών ποτηριών, στις οπές αυτών. Όμως, και στις δύο παραπάνω εγκαταστάσεις, πρέπει απαραίτητως να υπάρχει δυνατότητα ανοίγματος αυτών, για τον έλεγχο της ριζικής ανάπτυξης και των ακροφυσίων, όταν αυτό χρειαστεί.

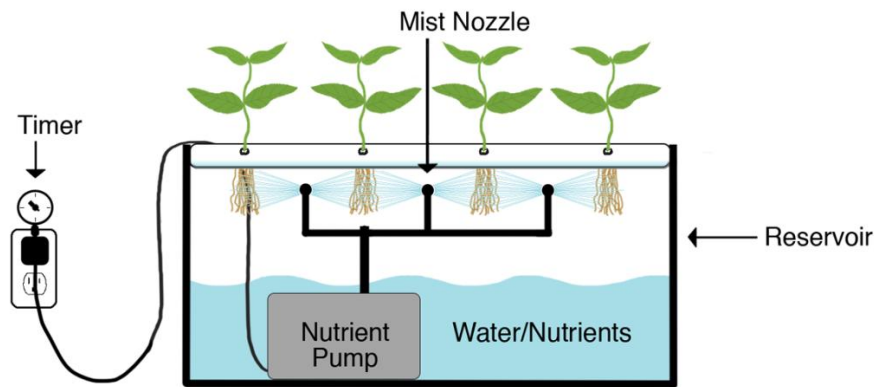
Η τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά, γίνεται με ψεκασμό των ριζών. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση σωλήνων, εντός των λεκανών, πάνω στους οποίους υπάρχουν ειδικά ακροφύσια. Το θρεπτικό διάλυμα που δεν απορροφάται από τις ρίζες των φυτών καταλήγει στις λεκάνες, οι οποίες έχουν κλίση 1-1,5% (Μαυρογιαννόπουλος, 2006) ώστε να διευκολύνεται η συγκέντρωσή του σε ειδικά δοχεία όπου γίνονται οι μετρήσεις των τιμών EC και pH. Ακολούθως, όπως και στα υπόλοιπα υδροπονικά συστήματα, μέσω του συστήματος ελέγχου και της κεφαλής υδρολύπανσης, το διάλυμα επαναφέρεται στα επιθυμητά επίπεδα.

Η επιτυχία της αεροπονικής καλλιέργειας έγκειται στον καλό αερισμό των ριζών, ο οποίος επιτυγχάνεται με τη χρήση των κατάλληλων ακροφυσίων και τη σωστή συχνότητα ψεκασμού.

Ο ψεκασμός διάρκει 2 δευτερόλεπτα και επαναλαμβάνεται κάθε 1,5 με 2 λεπτά. Ωστόσο όμως, ο συνεχής ψεκασμός έχει αποδειχθεί ότι δίνει καλύτερα αποτελέσματα εφόσον το μέγεθος της σταγόνας είναι μικρό (Jones, 1997). Αντίθετα, σε μεγάλες παύσεις μεταξύ των ψεκασμών, παρατηρείται έλλειψη της απαραίτητης υγρασίας και κατ' επέκταση ξήρανση ριζικών τμημάτων. Για την επίτευξη του μικρού μεγέθους της σταγόνας πρέπει να γίνεται η επιλογή ακροφυσίων κατάλληλης διατομής. Το άριστο μέγεθος της σταγόνας κυμαίνεται μεταξύ 40 και 50 μm. Σταγόνες μεγαλύτερου μεγέθους δυσχεραίνουν την σωστή οξυγόνωση της ριζικής μάζας αλλά χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οι σταγόνες μικρότερου μεγέθους, πέρα του άριστου εύρους, θεωρούνται κατάλληλες, λόγω της υπερβολικής ανάπτυξης ριζικών τριχιδίων που επιφέρουν.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το αεροπονικό σύστημα μπορεί να αποτελέσει μια μέθοδο ριζογένεσης, όπως και το floating system, που όμως εν αντιθέσει με αυτό μπορούν να παραχθούν σπορόφυτα χωρίς καθόλου υπόστρωμα, με τη χρήση ειδικών διχτυών μεγάλης πυκνότητας. Μικρές αεροπονικές εγκαταστάσεις (πάγκοι) δύναται να χρησιμεύσουν και σε φυτώρια άλλων υδροπονικών καλλιεργειών που δεν χρειάζονται υποστρώματα, όπως το NFT.

Στα αεροπονικά συστήματα χρησιμοποιούνται δύο τύποι αντλιών, χαμηλής ή υψηλής πίεσης. Οι αντλίες χαμηλής πίεσης είναι κατάλληλες για πάγκους ριζογένεσης και για επιδείξεις των αεροπονικών συστημάτων, κυρίως λόγω του χαμηλού τους κόστους. Οι αντλίες υψηλής πίεσης βρίσκουν άριστη εφαρμογή στην αεροπονική καλλιέργεια. Αφενός μεν, διότι έχουν την ιδιότητα να στέλνουν με την απαιτούμενη πίεση το θρεπτικό διάλυμα στα ακροφύσια και κατ' επέκταση στη ρίζα των φυτών και αφετέρου επειδή έχουν ενσωματωμένα φίλτρα καθαρισμού, καθαρίζοντας έτσι το θρεπτικό διάλυμα από τυχόν ακαθαρσίες, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν στην κακή λειτουργία των ακροφυσίων ή και την παύση λειτουργίας αυτών.



**Εικόνα 5:** Αεροπονία

### **3.3. Παραλλαγές βασικών τύπων υδροκαλλιέργειας**

Πέρα από τους βασικούς τύπους υδροπονικών συστημάτων χωρίς τη χρήση υποστρωμάτων που αναφέρθηκαν, έχουν αναπτυχθεί και άλλοι τύποι οι οποίοι αποτελούν παραλλαγές αυτών.

#### **3.3.1. NGS**

Στο New Growing System (NGS) ή νέο σύστημα ανάπτυξης τα φυτά αναπτύσσονται σε κανάλι το οποίο αποτελείται από διαφορετικά επίπεδα αγωγών. Τα επίπεδα επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω διατρήσεων. Το θρεπτικό διάλυμα εισέρχεται με ψεκαστήρες, στον ανώτερο σε επίπεδο αγωγό, στη θέση που είναι τοποθετημένο το φυτό (Μαυρογιαννόπουλος, 2006) και μέσω των οπών του κάθε αγωγού καταλήγει στον τελευταίο αγωγό. Τα κανάλια έχουν κλίση 1,5% και έτσι το θρεπτικό διάλυμα καταλήγει στις δεξαμενές του θρεπτικού διαλύματος. Το σύστημα αυτό αποτελεί μια παραλλαγή του NFT αλλά υπερτερεί έναντι αυτού διότι αποτρέπει τα προβλήματα οξυγόνωσης του ριζικού συστήματος των φυτών.



**Εικόν**

**α 6:** Χρησιμοποιούμενο κανάλι NGS

### **3.3.2.DFT**

Το Deep Flow Technique (DFT) αποτελεί άλλη μια παραλλαγή του συστήματος NFT, κατά το οποίο απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη συστήματος περιοδικής εισαγωγής φυσαλίδων αέρα στο θρεπτικό διάλυμα. Βασική διαφορά των δύο συστημάτων είναι πως στο DFT το ύψος του θρεπτικού διαλύματος υπερβαίνει τα 4 χιλιοστά. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση σωλήνων υπερχείλισης. Υπάρχουν όμως και επιμέρους παραλλαγές αυτού του συστήματος, που έγκεινται στον τρόπο εισαγωγής του θρεπτικού διαλύματος στα κανάλια. Μία από αυτές είναι το Ein Gedi, που θα μπορούσε να παρουσιαστεί ως συνδυασμός του NFT και της αεροπονίας, και κατά το οποίο το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοτείται με ψεκαστήρες κάτω από το λαιμό των φυτών, αλλά πάνω από την επιφάνεια του θρεπτικού διαλύματος.

### **3.3.3.Επιδαπέδια υδροπονία**

Άλλη μια παραλλαγή του NFT είναι η επιδαπέδια υδροπονία. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται ως υδρορροές μεγάλα τμήματα της επιφάνειας του θερμοκηπίου. Το έδαφος καλύπτεται από δύο φύλλα πλαστικού πολυαιθυλενίου και ανάμεσά τους επιστρώνεται ένα λεπτό φύλλο από απορροφητικό υλικό με τριχοειδείς ιδιότητες, το οποίο διαβρέχεται με θρεπτικό διάλυμα (Σάββας, 2011). Οπές ανοίγονται στο ανώτερο πλαστικό φύλλο για την τοποθέτηση των φυτών. Απαραίτητες προϋποθέσεις είναι η σωστή ισοπέδωση του εδάφους του θερμοκηπίου με σκοπό να αποκτήσει μία κλίση μεγαλύτερη του 1,5 % και η υποστύλωση των φυτών.

### **3.3.4.Ενυδροπονία**

Η μέθοδος της ενυδροπονίας ή Aquaponic system αποτελεί τον πιο σύγχρονο τρόπο καλλιέργειας φυτών εκτός εδάφους. Από το 1997 μέχρι σήμερα, έχουν εκδοθεί αρκετά ενημερωτικά άρθρα και έχουν γίνει συνέδρια με θέμα την ενυδροπονία. Τουλάχιστον, δύο μεγάλες εταιρείες, προμήθειας υδροπονικών εγκαταστάσεων και εξοπλισμών, έχουν εντάξει στους καταλόγους τους το ενυδροπονικό σύστημα και αρκετά εκπαιδευτικά ιδρύματα, ανά τον κόσμο, έχουν εισάγει στην διδακτέα ύλη τους το μάθημα της ενυδροπονίας (James, 2006).



Η ενυδροπονία είναι μία τεχνική καλλιέργειας φυτών που προκύπτει από τον συνδυασμό υδροπονίας και ιχθυοκαλλιέργειας. Οι τρεις απαραίτητοι παράγοντες, πέρα από τις εγκαταστάσεις, που την συνθέτουν είναι τα φυτά, τα ψάρια και τα αόρατα αλλά μεγίστης ζωτικής σημασίας βακτήρια.

Στην ενυδροπονία υπάρχει τουλάχιστον μια δεξαμενή εκτροφής, μέσα στην οποία εκτρέφονται εδώδιμα είδη ψαριών. Το πιο συνηθισμένο είδος ψαριών που χρησιμοποιείται είναι η Τιλάπια της οικογένειας Κιχλιδών. Άλλα είδη που μπορούν να εκτραφούν στις δεξαμενές της ενυδροκαλλιέργειας είναι οι αμύουροι (γατόψαρα), τα λαυράκια, οι πέστροφες, τα χρυσόψαρα, οι κυπρίνοι κ.α., τα οποία μπορούν να αντέξουν τα υψηλά επίπεδα καλίου, που συμπληρώνονται για την προώθηση της ανάπτυξης των φυτών.

Τα ψάρια είναι απαραίτητα στην συγκεκριμένη μέθοδο καλλιέργειας φυτών και λειτουργούν ως παραγωγοί αποβλήτων και αμμωνίας. Τα παραγόμενα λύματα των ψαριών αν έμεναν στη δεξαμενή εκτροφής, θα έφταναν σε τοξικά επίπεδα για τα ίδια τα ψάρια, αλλά αντ' αυτού γίνεται χρήση τους ως υγρά λιπάσματα για τα φυτά, μιας και αποτελούνται από στοιχεία χρήσιμα για την θρέψη των φυτών. Άλλο ένα όφελος, που προέρχεται από συγκαλλιέργεια ψαριών και φυτών, είναι πως στο νερό όπου εκτρέφονται τα ψάρια δημιουργούνται μικροοργανισμοί που διασπούν τα απόβλητα των ψαριών και είναι ανταγωνιστικοί ως προς τα παθογόνα των ριζών των φυτών (James, 2006). Όπως μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητό, επειδή τα ψάρια αλλιεύονται θα πρέπει το ρυθμιστεί ο ρυθμός αλλίευσης, ώστε να μην δημιουργηθεί πρόβλημα από τη μείωση του αριθμού των ψαριών και κατ' επέκταση διαταραχή της ισορροπίας του συστήματος ενυδροπονίας και επηρεαστεί η ανάπτυξη των φυτών. Το πρόβλημα μπορεί εύκολα να λυθεί με συστηματική προσθήκη ψαριών στη δεξαμενή εκτροφής, ώστε να υπάρχουν σε αυτή διαφορετικής ηλικίας ψάρια ή με πολλαπλές δεξαμενές, διαδοχικής αλίευσης.

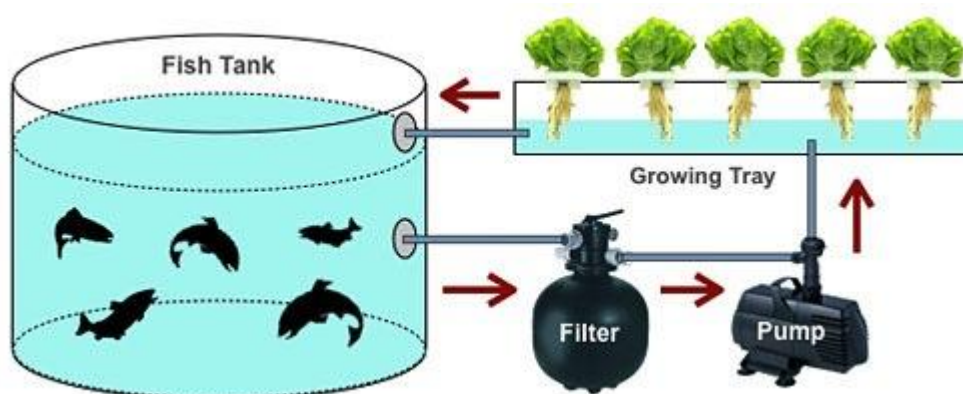
Τα λύματα των ψαριών, παρασύρονται με μέρος του νερού της δεξαμενής εκτροφής και περνούν μέσα από ειδικά φίλτρα, ώστε να διαχωριστούν τα σωματίδια, που δεν έχουν υποστεί μικροβιακή αποσύνθεση, από τα χρήσιμα θρεπτικά συστατικά που θα καταλήξουν στα φυτά. Τα θρεπτικά αυτά συστατικά περιέχουν επαρκή επίπεδα αζώτου, φωσφόρου,

καλίου και ιχνοστοιχείων που είναι απαραίτητα για την υδροπονική παραγωγή.

Η αμμωνία είναι μια μορφή αζώτου που προέρχεται από τα απόβλητα των ψαριών και τα αποφάγια αυτών αλλά τα φυτά δεν μπορούν να την χρησιμοποιήσουν, διότι απαιτούν νιτρικό, μια μορφή αζώτου που δημιουργείται από την αμμωνία, με την βοήθεια ευεργετικών βακτηρίων. Τα βακτήρια που βοηθούν στην μετατροπή της αμμωνίας στη νιτρική της μορφή ονομάζονται νιτροποιητικά βακτήρια. Τρόποι προσέλευσης αυτών των χρήσιμων βακτηρίων, στο ενυδροπονικό σύστημα γίνεται με προσθήκη μερικώς αποσυντιθέμενης οργανικής ύλης ή ουρίας. Ωστόσο σε μεγάλες ενυδροπονικές μονάδες, η μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρικά άλατα γίνεται με τη χρήση βιολογικού φίλτρου, το οποίο εμπεριέχει μεγάλες αποικίες νιτροποιητικών βακτηρίων.

Τα διάφορα είδη υδροπονικών συστημάτων, που υποστηρίζει η ενυδροπονία, μπορεί να είναι με υποστρώματα ή άνευ αυτών. Τα είδη των φυτών που δύναται να καλλιεργηθούν σε ένα υδροπονικό σύστημα, μπορεί να είναι χαμηλών έως μετρίων διατροφικών απαιτήσεων όπως μαρούλι, αρωματικά κ.ά. ή και υψηλών όπως τομάτα, φράουλα και πιπεριές. Η επιλογή οποιουδήποτε καλλιεργητικού είδους παρέχει, με τη σειρά του, ένα επιπλέον είδος φιλτραρίσματος του νερού, το οποίο θα επιστραφεί στην δεξαμενή εκτροφής των ψαριών με κατάλληλες αντλίες.

Αποτέλεσμα αυτής της πρωτότυπης συμβίωσης μεταξύ φυτών και υδρόβιων οργανισμών είναι η παραγωγή δύο εντελώς διαφορετικών ειδών διατροφής με το ελάχιστο δυνατό κόστος.



**Εικόνα 7:** Ενυδροπονικό σύστημα

### **3.4. Υποστρώματα καλλιεργειών εκτός εδάφους**

#### **3.4.1. Επιθυμητά χαρακτηριστικά υποστρωμάτων**

Τα υποστρώματα στις υδροπονικές καλλιέργειες, ως υποκατάστατα του εδάφους, πρέπει να πληρούν κάποιες προϋποθέσεις. Ως κριτήρια αξιολόγησης υποστρωμάτων λαμβάνονται υπόψη κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους.

Η απουσία παθογόνων μικροοργανισμών, ζωικών εχθρών και σπόρων ζιζανίων είναι ένα σπουδαιότατο επιθυμητό χαρακτηριστικό. Τα ανόργανα υποστρώματα που κατά την παρασκευή τους έχουν υποστεί έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως ο περλίτης και υποστρώματα που έχουν εξορυχθεί από βαθιά στρώματα του υπεδάφους, στα οποία επικρατούν αναερόβιες συνθήκες, όπως η ελαφρόπετρα, είναι πλήρως απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς. Η χρήση τέτοιων υποστρωμάτων δεν σημαίνει ότι θα διατηρήσουν το πλεονέκτημα της απουσίας των παθογόνων μέχρι την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής τους, ως υποστρώματα. Αυτό συμβαίνει λόγω της μη ύπαρξης ωφέλιμων μικροοργανισμών, οι οποίοι δρουν ανταγωνιστικά ως προς τα παθογόνα. Έτσι, πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα φυτοπροστασίας, κατά την διάρκεια της καλλιέργειας ανεξάρτητα την παρουσία φυτοπαθογόνων στο αρχικό υπόστρωμα. Ο κίνδυνος της προσβολής από φυτοπαθογόνα δεν είναι ο ίδιος σε όλα τα υποστρώματα, κάποια από αυτά ευνοούν την εμφάνιση συγκεκριμένων ασθενειών, άλλα είναι ουδέτερα ενώ κάποια άλλα παρουσιάζουν μια κατασταλτική τάση. Ο εμβολιασμός των υποστρωμάτων με κατάλληλους μικροοργανισμούς μπορεί να ενισχύσει την κατασταλτικότητα αυτών. Επίσης τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια για την εξεύρεση ουσιών που θα μπορούσαν να ενισχύσουν την ανάπτυξη και τη δράση ωφέλιμων μικροοργανισμών μέσα στα υποστρώματα με την εισαγωγή τους στα θρεπτικά διαλύματα.

Ένα καλό υπόστρωμα χαρακτηρίζεται όχι μόνο από την ποσότητα νερού που συγκρατεί, παρά την επίδραση της βαρύτητας (υδατοϊκανότητα), αλλά κυρίως από την ποσότητα νερού που μπορεί να διαθέσει στα φυτά

δηλαδή το εύκολα διαθέσιμα νερό (ΕΔΝ). Ο υπολογισμός του ΕΔΝ γίνεται εύκολα όταν είναι γνωστή η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας (ΧΚΥ) του υποστρώματος. Η ΧΚΥ αποτελείται από δύο καμπύλες την καμπύλη διαβροχής και την καμπύλη αποστράγγισης. Στην καλλιεργητική πράξη, αυτό που ενδιαφέρει κυρίως είναι η καμπύλη αποστράγγισης που δείχνει τον τρόπο μεταβολής της τάσης του υποστρώματος καθώς η υγρασία του μειώνεται βαθμιαία μετά το πότισμα, λόγω απορρόφησης του νερού από τα φυτά (Σάββας, 2011). Αξίζει να σημειωθεί ότι η περιεκτικότητα ενός υποστρώματος σε νερό, όταν αυτό βρίσκεται σε κατάσταση υδατοϊκανότητας, εξαρτάται από τις διαστάσεις του δοχείου στο οποίο βρίσκεται το υπόστρωμα. Συνεπώς, όσο χαμηλότερο σε ύψος είναι ένα φυτοδοχείο, για δεδομένο όγκο υποστρώματος, τόσο το νερό υδατοϊκανότητας αυξάνεται, συγκριτικά με ένα ψηλότερο ίδιου όγκου. Ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυτό το φαινόμενο είναι η «υδατοχωρητικότητα φυτοδοχείου» και εύκολα μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι από αυτήν εξαρτάται και το ΕΔΝ.

Άλλο ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό των υποστρωμάτων είναι η αεροπερατότητά τους, που δείχνει την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε αέρα, στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας. Αυτή η περιεκτικότητα πρέπει να υπερβαίνει το 15% για τον επαρκή αερισμό του ριζικού συστήματος και εξαρτάται κυρίως από το ενεργό πορώδες. Το ενεργό πορώδες, σε αντίθεση με το ολικό, δείχνει το ποσοστό των πόρων που είναι ανοικτοί. Τόσο το ολικό πορώδες, όσο και το ενεργό εξαρτάται από την φύση των κόκκων του υποστρώματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες του υποστρώματος και όσο μεγαλύτερη διάμετρο έχουν οι πόροι, τόσο μεγαλύτερη είναι η υδραυλική αγωγιμότητα, άρα και μεγαλύτερη αεροπερατότητα.

Οι χημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων είναι άλλο ένα χαρακτηριστικό, με βάση το οποίο, πρέπει να γίνεται η αξιολόγηση αυτών. Τα εδαφικά υποστρώματα πρέπει να έχουν υψηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ), δηλαδή να συγκρατούν αρκετά ιόντα και να τα απελευθερώνουν όταν χρειαστεί. Τα χημικά ενεργά υποστρώματα, δηλαδή αυτά με υψηλή ΙΑΚ μπορεί να είναι είτε οργανικά όπως η τύρφη είτε ανόργανα όπως ο βερμικουλιτής. Στις υδροπονικές εγκαταστάσεις, παρότι χρησιμοποιείται μικρός όγκος υποστρωμάτων, η ΙΑΚ των χημικά αυτών ενεργών υποστρωμάτων είναι μη προβλέψιμη, με αποτέλεσμα να επιλέγονται

ως καταλληλότερα τα χημικά αδρανή υποστρώματα. Σε όλα τα υποστρώματα, πριν τη χρήση τους πρέπει να μετράται η περιεκτικότητά τους σε ανόργανα άλατα (EC). Υψηλές τιμές EC μπορεί να βρεθούν τόσο σε χημικά ενεργά όσο και σε χημικά αδρανή υποστρώματα, όπως ο άμμος. Αντίθετα, η μέτρηση του pH δηλαδή η περιεκτικότητα των ιόντων υδρογόνου των υδατικών εκχυλισμάτων του υποστρώματος, νόημα έχει μόνο στα χημικά ενεργά υποστρώματα.

Τέλος άλλο ένα εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό των υποστρωμάτων είναι το κόστος. Στο κόστος δεν πρέπει να υπολογίζεται μόνο η αγοραστική του αξία αλλά και η ευκολία χρήσης του, η απόσταση από το σημείο παραγωγής του και ο χρόνος ωφέλιμης ζωής του.

### **3.4.2. Ανόργανα χημικά αδρανή υποστρώματα**

#### Άμμος

Η άμμος διακρίνεται ανάλογα με την προέλευσή της σε κρυσταλλική που προέρχεται από την κοίτη ποταμών και σε θαλασσινή που λόγω της υψηλής περιεκτικότητας της σε άλατα (EC) χρειάζεται έκπλυση με νερό χαμηλής αλατότητας (Passam and Savvas, 2002). Το μέγεθος των κόκκων της άμμου κυμαίνεται μεταξύ 0,02-2 χιλιοστά και έτσι μπορεί να γίνει άλλη μια διάκρισή της σε λεπτόκοκκη και χονδρόκοκκη. Λόγω της εξαιρετικά περιορισμένης αεροπερατότητας της λεπτόκοκκης άμμου, αυτή χρησιμοποιείται είτε σε μείγματα υποστρωμάτων είτε σε φυτοδοχεία ύψους μεγαλύτερο των 20 εκατοστών λόγω του φαινομένου της υδατοχωρητικότητας του φυτοδοχείου. Ως επί τω πλείστων, στις υδροπονικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται η χονδρόκοκκη άμμος.

#### Χαλίκι

Η διάμετρος των κόκκων του χαλικιού κυμαίνεται από 5 έως 20 χιλιοστά. Έχει υψηλή αεροπερατότητα λόγω του μεγάλου μεγέθους πόρων που σχηματίζουν οι κόκκοι του και έτσι παρουσιάζει χαμηλή ικανότητα συγκράτησης νερού. Αξίζει να σημειωθεί ότι ασβεστολιθικό χαλίκι, όπως και η ασβεστολιθική άμμος λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε  $\text{CaCO}_3$  ανεβάζει σε ανεπιθύμητα επίπεδα το pH του θρεπτικού διαλύματος και γι' αυτό δεν συνίσταται η χρήση του σε υδροπονικές καλλιέργειες.

### Περλίτης

Για τη βιομηχανική παραγωγή του υπόκειται σε θερμοκρασίες 1000°C, πράγμα που τον καθιστά απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς. Στη θερμική του επεξεργασία οφείλεται και το ποσοστό του πορώδους του. Ο περλίτης έχει ολικό πορώδες 95% και ενεργό πορώδες περισσότερο από 85%. Στις υδροπονικές καλλιέργειες χρησιμοποιείται περλίτης με μέγεθος κόκκων έως 3 χιλιοστά (Passam and Savvas, 2002). Η ΙΑΚ του μετά την θερμική επεξεργασία του είναι ασήμαντη και γι' αυτό θεωρείται χημικά αδρανές υπόστρωμα και ιδιαίτερα κατάλληλο για καλλιέργειες φυτών εκτός εδάφους.

### Ελαφρόπετρα

Η ελαφρόπετρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υδροπονικές καλλιέργειες κατευθείαν από την εξόρυξή της, χωρίς να υποστεί καμία βιομηχανική επεξεργασία. Το μέγεθος των κόκκων της φτάνει τα 10 χιλιοστά αλλά στις καλλιέργειες εκτός εδάφους χρησιμοποιούνται μέχρι τα 8 χιλιοστά. Το pH της είναι ουδέτερο και παραμένει χημικά σταθερή ακόμη και σε pH έως 2,5 (Passam and Savvas, 2002). Το ενεργό πορώδες της ελληνικής ελαφρόπετρας φτάνει το 74,9 % (Σάββας, 2011). Χαρακτηρίζεται από χαμηλή ΙΑΚ, που την καθιστά ένα χημικά αδρανές υπόστρωμα, αν και είναι προσροφημένα σε αυτήν, σε ποσοστό 90%, κατιόντα ασβεστίου. Η ελαφρόπετρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως σε κλειστά υδροπονικά συστήματα λόγω της ικανότητάς της να συγκρατεί και να αδρανοποιεί στο πορώδες της παθογόνους μικροοργανισμούς.

### Πετροβάμβακας

Ο πετροβάμβακας παράγεται με θερμική επεξεργασία 1600°C και είναι απαλλαγμένος από μικροοργανισμούς. Έχει ολικό πορώδες 95-97% και ενεργό πορώδες περίπου 92% (Σάββας, 2011). Η αεροπερατότητά του κυμαίνεται μεταξύ 13-44% ανάλογα την πυκνότητα της πλέξης των βελόνων του από τις οποίες αποτελείται. Στα θετικά του συγκαταλέγεται η μηδενική ανταλλακτική ικανότητά του όμως δεν εφαρμόζεται σε υδροπονικές καλλιέργειες όπου απαιτείται pH μικρότερο από 5 διότι αλλάζει τη σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος. Η χρήση του γίνεται σε διάφορες μορφές και

συνηθέστερα βρίσκει εφαρμογή στην παραγωγή σποροφύτων. Το κόστος του στην Ελλάδα είναι σημαντικά υψηλό και γι' αυτό δεν έχει ευρεία χρήση.

### **3.4.3.Ανόργανα χημικά ενεργά υποστρώματα**

#### **Βερμικουλίτης**

Το ενεργό πορώδες του βερμικουλίτη φτάνει έως 75% και η αεροπερατότητά του ανέρχεται σε ποσοστό 30%. Έχει την ιδιότητα να συγκρατεί αρκετές φορές το ίδιο του το βάρος σε νερό και δίνει στο υπόστρωμα μια ευάερη δομή. Έχει σημαντική ανταλλακτική ικανότητα και το pH του κυμαίνεται 6,3 έως 9,7 ανάλογα των τόπων προέλευσης του. Χρησιμοποιείται αμιγής σε σπορεία και σε τραπέζια ριζοβολίας μοσχευμάτων. Χρησιμοποιούμενο σε μείγματα υποστρωμάτων βοηθά να μην χάνεται η υγρασία αυτών και να μην υπάρχουν θερμικές διακυμάνσεις και διατίθεται σε διάφορα μεγέθη δομής.

#### **Κλινοπτιλόλιθος**

Ο κλινοπτιλόλιθος ανήκει στην ομάδα των ζεόλιθων και έχει αρκετά σταθερή χημική δομή σε περιβάλλον με μεγαλύτερο pH από 2. Έχει αρκετά υψηλή ανταλλακτική ικανότητα και ανταλλάσσει κάλιο, νάτριο και ασβέστιο που προσροφώνται στη δομή του πολύ εύκολα. Άλλο ένα βασικό και θεμελιακό στοιχείο του είναι η επιλεκτικότητά του στα βαρέα μέταλλα. Το εύρος μεγέθους κόκκων του κυμαίνεται από 2 έως 14 χιλιοστά. Έχει μέτρια αεροπερατότητα και μικρό ποσοστό πορώδους. Χρησιμοποιείται ως αμιγές υπόστρωμα και ως συστατικό μειγμάτων υποστρώματος.

#### **Σκωρία**

Το μέγεθος των κόκκων της ηφαιστειακής σκωρίας που χρησιμοποιούνται στις υδροπονικές καλλιέργειες ανέρχεται τα 8 χιλιοστά. Η σκωρία ως πρωτογενές πέτρωμα έχει εκτεταμένο πορώδες. Το ενεργό πορώδες της κίτρινης σκωρίας προέλευσης Ισραήλ είναι 63% (Σάββας, 2011). Η ΙΑΚ της είναι μέτρια και ποικίλει ανάλογα την φυσική της προέλευση (Passam and Savvas, 2002).

### **3.4.4.Συνθετικά οργανικά υποστρώματα**

#### **Πολυουρεθάνη**

Σύμφωνα με τους Passam και Savvas (2002) η πολυουρεθάνη είναι μια συνθετική οργανική ουσία, η οποία παρασκευάζεται χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη το πετρέλαιο. Η χρήση της ως υπόστρωμα υδροπονικών καλλιεργειών προήλθε από την ανάγκη μείωσης των απορριμμάτων στο περιβάλλον γι' αυτό και στην υδροπονική καλλιέργεια χρησιμοποιούνται υπολείμματα πολυουρεθάνης προερχόμενα από τη βιομηχανία επίπλων. Είναι ένα αδρανές υπόστρωμα με ολικό πορώδες 93% και μηδενική ανταλλακτική ικανότητα. Έχει διάρκεια ωφέλιμης ζωής μέχρι και 15 χρόνια αλλά δεν προτιμάται ως ιδανικό υπόστρωμα καλλιέργειας.

#### **Πολυεστέρας**

Όπως και η πολυουρεθάνη, η βασική πρώτη ύλη του πολυεστέρα είναι το πετρέλαιο. Ο πολυεστέρας είναι χημικά αδρανές υπόστρωμα με μηδαμινή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Έχει αρκετά σταθερή χημική δομή σε περιβάλλον με pH από 2 έως 11. Έχει ελάχιστα μεγαλύτερο ποσοστό πορώδους από τη πολυουρεθάνη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο καλλιέργειας φυτών κυρίως στην επιδαπέδια υδροπονική καλλιέργεια.

### **3.4.5.Φυσικά οργανικά υποστρώματα**

#### **Τύρφη**

Η τύρφη είναι φυσικό υλικό και έχει προέλθει από αργή μερική αποσύνθεση φυτικών υπολειμμάτων σε συνθήκες ανεπάρκειας οξυγόνου, διακρίνεται σε διάφορα είδη ανάλογα το φυτικό είδος προέλευσής της, το βαθμό αποδόμησής της και το βάθος εξόρυξής της. Το pH της τύρφης κυμαίνεται μεταξύ 3,5-7 ανάλογα το φυτικό είδος από το οποίο προέρχεται. Όσο περισσότερο αυξάνεται το pH της τύρφης, τόσο ταχύτερος είναι ο ρυθμός της μικροβιολογικής αποδόμησής της. Η ανταλλακτική ικανότητα της τύρφης χαρακτηρίζεται ικανοποιητική έως υψηλή, έχει ολικό πορώδες περισσότερο από 90% και υψηλή αεροπερατότητα. Παρόλη τη συγκέντρωση επιθυμητών χαρακτηριστικών, η τύρφη δεν χρησιμοποιείται αμιγής σε υδροπονικές καλλιέργειες γιατί δυσχεραίνει, λόγω της υψηλής ανταλλακτικής της ικανότητας, τον έλεγχο της σύνθεσης του θρεπτικού διαλύματος.



Χρησιμοποιείται κυρίως ως συστατικό μείγματος για τη βελτίωση της αεροπερατότητας και της συγκράτησης νερού των υποστρωμάτων.

#### Κομπόστα

Η κομπόστα όπως και η τύρφη, προέρχεται από υπολείμματα φυτικών οργανισμών, που σε αντίθεση με αυτή, περιλαμβάνει μερικές φορές οργανικά υπολείμματα και για την αποσύνθεσή της πρέπει να επικρατούν αερόβιες συνθήκες. Η ανταλλακτική ικανότητά της, το pH και η EC της ποικίλουν ανάλογα με τα υλικά προέλευσής της και το βαθμό αποδόμησης που έχει υποστεί (Σάββας, 2011). Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, από τα είδη της κομπόστας, χρησιμοποιείται κυρίως ο φλοιός της ινδικής καρύδας ως υποκατάστατο της τύρφης. Το ολικό πορώδες του φλοιού της ινδικής καρύδας ανέρχεται σε 98%, η αεροπερατότητά του σε 70% (Passam and Savvas, 2002) και έχει υψηλή ΙΑΚ.

#### **3.4.6.Μείγματα υποστρωμάτων**

Για τη δημιουργία κατάλληλων υποστρωμάτων εφοδιασμένων με τα απαραίτητα επιθυμητά χαρακτηριστικά έχουν δοκιμαστεί διάφορα μείγματα αποτελούμενα από οργανικά και ανόργανα υλικά. Επειδή κύριο χαρακτηριστικό των οργανικών υποστρωμάτων είναι η ικανότητα συγκράτησης νερού και των ανόργανων η αεροπερατότητα, έχουν δοκιμαστεί διάφοροι συνδυασμοί με σκοπό την βελτίωση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των υποστρωμάτων. Παραδείγματος χάρη, η εισαγωγή του κλινοππιλόλιθου στο υπόστρωμα συμβάλλει στην συγκράτηση βαρέων μετάλλων και της ελαφρόπετρας για τον περιορισμό εδαφογενών ασθενειών λόγω της ικανότητάς της να συγκρατεί και να αδρανοποιεί παθογόνους μικροοργανισμούς.

### **3.5.Εγκαταστάσεις υδροπονικών συστημάτων με υπόστρωμα**

#### **3.5.1. Ebb-and-Flow**

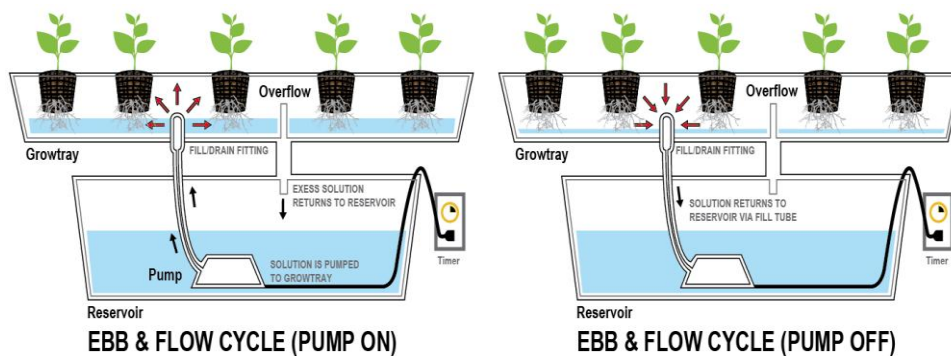
Το σύστημα Ebb-and-Flow ή άμπωτη και πλημμυρίδα έχει ονομαστεί έτσι, βασιζόμενο στο φαινόμενο της παλίρροιας. Στην ουσία περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται το πότισμα των καλλιεργούμενων φυτικών ειδών.

Τα φυτά αναπτύσσονται σε δοχεία με αδρανές υπόστρωμα όπως χαλίκι, χονδροειδή άμμο ή ηφαιστειογενή πετρώματα. Το θρεπτικό διάλυμα ωθείται με την βοήθεια μιας ηλεκτρικής αντλίας από τη δεξαμενή, όπου βρίσκεται, προς τα δοχεία. Ο κίνδυνος υπερχείλισης του θρεπτικού διαλύματος από την επιφάνεια των φυτοδοχείων, αποτρέπεται με την εγκατάσταση στο σύστημα ενός πλωτήρα. Το θρεπτικό διάλυμα επιστρέφει στη δεξαμενή με την επίδραση της βαρύτητας, μιας και αυτή είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος των δοχείων, μέσω της ύπαρξης οπών στο κάτω μέρος αυτών. Με τη διαφυγή του θρεπτικού διαλύματος από το στερεό υπόστρωμα, αέρας εισέρχεται ανάμεσα στα σωματίδια αυτού, με αποτέλεσμα την καλή οξυγόνωση του ριζικού συστήματος.

Όπως σε όλα τα υδροπονικά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα πρέπει να ελέγχεται για τα επίπεδα των τιμών της EC και του pH, να φιλτράρεται και να απολυμαίνεται μετά από κάθε κύκλο ποτίσματος.

Αυτό το υδροπονικό σύστημα χρησιμοποιήθηκε από τον Αμερικάνικο στρατό για τον εφοδιασμό των στρατευμάτων με φρέσκες τομάτες και μαρούλια κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο (Resh, 2013). Στις μέρες μας η εφαρμογή αυτού του υδροπονικού συστήματος δεν γίνεται σε εμπορική κλίμακα λόγω των πολλών μειονεκτημάτων της.

Στα μειονεκτήματα αυτού του συστήματος συγκαταλέγονται οι ασθένειες που προσβάλλουν το ριζικό σύστημα, μιας και κατά την περιοδική αντικατάσταση του θρεπτικού διαλύματος πρέπει να γίνεται αντικατάσταση και του υποστρώματος, πράγμα που είναι δαπανηρό. Άλλο ένα πολύ βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι κατά την ανάπτυξη των φυτών τμήμα του ριζικού τους συστήματος εισέρχεται στις οπές των φυτοδοχείων εμποδίζοντας έτσι την ομαλή εισροή και εκροή του θρεπτικού διαλύματος.



**Εικόνα 8.** Το σύστημα Edd-and-Flow

### **3.5.2.Με σταλάκτες**

Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται σήμερα σε μεγάλη κλίμακα και βασίζονται στην ανάπτυξη των φυτών μέσα σε σάκους, γλάστρες ή πλάκες υποστρωμάτων με κοινό χαρακτηριστικό τους ότι ποτίζονται με την χρήση σταλακτών. Ο ρυθμός και η διάρκεια ποτισμάτων εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες όπως οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, το είδος της καλλιέργειας το στάδιο ανάπτυξής της και κυρίως το είδος του υποστρώματος που χρησιμοποιείται. Η μετρήσεις των τιμών pH και EC γίνονται τόσο πριν το πότισμα αλλά και στο διάλυμα που διαφεύγει μέσω στράγγισης από τις καλλιέργειες. Πιο αναλυτικά χωρίζονται σε :

- Σάκους μαλακού πολυαιθυλενίου, που είναι λευκοί εξωτερικά για την παροχή φωτός, μέσω αντανάκλασης, στα κατώτερα φύλλα και μαύροι εσωτερικά για την αποφυγή δημιουργίας αλγών στο υπόστρωμα. Οι διαστάσεις ποικίλουν με βάση το κόστος εγκατάστασης, την ικανοποιητική κάλυψη του θερμοκηπίου (Σάββας, 2011) και την αναγκαία πυκνότητα φύτευσης της καλλιέργειας. Στην επάνω πλευρά των σάκων, κόβονται τμήματα του πολυαιθυλενίου ώστε να τοποθετηθούν τα νεαρά φυτάρια. Μια μέρα πριν τη φύτευση γίνεται πότισμα με θρεπτικό διάλυμα και αφήνονται γεμάτοι. Δυο με τρεις ημέρες μετά τη φύτευση γίνονται σχισμές στις πλευρές του σάκου, για τη διευκόλυνση της στράγγισης, της περίσσειας του θρεπτικού διαλύματος (Μαυρογιαννόπουλος, 2006). Οι σάκοι δύνανται να τοποθετηθούν οριζόντια στο έδαφος ή και κάθετα σε αυτό. Οι σταλάκτες και στις δυο περιπτώσεις τοποθετούνται στις θέσεις φύτευσης των φυταρίων.

- Φυτοδοχεία, των οποίων οι διαστάσεις και το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται ποικίλουν αλλά κοινό χαρακτηριστικό τους είναι ότι έχουν οπές αποστράγγισης στον πυθμένα τους. Τα φυτοδοχεία τοποθετούνται σε διπλή σειρά για λόγους εξοικονόμησης χώρου και εξοπλισμού αρδευτικού συστήματος. Ανάμεσα από τις δύο σειρές των φυτοδοχείων τοποθετούνται οι σωλήνες άρδευσης, στους οποίους προσαρμόζονται σταλάκτες που καταλήγουν στα φυτοδοχεία. Σε κάθε φυτοδοχείο, ανάλογα τις διαστάσεις του, μπορούν να φυτευθούν ένα ή και περισσότερα φυτά. Όπως και στην περίπτωση των σάκων, τα φυτοδοχεία μπορούν να τοποθετηθούν και κατακόρυφα, σχηματίζοντας μια κάθετη στήλη. Απαραίτητες προϋποθέσεις

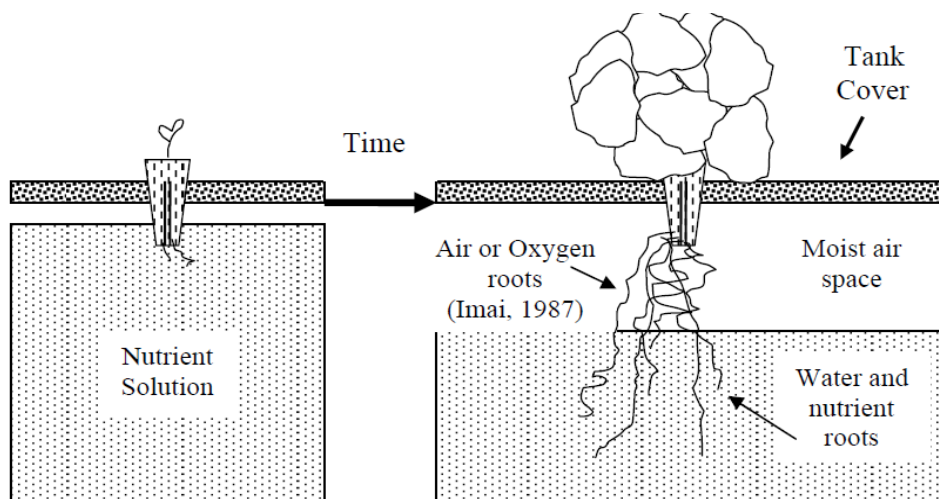
για αυτή την εγκατάσταση είναι πρώτον η διάμετρος του πυθμένα των φυτοδοχείων να είναι μικρότερη του χείλους αυτών και δεύτερον το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει από τα ανώτερα φυτοδοχεία να μη συσσωρεύεται στο κατώτερο, αλλά να διοχετεύεται σε κεντρικό σωλήνα αποστράγγισης (Σάββας, 2011).

- Κανάλια γεμισμένα με υπόστρωμα. Σε αυτό το σύστημα το μήκος των καναλιών δεν έχει περιορισμούς όπως στο NFT, διότι η παροχή του θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιείται με σταλάκτες που τοποθετούνται στις θέσεις των φυτών και κυρίως διότι το πλεονάζον θρεπτικό διάλυμα δε ρέει κατά μήκος των καναλιών, αλλά μέσω οπών στον πυθμένα αυτών. Το πλάτος των καναλιών κυμαίνεται από 15 έως 30 εκατοστά ανάλογα αν η φύτευση γίνεται σε μονή ή διπλή σειρά και το ύψος αυτών μπορεί να είναι 6-20 εκατοστά ανάλογα με το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται (Σάββας, 2011). Στον πυθμένα των καναλιών τοποθετείται μια στρώση χονδρόκοκκου υλικού, συνήθως χαλίκι, πάνω από τις οπές αποστράγγισης για τη διευκόλυνση αυτής. Τα κανάλια βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους αλλά δύναται να τοποθετούνται σε κεκλιμένα πλαίσια, για εξοικονόμηση πολύτιμης καλλιεργήσιμης επιφάνειας θερμοκηπίου.

Πριν την εγκατάσταση και στις τρεις αυτές υδροπονικές καλλιέργειες πρέπει το έδαφος των θερμοκηπίων να διαμορφώνεται κατάλληλα. Πρέπει να γίνεται ισοπέδωση του θερμοκηπιακού εδάφους, η κλίση του οποίου δεν πρέπει να ξεπερνά το 0,3% (Μαυρογιαννόπουλος, 2006). Αμέσως μετά την ισοπέδωση, στο έδαφος απλώνεται λευκό φύλλο πολυαιθυλενίου για την αποφυγή ανάπτυξης ζιζανίων. Στις περιπτώσεις των σάκων και των καναλιών στο έδαφος απλώνονται πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης. Αν απαιτείται θέρμανση στην περιοχή της ρίζας, πλαστικοί σωλήνες θέρμανσης μπορούν να τοποθετηθούν κατά μήκος των πλακών πολυστερίνης ή μέσα στα κανάλια. Στο σύστημα είτε είναι κλειστό, είτε ανοικτό πρέπει να εγκαθίστανται υδρορροές συλλογής απορροής θρεπτικού διαλύματος, στα μεν για να ανακυκλώνεται και στα δε για να διευκολύνεται η έξοδος του από το θερμοκήπιο.

### 3.5.3. Σύστημα παθητικής άρδευσης

Το θρεπτικό διάλυμα σε αυτό το σύστημα, βρίσκεται σε δεξαμενές, και δεν ξεπερνά το ύψος των 14 εκατοστών. Οι δεξαμενές είναι καλυμμένες με πλάκες διογκωμένης πολυστερίνης, που στηρίζονται στα πλαίσια των δεξαμενών, και φέρουν οπές, στις οποίες τοποθετούνται πλαστικά διάτρητα δοχεία γεμισμένα με υπόστρωμα, κωνικού σχήματος. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το κατώτερο τμήμα των κωνικών δοχείων να είναι βυθισμένο στο θρεπτικό διάλυμα μόνο κατά 3 εκατοστά. Η σπορά των φυτών γίνεται στα κωνικά δοχεία και τα φυτά αναπτύσσονται καθώς το υπόστρωμα υγροποιείται μέσω τριχοειδούς δράσης. Καθώς το ριζικό σύστημα των φυτών μεγαλώνει, απορροφά νερό και θρεπτικά στοιχεία, με αποτέλεσμα η στάθμη του διαλύματος να μειώνεται. Εφόσον οι πλάκες πολυστερίνης δεν επιπλέουν του διαλύματος αλλά είναι στερεωμένες σε σταθερό σημείο, δημιουργείται χώρος μεταξύ των πλακών και του διαλύματος, που παρέχει αερισμό και οξυγόνωση στις ρίζες των φυτών. Η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος γίνεται εφ' άπαξ και ελέγχονται κάθε 4 ημέρες οι τιμές του pH (Kratky, 2009).



Εικόνα 9: Σύστημα παθητικής άρδευσης.

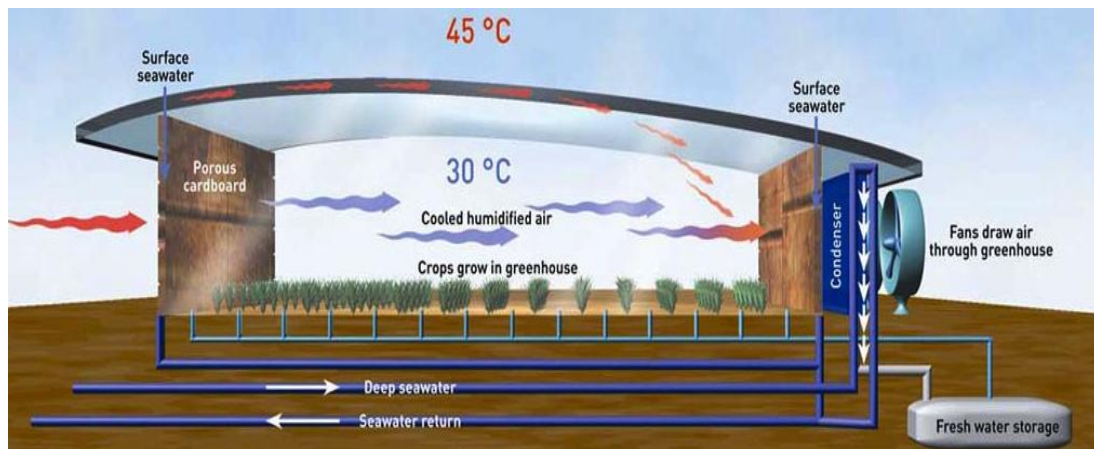
### **3.5.4 Θερμοκήπιο με χρήση θαλασσινού νερού (Seawater greenhouse)- Σχέδιο Σαχάρας (Sahara Forest Project)**

Οι υδροπονικές εγκαταστάσεις που στηρίζονται στο σχέδιο Σαχάρα μπορούν να εφαρμοστούν σε ξηρές και παράκτιες περιοχές παρέχοντας υψηλής ποιότητας αγροτικά προϊόντα (Davies and Paton, 2004). Οι εγκαταστάσεις αυτές χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την ηλεκτροδότησή τους και το θαλασσινό νερό, που με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας αφαλατώνεται, για την άρδευση των καλλιεργειών.

Το θαλασσινό νερό, μέσω υπεδάφιας άντλησης και με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας (Kabeel and Almagar, 2013), οδηγείται σε δεξαμενές, όπου με τη μέθοδο της διήθησης, αφαιρούνται τα περιεχόμενα στερεά σωματίδια του. Το νερό από τις δεξαμενές, αφού διέλθει από συμπυκνωτή, εισέρχεται, στην πάνω πλευρά του ενός εκ των δύο εξαμιστών του συστήματος. Οι κυψελοειδείς πλάκες των εξαμιστών είναι κάθετα τοποθετημένες και αντικριστά μεταξύ τους, κατά μήκος των μεγαλύτερων πλευρών του θερμοκηπίου. Μεγάλοι ανεμιστήρες απορροφούν τον ζεστό εξωτερικό αέρα και τον οδηγούν, διαμέσου του πρώτου εξαμιστή, στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου. Με αυτό τον τρόπο, το νερό που βρίσκεται στον πρώτο εξαμιστή θερμαίνεται και με τη μορφή υδρατμών, οδηγείται, μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων που βρίσκονται στην πάνω πλευρά του θερμοκηπίου (Davies and Paton, 2005), στον δεύτερο εξαμιστή. Στο μεταξύ, με την ίδια διαδικασία επιτυγχάνεται υγραποίηση του περιεχόμενου αέρα μέχρι και 90%, μείωση της αρχικής του θερμοκρασίας έως και 15 βαθμούς Κελσίου (Hitchin, 2014) και κατά συνέπεια δροσισμός της θερμοκηπιακής καλλιέργειας. Στη συνέχεια αφού ο κρύος αέρας έχει αναμειχθεί με το ζεστό που υπήρχε στο θερμοκήπιο, περνά μέσα από τον δεύτερο εξαμιστή και οδηγείται στο συμπυκνωτή. Με τη διαφορά θερμοκρασίας που δημιουργείται, καθώς οι υδρατμοί του δεύτερου εξαμιστή περνούν μέσα από τον συμπυκνωτή και το κρύο θαλασσινό νερό που τον περιβάλλει, επιτυγχάνεται παραγωγή πόσιμου νερού (Salehi et al., 2011).

Η ποσότητα του παραγομένου νερού σε ένα θερμοκήπιο με διαστάσεις 200 μέτρα μήκος και 50 μέτρα πλάτος, μπορεί να φτάσει τα 125 κυβικά μέτρα σε μία μέρα (Salbania et al., 2013), που σημαίνει ότι όχι μόνο καλύπτει τις ανάγκες άρδευσης της θερμοκηπιακής καλλιέργειας αλλά και ενός μεριδίου

του πληθυσμού. Το σχέδιο Σαχάρα υποστηρίζει κυρίως καλλιέργειες εκτός εδάφους που χρησιμοποιούν υποστρώματα και στάγδην άρδευση.



**Εικόνα 10:** Τρόπος λειτουργίας του σχεδίου Σαχάρα

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η διαρκής αναζήτηση για δημιουργία νεότερων τύπων υδροπονικών συστημάτων υποδεικνύει ότι κανένα από αυτά τα συστήματα δεν αγγίζει τα όρια του ιδανικού.

Οι εγκαταστάσεις των υδροπονικών συστημάτων που έχουν ως μοναδική πηγή ενέργειας τον ηλεκτρισμό, κινδυνεύουν σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος. Αντίθετα, οι υδροπονικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για τη λειτουργία των συστημάτων τους, όπως το "σχέδιο της Σαχάρας", και αυτές που δεν εξαρτώνται από κανενός είδους ενέργειας, όπως η παθητική άρδευση, δεν διατρέχουν κανένα κίνδυνο καταστροφής της παραγωγής. Ένα μειονέκτημα των υδροπονικών μονάδων που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια είναι ότι απαιτούν μεγάλο κόστος αρχικής εγκατάστασης.

Οι εγκαταστάσεις υδροπονικής καλλιέργειας που στηρίζονται σε κεκλιμένα πλαίσια και αυτές της κατακόρυφης διάταξης, έχουν το πλεονέκτημα, συγκριτικά με τις καλλιέργειες οριζόντιας διάταξης, ότι έχουν αυξημένο ποσοστό φύτευσης της θερμοκηπιακής έκτασης. Το βασικό μειονέκτημα των κάθετων και κεκλιμένων καλλιεργειών είναι ότι τα φυτά παρουσιάζουν ανομοιογενή ανάπτυξη, λόγω της ανομοιομορφίας του φωτισμού, το οποίο δεν συμβαίνει στις εγκαταστάσεις οριζόντιας διάταξης.

Η κατηγορία των ανοιχτών υδροπονικών συστημάτων, χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη κατανάλωση νερού και λιπασμάτων, συγκριτικά με τα κλειστά υδροπονικά συστήματα, αλλά υπερτερεί στη μειωμένη επικινδυνότητα μετάδοσης παθογόνων. Ωστόσο, και μεταξύ των συστημάτων των δύο ανωτέρω κατηγοριών υπάρχουν διαφορές στα χαρακτηριστικά τους.

Τα χαρακτηριστικά κάποιων συστημάτων υπερισχύουν έναντι άλλων συστημάτων, αλλά κανένα υδροπονικό σύστημα δεν περιλαμβάνει όλα τα επιθυμητά χαρακτηριστικά, ώστε να υποστηρίξει το σύνολο των καλλιεργούμενων φυτικών ειδών.

Ένα βασικό πλεονέκτημα του συστήματος NFT είναι η χρήση μικρού όγκου νερού, το οποίο συνεπάγεται και λιγότερη σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας για τη θέρμανση του θρεπτικού διαλύματος τους κρύους μήνες του



χρόνου (Merle, 1996). Μεγάλο μειονέκτημα του NFT είναι η αδυναμία διατήρησης της λεπτής στοιβάδας του θρεπτικού διαλύματος (Κώτσιρας, 2011) κατά μήκος του σωλήνα και κυρίως κατά την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος (Roberto, 2003). Σε συστήματα NFT ενδείκνυται η καλλιέργεια πεπονιού (Pardossi et al., 1994), αγγουριού (Gómez et al., 2003), τουλίπας (Yamasaki et al., 2002) κολοκυθίου, πιπεριάς και μαρουλιού (Σάββας, 2011).

Το Floating system δύναται να εκμεταλλευτεί κατά 90% την επιφάνεια του θερμοκηπίου έναντι του 60% που μπορεί να επιτευχθεί με τις υπόλοιπες μεθόδους καλλιέργειας (Κώτσιρας, 2011), ενώ το βασικό μειονέκτημα αυτής της υδροπονικής καλλιέργειας είναι η ανάγκη εγκατάστασης αντλιών για τον εμπλουτισμό του θρεπτικού διαλύματος με οξυγόνο λόγω δυσκολιών αερισμού των ριζών (Σάββας, 2011). Στο σύστημα αυτό δύναται να καλλιεργηθούν φαρμακευτικά φυτά (Dorais et al., 2001), ραπανάκι, τεύτλα (Orsini et al., 2010), ρόκα (Vernieri et al., 2004) και μαρούλι.

Το αεροπονικό σύστημα προσφέρει, σε αντίθεση με τα άλλα είδη καλλιέργειας φυτών, απόλυτα ελεγχόμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες (Kratsch et al., 2006). Το μεγαλύτερο μειονέκτημά του είναι το αρχικό κόστος εγκατάστασης (Benton Jones, 2005). Με τη μέθοδο της αεροπονίας μπορούν να καλλιεργηθούν είδη φυτών, όπως δρεπτά άνθη ανθούριου (Σάββας, 2011), πατάτα (Ritter et al., 2001) και μαρούλι.

Το σύστημα DFT παρέχει καλύτερη οξυγόνωση του ριζικού συστήματος από ότι το σύστημα NFT, του οποίου είναι παραλλαγή, αλλά βασικό του μειονέκτημα είναι η ανάγκη μεγαλύτερου όγκου νερού. Στο σύστημα DFT καλλιεργούνται φυλλώδη φυτά, φαρμακευτικά φυτά (Ravin and Leith, 2008) και μέντα (Vimolmangkang et al., 2010).

Η ενυδροπονία είναι μια δαπανηρή εγκατάσταση υδροπονικού συστήματος που όμως αποφέρει σίγουρα κέρδη εφόσον στηρίζει δύο τελείως διαφορετικών ειδών καλλιέργειες. Στην ενυδροπονία μπορούν να καλλιεργηθούν φράουλες (Morris et al., 2011), σπανάκι, φασόλι, λάχανο, τομάτα, πιπεριά, πεπόνι, καλαμπόκι, καρότα, μαρούλι, μελιτζάνα, παντζάρι και κολοκύθα, μπανάνα, εσπεριδοειδή, παπάγια αλλά και κυπρίνοι, πέστροφες, τιλάπια, γατόψαρα, πέρκες και λαυράκια (Rumizen, 2002).

Τα περισσότερα υδροπονικά συστήματα που χρησιμοποιούν υποστρώματα μπορούν να λειτουργήσουν είτε επαναχρησιμοποιώντας το

θρεπτικό διάλυμα, όπως τα συστήματα χωρίς υποστρώματα, είτε απορρίπτοντάς το. Τα συστήματα με χρήση υποστρωμάτων υπερτερούν έναντι αυτών που δεν γίνεται χρήση, διότι σε περίπτωση βλάβης στα συστήματα εγκατάστασης τα υποστρώματα διατηρούν την υγρασία στο περιβάλλον της ρίζας. Τα συνθετικά οργανικά υποστρώματα υπερέχουν των φυσικά οργανικών, στη διάρκεια ωφέλιμης ζωής τους, αλλά μειονεκτούν στο χρόνο αποδόμησής τους, με αποτέλεσμα να επιβαρύνουν το περιβάλλον. Το είδος των καλλιεργούμενων φυτών των υδροπονικών εγκαταστάσεων σε υποστρώματα, εξαρτάται αφενός από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων και αφετέρου από τον τύπο του αρδευτικού συστήματος.

Το σύστημα Ebb and flow, ως κλειστό σύστημα, έχει το πλεονέκτημα της ανακύκλωσης του θρεπτικού διαλύματος, το οποίο δεν συμβαίνει πάντα στα συστήματα με σταλάκτες. Αντίθετα, τα συστήματα που χρησιμοποιούν στάγδην άρδευση έχουν το προτέρημα ότι το θρεπτικό διάλυμα που χρησιμοποιείται δεν χρειάζεται φιλτράρισμα και απολύμανση, όπως απαιτεί το σύστημα Ebb and flow, στο οποίο τα φυτά είναι ευάλωτα σε ασθένειες που προσβάλλουν το ριζικό σύστημα (Jones, 2005)

Στο σύστημα Ebb and flow μπορούν εύκολα να καλλιεργηθούν φυτικά είδη όπως, κολοκυθάκι (Rouphael and Colla, 2005) κινέζικο νεροκάστανο (*Eleocharis dulcis*) και νεροκάρδαμο (Tom Alexander, 1999)

Η στάγδην άρδευση έχει εφαρμογή:

- Σε μείγματα υποστρωμάτων, όπως ο λισιάνθος, η φρέζια (Σάββας, 2011) και η μπανάνα (Tom Alexander, 1999).
- Σε ελαφρόπετρα, όπως η γαρυφαλιά και η τριανταφυλλιά (Σάββας, 2011)
- Σε περλίτη, όπως η αγγουριά, (Gómez et al., 2003) οι ορχιδέες (Tom Alexander, 1999), η τριανταφυλλιά (Samartzidis et al., 2005), η ζέρμπερα, η μελιτζάνα και η φράουλα.
- Σε πετροβάμβακα, όπως το φασόλι, το πεπόνι, η μελιτζάνα το καρπούζι και η πιπεριά (Abou-Hadid et al., 1993).
- Σε περλίτη και πετροβάμβακα, όπως η τομάτα, το αγγούρι και η πιπεριά (Merle, 1996).

Τα υδροπονικά συστήματα που βασίζονται στο σχέδιο Σαχάρα πλεονεκτούν, σε σχέση με τα υπόλοιπα, καθώς αποτελούνται από 100 %

ανακυκλώσιμα υλικά (Paton and Davies, 2006) και το κόστος λειτουργίας και άρδευσης είναι μηδενικά. Το βασικό του μειονέκτημα είναι το δυσπρόσιτο αρχικό κόστος εγκατάστασης. Στις καλλιέργειες, που βασίζονται στο σχέδιο Σαχάρα, μπορεί να γίνει χρήση υποστρωμάτων όπως ο περλίτης, ο πετροβάμβακας κ.ά. και η υδροπονική μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί είναι το NFT (R. Szmidt, 1997). Σε αυτές τις υδροπονικές εγκαταστάσεις μπορεί να καλλιεργηθεί αγγούρι, τομάτα (Davies, 2005), μαρούλι, σπανάκι, μπιζέλι, φασολάκια, αγκινάρες (Davies et al., 2004), λάχανα, κουνουπίδι, τεύτλα και σκόρδο (M. Abdal and M. Suleiman, 2003).

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ξενόγλωσση βιβλιογραφία**

Abdal, M. and M. Suleiman, 2003. Vegetables production in greenhouse using brackish water. ISHS Acta Horticulturae 609

Abou-Hadid, A.F., M.Z. El-Shinawy, A.S. El-Beltagy, S.W. Burrage, 1993. Relation between water use efficiency of sweet pepper grown under nutrient film technique and rockwool under protected cultivation. ISHS Acta Horticulturae 323.

Alexander, Tom. 1999. The Best of Growing Edge. New Moon Publishing. Volume 2. 4-236.

Benton, J. J., 1997. Hydroponics. A practical guide for the soilless grower. Florida, CRC Press, pp 230.

Benton, J. J., 2005. Hydroponics A practical guide for the soilless grower, Second edition. Florida, CRC Press, pp 417.

Carruthers, Steven. 2002. Hydroponics as an agricultural production system. Practical Hydroponics and Greenhouses, Issue 63.

Crossley, P. L. 2004. Just Beyond the Eye: Floating Gardens in Aztec Mexico. Historical Geography Volume 32: 111-135.

Davies, P.A. 2005. A solar cooling system for greenhouse food production in hot climates, Solar Energy Volume 79, Issue 6, December 2005, Pages 661–668.

Davies, P.A. and Paton, 2005. The seawater greenhouse in the United Arab Emirates: Thermal modelling and evaluation of design options, Desalination Volume 173, Issue 2, 10 March 2005, Pages 103–111.

Davies, Philip and Charlie Paton, 2004. The seawater greenhouse and the watermaker condenser, School of Engineering, University of Warwick, Coventry CV4 7AL, U.K.

Davies, Philip, Kim Turner and Charlie Paton, 2004. Potential of the seawater greenhouse in middle eastern climates. International Engineering Conference (IEC) “Mutah 2004” Mutah University, Jordan, April 26-28. pages 523-540.

Diver Steve and Lee Rinehart, 2006. Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture. A Publication of ATTRA—National Sustainable Agriculture Information Service.

Dorais, M., A.P. Papadopoulos, X. Luo, S. Leonhart, A. Gosselin, K. Pedneault, P. Angers, L. Gaudreau, 2001. Soilless greenhouse production of medicinal plants in north eastern Canada. *ISHS Acta Horticulturae* 554.

Gericke, W. F. 1945. *The Complete Guide to soilless gardening*. Prentice Hall, Inc. 309.

Gómez, M.D., A. Baille, M.M. González-Real, J.M. Mercader, 2003. Comparative analysis of water and nutrient uptake of glasshouse cucumber grown in NFT and perlite. *ISHS Acta Horticulturae* 614.

Hassall & Associates Pty Ltd, 2001. *Hydroponics as an Agricultural Production System*. A report for the Rural Industries Research and Development Corporation. RIRDC Publication No 01/141 RIRDC Project No HAS-9A. 1-82.

Heidi A. Kratsch, William R. Graves, Richard J. Gladon, 2006. Aeroponic system for control of root-zone atmosphere. *Environmental and Experimental Botany*. Volume 55, Issues 1–2, January 2006, Pages 70–76.

Hitchin, Penny. 2014. Seawater greenhouses: growing food in the world's driest regions. *Engineering and Technology Magazine*, vol 9, issue 6, 82 – 85.

Howard M. Resh, 2013. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. 7th Edition. CRC Press. USA

Kabeel, A. E., Dr Ali M Almagar, 2013. Seawater greenhouse in desalination and economics, Seventeenth International Water Technology Conference, IWTC17 Istanbul.

Keith Roberto, 2003. *How-To Hydroponics*. The Futuregarden Press a division of Futuregarden, Inc. Farmingdale, New York. 108.

Kratky, B.A. 2009. Three non-circulating hydroponic methods for growing lettuce. *Proceedings of the International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics*. *Acta. Hort.* 843:65-72.

Lim, E.S. 1985. Development of an NFT System of Soilless Culture for the Tropics. *Pertanika* 8(1): 135 - 144.

Mariantonella Palermo, Roberta Paradiso, Stefania De Pascale, and Vincenzo Fogliano, 2011. Hydroponic cultivation improves the nutritional quality of soybean and its products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60 (1), 250–255.

Melissie Clemmons Rumizen. 2002. *The Complete Idiot's Guide to Knowledge Management*. CWL Publishing USA.

Merle H. Jensen, 1996. *Hydroponics worldwide - a technical overview*, University of Arizona, School of Agriculture, Tucson, Arizona, USA.

Merle H. Jensen, 1999. *Hydroponics worldwide*. *ISHS Acta Horticulturae* 481.

Orsini, F., M. Fecondini, M. Mezzetti, N. Michelon, G. Gianquinto, 2010. Simplified hydroponic floating systems for vegetable production in Trujillo, Peru. *ISHS Acta Horticulturae* 881.

Pardossi, A., S. Landi, F. Malorgio, M. Ceccatelli, F. Tognoni, C.A. Campiotti, 1994. Studies on melon grown with NFT. *ISHS Acta Horticulturae* 361.

Passam, Harold, Dimitrios Savvas, 2002. *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications. pp 1-463.

Paton Charlie and Philip Davies. 2006. *The Seawater Greenhouse Cooling, Fresh Water and Fresh Produce from Seawater*, The 2nd International Conf. on Water Resources & Arid Environment.

Prommart Koohakan, Hideo Ikeda, Tanimnun Jeanaksorn, Motoaki Tojo, Shin-Ichi Kusakari, Kiyotsugu Okada, Suguru Sato, 2004. Evaluation of the indigenous microorganisms in soilless culture: occurrence and quantitative characteristics in the different growing systems. *Scientia Horticulturae* 101: 179–188.

Rakocy, J.E., M.P. Masser, TM Losordo - SRAC publication, 2006. SRAC Publication No. 454

Raviv, Michael and J.H. Lieth, 2008. *Soilless Culture: Theory and Practice: Theory and Practice*. Elsevier Science, 608

Ritter, E., B. Angulo, P. Riga, C. Herrán, J. Relloso, M. San Jose, 2001. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*. Volume 44, Issue 2, pp 127-135.

Sablania, S.S., M.F.A. Goosen, C. Patonb, W.H. Shayyac, H. Al-Hinaid, 2003. *Desalination* Volume 159, Issue 3, 5 November 2003, Pages 283–288.

Salehi, G.R., M. Ahmadpour, H. Khoshnazar, 2011. Modeling of the Seawater Greenhouse Systems, World Renewable Energy Congress-Sweden.

Samartzidis, C., Tala Awada, E. Maloupa, K. Radoglou, H.-Ib and A. Constantinidou, 2005. Rose productivity and physiological responses to different substrates for soil-less culture. *Scientia Horticulturae* 106, pp. 203–212

Schwarz, M. 1995. *Soilless culture management*. Springer, pp 197

Sornkanok Vimolmangkang, Worapan Sitthithaworn, Danai Vannavanich, Sunisa Keattikunpairoj, Chuda Chittasupho, 2010. Productivity and quality of volatile oil extracted from *Mentha spicata* and *M. arvensis* var. *piperascens* grown by a hydroponic system using the deep flow technique. *Journal of Natural Medicines*.

Stout, Meg. 2013. *The complete idiot's guide to Aquaponic Gardening*. Penguin Group (USA) Inc., 375 Hudson Street, New York pp 1-356.

Szmidt, R. 1997. Review of plant substrates for greenhouse cultivation in Arid and Saline areas. *ISHS Acta Horticulturae* 443.

Toshiki Asao, 2012. *A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, Edited by Toshiki Asao. InTech Croatia. 1-241.

Toufik Tahri, Bettahar Ahmed, Douani Mustapha, 2013. Influence of Operational Parameters in Mass Condensate Flux of Condenser of the Seawater Greenhouse. 16èmes Journées Internationales de Thermique (JITH 2013) Marrakech (Maroc), du 13 au 15 Novembre, 2013.

Vernieri, P., E. Borghesi, A. Ferrante and G. Magnani, 2004. Application of biostimulants in floating system for improving rocket quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.3 (3&4) : 86 – 88.

Villarroel, Morris and Rodriguez Alvariño, Jose Mario and Duran Altisent, Jose Maria, 2011. Aquaponics: integrating fish feeding rates and ion waste production for strawberry hydroponics. *Spanish Journal of Agricultural Research* volume 9.

Wright, Paul. 2004. *Totally Organic Hydroponics (Using the Sea of Green Process, Volume 2)* 1st edition pp1-86.

Yamasaki, A., A. Uragami, M. Yamada, 2002. Hydroponic forcing of tulip using a nutrient film technique. ISHS Acta Horticulturae 570.

Youssef Rouphael, Giuseppe Colla, 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. Scientia Horticulturae, Volume 105, Issue 2, Pages 177–195.

### **Ελληνική βιβλιογραφία**

Κώτσιρας Ι. Αναστάσιος. 2011. Υδροπονικές καλλιέργειες, Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος της Λαχανοκομίας IV. Σελ 1-98.

Μαυρογιαννόπουλος, Γ. 1994. Υδροπονικές καλλιέργειες και θρεπτικά διαλύματα. Αθήνα-Πειραιάς, Α.Σταμούλης, σελ: 1-115.

Μαυρογιαννόπουλος, Γ. 2006. Υδροπονικές καλλιέργειες, Β΄ έκδοση βελτιωμένη. Αθήνα-Πειραιάς, Α.Σταμούλης, σελ: 1- 278.

Πεπονάκης Κωνσταντίνος. 2012. Εισαγωγή στην υδροπονία, σελ 1-10.

Σάββας, Δ. 2011. Καλλιέργειες εκτός εδάφους. Αθήνα, 1-503.

Σαρρής Φ. Π. Η φυσιολογία των χημικών στοιχείων στο φυτό. Βιβλιογραφική έρευνα. σελ 1-130.

### **Πηγές από το διαδίκτυο**

[en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)

[www.smart-fertilizer.com/](http://www.smart-fertilizer.com/)