



ΕΠΑνΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

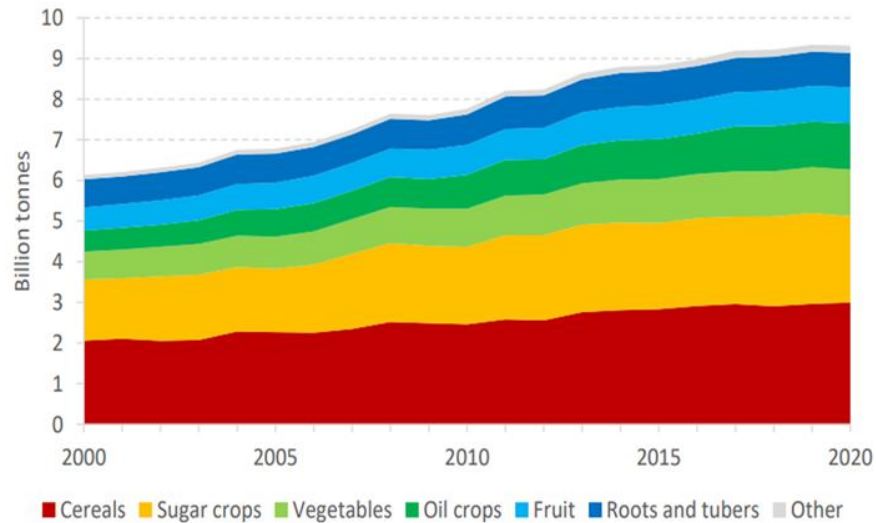
2^ο Newsletter VF2FARM - T2ΕΔΚ-02663

Σύγκριση Αποδοτικότητας Χρήσης Πόρων μεταξύ συμβατικής, υδροπονίας και κάθετης καλλιέργειας

Έρευνες δείχνουν ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει διπλασιαστεί από το 1960, ενώ διάφορες στατιστικές μελέτες προβλέπουν ότι θα αγγίξει τα 9,8 δισεκατομμύρια άτομα μέχρι το 2050 (Gorjian et al., 2021). Τα τελευταία 150 χρόνια, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξήθηκε κατά 8,7 δισεκατομμύρια (Heilig, 1996). Το 2016, ο παγκόσμιος λιμός αυξήθηκε και επηρέασε 815 εκατομμύρια ανθρώπους, επιβεβαιώνοντας την εύθραυστη κατάσταση της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας ενώ παράλληλα μέχρι το 2030 αναμένεται ότι η παγκόσμια ζήτηση τροφίμων θα έχει αυξηθεί έως και 50% (FAO, 2011). Από το 2005 έως το 2015, το ποσοστό υποσιτισμού μειώθηκε. Συγκεκριμένα, το ποσοστό υποσιτισμού το 2005 ήταν 14,5%, ενώ το 2015 έφτασε το 10,6%, δηλαδή υποσιτίστηκαν 947,2 εκατομμύρια και 785,4 εκατομμύρια άνθρωποι αντίστοιχα (Gorjian et al., 2021). Η ίδια έρευνα έδειξε ότι το ποσοστό υποσιτισμού παρέμεινε σχεδόν σταθερό από το 2015 έως το 2018, στο 10,6% (2015) και 10,8% (2018), παρότι ο αριθμός των υποσιτισμένων αυξήθηκε από 785,4 εκατομμύρια άτομα (2015) σε 821,6 εκατομμύρια άτομα (2018), μία αύξηση της τάξης του 4,6%, λόγω της συνεχιζόμενης αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού.

Η καλλιεργήσιμη γη αντιπροσωπεύει το 11% της παγκόσμιας έκτασης, περίπου 1,5 δισεκατομμύρια εκτάρια γης, τα οποία παράγουν παράγουν το 95 % της συνολικής παραγωγής τροφίμων, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην συμβατική γεωργία. Σύμφωνα με τον FAO, η παγκόσμια παραγωγή των κύριων καλλιεργειών αυξήθηκε κατά 52% από το 2000 έως το 2020, προσεγγίζοντας τους 9,3 δισεκατομμύρια τόνους το 2020 (Εικόνα 1). Αυτή η αύξηση αντιπροσωπεύει 3,2 δισεκατομμύρια τόνους περισσότερης τροφής από το έτος 2000. Περίπου με το ένα τρίτο της συνολικής παραγωγής, τα δημητριακά ήταν η κύρια ομάδα καλλιεργειών που παρήχθησαν το 2020, ακολουθούμενα από τις καλλιέργειες ζάχαρης (23%) και τις καλλιέργειες λαχανικών και ελαιούχων, από 12% εκάστη καλλιέργεια. Τα φρούτα, οι ρίζες και οι κόνδυλοι αντιπροσώπευαν το 9-10 % της συνολικής παραγωγής. Η παραγωγή ελαιούχων καλλιεργειών αυξήθηκε ταχύτατα από το 2000 έως το 2020, σημειώνοντας αύξηση 120%, από 0,5 δισεκατομμύρια τόνους σε 1,1 δισεκατομμύριο τόνους. Αντίθετα, η μικρότερη αύξηση καταγράφεται για τις ρίζες και τους κονδύλους, οι συγκεκριμένες καλλιέργειες αυξήθηκαν μόλις κατά 22% για αυτή την χρονική περίοδο. Από την άλλη μεριά, η συμβατική γεωργία περιλαμβάνει υψηλές εισροές φυτοφαρμάκων, ζιζανιοκτόνων, λιπασμάτων και χημικών φαρμάκων, που μολύνουν το έδαφος και προκαλούν σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (Chausali and Saxena, 2021).

Global production of primary crops



Εικόνα 1: Παγκόσμια παραγωγή κύριων καλλιεργειών 2000-2020 (<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>).

Η αυξανόμενη ζήτηση για καταλύματα και το φαινόμενο της αστικοποίησης λόγω της πληθυσμιακής αύξησης έχει αυξήσει την ανάγκη για καλλιεργήσιμη γη με σκοπό την παραγωγή τροφίμων (Nicholas, 2014). Αυτή η ανάγκη έχει προκύψει επειδή η απότομη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού έχει δημιουργήσει μια ταχεία αύξηση της ζήτησης για παραγωγή τροφίμων για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών των ανθρώπων (Sims et al., 2015).

Σε αντίθεση με την συμβατική γεωργία, η υδροπονία δεν απαιτεί χώμα για την ανάπτυξη των φυτών. Η υδροπονία είναι μια άνυδρη μορφή καλλιέργειας, όπου τα φυτά βυθίζονται σε ένα θρεπτικό διάλυμα ή σε διαφορετικούς τύπους υποστρωμάτων. Η υδροπονία έχει την δυνατότητα να αυξήσει την παραγωγή τροφής χωρίς την εκτεταμένη διάθεση χημικών ουσιών στο περιβάλλον (Velazquez-Gonzalez et al., 2022), λειτουργώντας σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα και παρέχοντας υψηλότερες ετήσιες αποδόσεις (Lages Barbosa et al., 2015), εξασφαλίζοντας λιγότερη χρήση γης από τη συμβατική γεωργία.

Οι επιπτώσεις της συμβατικής γεωργίας στο περιβάλλον

Η συμβατική γεωργία παρουσιάζει πολλά μειονεκτήματα τα οποία σχετίζονται με την εκτεταμένη χρήση πόρων, φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων και γης, τα οποία πρέπει να εντατικοποιηθούν με στόχο την αύξηση παραγωγής τροφίμων. Επί του παρόντος, το 38% της μη παγωμένης γης παγκοσμίως είναι αφιερωμένη στην φυτική παραγωγή, με σκοπό να καλύψει τις ανάγκες σε τρόφιμα, ενός συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού, προσθέτοντας περίπου 593 εκατομμύρια εκτάρια γης στην παγκόσμια καλλιεργήσιμη έκταση. Ωστόσο, μια τέτοια διαχείριση της εδαφικής έκτασης συμβάλει στην καταστροφή των οικοσυστημάτων και τη διατάραξη της περιβαλλοντικής ισορροπίας.

Όσον αφορά την περιβαλλοντική ισορροπία, η εντατική καλλιέργεια με υψηλές αποδόσεις θεωρείται υπεύθυνη για την απώλεια και την διάβρωση εδάφους (Su, 2019). Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί

μεταμόρφωση του φυσικού τοπίου και σημαντική μείωση της καλλιεργήσιμης γης λόγω της διάβρωσης (Cortada et al., 2018). Ως αποτέλεσμα, η αρόσιμη γη μπορεί να βρίσκεται σε περιοχές που δεν είναι κατάλληλες για την καλλιέργεια φρούτων και λαχανικών, όπως αυτές που βρίσκονται κοντά σε βιομηχανικές περιοχές (Kicińska and Wikar, 2021), γεγονός που οδηγεί σε χαμηλής ποιότητας γεωργικών προϊόντων. Ένας επιπλέον κίνδυνος που συνδέεται με την καλλιέργεια του εδάφους είναι η παρουσία ζιζανίων, σημαντικός παράγοντας που οδηγεί σε μείωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών (Ezzahoui et al., 2021).

Η συμβατική γεωργία, εκτός από την ανισορροπία που δημιουργεί στην βιοποικιλότητα, είναι υπεύθυνη και για το φαινόμενο της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Tilman et al., 2002). Ο αγροτικός τομέας θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 2°C με τον περιορισμό των εκπομπών του θερμοκηπίου, κυρίως μέσω της διαχείρισης της καλλιεργήσιμης γης. Η γεωργία από μόνη της ευθύνεται για το 50% και το 60% των παγκόσμιων ανθρωπογενών εκπομπών N₂O και CH₄, αντίστοιχα, και το έδαφος είναι μία από τις κύριες πηγές εκπομπών. Επομένως, η διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας είναι απαραίτητη και θεωρείται ο κορυφαίος δείκτης για μία βιώσιμη γεωργία και ανάπτυξη.

Τα τελευταία χρόνια, τα γεωργικά συστήματα έχουν υποστεί αρκετές αλλαγές που σχετίζονται όχι μόνο με τον εξοπλισμό και τη χρήση τροποποιημένων σπόρων, αλλά και την εκτεταμένη χρήση φυτοφαρμάκων και ενισχυτικών, η σύνθεση των οποίων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα ορυκτά και συνεπώς τους φυσικούς πόρους. Ως αποτέλεσμα, τα φυτοφάρμακα, τα λιπάσματα, η απελευθέρωση χημικών αποβλήτων και ρύπων, ευθύνονται για την υποβάθμιση, τη διάβρωση και τη μόλυνση του εδάφους και του νερού. Όσον αφορά στους φυσικούς πόρους και το νερό, η καλλιέργεια του εδάφους απαιτεί νερό υψηλής ποιότητας και φυσικούς πόρους υψηλής ποσότητας (Bakhtar et al., 2018).

Οι επιπτώσεις της συμβατικής γεωργίας στους υδάτινους πόρους

Παγκοσμίως πολλές χώρες με μεγάλο πληθυσμό δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό. Ο συνεχιζόμενος αυξανόμενος πληθυσμός και η μετακίνησή του στα μεγάλα αστικά κέντρα έχουν μειώσει κατά πολύ τις φυσικές δεξαμενές γλυκού νερού και έχουν δημιουργήσει μεγάλη ποσότητα λυμάτων (Yadav et al., 2020). Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών, σε μία επίσημη έκθεση του αναφέρει ότι οι χώρες υψηλού εισοδήματος επεξεργάζονται περίπου το 70% των λυμάτων τους, οι χώρες ανώτερου του μεσαίου εισοδήματος σχεδόν το 38%, οι χώρες χαμηλότερου του μεσαίου εισοδήματος σχεδόν το 28% και οι χώρες χαμηλού εισοδήματος σχεδόν το 8% (Connor, 2017). Το γεγονός αυτό ενδέχεται να έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση λειψυδρίας σε πολλές χώρες έως το 2025, επηρεάζοντας σχεδόν 1,8 δισεκατομμύρια ανθρώπους.

Επιπλέον, το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού θα ζει σε περιοχές όπου η παροχή νερού θα είναι ελλιπής μέχρι το 2025. Αυτό προκαλεί μεγάλη ανησυχία και ενισχύει την ανάγκη για προγράμματα ανακύκλωσης νερού κυρίως στον αγροτικό τομέα, όπου θεωρείται ο τομέας που καταναλώνει τις μεγαλύτερες ποσότητες γλυκού νερού. Περίπου το 70% του γλυκού νερού χρησιμοποιείται στην γεωργία για την άρδευση (McDaniel et al., 2017). Σύμφωνα με στοιχεία του FAO (Steduto et al., 2017), το 30-40% των τροφίμων στον κόσμο προέρχεται από αρδευόμενες εκτάσεις που αποτελούν μόνο το 17% της συνολικής καλλιεργούμενης γης. Η γεωργία είναι ο κύριος καταναλωτής νερού, με τον βιομηχανικό τομέα να βρίσκεται δεύτερος, ακολουθούμενος από την οικιακή και ψυχαγωγική χρήση (Sathaiiah and

Chandrasekaran, 2020). Από την άλλη πλευρά, η υδροπονία εξοικονομεί έως και 95% του νερού άρδευσης σε σύγκριση με τη συμβατική γεωργία. Στην περίπτωση της υδροπονίας που εφαρμόζεται ως μέρος ενός κλειστού συστήματος, η κατανάλωση νερού και η παροχή θρεπτικών συστατικών μειώνονται. Μια μελέτη για την απόδοση του μαρουλιού που συνέκρινε την υδροπονία με τη συμβατική γεωργία έδειξε ότι οι απαιτήσεις σε νερό ήταν $20 \pm 3,8$ L/kg/έτος και 250 ± 25 L/kg/έτος, αντίστοιχα, για αυτήν την καλλιέργεια (Lages Barbosa et al., 2015).

Σύμφωνα με μία πρόσφατη έρευνα (Fitton et al., 2019), το 11% της παγκόσμιας αγροτικής γης και το 10% των παγκόσμιων βοσκοτόπων επηρεάζονται από τη λειψυδρία λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η αυξανόμενη ζήτηση για νερό στους γεωργικούς και βιομηχανικούς τομείς συμβάλλει σε μια παγκόσμια κρίση λειψυδρίας. Στο μέλλον, η διαθεσιμότητα νερού για τη γεωργία θα απειληθεί από την αυξανόμενη οικιακή και βιομηχανική ζήτηση και η χρήση νερού για άρδευση σε 45 χώρες, που αντιπροσωπεύουν το 83% του παγκόσμιου πληθυσμού, θα έχει αυξηθεί κατά 22% από το 1995 έως το 2025 (Sathaiah and Chandrasekaran, 2020).

Υδροπονία

Η υδροπονία αναφέρεται στην καλλιέργεια φυτών χωρίς έδαφος. Πιο συγκεκριμένα, η υδροπονία αναφέρεται στην άνυδρη ανάπτυξη των φυτών που χρησιμοποιούν ένα μείγμα νερού και ενός θρεπτικού διαλύματος απόλυτα προσαρμοσμένου στις ανάγκες ενός φυτού. Στην υδροπονική καλλιέργεια, η παροχή θρεπτικών στοιχείων στο ριζικό σύστημα ενός φυτού δεν παρέχεται μέσω του εδάφους αλλά εισάγεται μέσω του νερού. Σε αυτή τη μέθοδο καλλιέργειας, το νερό χρησιμοποιείται ως διαλύτης για την παροχή θρεπτικών ουσιών. Συνεπώς, η υδροπονική μέθοδος χρησιμοποιεί θρεπτικά διαλύματα που περιέχουν νερό και θρεπτικά συστατικά.

Τα υδροπονικά συστήματα είναι βιομηχανοποιημένα και αυτοματοποιημένα συστήματα, τα οποία μπορούν να αυξήσουν την παραγωγή τροφής τηρώντας τις απαιτήσεις για οικολογική ανάπτυξη και ισορροπία, καθώς βασίζονται σε εγκαταστάσεις οικολογικής προστασίας και περιβαλλοντικής βελτίωσης, ενισχύοντας την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη (Zhang et al., 2019). Είναι μια συνδυασμένη μέθοδος καλλιέργειας που δίνει μια αποτελεσματική λύση στα προβλήματα της συμβατικής γεωργίας. Η εκβιομηχάνιση και ο αυτοματισμός που προσφέρει ο εξοπλισμός τους λειτουργούν θετικά στην αύξηση της παραγωγικότητας δημιουργώντας ελεγχόμενες συνθήκες για την εισαγωγή των απαιτούμενων θρεπτικών συστατικών σε ποιότητα και ποσότητα, καλύπτοντας με ακρίβεια τις ανάγκες κάθε φυτού. Επιπλέον, συμβάλλουν στην περιορισμένη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, μειώνοντας τους ρύπους, τη μόλυνση του εδάφους και των υδάτων, δημιουργώντας προϊόντα υψηλής ποιότητας και θρεπτικής αξίας. Η ελεγχόμενη χρήση του νερού καθιστά την υδροπονία ιδανική λύση όχι μόνο για άνυδρες περιοχές αλλά και για τη μείωση της κατανάλωσης νερού γενικότερα, παρουσιάζοντας μια μέθοδο καλλιέργειας που ανταποκρίνεται στο πρόβλημα της υπερβολικής κατανάλωσης του γλυκού νερού από τον αγροτικό τομέα.

Πλεονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας

Πολλές χώρες έχουν υιοθετήσει συστήματα υδροπονικής καλλιέργειας για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες τους, ανάμεσά τους η Βραζιλία, η Λατινική Αμερική, και το Μεξικό, οι οποίες κατέχουν τις πρώτες θέσεις (Croft et al., 2017). Η υδροπονία ως μέθοδος παραγωγής είναι προηγμένη και προωθεί την καλλιέργεια μεγάλης κλίμακας, απουσία εδάφους, διασφαλίζοντας την αυξημένη παραγωγή πολλών καλλιεργειών με σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις μέσω κατακόρυφα συσσωρευμένων δίσκων, που έχουν ως αποτέλεσμα την εκμετάλλευση περισσότερου χώρου. Ο ρυθμός ανάπτυξης ενός φυτού στην υδροπονική καλλιέργεια είναι 30-50% ταχύτερος από ό,τι στην καλλιέργεια στο έδαφος (Joshi and Joshi, 2018). Για παράδειγμα, ο ρυθμός ανάπτυξης του μαρουλιού μέσω υδροπονίας είναι έντεκα φορές υψηλότερος από ό,τι μέσω της συμβατικής καλλιέργειας (Lages Barbosa et al., 2015). Η παραγωγή τροφίμων μέσω υδροπονικών αυξάνεται παγκοσμίως όλο και περισσότερο εξασφαλίζοντας υψηλότερες ποσότητες σε συντομότερο κύκλο καλλιέργειας και προϊόντα υψηλής ποιότητας, υψηλής θρεπτικής αξίας.

Η μέθοδος υδροπονικής καλλιέργειας είναι ευέλικτη και υπάρχουν ευκαιρίες βελτίωσής της χρησιμοποιώντας απλουστευμένα μοντέλα. Ένα τέτοιο απλουστευμένο μοντέλο παρουσίασαν ο Bradley και ο Magulanda (2000), όπου απαιτούσε μόλις το 25% της έκτασης σε σχέση με μία συμβατική καλλιέργεια εδάφους για άμεση μείωση της πείνας. Οι μεγάλες καλλιεργητικές εκτάσεις θεωρούνται μειονέκτημα των συμβατικών καλλιεργειών (Lages Barbosa et al., 2015). Ο συνδυασμός αυτόματης λίπανσης και αυτόματου ελέγχου του εδάφους αντιπροσωπεύει ένα πλεονέκτημα της υδροπονίας, επειδή εξασφαλίζει ένα καθαρό περιβάλλον φύτευσης και εξοικονομεί χώρο λόγω της κάθετης παραγωγής πολλαπλών στρωμάτων (Wada, 2019). Αυτό επιτρέπει καλύτερη απόδοση με τη μικρότερη δυνατή χρήση γης (Baddadi, et al., 2019). Οι μέθοδοι υδροπονικής καλλιέργειας χρησιμοποιούν 10% λιγότερη γη και μπορούν να παράγουν έντεκα φορές υψηλότερες αποδόσεις από τις συμβατικές μεθόδους καλλιέργειας (Lages Barbosa et al., 2015). Η υδροπονία είναι σημαντική για τη γεωργία παγκοσμίως, ως ευκαιρία για καλλιέργεια σε περιοχές χωρίς πρόσβαση στο έδαφος. Ως εκ τούτου, εφαρμόζεται σε περιοχές με αντίξοες κλιματικές συνθήκες και έλλειψη καλλιεργήσιμης γης, παράγοντας τροφή χωρίς έδαφος (Bakhtar et al., 2018). Αυτά τα χαρακτηριστικά και τα οφέλη καθιστούν την υδροπονία βιώσιμη για αστικές περιοχές.

Η υδροπονική καλλιέργεια είναι διαδεδομένη στον σύγχρονο γεωργικό κόσμο ως μια καθαρή και εύκολη μέθοδος σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς τύπους καλλιέργειας (Ezzahoui, et al., 2021). Η απουσία χώματος καθιστά τις καλλιέργειες αρκετά καθαρές, αφαιρώντας την ανάγκη για πλύσιμο. Ταυτόχρονα, αυτό το γεωργικό σύστημα αντιμετωπίζει χαμηλό κίνδυνο μόλυνσης. Το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να ελέγξει αποτελεσματικά τη χρήση νερού, λιπασμάτων και χημικών ουσιών, οι οποίες εφαρμόζονται για την καταπολέμηση ασθενειών και παρασίτων (Baddadi, et al., 2019). Από την άλλη πλευρά, η συμβατική γεωργία χρησιμοποιεί εκτεταμένα φυτοφάρμακα και θρεπτικά συστατικά, κάτι που είναι ένα επιπλέον μειονέκτημα των συμβατικών καλλιεργειών (Lages Barbosa et al., 2015). Ως εκ τούτου, η υδροπονία είναι ασφαλέστερη από την καλλιέργεια ανοιχτού αγρού επειδή μπορεί να εφαρμόσει φυσικά εμπόδια έναντι συγκεκριμένων βακτηριακών παραγόντων και να μειώσει τους παράγοντες μόλυνσης (Ogozco et al., 2008). Τα υδροπονικά προϊόντα καλλιεργούνται χωρίς φυτοφάρμακα, ωθώντας τους καταναλωτές να τα εμπιστεύονται περισσότερο και να είναι πρόθυμοι να ξοδέψουν περισσότερα χρήματα για την απόκτησή τους, δημιουργώντας έτσι επισιτιστική ασφάλεια.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος συνοψίζονται στον καλύτερο έλεγχο της διατροφής των φυτών, στην αποτελεσματικότερη χρήση του χώρου καθώς και στη δυνατότητα μείωσης της εφαρμογής λιπασμάτων. Η υδροπονία υποστηρίζει καινοτόμες, βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον καλλιέργειες, παρουσιάζοντας χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και χαμηλότερες εκπομπές

αερίων του θερμοκηπίου (Baddadi, et al., 2019). Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα ποσοστά ρύπανσης είναι χαμηλότερα από τα ποσοστά διάθεσης λυμάτων (Grewal et al., 2011). Σύμφωνα με τους Martinez-Mate et al., (2018), οι εκπομπές αερίων από καλλιέργειες εδάφους και υδροπονικές καλλιέργειες είναι 0,23 kg CO₂ και 0,11 kg CO₂ αντίστοιχα.

Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων θεωρείται επίσης εξαιρετικά σημαντική για την προστασία του περιβάλλοντος και την ισορροπία, καθώς η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων μειώνει το φορτίο ρύπανσης σε ποταμούς, υπόγεια ύδατα και έδαφος και παρέχει αξιόπιστη παροχή νερού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η ανακύκλωση του νερού στον γεωργικό τομέα απαιτεί επαρκείς και οικονομικά αποδοτικές προσεγγίσεις (Egbuikwem et al., 2020). Στην υδροπονία, τα επεξεργασμένα λύματα και τα οικιακά λύματα, ως θρεπτικό μέσο, είναι μια βιώσιμη λύση (Sutar et al., 2018). Η εξοικονόμηση και η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του νερού θεωρούνται ζωτικά χαρακτηριστικά και οφέλη της υδροπονικής καλλιέργειας. Μια μελέτη (Grewal et al., 2011) έδειξε ότι καλλιέργειες όπως το αγγούρι και η ντομάτα μπορούν να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας το νερό αποστράγγισης καλύπτοντας τις ανάγκες των καλλιεργειών έως και 33%.

Συνεπώς, η υδροπονία θεωρείται πιο αποτελεσματική στη βελτιστοποίηση και την εκμετάλλευση των πόρων από την καλλιέργεια του εδάφους (Gwynn-Jones et al., 2018). Για παράδειγμα, η κατανάλωση νερού είναι επτά φορές χαμηλότερη από ό,τι στη συμβατική παραγωγή θερμοκηπίου και τέσσερις φορές χαμηλότερη από ό,τι στην καλλιέργεια σε ανοιχτό αγρό (Romeo et al., 2018). Ως αποτέλεσμα, η υδροπονία είναι αυτοβιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον.

Μειονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας

Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα της υδροπονίας, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα που σχετίζονται με την υψηλή αρχική επένδυση που απαιτείται, πράγμα που σημαίνει ότι οι ενδιαφερόμενοι αγρότες θα πρέπει να είναι προσεκτικοί στην αρχή (Souza, et al., 2019). Η αρχική επένδυση σε ένα υδροπονικό σύστημα είναι σχετικά υψηλή λόγω του κόστους των απαιτούμενων πρώτων υλών και του εξοπλισμού για τη λειτουργία του συστήματος. Οι μεγάλης κλίμακας υδροπονικές επιχειρήσεις απαιτούν προσωπικό με βαθιά γνώση της γεωργίας, της φυσιολογίας των φυτών, της χημείας, καθώς επίσης και εξελιγμένα συστήματα ελέγχου και πληροφοριών. Επιπλέον, οι ετήσιες απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας ανέρχονται στο 95,3% της συνολικής ενέργειας, όπως είναι η διατήρηση της κατάλληλης θερμοκρασίας, ενώ το 4,7% της συνολικής ενέργειας αφιερώνεται στις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας (Vourdoubas, 2015). Έτσι, η αρχική υψηλή επένδυση, η υψηλή ενεργειακή δαπάνη, οι απαιτήσεις για ειδικές τεχνικές γνώσεις και η ανάγκη για συνεχή βοήθεια και παρακολούθηση μπορεί να εμποδίσουν την υιοθέτηση αυτής της μεθόδου καλλιέργειας (Munoz and Joseph, 2010).

Κάθετη γεωργία – Vertical Farming

Η ταχεία αστικοποίηση και η εκβιομηχάνιση μειώνουν την καλλιεργήσιμη γη, αλλά μειώνουν επίσης και την αποτελεσματικότητα των παραδοσιακών μεθόδων καλλιέργειας, οι οποίες έχουν ένα ευρύ φάσμα δυσμενών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Οι τεχνικές για την καλλιέργεια επαρκούς τροφής πρέπει να

βελτιωθούν προκειμένου να τροφοδοτηθεί ο αυξανόμενος πληθυσμός. Η αειφόρος παραγωγή και η διατήρηση των χερσαίων και υδάτινων πόρων μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση τροποποιημένων μέσων ανάπτυξης. Η γεωργία χωρίς έδαφος θα μπορούσε να ξεκινήσει με επιτυχία και να θεωρηθεί ως εναλλακτική λύση για την καλλιέργεια φυτών, καλλιεργειών ή λαχανικών (Despommier, 2013).

Ταυτόχρονα όμως, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, οπότε αυξάνεται και η ανάγκη για επισιτιστική ασφάλεια. Το γεγονός αυτό ενισχύει σημαντικά την ανάπτυξη και την εξέλιξη της κάθετης γεωργίας (Thomaier et al., 2015). Η κάθετη γεωργία περιλαμβάνει την καλλιέργεια φυτών σε κατακόρυφη διάταξη σε ειδικές κατασκευές χωρίς την παρουσία εδάφους, γεγονός που εξοικονομεί αρκετό νερό, εξαλείφει την ανάγκη για χώμα και ενισχύοντας έτσι την αποδοτικότητα της χρήσης γης για τη φυτική παραγωγή (Eigenbrod and Gruda, 2014). Δεν υπάρχουν καιρικές συνθήκες ή άλλοι φυσικοί παράγοντες που μπορούν να σταματήσουν την παραγωγή τροφίμων σε μια κάθετη φάσμα, καθώς η καλλιέργεια φυτών πραγματοποιείται σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα με συνεχή παρακολούθηση και χειρισμό των περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως είναι το φως, η υγρασία και η θερμοκρασία, καθιστώντας με τον τρόπο αυτό, δυνατή την παραγωγή τροφίμων και σε εσωτερικούς χώρους. Επομένως, η έννοια της κάθετης γεωργίας έχει συγκεντρώσει ένα ευρύ φάσμα ειδικών της ρομποτικής και της υδροπονίας.

Σε αντίθεση με την συμβατική γεωργία, η οποία ορίζεται ως μεγάλης κλίμακας υπαίθρια γεωργία που χρησιμοποιεί συστήματα που περιλαμβάνουν μαζική άρδευση, εντατική άροση, καθώς και απεριόριστη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, καθώς και ζιζανιοκτόνων, το κάθετο αγρόκτημα ενθαρρύνει πολλαπλές βιώσιμες γεωργικές πρακτικές (Healy and Rosenberg, 2013). Αυτά τα συστήματα ανάπτυξης επεκτείνουν τη φυτική παραγωγή στην κάθετη διάσταση για να παράγουν υψηλότερη απόδοση χρησιμοποιώντας μικρότερη επιφάνεια δαπέδου (Resh 2022). Για παράδειγμα, έχουν αναφερθεί αυξήσεις απόδοσης 129–200% στο Vertical Farming και αυξημένα κέρδη από 3,6 έως 5,5 δολαρίων ·m² σε σύγκριση με τη συμβατική καλλιέργεια εδάφους (Liu et al., 2004). Άλλες έρευνες έχουν δείξει ότι ένα υδροπονικό σύστημα μπορεί να παράγει έως και δέκα φορές περισσότερη τροφή σε σχέση με ένα σύστημα ανοιχτού αγρού, ενώ παράλληλα η κάθετη γεωργία, λόγω ότι εκμεταλλεύεται καλύτερα την διάταξη του χώρου με τις ειδικές κάθετες κατασκευές, μπορεί να παρουσιάσει δεκατρείς φορές μεγαλύτερη απόδοση ανά τετραγωνικό σε σχέση με ένα υδροπονικό οριζόντιο σύστημα (Dutta et., 2023; Toulaiatos et al., 2016)

Η αειφόρος ανάπτυξη των τροφίμων στις αστικές περιοχές θα μπορούσε να ωφεληθεί σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση κάθετων αγροκτημάτων. Όσον αφορά στην περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική βιωσιμότητα, η κάθετη γεωργία έχει πολλά οφέλη σε σχέση με την συμβατική γεωργία. Η γεωργία με βάση το έδαφος αμφισβητείται σε μεγάλο βαθμό από τις νέες τεχνικές καλλιέργειας υψηλής τεχνολογίας, όπως είναι η υδροπονία και η κάθετη καλλιέργεια. Οι περιοχές με περιορισμένο καλλιεργήσιμο έδαφος και νερό μπορούν να επωφεληθούν πολύ από την κάθετη γεωργία, η οποία γίνεται όλο και πιο δημοφιλής. Η υδροπονία χαμηλού κόστους και άλλες τεχνολογίες κάθετης γεωργίας, πρέπει να αναπτυχθούν σε μια προσπάθεια να ενισχυθεί η εμπορική διάθεση της κάθετης γεωργίας, με παράλληλη μείωση του κόστους εκκίνησης και λειτουργίας. Ωστόσο, παρά το γεγονός της αποδοτικότητας των συστημάτων αυτών στην παραγωγή τροφής, υπάρχουν και ορισμένες μεταβλητές που μπορούν να επηρεάσουν την επιτυχία της κάθετης γεωργίας, όπως είναι το μέγεθος του πληθυσμού, η τεχνολογική πρόοδος, τα πολιτισμικά και διατροφικά πρότυπα, καθώς και η παροχή ενέργειας.

Βιβλιογραφία

- Baddadi, S., Bouadila, S., Ghorbel, W., and Guizani, A. (2019). Autonomous greenhouse microclimate through hydroponic design and refurbished thermal energy by phase change material. *Journal of Cleaner Production*, 211, 360-379.
- Bakhtar, N., Chhabria, V., Chougale, I., Vidhrani, H., and Hande, R. (2018). IoT based hydroponic farm. In 2018 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) (pp. 205-209). IEEE.
- Bakhtar, N., Chhabria, V., Chougale, I., Vidhrani, H., and Hande, R. (2018). IoT based hydroponic farm. In 2018 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT) (pp. 205-209). IEEE.
- Bradley, P., and Marulanda, C. (2000). Simplified hydroponics to reduce global hunger. In *World Congress on Soilless Culture: Agriculture in the Coming Millennium* 554 (pp. 289-296).
- Chausali, N., and Saxena, J. (2021). Conventional versus organic farming: Nutrient status. In *Advances in Organic Farming* (pp. 241-254). Woodhead Publishing.
- Connor, R. (2017). The United Nations world water development report 2017. wastewater: the untapped resource.
- Cortada, U., Hidalgo, M. C., Martínez, J., and Rey, J. (2018). Impact in soils caused by metal (loid) s in lead metallurgy. The case of La Cruz Smelter (Southern Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 190, 302-313.
- Croft, M. M., Hallett, S. G., and Marshall, M. I. (2017). Hydroponic production of vegetable Amaranth (*Amaranthus cruentus*) for improving nutritional security and economic viability in Kenya. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32(6), 552-561.
- Despommier, D. (2013). Farming up the city: The rise of urban vertical farms. *Trends in biotechnology*, 31(7), 388-389.
- Dutta, M., Gupta, D., Sahu, S., Limkar, S., Singh, P., Mishra, A., and Mutlu, R. (2023). Evaluation of Growth Responses of Lettuce and Energy Efficiency of the Substrate and Smart Hydroponics Cropping System. *Sensors*, 23(4), 1875.
- Egbuikwem, P. N., Mierzwa, J. C., and Saroj, D. P. (2020). Evaluation of aerobic biological process with post-ozonation for treatment of mixed industrial and domestic wastewater for potential reuse in agriculture. *Bioresource technology*, 318, 124200.
- Eigenbrod, C., and Gruda, N. (2015). Urban vegetable for food security in cities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 483-498.
- Ezzahoui, I., Abdelouahid, R. A., Taji, K., and Marzak, A. (2021). Hydroponic and Aquaponic Farming: Comparative Study Based on Internet of things IoT technologies. *Procedia Computer Science*, 191, 499-504.
- Ezzahoui, I., Abdelouahid, R. A., Taji, K., and Marzak, A. (2021). Hydroponic and Aquaponic Farming: Comparative Study Based on Internet of things IoT technologies. *Procedia Computer Science*, 191, 499-504.

Fitton, N., Alexander, P., Arnell, N., Bajzelj, B., Calvin, K., Doelman, J., and Smith, P. (2019). The vulnerabilities of agricultural land and food production to future water scarcity. *Global Environmental Change*, 58, 101944.

Food and Agriculture Organization. Energy-smart Food for People and Climate: Issue Paper. 2011. Available online: <https://www.fao.org/3/i2454e/i2454e.pdf>.

Gorjian, S., Calise, F., Kant, K., Ahamed, M. S., Copertaro, B., Najafi, G., Zhang, X., Aghaei, M., and Shamshiri, R. R. (2021). A review on opportunities for implementation of solar energy technologies in agricultural greenhouses. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124807.

Grewal, H. S., Maheshwari, B., and Parks, S. E. (2011). Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: An Australian case study. *Agricultural Water Management*, 98(5), 841-846.

Grewal, H. S., Maheshwari, B., and Parks, S. E. (2011). Water and nutrient use efficiency of a low-cost hydroponic greenhouse for a cucumber crop: An Australian case study. *Agricultural Water Management*, 98(5), 841-846.

Gwynn-Jones, D., Dunne, H., Donnison, I., Robson, P., Sanfratello, G. M., Schlarb-Ridley, B., and Convey, P. (2018). Can the optimisation of pop-up agriculture in remote communities help feed the world?. *Global food security*, 18, 35-43.

Healy, R. G., and Rosenberg, J. S. (2013). *Land use and the states*. Routledge.

Heilig, G. K. (1996). *World population prospects: analyzing the 1996 UN population projections*. IIASA LUC-Project. International Institute for Applied System, Analysis (IIASA), WP-96-146, December. Laxenburg, Austria.

Joshi, N., and Joshi, A. (2018). *Green Spaces: Create Your Own*, 1st ed.; Notion Press Inc.: Chennai, India.

Kicińska, A., and Wikar, J. (2021). Ecological risk associated with agricultural production in soils contaminated by the activities of the metal ore mining and processing industry-example from southern Poland. *Soil and Tillage Research*, 205, 104817.

Lages Barbosa, G., Almeida Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G., and Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International journal of environmental research and public health*, 12(6), 6879-6891.

Liu, W., Chen, D. K., and Liu, Z. X. (2004). High efficiency column culture system in China. In *International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys2004* 691 (pp. 495-500).

Martinez-Mate, M. A., Martin-Gorritz, B., Martínez-Alvarez, V., Soto-García, M., and Maestre-Valero, J. F. (2018). Hydroponic system and desalinated seawater as an alternative farm-productive proposal in water scarcity areas: Energy and greenhouse gas emissions analysis of lettuce production in southeast Spain. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1298-1310.

- McDaniel, R. L., Munster, C., and Nielsen-Gammon, J. (2017). Crop and location specific agricultural drought quantification: part III. Forecasting water stress and yield trends. *Transactions of the ASABE*, 60(3), 741-752.
- Munoz, H., and Joseph, J. (2010). *Hydroponics: Home-based vegetable production system*, inter-american institute for cooperation on agriculture (IICA).
- Nicholas, A. (2014). *Design, Construction, and Evaluation of a Vertical Hydroponic Tower*. Heredia BioResource and Agricultural Engineering, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA.
- Orozco, L., Rico-Romero, L., and Escartin, E. F. (2008). Microbiological profile of greenhouses in a farm producing hydroponic tomatoes. *Journal of Food Protection*, 71(1), 60-65.
- Resh, H. M. (2022). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC press.
- Romeo, D., Vea, E. B., and Thomsen, M. (2018). Environmental impacts of urban hydroponics in Europe: a case study in Lyon. *Procedia Cirp*, 69, 540-545.
- Sathaiah, M., and Chandrasekaran, M. (2020). A bio-physical and socio-economic impact analysis of using industrial treated wastewater in agriculture in Tamil Nadu, India. *Agricultural Water Management*, 241, 106394.
- Sims, R., Flammini, A., Puri, M., and Bracco, S. (2015). Opportunities for agri-food chains to become energy-smart. FAO USAID.
- Souza, S. V., Gimenes, R. M. T., and Binotto, E. (2019). Economic viability for deploying hydroponic system in emerging countries: A differentiated risk adjustment proposal. *Land Use Policy*, 83, 357-369.
- Steduto, P., Faurès, J. M., Hoogeveen, J., Winpenny, J., and Burke, J. (2012). *Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Su, Y., Li, C., Wang, K., Deng, J., Shahtahmassebi, A. R., Zhang, L., Ao, W., Guan, T., Pan, Y., and Gan, M. (2019). Quantifying the spatiotemporal dynamics and multi-aspect performance of non-grain production during 2000–2015 at a fine scale. *Ecological indicators*, 101, 410-419.
- Sutar, K. A., Wadkar, S., Gurav, K., Jadhav, S., and Turambekar, V. (2018). Study on use of waste water in hydroponic system instead of nutrient solution. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 6(3), 2035-2039.
- Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U. B., and Sawicka, M. (2015). Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(1), 43-54.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., and Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- Touliatos, D., Dodd, I. C., and McAinsh, M. (2016). Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. *Food and energy security*, 5(3), 184-191.

Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Barceinas-Sanchez, J. D. O., and Sosa-Savedra, J. C. (2022). A review on hydroponics and the technologies associated for medium-and small-scale operations. *Agriculture*, 12(5), 646.

Vourdoubas, J. (2015). Overview of heating greenhouses with renewable energy sources a case study in Crete-Greece. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 4(1), 70-76.

Wada, T. (2019). Theory and technology to control the nutrient solution of hydroponics. In *Plant Factory Using Artificial Light* (pp. 5-14). Elsevier.

Yadav, R. K., Chiranjeevi, P., and Patil, S. A. (2020). Integrated drip hydroponics-microbial fuel cell system for wastewater treatment and resource recovery. *Bioresource Technology Reports*, 9, 100392.

Zhang, L., Yang, J., Li, D., Liu, H., Xie, Y., Song, T., and Luo, S. (2019). Evaluation of the ecological civilization index of China based on the double benchmark progressive method. *Journal of Cleaner Production*, 222, 511-519.