الزراعة المائية: دراسة مرجعية

مؤيد علي المسيلماني*
عمار علي البلاسمه
كامل محمود

ملخص

أدى النمو الهائل للسكان في العالم إلى زيادة الطلب العالمي على الغذاء والتوسع في النشاط الزراعي مما زاد الضغط على موارد المياه والتربة المتاحة والتي هي محدودة أصلاً. سيصبح من المستحيل إطعام سكان العالم في المستقبل القريب باستخدام نظم الزراعة التقليدية ومن المهم تحسين وتطوير الطريقة التي ننتج بها غذائنا باستخدام تقنيات إنتاج أكثر تقدمًا ومن الضروري زيادة إنتاج الغذاء من الأراضي الزراعية الحالية باستخدام مدخلات أقل لتقليل الضغط على الموارد الطبيعية وبدون تقويض قدرتنا على الاستمرار في إنتاج المزيد من الغذاء. تمثل الزراعة المائية الحل الأمثل وهي صناعة متنامية لم تصل بعد إلى كامل إمكاناتها وتم استخدامها بنجاح في زراعة مجموعة متنوعة من المحاصيل مثل الخس والطماطم والخيار والورقيات والأزهار. في الزراعة المائية تزرع النباتات دون استخدام للتربة كوسط للنمو وتزود بالعناصر الغذائية من خلال المحاليل المغذية. من مزايا الزراعة بدون تربة الغلة العالية في مساحة محدودة وتوفير في المياه والأسمدة ويمكن أيضًا استخدامها في الأماكن التي يستحيل فيها القيام بأي نشاط زراعي أو المناطق التي تتميز بتدهور شديد للتربة. يمثل نهج الزراعة بدون تربة استجابة مواتية نحو زراعة أكثر صداقة للبيئة وأداة واعدة في مجال الغذاء الأمن. حاولنا من خلال هذه المقالة المرجعية شرح الزراعة المائية فوائدها، تاريخها، مكوناتها، أنواعها ومستقبلها.

الكلمات الدالة: الجفاف، أأمن الغذائيأ الزراعة الحديثة، الزراعة بدون تربة، المحلول المغذي، بيئات النمو.

* مركز غرانثام، جامعة شيفيلد، المملكة المتحدة

تاريخ تقديم البحث: 2021/7/15. تاريخ قبول البحث: 2021/12/29م .

© جميع حقوق النشر محفوظة لجامعة مؤتة، الكرك، المملكة الأردنية الهاشمية، 2023 م.

Hydroponics: review paper

Moaed Ali Al Meselmani *
m.almeselmani@sheffield.ac.uk
Ammar Ali Albalasmeh
Kamel Z Mahmoud

Abstract

The tremendous world population growth has led to an increase in the global demand for food and the expansion of agricultural activity, which has increased pressure on available water and soil resources, which are already limited. It will become impossible to feed the world's population in the near future using traditional farming systems and it is important to improve and develop the way we produce our food using more advanced production techniques. It has become imperative to increase food production from current farmland by using fewer inputs to reduce pressure on natural resources without undermining our capacity to produce more food. Hydroponics represents the ideal solution, it is a growing industry that has not yet reached its full potential and has been successfully used in cultivating a variety of crops such as lettuce, tomatoes, cucumbers, leafy greens, and flowers. In hydroponics, plants are grown without using soil as a growing medium and fertilizers provided through nutrient solutions. Advantages of soilless cultivation is its high yield in a limited area, saving water and fertilizers, and it can also be used in places where it is impossible to carry out any agricultural activity or areas characterized by severe soil degradation. The soilless farming approach represents an enabling response towards more environmentally friendly agriculture and a promising tool in the field of food security. In this review article we tried to explain soilless farming, its benefits, history, components, types, and future.

Key words: Drought, Food security, Modern agriculture, Soilless farming, Nutrient solution, Growing Media

* Grantham Centre, The University of Sheffield, United Kingdom.
Received: 15/7/2021. Accepted: 29/12/2021.
© All rights reserved to Mutah University, Karak, Hashemite Kingdom of Jordan, 2023.

مقدمة:

تواجه طرق الزراعة التقليدية مجموعة كبيرة من التحديات لتحقيق الأمن الغذائي، والتي تتمثل بالتغيرات المناخية، تدهور وتلوث التربة، نقص وشح مصادر المياه، وزيادة الطلب على الغذاء بشكل مستمر مع تزايد عدد سكان العالم (Mittal et al., 2020)، وهناك حاجة ملحة إلى مزيد من التقنيات المبتكرة لتلبية المتطلبات الغذائية المتزايدة، حيث يعد الأمن الغذائي أحد اهم التحديات في الألفية الجديدة (Sambo et al., 2019)، والذي لا يزال يمثل أولوية في جدول أعمال السياسات العالمية، حيث أن هناك حاجة لمزيد من الغذاء لإطعام التزايد الكبير والمستمر لسكان العالم، والذي من المتوقع أن يصل إلى ما يقرب من 9 مليارات بحلول عام 2050. لذلك هناك حاجة لزيادة إنتاج الغذاء بأكثر من 50٪ (Mittal et al., 2020) وهناك حاجة إلى 120 مليون هكتار إضافية لزيادة انتاجية المحاصيل بحلول عام 2030 لتغطية الحاجة المتزايدة للغذاء. ولكن المشكلة تكمن في أنه لا توجد أرض كافية للقيام بذلك (Ilango, 2017). هذا وتعد الأنشطة الزراعية المستهلك الرئيسي لموارد المياه في جميع أنحاء العالم، وتستخدم ما يقرب من 80٪ من الموارد المائية. حيث أن زيادة استهلاك المياه يمكن أن يتسبب في تدهور مصادر المياه، مما قد يعرض النظام الزراعي الحالي والأمن الغذائي العالمي لخطر كبير، ولن تستطيع طرق الزراعة التقليدية تلبية حاجة سكان العالم من الغذاء في المستقبل. ومن المرجح أن تؤدي التغيرات المناخية وزيادة التقلبات في هطول الأمطار والزيادات في تكرار حالات الجفاف والفيضانات إلى انخفاض الغلة بشكل عام. كما أن الاعتماد على توفر المياه في الممارسات الزراعية في عصر التغير المناخي الشديد يجعل هذا السيناريو أكثر تعقيدًا (Sambo et al., 2019). أن العديد من الممارسات الزراعية الحالية تلحق الضرر بالبيئة وهي مصدر رئيسي لغازات الدفيئة، ولقد أصبح من المهم جدًا زيادة إنتاج الغذاء بطرق تضع ضغطًا أقل على البيئة ولا تقوض قدرتنا على الاستمرار في إنتاج الغذاء في المستقبل. كما يجب اعتبار الاستدامة في الزراعة جزءًا لا يتجزأ وشرطًا مسبقًا للأمن الغذائي على المدى الطويل (Berry et al., 2015).

يُعدّ تحقيق الأمن الغذائي من الأولويات الرئيسية لبلدان المنطقة العربية ولن يكون من السهل تحقيقه مع تنامي عدد السكان والذي تجاوز الآن 360 مليون نسمة ومن المتوقع أن يتضاعف بحلول عام 2050 إذا ما استمرت معدلات النمو ذاتها. كما يشكّل تحقيق هذا الهدف تحدّياً رئيسياً في ظلّ المعوقات الطبيعية والاقتصادية والاجتماعية الكثيرة التي تواجه المنطقة، وأبرزها ندرة المياه التي يتوقّع أن تتفاقم بفعل التغيّرات المناخية وتناقص الأراضي الصالحة للزراعة وأنماط الإنتاج

والاستهلاك غير المستدامة وتدهور البيئة (Solh et al., 2017). ويتمثل التحدي الرئيسي الذي يواجه الأمن الغذائي في المنطقة العربية في ندرة الأراضي الصالحة للزراعة وجفاف المناخ وقلة مواردها المائية حيث أن متوسط موارد المياه العذبة المتجددة للفرد في المنطقة لا تمثل سوى عُشر المتوسط العالمي ومن المتوقع أن ينخفض توافر الموارد المائية بمقدار الثلث بحلول عام 2025 بسبب النمو السكاني والتغيرات المناخية، حيث تغطي الدول العربية 10% من إجمالي مساحة الأرض وهي موطن لـ 6٪ من سكان العالم ومع ذلك فهي تتلقى أقل من 2٪ من إمدادات المياه المتجددة في العالم (Solh et al., 2017).

ان تحسين حالة الأمن الغذائي في الدول العربية من خلال زيادة الإنتاج في الأراضي الصالحة للزراعة والمحدودة اصلا والمياه القليلة والمتضائلة هي مهمة صعبة. ومع ذلك توجد فرص لتعزيز نسبة الاكتفاء الذاتي من الغذاء من خلال تبني السياسات الصحيحة واستخدام التقنيات الزراعية الحديثة والمستدامة. وتفترض سيناريوهات تغير المناخ المستقبلي ضرورة استخدام التقنيات التي يمكنها إزالة غازات الاحتباس الحراري من الغلاف الجوي. هناك العديد من التقنيات الجديدة والاكثر كفاءة وفعالية التي يمكن أن تعزز الإنتاج وتعطي مرونة لأنظمة الإنتاج الزراعي وفي الوقت نفسه تساعد في الحفاظ على الموارد الطبيعية وحمايتها (Henry et al., 2020). لتحقيق الإنتاجية العالية وكفاءة استخدام الموارد، يمكن أن تكون تكنولوجيا الزراعة بدون تربة مفتاحاً للإنتاج المستدام لبعض المحاصيل في الوقت الحالي. حيث تواجه الممارسات الزراعية التقليدية العديد من التحديات، مما يعطي الزراعة بدون تربة الافضلية، ولا سيما في المناطق التي تتميز بتدهور شديد للتربة ومحدودية توافر المياه. علاوة على ذلك يمثل نهج الزراعة بدون تربة استجابة مواتية نحو زراعة أكثر صداقة للبيئة (Benke & Tomkin, 2017) واداة واعدة في ظل التحديات الحالية التي تواجه الامن الغذائي العالمي (Sambo et al., 2019).

الزراعة المائية (بدون تربة) – تعريف ولمحة تاريخية:

الزراعة بدون تربة يمكن تعريفها بأنها زراعة النباتات في محاليل تحتوي على كافة العناصر المغذية التي يحتاجها النبات ودون استخدام للتربة، بحيث تكون جذور النباتات مغمورة في محلول مغذٍ فقط/ أو في وسط غير التربة. تعتمد جميع انظمة الزراعة بدون تربة على المحلول المغذي لإيصال العناصر الأساسية للنباتات، كما تحتاج الجذور أيضًا إلى إمدادها بشكل مستمر ومتواصل بالأكسجين (Waiba et al., 2020; Agrawal et al., 2020). وقد استخدم البشر تقنية الزراعة

بدون تربة منذ آلاف السنين وأول مثال معروف للزراعة بدون تربة هو حدائق بابـــل المعلقة وحدائق الصين العائمة. وبالمثل فإن الكتابة الهيروغليفية المصرية القديمة التي يعود تاريخها إلى عدة مئات من الســـنين قبل الميلاد تصور نمو النباتات على طـــول نهر النيل بدون تربـــة (Dubey & Nain, 2020). وقد بينت هذه المحاولات بداية الاهتمام بتطوير طرق أكثر تقدمًا لزراعة المحاصيل. ان أول سبق علمي مسجل لاكتشاف متطلبات نمو النبات كان في عام 1600 عندما أظهر البلجيكي Jan Van Helmont أن النباتات تحصل على العناصر من الماء. أما Robert Boyle في عام 1666 فقد وصف التجارب الأولى على زراعة النباتات في المـــاء. وفي عام 1699 قام John Woodward بزراعة نباتات النعناع بدون تربة. كما تم تحضـــير المحاليل المغذية للنباتات المزروعة بدون تربة بشـــكل متقن ودقيق لأول مرة في ستينيات القرن التاســـع عشـــر من قبل Sachs & Knop واللذان قامـــا بنشـــر أول تركيبـــة لمحلول مغذ (Hoagland & Arnon, 1938). في عشرينيـــات وثلاثينيات القرن العشـــرين وجد William Frederick أن النباتات لا يمكنها امتصاص العناصر المغذية إلا عندما تكون في صورة سائلة وفي عام 1929 تم أنشاء أول نظام تجاري للزراعة المائية، كما أســـس أول مرجع حديث للزراعة المائية وبدأ في الترويج لفكرة أن النباتات يمكن زراعتها في محلول مغذي (Shrestha & Dunn, 2013). لم يتطور الاهتمام بالتطبيق العملي للزراعة المائية واستخدام المحاليل المغذية الكاملة لإنتاج المحاصيل على نطاق واسع حتى عام 1925 تقريبًا، عندما زاد الاهتمام بالزراعة في البيوت البلاستيكية والصوب الزجاجية. حيث كان لابد من استبدال تربة الصوب بشكل متكرر للتغلب على المشاكل المتعلقة ببنية وتركيبة التربة والخصوبة والآفات. وللتخفيف من كل هذه المشاكل، لجأ الباحثون إلى طرق الزراعة في المحاليـــل المغذية (Withrow & Withrow, 1948). أحد الاستخدامات التجارية الأولى للزراعة بدون تربة تمت على قطعة صغيرة من الأرض في المحيط الهادئ خلال الحرب العالمية الثانية بهدف تزويد القوات المتمركزة في جزر غير صالحة للزراعة في المحيط الهادئ بالمنتجات الطازجة. بعد الحرب العالمية الثانية استمر الجيش في استخدام الزراعة بدون تربة لإنتاج الغذاء للقوات المتمركزة في الخارج(Khan et al., 2020).

بعد الحرب قامت جامعة بيردو بنشـــر عدد من الدوريات حول الزراعة بدون تربة (Withrow & Withrow, 1948)، والتي قامت بوصف التركيب الدقيق للمحلول المغذي. بدأ استخدام الصوب الزراعية في التوسع بشكل كبير في أوروبا وآسيا خلال الخمسينيات والستينيات من

القرن الماضي وطور Allen Cooper (Cooper, 1988) تقنية الغشاء المغذي في الستينيات. ومع التطور والتوسع في صناعة المواد البلاستيكية في السبعينيات أصبحت الزراعة بدون تربة طريقة قابلة للتطبيق للأغراض الزراعية على نطاق واسع. في العقود الأخيرة ظهرت العديد من الشركات على مستوى العالم والتي تعمل على نطاق تجاري واسع ومكثف على الزراعة بدون تربة. علاوة على ذلك أجرت وكالة ناسا أبحاث مكثفة حول الزراعة بدون تربة(El-Kazzaz & El-Kazzaz, 2017). الدول الرائدة حاليا في تكنولوجيا الزراعة بدون تربة هي هولندا وأستراليا وفرنسا والمملكة المتحدة وكندا والولايات المتحدة الأمريكية، حيث يتم استخدامها في زراعة مجموعة متنوعة من المحاصيل مثل الخس والطماطم والخيار والفلفل والورقيات وأنواع كثيرة من الزهور (Cifuentes-Torres et al., 2020).

ميزات وفوائد الزراعة بدون تربة (المائية):

تلغي تقنية الزراعة بدون تربة الحاجة إلى الأراضي الزراعية ويمكن استخدامها في الأماكن التي لا تتوفر فيها تربة صالحة للزراعة وفي المناطق التي يمثل فيها الإجهاد البيئي (البرد والحرارة والصحاري وما إلى ذلك) مشكلة رئيسية (Polycarpou et al., 2005). فهي طريقة مثالية لزراعة النباتات عندما لا تتوفر الأرض المناسبة أو في المناطق التي ليس لديها أراضي خصبة للزراعة أو الاراضي المالحة أو المناطق التي تعاني من ندرة المياه وبالتالي يمكن تحويل الأراضي القاحلة مثل الصحاري إلى مناطق منتجة (Sonneveld, 2000). تساعد الزراعة بدون تربة في توفير كمية كبيرة من المياه وتعطي امكانية التحكم بدقة في كمية الري وهي اقل بكثير بالمقارنة مع الزراعة في التربة. ان أحد أهم الأسباب لاستخدام الزراعة بدون تربة هو ندرة المياه حيث توفر الزراعة بدون تربة المياه بنسبة 70-90٪ مقارنة بالزراعة التقليدية لذا أصبحت أكثر شيوعاً واستخداما يوماً بعد يوم (Waiba et al., 2020). يمكن التحكم في حموضة المحلول وتركيز العناصر المغذية وفقاً لمتطلبات المحصول والظروف البيئية وهذا أمر صعب للغاية ومكلف في الزراعة في التربة(El-Kazzaz & El-Kazzaz, 2017). تسمح الزراعة بدون تربة بجمع وإعادة استخدام المتبقي من المياه والعناصر المغذية، كما في أنظمة الزراعة المغلقة وبالتالي تساعد في تجنب أو تقليل فقد المياه والعناصر المغذية في البيئة. يتم فقد ما يقرب من 50٪ من المياه المستخدمة في الري بسبب الرياح والتبخر والجريان السطحي نتيجة استخدام أنظمة الري قليلة الكفاءة في الزراعة التقليدية (Rosenbaum, 2020). لذلك قد تعد الزراعة بدون تربة هي الحل الامثل في البلدان التي

تعاني من شح المياه أو يكون التلوث البيئي الناجم عن الاستخدام المفرط للأسمدة في الزراعة التقليدية خطيراً. تنمو النباتات بشكل أسرع في نظام الزراعة بدون تربة حيث يتم اضافة العناصر المغذية مباشرة إلى الجذور بصورة يسهل امتصاصها دون حاجة الجذور لصرف أي طاقة للوصول اليها ويمكن زراعة النباتات بشكل متقارب لتوفير المساحة وهناك حاجة فقط إلى 5/1 من المساحة الكلية و20/1 من إجمالي المياه لزراعة النباتات باستخدام الزراعة بدون تربة مقارنة بالزراعة في التربة (Jain et al., 2019). بالإضافة الى ما سبق، تنتج الزراعة بدون تربة عائداً أعلى في فترات زمنية أقصر كونه لا يوجد عائق ميكانيكي لنمو الجذور، كذلك تعتبر الزراعة بدون تربة طريقة نظيفة وسهلة نسبيًا ولا توجد فرصة للإصابة بالأمراض والآفات المختلفة التي تنتقل عن طريق التربة. حيث تحتوي التربة على مجموعة من مسببات الامراض والتي يمكن أن تؤثر سلبا على نمو النبات (El-Kazzaz & El-Kazzaz, 2017). علاوة على ذلك يتم تشغيل أنظمة الزراعة بدون تربة التجارية تلقائيًا حيث تقلل من العمالة وتساعد في الاستغناء عن كثير من الممارسات الزراعية التقليدية مثل إزالة الأعشاب الضارة والرش والري والحراثة. ولكن على الرغم من ذلك تواجه الزراعة بدون تربة مجموعة من التحديات والمعوقات التي تحول دون انتشارها على نطاق واسع والتي يمكن ايجازها بالتكاليف الأولية والتشغيلية العالية مقارنة بالزراعة التقليدية، الحاجة الى المهارات والمعرفة التقنية اللازمة للعمل بشكل صحيح (Resh, 2013). كما تتشارك النباتات في الزراعة المائية المحلول المغذي وبالتالي يمكن لبعض الأمراض مثل الفيوزاريوم والفرتيسيليوم أن تنتشر بسهولة وسرعة من نبات إلى آخر من خلال المحلول المغذي (Shrestha & Dunn, 2013).

أنواع أنظمة الزراعة المائية:

هناك العديد من أنظمة الزراعة المائية المعروفة، حيث يعتمد اختيار النظام المناسب على نوع النبات المزروع، المساحة المتوفرة والإمكانية المالية للمزارع (Jensen 1997) ولكن بشكل عام يمكن تصنيف أنظمة الزراعة المائية إلى:

أ- الأنظمة السلبية: وتعتبر أبسط أنظمة الزراعة بدون تربة والتي تستخدم الفتائل وبيئات النمو ذات الخاصية الشعرية العالية وبما يسمح بسحب المياه والعناصر من المحلول المغذي إلى جذور النبات (Sharma et al., 2018).

ب- الأنظمة النشطة: حيث يتم استخدام المضخات لإيصال المحلول المغذي إلى جذور النباتات (Sharma et al., 2018).

كما يمكن تقسيم أنظمة الزراعة بدون تربة إلى نوعين: أنظمة مفتوحة وأنظمة مغلقة.

1- الأنظمة المفتوحة: يتدفق فيها المحلول المغذي عبر النظام مرة واحدة فقط وبمجرد وصول المحلول المغذي إلى جذور النبات فانه لا يعاد استخدامه. هذا النظام يقلل الحاجة للمراقبة المستمرة وعملية الضبط والتعديل للمحلول المغذي، كما يقلل من مخاطر العدوى (Jones Jr. 2005). العيب الاساسي لهذه الانظمة هو الهدر الكبير للماء والعناصر المغذية مقارنة بالأنظمة المغلقة (Nederhoff & Stanghellini, 2010).

2- الانظمة المغلقة: يتم اعادة استخدام المحلول المغذي عن طريق الدوران المستمر للمحلول من الخزان الى بيئة النمو. حيث يتم استعادة المحلول الفائض وتتم إعادة تدويره بعد تعديله وضبطه باستمرار (Lykas et al. 2006)، كما يستخدم كمية أقل من المياه والعناصر المغذية بنسبة 20-40٪ مقارنة بالأنظمة المفتوحة ولكن هناك صعوبة في مراقبتها وتعديلها (Nederhoff & Stanghellini, 2010).

بشكل عام هناك 6 أنواع أساسية من أنظمة الزراعة بدون تربة كما هو موضح في الشكل(1). وجميع طرق الزراعة بدون تربة المعروفة هي بالمجمل أحد أو مزيج من هذه الأنواع الستة الأساسية.

1- نظام الفتائل: هو أبسط أنواع أنظمة الزراعة بدون تربة. وهو نظام سلبي مما يعني عدم وجود حاجة للمضخات لتزويد النباتات بالمحلول المغذي (Waiba et al., 2020). يتم سحب المحلول المغذي من الخزان إلى وسط النمو الذي تنتشر فيه جذور النبات عن طريق فتيل باستخدام الخاصة الشعرية ودون الحاجة لوجود مضخة. في نظام الفتائل تُزرع النباتات في وسط أو بيئة لها قدرة عالية على الاحتفاظ بالماء كما تساعد على تثبيت جذور النباتات (El-Kazzaz & El-Kazzaz, 2017).

2- نظام الاحواض العميقة: هو أحد أهم أنظمة الزراعة المائية وأكثرها شيوعاً لزراعة النباتات الورقية. تعتمد هذه الطريقة على أحواض بعمق 10 إلى 40 سم مملوءة بالمحلول المغذي الذي يتم تزويده بالأكسجين بشكل مستمر بواسطة أحجار هوائية موضوعة على طول قاع الخزان (Smith, 1999). تعد المراقبة المستمرة للموصلية الكهربائية (EC) ودرجة حموضة المحلول (pH) أمراً مهماً للغاية، كما يجب الاهتمام بالتزويد المستمر والكافي من الأكسجين في كافة أنحاء الحوض. حيث أن توفر الاكسجين بكميات كافية في المحلول

يمكن أن يعزز النمو (Park & Kurata, 2009). إن اختيار بيئة النمو المناسبة ومقدار امتصاصها للرطوبة سيؤثر بشكل كبير على أداء النباتات ويجب الانتباه لعدم استخدام بيئات نمو سريعة التشبع حتى لا تختنق الجذور. في هذا النظام لا يوجد خطر تلف النباتات في حالة انقطاع التيار الكهربائي لأن جذور النباتات تكون ملامسة ومغمورة في المحلول المغذي (Waiba et al., 2020).

3- نظام الغمر والتصفية: هو أول أنظمة الزراعة المائية الذي استخدم لأغراض تجارية ويعمل على مبدأ الفيضان والتصريف. يمكن استخدام هذا النظام مع مجموعة متنوعة من بيئات النمو ويعمل عن طريق إغراق أحواض النمو مؤقتًا بعمق يتراوح من 10 إلى 20 سم لمدة تصل إلى 10 دقائق للسماح لبيئة أو وسط النمو بامتصاص المحلول المغذي قبل أن يتم تصريفها. حيث يتم إعادة تدوير المحلول المغذي إلى الخزانات لاستخدامه مرة أخرى ولذلك يجب مراقبة وتعديل درجة الحموضة والموصلية الكهربائية للمحلول باستمرار (Wortman, 2015). يتم تزويد المحلول المغذي الى الاحواض من خلال مضخة متصلة بمؤقت ويتم ضبط المؤقت للعمل عدة مرات في اليوم وذلك اعتمادًا على حجم ونوع النباتات ودرجة الحرارة والرطوبة ونوع وسط النمو المستخدم. تسمح عملية التصريف للمحلول من الاحواض للأكسجين بالوصول إلى الجذور ولهذا السبب فإن حجر الهواء غير مطلوب في أنظمة الغمر والتصفية. يمكن استخدام هذا النوع من الانظمة لزراعة أنواع مختلفة من النباتات وبخاصة النباتات ذات الجذور الكبيرة (El-Kazzaz & El-Kazzaz, 2017). كما أن وسط النمو يحدد عدد مرات الغمر خلال اليوم. حيث يؤثر عمق ومدة وتواتر الغمر على مستويات الرطوبة في وسط النمو. العيب الرئيسي لهذا النوع من الانظمة هو أنه مع بعض بيئات النمو مثل البيرلايت يمكن أن تجف الجذور وتموت النباتات بسرعة اذا توقفت عملية الغمر بسبب اي عطل في المضخة. يمكن تخفيف هذه المشكلة باستخدام بيئات النمو التي يمكنها الاحتفاظ بالمحلول المغذي لفترة اطول مثل: الصوف الصخري وفي نفس الوقت يجب أن يكون لبيئات النمو القدرة العالية للتصريف الجيد حتى لا تتشبع بشكل يؤثر سلبا على جذور النباتات. يعد تعفن الجذور والطحالب والعفن من المشكلات الشائعة جدًا مع هذا النوع من الانظمة (Nielsen et al., 2006).

4- تقنية الغشاء المغذي (NFT): هي أكثر أنظمة الزراعة المائية المستخدمة شيوعاً في يومنا هذا. المبدأ الرئيسي لهذا النظام هو أن المحلول المغذي يدور في النظام بأكمله بشكل مستمر ومتواصل من الخزان الى أنابيب النمو ثم يعود الى الخزان باستخدام مضخة. وكجميع الانظمة المغلقة من المهم جدا مراقبة المحلول المغذي وضبطه بشكل مستمر (Nederhoff & Stanghellini, 2010). يسمح الميل البسيط لأنابيب النمو بتدفق ضحل على شكل فيلم رفيع للمحلول المغذي والذي يمر في الانابيب ويلامس جذور النباتات المعلقة داخل الانابيب (Resh, 2013). عمليا، يجب ألا يتجاوز عمق التدفق الضحل أكثر من بضع سنتيمترات (5–6 سم). يسمح هذا التيار الرقيق من المحلول والملامس لجذور النباتات بالحصول على كمية كافية من الماء والعناصر المغذية والتهوية. نظام NFT مثالي للمحاصيل قصيرة الأجل مثل الخس والمحاصيل الورقية ومع ذلك، فإن يمكن تعديلها لتناسب إنتاج المحاصيل طويلة الاجل والكبيرة مثل الخيار والبندورة ولكن الاستخدام التجاري الاكثر شيوعا هو لإنتاج الخس. أنظمة NFT لها أيضاً بعض العيوب، حيث أن التكاليف الانشائية الاولية مرتفعة. كما أن النباتات المزروعة في هذه الانظمة تكون أكثر عرضة للإصابة بالأمراض لأن جميع النباتات تتشارك نفس المحلول المغذي(Graves, 1983). من العيوب الاخرى أن المحلول المغذي أثناء تدفقه عبر الانابيب غالبا ما يتم استنفاذ الأكسجين المذاب والعناصر المغذية من قبل النباتات الموجودة في بداية القناة، مما قد يؤدي هذا إلى تدرج في تركيز المحلول على طول القناة. تنشأ المضاعفات الأخرى بسبب حجم جذور النباتات والتي يمكن ان تسد الأنابيب ولا تسمح بالتدفق السهل والسلس للمحلول والذي يمكن أن يتسبب مرة أخرى في تدرج في تركيز المحلول على طول القناة او أنابيب النمو وللتخلص من هذه المشكلة فأن الخيار الأنسب هو جعل الانابيب او القنوات أقصر في الطول وألا تزيد عن 10–15م(Jones Jr. 2005; Resh 2013).

5- نظام التنقيط: وهي أكثر أنواع أنظمة الزراعة بدون تربة استخدامًا في العالم. في هذه الانظمة يتم سحب المحلول المغذي من الخزان الى النباتات المزروعة في وسط غير التربة باستخدام أنابيب الري بشكل فردي لكل نبات على حدة بنسب وكميات محددة بمساعدة المضخة (Rouphael & Colla, 2005). يمكن إعادة المحلول الزائد عن حاجة النبات والذي يتم تصريفه إلى الخزان (نظام مغلق) وقد لا يتم جمعه واعادته (نظام مفتوح). تعد

زراعة النباتات الكبيرة وذات المجموع الجذري الكبير مناسبة بشكل خاص لأنظمة التنقيط(El-Kazzaz & El-Kazzaz, 2017). أفضل بيئات النمو التي يمكن استخدامها يجب أن تتمتع بقدرة عالية على الاحتفاظ بالماء (مثل جوز الهند أو الصوف الصخري).

6- النظام الهوائي: في هذا النظام يتم تثبيت النباتات على الواح أو صواني بحيث تتجه سوق النباتات للخارج وتتجه الجذور إلى الداخل (غرفة مظلمة أو تجويف معتم مملوءة بالهواء) ويتم فيها رش الجذور بالمحلول المغذي على شكل رذاذ دقيق (Patle et al., 2020). تتمثل ميزة الزراعة في الانظمة الهوائية في توفير كمية كافية من الاكسجين للجذور مما يساعد في الحصول على جذور سليمة وقوية ونمو أفضل للنباتات (Waiba et al., 2020) ومع ذلك، في حالة فشل المضخة أو انسداد فوهات الرش التي تقوم بتزويد الجذور بالرذاذ يمكن أن تجف الجذور بسرعة وقد يتلف المحصول بشكل لا رجعة فيه(Chiipanthenga et al., 2012).

المحلول المغذي:

يعتبر المحلول المغذي أهم عنصر في الزراعة بدون تربة وتعد ادارته حجر الزاوية لنظام الزراعة المائية الناجح وهو أحد أهم العوامل المحددة لإنتاجية المحاصيل وجودتها. حيث أن إنتاجية وجودة المحاصيل المزروعة في أنظمة الزراعة المائية تعتمد على قدرة المحصول على امتصاص ما يحتاجه من العناصر المختلفة والموجودة في المحلول المغذي (Valentinuzzi et al., 2015). وهو محلول مائي يحتوي على العناصر الأساسية الكبرى والصغرى التي يحتاجها النبات. هناك 17 عنصراً أساسياً تحتاجها معظم النباتات لإتمام دورة حياتها وهي الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت والحديد والنحاس والزنك والمنغنيز والموليبدينوم والبورون والكلور والنيكل. حيث أن العنصر الاساسي يكون له دور فسيولوجي واضح وغيابه يمنع النبات من اتمام دورة حياته (Taiz et al., 1998). في الزراعة بدون تربة يجب أن تكون تراكيز ونسب جميع العناصر الغذائية محددة وبدقة وأن تكون جميع العناصر متاحة للامتصاص من قبل النبات، كما يجب أن تعكس تركيبة المحلول المغذي حاجة المحصول من كل عنصر والذي يختلف من نبات لآخر أو مرحلة نمو لأخرى. وقد قام العلماء والباحثين بتحديد التراكيز المناسبة والحرجة من العناصر الغذائية المختلفة لمعظم المحاصيل

الشائعة(Sardare & Admane, 2013)، الجدول رقم 1 يبين تركيبة بعض المحاليل المغذية وتركيز العناصر المعدنية الأساسية فيها.

من المهم جداً الحفاظ على التوازن بين العناصر في المحلول المغذي حيث يمكن أن يتأثر نمو النبات وإنتاجيته سلبًا من خلال العلاقة غير الصحيحة بين العناصر الغذائية الأساسية والتغيير في تركيز أي عنصر يجب أن يكون مصحوباً إما بتغيير مماثل لعنصر ذو شحنة معاكسة أو تغيير في عنصر مكمل من نفس الشحنة أو كليهما (Hewitt, 1996). يعتمد حجم المحلول المغذي وتركيزه وموعد استبداله على نوع الوسط المستخدم ومرحلة نمو المحصول وعدد النباتات ونظام الري المستخدم والظروف المناخية السائدة (Sardare & Admane, 2013). ولا تتأثر قدرة الجذور على امتصاص العناصر بمدى توفرها في المحلول المغذي فحسب بل أيضاً بمصادرها. كما أن الأشكال الكيميائية للعناصر المغذية مهمة جداً ولذلك فقد قام الباحثين بتحديد الشكل القابل للامتصاص من مختلف العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات كما هو مبين في الجدول 2.

أثناء عملية امتصاص العناصر الغذائية يمكن أن يحدث تنافس أو تضاد بين العناصر، وهذه الظاهرة أكثر وضوحاً في الانظمة المغلقة. فمثلا يحدث تفاعل تنافسي بين البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم (Marschner, 2012)، حيث يؤدي التسميد غير المتوازن وبتراكيز عالية من البوتاسيوم والكالسيوم الى نقص المغنيسيوم. لذلك في الزراعة بدون تربة لا سيما في الأنظمة المغلقة يعد مراقبة وضبط النسبة بين البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم في المحاليل المغذية أمراً مهماً جداً لتجنب نقص المغنيسيوم. كما أنه لا يعتمد امتصاص النيتروجين والكبريت والحديد على توفرها في المحلول فقط ولكن أيضًا على وجود عناصر أخرى. على سبيل المثال لوحظ نقص النيتروجين في نباتات الخيار التي تعرضت لنقص الحديد (Nikolic et al., 2007).

ان التفاعلات والتداخل بين العناصر الغذائية المختلفة المقدمة للنبات قد تؤدي إلى ترسيب بعض العناصر او تشكيل معقدات من عنصرين أو أكثر. فمثلا يصبح الفوسفات غير متاح للنبات بسبب تشكيل املاح فوسفات الكالسيوم حيث يمكن أن يحدث هذا التفاعل في الوسط القلوي(Lee et al., 2017)، ويجب تجنب ترسيب الفوسفات في المحاليل المائية لأنه لا يؤدي فقط إلى استنفاد الفوسفور من المحلول المغذي، ولكنه قد يقلل أيضًا من قابلية ذوبان بعض العناصر الغذائية الأخرى مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والعناصر المغذية الصغرى. أيضا قد يصبح الكبريت غير متاح للامتصاص من قبل النبات عن طريق الترسيب مع الكالسيوم، حيث تتشكل كبريتات الكالسيوم(Lee et al., 2017). يعد مراقبة وضبط والحفاظ على توازن المحلول شرطًا أساسيًا للاستخدام الفعال

للموارد من أجل انتاج الخضروات باستخدام تقنية الزراعة بدون تربة، ليس فقط لضمان غلة عالية ولكن أيضًا لضمان جودة المنتجات. اعتمادًا على نوع النبات المزروع ومرحلة تطور النبات، يتم استنفاد العناصر الموجودة في المحلول المغذي بنسب متفاوتة ولهذا السبب من المهم مراقبة وضبط وتغيير المحلول المغذي. قد تتمثل إعادة تدوير المحاليل المستنفدة أيضاً استراتيجية فعالة لمنع تلوث المياه الجوفية والتقليل من الآثار السلبية على البيئة.

حموضة المحلول المغذي (pH):

يؤثر الرقم الهيدروجيني أو ما يعرف بحموضة المحلول المغذي (pH) على مدى توافر العناصر المغذية المختلفة للنبات كما هو موضح في الشكل 2، لذلك يجب الحفاظ على الرقم الهيدروجيني في المدى المثالي لكل محصول حيث يبين الجدول 3 الرقم الهيدروجيني المناسب لبعض المحاصيل الشائعة. يتراوح الرقم الهيدروجيني الأمثل في منطقة الجذور لمعظم أنواع المحاصيل المزروعة في الزراعة بدون تربة من 5.5 إلى 6.5 (Adams, 2002). في الزراعة بدون تربة من الصعب الحفاظ على القيم المثالية للرقم الهيدروجيني طول فترة نمو المحصول، كما أن احتمال ارتفاع أو انخفاض هذه القيم لبعض الوقت أمر وارد دوما. تشير العديد من الدراسات إلى أن التأثير المباشر للرقم الهيدروجيني لا يوجد إلا في الظروف الحامضية والقلوية الشديدة(Islam et al., 2008). تؤثر القلوية على نمو النباتات من خلال تقليل قابلية ذوبان الكثير من العناصر وترسيبها على شكل هيدروكسيدات أو كربونات غير قابلة للذوبان. عندما ينخفض الرقم الهيدروجيني ويصبح الوسط شديد الحموضة فان ذلك سيؤدي إلى زيادة توافر كاتيونات معينة مما قد يؤدي إلى خلل في كمية العناصر المغذية المتاحة للنبات أو قد تحدث سمية معادن. ان إضافة العناصر الغذائية إلى المحاليل المائية قد تؤدي إلى زيادة حموضة أو قلوية الوسط. فقد يغير مصدر النيتروجين الرقم الهيدروجيني للمحلول فإذا تمت إضافة النيتروجين في شكل نترات (يساهم في رفع قلوية المحلول) أما إذا تمت اضافته على شكل أمونيوم (يساهم في رفع حموضة المحلول)(Asher & Edwards, 1983). هذا وبشكل عام يعد ضبط درجة الحموضة في المحلول المغذي أمرًا ضروريًا لتحقيق الإنتاجية المثلى والحفاظ على محلول مغذي متوازن وذو رقم هيدروجيني مناسب طوال فترة النمو غالبًا ما يُشار إليه كواحد من أهم العقبات الرئيسية لعملية الانتاج في الزراعة المائية (Frick & Mitchell, 1993).

الموصلية الكهربائية للمحلول المغذي (EC):

في الزراعة بدون تربة يعتبر تركيز الأملاح الذائبة للمحلول المغذي مهم جدا ويمكن استخدامه لتحديد ما إذا كان المحلول المغذي مناسبا أو بحاجة للاستبدال. أوضح (Savvas, 2001) أن الموصلية الكهربائية EC هو مؤشر لتركيز الأملاح الذائبة الكلية والموصلية الكهربائية للمحلول وهو يرتبط بعدد الأيونات المتاحة للنباتات في منطقة الجذور (Nemali & van Iersel, 2004). إن الإدارة غير سليمة وغير متكاملة للمحلول المغذي مثل استخدام تراكيز عالية جدًا أو منخفضة جدًا من المحلول المغذي أو استخدام تركيبة غير متوازنة من العناصر يمكن أن تثبط نمو النبات بسبب السمية الناتجة عن التراكيز العالية لبعض العناصر أو نقص في بعض العناصر المغذية المقدمة للنبات (Grattan & Grieve, 1999). وتعني زيادة EC تعرض النباتات للملوحة وتراكيز عالية من المحلول المغذي مما قد يعيق امتصاص بعض العناصر الغذائية وقد يعرض النباتات للإجهاد ويقلل من كمية الماء المتاح، كما قد يسبب سمية بعض العناصر، واختلال في تراكيز العناصر المتاحة للنبات وزيادة تصريف العناصر الغذائية إلى البيئة مما قد يؤدي إلى تلوث البيئة. تعني قيم الـ EC المنخفضة أن إمداد المحصول ببعض العناصر الغذائية قد يكون غير كافٍ وغالبا ما يرافق نقص العناصر المغذية المقدمة للنبات انخفاض في غلة وانتاجية المحاصيل (Samarakoon et al., 2006). إن القيم المثلى لـ EC تختلف باختلاف نوع النبات كما هو موضح في الجدول 3، كما تعتمد على الظروف البيئية. كما أن ضبط التناسب بين نسب العناصر المغذية الأكثر ملاءمة لكل نوع له أهمية كبيرة. حيث تعتبر النسبة بين K: Ca: Mg أو K: Ca مهمة جداً للحفاظ على قيم مثالية لـ EC في المحلول المغذي، نظرًا لأن التراكيز المرتفعة من هذه العناصر والتي تزيد عن حاجة النبات قد يؤدي إلى تراكمها في المحلول المغذي(Savvas et al., 2008).

درجة حرارة محلول المغذيات:

تعتبر درجة حرارة المحلول المغذي من العوامل المحددة لإنتاج المحاصيل وجودتها في أنظمة الزراعة بدون تربة. حيث أن لها علاقة عكسية بالأكسجين المذاب في المحلول. أيضاً، يتأثر التوازن الكيميائي للمحلول بدرجة حرارته وهذا أمر بالغ الأهمية بشكل خاص للمناطق الحارة حيث تؤثر حرارة المحلول المغذي على جميع العمليات الفسيولوجية في النبات (Fazlil Ilahi et al., 2017). أيضًا، قد تلعب درجة الحرارة العالية دوراً هاماً في تسهيل عملية ذوبان العناصر وامتصاصها، حيث

يزداد معدل ذوبان العناصر مع زيادة درجة الحرارة. يعاني المزارعون على المستوى التجاري من انخفاض مردودية وانتاجية نباتات الزينة في الشتاء مقارنة بالصيف ويعد السبب في ذلك الى انخفاض درجة حرارة المحلول (Mills et al., 1990).

معدل الأكسجين المذاب (O_2) في المحلول المغذي:

يعد الحفاظ على كمية كافية من O_2 المذاب في المحلول المغذي في انظمة الزراعة بدون تربة أمراً ضرورياً للنمو الصحي والسليم للجذور ومن أجل تعزيز قدرة الجذور على امتصاص حاجة النبات من الماء والعناصر المغذية المختلفة. يؤثر الأكسجين الموجود حول جذور النبات على الكائنات الحية الدقيقة المفيدة التي توفر الحماية من مسببات الأمراض وتحسن من قدرة الجذور على امتصاص العناصر الغذائية المختلفة. يمكن أن يؤدي انخفاض مستويات الأكسجين في المحلول المغذي إلى ضعف نمو الجذور وزيادة الإصابة بالأمراض والآفات وتثبيط نمو النبات. على سبيل المثال: جذور نباتات البندورة اصبحت أكثر عرضة للإصابة بعدوى Pythium عندما انخفضت كمية O_2 في منطقة الجذور إلى أقل من 2.8 ملغم/لتر (Chèrif et al., 1997). يمكن للنباتات المزروعة في أنظمة الزراعة بدون تربة أن تستنفد وبسرعة O_2 المذاب في المحلول المغذي مما يؤدي إلى عدم توفر كمية كافية منه خاصة عندما تكون درجات الحرارة مرتفعة.(Jong et al., 2014) لاحظوا أن نمو نبات الخيار قد تأثر بشكل كبير بتهوية منطقة الجذور. (Roosta et al., 2016) وجدوا أن نمو نبات الباذنجان قد تحسن مع زيادة معدل الـ O_2 في المحلول المغذي في المزارع المائية العائمة، كما لاحظوا أن مستويات O_2 المرتفعة قد خففت من سمية الأمونيوم بالنسبة للنباتات.

أوساط النمو المستخدمة في الزراعة بدون تربة (المائية):

وسط النمو هو عبارة عن الوسط أو البيئة غير التربة التي تزرع فيها النباتات. وقد تم استخدام مكونات مختلفة لإنتاج وسائط نمو متعددة ومناسبة لإنتاج الخضروات، وتتنوع المواد الخام المستخدمة في جميع أنحاء العالم بناءً على مدى توافرها المحلي (Schmilewski, 2009). يمكن أن تكون هذه المواد الخام غير عضوية مثل: الطين والبيرلايت والصوف الصخري أو عضوية مثل البيتموس ولحاء الأشجار وبقايا جوز الهند (Vaughn et al., 2011). ولكن غالبًا ما يتم تحضير واعداد وسائط الزراعة من مزيج من المواد الخام المختلفة مثل البيتموس والبيرلايت، ألياف جوز الهند

والطين، البيتموس والكمبوست. المتطلبات الأساسية والتي يجب توفرها في أوساط وبيئات الزراعة المستخدمة هي أن تكون خفيفة الوزن وغير مكلفة وخالية من الآفات والأمراض ومتوفرة محليا، كما يجب ان تتميز بالنفاذية العالية والقدرة على دعم وتثبيت النبات وان تسمح بنمو الجذور دون اي معوقات وأن يكون لها قدرة كبيرة على الاحتفاظ بالماء وتوفر تهوية مناسبة للجذور (Dresboll, 2010). كما يفضل أن يكون الرقم الهيدروجيني لوسط النمو بين 5.8 و6.2.

في جميع أنحاء العالم، يستخدم مزارعي ومستخدمي الزراعة بدون تربة نسبة عالية من وسائط النمو غير عضوية مثل الصوف الصخري والبيرلايت والفيرميكوليت وغيرها، بينما يستخدم حوالي 12٪ فقط وسائط نمو وبيئات عضوية مثل البيتموس وبقايا جوز الهند وغيرها. بعض أوساط النمو غير عضوية مع خصائصها مذكورة في الجدول 4. لا يوجد وسط نمو يمكن تصنيفه على أنه الأفضل، نظرًا لأن كل وسط له مزايا وعيوب على حدٍ سواء. لذلك، يجب أن يتم اختيار وسط النمو وفقًا للبيئة ونوع النبات المزروع ومرحلة الزراعة والنظام المستخدم (Di Lorenzo et al., 2013). وعلى الرغم من أن اختيار وسط النمو يرتبط بشكل أساسي بتأثير الوسط على أداء النبات، إلا أن الميزات الأخرى مثل التكلفة أو إعادة الاستخدام أو إمكانية إعادة التدوير ضرورية من أجل الإنتاج المستدام. قد يؤدي استخدام وسائط أو بيئات نمو صديقة للبيئة، مثل الاوساط القابلة للتحلل البيولوجي أو التي يمكن استخدامها لعدة سنوات، إلى تقليل مشاكل النفايات الصلبة والناتجة عن الزراعة المحمية. يعد الصوف الصخري والبيتموس من أكثر وسائط النمو شيوعاً واستخدماً في الزراعة بدون تربة (Raviv & Lieth, 2008)، وهي غير متجددة وهناك مشاكل عدة عند اعادة تدويرها مثل التكلفة، أضف لذلك فأن التشديد على استخدام أوساط صديقة للبيئة أدى إلى التفكير في بدائل قد تحل محلها وتكون أكثر أمناً وصديقة للبيئة. لذلك أوساط بديلة مشتقة من المخلفات مثل: نشارة الخشب، بقايا جوز الهند، قشور اللوز أصبحت متاحة تجارياً.

مستقبل الزراعة بدون تربة (المائية):

تعتمد الممارسات الزراعية الحالية أساسًا على التربة والمياه وهي عرضة للفشل بسبب الظروف المناخية غير المستقرة. كما ان توفيرالأمن الغذائي للعدد المتزايد من سكان العالم يتطلب انتاج المزيد من الغذاء، مما سيؤدي إلى زيادة استخدام المياه والأسمدة الكيميائية. لقد أصبح ضمان استدامة نظم إنتاج الغذاء أولوية قصوى، وتشير الأدلة الحديثة إلى أن ندرة المياه هي بالفعل قضية

عالمية ملحة تؤثر على أكثر من 40٪ من سكان العالم. كما تقدر التوقعات أنه بحلول عام 2025، سيؤثر نقص المياه على ما يقرب من 1.8 مليار شخص على مستوى العالم(Shomar et al., 2014). ونظرًا لوجود مساحات محدودة متاحة للزراعة أصلا فمن الممكن أن تعرض أساليب الزراعة التقليدية الأمن الغذائي العالمي للخطر (Rosenbaum, 2020). لذلك هناك حاجة إلى ممارسات زراعية بديلة قادرة على تحقيق الأمن الغذائي دون المساس بالاستدامة البيئية. للتغلب على هذه القضايا الحرجة تعد الزراعة بدون تربة حلاً مستداماً يمكن أن يكون له إمكانات جيدة في المناطق الصحراوية والتي تفتقر لوفرة المياه (Gyanendra et al., 2020). حيث يتم استخدام المزارع المائية العمودية تجاريًا في الصين وهولندا وكوريا الجنوبية واليابان وكندا وإيطاليا والولايات المتحدة والإمارات العربية المتحدة والمملكة المتحدة. أفضل ميزة لصالح هذه التكنولوجيا هي النمو السريع وزيادة عدد المحاصيل في السنة. فعلى سبيل المثال يمكن أن يزيد إنتاج الخضر الورقية بمقدار ثلاثة أضعاف ويمكن أن يزيد انتاج نبات الفراولة بمقدار 30 مرة عن النمو في الحقول المفتوحة. كما أصبح إنشاء أنظمة الزراعة بدون تربة داخل البيئات المحمية مثل المباني أو الصوبات الزراعية في البيئات القاحلة، كما هو حال معظم دول الخليج العربي أمرًا شائعًا. أن استخدام الزراعة بدون تربة في دول العالم الثالث يعد الخيار الأمثل حيث أن المياه محدودة وغير متوفرة بما يكفي لنشاط زراعي مستدام. ومع تطور مفهوم المدن المستدامة هناك تركيز قوي واتجاه كبير للحد من انبعاثات الكربون وإنتاج السلع محلياً(Gyanendra et al., 2020). وتعتبر الزراعة بدون تربة "زراعة المستقبل" من قبل وكالة ناسا حيث يمكن زراعة المحاصيل في الفضاء دون الحاجة لاستخدام التربة(Dubey & Nain, 2020)، حيث بدأت وكالة ناسا العديد من ابحاث الزراعة بدون تربة والتي ستفيد في استكشاف الفضاء. ويمكن أن تكون الزراعة بدون تربة المفتاح الرئيسي لمستقبل استكشاف الفضاء. فهي ستوفر الامكانية لزراعة مجموعة متنوعة وكبيرة من المحاصيل. كما أن دور الزراعة بدون تربة في تنقية المياه والحفاظ على التوازن بين الأكسجين وثاني أكسيد الكربون في المحطات الفضائية يجري بحثها بشكل مكثف (Khan et al., 2020).

في عام 2018، استوردت الإمارات ما قيمته 21.564 مليون درهم من منتجات الخضروات لذلك تسعى الحكومة لتشجع الإنتاج المحلي لتقليل التبعية، حيث يتم دعم المزارعين بنسبة 50٪ من المكملات الزراعية على الرغم من الظروف الجافة ومحدودية المياه والتربة الخصبة. وقد بدأت الإمارات باستخدام الزراعة بدون تربة لأنها تستهلك 60–70٪ ماء أقل كما يمكن تعديلها لتناسب

أي محصول ومناخ وبالتالي هو بديل مناسب وخيار استراتيجي مقارنة بتثبيت الرمال واستصلاحها(Gyanendra et al., 2020). في الشرق الأوسط، يتحول الأردن أيضًا إلى الزراعة بدون تربة بسبب المناخ حيث الطقس البارد الشديد في الشتاء ودرجات الحرارة المرتفعة في الصيف. كما أن قضية الجفاف تدفع الأردن إلى تبني أنظمة الزراعة بدون تربة والتي تفرض عليه استخدام موارد المياه بكفاءة مما يجعلها حلاً أفضل ويمكن اعتمادها على نطاق أوسع (Blok et al., 2017). يمكن اقامة مشاريع الزراعة بدون تربة في دول مجلس التعاون الخليجي بسبب نفس الظروف المناخية. حيث تعتمد هذه الدول بشكل كبير على الواردات الغذائية لتوفير الأمن الغذائي لسكانها وتوفر الواردات الغذائية في الوقت الحالي الأمن الغذائي ولكن قد تؤدي الكوارث البيئية او الاقتصادية أو المالية الى مخاطر كبيرة. على سبيل المثال، بســـبب أزمة الغذاء العالمية في 2007–2008 حظرت الهند صادرات الأرز إلى دول مجلس التعاون الخليجي لتأمين احتياجاتها الوطنية. لذلك أصبح من المهم لدول مجلس التعاون الخليجي تشجيع انتاج الغذاء محليا والاستثمار في الزراعة لحل القضايا السابقة حيث يمكن تحقيق إنتاج الغذاء المحلي من خلال اعتماد الزراعة بدون تربة في الصوبات الزجاجية. ولقد زاد الاهتمام بالزراعة بدون تربة في العقود القليلة الماضية وبشكل خاص في المناطق التي توجد فيها مخاوف بيئية مثل تلوث المياه الجوفية بمخلفات الاسمدة أو البلاد التي تعاني قلة خصوبة التربة وندرة المياه. وخلال منتصف القرن العشرين تم التغلب على العديد من العقبات المرتبطة بالزراعة بدون تربة بما في ذلك المخاوف البيئية، بيئات النمو، كما تم تحديد الانظمة حسب المنطقة والظروف البيئية وتوفر المواد الأولية. ومع تطوير المضخات المناسبة وأجهزة ضبط الوقت وبيئات النمو المناسبة يمكن الآن أن تكون العملية مؤتمتة ومحوسبة ومبسطة لتقليل تكاليف رأس المال والتشغيل وهي متاحة الآن للاستخدامات الشخصية والتجارية بطريقة فعالة من حيث التكلفة. في الوقت الحاضر تعالج هذه التكنولوجيا ندرة الغذاء والمياه وهما على الأرجح أكبر قضيتين في القرن الحادي والعشرين.

Reference:

Adams, P. (2002). Nutritional control in hydroponics. In: Savvas D., Passam H.C. (eds.), Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Athens, Embryo Publications: 211–262.

Agrawal RK, Tripathi MP, Verma A, Sharma GL and Khalkho D., (2020). Hydroponic systems for cultivation of horticultural crops: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 2020; 9(6): 2083-2086.

Asher, CJ. and Edwards DG. (1983). "Modern solution culture techniques" in Inorganic plant nutrition. eds. A. Pirson, and M. H. Zimmermann (Berlin, Heidelberg: Springer), 94–119.

Benke, K. and Tomkins B (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture, Sustainability: Science, Practice and Policy, 13:1, 13-26, DOI: 10.1080/15487733.2017.1394054

Berry, EM., Dernini, S., Burlingame, B., Meybeck, A. and, Conforti P., 2015. Food security and sustainability: can one exist without the other? Public Health Nutrition: page 1 of 10 doi:10.1017/S136898001500021X.

Blok, C., van, Os E., Daoud, R., Waked, L. and Hasan, A. (2017). Hydroponic Green Farming Initiative: Increasing water use efficiency by use of hydroponic cultivation methods in Jordan Final report. Report GTB-1447 Project number: 374 221 0000 DOI number: 10.18174/426168. https://edepot.wur.nl/426168.

Chèrif, M., Tirilly, Y. and Belanger, RR. (1997). Effect of oxygen concentration on plant growth, lipid peroxidation, and receptivity of tomato roots to Pythium F under hydroponic conditions. European Journal of Plant Pathology, 103(3): 255-264.

Chiipanthenga, M., Maliro M, Demo P, Njoloma J, (2012). Potential of aeroponics system in the production of quality potato (Solanum tuberosum l.) seed in developing countries. African Journal of Biotechnology Vol. 11(17), pp. 3993-3999, 28 February, 2012 Available online at http://www.academicjournals.org/AJB DOI: 10.5897/AJB10.1138 ISSN 1684–5315 © 2012 Academic Journals.

Cifuentes-Torres, L., Mendoza-Espinosa, L., Correa-Reyes, G., Daesslé, L. (2020). Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities. Water and Environment Journal, 35: 166–180.

Cooper, A. (1988). "1. The system. 2. Operation of the system". In: The ABC of NFT. Nutrient Film Technique, 3-123, Grower Books (ed.), ISBN 0901361224, London, England.

Di Lorenzo, R., Pisciotta, A., Santamaria, P. and Scariot, V. (2013). From soil to soil-less in horticulture: quality and typicity. Italian Journal of Agronomy, 8: 255 – 260.

Dresboll, DB. (2010). Effect of growing media composition, compaction and periods of anoxia on the quality and keeping quality of potted roses (Rosa sp.) Scientia Horticulturae, 126: 56-63.

Dubey, N. and Nain, V. (2020). Hydroponic— The Future of Farming. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, 5(4) Jul-Aug, 2020 | Available: https://ijeab.com/

El-Kazzaz, KA. and El-Kazzaz, AA. (2017). Soilless Agriculture a New and Advanced Method for Agriculture Development: an Introduction. Agri Res & Tech: Open Access J., 3(2): 555610. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2017.03.555610.

Fazlil Ilahi, WF., Ahmad, D and Husain, MC. (2017). Effects of root zone cooling on butterhead lettuce grown in tropical conditions in a coir-perlite mixture. Hortic. Environ. Biotechnol. 58: 1–4. doi: 10.1007/s13580-017-0123-3.

Frick J., Mitchell C.A. 1993. Stabilization of pH in solidmatrix hydroponic systems. HortScience 28: 981– 984. DOI:

10.21273/hortsci.28.10.981.

Grattan, SR. and Grieve, CM. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae, 78: 127–157.

Graves, CJ. (1983). The Nutrient Film Technique. Horticutural Review, 5: 1-44.

Gyanendra, SS., Raweya, AB. and Sergi, S. (2020). Business valuation strategy for new hydroponic farm development – a proposal towards sustainable agriculture development in United Arab Emirates. British Food Journal © Emerald Publishing Limited 0007-070X DOI 10.1108/BFJ-06-2020-0557.

Henry, MM., Kibwika, P., Nampala, P., Manyong, V. and Yami, M. (2020). Factors influencing implementation of bylaws on sustainable crop intensification: Evidence from potatoes in southwestern Uganda,

Cogent Social Sciences, 6:1, 1841421. To link to this article: https://doi.org/10.1080/23311886.2020.1841421.

Hewitt, EJ. (1996). Sand and Water Culture Methods Used in the Study of Plant Nutrition. Technical Communication No. 22. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, East Malling, Maidstone, Kent, England.

Hoagland, DR. and Arnon, DI. (1938). The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circulation, 347, 32.

Ilango, C. (2017). Food Sustainability. American Public University, West Virginia. International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology. Volume 3, Issue 6Page | 567. ISSN: 2454-132X. Available online at www.ijariit.com.

Islam, S. (2008). Evaluating performance of ecologically sound organic substrates under different temperature regimes. Int J Agric and Biol, 10: 297–300.

Jain, A., Kumari, N. and Kumare, JhaV. (2019). A review on hydroponic system: hope and hype, 2019. 143-149. In book: Recent Advances in Chemical Sciences & Biotechnology. Publisher: New Delhi Publication.

Jensen MH, (1997). Hydroponics. Hortscience vol. 32 (6).

Jones Jr. JB, (2005). Hydroponics: A practical Guide for the soilless grower, 2nd ed. Boca Raton, Fl. CRC press.

Jong, WL., Beom, SL., Jong, GK., Jong, HB., Yang, GK., Shela, G. and Jeong, HL. (2014). Effect of root zone aeration on the growth and bioactivity of cucumber plants cultured in perlite substrate. Biologia, 69(5): 610—617, 2014 Section Cellular and Molecular Biology DOI: 10.2478/s11756-014-0360-1.

Khan, S., Purohit, A. and Vadsaria, N. (2020). Hydroponics: current and future state of the art in farming, Journal of Plant Nutrition, DOI: 10.1080/01904167.2020.1860217 To link to this article: https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1860217.

Lee, JY., Rahman, A., Azam, H., Kim, HS. and Kwon, MJ. (2017). Characterizing nutrient uptake kinetics for efficient crop production during Solanum lycopersicum var. cerasiforme Alef. growth in a closed

indoor hydroponic system. PLoS One 12:e0177041. doi: 10.1371/journal.pone.0177041.

Lykas, CN., Katsoullas, P., Giaglaras, P. and Kittas, C. (2006). "Electrical conductivity and pH prediction in Recirculated nutrient solution of greenhouse soilless rose crop," Journal of plant nutrition, 29: 1585–1599.

Marschner, P. (2012). Rhizosphere biology. In: Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd edn. Academic, Amsterdam, pp 369–388.

Mills, PJW., Smith, IE. and Marais, G. (1990). A greenhouse design for a cool subtropical climate with mild winters based on microclimatic measurements of protected environments. Acta Hort., 281: 83-94.

Mittal, D., Kaur, G., Singh, P., Yadav, K. and Ali SA. (2020). Nanoparticle-Based Sustainable Agriculture and Food Science: Recent Advances and Future. Outlook. Front. Nanotechnol., 2:579954. doi: 10.3389/fnano.2020.579954.

Nederhoff, E. and Stanghellini, C. (2010). "Water use efficiency of tomatoes in greenhouses and hydroponic," Practical Hydroponics and Greenhouse, no. 115: 52–59.

Nemali, KS. and van Iersel, MW. (2004). Light Intensity and Fertilizer Concentration: I. Estimating Optimal Fertilizer Concentration from Water-Use Efficiency of Wax Begonia. HortScience, Vol.39, No.6, (Oct 2004), pp. 1287-1292. ISSN 0018-5345.

Nielsen, CJ., Ferrin, DM. and Stanghellini, ME. (2006). Efficacy of biosurfactants in the management of Phytophthora capsici on pepper in recirculating hydroponic systems. Canadian Journal of Plant Pathology, 28(3): 450-460.

Park JS, Kurata K, (2009). Application of microbubbles to hydroponics solution promotes lettuce growth. Horticulture Technology, 19, 212–215.

Patle, GT., Kumar, M. and Khanna, M. (2020). Climate-smart water technologies for sustainable agriculture: a review. Journal of Water and Climate Change, 11-4.

Polycarpou P, Neokleous D, Chimonidou D, Papadopoulos I, (2005). A closed system for soil less culture adapted to the Cyprus conditions. In:

Hamdy A. (ed), F. El Gamal, A.N. Lamaddalen, C. Bogliotti, and R. Guelloubi. Non-conventional water use. Pp.237- 241

Raviv, M. and Lieth, JH. (2008). Soilless Culture Theory and Practice. Amsterdam: Elsevier Science.

Resh, HM. (2013). Hydroponic Food Production: a Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower. CRC Press, Boca Raton, FL

Roosta, HR., Bagheri, MH., Hamidpour, M. and Roozban, MR. (2016). Interactive Effects of Nitrogen Form and Oxygen Concentration on Growth and Nutritional Status of Eggplant in Hydroponics. Journal of Agricultural Science and Technology, 18: 731-739.

Rosenbaum, C. (2020). Design of a Deep Flow Technique Hydroponic System and an Elementary Education Module for Tri Cycle Farms. Biological and Agricultural Engineering Undergraduate Honors. Theses Retrieved from https://scholarworks.uark.edu/baeguht/73.

Rouphael Y, Colla G, (2005). Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. Scientia Horticuturae, 105 (2), 177195.

Salisbury, FB. and Ross, CW. (1991). Plant Physiology. 4th Edition, CBS Publishers and Distributors, New Delhi.

Samarakoon, U.C., Weerasinghe, P.A. & Weerakkody, W.A.P. (2006) Effect of electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (Lactuca sativa L.) in stationary culture Trop. Agr. Res, 18: 13-21

Sambo P, Nicoletto C, Giro A, PII Y, Valentinuzzi F, Mimmo T, Lugli P, Orzes G, Mazzetto F, Astolfi S, Terzano R, Cesco S, 2019. Hydroponic solutions for soilless production systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. Frontiers in Plant Science. 10: 923.

Sardare, MD. and Admane, SV. (2013). A Review on Plant without Soil – Hydroponics, International Journal of Research in Engineering and Technology, 2(3): 299-304.

Savvas, D. (2001). Nutritional Management of Vegetables and Ornamental Plants in Hydroponics. In R. Dris, R. Niskanen & S.M. Jain, eds. Crop Management and Postharvest Handling of Horticultural Products, p.

37–87. Vol. I: Quality Management. Science Publishers, Enfield, NH, USA.

Savvas, D., Ntatsi, G. and Passam, HC. (2008). Plant Nutrition and Physiological Disorders in Greenhouse Grown Tomato, Pepper and Eggplant. Europ. J. Plant Sci. Biotech., 2: 45–61.

Schmilewski, G. (2009). Growing medium constituents used in the EU. Acta Hortic. 819, 33-46

Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N. and Chaurasia, OP. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: an overview. Journal of Soil and Water Conservation, 17(4): 364-371, ISSN: 022-457X (Print); 2455-7145 (Online); DOI: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.

Shomar, B., Darwish, M. and Rowell, C. (2014). What does integrated water resources management from local to global perspective mean? Qatar as a case study, the very rich country with No water. Water Resour. Manag. 28, 2781. https://doi.org/10.1007/ s11269-014-0636-9.

Shrestha, A. and Dunn, B. (2013). Hydroponics: Technical report. Report number: HLA-6442. Oklahoma State University.

Smith, R. (1999). The growing world of hydroponics. Growing Edge 11 (1): 14–16.

Solh, M., Jamal, M., Shideed, K., Mazid, A., Biradar, C. (2017). Food security in changing Arab environment, in "Arab environment in 10 years". Beirut, Lebanon: Arab Forum for Environment and Development (AFED).

Sonneveld C, (2000). Effects of salinity on substrate grown vegetables and ornamentals in greenhouse horticulture. Thesis (The Netherlands: Wageningen University), 151 pp. https://doi. org/10.1007/978-90-481-2532-6.

Taiz, L. and Zeiger, E. (1998). Plant Physiology. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, ISBN : 0878938311, Massachusetts, U. S. A.

Truog, E. (1946). pH and nutrient availability. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 11:305-308.

Valentinuzzi F, Pii Y, Vigani G, Lehmann M, Cesco S, Mimmo T, (2015). Phosphorus and iron defciencies induce a metabolic reprogramming

and affect the exudation traits of the woody plant Fragaria×ananassa. J. Exp. Bot. 66, 6483–6495. doi: 10.1093/jxb/erv364.

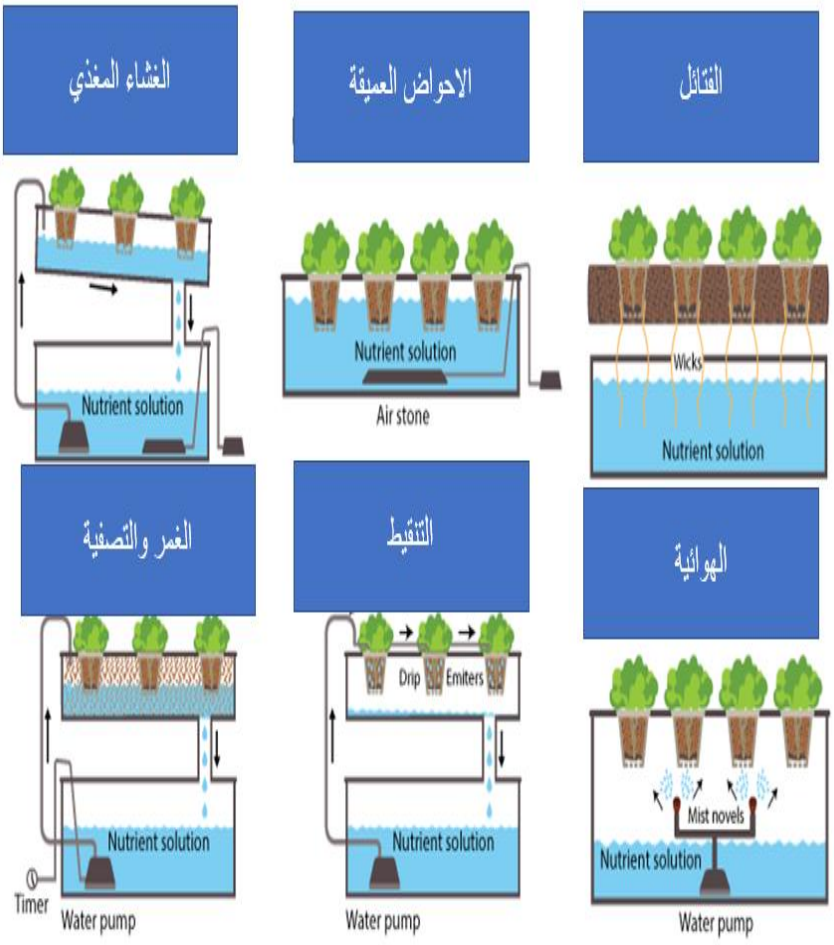
Vaughn, SF., Deppe, NA., Palmquist, DE. and Berhow, MA. (2011). Extracted sweetcorn tassels as a renewable alternative to peat in greenhouse substrates. Ind.Crops Prod., 33 (2):514–517.

Waiba, KM., Sharma, P., Sharma, A., Chadha, S. and Kaur, M. (2020). Soil-less vegetable cultivation: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 9(1): 631-636.

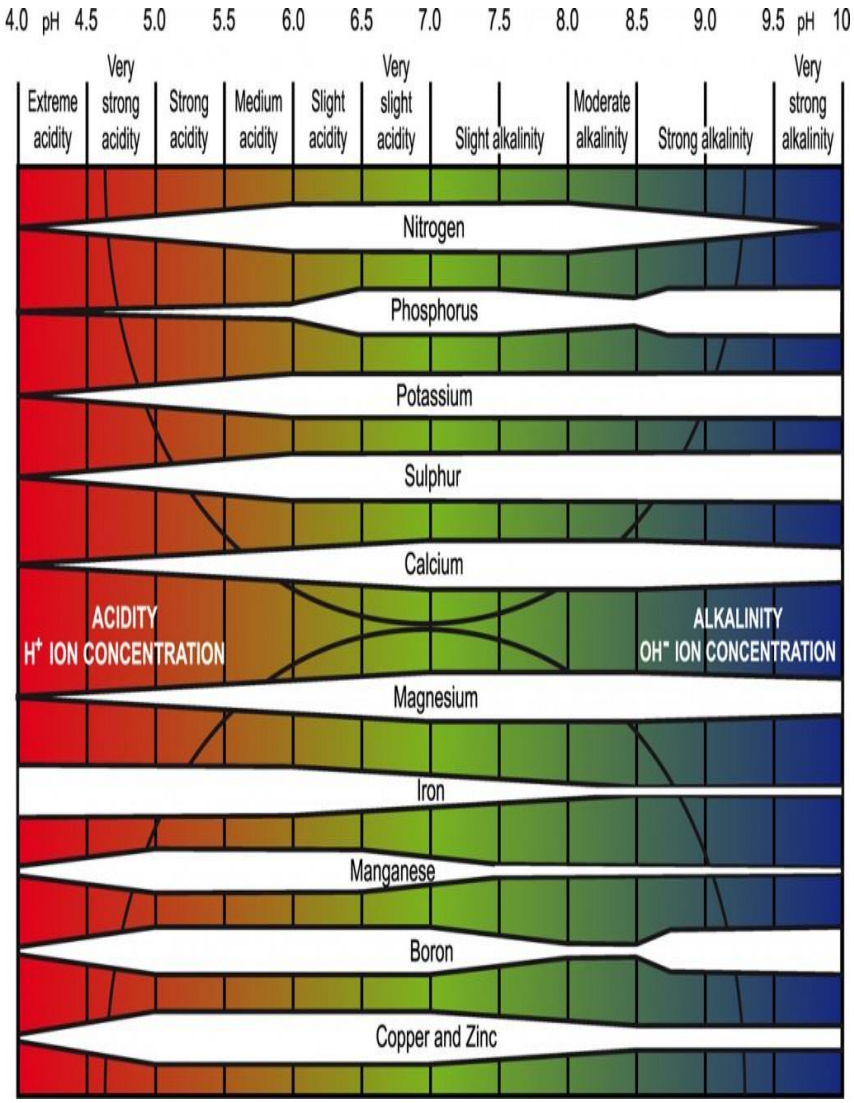
Windsor, G. and Schwarz, M. (1990). Soilless Culture for Horticultural Crop Production. FAO, Plant Production and Protection. Paper 101. Roma, Italia.

Withrow, RB. and Withrow, AP. (1948). Nutriculture. Purdue University Agr. Expt. Sta., Bul., 328.

Wortman, SE. (2015). Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. Sci. Hortic., 194: 34–42.



الشكل (1) رسم توضيحي للانواع الستة الرئيسية لانظمة الزراعة المائية



الشكل(2) تأثير الرقم الهيدروجيني على توفر العناصر الغذائية المختلفة (Truog, 1964)

الجدول (1) تركيبة بعض المحاليل المغذية

وتركيز العناصر المعدنية الأساسية بحسب باحثين عدة

العنصر	Hoagland & Arnon (1938)	Hewitt (1966)	Cooper (1979)	Steiner (1984)
	$mg\ L^{-1}$			
الازوت	210	168	200-236	168
الفوسفور	31	41	60	31
البوتاسيوم	234	156	300	273
الكالسيوم	160	160	170-185	180
المغنزيوم	34	36	50	48
الكبريت	64	48	68	336
الحديد	2.5	2.8	12	2-4
النحاس	0.02	0.064	0.1	0.02
الزنك	0.05	0.065	0.1	0.11
المنغنيز	0.5	0.54	2	0.62
البورون	0.5	0.54	0.3	0.14
الموليبدنيوم	0.01	0.04	0.2	لم يؤخذ في الاعتبار

المصدر: Cooper, 1988; Steiner, 1984; Windsor & Schwarz, 1990

الجدول (2) الشكل القابل للامتصاص من العناصر الغذائية الأساسية التي يحتاجها النبات

العنصر	الاختصار	الشكل القابل للامتصاص
الأزوت	N	NO_3^- , NH_4^+
الفوسفور	P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}
البوتاسيوم	K	K^+
الكالسيوم	Ca	Ca^{2+}
المغنزيوم	Mg	Mg^{2+}
الكبريت	S	SO_4^{2-}
الحديد	Fe	Fe^{3+} , Fe^{2+}
المنغنيز	Mn	Mn^{2+}
الزنك	Zn	Zn^{2+}
النحاس	Cu	Cu^+ , Cu^{2+}
النيكل	Ni	Ni^{2+}
الموليبدينوم	Mo	MoO_4^-

المصدر: Salisbury and Ross, 1991

جدول (3) الرقم الهيدروجيني وقيم الموصلية الكهربائية الموصى بها لبعض المحاصيل

النبات	الناقلية الكهربائية Ec (ms/cm)	درجة الحموضة Ph
الخس	1.2 −0.8	5.5-6.5
السبانخ	1.8-2.3	5.5-6.6
الفريز	2.2 −1.8	6
البندورة	2-5	5.5-6.5
الملفوف	2.5-3	6.5-7
الخيار	1.7-2.2	5.8-6
الباذنجان	2.5-3.5	6
البقدونس	1.8-2.2	6-6.5
البصل	1.4-1.8	6-7
الجزر	1.6-2	5.8-6.4
البطاطا	2-2.5	5-6

المصدر: Shresth and Dunn, 2017; Sharma et al 2018

جدول (4) بعض الأوساط غير العضوية والمستخدمة في الزراعة المائية

الوسط الزراعي	مميزات الوسط
الصوف الصخري	نظيف وغير سام ومعقم وخفيف الوزن عند الجفاف وقابل لإعادة الاستخدام وقدرة عالية على الاحتفاظ بالمياه (80٪) وله تهوية جيدة (17٪ الاحتفاظ بالهواء) ولا يوجد عنده قدرة للتبادل الكاتيوني. يوفر بيئة مثالية للجذر لإنبات البذور ونمو النبات على المدى الطويل
الفيرميكيولايت	له مسامية عالية ويشبه الإسفنج وهو وسط معقم وخفيف الوزن وله قدرة عالية على امتصاص الماء (خمسة أضعاف وزنها) وتصبح مشبعة بالمياه بسهولة وقدرة تبادل كاتيون عالية نسبيًا
البرلايت	وهو وسط معقم، يشبه الإسفنج و خفيف جدًا وله قدرة عالية جداً على التصريف لا يوجد له قدرة على التبادل الكاتيوني وهووسط إنبات جيد عند مزجه بالفيرميكوليت يمكن أن يسبب الغبار الناتج عنه تهيج الجهاز التنفسي
الرمل	حبيبات صغيرة وبأحجام متفاوتة (حجم مثالي: قطر 0.6 إلى 2.5 مم) قد تكون ملوثة بجزيئات الطين والطمي له قدرة منخفضة على الاحتفاظ بالماء وله كثافة وزن عالية يضاف بشكل متكرر إلى المزيج العضوي بدون تربة لزيادة الوزن وتحسين الصرف
حبيبات الطين الممددة	وهي وسط معقم, خاملة وتتراوح أحجام حبيباتها من 1 إلى 18 مم ولها قدرة عالية على التصريف ويمكن إعادة استخدامها إذا تم تعقيمهاوتستخدم بشكل شائع في أنظمة الزراعة المائية.

المصدر : Morgan, 2003