وزارة الــزراعــة

MINISTRY OF AGRICULTURE

الدليل التدريبي

لمبـادئ الزراعــة بدون تربــة

عن مشروع

استكشاف القيمة العالية للزراعة الشاملة اجتماعيا والفعالة في استخدام المياه في الأردن

اعداد المستشار الزراعي:

المهندس/ محمد مشاتله

الجمعية العلمية الملكية

قررت هيئة تنمية وتطوير المهارات المهنية والتقنية ومجلس مهارات قطاع الزراعة ونقابة المهندسين الزراعيين اعتماد هذا الدليل التدريبي اعتبارا من 2023

جميع الحقوق محفوظة لوزارة الزراعة

عمان/ الأردن – ص.ب: (2099) الرمز البريدي (11181)

إعداد

المستشار الزراعي/ م. محمد مشاتله

الجمعيّـة العلميّـة الملكيّـة

الطباعة والتصميم

المهندسة الزراعية/ سناء الخضر

المملكـــة الأردنيـــة الهاشميـــة

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية

(2023 / 5 /2749)

ردمك (----------) ISBN

جلالة الملك عبدالله الثاني إبن الحسين حفظه الله ورعاه

سمو وليّ العهد الأمير الحسين بن عبدالله الثاني

جدول المحتويات:

1. المقدمة .....
2. تاريخ الزراعة بدون تربة .....
3. الزراعة بدون تربة والزراعة المائية .....
   3.1. تعريف الزراعة بدون تربة .....
   3.2. ايجابيات ومحددات الزراعة بدون تربة .....
      3.2.1. ايجابيات الزراعة بدون تربة .....
      3.2.2. محددات الزراعة بدون تربة .....
      3.2.3. مزايا الزراعة بدون تربة على الزراعة التقليدية .....
   3.3. أنظمة الزراعة بدون تربة .....
      3.3.1. الزراعة بدون تربة حسب المحلول المغذي .....
      3.3.2. الزراعة بدون تربة حسب الوسط المستخدم .....
   3.4. خطوات تركيب أنظمة الزراعة بدون تربة والزراعة المائية.....
4. المحلول المغذي .....
   4.1. تعريف المحلول المغذي.....
   4.2. نوعية المياه المستخدمة في تحضير المحلول المغذي .....
   4.3. الشروط التي يجب توافرها في المحلول المغذي .....
   4.4. العوامل المؤثرة على نجاح المحلول المغذي .....
   4.5. عناصر المحلول المغذي .....
   4.6. تحضير المحلول المغذي .....
      4.6.1. الأسمدة اللازمة لتحضير المحلول المغذي .....
      4.6.2. أساسيات حساب الأسمدة في المحلول المغذي.....
      4.6.3. طريقة التحضير .....
5. إدارة الري في الزراعة بدون تربة (الوسط البديل).....
   5.1. النظام المغلق .....
   5.2. النظام المفتوح.....
   5.3. جدولة الري.....
6. توصيات وارشادات عامة لتشغيل متابعة أنظمة الزراعة بدون تربة والزراعة المائية
   6.1. إرشادات عامة .....
   6.2. نموذج المتابعة اليومية .....

قائمة الرسومات التوضيحية

رسم توضيحي 1: أنظمة الزراعة بدون تربة .....

رسم توضيحي 2: النظام المفتوح للزراعة بدون تربة.....

رسم توضيحي 3: النظام المغلق للزراعة بدون تربة.....

رسم توضيحي 4: الزراعة المائية بطريقة الوسط المائي العميق .....

رسم توضيحي 5: أجزاء نظام الزراعة المائية بطريقة الوسط المائي العميق.....

رسم توضيحي 6: الزراعة المائية بطريقة الغشاء المغذي.....

رسم توضيحي 7: أجزاء نظام الزراعة المائية بتقنية الغشاء المغذي.....

رسم توضيحي 8: الزراعة العمودية.....

رسم توضيحي 9: أجزاء نظام الزراعة المائية بطريقة الزراعة العمودية.....

رسم توضيحي 10: نظام الزراعة الهوائية.....

رسم توضيحي 11: أجزاء نظام الزراعة الهوائية.....

رسم توضيحي 12: نظام الوسط البديل للزراعة بدون تربة بطريقة القنوات الزراعية.....

رسم توضيحي 13: أجزاء نظام الزراعة بالقنوات/ الوسط البديل .....

رسم توضيحي 14: تقنية الأوعية الألمانية .....

رسم توضيحي 15: أجزاء نظام الزراعة بالأوعية الألمانية.....

رسم توضيحي 16: أوساط بديلة .....

رسم توضيحي 17: الصوف الصخري.....

رسم توضيحي 18: قشور جوز الهند.....

رسم توضيحي 19: البيرلايت.....

رسم توضيحي 20: الفيرمكيولايت.....

رسم توضيحي 21: الرمل.....

رسم توضيحي 22: كرات الطين.....

رسم توضيحي 23: التف البركاني.....

رسم توضيحي 24: ازالة العوائق وتسوية الأرض.....

رسم توضيحي 25: تحديد منطقة الزراعة.....

رسم توضيحي 26: بناء الحواجز الجانبية.....
رسم توضيحي 27: مد الغطاء البلاستيكي.....
رسم توضيحي 28: تجربة جريان المحلول المغذي.....
رسم توضيحي 29: شبك نقاط وخطوط التصريف .....
رسم توضيحي 30: ملئ القنوات الزراعية بمادة الوسط البديل.....
رسم توضيحي 31: مد شبكة الري.....
رسم توضيحي 32: تجهيز المحلول المغذي ومتابعة نمو النبات.....
رسم توضيحي 33: ازالة العوائق وتسوية التربة.....
رسم توضيحي 34: بناء الحواجز الجانبية للاحواض.....
رسم توضيحي 35: تبطين الأحواض بالغطاء البلاستيكي.....
رسم توضيحي 36: تركيب مضخات الاكسجين داخل الأحواض.....
رسم توضيحي 37: تعبئة الأحواض بالمحلول المغذي وضبط ال pH و EC.....
رسم توضيحي 38: تثقيب الواح البولسترين.....
رسم توضيحي 39: زراعة الأشتال داخل كاسات مخصصة للزراعة المائية .....
رسم توضيحي 40: أفضل مدى لذائبية العناصر المغذية.....
رسم توضيحي 41: الأدوات اللازمة لتحضير المحلول المغذي.....
رسم توضيحي 42: حفظ المحلول المغذي بأوعية خاصة.....
رسم توضيحي 43: اضافة المحلول المغذي اتوماتيكيا .....
رسم توضيحي 44: أجهزة قياس ال pH وال EC.....

قائمة الجداول

جدول1: الحد الأعلى من تراكيز العناصر المسموح بها في الماء المستخدم في الزراعة المائية

جدول 2: نوعية المياه بناءً على تركيز الاملاح الذائبة

جدول 3: قيم الموصلية الكهربائية الموصى بها لكل نبات

جدول 4: بعض الأسمدة اللازمة لتحضير المحلول المغذي

جدول 5 : الإحتياجات الغذائية لمحصول البندورة في المرحلة الأولى من النمو

جدول 6: تحضيرالمحاليل المحتوية على العناصر الكبرى المستخدمة في محلول هوغلاند

جدول 7: تحضيرالمحاليل المحتوية على العناصر الصغرى المستخدمة في محلول هوغلاند

جدول 8: تحضير محاليل الزراعة المائية الان كوبر (a): محلول A، (b) محلول B

جدول 9 : محلول ايكاردا المغذي لنبات الفراولة

جدول10 : محلول ايكاردا المغذي لنبات الخيار

جدول 11: طريقة جدولة الري حسب الوسط المستخدم

جدول12: قيم الموصلية الكهربائية لبعض المحاصيل حسب مراحل النمو

جدول 13: نموذج المتابعة اليومية

نبذة عن المشروع:

الأردن بلد صغير يفتقر إلى الموارد، وهو بلد متوسط الدخل مع إمدادات غير كافية من المياه والنفط والموارد الطبيعية الأخرى. تعتبر ندرة المياه من التحديات الرئيسية في الزراعة بشكل عام، وتقنية الزراعة المائية (الهيدروبونيك) لا تزال في مراحلها الأولى من التطور في الأردن، ومعظم مشاريع الزراعة المائية الحالية صغيرة الحجم.

يهدف هذا المشروع إلى خلق بيئة مواتية لإدخال الزراعة المائية إلى الأردن، كنموذج لإنتاج الغذاء يمكن المزارعين والمهندسين الزراعيين من التنويع نحو إنتاج أعلى قيمة من خلال تقنيات الزراعة الذكية مناخياً في استخدام المياه تحت الإشراف العام لوزارة الزراعة والجهة المانحة في الأردن بالتشاور الوثيق مع الوزارات الحكومية ذات الصلة.

1. المقدمة:

أدت الزيادة في عدد سكان العالم والتغيرات المناخية المفاجئة التي نعايشها بالإضافة إلى الحروب والاضطرابات السياسية الحاصلة حول العالم إلى زيادة الطلب على الغذاء مع تأثيرات كبيرة على البيئة. وأسفرت ممارسات الإنتاج الزراعي عن ضرر جسيم جداً بالتربة من حيث التعرية والتلوث بالمواد الخطرة والدمج والتصحر. بالإضافة إلى ذلك، كان هناك استغلال مفرط للموارد المائية. معظم المياه ملوثة بسبب الاستخدام العشوائي للمواد الخطرة، مما أدى إلى زيادة المغذيات. وقد ساهمت الزراعة المكثفة والثروة الحيوانية في ضياع التنوع البيولوجي الزراعي والطبيعي، وتدهور النظم الإيكولوجية والحد من أو حتى انقراض العديد من الأنواع الحيوانية والنباتية. كما تم تسجيل التأثيرات السلبية على المستوى المناخي بسبب الزيادة الملحوظة في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون وانبعاثات الميثان بشكل خاص. ومن هنا ظهرت فكرة استخدام اساليب حديثة للزراعة تضمن تحقيق الأمن الغذائي والحصول على غذاء صحي بطرق طبيعية و طرق زراعة جديدة كليا تفيد البيئة وتحافظ على مكوناتها الحية وغير الحية .

2. تاريخ الزراعة بدون تربة:

إن أول ظهور للزراعة المائية كان في حدائق بابل المعلقة، والحدائق العائمة لحضارة الأزتيك في المكسيك، وحدائق الصينيين، على الرغم من عدم الإشارة إليها على أنها كذلك. حتى السجلات المكتوبة باللغة الهيروغليفية التي تعود إلى مئات السنوات قبل الميلاد تشير إلى أن قدماء المصريين استخدموا تقنيات الزراعة المائية لزراعة النباتات من دون الحاجة إلى التربة، باستخدام الأملاح المعدنية الذائبة في المياه لزراعة الخضراوات والخضراوات الورقية، بدلاً من اتباع أساليب الزراعة التقليدية التي نعرفها اليوم (Howard and Resh, 2013).

- أول التجارب التي بدأت لتقنية الزراعة بدون تربة وتطويرها لمعرفة تركيب النبات والمواد التي تسبب نموه بواسطة العالم البلجيكي Jan Van Helmont كانت سنة 1600.

- في سنة 1842 اكتشف عالما النبات الألمانيان يوليوس فون ساكس وويلهلم نوب تسعة عناصر ضرورية لنمو النبات. وفي الأعوام 1850-1860 قام العالمان بتطوير الزراعة المائية التي شملت على ضخ الهواء في محلول غني بالعناصر الغذائية، وتقنيتهم كانت تعرف بتقنية الزراعة المائية العميقة، والآن تعرف بزراعة المحاليل.

- في عام 1929 أطلق العالم Gericke من جامعة كاليفورنيا مصطلح Hydroponic على مزارع المحاليل المغذية. وهناك من يقول بأن هذه التسمية اطلقها العالم الأمريكي Setchell في العام 1937 بجامعة كاليفورنيا للتمييز بينها وبين كلمة Geoponics التي هي مصطلح لاتيني يقصد الزراعة باستخدام التربة.

اما مصطلح الهيدروبونيك "Hydroponic" فهي كلمة يونانية تتكون من مقطعين Hydro وتعني الماء، والثاني Ponic بمعني العمل ليصبح المعنى "عمل الماء" أو "المزارع المائية" (Al-Niemi,1971)

- في عام 1938 توصل الباحثان Hogland و Arnon إلى محلول مغذي سمي بمحلول Hogland الذي طوره فيما بعد Arnon عام 1950. ولايزال يستخدم إلى زماننا مع بعض الاضافات والتعديلات.

- في سنة 1950 بدأ انتشار طرق الزراعة بدون تربة في عدد من دول العالم مثل إيطاليا واسبانيا وفرنسا وإنجلترا والمانيا والسويد والاتحاد السوفيتي السابق وفلسطين المحتلة في مساحات محدودة. في سنة 1960 طور الباحث الآن كوبر تقنية غشاء العناصر المغذية Nutrient Film Technique (NFT).

- في العقود الحديثة عملت وكالة الفضاء الأمريكية ناسا أبحاثا كثيرة ومكثفة على الزراعة بدون تربة لبرامج الفضاء وطورت عام 1970 نظام الايروبونيك (الزراعة الهوائية) واجرت عليه العديد من الابحاث (Al-Niemi,1971).

3. <u>الزراعة بدون تربة و الزراعة المائية (Hydroponic)</u>

يستخدم في بعض الأحيان مصطلح (Hydroponic) مرادفا لكلمة الزراعة بدون تربة. ولغرض التفريق بين المصطلحين، فإن مصطلح hydroponic يطلق على أنظمة الزراعة في محاليل مغذية بدون استخدام بيئات صلبة، أما مصطلح الزراعة بدون تربة Soilless culture بالاضافة إلى الزراعة المائية (Hydroponic) يتم أيضا تربية المحاصيل الزراعية باستخدام أوساط خاملة مختلفة (البيرلايت، الفيرمكيولايت، الصوف الصخري، وقشور جوز الهند) أو بما يسمى بالركائز (الأوساط البديلة للتربة). وتوفر هذه الأوساط دعائما للنباتات مع الاحتفاظ بالرطوبة. ويتم دمج أنظمة الري داخل هذه الأوساط بحيث تقوم على توفير المحلول المغذي إلى مناطق جذور النباتات، ويوفر هذا الحل جميع العناصر الغذائية اللازمة لنمو النباتات (FAO,2016)

وعليه فأن أبسط تعريف للزراعة بدون تربة هو: زراعة النباتات في الأوساط البديلة للتربة وتنميتها باستخدام المحلول المغذي.

3.1. تعريف الزراعة بدون تربة (Soilless Culture)

تعرف الزراعة بدون تربة بأنها طريقة زراعة للنباتات دون استخدام التربة كوسط لنمو النبات؛ بحيث يتم تنمية النباتات مباشرة في المحلول المغذي أو استخدام بدائل للتربة لنمو الجذور وتسقى بمحلول مكون من الماء والأسمدة يطلق عليه اسم المحلول المغذي.

3.2. إيجابيات ومحددات الزراعة بدون تربة:

3.2.1. إيجابيات الزراعة بدون تربة:

1. رفع كفاءة استخدام مياه الري إلى أقصى حد ممكن، بالتالي التقليل من الهدر الكبير للماء المستخدم لري المحاصيل الحقلية.
2. يمكن استخدام تقنيات الزراعة بدون تربة في أي مكان بغض النظر عن مدى توفر الاراضي الصالحة للزراعة.
3. زيادة كمية الإنتاج في وحدة الزراعة؛ حيث تتم الزراعة بشكل عمودي لبعض المحاصيل (التكنولوجيا العمودية).
4. الحد بشكل كبير من الفاقد من الأسمدة والذي يضيع في التربة أو التي يتم تثبيتها من خلالها بالتالي تحتاج لكميات إضافية من المياه من أجل غسيل التربة.
5. تقليل الضرراللاحق بالتربة والبيئة والمياه الجوفية نتيجة إضافة الأسمدة بشكل كبير وتكرار الزراعة في نفس الموقع.
6. التقليل من عمليات الزراعة التقليدية مثل الأعمال الحقلية ومكافحة الآفات والتسميد وتعقيم التربة.
7. خفض تكاليف الإنتاج ورفع إنتاج المساحة الزراعية إلى الحد الأعلى بأقل جهد.
8. إنتاج أغذية (محاصيل) نظيفة ذات جودة عالية.
9. الحدّ من انتشار مسببات الأمراض التي تنتقل عن طريق التربة؛ حيث أن مشاكل التربة تُعد من أكبر العوامل المحددة للإنتاج في البيوت المحمية، التي تتكاثر في تربتها أعداد كبيرة من الآفات الفطرية والبكتيرية وكذلك الحشرية وبعض أنواع نيماتودا النبات، خاصة نيماتودا تعقد الجذور، كما تتضمن بذور الأعشاب الضارة والنباتات الزهرية المتطفلة، حيث يلجأ المزارع للتغلب على هذه المشاكل إلى عمليات مكلفة وغير آمنة للتعقيم.

3.2.2. محددات الزراعة بدون تربة:

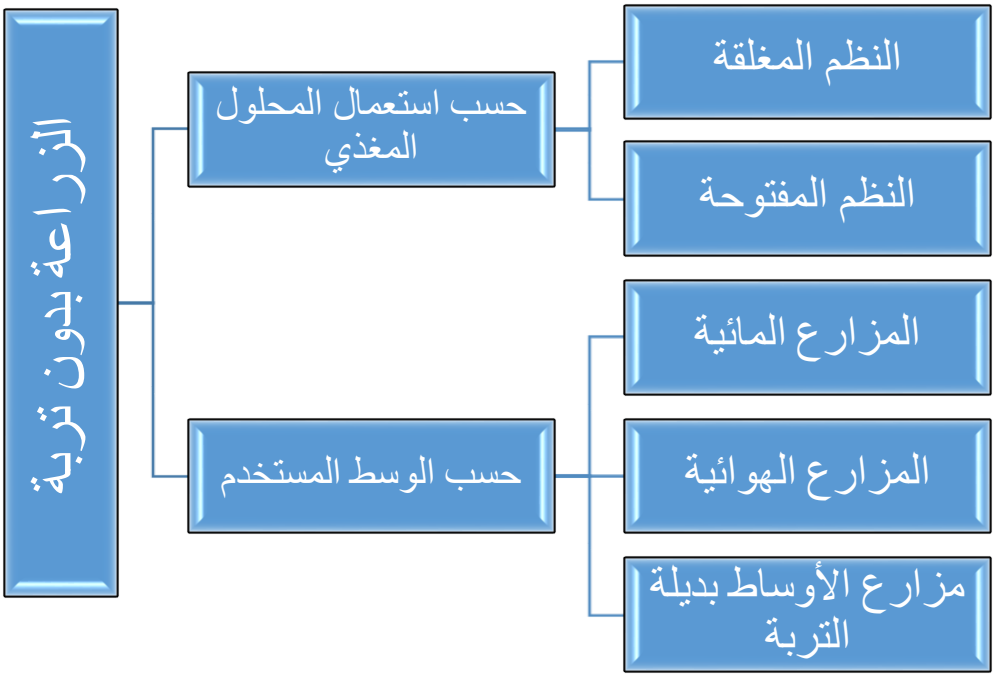
1. ارتفاع الكلفة التأسيسية لمشاريع الزراعة بدون تربة والزراعة المائية مقارنة بمشاريع الزراعة التقليدية؛ حيث أنها تحتاج إلى أجهزة ومعدات خاصة.
2. تحتاج أنظمة تقنيات الزراعة بدون تربة متابعة مستمرة خشية انقطاع التيار الكهربائي وتعطل المضخات والأجهزة الكهربائية الأخرى.

3. تحتاج للمعرفة العلمية والعملية الخاصة بمفهوم المحلول المغذي وطرق تحضيره ومعايرته أكثر من الزراعة التقليدية.
4. فى غياب التربة كمخزن للعناصر، فإن أي نقص فى تركيبة المحلول المغذي سيكون له أثر فوري على النباتات، وخطورة فقدان المحصول بشكل كامل.
5. إمكانية انتقال الأمراض الفطرية عن طريق المحلول المغذي وخاصة في النظام المغلق في حال تلوث خزان المحلول المغذي.

3.2.3. مزايا الزراعة بدون تربة على الزراعة التقليدية (الزراعة بالتربة):

1. جميع العناصر الغذائية التي يتم توفيرها تكون متاحة بسهولة للنبات.
2. يمكن استخدام تراكيز أقل من المغذيات (الأسمدة).
3. استخدام المبيدات بشكل اقل مقارنة بالزراعة التقليدية.
4. يمكن التحكم في الرقم الهيدروجيني ال pH للمحلول المغذي لضمان امتصاص العناصر الغذائية بالشكل الأمثل.
5. لا توجد خسائر في العناصر الغذائية بسبب الغسيل (Leaching).

3.3. أنظمة الزراعة بدون تربة

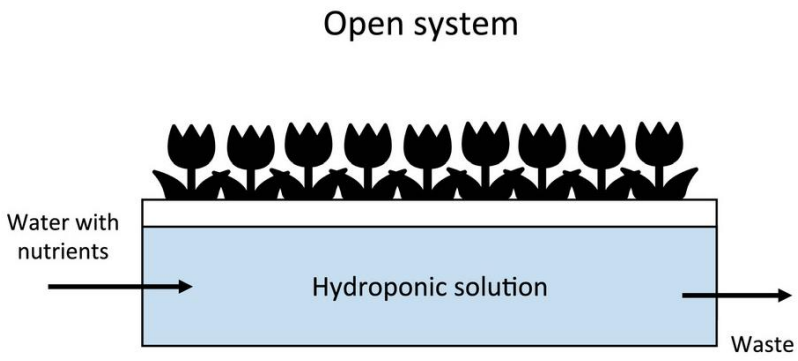


رسم توضيحي1: أنظمة الزراعة بدون تربة

3.3.1. الزراعة بدون تربة حسب المحلول المغذي:

I. النظم المفتوحة (Open Systems)

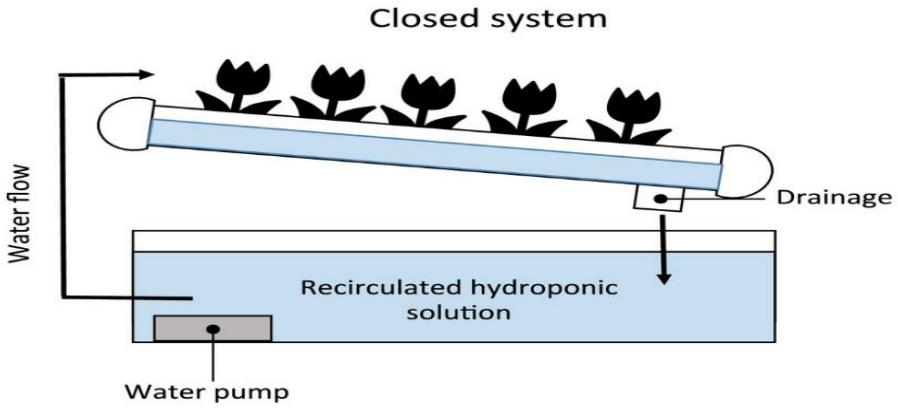
يقصد بها النظم التي يتم استعمال المحلول المغذي فيها لمرة واحدة فقط، مما يقلل من انتشار الأمراض المرتبطة بالمحلول المغذي كالأمراض الفطرية ولكنه يزيد التكاليف.



رسم توضيحي 2: النظام المفتوح للزراعة بدون تربة (Liliana et al., 2020)

II. النظم المغلقة :(Close Systems)

يقصد بها النظم التي يتم استعمال المحلول المغذى فيها بشكل متكرر، مما يقلل التكاليف ولكنه يزيد من احتمالية انتشار الأمراض، لكن في المشاريع الكبيرة يمكن تعقيم المحلول المغذي بواسطة الأوزون أو الأشعة فوق البنفسجية للقضاء على العوامل الممرضة.



رسم توضيحي 11: النظام المغلق للزراعة بدون تربة(Liliana et al., 2020)

بينت نتائج الدراسات (Abd-Elmoniem, et.al., 2006) و (Mohammad and esmail,2021) المتعلقة بمقارنة الأنظمة المغلقة والأنظمة المفتوحة من حيث استهلاك الماء والعناصر الغذائية أن الأنظمة المغلقة أكثر كفاءة بالمقارنة بالأنظمة المفتوحة. كما أشارت النتائج التي تم الحصول عليها خلال الدراسة إلى أن الأنظمة المغلقة تزيد من كفاءة استخدام مبيدات الآفات وتقلل من تأثيرها على البيئة.

3.3.2. الزراعة بدون تربة حسب الوسط المستخدم:

I. **المزارع المائية (Hydro-Culture)**:

وهي طريقة لزراعة النباتات مباشرة في المحلول المغذي، وتشمل التقنيات التالية:

a. الوسط المائي العميق Deep water culture

تزرع النباتات في هذا النظام في وسط يحتوي على الماء والعناصر الغذائية (المحلول المغذي) بحيث تُحمل النباتات على ألواح طافية على سطح المحلول المغذي (ألواح بوليسترين/ فوم) وتكون جذورها مغمورة في المحلول المغذي، ويتم إمداد النباتات بالأكسجين بواسطة مضخة هواء.

رسم توضيحي 4: الزراعة المائية بطريقة الوسط المائي العميق (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT)

أجزاء النظام:

1- الحوض المائي: - وهو حوض معزول بالكامل ذو أبعاد مختلفة بما يتوافق مع المساحة المخصصة للزراعة .

2- الحامل (السطح الطافي):- عبارة عن طبقة توضع على سطح الحوض المائي، وظيفتها الرئيسية حمل حواضن الأشتال ويفضل بأن يكون من البولسترين (P35) لزيادة قدرته على حمل الأشتال.

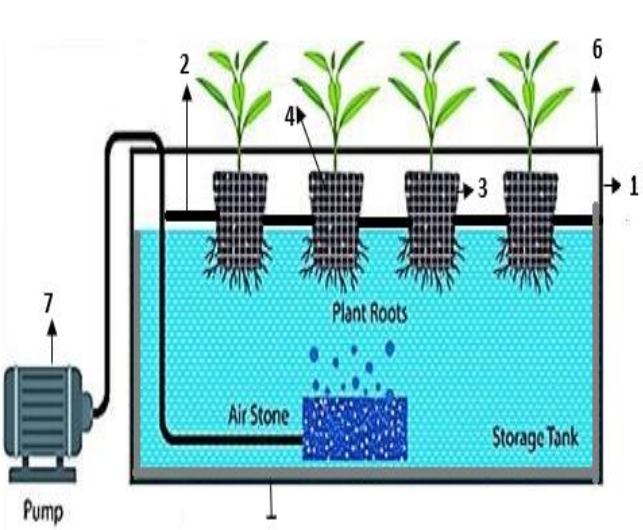
3- حواضن الزراعة (كاسات الزراعة المائية):- هنالك مقاسات متعددة، والافضل ذات الأبعاد (76ملم قطر*78ملم عمق) وتكون ذات فتحات جانبية وسفلية من أجل السماح للجذور بالنمو بالشكل السليم.

4- الوسط الزراعي:- وهو عبارة عن أي وسط (عضوي او غير عضوي) وظيفته فقط تدعيم النبات عند وضعه داخل كأس الزراعة، وتكون كمياته قليله جداً. وهنالك أوساط كثيرة منها الهيدروتون، و البيتموس مخلوطاً بالبيرلايت، وغيرها وأشهرها التووف (الحجر البركاني) وهو الأنسب.

5- الغطاء البلاستيكي:- وهذا يعتمد على طريقة صنع الحوض والمادة المصنوعة منه؛ حيث أن وظيفته العمل على إبقاء المحلول المغذي داخل الحوض حيث يتم تبطين الحوض بهِ، لضمان عدم تسربه منه وتغذية النبات بالشكل السليم.

6- المحلول المغذي:- وهو عبارة عن الماء مضافاً إليه المغذيات اللازمة لنمو النبات.

7- مضخة هواء:- وظيفتها الأساسية تزويد الوسط المائي بالأكسجين اللازم لنمو الجذور.



رسم توضيحي 5: أجزاء نظام الزراعة المائية بطريقة الوسط المائي العميق (Raktim et al., 2020)

b. نظام الغشاء المغذي Nutrient Film Technique (NFT)

يتم فيها تنمية النباتات في أقنية أو أنابيب يسري فيها المحلول المائي بشكل مستمر وعلى شكل طبقة رقيقة .

رسم توضيحي 6: الزراعة المائية بطريقة الغشاء المغذي (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT - جبل الحسين)

أجزاء النظام:

1- خزان للمحلول المغذي: وهو عبارة عن خزان التغذية الرئيسي والذي يتم من خلاله تغذية النباتات. ويختلف حجمه ونوعه بحسب المساحة المزروعة (عدد الأشتال) .

2- مضخة التغذية: عبارة عن مضخة تختلف قدرتها ومواصفاتها بحسب مساحة النظام المزروع، وظيفتها الأساسية تغذية النباتات من خلال ضخ المحلول المغذي داخل أنابيب أو القنوات الزراعية.

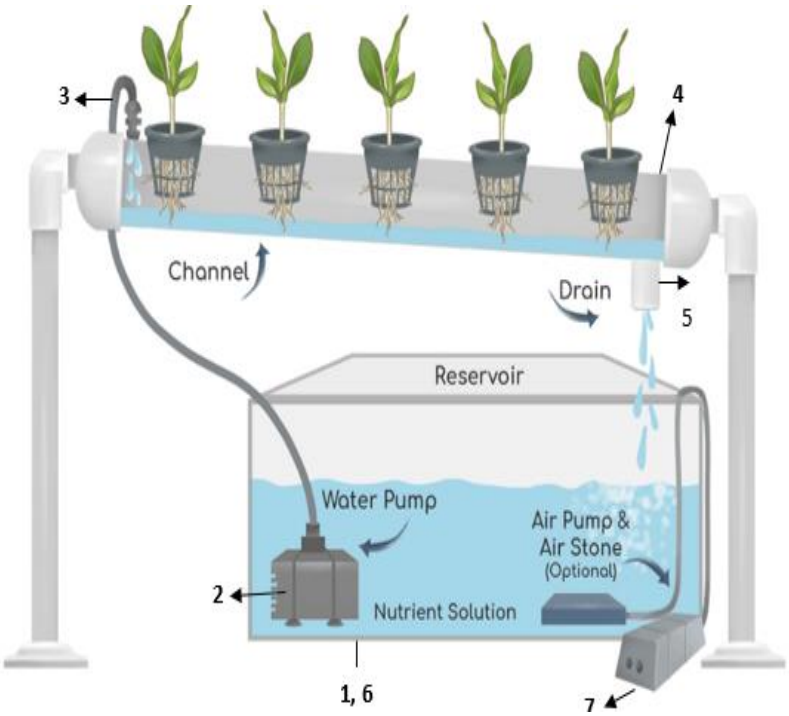
3- شبكة الرّي (أنابيب التغذية): وهي عبارة عن مجموعة من أنابيب الرّي الرئيسية والفرعية تستخدم لتوزيع المحلول المغذي على القنوات الزراعية.

4- القنوات الزراعية: وهي عبارة عن مجموعة من القنوات قد تكون متصلةً مع بعضها البعض أو منفصلة؛ و تكون منحدرة بميل بحدود 1% -2% ينساب المحلول المغذي بفعل الجاذبية الأرضية مشكلا طبقة رقيقة من المحلول المغذي حول الجذور كما تنتشر الرطوبة في أنحاء الأنابيب والقنوات.

5- خطوط تصريف المحلول المغذي: وهي شبكة من أنابيب الصرف، يتم شبكها من خلال نقطة التصريف الموجودة أخر القنوات الزراعية.

6- خزان الراجع: وهو خزان يعمل على استقبال وتجميع المحلول الزائد ليتم استخدامه مرة أخرى لتغذية النبات ويتم تركيب عوامة بداخلِهِ عند مستوى معين لضمان تفادي ارتفاع مستوى الماء بداخلِهِ ومنعه من الامتلاء الكامل، ومن الافضل وضع الخزان داخل بناء أرضي إسمنتي لحمايته من العوامل الخارجية (أنهيار التربة المحيطة).

7- لوحة التحكم: حيث تحتوي على منظم الرّي (مؤقت الرّي) والذي بدوره يعطي أمر التشغيل لمضخة التغذية بالعمل.



رسم توضيحي 7: أجزاء نظام الزراعة المائية بتقنية الغشاء المغذي
source: (https://soakandsoil.com)

c. الزراعة العمودية و الجدران الخضراء (Vertical Farming and Green Walls) :

رسم توضيحي 8: الزراعة العمودية

وهي إحدى تقنيات الزراعة المائية الحديثة؛ حيث يتم زراعة النباتات في أبراج يتراوح ارتفاعها من 2.0م – 3.0 م وقد تزيد، وما يميزها عن غيرها من التقنيات الاخرى قدرة استيعابها عدد أكبر من النباتات مقارنة بتقنيات الزراعة المائية الأخرى.

أجزاء النظام:

1- برج الزراعة: وهوعبارة عن بناء بلاستيكي (برج بلاستيكي) يحتوي على فتحات خاصة بحواضن الزراعة (كاسات الزراعة المائية).

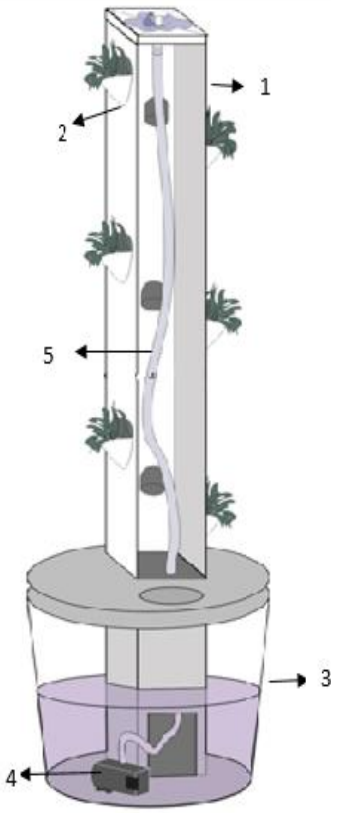
2- حواضن الزراعة: وهي عبارة عن كاسات مخصصة لغايات الزراعة المائية العمودية.

3- حوض تغذية البرج: عبارة عن حوض يصمم خصيصاً لأبراج الزراعة المائية العمودية؛ بحيث يعمل على تغذية جذور النباتات داخل برج الزراعة المائية من خلال مضخة التغذية.

4- مضخة التغذية: وهي مضخة ذات قدرة متوسطة لها القدرة على رفع توزيع المحلول المغذي داخل برج الزراعة العمودي.

5- أنابيب التغذية: وهي عبارة عن أنابيب توضع داخل برج الزراعة لتغذية جذور النباتات.

6- لوحة التحكم (المؤقت الزمني): والتي بدورها تعطي أمر التشغيل لمضخة التغذية بالعمل.



رسم توضيحي 9: أجزاء نظام الزراعة المائية بطريقة الزراعة العمودية
source: http://www.tomorrowsgarden.net/

II. الزراعة الهوائية Aeroponic Culture:

هي زراعة النباتات في بيئة هوائية (ضبابية) ويتم ذلك من خلال مرشات ضبابية داخل صندوق مغلق. حيث ان هذا النظام يشبه نظام تقنية الوسط المائي العميق الى حد كبير مع اختلاف عملية تغذية النباتات.

رسم توضيحي 10: نظام الزراعة الهوائية (مؤسسة جذور العالمية (IRCAT) – مشتل فيصل

أجزاء النظام:

1- حوض مائي: - وهو ذو أبعاد مختلفة.
2- الحامل (السطح الطافي):- وهو عبارة عن طبقة مناسبة توضع على الحوض بعدة أشكال منها السطحي أو الهرمي، وظيفتها الرئيسية حمل حواضن الأشتال ويفضل بأن يكون من البولسترين (P35) لزيادة قدرته على حمل الاشتال.
3- حواضن الزراعة (كاسات الزراعة المائية):- هنالك مقاسات متعددة، والأفضل ذات الأبعاد (76ملم قطر*78ملم عمق) وتكون ذات فتحات جانبية وسفلية من أجل السماح للجذور بالنمو بالشكل السليم.
4- الوسط الزراعي:- وهو عبارة عن أي وسط (عضوي او غير عضوي) وظيفته فقط تدعيم النبات عند وضعه داخل كأس الزراعة، وتكون كمياته قليله جداً. وهنالك أوساط كثيرة منها الهيدروتون، والبيتموس مخلوطاً بالبيرلايت، وغيرها وأشهرها التووف (الحجر البركاني) وهو الأنسب.
5- المحلول المغذي:- وهو عبارة عن الماء مضافاً إليه المغذيات اللازمة لنمو النبات.
6- مضخة ماء داخلية:- وظيفتها الأساسية تزويد ضخ المحلول المغذي داخل الحوض من خلال المرشات الضبابية مع ضمان تكرار هذه العملية عدة مرات خلال اليوم.
7- المرشات الضبابية: وهي سبب تسمية هذه النظام بالزراعة الهوائية. حيث تقوم بتوزيع المحلول المغذي داخل الحوض على شكل ضباب مما يساعد في توفير المغذيات والأكسجين اللازمين لنمو الجذور بالشكل السليم.

رسم توضيحي 11: أجزاء نظام الزراعة الهوائية

III. أنظمة الوسط البديل (أنظمة الرّي بالتنقيط – Drip Hydroponic Systems)

وهي الأنظمة التي تنمو فيها جذور النبات في مجموعة من الأوساط الزراعية الخاملة التي لا يدخل فيها التربة، وسيتم ذكر أكثر التقنيات وأوسعها انتشاراً.

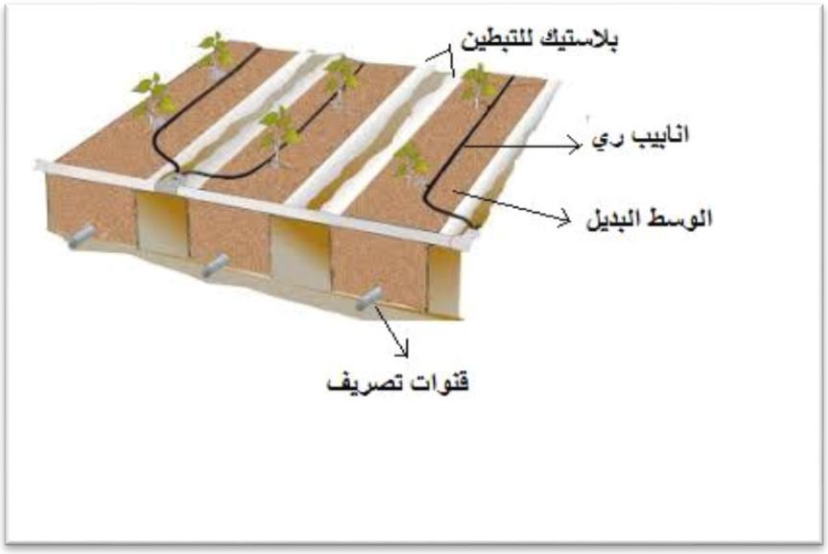
أ. القنوات الزراعية (Trench Technique):

وهي عبارة عن قنوات زراعية عادةً ما تكون مستطيلة الشكل، لما توفره من مساحة جيدة لاستيعاب أكبرعدد من الأشتال وتسمح للجذور بالنمو بالشكل السليم. في هذا النظام تنمو النباتات في خندق في الأرض، أو في مجرى فوق الأرض يتم تشييده بالطوب أو الخرسانة الأسمنتية أو مجرى معدني وقنوات بلاستيكية، في جميع الحالات يتم تبطين المجرى من الداخل بشرائح بلاستيكية غير منفذة للماء. يتم تحديد عرض وعمق المجرى حسب النباتات التي سيتم زراعتها. يوضع في المجرى بعد تبطينة الوسط البديل للزراعة ويتم ريها عن طريق انابيب الري بالتنقيط.

رسم توضيحي 12: نظام الوسط البديل للزراعة بدون تربة بطريقة القنوات الزراعية (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT)
مشتل فيصل الزراعي و لواء الاغوار الوسطى

أجزاء النظام:

1- خزان للمحلول المغذي: وهو عبارة عن خزان التغذية الرئيسي والذي يتم من خلاله تغذية النباتات. ويختلف حجمه ونوعه بحسب المساحة المزروعة (عدد الأشتال) ومساحة منطقة الخدمات المتوفرة، ويفضل وضعه داخل بناء اسمنتي.
2- مضخة التغذية: عبارة عن مضخة تختلف قدرتها ومواصفاتها بحسب مساحة النظام المزروع وعادةً ما تكون ذات قدرة عالية، وظيفتها الأساسية تغذية النباتات من خلال ضخ المحلول المغذي داخل أنابيب التغذية.
3- شبكة الرّي (أنابيب التغذية): وهي عبارة عن مجموعة من أنابيب الرّي الرئيسية والفرعية تستخدم لتوزيع المحلول المغذي إلى القنوات الزراعية.
4- القنوات الزراعية: وهي عبارة عن مجموعة من القنوات تكون منفصلة عن بعضها البعض؛ وتكون منحدرة بميل بحدود 1% ينساب المحلول المغذي الزائد عن حاجة النبات إلى خزان الراجع.
5- خطوط تصريف المحلول المغذي: وهي شبكة من نقاط وأنابيب الصرف، يتم شبكها من خلال نقطة التصريف الموجودة أخر القنوات الزراعية.
6- خزان الراجع: وهو خزان يعمل على استقبال وتجميع المحلول المغذي الزائد ليتم استخدامه مرة أخرى لتغذية النبات ويفضل وضعه داخل بناء اسمنتي أرضي لحمايته.
7- لوحة التحكم: حيث تحتوي على منظم الرّي (مؤقت الرّي) والذي بدوره يعطي أمر التشغيل لمضخة التغذية بالعمل.



رسم توضيحي 13: أجزاء نظام الزراعة بالقنوات/ الوسط البديل (Anurag et al., 2020)

ب.تقنية الأوعية الألمانية - الهولندية (Dutch Bucket Technique):

يتم في هذا النظام زراعة النباتات بأوعية خاصة (حواضن) منفصلة عن بعضها البعض بحيث تكون مرتبة على التوالي، ويتم تزويدها بالمحلول المغذي بواسطة خطوط تغذية (بالتنقيط) خارجة من خزان المحلول المغذي، يوضع بالأوعية فتحة تصريف من الأسفل تكون موصولة بمجرى أو أنبوب يعود للخزان مرة أخرى.

https://www.jordantimes.com/ https://gardenculturemagazine.com/

رسم توضيحي 14: تقنية الأوعية الألمانية

أجزاء النظام:

1- خزان للمحلول المغذي: وهو عبارة عن خزان التغذية الرئيسي والذي يتم من خلاله تغذية النباتات. ويختلف حجمه ونوعه بحسب المساحة المزروعة (عدد الأشتال) ومساحة منطقة الخدمات المتوفرة .

2- مضخة التغذية: عبارة عن مضخة ذات قدرة عالية، وظيفتها الأساسية تغذية النباتات من خلال ضخ المحلول المغذي داخل أنابيب التغذية .

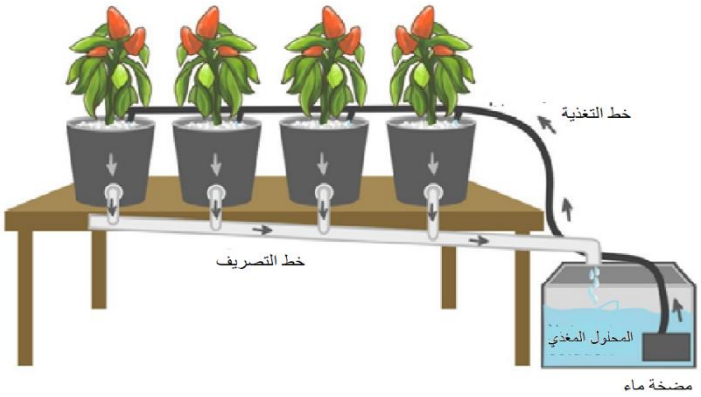
3- شبكة الرّي (أنابيب التغذية): وهي عبارة عن مجموعة من أنابيب الرّي الرئيسية والفرعية تستخدم لتوزيع المحلول المغذي إلى الحواضن الزراعية.

4- الحوامل: وهي عبارة عن مجموعة حوامل متصلة مع بعضها وظيفتها حَمل الحواضن الزراعية، قد تكون مصنوعة من الحديد أو الطوب أو أي جسم يؤدي وظيفة الحمل وتكون منحدرة بميل بحدود 1% حيث ينساب المحلول المغذي الزائد بفعل الجاذبية الأرضية إلى خزان الراجع.

5- خطوط تصريف المحلول المغذي: وهي شبكة من أنابيب الصرف، يتم شبكها من خلال نقطة التصريف الموجودة أسفل الحواضن الزراعية.

6- خزان الراجع: وهو خزان يعمل على استقبال وتجميع المحلول الزائد ليتم استخدامه مرة أخرى لتغذية النبات .

7- لوحة التحكم: حيث تحتوي على منظم الرّي (مؤقت الرّي) والذي بدوره يعطي أمر التشغيل لمضخة التغذية بالعمل.



رسم توضيحي 15: أجزاء نظام الزراعة بالأوعية الألمانية (https://krishijagran.com/featured/dutch-bucket)

لابدَّ هنا من ذكر أهم مواصفات الأوساط البديلة للتربة والتي تتلخص فيما يلي:

المواصفات المطلوبة للبيئات الزراعية (الاوساط بديلة التربة):

يعد اختيار الوسط البديل عاملاً رئيسياً في أنظمة الزراعة بدون تربة لنمو الجذر بشكل سليم ونمو البراعم، يجب أن يكون الوسط البديل المستخدم ذو مسامية عالية، وكثافة ظاهرية (Bulk density) منخفضة، و سعة تخزين المياه (Water holding capacity) مثالية ، ثابتة تحافظ على بنيتها وتركيبها. في حال نقص المياه يقل امتصاص المغذيات، ويقل نمو النبات، وقد يتسبب في ذبول النباتات بشكل دائم، وفي حالة المياه الزائدة يقل النشاط الميكروبي، وامتصاص المغذيات، ونمو الجذور. لذلك، تعد الإدارة المثلى لتحقيق التوازن للمياه والهواء في الوسط الزراعي ضرورية للحفاظ على بيئة جذرية صحية.

الخصائص الفيزيائية المناسبة للأوساط البديلة المستخدمة في الزراعة بدون تربة تعزز نمو النبات وإنتاجيته. الأوساط البديلة ذات الحبيبات الناعمة جدًا عادةً ما تكون ال WHC أعلى والتهوية أقل مقارنةً بالأوساط ذات الحبيبات الخشنة (جيدة التهوية) قد تتركز الجذور في الجزء العلوي من نظام الزراعة في حال الأوساط البديلة سيئة التهوية مما يزيد من القابلية للإصابة بأمراض تعفن الجذور ونقص العناصر الصغرى، على الرغم من أن المسامات المملوءة بالهواء عالية في الحبيبات الخشنة، فقد وجد أن درجة الارتباط بين المسام يتناقص مع زيادة خشونة الوسط البديل .

ومن الخصائص المطلوب توافرها في الأوساط البديلة مايلي:

1- خلوها من الأملاح التي يمكن أن تأثر على المجموع الجذري وعملية الإنتاج لاحقاً.
2- لها القدرة على الاحتفاظ بالماء.
3- لها القدرة على توفير التهوية الجيدة.
4- مقاومة لنمو الفطريات والطحالب.
5- بطيئة التحلل فلا تهدم سريعاً.
6- سهولة تنظيفها وتعقيمها وإزالة بقايا الجذور منها.
7- تمتلك خاصية تبادل العناصر الغذائية وإطلاقها بالصورة المتاحة للنبات.
8- متعادلة درجة الحموضة الخاصة بها والتي تؤثر على امتصاص العناصر السمادية.
9- إمكانية استخدامها لأكثر من محصول زراعي دون حدوث أي تغير في صفاتها الطبيعية.
10- سهل الحصول عليها وسعرها مقبول.

ومن الأمثلة الواسع استخدامها كأوساط بديلة للتربة :

1- **الأوساط العضوية (مواد عضوية)**: كالبيتموس وقشور جوز الهند والمخلفات النباتية ونشارة الخشب وغيرها.
2- **الأوساط غير العضوية (مواد غيرعضوية):** مثالها الحصى، الرمل، التف البركاني، البيرلايت، الفيرمكيولايت والصوف الصخري.

رسم توضيحي 16: أوساط بديلة (/https://www.cannabisbusinesstimes.com/article/types-of-media)

رسم توضيحي 17: الصوف الصخري

- **الصوف الصخري Rock wool**

الصوف الصخري مادة ليفية تنتج من خليط من الصخور البركانية والحجر الجيري. يعتبر الصوف الصخري مادة غير سامة (يمكن أن تسبب تهيج الجلد)، خفيفة الوزن عند الجفاف، قابلة لإعادة الاستخدام، لها قدرة عالية على الاحتفاظ بالمياه (80٪)، ذات تهوية جيدة (17٪ الاحتفاظ بالهواء)، لا يوجد تبادل الكاتيونات (CEC)، توفر بيئة جذرية مثالية لإنبات البذور ونمو النبات على المدى الطويل.

- **قشور جوز الهند (Cocopeat):**

رسم توضيحي 18: قشور جوز الهند

قشور جوز الهند عبارة عن ألياف طبيعية مستخرجة من قشر جوز الهند. يوصى باستخدام ألياف جوز الهند كبديل للصوف الصخري نظراً لأنها مادة عضوية ويمكن التخلص منها بسهولة عند إنهاء استخدامها كوسيط تجذير. يمكن تشكيل ألياف جوز الهند إلى مكعبات أو ألواح، مثل تلك المستخدمة في الصوف الصخري، واستخدامها بنفس الطريقة تقريبًا.

يمتلك جوز الهند نفس الخصائص الفيزيائية التي يمتلكها الصوف الصخري، لكنه يحتوي على عناصر أساسية وغير أساسية - بشكل أساسي الصوديوم (Na). لذلك، قد يتطلب غسيل جوز الهند بالماء لإزالة الصوديوم بحيث لا يؤثر على نمو النبات.

- **البيرلايت Perlite**

عبارة عن حبيبات صغيرة بيضاء رمادية خفيفة شبيهه بالإسفنج مصنوع من الزجاج البركاني ويتراوح قطر حبيباتها من 1,5 - 3 ملم. يتميز البيرلايت بأنه مادة خفيفة جدًا، ذات تصريف عالي للمياه مع الاحتفاظ بالماء بصورة جيدة، له مسامية عالية تسمح بنمو الجذور وتنفسها. لا يوجد تبادل كاتيوني (CEC)، يعتبر البرلايت وسط إنبات جيد عند مزجه مع الفيرمكيولايت ؛ يمكن أن يسبب الغبار تهيج الجهاز التنفسي.

رسم توضيحي 19: البيرلايت

- **الفيرمكيولايت (Vermiculite):**

وهو عبارة عن حبيبات صغيرة رقيقة مسامية إسفنجية القوام خفيفة الوزن نشأت من أصل معدني وقطرها يتراوح بين 1-3 ملم لها المقدرة على امتصاص الماء بما يعادل 5 مرات من وزنها الجاف، كما أن لها مقدرة عالية على التبادل الكاتيوني (CEC) حيث يمكنها الارتباط بالعديد من العناصر المعدنية.

رسم توضيحي 20: الفيرمكيولايت

- **الرمل (Sand):**

مادة حبيبية طبيعية تتكون من جزيئات الصخور المفتتة الناعمة وفتات المعادن، لها أحجام متفاوتة (الحجم المثالي: قطر 0.6 إلى 2.5 مم) ؛ قد تكون ملوثة بجزيئات الطين والطمي التي يجب إزالتها قبل استخدامها في الزراعة المائية؛ لها قدرة منخفضة على الاحتفاظ بالمياه، كثافة عالية الوزن؛ يضاف بشكل متكرر إلى خليط عضوي بدون تربة لزيادة الوزن وتحسين الصرف.

رسم توضيحي21 : الرمل

- **كرات الطين (Expanded clay-LECA/ hydroton):**

هي عبارة عن كرات صغيرة من الطين، يتم تصنيعها عن طريق تسخين الطين إلى أكثر من 2000 درجة فهرنهايت باستخدام فرن دوار، مما يعطيها شكل الحصى. تملأ هذه العملية الطين بفقاعات هواء صغيرة، مما يجعلها مثالية للاحتفاظ بالأكسجين وكذلك الرطوبة حول جذور النباتات. يمكن خلط كرات الطين مع الوسائط العضوية الأخرى بنسبة 10 -35% من حيث الحجم مما يحسن من التهوية والتصريف.

رسم توضيحي 22: كرات الطين

- **التف البركاني:**

مادة طبيعية صديقة للبيئة خالية من الملوثات، ثابتة تحافظ على بنيتها وتركيبها لسنوات طويلة دونما تغيير ولا تتفكك ولا تتحلل ولا تحتوي على اي مادة عضوية، حافظة للرطوبة، تزيد من الإنتاج الزراعي، غنية بالمغذيات الاساسية للنبات. ومن هنا برزت اهمية التوف البركاني كوسط بديل اثبتت التجارب العلمية والعملية على تمتع التف البركاني بخواص وفوائد في المجالات الزراعية حيث له القدرة على الاحتفاظ بالماء وتوفير ظروف تهوية جيدة في بيئة النمو.

رسم توضيحي 23:التف البركاني

3.4. خطوات تركيب أنظمة الزراعة بدون تربة والزراعة المائية

تشترك أنظمة الزراعة بدون تربة والزراعة المائية جميعها بوجود وحدات أساسية لا يمكن أن تعمل هذه الأنظمة بدونها؛ حيث أنها تتكون من الوحدات الرئيسية التالية:

1- الحواجز الجانبية.
2- الغطاء البلاستيكي.
3- الوسط الزراعي (صلب او مائي).
4- أنابيب التغذية (انابيب الرّي) الرئيسية والفرعية.
5- خطوط الصرف.
6- خزان التغذية و الراجع.

7- مضخة التغذية (مضخة الرّي).

8- لوحة التحكم (المؤقت الزمني – التايمر).

وسنقوم في هذا الدليل التدريبي بتقديم شرح عملي لتركيب أكثر أنظمة الزراعة بدون تربة والزراعة المائية وهما:

- تقنية الوسط البديل (القنوات الزراعية - Trench Technique).
- تقنية الحوض المائي العميق (Deep Water Culture).

أولاً: تقنية الوسط البديل (القنوات الزراعية - Trench Technique)

1- إزالة اية عوائق موجودة داخل البيت المحمي مثل حجارة، قطع طينية كبيرة، أسلاك معدنية.... وغيرها من الأجسام التي قد تعيق مراحل التركيب.

2- تسوية الأرض بنسبة ميلان 100:1. ويعتمد هذا الميل على طول القناة الزراعية وطبيعة الوسط البديل المستخدم.

رسم توضيحي 24: ازالة العوائق وتسوية الأرض (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) منطقة البلاونة – الاغوار الوسطى

3- تحديد منطقة الزراعة: بحيث يتم تقسيم المساحة المتاحة للزراعة إلى القنوات الزراعية وممرات الخدمات.

رسم توضيحي 25: تحديد منطقة الزراعة (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT)

4- بناء الحواجز الجانبية: بغض النظر عن طبيعة الحواجز (طوب، أسلاك معدنية، خشب ،خندق ترابي او قنوات بلاستيكية) ويجب مراعاة تحمل هذه الحواجز وقدرتها على تدعيم وتثبيت الوسط البديل.

رسم توضيحي 26: بناء الحواجز الجانبية (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) مشتل فيصل الزراعي - جرش

5- مدّ الغطاء البلاستيكي: والمقصود بها عملية تبطين القنوات الزراعية بشكل كامل.

رسم توضيحي 27: مد الغطاء البلاستيكي (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) مشتل فيصل الزراعي - جرش

6- تجربة جريان المحلول المغذي داخل القنوات الزراعية وذلك للتأكد من جريان المحلول المغذي نقاط الصرف الموجودة أخر القنوات الزراعية.

رسم توضيحي 28: تجربة جريان المحلول المغذي (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) لواء بني كنانة

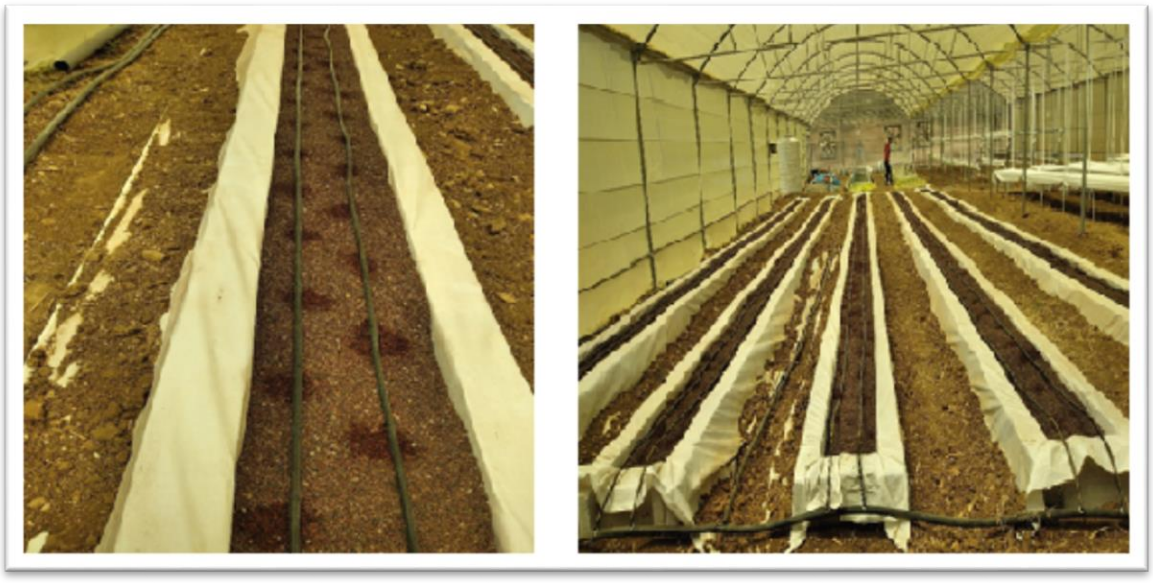
7- شبك نقاط وخطوط التصريف على خزان الراجع، وذلك بعد التأكد من أن جميع القنوات تعمل على تجميع المحلول المغذي الزائد عن حاجة النبات في أخر القنوات لتصريفها إلى خزان الراجع بالشكل السليم.

رسم توضيحي 29: شبك نقاط وخطوط التصريف (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) الأغوار الوسطى

8- ملئ القنوات الزراعية بمادة الوسط البديل، مع مراعاة الاضافة بطريقة لا تؤذي الغطاء البلاستيكي الموجود داخل القنوات الزراعية.

رسم توضيحي 30: ملئ القنوات الزراعية بمادة الوسط البديل (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) مشتل فيصل الزراعي- جرش

9- مدّ شبكة الرّي من خلال خزان التغذية: ويراعى فيها مدّ الخطوط الرئيسية والفرعية (In-line dripper) ذات الجودة العالية لإستدامة عملها لاطول مدة ممكنة وضمان توزيع المحلول المغذي بشكل منتظم لكافة النباتات المزروعة داخل القنوات الزراعية.



رسم توضيحي 31: مد شبكة الري (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) مشتل فيصل الزراعي - جرش

10- تجهيز المحلول المغذي النهائي وزراعة الأشتال؛ بحيث تكون هذه المرحلة هي الأخيرة في عملية إنشاء نظام الزراعة بتقنية القنوات الزراعية – الوسط البديل، ويبدأ مشرف الموقع بعد ذلك متابعة نمو النباتات المزروعة.

رسم توضيحي 34: تجهيز المحلول المغذي ومتابعة نمو النبات (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) – عين جنا –محافظة عجلون

ثانياً: تقنية الحوض المائي العميق (Water deep culture)

رسم توضيحي35: ازالة العوائق وتسوية التربة (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) مجمع المناصير – لواء القطرانة

1- إزالة اية عوائق موجودة داخل البيت المحمي مثل حجارة، قطع طينية كبيرة، أسلاك معدنية.... وغيرها من الأجسام التي قد تعيق مراحل التركيب.

2- تسوية الأرض بنسبة ميلان صفر والسبب في ذلك أنه يجب ان يكون مستوى (إرتفاع) المحلول المغذي داخل الاحواض متساوٍ بحيث تأخذ كل النباتات حاجتها من المغذيات بنفس الكمية.

3- بناء الحاجز الجانبي (بغض النظر عن مكوناته) ويفضل إستحدام الطوب الـ15 سم، من أجل الحفاظ على ثبات الحوض الزراعي.

رسم توضيحي 12: بناء الحواجز الجانبية للاحواض(مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) الباسلية – لواء الجيزة

4- وضع الغطاء البلاستيكي (عملية التبطين) داخل الحوض مع مراعاة وضعه بطريقة منتظمة وخاصة في زوايا الحوض لمنع تمزقه.

رسم توضيحي37: تبطين الأحواض بالغطاء البلاستيكي (مؤسسة جذور العالمية IRCAT) الباسلية- لواء الجيزة

5- تركيب مضخات الاكسجين داخل الحوض (عند الحاجة) وشبكها على مؤقت زمني لإمداد النباتات بالاكجسين اللازمة لتنفس الجذور بالتالي نموها بالشكل السليم.

رسم توضيحي38: تركيب مضخات الاكسجين داخل الأحواض (مؤسسة جذور العالمية IRCAT) الباسلية- لواء الجيزة

6- تعبئة الحوض بالماء وإضافة المغذيات وضبط قيم ال EC &pH له مع ترك مسافة 3 سم من أعلى الحوض لوضع الواح البولسترين (حامل الأشتال) عليه.

رسم توضيحي39: تعبئة الأحواض بالمحلول المغذي وضبط ال pH و EC
(مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) تل الرمان

7- تثقيب الواح البولسترين (حامل الاشتال) بمسافات ثابتة توزع بشكل منتظم على الالواح ووضعه على سطح المحلول المغذي.

رسم توضيحي40: تثقيب الواح البولسترين (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) تل الرمان

8- زراعة الأشتال داخل كاسات الزراعة المائية المخصصة لهذه الغاية مع مراعاة وضع اي وسط بديل لتدعيم الأشتال داخل الكأس الزراعي.

رسم توضيحي41: زراعة الأشتال داخل كاسات مخصصة للزراعة المائية (مؤسسة الجذور العالمية IRCAT) منطقة صبحا - المفرق

4. المحلول المغذّي (Nutrient Solution)

تعتمد الزراعة بدون تربة بشكل أساسي على المحلول المغذي الذي يحتوي على جميع العناصر الأساسية التي تحتاجها النباتات للنمو. ويعتبر المحلول المغذي بمثابة العمود الفقري للزراعة بدون تربة، لأن النبات يأخذ العناصر اللازمة لنموه من هذا المحلول على عكس الزراعة التقليدية التي تعتمد على التربة والتي تعمل كمخزن للعناصر المغذية لإمداد النباتات بما تحتاجه من العناصر الغذائية اللازمة للنمو.

4.1. تعريف المحلول المغذي:

هو عبارة عن الماء مضافاً اليه المغذيات (الأسمدة) والذي يستخدم لتغذية النباتات في الزراعة بدون تربة والزارعة المائية ويحتوي على جميع العناصر الغذائية اللازمة للنباتات. يجب أن يحتوي المحلول المغذي على جميع العناصر الغذائية ماعدا الكربون الذي يأخذه من الهواء الجوي. وهذه العناصر هي:

- العناصر الكبرى (Macronutrient) وهي العناصر (المغذيات) التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة نسبياً مثل الهيدروجين (H) والاكسجين (O) والنتروجين (N) والفوسفور (P) والبوتاسيوم (K) والكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg) والكبريت (S).
- العناصر الصغرى (Micronutrient) وهي العناصر (المغذيات) التي يحتاجها النبات بكميات قليلة مثل الحديد (Fe) والكلورين (Cl) والبورون (B) والمنجنيز (Mn) والنحاس (Cu) والزنك (Zn) والموليبدنيم (Mo).

تختلف تركيز العناصر في المحلول المغذي حسب نوع وعُمر النباتات، فاحتياجات النبات من العناصر في طور البذرة حتي يعطي مجموعا خضرياً يختلف عما يتطلبه في مرحلة الإثمار.

4.2. نوعية المياه المستخدمة في تحضير المحلول المغذي:

تتطلب جميع أنظمة الزراعة المائية كميات من المياه النقية نسبيًا. غالبًا ما تحتوي المياه المنزلية أو المياه التي يتم تزويدها للاستخدام الزراعي على مواد وعناصر يمكن أن تؤثر (إيجابًا أو سلبًا) على نمو النبات. حتى مياه الأمطار التي يتم جمعها من أنظمة الحصاد المائي قد تحتوي على مواد عضوية وغير عضوية يمكن أن تؤثر على نمو النبات. لذلك، من الضروري إجراء تحليل كامل للمواد العضوية وغير العضوية للمياه المستخدمة في أي نوع من أنظمة الزراعة المائية.

تحتوي المياه الطبيعية على تراكيز من بعض العناصر الأساسية التي تتطلبها النباتات مثل الكالسيوم (Ca)، المغنيسيوم (Mg)، والصوديوم (Na) وبعض الأيونات السالبة، مثل البيكربونات (HCO_3^{-1})، والكربونات (CO_2^{-3})، والكبريتات (SO_4^{-3})، والكلوريد (Cl^{-1}). يبين الجدول (1) الحد الأعلى من تراكيز العناصر المسموح بها في الماء المستخدم في الزراعة المائية. كما يبين الجدول (2) معايير لمياه الري بناءً على الملوحة والتوصيل الكهربائي (EC) وإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS).

العنصر (Element)	التركيز (جزء من مليون) (ppm, mg/L)
بورون (B)	<1
كالسيوم (Ca)	<200
كاربونات CO_3^{-2} ( )	<60
كلورايد (Cl)	<70
مغنيسيوم (Mg)	<60
صوديوم (Na)	<180
زنك (Zn)	<1

جدول1: الحد الأعلى من تراكيز العناصر المسموح بها في الماء المستخدم في الزراعة المائية *(J. Benton,2014)*

	درجة التأثير		
	لا يوجد (none)	**تأثير متوسط**	**تأثير شديد**
الموصلية الكهربائية EC (dS/m)	< 0.75	0.75 – 3.0	> 3.0
الأملاح الذائبة الكلية TDS (mg/L)	< 480	480 - 1920	> 1920

جدول 2: نوعية مياه الري بناءا على الأملاح الذائبة الكلية (TDS) والموصلية الكهربائية (EC) *(J. Benton,2014)*

4.3. الشروط التي يجب توافرها في المحلول المغذي:

- تركيز المغذيات في المحلول المغذي يجب ألا يزيد على المعدل المطلوب، فيؤدي إلي ضعف النمو النباتي، وقد يؤدي الى موت النبات نظراً لعدم إمكان النبات الحصول على حاجته من الماء، ولذلك عند حساب كميات المغذيات المضافة يجب التعرف اولاً على تركيز الأ ملاح (المغذيات) الموجودة في الماء المستخدم لتحضير المحلول المغذي.
- عند تحضير المحلول المغذي يجب مراعاة احتياجات النباتات من العناصر الغذائية اعتمادا على نوع النبات ومراحل النمو.
- ثبات الرقم الهيدروجيني للمحلول المغذي (pH) بحيث يكون بين (5.5-6.5). حيث أن انخفاض ال pH يعني زيادة الحموضة الذي يؤدي إلى تلف الجذور كما يساعد على زيادة امتصاص العناصر الصغرى إلى درجة السمية. كما أن ارتفاعة (زيادة القلوية) تؤدي إلى ترسيب بعض العناصر مما يصعب على النبات إمتصاصه والاستفادة منه.
- يجب معرفة خواص الماء المستخدم في تحضير المحلول المغذي؛ بحيث يكون الماء نقيا وعذباً قدر الامكان، ويمكن استخدام ماء الشرب في تحضير المحلول المغذي، وفي حال استخدام مياه الآبار والتي قد تختلف في محتواها من العناصر حسب المناطق المستخرجة منها لذلك يجب تحليلها قبل الاستخدام للتأكد من عدم زيادة تركيز بعض العناصر.

4.4. العوامل المؤثرة على نجاح المحلول المغذي:

هنالك عوامل يعتمد نجاح المحلول المغذي عليها لتحقيق الهدف من استخدامهِ و زيادة غَلة المحصول. و يمكن تقسيم تلك العوامل إلى ثلاثة عوامل رئيسة كما يلي:

1- المحلول المغذي ذاته، و يمكن التعبير عنه بـ:

I. طبيعة المواد الأولية التي تم تحضير المحلول المغذي منها؛ حيث أن طبيعة تلك المواد تلعب دوراً هاماً في جودة المحلول المغذي نفسه.

II. درجة نقاوة المواد (الأسمدة) الأولية؛ حيث كل ما كانت درجة نقاوة المواد الأولية عالية تكون عناصر المحلول المغذي ذائبة بشكل جيد ومتاحة للنبات دون حدوث إجهاد للنبات.

III. درجة حرارة المحلول المغذي، و لها دور كبير في ذائبية المغذيات داخل المحلول المغذي ومن خلال تجارب الجمعية العملية الملكية فأن أفضل درجة حرارة للمحلول المغذي (15 س° – 24 س°).

2- نظام الزراعة بدون تربة والزراعة المائية المستخدم:حيث ان مكونات المحلول المغذّي ثابتة، و ما يختلف في ذلك هو ادارة المحلول المغذّي وطريقة ضبط تراكيز وكمية المحلول المغذّي المضافة. حيث تختلف طريقة ادارة المحلول المغذي من نظام إلى اخر.

3- طبيعة المحاصيل المزروعة: إن ادارة المحلول المغذّي تختلف من محصول لأخر تبعاً لطبيعة واصناف المحاصيل المزروعة.

4.5. عناصر المحلول المغذّي:

هنالك عنصران رئيسيان يتم التعامل معهما لضمان تحقيق دور المحلول المغذّي.

أولاً : الرقم الهيدروجيني/ درجة الحموضة (pH)

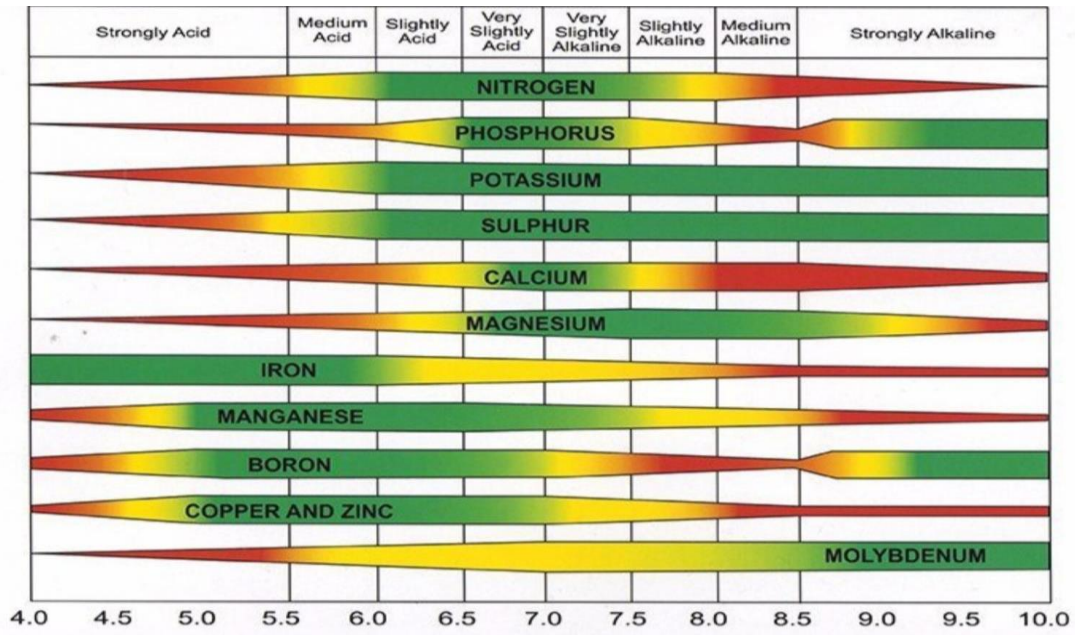
هي القياس الذي يحدد ما إذا كان السائل حمضياً أم قاعدياً أم متعادلاً. تعدّ المحاليل ذات درجة حموضة أقل من 7 محاليل حمضية وتعدّ السوائل ذات درجة حموضة أعلى من 7 محاليل قلوية أو قواعد .أما درجة الحموضة 7 فهي تعدّ متعادلة.

يؤثر الرقم الهيدروجيني للمحلول المغذي على توافر العناصر الغذائية للنبات (الرسم التوضيحي 40)، لذلك يجب الحفاظ عليها في النطاق الأمثل. إن أفضل مدى لدرجة الحموضة للمحاليل المغذية المستخدمة في الزراعة بدون تربة - الرقم الهيدروجيني (pH) - بين 5.5 إلى 6.5، ويكون هذا هو مدى الرقم الهيدروجيني الذي تكون فيه العناصر الغذائية متاحة بسهولة للنباتات.

يفضل أن يكون رقم الحموضه pH للمحلول المغذي في حدود من 6 إلى 6.5 وذلك للاسباب التالية:

- انخفاض ال pH إلى الحدود الحامضية يؤدى إلى تلف جذور النباتات بالتالي حرقها.
- انخفاض رقم الحموضة عن 6 يجعل ذوبان الفسفور والكالسيوم والمغنسيوم اقل فى المحلول المغذي.
- رقم الحموضة بين 3 الى 5 ودرجة الحرارة اقل من 26 درجة تزيد من احتمال نمو الفطريات.
- بينما ارتفاع رقم ال pH إلى الحدّ القاعدي يؤدى إلى ترسيب كثير من العناصر في المحلول على صورة أملاح غير ذائبة لا يستفيد منها النبات، على سبيل المثال ارتفاع رقم الحموضة عن 7.5 يجعل الحديد والمغنسيوم والنحاس والزنك والبورون اقل توفرا للنبات.

لذلك يفضل استخدام اجهزة القياس المتوفرة في الأسواق (pH meter) لقياس درجة الحموضة للمحلول المغذي. في حال ارتفاع الpH عن 6.5 يمكن إضافة حمض الفسفوريك (H_3PO_4) للوصول الى درجة الحموضة (pH) المطلوبة للمحلول المغذي، كما يمكن إضافة هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) عند انخفاض ال pH عن 6 لرفع ال pH للدرجة المطلوبة.



رسم توضيحي42: أفضل مدى لذائبية العناصر المغذية (source: https://www.agrobest.com.au/)

ثانياً: تركيز الأملاح أو الموصلية الكهربائية (EC) للمحلول المغذي:

يعتبر تركيز الأملاح فى المحلول المغذى عامل هام جداً في نمو النباتات. فارتفاع تركيز الأملاح بدرجة كبيرة يؤدى إلى انخفاض واضح فى المحصول حيث تقل قدرة النبات على امتصاص الماء نتيجة لارتفاع الضغط الأسموزى للمحلول المغذي، ولذلك فإنه بعد تحضير المحلول المغذي المخفف يجب قياس تركيز الأملاح بإستخدام جهاز قياس الموصلية الكهربائية (EC/TDS meter)، علما أن لكل محصول درجة تحمل للأملاح (الجدول 3).

يجب أن يكون تركيز الأملاح في المحلول المغذي غير مرتفع؛ بحيث يجب أن يكون معدل التوصيل الكهربائي للمحلول المغذّي 2-3 dS/m بشكل عام.

يمكن تحويل الموصلية الكهربائية (EC بوحدة dSm^{-1}) الى تركيز للاملاح (TDS بوحدة ppm) بإستخدام العلاقات البسيطة التالية:

$$TDS(ppm) = EC\ (dSm^{-1}) \times 640 \quad if\ (EC\ from\ 0.1\ to\ 5(dSm^{-1}))$$

$$TDS(ppm) = EC\ (dSm^{-1}) \times 800 \quad if\ (EC\ >\ 5(dSm^{-1}))$$

pH	EC (dS/m)	النبات
6-6.8	1.4 to 1.8	الهليون
5.5-6	1.0 to 1.6	ريحان
6	2.0 to 4.0	فاصوليا
5.5-6.5	1.8 to 2.2	موز
6-6.8	2.8 to 3.5	بروكلي
6.5-7	2.5 to 3.0	كرنب
6.5	1.8 to 2.4	كرفس
6	2.0 to 3.5	قرنفل
5-5.5	1.7 to 2.0	خيار
6	2.5 to 3.5	الباذنجان
6.0-7.0	1.2 to 1.8	خس
5.5-6	2.0 to 2.5	الفلفل الحلو
6-6.5	1.8 to 2.2	بقدونس
5.5-6	1.5 to 2.5	الورد
6.0-7.0	1.8 to 2.3	سبانخ
6	1.8 to 2.2	الفراولة
6.0-6.5	2.0 to 4.0	طماطم

جدول 3: قيم الموصلية الكهربائية الموصى بها لكل نبات

المصدر:

Sharma, Nisha & Acharya, Somen & Kumar, Kaushal & Singh, Narendra & Chaurasia, Om. (2019). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. Journal of Soil and Water Conservation. 17. 364-371. 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.

4.6. تحضير المحلول المغذي:

4.6.1. الأسمدة اللازمة لتحضير المحلول المغذي

أنواع الأسمدة الكيماوية للزراعة المائية :

أ) الأسمدة الأحادية: وهذه الأسمدة تشمل الأسمدة التي تحتوي على عنصر غذائي واحد من العناصر المغذية الرئيسية الكبرى (النتروجين، الفسفور، و البوتاسيوم) (Ullmann's agrochemicals, volume1,2007)ومنها :

- اسمدة النتروجين مثل كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$
- اسمدة الفسفور مثل السوبرفوسفات وحامض الفسفوريك (H_3PO_4)
- اسمدة كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4)

ب) الأسمدة المركبة: وهي الأسمدة التي تحتوي على عنصرين او ثلاثة من العناصر الغذائية الرئيسية الكبرى (النتروجين والفسفور والبوتاسيوم) (Ullmann's agrochemicals, volume1,2007). ومن الأمثلة على هذه الأسمدة:

- اسمدة فوسفات الأمونيوم $(NH_4)_3PO_4$
- نترات البوتاسيوم KNO_3
- فوسفات البوتاسيوم K_3PO_4
- والسماد المركب NPK

Tank A	Tank B	Tank C
• Calcium nitrate • ½ of potassium nitrate • Iron chelate • (Nitric acid)	• ½ of potassium nitrate • Potassium sulfate • Monopotassiumphosphate • Magnesium sulfate • Monoammoniumphosphate • Ammonium nitrate • All micronutrients except iron chelate • sulfuric acid or phosphoric acid	•Acid, used to drive down pH (sulfuric, nitric, phosphoric, citric, etc.)

جدول 4: بعض الأسمدة اللازمة لتحضير المحلول المغذي (Neil M., 2018)

4.6.2. أساسيات حساب الأسمدة في المحلول المغذي:

- **خطوات حساب المحلول المغذي:**

إن كل ملح من أملاح الأسمدة التي نستخدمها يحتوي على عنصرين مختلفين مهمين. هذا يعني أنه إذا أردنا إضافة الكالسيوم على سبيل المثال، فسنقوم أيضًا بإضافة الكلوريد والنترات والكبريتات وما إلى ذلك اعتمادًا على مصدر الأسمدة الذي نستخدمه. لذلك، يتم اتباع ترتيب محدد إلى حد ما للتأكد من أننا لا نضيف فائضًا من أحد العناصر الغذائية عند محاولة الوصول إلى القيمة المستهدفة لمغذٍ آخر.

1. نستخدم كلوريد الكالسيوم (Calcium chloride, $CaCl_2$) أو كلوريد البوتاسيوم (KCl) لإضافة الكلور(Cl) ، وتجدر الاشارة هنا الى انه من الممكن استبدال سماد كلوريد البوتاسيوم بسماد أخر ويرجع السبب في ذلك الى محتوى الكلور في المياه الخاصة لتحضير المحلول المغذي.
2. نستخدم نترات الكالسيوم (Calcium nitrate) كمصدر الكالسيوم (Ca).
3. نستخدم نترات الأمونيوم (NH_4NO_3) أو أحادي فوسفات الأمونيوم (MAP, Mono-ammonium phosphate) لتعويض النقص في الأمونيوم NH_4.
4. نستخدم أحادي فوسفات البوتاسيوم (Mono-potassium phosphate, KH_2PO_4) لتعويض النقص في الفسفور (P).
5. نستخدم كبريتات المغنيسيوم (Magnesium sulfate, $MgSO_4$) لإكمال الطلب على المغنيسيوم (Mg) أو الكبريت (S) .
6. أضف نترات المغنيسيوم (Magnesium nitrate, $Mg(NO_3)_2$) إذا كانت هناك حاجة إلى المزيد من المغنيسيوم ، أو نستبدل كبريتات المغنيسيوم ($MgSO_4$) بنترات المغنيسيوم ($Mg(NO_3)_2$) إذا كانت هناك حاجة إلى كمية أقل من الكبريتات (S).
7. نستخدم كبريتات البوتاسيوم (Potassium sulfate, K_2SO_4) كمصدر للكبريتات في حالة عدم اكتمال التركيز المطلوب من الكبريتات بكبريتات المغنيسيوم ($MgSO_4$).
8. استخدم نترات البوتاسيوم (KNO_3)لإكمال الطلب على NO_3 و K .

لكل سماد من الأسمدة المستخدمة:

- يتم حساب كمية السماد المطلوبة للحصول على التركيز المطلوب من العنصر المستهدف (على سبيل المثال نحسب كمية سماد ال $Ca(NO_3)_2$ المطلوبة لاضافة 10 ppm من ال Ca).
- حساب تركيز العناصر الأخرى المضافة (التي تدخل في تركيبة السماد) (مثلا ال N المضاف من سماد ال $Ca(NO_3)_2$)

- حساب كمية السماد المركز (Stock solution) بالإعتماد على ال injector ratio و سعة الخزان.

مثال:

لإعداد محلول مغذي لمحصول الطماطم (البندورة) في المرحلة الأولى من النمو، في خزان سعته 100 لتر وinjector ratio 1:200 في المثال سيتم استخدام انواع من الاسمدة المتاحة في الحسابات، ولكن تحقق دائمًا من الملصقات الخاصة بالأسمدة المتوفرة لديك لمعرفة النسب المئوية المحددة للعناصر.

Element	Tomato stage1 ppm	Tomato stage2 ppm	Tomato stage3 ppm
NO3-N	90	120	190
NH4-N	0	0	0
P	47	47	47
K	144	350	350
Ca	104	160	200
Mg	40	60	60
S	116	116	116
Cl	89	89	89
Fe(EDTA)	2	2	2
Mn	0.55	0.55	0.55
Zn	0.33	0.33	0.33
Cu	0.05	0.05	0.05
B	0.34	0.34	0.34
Mo	0.05	0.05	0.05

جدول 5: الإحتياجات الغذائية لمحصول البندورة في المرحلة الأولى من النمو (Neil M., 2018)

بالرجوع للجدول اعلاه:

أولا: لتحضير 89 ppm من Cl

- نستحدم سماد كلوريد البوتاسيوم (KCl: 47.6% Cl and 52.2% K)

نسبة 47.6 % تعني أن كل 100مغم من سماد ال KCl تحتوي على 47.6 مغم من الCl

$$\frac{100 \times 89}{47.6} = 187mg\ KCl\ (dissolve\ 187\ mg\ KCl\ in\ 1L\ water)$$

نذيب 187 مغم كلوريد البوتاسيوم في 1 لتر من الماء للحصول على 89ppm من Cl

- بما أن سماد كلوريد البوتاسيوم (KCl) يحتوي ايضاً على عنصر البوتاسيوم (K) نقوم بحساب تركيز البوتاسيوم المضاف

$$\frac{187 \times 52.2}{100} = 98ppm\ (K)$$

أي أن اذابة 187 ملغم من كلوريد البوتاسيوم في لتر من الماء يعطينا 98 ppm من عنصر البوتاسيوم (K)

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

- نحول من (mg) الى (g)

$$\frac{187mg}{1000} = 0.187g\ KCl/1L$$

- لتحضير 100 لتر

$$0.187 \times 100 = 18.7g/100L$$

- لتحضير المحلول المغذي عالي التركيز (Stock solution) :

$$18.7g \times 200 = 3740\ g = 3.740\ Kg\ KCl\ in\ 100L\ water$$

أي أنه لتحضير محلول (stock solution) في خزان سعته 100 لتر يحتوي على عنصر ال Cl مركز 200 مرة يجب اذابة 3.740 Kg من سماد كلوريد البوتاسيوم في 100 لتر من الماء.

ثانيا: لتحضير 104 ppm من Ca

- نستحدم سماد نترات الكالسيوم ($Ca(NO_3)_2$: 19% Ca and 15.5% N)

$$\frac{100 \times 104}{19} = 547mg\ Ca(NO_3)_2\ (dissolve\ 547\ mg\ Ca(NO_3)_2\ in\ 1L\ water)$$

- بما أن سماد كلوريد البوتاسيوم ($Ca(NO_3)_2$) يحتوي ايضا على النيتروجين (N) نقوم بحساب تركيز النتروجين المضاف المضاف

$$\frac{547 \times 15.5}{100} = 85ppm\ (N)$$

أي أن اذابة 547 مغم من نترات الكالسيوم في لتر من الماء يعطينا 85 ppm من (N)

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

$$\frac{547mg \times 100 \times 200}{1000} = 10{,}94g = 10.94\ Kg\ Ca(NO_3)_2/100\text{L stock solution}$$

ثالثا: حسب الجدول السابق محصول الطماطم في المرحلة الأولى لا يحتاج الى NH_4 .

رابعا: لتحضير 47 ppm من P

- نستحدم سماد أحادي فوسفات البوتاسيوم(KH_2PO_4: 22.7% P and 29.7% K)

$$\frac{100 \times 47}{22.7} = 207mg\ KH_2PO_4\ (dissolve\ 207\ mg\ KH_2PO_4\ in\ 1L\ water)$$

- بما أن سماد أحادي فوسفات البوتاسيوم KH_2PO_4 يحتوي ايضا على البوتاسيوم (K) نقوم بحساب تركيز البوتاسيوم المضاف

$$\frac{207 \times 28.7}{100} = 61.5\ ppm\ (K)$$

أي أن اذابة 207 مغم من أحادي فوسفات البوتاسيوم في لتر من الماء يعطينا 61.5 ppm من (K)

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

$$\frac{207mg \times 100 \times 200}{1000} = 4{,}140g = 4.140\ Kg\ \mathrm{KH_2PO_4}/100L\ \text{stock solution}$$

خامسا: لتحضير 40 ppm من Mg:

- نستحدم سماد كبريتات المغنيسيوم ($MgSO_4$: 9.7% Mg and 13% S)

$$\frac{100\ \times 40}{9.7} = 412mg\ Mg\mathrm{SO_4}\ (dissolve\ 412\ mg\ Mg\mathrm{SO_4}\ in\ 1L\ water)$$

- بما أن سماد كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4$ يحتوي ايضا على الكبريت (S) نقوم بحساب تركيز الكبريت المضاف

$$\frac{412 \times 13}{100} = 54\ ppm\ (S)$$

أي أن اذابة 412 مغم من كبريتات المغنيسيوم في لتر من الماء يعطينا 54 ppm من (S)

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

$$\frac{412mg \times 100 \times 200}{1000} = 8{,}240g = 8.240\ Kg\ \mathrm{MgSO_4}/100L\ \text{stock solution}$$

سادسا: لتعويض النقص في تركيز الكبريت المطلوب:

- نستحدم سماد كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4: 44.8% K and 18.3% S)
  - التركيز المطلوب من الكبريت هو 116 ppm، حصلنا من سماد كبريتات المغنيسيوم على 54ppm من الكبريت، لحساب النقص في التركيز

$$116\ ppm - 45ppm = 62ppm\ S$$

$$\frac{100\ \times 62}{18.3} = 339mg\ K_2SO_4\ (dissolve\ 339\ mg\ K_2SO_4\ in\ 1L\ water)$$

- بما أن سماد كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 يحتوي ايضا على البوتاسيوم (K) نقوم بحساب تركيز البوتاسيوم المضاف

$$\frac{339 \times 44.8}{100} = 152\ ppm\ (K)$$

أي أن اذابة 339 مغم من كبريتات البوتاسيوم في لتر من الماء يعطينا 152 ppm من (K)

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

$$\frac{339mg \times 100 \times 200}{1000} = 6{,}780g = 6.780\ Kg\ K_2SO_4/100L\ \text{stock solution}$$

سابعا: حساب كمية البوتاسيوم (K) المضافة:

التركيز المطلوب من البوتاسيوم هو 144 ppm

- من سماد أحادي فوسفات البوتاسيوم KH_2PO_4 من (الخطوة رقم 4) حصلنا على 61.5 ppm من البوتاسيوم.
- من سماد كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4 من (الخطوة رقم 6) حصلنا على 152 ppm من البوتاسيوم.

$$K\ added = 61.5 + 152 = 213.5\ ppm$$

213.5 ppm وهي كمية أكبر من الكمية المطلوبة ولذلك لا حاجة لإضافة المزيد من البوتاسيوم.

ثامنا: لتعويض النقص في تركيز النيتروجين المطلوب:

- نستحدم سماد نترات البوتاسيوم (KNO_3: 38.6% K and 13.7% N)

- التركيز المطلوب من النيتروجين هو 90 ppm، حصلنا من سماد نترات الكالسيوم على 85ppm من النيتروجين، لحساب النقص في التركيز

$$90\ ppm - 85ppm = 5ppm\ N$$

$$\frac{100\ \times 5}{13.7} = 36.5\ mg\ KNO_3\ (dissolve\ 36.5\ mg\ KNO_3\ \ in\ 1L\ water)$$

- بما أن سماد نترات البوتاسيوم KNO_3يحتوي ايضا على البوتاسيوم (K) نقوم بحساب تركيز البوتاسيوم المضاف

$$\frac{36.5 \times 38.6}{100} = 14\ ppm\ (K)$$

أي أن اذابة 36.5 مغم من نترات البوتاسيوم في لتر من الماء يعطينا 14 ppm من (K)

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

$$\frac{36.5\ mg \times 100 \times 200}{1000} = 730g\ KNO_3/100L\ \text{stock solution}$$

تاسعا: حساب كميات الأسمدة المطلوبة لإضافة العناصر الثقيلة (Micronutrient)

ملاحظة: لا يتم حساب كميات العناصر الثانوية وذلك لانها بتراكيز قليلة جدا

- **الحديد (Fe)**

- التركيز المطلوب من الحديد 2 ppm
- نستحدم Fe EDTA (13% Fe)

$$\frac{100\ \times 2}{13} = 15.38mg\ \text{FeEDTA}\ (dissolve\ 15.38\ mg\ \text{FeEDTA}\ in\ 1L\ water)$$

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

$$\frac{15.38mg \times 100 \times 200}{1000} = 307.6\ g\ FeEDTA/100L\ \text{stock solution}$$

- **المنغنيز (Mn)**

- التركيز المطلوب من المنغنيز 0.55 ppm
- نستحدم كبريتات المنغنيز ($MnSO_4$ (32.5% Mn

$$\frac{100 \times 0.55}{32.5} = 1.69mg \text{ MnSO}_4 \ (dissolve \ 1.69 \ mg \text{ MnSO}_4 \ in \ 1L \ water)$$

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

$$\frac{1.69mg \times 100 \times 200}{1000} = 33.8 \ g \text{ MnSO}_4/100L \text{ stock solution}$$

- **الزنك (Zn)**

- التركيز المطلوب من االزنك 0.33 ppm
- نستحدم كبريتات المنغنيز (ZnEDTA (14.8% Zn

$$\frac{100 \times 0.33}{14.8} = 2.23 \ mg \text{ ZnEDTA} \ (dissolve \ 2.23 \ mg \text{ ZnEDTA} \ in \ 1L \ water)$$

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

$$\frac{2.23mg \times 100 \times 200}{1000} = 44.6 \ g \text{ ZnEDTA}/100L \text{ stock solution}$$

- **البورون (B)**

- التركيز المطلوب من البورون 0.34 ppm
- نستحدم بوريك اسيد (Boric acid (17.5% B

$$\frac{100 \times .34}{17.5} = 1.94 \ mg \text{ Boric acid} \ (dissolve \ 1.94 \ mg \text{ Boric acid} \ in \ 1L \ water)$$

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

$$\frac{1.94mg \times 100 \times 200}{1000} = 38.8 \ g \text{ Boric acid}/100L \text{ stock solution}$$

- **الموليبدينم (Mo)**

- التركيز المطلوب من الموليبدينم 0.05 ppm
- نستحدم موليبدات الصوديوم (Na_2MoO_4:39.6% Mo)

$$\frac{100 \times .05}{39.6} = 0.126\ mg\ Na_2MoO_4 (dissolve\ 0.126\ mg\ Na_2MoO_4\ \ in\ 1L\ water)$$

- لتحضير 100 لتر من المحلول المركز (stock solution) ، 1:200 injector ratio

$$\frac{0.126mg \times 100 \times 200}{1000} = 2.52\ g\ Na_2MoO_4/100L\ \text{stock solution}$$

.

- **عدم التوافق بين الأسمدة fertilizer incompatibility**

من المهم التأكد من التوافق بين الأسمدة fertilizer compatibility عند التحضير، وذلك لمنع تكون مواد راسبة لايستفيد منها النبات ومن الممكن أن تؤدي الى تلف السمادة أو اغلاق النقاطات في انابيب الري. من الأمثلة على الأسمدة غير المتوافقة

- لا تخلط الأسمدة المحتوية على الكبريتات SO_4^{-2} مع الأسمدة المحتوية على الكالسيوم لتجنب تكوين كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$) غير الذائبة، فمثلاً خلط نترات الكالسيوم ($Ca(NO_3)_2$) الذائب في الماء مع أسمدة كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ في نفس المحلول سوف يرسب كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$)
- لا تخلط الأسمدة المحتوية على الفسفور مع المواد المحتوية على الكالسيوم، لتجنب تكوين فسفات الكالسيوم غير الذائبة. فمثلا خلط نترات الكالسيوم ($Ca(NO_3)_2$) مع فوسفات الامونيوم $(NH_4)_3PO_4$ في نفس المحلول سوف يرسب فوسفات الكالسيوم $Ca_3(PO_4)_2$ غير الذائبة في الماء.

4.6.3. طريقة التحضير

عند تحضير محاليل الزراعة المائية بتراكيز عالية (Stock solution)، يجب الأخذ بعين الإعتبار عدم خلط الأسمدة غير المتوافقة (التي تكون راسب غير قابل للذوبان في الماء) بنفس الخزان حيث أنها تكون راسب لا يذوب بالماء ولا يستفيد منها النبات. تشمل أكثر حالات عدم التوافق شيوعًا نترات الكالسيوم، والتي لا يمكن تحضيرها مع الأسمدة المحتوية على الكبريتات أو الفوسفات.

لحل مشكلة عدم التوافق يتم تحضير الأسمدة غير المتوافقة في خزانين منفصلين (Tank A and Tank B) فعلى سبيل المثال يتم تحضير سماد نترات الكالسيوم بخزان (Tank A) والأسمدة المحتوية على الفسفور والكبريت بخزان اخر (Tank B). يتم استخدام خزان ثالث (Tank C) في بعض الأحيان ويحتوي عادةً على حمض يستخدم لتقليل درجة الحموضة.

a) الادوات اللازمة:

- ميزان ويفضل الكتروني.
- وعاء بلاستيكي (برميل) لإذابة الأسمدة (عدد: 2).
- أداة صلبة لتحريك الأسمدة.
- أكياس (أوعية) بلاستيكية لتوزين الأسمدة.
- أدوات خاصة لتوزين الأسمدة.
- أوعية بلاستيكة (جالونات) لحفظ المحلول المغذي سعة 20 لتر.
- أوعية مقياس حجوم.
- قمع بلاستيكي.

رسم توضيحي43: الأدوات اللازمة لتحضير المحلول المغذي

b) خطوات تحضير المحلول المغذي:

1- تجهيز وتحضير جميع المواد والاسمدة والادوات المراد استخدامها لتحضير المحلول المغذي عالي التركيز.
2- تنظيف الادوات التي سيتم إستخدامها في تحضير المحلول المغذي عالي التركيز.
3- توزين الاسمدة بالكميات المحددة لتحضير المحلول المغذي عالي التركيز ووضعها جانباً.
4- ملئ الخزان (خزان التحضير) بالماء ثلاثة أرباع الكمية المطلوبة.
5- بدء إضافة كميات السماد (المحلول المغذي A) التي تم توزينها بالتدريج مع ضرورة التحريك المستمر لضمان ذوبان الاسمدة من ثم تعبئة الخزان (خزان التحضير) للحجم المطلوب.
6- تكرار الخطوات السابقة لتحضير (المحلول المغذي B).
7- تحقق من درجة الحموضة في الخزانات.

يجب أن يتم العمل بطريقة منظمة للتأكد من اضافة جميع الأسمدة وعدم تكرار اضافة سماد مرتين.

c) طريقة حفظ المحلول المغذي:

- وضع ملصق على كل خزان يبين محتويات الخزان وتاريخ التحضير.
- يجب التأكد من حفظ المحلول المغذي في أماكن مظلمة، بعيدة عن أشعة الشمس المباشرة.
- حفظ المحلول المغذي في بيئة جافة وباردة إلى حد ما. يمكن أن تؤثر تقلبات درجات الحرارة على المحلول المغذي، خاصةً عندما تكون هذه التقلبات كبيرة ومتكررة.

رسم توضيحي44: حفظ المحلول المغذي بأوعية خاصة(مؤسسة الجذور العالمية IRCAT)

d) إدارة (كيفية) إستخدام المحلول المغذي:

عند البدء بعملية تغذية المحاصيل، يجب الانتباه بانه لا يجوز إستخدام المحلول المغذي عالي التركيز الذي تم تحضيرهُ سابقاً مباشرة إلى النبات، وإنما يجب العمل على تخفيفهِ وتجهيزه بناءً على قيم (الموصلية الكهربائية ودرجة الحموضة) الموصى بها لكل نبات.

<u>أولاً</u>: عملية التخفيف (تحضير المحلول المغذي النهائي) وتتم من خلال طريقتين:

1- **الإضافة اليدوية:**

تعتمد هذه الطريقة على العامل البشري (الفني / الشخص المسؤول) وتتم من خلال إستخدام مقياس حجمي (1لتر) وبدء عملية إضافة المحاليل المغذية عالية التركيز بنسب متساوية (1A:1B)، مع ضرورة أخذ قيم القراءات باستخدام جهاز قياس الموصلية الكهربائية أو تركيز الأملاح بشكل مستمر بعد إضافة كل محلول لخزان التغذية لضمان عدم تجاوز الحدود المسوح بها لكل نبات (جدول رقم 3).

2- **الإضافة الاتوماتيكية**:

تختلف هذه الطريقة عن السابقة بأنها تعتمد على إستخدام السمادة الاتوماتيكية (Fertigation unit)؛ حيث يقوم (الفني / الشخص المسؤول) بشبك أوعية المحلول المغذي عالي التركيز مع وحدة التسميد الاتوماتيكية بواسط أنابيب تعمل على سحب المحلول المغذي عالي التركيز منها بناءً على القيم التي يتم ادخالها على لوحة السمادة الاتوماتيكية ضمن الحدود المسوح بها لكل نبات (جدول رقم 3).

رسم توضيحي45: اضافة المحلول المغذي اتوماتيكياً (جمعية أيادي البادية – المفرق)

وقدّ ظهر في الاونة الاخيرة وخاصة في المشاريع الاقتصادية الكبيرة إستخدام السمادات الاتوماتيكية ذات الاربعة او خمسة حواقن. ويعود السبب في ذلك الى إحتمالية زراعة أكثر من محصول زراعي داخل المشروع بالتالي يتطلب ذلك استخدام خزانات إضافية من المحلول المغذي من اجل ضبط قيم الموصلية الكهربائية الخاصة بكل محصول على حدى، لضمان عدم تداخل قيمة المغذيات بين المحاصيل المزروعة.

ثانياً: معادلة درجة الحموضة (pH):

عادةً ما تتحقق قيمة درجة الحموضة اللازمة عند تحضير المحلول المغذي النهائي، لكن بعد استخدامهِ مرات عدة في الأنظمة المغلقة والأوساط البديلة للتربة تتغير قيم درجة الحموضة مع مرور الوقت حيث تعتمد على عدة عوامل أهمها:

1- إختلاف الخواص الكيميائية حول منطقة المجموع الجذري نتيجة عمليات إمتصاص المغذيات وتنفس الجذور.
2- طبيعة الخواص الكيميائية للأوساط بديلة التربة المستخدمة في أنظمة الزراعة بدون تربة.
3- درجة حرارة المحلول المغذي؛ حيث تتأثر قيم درجة الحموضة بتغير درجة حرارة المحلول المغذي ذاته.

يمكن ضبط قيم درجة الحموضة (عند الحاجة) بطريقة مشابهة لضبط قيم الموصلية الكهربائية للمحلول المغذي النهائي، وذلك إما ضبطاً يدويا او اتوماتيكياً من خلال وحدة التسميد مع ضرورة أخذ قيم درجة الحموضة بشكل مستمر في حال الضبط اليدوي.

رسم توضيحي46: أجهزة قياس ال pH وال EC(مؤسسة الجذور العالمية IRCAT)

e) خلطات (وصفات) المحلول المغذي عالي التركيز:

〉 محلول هوغلاند (Hoagland solution)

العناصر الكبرى (Macronutrients)

Salts	Concentration of stock solution (M)	Gram of compound used	Concentration of solution used (M)	Volume of stock solution (ml) per liter
$NH_4H_2PO_4$	1.00 M	115.08	0.001	1.00
KNO_3	1.00 M	101.10	0.006	6.00
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	1.00 M	236.16	0.004	4.00
$MgSO_4.7H_2O$	1.00 M	246.48	0.002	2.00

جدول 6: تحضيرالمحاليل المحتوية على العناصر الكبرى المستخدمة في محلول هوغلاند

العناصر الصغرى (Micronutrients)

Fertilizer	Concentration (g/L)
H_3BO_3	2.86
$MnCl_2.4H_2O$	1.81
$ZnSO_4.7H_2O$	0.22
$CuSO_4.5H_2O$	0.08
$MoO_3.H_2O$	0.02

جدول 7: تحضيرالمحاليل المحتوية على العناصر الصغرى المستخدمة في محلول هوغلاند

D.R. Hoagland and D.I. Arnon. The water-culture method of growing plants without soil. Calif. Agr. Expt. Sta. Circ. 347. 1950.

〉 **محلول كوبر (Cooper, 1996)**

Solution (A)	
Fertilizer	**Concentration (g/L)**
Ca(NO3)2.4H2O	1.003
EDTA Fe	0.079

(a)

Solution (B)	
Fertilizer	**Concentration (g/L)**
KH2PO4	0.263
KNO3	0.583
MgSO4.7H2O	0.513
MnSO4.H2O	0.0061
H3BO3	0.0017
CuSO4.5H2O	0.00039
(NH4)Mo7O24.4H2O	0.00037
ZnSO4.7H2O	0.00033

(b)

جدول 8: تحضير محاليل الزراعة المائية الان كوبر (a): محلول A، (b) محلول B

Jones, J. Benton. Hydroponics: A practical guide for the soilless grower, second edition. CRC press. 2005.

〉 **محلول ايكاردا (ICARDA):**

المحلول المغذي لنبات الفراولة

Solution (A)	
Fertilizer	**Concentration (Kg/40L)**
$Ca(NO_3)_2$	7.6
EDDHA-Fe (6%)	0.4
Solution (B)	
Kristalon red fertilizer	4
MgSO4	1.6
Microplex (micronutrient)	0.270

جدول 9 : محلول ايكاردا المغذي لنبات الفراولة

- **EC = 2500 µS/cm = 2.5 dS/m**
- **pH = 5.5-6**

المحلول المغذي لنبات الخيار

Solution (A)	
Fertilizer	**Concentration (Kg/40L)**
$Ca(NO_3)_2$	7.6
EDDHA-Fe (6%)	0.4
Solution (B)	
Kristalon red fertilizer	4
MgSO4	1.6
Microplex (micronutrient)	0.270

جدول 10 : محلول ايكاردا المغذي لنبات الخيار

- **EC = 2500 – 3000 µS/cm = 2.5 – 3 dS/m**
- **pH = 5.5-6.0**

Note: 1 dS/m= 1000 µS/cm

5. إدارة الري في الزراعة بدون تربة (الوسط البديل):

في مجال الزراعة المائية، يعتبر التسميد والري عمليتين غير منفصلتين حيث يتم إذابة المغذيات غير العضوية (الأسمدة) في مياه الري. يتم التسميد فقط بالرّي ويتم الري فقط بالماء الذي يتم فيه إذابة العناصر الغذائية غير العضوية. الماء الذي يحتوي على مغذيات غير عضوية مذابة ضرورية لنمو النباتات وإنتاجها يسمى محلول المغذيات (Nutrient solution). تتمثل أهداف الرّي في الزراعة المائية في توفير المياه الداخلة في تكوين النبات، وتلبية احتياجات النباتات من المياه الضرورية للنتح والنمو والانتاج، وتزويد النبات بالمغذيات غير العضوية الضرورية، والحفاظ على تركيز عالٍ من الأكسجين في منطقة الجذر. كل ما سبق يجب أن يتحقق بأعلى كفاءة ممكنة، مع الحفاظ على المياه والأسمدة، حيث تساهم الأسمدة بشكل كبير في تكلفة الإنتاج وتلوث الموارد المائية. يتم تعريف المفهوم التقليدي لكفاءة تطبيق الرّي في الزراعة بدون تربة والزراعة المائية على أنه نسبة كمية المياه المستخدمة من قبل النباتات وكمية المياه المستخدمة في الرّي. يكون الرّي أكثر كفاءة عندما تكون كمية المياه المستخدمة أقرب إلى كمية المياه التي تستخدمها النباتات. بالتالي، فإن إدارة الرّي أمر بالغ الأهمية لتحقيق كفاءة عالية في تطبيقات الرّي في النظم القائمة على الزراعة المائية (Scroder and Lieth, 2002). بشكل عام، الهدف الرئيسي من عملية الرّي هو الحفاظ على إمداد النبات بكميات كافية من المياه المتاحة، لتوفير العناصر المعدنية الأساسية للنباتات وتحسين تركيز الأكسجين في منطقة الجذر (Giorgos N.,2016). وفقًا للمحلول المغذي، يمكن أن تكون أنظمة الزراعة المائية إما مغلقة، أو أنظمة مفتوحة.

5.1. النظام المغلق (Closed system)

في الأنظمة المغلقة، تكون كمية المحلول المغذي الذي يتم توفيره لمنطقة الجذور بواسطة كل جرعة ريّ (Irrigation dose) تناسب مع متطلبات النبات وضمن الحدود المسموحة للنمو بالشكل السليم، ونظرًا لأن النظام مغلق ويتم إعادة تدوير المحلول المغذي، فلا توجد خسائر كبيرة في الماء أو العناصر الغذائية. لذلك، تتمتع الأنظمة المغلقة بشكل عام بكفاءة ريّ أفضل بكثير مقارنة بأنظمة الزراعة المفتوحة (**Mavrogianopoulos, 2015**). ومن أجل تجنب زيادة تركيز بعض الأيونات في المحلول المغذي المعاد تدويره باستمرار في مستويات سامة نتيجة امتصاص النبات للأيونات بشكل انتقائي بمعدلات مختلفة بمرور الوقت، عادة ما يتم التخلص من كمية صغيرة من المحلول المغذي المستخدم يوميًا أو يتم التخلص من كل المحلول المغذي المعاد تدويره بعد بضعة أيام بالاعتماد على قيمة الموصلية الكهربائية للمحلول المغذي. عندما تحتوي المياه المستخدمة في تحضير محلول المغذيات على كمية كبيرة من الأملاح غير الضرورية، يتم التفريغ بكميات أكبر. لذلك، في الأنظمة المغلقة، يعتمد هدر المياه والأسمدة بشكل أساسي على جودة المياه المستخدمة.

5.2. النظام المفتوح (Open system):

تعتبر مشكلة كفاءة الري أكثر أهمية في الأنظمة المفتوحة (Open system) حيث يمكن أن يكون هناك فقدان لكميات كبيرة من المياه والأسمدة أو حالات إجهاد للنباتات. في الأنظمة المفتوحة، لا تعتمد الموصلية الكهربائية (EC) حول المجموع الجذري فقط على تركيز المحلول الذي أدى إلى ذلك، ولكن بشكل أساسي على كمية مياه الصرف التي تستنزف الأملاح الزائدة من النظام. تعتمد الكمية الإجمالية للمياه التي يتم تصريفها بشكل أساسي على جرعة الري (Irrigation dose) وتكرار الري (Irrigation

frequency). في حال كانت جرعة الري أو تكرار الري أكبر من المطلوب، فإن كميات كبيرة غير ضرورية من المحاليل المغذية يتم تصريفها مما يؤدي إلى إهدار كبير للمياه والأسمدة وخطر تلوث موارد المياه القريبة من المشروع. وفي حال تم إستخدام أنظمة الزراعة بدون تربة المفتوحة يتم إجراء عملية ري بماء فقط من أجل إجراء عملية غسيل لمنطقة المجموع الجذري. أما في حال جرعات الري الصغيرة تكون كميات المحلول الذي يتم تصريفه من النظام غير كافية وبالتالي تزيد من تركيز الأملاح في منطقة الجذر، مما يؤدي إلى انخفاض الجهد المائي وبالتالي التسبب في اعاقة امتصاص الجذور للمياه من الوسط البديل. هذا هو السبب في أنه كلما كان هناك ريّ، يجب تصريف جزء من المحلول المغذي المعطى كمحلول مغذي زائد من أجل تصريف الأملاح التي تراكمت في الوسط البديل. للحصول على تركيز املاح مناسب في الوسط البديل، يقترح Scroder and Lieth وجود 30% أو أكثر فائض من المحلول المغذي في كل دورة ريّ من أجل إجراء عملية غسيل للاملاح المتراكمة حول المجموع الجذري، اعتمادًا على جودة المياه و / أو حساسية المحاصيل للأملاح .

5.3. جدولة الري (Irrigation scheduling)

يعتبر الإمداد الصحيح بالمياه والمغذيات مهمًا جدًا في أنظمة الزراعة بدون تربة والزراعة المائية من أجل استخدام المياه والأسمدة بكفاءة، وتجنب حالات الإجهاد للنبات، والتحكم في الإنتاج. التحكم في الرّي هو عملية تحديد الفترة الفاصلة بين عملية الرّي (Irrigation frequency) وكمية محلول المغذيات المطلوب استخدامه (Irrigation dose) بحيث يتم توفير الكمية اللازمة المغذيات للنبات.

يجب أن يهدف برنامج الري الفعال إلى إبقاء محتوى الماء في الوسط البديل ضمن حدود المياه المتاحة بسهولة وضمن الموصلية الكهربائية المطلوبة. لتحقيق ذلك ، يجب أن تعتمد جرعة الري (Irrigation dose) على خصائص الوسط البديل (water holding capacity, WHC) وعلى نوعية المياه. أما فيما يتعلق بتكرار الرّي (Irrigation frequency) يختلف خلال اليوم، اعتمادًا على معدل التبخر- نتح (Evapotranspiration) الذي يعد العامل الرئيسي في حاجة النبات للمياه.

الجدول التالي يُبين الطريقة المثالية لجدولة الري بحسب الوسط المستخدم:

الرقم	الوسط البديل	أوقات الرّي	كميات مياه الرّي لكل رية (لتر/ نبتة)	مدة الرّي(دقيقة)	تصنيف النظام	ملاحظات
1	الحجرالبركاني (التووف)	بعد شروق الشمس بساعتين	0.75	22.5	مغلق	في فصل الصيف (المحلول المغذي)
		قبل غروب الشمس بساعتين	0.75			
		عند منتصف الليل	1.0			في فصل الصيف ماء فقط(من أجل عملية الغسيل)
		بعد شروق الشمس بساعتين	0.75	22.5		في فصل الشتاء (المحلول المغذي)
		قبل غروب الشمس بساعتين	0.75			
2	الاوساط العضوية (قشور جوز الهند / البيتموس)	ما بين الساعة السادسة و الثامنة صباحاً	0.250	22.5	مفتوح	خلال الموسم الزراعي(مع المحلول المغذي)
3	الوسط المائي- الغشاء الرقيق المغذي (NFT)	على مدار الساعة	----	----	مغلق	على مدار الساعة
4	الوسط المائي – تقنية التدفق العميق (DFT)	كل 4 ساعات	---	17	مغلق	6 مرات / اليوم

جدول 11: طريقة جدولة الري حسب الوسط المستخدم

ملاحظات هامة حول جدول الرّي أعلاه:

1- تعتبرجدولة الرّي هذه في الظروف المثالية و في حالات الطقس المعتدل حرارياً، ويمكن تعديلها بحسب حالة النبات الظاهرية.
2- تجنب الرّي في أوقات الظهيرة تفادياً لحدوث إجهاد للنبات.
3- من الافضل إجراء تعطيش لنباتات المحاصيل الخضرية بعد الزراعة في الاوساط البديلة مدة يوم الى يومين، وبحسب حالة الطقس.
4- معدل عدد الاشتال في البيت المحمي (9م *41,5 م) ما بين 1000 – 1100 نبات.
5- أوقات وكميات مياه الري أعلاه في حين استخدام نقاطات ثابتة التدفق (2لتر / ساعة)؛ حيث يمكن ان تتغير القيم بحسب تدفق النقاطات. على سبيل المثال اذا كان معدل تدفق النقاطات (4لتر / ساعة) فإن مدة الرّي ستنخفض للنصف، وهكذا.
6- معدل احتياج البيت المحمي المستخدم فيه الاوساط البديلة 2م^3 تقريباً.حيث أن نسبة الراجع تكون 30% من إجمالي كمية الرّي ويمكن الاستفادة منها بالتأكيد.
7- الهدف من الرّي ليلاً بماء فقط دون محلول مغذي هو إجراء من أجل غسل الاملاح المتراكمة حول المجموع الجذري؛ حيث يمكن الاستغناء عنها بحسب حالة النبات وعمل رية غزيرة بمعدل(3م^3) نهاية كل أسبوع.
8- يمكن إتباع الجدول التالي لتحقيق قيم الموصلية الكهربائية خلال مراحل النمو لتحقيق الانتاج المطلوب لبعض المحاصيل:

الرقم	المحصول	قيم الموصلية الكهربائية بالميلي سيمنز لكل سنتيمتر (mS/cm)			عمر المحصول (يوم)	ملاحظات
		المرحلة الاولى	المرحلة الثانية	المرحلة الثالثة		
1	الخيار	1.7	2.0	1.8	100-90	- مرحلة 1 (وقت زراعة الاشتال في النظام -24 يوم) - مرحلة 2 (25 – 75 يوم) - مرحلة 3 (76 – 100 يوم) - في المرحلة 2+3 يتم زيادة محلول A بنسبة 1.25 عن محلول B
2	البندورة	2.0	3.4	3.0	120 - 90	- مرحلة 1 (وقت زراعة الاشتال في النظام -35 يوم) - مرحلة 2 (36 – 100 يوم) - مرحلة 3 (101 – 120 يوم) - في المرحلة 2 يتم زيادة محلول A بنسبة 1.25 عن محلول B
3	الفلفل	2.0	2.5		90 -70	- مرحلة 1 (وقت زراعة الاشتال في النظام -24 يوم) - مرحلة 2 (25 – 70 يوم) - مرحلة 3 (71 – 90 يوم) - في المرحلة 2+3 يتم زيادة محلول A بنسبة 1.25 عن محلول B
4	الخس	1.2	1.8		45 - 18	- مرحلة 1 (وقت زراعة الاشتال في النظام -18 يوم) - مرحلة 2+3 (19 – 45 يوم) - نسبة المحلول المغذي 1A:1B

جدول 12: قيم الموصلية الكهربائية لبعض المحاصيل حسب مرحلة النمو

6. توصيات وارشادات عامة لتشغيل ومتابعة أنظمة الزراعة بدون تربة والزراعة المائية

6.1. إرشادات عامة :

يجب الانتباه الى أن أنظمة الزراعة بدون تربة والزراعة المائية هي تقنيات جديدة وحديثة وعلينا الانتباه لعدة أمور لتشغيلها بالشكل السليم، و يمكن تلخيصها بما يلي:

1- اختيار الموقع المناسب لوحدات الزراعة بدون تربة والزراعة المائية بما يتوافق مع متطلبات المحصول.
2- تثبيت هيكل البيت المحمي بشكل جيد، لتحمل شدة الرياح لمنع سقوطه.
3- اختيار تقنية الزراعة المائية المناسبة من حيث معرفة التعامل مع كل تقنية وطريقة تشغيلها.
4- اختيار المحاصيل المناسبة وفقاً لتقنية الزراعة المائية المختارة.
5- إعداد نموذج (log sheet) لتسجيل كافة العناصر اللازمة لتشغيل أنظمة الزراعة بدون تربة والزراعة المائية (قيم الموصلية الكهربائية والرقم الهيدروجيني للمحلول المغذي، درجة الحرارة الداخلية للبيت المحمي، طول النبات واية ملاحظات أخرى).
6- إستخدام الاسمدة الاحادية لتحضير المحلول المغذي عالي التركيز.
7- إستخدام سماد بديل لسماد كلوريد البوتاسيوم KCl؛ حيث يعتبر غير شائع الإستخدام في الأردن ومن الممكن إستخدامهُ في الدول المجاورة.
8- حفظ المحلول المغذي في منطقة بعيدة عن أشعة الشمس المباشرة، مع وضع لوحة تحذيرية من اجل السلامة العامة.
9- توفر اجهزة قياس عناصر المحلول المغذي.
10- معايرة اجهزة قياس عناصر المحلول المغذي بمعدل مرة كل اسبوعين.
11- اجراء التهوية المناسبة للبيوت المحمية، تفادياً لحدوث الاصابات الفطرية وغيرها.
12- متابعة عمل لوحة التحكم باستمرار.
13- متابعة عمل خطوط التغذية (خطوط الرّي) باستمرار لضمان تغذية النبات بالشكل السليم.
14- اجراء غسيل بماء الرّي دون المحلول المغذي في حال استخدام الاوساط بديلة التربة بمعدل مرة كل شهر.
15- متابعة عمل خطوط التصريف من وقت لاخر.
16- اختيار الوقت المناسب لزراعة كل محصول بحسب الاجندة الزراعية.
17- وضع خزان ماء احتياطي لحالات الطوارئ وانقطاع التزويد المائي.
18- زيارة الوحدة بشكل دوري لمتابعة نمو المحاصيل وتفقد منظومة العمل.
19- في حال تم تركيب خزانين منفصلين (التغذية و الراجع) يجب ان يكون حجم خزان الراجع اكبر من حجم خزان التغذية بنسبة 1.25%.
20- يمكن تركيب خزان واحد فقط من اجل التغذية والراجع من أجل تقليل التكاليف.

21- من خلال التجارب العديدة التي قام بها مركز البيئة والمياه في الجمعية العلمية الملكية فإن افضل عمق هو ٢٠سم لأنظمة الحوض المائي العميق وذلك لعدة أسباب، أهمها التقليل من قيمة مدخلات الزراعة المائية حث أن هذا العمق مناسب جداً لمعظم المحاصيل العامة والورقيات خاصة.

22- ضرورة شبك حزانات التغذية بمصدر مائي ليتم تعويض الفاقد من محتوى الخزان المائي مباشرة لضمان تغذية النباتات بشكل مستمر.

23- تفقد خزانات مياه التبريد (إن وجدت) باستمرار لتعويض النقص في مياه التبريد نتيجة تبخر المياه من خلايا التبريد.

24- يجب تأمين مولد كهرباء في المشاريع الكبيرة خوفاً من إنقطاع التيار الكهربائي.

6.2. نموذج المتابعة اليومية (Log Sheet):

المحصول:

الموقع:

جدول13: نموذج المتابعة اليومية

التاريخ	الموصلية الكهربائية (بالميلي سيمنز لكل سنتيمتر (mS/cm) للمحلول المغذي	الرقم الهيدروجيني للمحلول المغذي	درجة الحرارة(س°) للبيت المحمي	الرطوبة النسبية % للبيت المحمي	طول النبات	كفاءة خطوط التغذية	كفاءة خطوط التصريف

تم بحمد الله