منظمة الأغذية والزراعة
للأمم المتحدة

التطبيقات العملية

في الزراعــة بدون تربة والزراعـــــة المائيـــــة

التطبيقات العملية
في الزراعــة بدون تربة والزراعـــــة المائيـــــة

إعداد

عماد مصطفى القرعان

منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة

عمَان، 2023

التنويه المطلوب:

عماد مصطفى القرعان. 2023. التطبيقات العملية في الزراعة بدون تربة والزراعة المائية. عمان. منظمة الأغذية والزراعة

https://doi.org/10.4060/cc5990ar

المسميات المستخدمة في هذا المنتج الإعلامي وطريقة عرض المواد الواردة فيه لا تعبر عن أي رأي كان خاص بمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (المنظمة) بشأن الوضع القانوني أو الإنمائي لأي بلد، أو إقليم، أو مدينة، أو منطقة، أو لسلطات أي منها، أو بشأن تعيين حدودها وتخومها. ولا تعني الإشارة إلى شركات أو منتجات محددة لمصنعين، سواء كانت مشمولة ببراءات الاختراع أم لا، أنها تحظى بدعم أو تزكية المنظمة تفضيلا لها على أخرى ذات طابع مماثل لم يرد ذكرها.

إن وجهات النظر المُعبر عنها في هذا المنتج الإعلامي تخص المؤلف (المؤلفين) ولا تعكس بالضرورة وجهات نظر المنظمة أو سياساتها.

ISBN [أدخل الرقم]

© منظمة الأغذية والزراعة، 2023

بعض الحقوق محفوظة. هذا المُصنَّف متاح وفقا لشروط الترخيص العام للمشاع الإبداعي نسب المصنف - غير تجاري - المشاركة بالمثل 3.0 لفائدة المنظمات الحكومية الدولية

(CC BY-NC-SA 3.0 IGO; https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.ar).

بموجب أحكام هذا الترخيص، يمكن نسخ هذا العمل، وإعادة توزيعه، وتكييفه لأغراض غير تجارية، بشرط التنويه بمصدر العمل على نحو مناسب. وفي أي استخدام لهذا العمل، لا ينبغي أن يكون هناك أي اقتراح بأن المنظمة تؤيد أي منظمة، أو منتجات، أو خدمات محددة. ولا يسمح باستخدام شعار المنظمة. وإذا تم تكييف العمل، فإنه يجب أن يكون مرخصا بموجب نفس ترخيص المشاع الإبداعي أو ما يعادله. وإذا تم إنشاء ترجمة لهذا العمل، فيجب أن تتضمن بيان إخلاء المسؤولية التالي بالإضافة إلى التنويه المطلوب: "لم يتم إنشاء هذه الترجمة من قبل منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة. والمنظمة ليست مسؤولة عن محتوى أو دقة هذه الترجمة. وسوف تكون الطبعة [طبعة اللغة] الأصلية هي الطبعة المعتمدة".

تتم تسوية النزاعات الناشئة بموجب الترخيص التي لا يمكن تسويتها بطريقة ودية عن طريق الوساطة والتحكيم كما هو وارد في المادة 8 من الترخيص، باستثناء ما هو منصوص عليه بخلاف ذلك في هذا الترخيص. وتتمثل قواعد الوساطة المعمول بها في قواعد الوساطة الخاصة بالمنظمة العالمية للملكية الفكرية http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules، وسيتم إجراء أي تحكيم طبقا لقواعد التحكيم الخاصة بلجنة الأمم المتحدة للقانون التجاري الدولي (UNCITRAL).

مواد الطرف الثالث. يتحمل المستخدمون الراغبون في إعادة استخدام مواد من هذا العمل المنسوب إلى طرف ثالث، مثل الجداول، والأشكال، والصور، مسؤولية تحديد ما إذا كان يلزم الحصول على إذن لإعادة الاستخدام والحصول على إذن من صاحب حقوق التأليف والنشر. وتقع تبعة المطالبات الناشئة عن التعدي على أي مكون مملوك لطرف ثالث في العمل على عاتق المستخدم وحده.

المبيعات، والحقوق، والترخيص. يمكن الاطلاع على منتجات المنظمة الإعلامية على الموقع الشبكي للمنظمة (http://www.fao.org/publications/ar) ويمكن شراؤها من خلال publications-sales@fao.org. وينبغي تقديم طلبات الاستخدام التجاري عن طريق: www.fao.org/contact-us/licence-request. وينبغي تقديم الاستفسارات المتعلقة بالحقوق والترخيص إلى: copyright@fao.org.

Cover photographs: ©FAO/Imad Alquran

المحتويات

1. مفهوم الزراعة بدون تربة 2
2. تاريخ الزراعة بدون تربة 3
عيوب الزراعة بدون تربة..... 8
4. كيف تنمو النباتات 10
5. كيف تمتص النباتات العناصر الغذائية؟ 11
6. ما العوامل البيئية التي تؤثر على نمو النبات؟ 12
6.1. الضوء 12
6.2. الماء 13
6.3. الهواء 13
6.4. درجة الحرارة المناسبة 14
6.5. الرطوبة النسبية 15
6.6. العناصر المغذية الضرورية للنبات 15
7. التخطيط لمشاريع الزراعة بدون تربة..... 16
7.1. اختيار المحاصيل 19
7.2. اختيار نظام الزراعة بدون تربة 19
8. أقسام الزراعة بدون تربة..... 20
8.1. أقسام الزراعة بدون تربة حسب استعمال المحلول المغذي 20
8.1.1. الأنظمة المفتوحة 20
8.1.2. الأنظمة المغلقة 20
8.2. الزراعة بدون تربة حسب وسط النمو المستخدم للزراعة 21
8.2.1. الزراعة باستخدام أوساط النمو السائلة/المزارع المائية 21
.8.2.2 الزراعة الهوائية 50
.8.2.3 الزراعة بدون تربة باستخدام أوساط النمو الصلبة 58
9. جودة مياه الري 79
9.1. تعقيم وترشيح مياه الري والمحلول المغذي 81
9.2. تأثير ملوحة مياه الري على النباتات 82
9.3. الإجهاد المائي والإجهاد الملحي 83
9.4. محتوى الماء من الصوديوم (Na) والكلور(Cl) والكبريت (S) 85
9.5. محتوى الماء من الكالسيوم (Ca)والمغنيسيوم(Mg) 87
9.6. رقم الحموضة pH 87
9.7. القلوية الكلية لمياه الري 88
10. المحلول المغذي في الزراعة بدون تربة..... 90

10.1. العناصر الغذائية (العناصر السمادية) التي يجب توفيرها في المحلول المغذي 90
10.2. الأسمدة 93
10.3. رقم الحموضة 94
10.3.1. أهمية رقم الحموضة في المحلول المغذي 94
10.3.2. ما الذي يسبب تغير رقم الحموضة في الزراعة بدون تربة؟ 95
10.3.3. كيفية ضبط رقم الحموضة للمحلول المغذي 97
10.4. الموصلية الكهربائية للمحلول المغذي 98
10.5. الدليل الملحي للأسمدة 100
10.6. درجة حرارة المحلول المغذي 101
10.7. وصفات المحاليل المغذية 102
10.7.1. تعريف العنصر 102
10.7.2. مكونات الذرة 102
10.7.3. العدد الذري (الرقم الذري) 103
10.7.4. الوزن الجزيئي للمركب 103
10.7.5. الجدول الدوري للعناصر الكيميائية 103
10.8. النقاط الواجب مراعاتها عند تحضير المحلول المغذي 106
10.8.1. توافق الأسمدة 106
10.8.2. ذوبان الأسمدة 107
10.9. كيفية اختيار الأسمدة المختلفة في تركيبة المحلول المغذي 108
10.10. كيف نقرأ ملصقات الأسمدة 111
10.11. تحضير الخلطات السمادية 112
10.12. الخلطات السمادية للعناصر الصغرى 119
10.13. مثال على تحضير خلطة سمادية (لمحصول البندورة) 120
10.13.1. حساب كمية نترات الكالسيوم لتحقيق الكمية المطلوبة من الكالسيوم 120
10.13.2. حساب كمية نترات البوتاسيوم لتحقيق باقي الكمية المطلوبة من النتروجين 121
10.13.3. حساب كمية فوسفات أحادي البوتاسيوم لتحقيق باقي الكمية المطلوبة من الفوسفور 121
10.14. مراحل نمو النباتات وتوازن العناصر المغذية 124
10.15. نسبة K: N في محصول البندورة 124
10.16. نسبة K:N في محصول الخيار 124
10.17. القواعد العامة لتحضير المحلول المركّز للمحلول المغذي 125
11. إدارة الري في الزراعة بدون تربة 126
11.1. كيفية قياس حجم المحلول المغذي الراشح للصرف 127
11.2. بيئة الجذر في الزراعة بدون تربة 128

11.3. وسط النمو (خزان العناصر الغذائية) 130
11.4. تهوية مياه الري 131
11.5. كمية مياه الري 132
11.6. جدولة الري للتأثير على نمو النباتات 133
11.7. توصيل المحلول المغذي 134
11.8. خصائص أنظمة الري 135
11.8.1. جوانب التصميم الفني لأنظمة الري 135
11.9. بعض أنظمة الري المتبعة في الزراعة بدون تربة 136
11.9.1. نظام الري العلوي 136
11.9.2. الري بالتنقيط 137
11.9.3. نظام خراطيم الري (السباغيتي) 138
11.9.4. أنظمة الري السفلي باستخدام الخاصية الشعرية: 138
11.9.5. نظام الري المباشر في القنوات 139
12. المراجع 140

تمهيد

يتوسع الإنتاج النباتي في الزراعة بدون تربة والزراعة المائية بسرعة في جميع أنحاء العالم، بسبب الحاجة إلى أنظمة زراعية متقدمة وموفرة للماء والأسمدة وصديقة للبيئة، مما يثير اهتمامًا كبيرًا لدى المجتمع العلمي والمزارعين.

هذا الكتاب المرجعي هو ملخص للتجارب العملية للزراعة بدون تربة والزراعة المائية في الأردن. يغطي هذا الكتاب المرجعي أحدث ما توصل إليه العلم في هذا المجال بطريقة مبسطة ومفهومة، ويزود القارئ بفهم عام لنمو النباتات، وكيفية التخطيط لمشاريع الزراعة بدون تربة والزراعة المائية، والتصاميم المختلفة لأنظمة الزراعة بدون تربة، وخصائص أوساط النمو البديلة للتربة، وجودة مياه الري، والمحلول المغذي وادارة الري وغيرها من المواضيع، هذا الكتاب مثالي للمهندسين الزراعيين والباحثين، والمتخصصين في الإرشاد والأشخاص المعنيين بإنتاج النباتات الذين يرغبون في تطوير ممارساتهم الزراعية وتبني الزراعات الذكية مناخيا.

ستكون هذه النسخة هي الأولى وسيتم تحديثها لاحقا لإضافة مواضيع جديدة تتعلق بزراعة المحاصيل المختلفة.

شكر وتقدير

تم انجاز هذا الكتاب بدعم كبير من الزملاء في منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة في الأردن والمركز الوطني للبحوث الزراعية.

المعلومات الواردة في هذا الكتاب تعتمد بشكل كبير على الخبرة المكتسبة في هذا المجال في السنوات العشرة الماضية، حيث قامت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة بتنفيذ عدة مشاريع في الزراعة بدون تربة كما قامت بإنشاء محطة لتدريب المهندسين والمزارعين وغيرهم في مشتل الفيصل التابع لوزارة الزراعة في الأردن، حيث تم تصميم وبناء عدة أنظمة محلية متطورة ومجربة للزراعة بدون تربة والتربية الأحيومائية وإنتاج الأسماك، كما تم إنشاء أول مدرسة مزارعين حقلية في مجال الزراعة بدون تربة من قبل مشروع مدد الممول من الاتحاد الاوروبي بعنوان **تعزيز سبل العيش المرنة والأمن الغذائي للمجتمعات المضيفة واللاجئين السوريين في الأردن ولبنان من خلال تعزيز التنمية الزراعية المستدامة.**

الشكر الجزيل لممثل منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة في الأردن السيد نبيل عساف على دعمه المتواصل لتقديم المساعدات الفنية والإدارية.

والشكر الجزيل للسيد ماركو ديميلاتو مدير مشروع مدد على دعمه لإنشاء مدارس المزارعين الحقلية في هذا المجال.

كما نشكر الدكتور نزار حداد مدير عام المركز الوطني للبحوث الزراعية في الأردن على دعمه المستمر للمنظمة في تنفيذ الممارسات الذكية مناخيا لخدمة المزارعين والقطاع الزراعي.

الشكر الجزيل للزملاء في مكتب المنظمة في الأردن وبالأخص الدكتور إبراهيم الجبوري والزميلات ديما الخياط ومونيكا شارو على مساعدتهما الفنية لإخراج هذه العمل بما يليق بمعايير المنظمة.

كما نشكر جميع من زودنا بمعلومة فنية أو سمح لنا بالتقاط صورة في مزرعته لإغناء هذا الكتاب ليكون شاملا وواضحاً في تقديم المعلومة الفنية لإثراء هذا الموضوع.

المقدمة

تتوقع الأمم المتحدة أن يرتفع عدد سكان العالم إلى 9.4-10.1 مليار نسمة في عام 2050 وتشكل الأراضي الصالحة للزراعة حاليًا حوالي 3 في المائة فقط من سطح الأرض، يترافق هذا النمو السكاني مع الحاجة إلى إنتاج المزيد من الغذاء لإطعام العدد المتزايد منهم، مع تناقص مساحات الأراضي القابلة للزراعة وخروج بعضها من الخدمة بسبب سوء إدارة الأراضي والملوحة والأمراض واستمرار التوسع للمدن على حساب المساحات القابلة للزراعة.

إن التحدي المتمثل في إنتاج المزيد من الغذاء بطريقة مستدامة سيصبح أكثر إلحاحًا من أي وقت مضى، حيث يجري العمل على إنتاج بذور أكثر إنتاجية وتتحمل الظروف المناخية وتقاوم الأمراض، كما تعمل الدول على حث المزارعين على تبني تقنيات زراعية حديثة للتغلب على هذه العوائق، ومن أهم هذه التقنيات الزراعية الحديثة هي الزراعة بدون تربة.

توفر نظم الزراعة بدون تربة إنتاجية أعلى مقارنة مع التقنيات الزراعية التقليدية بسبب إمكانية زيادة عدد النباتات في وحدة المساحة وزيادة عدد دورات الحصاد، علاوة على ذلك تقلل الأنظمة المائية من استخدام هرمونات النضج الاصطناعية والمبيدات الحشرية مما يساعد في إنتاج محاصيل نباتية عالية الجودة من الناحية الغذائية.

يعاني الأردن من شح كبير في المياه بالإضافة إلى تناقص في مساحات الأراضي القابلة للزراعة الشحيحة أصلا وارتفاع تكاليف الأسمدة وانتشار الأمراض الفطرية والحشرية في التربة وارتفاع ملوحتها.

تعد الزراعة بدون تربة أحد أهم الحلول التطبيقية العملية لهذه المشاكل حيث تقوم بتوفير أكثر من 60 في المائة من مياه الري مقارنة مع الزراعة التقليدية حيث يعاد استخدام المياه في الزراعة بالإضافة إلى توفير أكثر من 40 في المائة من تكاليف الأسمدة كما وتساهم في زيادة عدد النباتات المزروعة في وحدة المساحة وإنتاج نباتات صحية ذات جودة عالية، حيث تنمو جذور النباتات في القنوات المعزولة في أوساط مختلفة للنمو كبدائل للتربة أو مباشرة في المحلول المغذي (الماء مضافا إليه الأسمدة).

يواجه المزارعون في مجال الزراعة بدون تربة مصاعب كثيرة أهمها قلة المعلومات المتوفرة عن التقنيات المتبعة في الزراعة بدون تربة، بالإضافة إلى صعوبة التعامل مع المحلول المغذي والأسمدة وزراعة المحاصيل.

يهدف هذا الكتاب للتعريف بالعلوم الأساسية في مجال الزراعة بدون تربة وربطها بالتطبيقات العملية لزراعة عدة محاصيل باستخدام تقنيات مختلفة.

1. مفهوم الزراعة بدون تربة

عادة ما تكون التربة أكثر وسائل النمو المتاحة للنباتات حيث توفر لها المغذيات والهواء والماء وغيرها، ومع ذلك في حالات كثيرة فإن التربة تفرض قيودًا على نمو النباتات عند وجود الكائنات المسببة للأمراض كالديدان الخيطية والفطريات الممرضة بالإضافة إلى الملوحة وسوء الصرف وغيرها.

وفي هذه الحالات تشكل الزراعة بدون تربة الحل الأمثل لمعظم هذه المشكلات حيث يمكن زراعة المحاصيل مع تطبيق معايير سلامة الأغذية وبتكلفة معقولة.

كما يمكن لأنظمة الزراعة بدون تربة مواجهة تحديات تغير المناخ وإدارة نظام الإنتاج من أجل الاستخدام الفعال للموارد الطبيعية كالأراضي الزراعية والماء والتخفيف من سوء التغذية.

يمكن تعريف الزراعة بدون تربة بأنها زراعة النباتات دون استخدام التربة كوسط لنمو الجذور، بحيث يتم إضافة العناصر المغذية غير العضوية إلى مياه الري بتراكيز مناسبة ويطلق عليه مسمى المحلول المغذي، تنمو الجذور إما مباشرة في المحلول المغذي أو يتم استخدام أوساط بديلة للتربة لتنمية الجذور مثل البيتموس والبيرلايت وألياف جوز الهند وغيرها.

2. تاريخ الزراعة بدون تربة

يُعتقد أن الزراعة بدون تربة بدأت منذ آلاف السنين، كما في حدائق بابل المعلقة وهي واحدة من عجائب الدنيا السبع في العالم القديم في العام 500-600 قبل الميلاد، حيث بنى الملك نبوخذ نصر الثاني هذا المبنى الرائع كهدية لزوجته الملكة أميتيس.

كما ابتكرت قبائل الأزتك في القرن الرابع عشر الميلادي الزراعة العائمة في البحيرات حيث زرعت المحاصيل فوق طوافات من جذوع الأشجار و القصب وضع في أعلاها خليط من التربة والكوموبست والحمأة من قاع البحيرات، ونمت جذور هذه المحاصيل عميقا في هذه الطوافات لتصل إلى المياه والعناصر المغذية في مياه البحيرة[1].

تساءل المفكرون القدماء عن كيفية نمو النباتات وظنوا بداية بأن النباتات تتغذى من الماء، ففي القرن السادس عشر اعتبر Van Helmont بأن الماء هو المغذيات الوحيدة للنباتات، حيث توصل إلى هذا الاستنتاج بعد إجراء تجربة قام فيها بزراعة نبات الصفصاف في حوض كبير من التربة لخمس سنوات، ولاحظ في نهاية التجربة بأن التربة فقدت خلال فترة التجربة 56.7 غرام وبالمقابل ازداد وزن نبات الصفصاف 74389 غرام وذلك فقط بإضافة الماء إلى التربة، فخلص حينها إلى أن نمو النبات كان ناتجا فقط عن الماء.

وفي عام 1699 قام John Woodward بزراعة أنواع مختلفة من النباتات في أنواع مختلفة من المياه، ولاحظ أن النمو يزداد مع زيادة العكارة في الماء، فاستنتج بأن هذه العكارة تترك في النبات أثناء مرور الماء وخروجه من النباتات، وبقي الاعتقاد بأن مياه التربة تحمل غذاء للنباتات وأن النباتات "تعيش خارج التربة" تهيمن على تفكير العصر ولم يبدأ المجربون حتى منتصف القرن الثامن عشر في فهم كيفية نمو النباتات[2].

وفي عام 1803 صرح Justus von Liebig "لقد قررنا أن عددًا من العناصر ضروري جدا للحياة النباتية، إنها ضرورية لأن النبات المحروم من أي من هذه العناصر سوف يتوقف عن الوجود".

في عام 1860 نجح Wilhelm Knop في زراعة النباتات في الرمل والألياف، وأصبح الأب الحقيقي للزراعة المائية كما وضعت تجاربه حجر الأساس لما نعرفه اليوم باسم الزراعة المائية.

في عام 1920 بدأ الأستاذ في جامعة كاليفورنيا William Gericke العمل في الزراعة المائية، ثم صاغ مصطلح الزراعة المائية Hydroponic وهو مشتق من اليونانية من كلمتي hydro وتعني الماء وponos وتعني العمل، كما أصدر كتابا عن الزراعة المائية في العام 1940 لا يزال من أهم المراجع في هذا المجال إلى الآن.

في عام 1938 تم تطوير العمل على الزراعة المائية من قبل اثنين من العلماء الذين ينتمون أيضًا إلى جامعة كاليفورنيا وهما Hoagland and Arnon، حيث قاموا بنشر الوثائق الأكثر أهمية في

[1] https://talkinghydroponics.com/2017/04/18/history-of-hydroponics/
Jones - Hydroponics - A Practical Guide for the Soilless Grower 2e (CRC, 2005) [2]

تطوير الزراعة المائية، تضم هذه الوثائق تراكيب المحاليل المغذية والتي تصلح لعدد كبير من النباتات والتي لا تزال تستخدم على نطاق واسع حتى اليوم.

في العام 1945 كان الجيش الأمريكي رائداً في تطوير مشاريع الزراعة المائية الحديثة، حيث تمركزت هذه المشاريع في جزيرة أسنشن في جنوب المحيط الأطلسي وفي وقت لاحق في إيوجيما، كما قام الجيش الأمريكي ببناء 22 هكتارًا من الزراعة المائية في تشوفو - اليابان، وفي غضون خمسة أشهر فقط من الزراعة قام الجنود الأمريكيون بإنتاج العديد من المحاصيل الطازجة مثل الخيار والبندورة والفلفل والخس.

صورة 1: الزراعة المائية في مدينة تشوفو في اليابان (1947)[3]

صورة 2: محصول الخس في الزراعة المائية في مدينة تشوفو في اليابان (1947) [4]

في عام 1960 طور العالم Alan Cooper تقنية الزراعة في الغشاء المغذي في بريطانيا، ولا تزال هذه التقنية تستخدم بشكل كبير حتى الآن.

لقد تطورت الزراعة بدون تربة كثيرا في السنوات القليلة الماضية، وأصبحت الزراعة بدون تربة الأسرع نمواً في الزراعة عالميا، ومن الممكن أن تهيمن على إنتاج محاصيل الخضار مستقبلا وستبدأ في استبدال الزراعة التقليدية، كما بدأت وكالة ناسا للفضاء أبحاثًا للزراعة المائية المكثفة لدعم نظام الحياة لرواد الفضاء عند العيش في الفضاء أو عند استيطان الكواكب، ويتوقع الخبراء أن ينمو سوق الزراعة بدون تربة بمعدل نمو سنوي مركب قدره 20.7 في المائة من 2021 إلى 2028 ليصل إلى 9.8 مليار دولار أمريكي بحلول عام 2028.

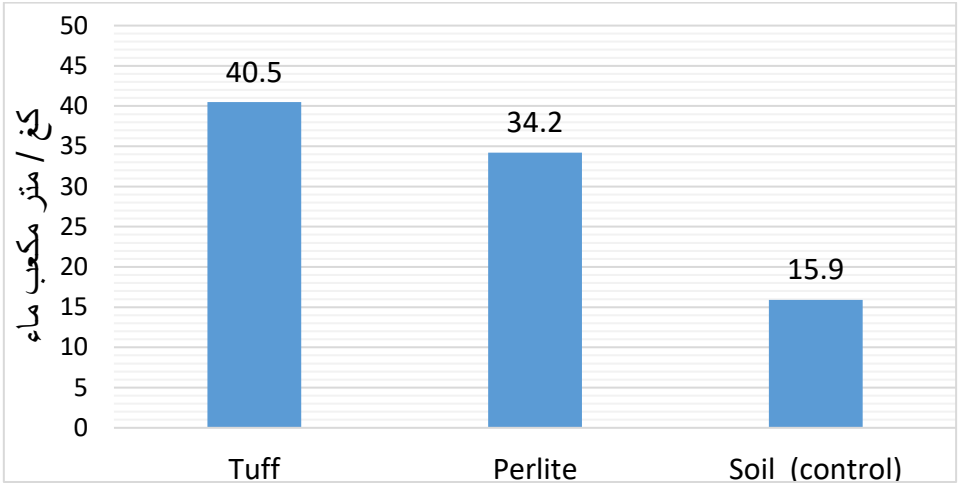
[3] https://exhibitions.lib.umd.edu/crossing-the-divide/home-life/hydroponic-farming-folder/hydroponic-farming

[4] https://exhibitions.lib.umd.edu/crossing-the-divide/home-life/hydroponic-farming-folder/hydroponic-farming

3. مميزات الزراعة بدون تربة

يستهلك القطاع الزراعي في الأردن سنويا ما يقارب من 60 في المائة من مياه الأردن، ويلجأ المزارعون للزراعة بدون تربة في الأردن لعدة أسباب أهمها التوفير في مياه الري والأسمدة والتخلص من مشاكل التربة وإنتاج المحاصيل ذات الجودة العالية، ومن أهم فوائد الزراعة بدون تربة:

(1) توفير الماء: تستطيع أنظمة الزراعة بدون تربة توفير ما بين 60 إلى 70 في المائة من مياه الري مقارنة مع الزراعة التقليدية، حيث تنمو النباتات في قنوات عازلة للماء لا تسمح برشح الماء إلى التربة، كما أن بعض هذه القنوات محكمة الإغلاق من الأعلى ولا تسمح بتبخر المياه، كما يمكن تجميع الراشح من قنوات الزراعة لإعادة استخدامه، ويبين الشكل التالي كفاءة استخدام المياه المزروعة وذلك عن طريق قياس كمية الإنتاج بالكيلوغرام لمحصول البندورة لكل متر مكعب يتم استخدامه للري، وذلك عند زراعة البندورة في التف البركاني و البيرلايت باستخدام نظام الزراعة بدون تربة المفتوح حيث لم يعاد استخدام المحلول المغذي بالمقارنة مع الزراعة في التربة [5].



رسم بياني 1: كفاءة استخدام الماء في الزراعة بدون تربة

(2) التوفير في الأسمدة: توفر الزراعة بدون تربة ما لا يقل عن 40 في المائة من السماد المستخدم لإنتاج نفس كمية المنتجات في الزراعة التقليدية حيث لا ترشح الأسمدة إلى التربة والماء الأرضي وتلوث مصادر المياه.

(3) زيادة كمية النباتات في وحدة المساحة: توفر الزراعة بدون تربة الظروف المثالية في منطقة الجذور لنمو وتطور النباتات وتؤمن المغذيات النباتية بشكل متوازن وكافي للحصول على إنتاج عالي في قنوات الزراعة حيث تنتشر جذور النباتات، ويكون حجم الجذر صغيرا في الزراعة بدون تربة مقارنة مع الجذور التي تنمو في التربة حيث تنمو الجذور عميقا وعلى مساحات كبيرة للبحث عن مصادر الغذاء، وبذلك يمكن تقريب مسافات الزراعة بين النباتات دون التأثير على نموها، كما يمكن زراعة النباتات صغيرة الحجم كالخس والخضروات الورقية في طوابق

[5] دراسة تأثير تطعيم أشتال البندورة وطريقة التربية على إنتاجية ونوعية ثمار البندورة وكفاءة استخدام المياه المزروعة باستخدام نظام الزراعة بدون تربة المفتوح بالمقارنة مع الزراعة في التربة العادية

متعددة حيث تكون قنوات النمو ضيقة كما يمكن في بعض الأحيان زراعة النباتات بشكل هرمي أو على طوابق.

(4) التبكير في إنتاج المحاصيل وإمكانية الإنتاج بشكل مستمر طوال العام: ويتم ذلك بجدولة الإنتاج حيث تزرع الأشتال لتنمو إلى مرحلة الإثمار في مساحة مخصصة لذلك داخل البيت المحمي، بينما يكون مكان الزراعة الدائم يحوي نباتات ما زالت في طور الإنتاج، ثم يتم نقل هذه الأشتال إلى مكان الزراعة الدائم، كما يمكن زراعة أكثر من محصول واحد في العام للمحاصيل ذات العمر القصير يمكن أن يصل في بعض الأحيان إلى 12 مرة لمحصول الخس الورقي.

(5) استغلال الأراضي غير القابلة للزراعة: هناك العديد من الأسباب التي تمنع استغلال الأراضي الزراعية ومنها وجود الحجارة والصخور وتملح التربة وانتشار الأمراض الفطرية والنيماتودا، لذلك تستخدم تقنيات الزراعة بدون تربة للتخلص من هذه المشاكل حيث تزرع النباتات في حاويات أو قنوات معزولة عن التربة وبالتالي لا تتأثر الزراعة بهذه العوامل كما يمكن زراعة أسطح المباني.

(6) التقليل من استعمال المبيدات: تقلل الزراعة بدون تربة بشكل كبير من استخدام المبيدات الزراعية بشكل عام حيث لا حاجة لاستخدام مبيدات التربة والأعشاب، كما يتم استخدام كمية قليلة من المبيدات لمعالجة الأمراض الفطرية، حيث يمكن تعقيم المحلول المغذي (الماء والأسمدة) والقضاء على الممرضات باستخدام بعض التقنيات كالأشعة فوق البنفسجية والأوزون.

(7) إنتاج غذاء عالي الجودة: في الزراعة بدون تربة يتم استخدام العناصر السمادية بكميات محددة وبكفاءة عالية لتحقيق أكبر عائد من الإنتاج، حيث تكون الخلطات السمادية محددة العناصر وأجريت عليها الدراسات الكافية لتنمو النباتات بصورة مثالية، كما يمكن التحكم بتركيز النترات في الأطعمة المنتجة عند تقليل كميتها في المحلول المغذي، كما أن زراعة النباتات بعيدا عن التربة يمكن من إنتاج أغذية نظيفة وذات مظهر مرغوب للمستهلكين بالأخص للمحاصيل الورقية والخس والفراولة.

قد يقول البعض بأن المنتجات الزراعية المنتجة بطريقة الزراعة بدون تربة هي منتجات غير آمنة لأنها تستخدم الأسمدة بشكل مكثف، وهذا غير صحيح، فعلى سبيل المثال عند التحدث عن محتوى أنسجة النبات الصالحة للأكل من النترات كأحد المؤشرات على جودة المنتجات الزراعية، فيمكن التحكم بهذه الكميات في الزراعة بدون تربة عن طريق تخفيف كمية النترات المضافة للمحلول المغذي قبل عملية الحصاد، مما يقلل من نسبة النترات في الثمار عند الحصاد، كما يمكن تحسين بعض الصفات التسويقية لبعض الخضروات كالبندورة عند التحكم بمستوى الأملاح في المحلول المغذي.

صورة 3: زراعة الخس في التربة

صورة 4: زراعة الخس بشكل مكثف في الزراعة المائية

صورة 5: إنتاج المحاصيل غالية الثمن

صورة 6: استخدام الزراعة المائية لزراعة أسطح المباني

صورة 7: إنتاج الفراولة عالية الجودة للتصدير

صورة 8: زيادة الكثافة الزراعة (زراعة الخس بشكل هرمي)

عيوب الزراعة بدون تربة

قد تكون الزراعة بدون تربة واحدة من أحدث التقنيات لزراعة النباتات وتمثل نهجًا ثوريًا، لكنها لا تخلو من بعض العيوب مثل:

(1) الكلفة العالية لتأسيس المزارع بدون تربة حيث أنها تحتاج إلى أجهزة ومعدات خاصة وتتطلب الكثير من الاستثمار في البنية التحتية، كأنظمة الري والتسميد الأوتوماتيكية وتعقيم المياه وغيرها.

(2) خطورة تفشي الأمراض الفطرية أكبر من الزراعة التقليدية، وذلك عند مرض أحد النباتات في الأنظمة المغلقة التي يعاد فيها استخدام المحلول المغذي، ستنتقل العدوى إلى باقي النباتات حيث تشترك في الحصول على المغذيات من نفس المصدر.

(3) تحتاج لعناية مستمرة خشية انقطاع التيار الكهربائي أو تعطل المضخات والأجهزة الكهربائية الأخرى، ويمكن فقدان المحصول بشكل كامل عند توقف الإمداد بالماء لساعات قليلة، حيث أن النباتات لم تعتاد على الظروف القاسية مثل النباتات التي تزرع في التربة، وفي هذه الحالة يعتبر وجود مصدر طاقة احتياطي مثل مولد الكهرباء ضروريا.

(4) تحتاج لخبرة ومعرفة كبيرة بالعلوم الأساسية للزراعة المائية، مثل موضوع المحاليل المغذية للنباتات وتحضيرها ومعايرتها والأنظمة المناسبة ونوع بدائل التربة المناسب لزراعة محصول معين.

(5) قد لا تنجح بعض المحاصيل بشكل جيد عند استخدام تقنيات الزراعة بدون تربة كالذرة وبعض المحاصيل الدرنية كالجزر.

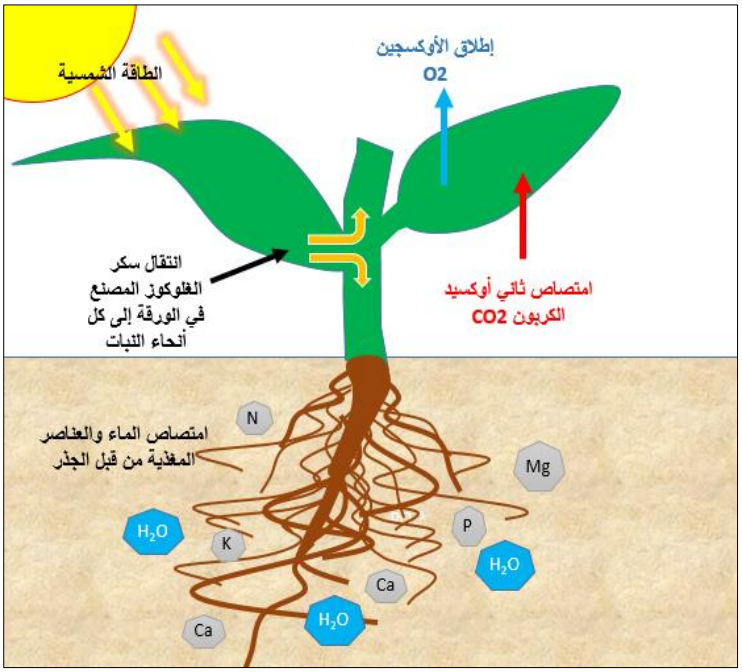
(6) ويعاب على الزراعة بدون تربة أيضا استخدام الأسمدة المعدنية بدل الأسمدة العضوية التي تستخدم في الزراعة العضوية، لكن من الجدير ذكره بأن النباتات تمتص الأسمدة بشكل معدني وبتراكيب محددة فمثلا يمتص النبات النيتروجين على شكل نترات أو أمونيوم، وهذا يعني أنه يجب أن تتحول الأسمدة العضوية التي تضاف للتربة وتحتوي على النتروجين العضوي إلى الشكل المعدني وذلك عن طريق الأحياء الدقيقة الموجودة في التربة لتتمكن النباتات من امتصاصها.

صورة 9: موت نبات الخيار نتيجة توقف الري عند انقطاع التيار الكهربائي

صورة 10: موت نبات الخس نتيجة توقف الري عند انقطاع التيار الكهربائي

صورة 11: نظام الزراعة بدون تربة عالي التكلفة

4. كيف تنمو النباتات



رسم توضيحي 1: التركيب الضوئي في النبات

طورت النباتات على مدى ملايين السنين قدرة مذهلة للحصول على الغذاء تتحول فيها الطاقة الضوئية الشمسية من طاقة كهرومغناطيسية على شكل فوتونات من أشعة الشمس إلى طاقة كيميائية تخزن في روابط سكر الجلوكوز، تسمى هذه العملية بالتمثيل الضوئي وهي عملية معقدة تحدث في الأوراق داخل الصبغة الخضراء المعروفة باسم الكلوروفيل، حيث يتم جمع غاز ثاني أوكسيد الكربون من الهواء بواسطة خلايا متخصصة تسمى الثغور التنفسية وهي موجودة على سطح الورقة، كما تقوم هذه الثغور التنفسية بطرح الماء إلى الجو مما يرفع الماء والمغذيات من الجذور إلى الأوراق والثمار من خلال أنسجة نسيج الخشب.

بوجود الطاقة الشمسية تتفاعل 6 جزيئات من الماء مع 6 جزيئات من ثاني أكسيد الكربون وتنتج جزيء سكر جلوكوز و6 جزيئات من الأكسجين تطلق في الهواء.

$$6CO_2+6H_2O+light\rightarrow C_6H_{12}O_6+6O_2$$

وفي وجود الأوكسجين تقوم النباتات بالحصول على الطاقة من السكريات والكربوهيدرات وتطلق غاز ثاني أكسيد الكربون، ويتم استخدام الطاقة الناتجة لتكوين المكونات المختلفة التي تحتاجها النباتات كالبروتينات والإنزيمات ومنظمات النمو والحمض النووي وغيرها.

5. كيف تمتص النباتات العناصر الغذائية؟

بشكل عام تمتص النباتات الماء والعناصر الغذائية من خلال القمم النامية للجذور (الأوبار الماصة) ويمكن أن تمتص كميات قليلة بواسطة الأوراق (كالأسمدة الورقية)،

صورة 12: القمم النامية في الجذور

وتمتص العناصر الغذائية من قبل الجذور على هيئة عناصر أو مركبات بشكل أيونات، وهي دقائق صغيرة الحجم تحمل شحنة كهربائية، عندما تكون الشحنة موجبة تسمى بالكاتيونات مثل البوتاسيوم والكالسيوم وعندما تكون سالبة تسمى بالأنيونات كما في النترات والفوسفور.

لا تزال طريقة انتقال العناصر الغذائية من التربة إلى النبات موضع جدل بين الباحثين، ولكن بشكل عام تنتقل العناصر الغذائية من مناطق التركيز المرتفع في التربة إلى مناطق التركيز المنخفض في النبات، دون أن يبذل النبات أية طاقة وتسمى هذه الطريقة بالنقل السلبي ، لكن أيضا يمكن للأيونات أن تنتقل من التركيز المنخفض في المحلول المغذي إلى التركيز المرتفع داخل النبات بواسطة نواقل أو حوامل للأيونات ترتبط بالأيونات بطريقة معينة تسمح لها بالمرور من خلال الأغشية الخلوية، وهذا ما يسمى بالنقل الفعال، ويعتبر وجود الأوكسجين ضروريا لإنتاج الطاقة في الجذور في حالة النقل الفعال، كما يوجد بعض المركبات الحاملة أو الناقلة التي يمكن أن تنقل أيون محدد واحد أو أكثر وتسمى هذه العملية بالنقل الاختياري.

6. ما العوامل البيئية التي تؤثر على نمو النبات؟

6.1. الضوء

الطاقة المستمدة من أشعة الشمس هي أحد أهم العوامل الأساسية التي تساهم في عملية التمثيل الضوئي في النباتات، وهي العملية التي تصنع بها النباتات الخضراء الطعام كالسكريات وذلك باستخدام الطاقة الضوئية وثاني أكسيد الكربون والماء في وجود الكلوروفيل (الصبغة الخضراء في النباتات) وتطلق الأكسجين.

ومن الضروري معرفة أن كل الخضار المزروعة تقريبا تحتاج إلى **الضوء المباشر القادم من أشعة الشمس**، وفي ظروف الإضاءة القليلة سوف تميل النباتات إلى الاستطالة للبحث عن أشعة الشمس، مما يضعف نمو النبات وفي معظم الأحيان سيكون الإثمار ضعيفا أو معدوما، وهذا الموضوع يجب أن يأخذ أهمية كبيرة عند تصميم أنظمة الزراعة بدون تربة وبالأخص في الزراعة الطابقية أو بشكل هرمي.

صورة 13: الكثافة العالية لأنابيب الزراعة مما يخلق تظليلا يحجب الضوء عن النباتات

صورة 14: تغطية البيت البلاستيكي بطبقة سميكة من الطين

صورة 15 اللون الباهت لنبات الخس بسبب قلة الإضاءة

6.2. الماء

الماء ضروري للحياة وهو من أهم متطلبات نمو النباتات وهو المكون الرئيسي لخلايا النباتات ويستخدم في عملية التمثيل الضوئي والتفاعلات الكيميائية التي تجري داخل النباتات، ويتغير محتوى الماء في النباتات حسب نوع النبات وأعضائه المختلفة، فعلى سبيل المثال يمكن أن يصل محتوى نبات الخس من الماء إلى 90 في المائة، ويبلغ محتوى الماء في الخشب المقطوع حديثا من 30 إلى 50 في المائة، كما أن معظم الوظائف الفيزيولوجية مرتبطة بالماء والمواد الذائبة فيه ويمكن إيجاز دور الماء في النبات فيما يلي:

- نقل العناصر المعدنية والمواد العضوية:

يلعب الماء دور الناقل للعناصر المعدنية المختلفة داخل النبات، فالمواد العضوية المتشكلة في الأوراق تهاجر إلى باقي أعضاء النبات في وسط مائي، وكذلك بالنسبة العناصر المعدنية التي تمتصها جذور النباتات وغيرها.

- الانتباج الخلوي:

وهو المسؤول عن صلابة الأنسجة النباتية ويضمن الوضع القائم للأعضاء النباتية التي تفتقد إلى الأنسجة الدعامية، وعندما يكون الإمداد بالماء غير كاف فإن خلايا النبات تفقد الماء مما يؤدي إلى انكماش الخلايا ويترجم ذلك ظاهريا بذبول النبات، كما أن الانتباج مقرونا بالنمو هو الذي يسمح بتغلغل الجذور في التربة.

- الاشتراك في التفاعلات البيو كيميائية:

بالإضافة إلى اعتباره وسطا ملائما لعمل الإنزيمات فإن الماء يدخل مباشرة في كثير من التفاعلات التي تجري داخل النبات.

- التنظيم الحراري:

مهما يكن محتوى النبات من الماء فإن ذلك لا يمثل في الحقيقة سوى نسبة قليلة تعادل 1في المائة مما تمتصه الجذور من محلول التربة، حيث يستهلك النبات كميات كبيرة من الماء لنقل المواد المغذية من الجذور والتخلص من الحرارة الممتصة من الأشعة الضوئية، وذلك عبر تيار متواصل من الماء يبدأ من الجذور في التربة وينتهي بطرح الماء بشكل بخار عن طريق الثغور التنفسية على سطح الأوراق، وقد تستبدل بعض النباتات كالأعشاب محتواها المائي يوميا.

6.3. الهواء

تستعمل النباتات غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء في عملية التمثيل الضوئي وتطلق الأوكسجين، ومن جهة أخرى تستخدم النباتات الأوكسجين الموجود في الهواء في عملية التنفس في عملية مُعاكسة لعملية التمثيل الضوئي التي تقوم بها في النهار، إذ تأخذ الخلايا النباتية الأكسجين من الهواء وتُخرج ثاني أكسيد الكربون.

ويعتقد العلماء أن العوالق النباتية تساهم بنسبة تتراوح من 50 إلى 85 في المائة من الأكسجين في الغلاف الجوي للأرض، وهي نباتات صغيرة تعيش في المحيطات بالقرب من سطح الماء

وتنجرف مع التيارات وتنتج الأوكسجين من خلال عملية التمثيل الضوئي، كما تساهم النباتات والطحالب بإنتاج كمية كبيرة من الأوكسجين.

وتبلغ نسبة ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي حوالي 0.0387 في المائة، وهي متغيرة حسب الموسم والأنشطة المختلفة وتنتج عن تنفس النباتات والحيوانات وتحلل المواد العضوية واحتراق الوقود والنشاط البركاني، يدخل ثاني أكسيد الكربون إلى النباتات من خلال الثغور أو المسامات الموجودة على سطح الورقة. يؤثر تركيز ثاني أكسيد الكربون داخل البيت المحمي بشكل مباشر على معدل التمثيل الضوئي وبالـتالي على معدل نمو النباتات، ويبلغ المعدل الطبيعي لتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء بحدود 350–390 جزءًا في المليون، ويمكن للنباتات في الأيام المشمسة داخل البيت المحمي المغلق أن تستنفد تركيز هذا الغاز إلى 100 جزء في المليون مما يقلل بشدة من معدل التمثيل الضوئي، تؤدي زيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون إلى 800–500 1 جزء في المليون إلى تسريع النمو وذلك عندما يقوم المزارعون بضخ هذا الغاز إلى هواء البيت المحمي.

في ولاية فلوريدا الأمريكية يتم حقن ثاني أوكسيد الكربون بنسبة 800-000 1 جزء في المليون خلال فصل الشتاء داخل البيوت المحمية المغلقة وذلك خلال فترة النهار ليتمكن النبات من استخدامه للنمو، وخلال عملية الحقن يتم إغلاق التهوية في البيوت المحمية للحفاظ على مستوى ثابت من ثاني أوكسيد الكربون في البيت المحمي، ويتم تزويد البيوت المحمية بهذا الغاز عن طريق حرق غاز البروبان داخلها أو من خلال استعمال أسطوانات تحتوي على غاز ثاني أوكسيد الكربون ويتم ذلك بشكل أتوماتيكي وفقا لقياسات نسبة ثاني أوكسيد الكربون داخل البيت المحمي.

6.4. درجة الحرارة المناسبة

تصنف النباتات في حاجتها للحرارة إلى محاصيل شتوية وصيفية، وتعرف المحاصيل الشتوية بأنها المحاصيل المتكيفة مع متوسط درجات حرارة شهرية من 16 إلى 18 درجة مئوية، وتستطيع أن تنمو وتتطور وتصل إلى الإثمار في ظروف الطقس الباردة، مثل البروكلي والملفوف والقرنبيط والخس والبصل والجزر والسبانخ واللفت وغيرها، كما أن بعضها يتحمل درجات الحرارة المتدنية جدا كالخس والملفوف، وعند ازدياد درجات الحرارة فإنها نموها يتأثر سلبا وقد لا تثمر.

وعلى العكس من ذلك يتطلب نمو المحاصيل الصيفية درجات حرارة أعلى حيث تتكيف مع متوسط درجات حرارة شهرية من 18 إلى 30 درجة مئوية حتى تنمو وتزهر وتعطي الثمار، كما يتوقف نموها في درجات الحرارة المتدنية ولا تتحمل الصقيع كمحصول الخيار والباذنجان والفليفلة والفاصولياء والبطيخ وغيرها.

تتحكم درجة الحرارة في معدل نمو النبات وبشكل عام تستمر العمليات الكيميائية داخل النبات بمعدلات أسرع مع زيادة درجات الحرارة إلى حد معين.

ويتم تنظيم معظم العمليات الكيميائية في النباتات بواسطة الإنزيمات، والتي بدورها تعمل ضمن نطاقات ضيقة من درجة الحرارة وعند تجاوز هذه النطاقات تبدأ في التدهور، مما يؤدي إلى بطء

أو توقف العمليات الكيميائية، وفي هذه النقطة يظهر الإجهاد على النبات ويتباطأ النمو وفي مراحل حرجة يموت النبات، لذلك يجب الحفاظ على درجة الحرارة المحيطة بالنباتات عند حدها الأمثل ويجب مراقبة درجة حرارة الهواء والماء باستمرار لضمان النمو الأمثل للنباتات.

6.5. الرطوبة النسبية

تؤثر الرطوبة النسبية للهواء وبالأخص في البيوت المحمية على معدل النتح في النباتات، حيث يؤدي ارتفاع نسبة الرطوبة النسبية في الهواء إلى تقليل عملية النتح وخروج كمية أقل من الماء من النباتات، وهذا يؤدي إلى نقص المغذيات التي تنتقل من الجذور إلى الأوراق كما يقل تبريد سطح الأوراق، ويمكن أن تسبب الرطوبة العالية انتشار الأمراض الفطرية في النباتات.

6.6. العناصر المغذية الضرورية للنبات

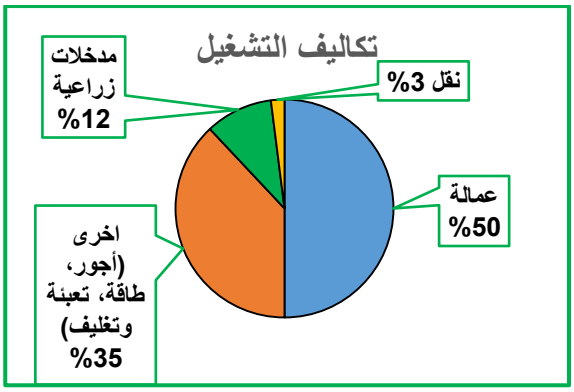
من المعروف أن النباتات تحصل على غذائها بالصورة الطبيعية من ثلاث مصادر أساسية وهى الماء والهواء والتربة، وفي الأحوال الطبيعية تعتبر كل من المادة العضوية والمكونات المعدنية الميسرة في التربة المصادر الرئيسية لمعظم العناصر المغذية للنباتات، وقد وجد الباحثون باستخدام الطرق الحديثة لتحليل الأنسجة النباتية وجود أكثر من 60 عنصر فيها، لكن تبين من الدراسات والأبحاث أن النبات يحتاج فقط إلى 16 عنصر بشكل ضروري لنموه وتطوره.

7. التخطيط لمشاريع الزراعة بدون تربة

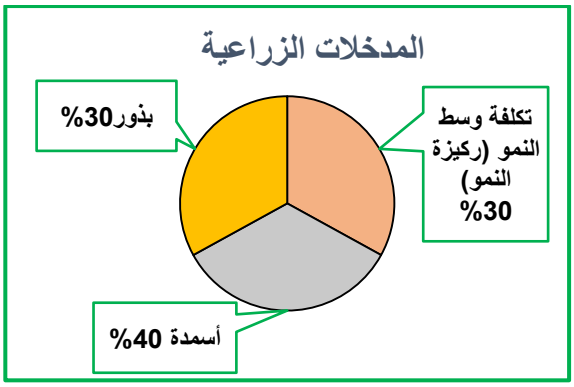
كثير من الناس يقوم بالزراعة بدون تربة باعتبارها هواية، حيث يمكن أن تكون هذه الأنظمة المستخدمة ذات فائدة كبيرة في التدريب والتعليم، لكن الانتقال من الهواية إلى الإنتاج التجاري هو خطوة كبيرة تحتاج إلى متطلبات مختلفة بشكل كبير عن الهواية، ويجب أن تنتج هذه المشاريع التجارية بشكل موثوق ومستمر يضمن عائدًا ماليًا مقبولًا.

يلاحظ بشكل عام فشل عدد كبير من الشركات الناشئة الصغيرة في الزراعة بدون تربة، وخاصة في السنة الأولى من التشغيل بالإضافة إلى أن العديد من هذه الشركات أثبتت أنها أقل ربحية بكثير مما كان متوقعا، وتبين أن الخطأ الأكثر شيوعا هو التقليل من شأن المهارات الفنية لا سيما مهارات البستنة والتسويق، لقد دلت الأبحاث بأن المزارع يحتاج على الأقل ثلاث سنوات للإلمام بكافة التفاصيل المتعلقة بزراعة أي محصول في التربة، من حيث مناسبته للزراعة في المنطقة وإنتاجيته ومدى مقاومته للأمراض وعوامل مهمة أخرى، فما بالك في الزراعة بدون تربة التي تتطلب مهارات إضافية، أما السوق فهو الخطوة الأولى حيث يجب أن يبدأ التخطيط لمشاريع الزراعة بدون تربة، ومعظم المزارعين يخطئون عندما يفكرون باستخدام تقنية معينة للزراعة بدون تربة قبل التفكير في المحصول المنوي زراعته، كما أن أحد العوائق الكبيرة للزراعة المائية هو التكلفة العالية للتأسيس، ويعد هذا تحديا كبيرا للمزارعين مما يجعلهم يستغرقون وقتًا طويلاً للبدء بتحقيق الأرباح.

وجدت الدراسات التي تناولت مزارع الزراعة بدون تربة والمزارع المائية ذات التقنيات المتقدمة، أن حوالي 50 في المائة فقط من هذه المزارع تحقق الأرباح، وعلى عكس ما يشاع فإن تكاليف العمالة في الزراعة بدون تربة تأخذ النسبة الأكبر من الكلفة التشغيلية بالإضافة إلى أن هذه العمالة ماهرة وتحتاج للتدريب، ويبين الشكل التالي متوسط التكاليف التشغيلية لمشاريع الزراعة بدون تربة ذات التقنيات العالية:



الشكل 1: مخطط تكاليف التشغيل



الشكل 2: مخطط المدخلات الزراعية

قبل البدء في المشاريع الزراعية يجب على المزارع التفكير مليا في سبب رغبته تبني تقنيات الزراعة بدون تربة، ومن أكثر ما نشاهده من الأخطاء الشائعة في الأردن، بأن من يتجه للزراعة بدون تربة من أجل توفير المياه لا يدرك بشكل كبير كميات المياه الفعلية اللازمة لري النباتات المزروعة، وصحيح أن بعض أنظمة الزراعة بدون تربة توفر أكثر من 40 إلى 60 في المائة من

كميات المياه للري، لكن الكميات المتبقية من مياه الري والتي يجب توفيرها هي كميات كبيرة لا يستهان بها، فعلى سبيل المثال يحتاج الدونم الواحد من الأرض ويساوي 100 متر مربع والمزروع بمحصول البندورة من 400 إلى 600 متر مكعب من مياه الري، وذلك لفترة نمو تتراوح ما بين 90 و 150 يوما، مع ملاحظة أن زيادة أيام النمو للمحصول تلعب دورا كبيرا في زيادة كمية المياه اللازمة للري، وفيما يلي الاحتياجات المائية للمحاصيل الخضرية الرئيسية في الأردن في الزراعة التقليدية في التربة:

المحصول	عدد أيام النمو/يوم	كمية المياه متر مكعب/دونم
البندورة	150-90	600-400
الخيار	180	400-300
الفليفلة	180-120	1200-600
الباذنجان	210	500
الفراولة موسم واحد 8 اشهر	240	500
الفراولة التي تترك مزروعة لموسمين*	360	700
البطيخ	110-80	600-400
الفاصولياء	120-60	500-300
البصل	175-130	550-350
الملفوف	140-20	500-380

المصدر: الأسس العملية في تقدير الاحتياجات المائية وجدولة الري للمحاصيل الزراعية--وائل عادل الشريف المركز الوطني للبحوث الزراعية ٢٠٠٩

جدول 1 الاحتياجات المائية للمحاصيل الخضرية الرئيسية في الأردن في الزراعة التقليدية في التربة

*عندما تترك الأشتال لمدة عامين متتالين دون تغييرها وذلك لغلاء أثمانها.

لابد من أن يدرك المزارع بأن الزراعة بدون تربة ليست حالا سحريا فهي **لا "تعطي سيطرة كاملة على النبات"** بل تسيطر فقط على منطقة نمو الجذور، كما أن الجزء العلوي من النبات يتأثر بالبيئة المحيطة، مثل درجة الحرارة وشدة الإضاءة والرطوبة وطول النهار والمنافسة بين النباتات وتشكيله الجيني وما إلى ذلك.

من المهم جدا التفكير بالزراعة التقليدية في التربة كأحد الخيارات الأساسية، حيث يتيح ذلك للمزارع معرفة طبيعة نمو المحصول دون وجود تداخلات أخرى تأتي من التقنيات المستخدمة في الزراعة بدون تربة، ومن الضروري جدا معرفة القيود البيئية للمحصول المراد زراعته كموعد الزراعة المناسب والأصناف التي تنجح زراعتها في المنطقة وطبيعة الإثمار و كثافة النباتات في الزراعة التقليدية في التربة، فعلى سبيل المثال يجب أن تزرع بعض المحاصيل في الزراعة بدون تربة بكثافات نباتية مماثلة إلى حد كبير لتلك المتبعة في الزراعة في التربة، وهي نتيجة الخبرة العملية للمزارعين ويجب عدم تجاهلها، حيث تم الأخذ بعين الاعتبار العديد من من الأمور نتيجة التجربة مثل القدرة على خدمة المحصول والتهوية ووصول أشعة الشمس لكافة أجزاء النباتات وغيرها، وعندما يقوم مزارعو الزراعة بدون تربة الجدد بزيادة عدد النباتات في وحدة المساحة فيجب أن يكون ذلك مدروسا بعناية، فهم يزيدون من مخاطر تفشي الأمراض التي لا يمكن

السيطرة عليها، كما أن التنافس ما بين النباتات سيؤدي إلى صغر حجم المحصول، وعلى العكس من ذلك في بعض الأحيان قد يقوم بعض المزارعين بتقليل عدد النباتات في المتر الواحد مما يقلل من كمية الإنتاج وزيادة التكاليف.

صورة 16: الكثافة الطبيعية الموصى بها لزراعة نبات الخيار في الزراعة المحمية

صورة 17: زيادة حجم النباتات (عند بدء الانتاج)

صورة 18: الكثافة الزراعية المنخفضة في الزراعة بدون تربة لنبات الخيار

صورة 19:الكثافة الزراعية العالية في الزراعة المائية لنبات الخيار

صورة 20: صغر حجم الخس الورقي بسبب الكثافة العالية للنباتات في الأنظمة البسيطة للزراعة المائية

صورة 21: حجم الخس الورقي في الزراعة التقليدية في التربة

7.1. اختيار المحاصيل

إن اختيار المحاصيل المراد زراعتها من أهم الخطوات التي يجب التفكير فيها بداية لنجاح أي مشروع زراعي، سواء في الزراعة التقليدية في التربة أو الزراعة بدون تربة، وعندما تذهب منتجات الزراعة بدون تربة إلى الأسواق وتوضع على رفوف المحلات التجارية، فإن الزبائن سوف يقارنونها مع باقي المنتجات الموجودة بناء على الجودة والسعر وليس بناء على طريقة الزراعة، وفي معظم الأحيان لا يعرف الزبون أي معلومة عن طريقة زراعة المحصول ما لم يذكر ذلك على بطاقة المنتج، وإذا كان المزارع يستثمر في الزراعة بدون تربة كخيار أفضل مستدام للبيئة، فمن المحتمل أن الزبائن لا يشاطرونه نفس الآراء أو الاهتمام.

لذلك يجب على المزارع أن يأخذ بالحسبان قدرته على منافسة المنتجين الذين يمارسون الزراعة التقليدية في التربة، وعن الجدوى الإقتصادية من زراعته باستخدام تقنيات الزراعة بدون تربة.

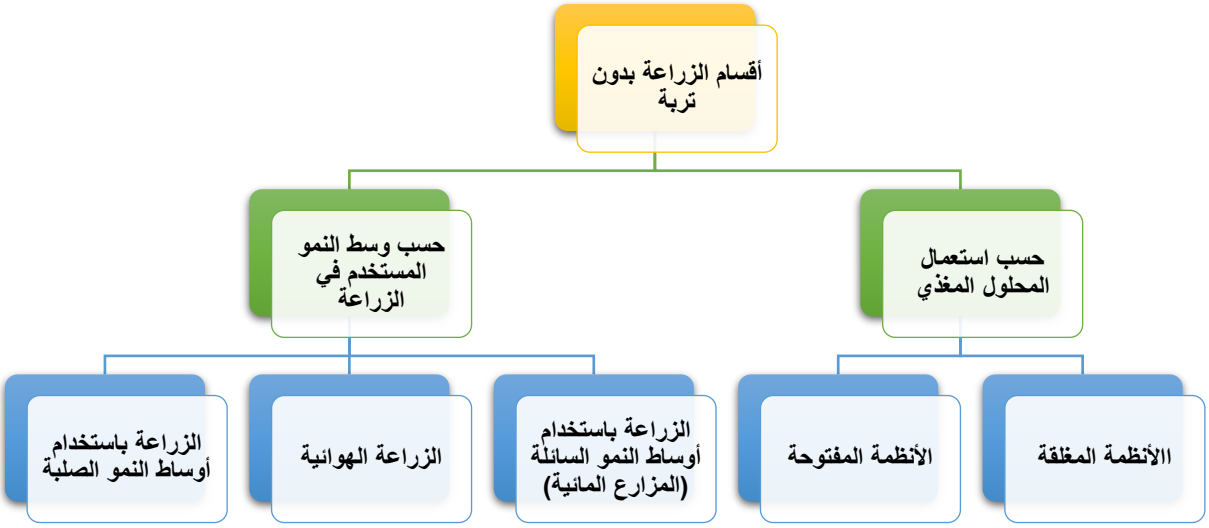
7.2. اختيار نظام الزراعة بدون تربة

يجب أن يبدأ اختيار النظام بعد اختيار المحاصيل المراد زراعتها وليس قبل ذلك، حيث أثبتت التجارب أن نجاح زراعة محصول في نظام معين للزراعة المائية لا يعني بالضرورة بأن كل المحاصيل ستنجح في الزراعة في نفس النظام، ويجب أن يراعي التصميم المكونات المختلفة كتوفر المواد الأولية وكلفة الصيانة والتنظيف وطبيعة نمو المحصول وحجمه ،على سبيل المثال لا حاجة إلى أن تكون حاويات النمو كبيرة عند زراعة محصول الخس، لأن حجم جذوره صغير مقارنة مع المحاصيل الأخرى كما أن حجم النبات الكلي صغير، مما يعني إمكانية زراعته بكثافة دون الخوف من تأثير التظليل على نمو النباتات، كما أن دورة حياته قصيرة قد تمتد إلى 25 يوم للخس الورقي و 50-60 يوم للخس العادي ذو الرأس المكتنز أو خس الايسبيرغ مما يعني الحاجة إلى استبدال المحصول خلال فترات قصيرة وتنظيف قنوات الزراعة، لذلك يجب أخذ هذه العوامل بالحسبان عند تصميم نظام الزراعة بدون تربة.

إن نجاح المزارعين في تبني مشاريع الزراعة بدون تربة يتطلب تخطيطا مدروسا للعوامل العديدة التي تم ذكرها بالإضافة إلى المعرفة العلمية والخبرة العملية التي ستساعده على تخطي المشاكل التي تحصل عند تبني هذه التقنيات.

8. أقسام الزراعة بدون تربة

لا يوجد تقسيمات متفق عليها لتصنيف الزراعة بدون تربة ويمكن هنا تقسيم الزراعة بدون تربة لعدة أقسام وذلك للاستدلال وسهولة الفهم وذلك حسب المخطط التالي:



8.1. أقسام الزراعة بدون تربة حسب استعمال المحلول المغذي

8.1.1. الأنظمة المفتوحة

يقصد بها الأنظمة التي يتم استعمال المحلول المغذي لمرة واحدة ويتم صرف الراشح من المحلول المغذي إلى خارج النظام، وهي الأكثر شيوعا في زراعة محصول الفراولة في الأردن، مما يقلل من انتشار الأمراض المرتبطة بالمحلول المغذي كالأمراض الفطرية وغيرها، ورغم أن هذا النظام يوفر أكثر من 50 في المائة من المياه المستخدمة في الري مقارنة مع الزراعة في التربة لكنه يزيد من كمية المياه المستخدمة مقارنة مع الأنظمة المغلقة بمقدار 25 إلى 30 في المائة.

8.1.2. الأنظمة المغلقة

الأنظمة المغلقة هي الأكثر شيوعا في الزراعة بدون تربة عند استخدام الأوساط السائلة للزراعة (المزارع المائية) ويقصد بها الأنظمة التي لا يتم استخدام وسط بديل للتربة لتنمو فيه الجذور، حيث يتم فيها تجميع المحلول المغذي في خزان التسميد ليعاد استعماله لري النباتات لأكثر من مرة، مما يقلل من كمية المياه المستخدمة مقارنة مع الأنظمة المفتوحة، لكنه أكثر صعوبة من ناحية إدارة المحلول المغذي، حيث يجب تحليل مكونات العناصر المغذية في المحلول الراشح بعد مروره في الحاويات أو قنوات الزراعة لمعرفة التغير في نسب المغذيات وتعويض الناقص منها الذي استهلكته النباتات.

كما تزداد في هذه الأنظمة احتمالية انتشار الأمراض، ولكن يمكن التغلب على ذلك بتعقيم المحلول المغذي بواسطة الأوزون أو الأشعة فوق البنفسجية للقضاء على العوامل الممرضة وإعادة استخدام المحلول المغذي.

8.2. الزراعة بدون تربة حسب وسط النمو المستخدم للزراعة

سيقدم هذا الفصل شرحا بسيطا لأهم أنظمة الزراعة بدون تربة والتعرف إلى التطبيقات العملية لهذه الأنظمة في المزرعة، ويمكن تقسيم أنظمة الزراعة بدون تربة حسب الوسط المستخدم للزراعة إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

8.2.1. الزراعة باستخدام أوساط النمو السائلة/المزارع المائية

وهو زراعة النباتات في الأحواض والقنوات باستخدام المحلول المغذي دون استخدام أي وسط صلب كبديل للتربة، وهناك العديد من الأنواع لأنظمة الزراعة المائية منها ما هو بسيط ويمكن تطبيقه على مساحة صغيرة، ومنها ما هو معقد يحتاج للكثير من المساحات والاستثمار، والعامل المشترك بينها عدم استخدام الأوساط الصلبة البديلة للتربة، حيث تسبح جذور النباتات مباشرة في المحلول المغذي.

8.2.1.1. نظام الزراعة المائية العميقة

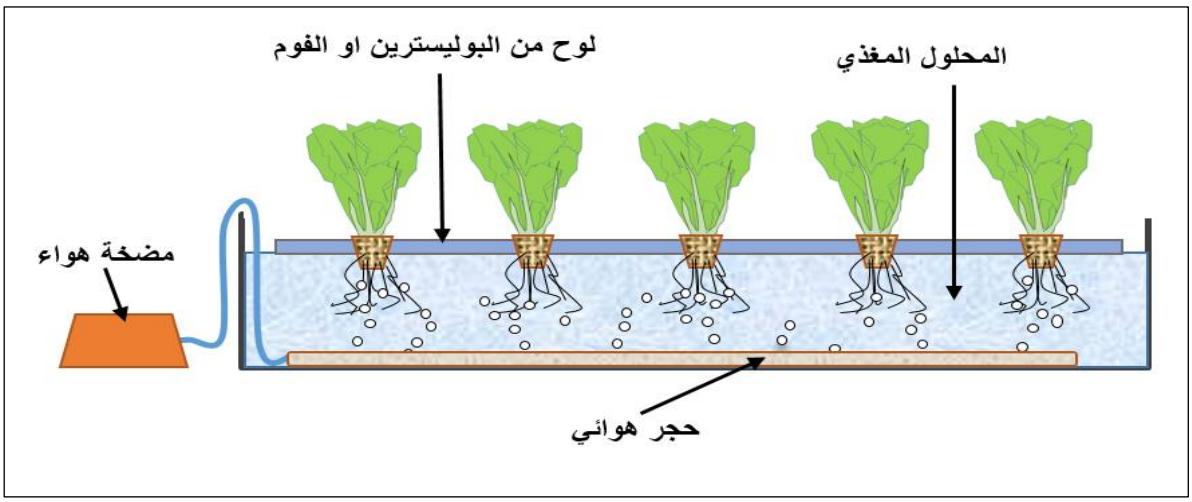
وتعرف باسم الزراعة العائمة وهي زراعة النباتات على ألواح عائمة أو معلقة في حاويات مملوءة بالمحلول المغذي، وهناك أشكال مختلفة لهذا النظام يمكن تمييزها بشكل أساسي من خلال عمق وحجم المحلول المغذي وطرق إعادة تدوير المحلول المغذي وطرق الإمداد بالأكسجين.

هذا النوع من أبسط أنواع المزارع المائية من حيث المبدأ، ويتألف من أحواض بعمق 20–25 سم معبأ بالمحلول المغذي، يمكن بناء هذه الأحواض من المواد المختلفة العازلة للماء أو المغطاة بطبقة من البلاستيك العازل للماء، ويتم تجهيز الأحواض بطوافات (ألواح) عائمة من البولستيرين أو الفوم المضغوط، تعمل على دعم النباتات لتطفوا فوق سطح الماء، كما يتم عمل فتحات تتناسب مع أقطار الأصص المراد زراعتها، بحيث تبقى الأصص معلقة على هذه الألواح وينزل أسفلها إلى المحلول المغذي، تكون هذه الأصص مثقبة من جميع الجهات لتسمح بخروج جذور النباتات منها للوصول إلى المحلول المغذي في الأسفل، وفي هذا النظام يجب إبقاء الجذور مغمورة في المحلول المغذي طوال الوقت والحرص على ألا يكون أي جزء من الساق مغمورا فيه، كما يجب الاعتناء جيدا بمحتوى الأوكسجين في المحلول المغذي حيث يؤدي نقصه إلى تأثر نمو الجذور، حيث لوحظ استطالة الخس عند ارتفاع درجة حرارة المحلول المغذي إلى أعلى من 23 درجة مئوية مترافقا مع نقص الأوكسجين.

هذا النظام مثير للاهتمام بشكل خاص للأنظمة صغيرة الحجم لأنه يقلل من تكاليف الإدارة وخطر تعرض النباتات للجفاف، فعلى سبيل المثال هناك حاجة محدودة لأتمتة التحكم في المحلول المغذي وتصحيحه، ومن الملاحظ أن الحجم الكبير للمحلول المغذي الموجود في أحواض الزراعة

مقارنة مع الأنظمة الأخرى، وعدم وجود فروق كبيرة في نسب المغذيات خلال أطوار النمو المختلفة للمحاصيل ذات فترة النمو القصيرة كالخضار الورقية والخس، يقلل بشكل كبير من المحلول المغذي الواجب تجديده في نهاية كل دورة زراعية.

ويعاب على هذا النظام بأنه غير صالح لزراعة النباتات الدرنية، ورغم بساطة مبدأ هذه النظام وسهولة تطبيقه في الأنظمة المنزلية الصغيرة، إلا أن نجاح الزراعات الكثيفة والتجارية يواجه تحديات عديدة أهمها إعادة التوازن إلى المحلول المغذي وتعقيمه والتحكم بدرجة حرارته.



رسم توضيحي 2: مكونات نظام الزراعة المائية العميقة

صورة 22: الجذور المتشكلة في أنظمة الزراعة المائية العميقة

أ- بعض التطبيقات العملية لأنظمة الزراعة المائية العميقة

i. الأنظمة المنزلية الصغيرة

تتألف الأنظمة المنزلية البسيطة من حوض بطول 2 متر وعرض يتراوح ما بين 60 و 100 سم حسب عرض الألواح المتوفرة وارتفاع من 15 إلى 20 سم، يمكن تصنيع جدران الحوض من الألواح المعدنية أو الخشبية ويتم تغطيته بالنايلون لمنع تسرب الماء منه، ويتم وضع غطاء من ألواح

البولستيرين أو الفوم المضغوط وهو أكثر قوة وأقل سعراً من البوليستيرين لكنه متوفر بقياسات محددة، كما يتم عمل ثقوب دائرية في لوح البولستيرين أو الفوم المضغوط تكون أقطارها مناسبة للإمساك بالأصص، أما المسافات بين الفتحات فتكون حسب نوع المحصول المراد زراعته، يمكن إبقاء الألواح فوق حافة الحوض من الأعلى دون أن تطفو على سطح المحلول المغذي ولكن يراعى في هذه الحالة أن يكون قاع الأصص منخفضا عن سطح المحلول المغذي بمقدار 1 سم إلى 2 سم ليسمح لجذور النباتات بملامسة المحلول المغذي، وفي هذه الحالة يمكن تعبئة الأصص بوسط للنمو يسمح بتبادل الماء والمغذيات مع جذور النباتات. وفي بعض الحالات يمكن الاستغناء عن تهوية المحلول المغذي عندما تكون المحاصيل ورقية صغيرة الحجم وتتم التهوية بتحريك المحلول المغذي يدويا كل يوم للسماح بإدخال الهواء إلى المحلول المغذي.

وفي حالة ترك الألواح تطفو فوق سطح المحلول المغذي فإن جذور النباتات سوف تغرق في المحلول المغذي وستحتاج للأوكسجين ويلزم إضافة مضخات هوائية لتعمل على إيصال الأوكسجين لجذور النباتات.

في الأنظمة المنزلية الصغيرة يمكن زراعة عدة محاصيل كالخيار والبندورة والخس والخضار الورقية وغيرها، وذلك لسهولة خدمة المحصول وصغر حجم النظام.

صورة 23: نظام منزلي صغير للزراعة المائية العميقة

صورة 24: الأجزاء المختلفة للأنظمة المنزلية الصغيرة 1

صورة 25: الأجزاء المختلفة للأنظمة المنزلية الصغيرة 2

صورة 26: الأجزاء المختلفة للأنظمة المنزلية الصغيرة 3

صورة 27: أنظمة منزلية صغيرة لزراعة نبات الخيار والبندورة

صورة 28: نظام منزلي صغير مرتفع عن الأرض للمحاصيل الورقية

ii. الأنظمة على مستوى المزرعة

لا ينصح باستخدام الأحواض المنزلية صغيرة الحجم للمساحات الكبيرة، وذلك بسبب صعوبة إنشائها وخدمتها وصيانتها وزيادة كلفتها، يجب أن تكون الأحواض في هذه الحالة بمساحات أكبر وبارتفاع يتراوح ما بين 20 إلى 25 سم، يمكن أن تبنى جدران الأحواض من الألواح الخشبية أو الطوب الإسمنتي، ويمكن تقسيم البيت البلاستيكي بعرض 9 متر إلى ثلاث صفوف من الأحواض وأربعة ممرات لخدمة المحصول، فيما بينها ويجب أن يتسع عرض هذه الأحواض من الداخل لثلاثة ألواح من الفوم بعرض 120 سم حيث يتم هنا استخدام ألواح الفوم المضغوط لأنه أكثر قساوة من ألواح البولستيرين ، كما يتم تزويد الأحواض بالهواء عن طريق مضخات هوائية وشبكة أنابيب توصل الهواء إلى كل الأحواض، وبسبب الكثافة الزراعية وصعوبة خدمة المحصول يفضل زراعة المحاصيل صغيرة الحجم كالخس والخضار الورقية فقط.

صورة 29: فشل خدمة الأحواض المنزلية الصغيرة في المساحات الكبيرة

صورة 30: جدران الأحواض مصنوعة من الألواح الخشبية

صورة 31: جدران الأحواض مصنوعة من الطوب الإسمنتي

صورة 32 استخدام ألواح الفوم بعرض 120 سم

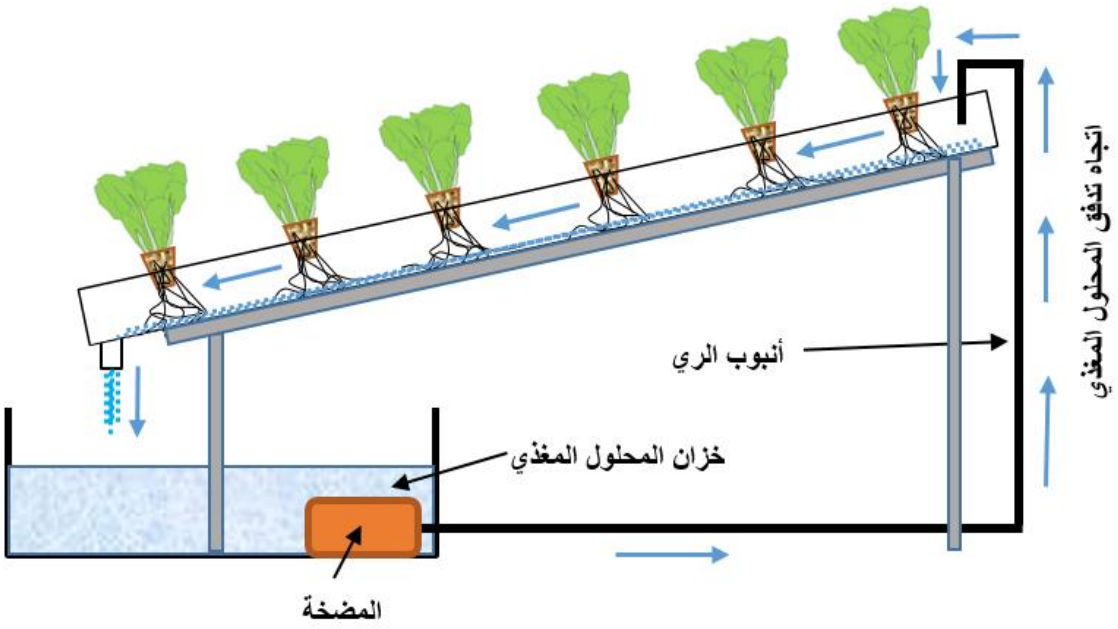
صورة 33 تقسيم البيت البلاستيكي بعرض 9 متر إلى ثلاث صفوف من الأحواض وأربعة ممرات طولية

8.2.1.2. نظام تقنية الغشاء المغذي

تم تطوير تقنية الغشاء المغذي في أواخر الستينيات من قبل الدكتور Alan Cooper في معهد أبحاث المحاصيل داخل بيت زجاجي في المملكة المتحدة ثم طور هذا النظام فيما بعد من قبل هذا المعهد.

يعتمد النظام على تدفق طبقة رقيقة من المحلول المغذي بعمق 1 إلى 2 ملم عبر القنوات البلاستيكية أو المبطنة بالبلاستيك ذات السطح المستوي، وتركب هذه القنوات بشكل مائل باتجاه خزان تجميع المياه، وتزرع النباتات في هذه القنوات بحيث تلامس جذورها المحلول المغذي الذي يجري في قاع هذه القنوات، ويتم ضخ المحلول المغذي إلى الطرف الأعلى للقنوات بحيث يتدفق عن طريق الجاذبية الأرضية إلى أسفل القنوات ثم إلى أنابيب التصريف التي توصله إلى خزان التجميع،

وتكون طبقة المحلول المغذي رقيقه قدر الإمكان، وذلك لضمان عدم تشكل بقع عميقة للحفاظ على الجذور رطبة تمامًا ومهواة في كل أجزاء القنوات، وتنمو الجذور بعد فترة لتشكل حصيرة حيث يسبح الجزء الأكبر من الجذور داخل المحلول المغذي ويمتص الماء والمغذيات والجزء المتبقي المرتفع قليلا فوق المحلول المغذي يؤمن الهواء لتنفس الجذور.



رسم توضيحي 3: مكونات نظام تقنية الغشاء المغذي

صورة 34: حصيرة الجذور المتشكلة في نظام تقنية الغشاء المغذي1

صورة 35: حصيرة الجذور المتشكلة في نظام تقنية الغشاء المغذي2

يحظى هذا النظام بشعبية كبيرة بين مزارعي الزراعة المائية المنزلية بسبب تصميمه البسيط، وهو الأنسب والأكثر شيوعًا لزراعة النباتات الصغيرة سريعة النمو مثل الخس بأنواعه المختلفة والخضروات العشبية، لكن هناك جوانب سلبية لهذا النظام، مثل حساسية النباتات لتوقف تدفق المياه بسبب انسداد الأنابيب في شبكة الري أو انقطاع التيار الكهربائي أو غير ذلك من الأسباب، حيث تبدأ النباتات في الذبول بسرعة كبيرة في أي وقت يتوقف فيه الماء عن التدفق عبر النظام.

صورة 36: ذبول نباتات الخس في أحد القنوات بسبب انسداد أحد أنابيب الري

أ- المتطلبات الرئيسية لنظام الفيلم المغذي كما وصفها Alan Cooper عام 1996:

التأكد من أن الميل الذي يتدفق فيه الماء متجانسًا ولا يوجد فيه انخفاضات في بعض البقع ولو حتى مليميترات قليلة.

يجب ألا يكون معدل تدفق المحلول سريعًا جدًا.

يجب أن يكون عرض القناة التي تنمو فيها الجذور كافياً، ويتناسب مع حجم جذور النباتات لتجنب تكوين حاجز من الجذور يسد المياه المتدفقة في القناة.

يجب أن تكون قاعدة القناة مسطحة وليست منحنية (مثل الأنابيب) لأنه ذلك سيؤدي إلى ازدياد عمق المحلول المغذي في القناة مما يؤدي إلى مشاكل في تهوية الجذر.

الميزة الرئيسية لهذا النظام بالمقارنة مع النظم الأخرى، هي أن حجم المحلول المغذي المطلوب لتشغيل النظام أقل من الأنظمة الأخرى، ومن السهل معالجته عند الحاجة إلى السيطرة على الأمراض، كما يمكن تسخين المحلول المغذي في فصل الشتاء بسهولة للحصول على حرارة مثالية للنمو.

ب- تصميم أنظمة تقنية الغشاء المغذي

i. عرض قنوات الزراعة

لقد تم تجربة زراعة الخس والنباتات الورقية في قنوات بلاستيكية متحركة بطول 3 متر لكل قناة، حيث تسمح القنوات القصيرة بسهولة نقلها وتحريكها وتعديل المسافات بينها، وذلك عندما تنمو النباتات وتصبح أكبر حجما وذلك للتوفير في المساحات اللازمة للزراعة، وتبين أن أفضل عرض

لقنوات الزراعة هو من 8 إلى 10 سم وارتفاع القناة من 5 إلى7 سم، وكان معدل التدفق الأمثل للمحلول المغذي في القناة هو 0.2 ليتر في الدقيقة الواحدة عندما كان طول القناة 3 متر.

صورة 37: قنوات النمو في نظام الغشاء المغذي أثناء التشتيل

صورة 38: قنوات النمو في نظام الغشاء المغذي أثناء النمو

كما تبين من خلال التجربة العملية بأن أفضل عرض لقنوات الزراعة يتراوح ما بين 25 إلى 30 سم لزراعة صف واحد من نبات الخيار أو البندورة في القناة، وأفضل مسافة بين النباتات يتراوح ما بين 35 إلى 40 سم، كما يمكن دمج قناتين متجاورتين مع بعضهما البعض لتقليل التكاليف بعرض يتراوح ما بين 50 إلى 60 سم، لكن المبالغة في دمج القنوات يسبب مشاكل عديدة كسرعة انتشار الأمراض الفطرية والحشرية، بسبب كثافة النباتات بالإضافة إلى عدم القدرة إلى الوصول إلى الثمار عند القطاف.

صورة 39: دمج قناتين متجاورتين

صورة 40: دمج أربع قنوات متجاورة

ii. ميل قنوات الزراعة

يلعب ميل القنوات دورا كبيرا في التأثير على سرعة المحلول المغذي، حيث تؤدي الميول الكبيرة إلى سرعة أكبر للمحلول المغذي، مما يؤدي لفترة تلامس قليلة للمحلول المغذي مع جذور النباتات، وعندها قد لا تتمكن النباتات من امتصاص كمية كافية من المغذيات، أما الميول القليلة فقد تؤدي إلى تشكل أماكن يكون فيها المحلول المغذي عميقا مما يؤدي إلى مشاكل في تهوية الجذر، كما يمكن للميول القليلة لقنوات الزراعة أن تؤدي إلى تجمع المحلول المغذي حول الجذور

كبيرة الحجم مما يشكل وزنا إضافيا على القنوات يؤدي في النهاية إلى انحناء قنوات الزراعة وسقوطها وتسرب المحلول المغذي من القنوات.

صورة 41: انحناء قنوات الزراعة المصنوعة من البولستيرين

صورة 42: سقوط قنوات الزراعة بسبب ثقل المحلول المغذي

في بعض الأحيان يتم تصميم نظام الغشاء المغذي بحيث يتم تغيير ميله باستخدام حوامل قابلة للتعديل الحصول على ميل أمثل لكل مرحلة من مراحل نمو المحاصيل، وعلى الرغم من أن هذا التصميم فعال في التقليل من مشاكل تجمع المياه وتشكل المناطق المنخفضة، لكنه سيزيد من تكاليف رأس المال.

اختبر الباحثون ميول مختلفة لقنوات الغشاء المغذي ولاحظوا أن أفضل نمو حصل عند ميل وقدره 1.5 إلى 2 في المائة وتم تبني هذا الميل من قبل العديد من المزارعين على نطاق واسع في العالم.

صورة 43: نظام الزراعة باستخدام حوامل قابلة للتعديل

iii. طول قنوات الزراعة

يلعب طول قنوات الزراعة دورا مهما في إيصال المحلول المغذي إلى كل النباتات المزروعة في هذه القنوات، وقد أثبتت التجارب بأن القنوات الأقصر هي أكثر فعالية من القنوات الطويلة، حيث تأخذ النباتات ما يلزمها من المغذيات بسهولة على طول القناة، لكن في القنوات الطويلة فالنباتات النامية في بداية القنوات تستنزف المغذيات وبالأخص البوتاسيوم، وكلما ابتعدت النباتات عن مصدر التزويد بالمحلول المغذي حصلت على كمية أقل من المغذيات، وقد يلجأ المزارعون إلى

تزويد قنوات الزراعة بالمحلول المغذي في أكثر من نقطة، من أجل ضمان حصول كافة النباتات على العناصر المغذية المتوازنة على طول القناة، وكقاعدة عامة يجب أن لا يتجاوز طول القناة 12 إلى 15 متر عند وجود نقطة تزويد وحيدة، ويمكن أن يزداد إلى 25 متر بشرط إضافة نقاط تزويد إضافية على طول القناة، كما لوحظ من التجربة العملية صعوبة تركيب وصيانة القنوات الطويلة و زيادة طول القناة سيزيد من ارتفاع القنوات عن الأرض بشكل كبير في بداية القناة للحفاظ على الميل المطلوب، مما يقرب النباتات إلى أسلاك التربيط في الأعلى ويقلل المساحة التي تنمو فيها النباتات.

صورة 44: ارتفاع القنوات عن سطح الأرض في بداية القناة

صورة 45: نهاية القنوات على مستوى سطح الأرض

iv. معدل تدفق (تصريف) المحلول المغذي

يتم التحكم بسرعة تدفق المحلول المغذي لخلق التوازن ما بين ظروف التهوية الجيدة والإمداد الكافي للنباتات بالمغذيات، ويتطلب ذلك المحافظة على تيار ضحل مستمر من المحلول المغذي المشبع بالأوكسجين والمغذيات ويجب الحفاظ على معدل تصريف متوازن مع نوع المحصول أو مرحلة النمو، ويوصى بأن تكون معدلات التصريف للمحلول المغذي بحدود 2 إلى 4 ليتر/ساعة لكل متر مربع من سطح القنوات طوال فترة النمو، وذلك عند زراعة محاصيل الخس والمحاصيل الورقية، كما يمكن استخدام نفس المعدل في بداية زراعة المحاصيل الثمرية ولكن يجب زيادته بشكل مستمر مع زيادة حجم النباتات، حتى الوصول إلى مرحلة الإثمار حيث يمكن أن يزداد معدل التصريف إلى حدود 5 إلى 9 ليتر/ساعة لكل متر مربع من سطح القناة.

v. عدد مرات الري

بشكل عام يفضل في بداية الزراعة أن يكون إمداد النباتات بالمحلول المغذي مستمرا طوال 24 ساعة، وذلك لضمان وصول المحلول المغذي بشكل مستمر لأكبر جزء من الجذور، حيث تكون جذور النباتات في هذه المرحلة صغيرة وتغطي جزءا صغيرا فقط من سطح القناة، وعندما تكبر هذه الجذور وتغطي الجزء الأكبر من سطح القناة يمكن عندها إدارة تدفق المحلول المغذي للحفاظ على تهوية وتغذية متوازنة للنباتات، وفي هذه المرحلة يلجأ المزارعون إلى استمرار الإمداد بالمحلول المغذي من الفجر وحتى الغروب ويتم إيقافه ليلا، ولكن يجب الانتباه إلى أن يكون حجم خزان المحلول المغذي كبيرا بما يكفي لاستيعاب كل المحلول المغذي الراشح من القنوات عند إيقاف تشغيل المضخات، ويلاحظ انه كلما كبر حجم الجذور وتوزعت على جزء أكبر

من سطح قنوات الزراعة فإنها تستطيع حجز كمية لا بأس بها من المحلول المغذي ليلا عند انقطاع الإمداد.

vi. درجة حرارة المحلول المغذي والتهوية

نظرا لصغر حجم المحلول المغذي الذي يسري في القنوات فإنه يكون عرضة لتباين كبير في درجات الحرارة وبالأخص في فصل الصيف، لذلك من المهم جدا في المناطق الحارة أن تكون قنوات الزراعة ملونة باللون الأبيض، من أجل عكس أشعة الشمس ومنع ارتفاع درجة حرارة القنوات، وتؤدي زيادة درجة حرارة المحلول المغذي داخل القنوات إلى انخفاض قابلية ذوبان الأوكسجين فيه، و رفع درجة حرارة الجذر، وزيادة خطية في متطلبات النبات الفسيولوجية من الأكسجين، حيث يتضاعف تنفس الجذور مع كل زيادة 10 درجات مئوية في مستويات درجات الحرارة الأقل من 30 درجة مئوية في المناخات الدافئة. وثبت أن توقف إمداد الأوكسجين لمدة عشرة دقائق فقط يمكن أن يوقف نمو الجذور، أما زيادة هذه المدة إلى ثلاثين دقيقة فيمكن أن يؤدي إلى موت منطقة الاستطالة عند طرف الجذر.

ويفضل في المناخات الدافئة زيادة ميل قنوات الزراعة من أجل عدم تجمع المحلول المغذي وتشكيل مناطق عميقة ذات محتوى قليل من الأوكسجين.

ومن أحد الحلول العملية لزيادة التهوية في خزان تجميع المياه، إنزال الخزان عن مستوى أنابيب الصرف التي تعيد المحلول المغذي إليه، حيث يؤدي ذلك إلى اصطدام المحلول مع سطح الماء وتشكيل دوامات تساعد على خلط الهواء بالمحلول المغذي في الخزان دون الحاجة إلى مضخات لتوليد الهواء.

ت- تصنيع بعض أنظمة تقنية الغشاء المغذي منخفضة التكلفة

i. طريقة المصاطب الترابية لإنشاء نظام تقنية الغشاء المغذي

في البداية من المهم جدا تحديد المستويات المختلفة لسطح التربة في المنطقة التي سوف يتم إنشاء أنظمة الزراعة المختلفة فيها، وذلك لتصميم نظام الصرف وتحديد موقع خزان تجميع المياه وميل قنوات الزراعة وذلك تجنبا للتكاليف الإضافية للحفر.

استخدام خرطوم المياه الشفاف لتحديد المناسيب (المستويات المختلفة لسطح الأرض)

يعد استخدام خرطوم المياه الشفاف من الطرق البسيطة لتحديد النقاط ذات المنسوب الواحد والتي على أساسها يتم تحديد ميلان سطح التربة.

المواد اللازمة

- خرطوم بلاستيكي شفاف بقطر من 5 إلى 10 ملم، ويجب التأكد من أن طول الأنبوب الذي تستخدمه مناسب بما يكفي للوصول إلى جميع النقاط التي تريد تحديدها.
- أوتاد خشبية
- ماء نظيف
- قلم

وتحتاج هذه العملية إلى شخصين للقيام بهذه المهمة.

طريقة العمل

قم بتحديد نقطة للبداية (النقطة المرجعية) والتي تعتقد بانها النقطة الأدنى داخل البيت البلاستيكي، ثم قم بغرز وتد خشبي أو معدني بشكل عمودي في هذه النقطة بارتفاع 50-70 سم عن سطح التربة، خذ القلم وارسم نقطة أو خطا صغيرا متوازيا مع سطح التربة على ارتفاع 30-40 ليكون النقطة المرجعية، ثم قم بغرز أوتاد أخرى في نقاط متعددة حسب مساحة البيت البلاستيكي.

قم بتعبئة الخرطوم بالماء النقي وارفعه من الطرفين للأعلى، واطرق عليه بهدوء للتخلص من أية فقاعات هوائية موجودة، وسنلاحظ عند إمساك طرفي الخرطوم بجانب بعضهما البعض بشكل عمودي بأن مستوى الماء متساو في كلا الطرفين عند رفعهما أو خفضهما، وإذا لم يحصل ذلك فقد يكون هناك انسداد أو انبعاج في جزء من الخرطوم أو بسبب وجود فقاعات هواء داخل الخرطوم وبمجرد أن يصبح الماء متساو تكون جاهزًا لبدء العمل.

عند النظر في الخرطوم لن يكون الماء الموجود في الأنبوب مسطحًا بل سيكون مقعرًا ويجب أن تتفق مع الشخص الآخر أين سيضع العلامة هل هي عند النقطة المنخفضة من التقعر أو النقطة المرتفعة.

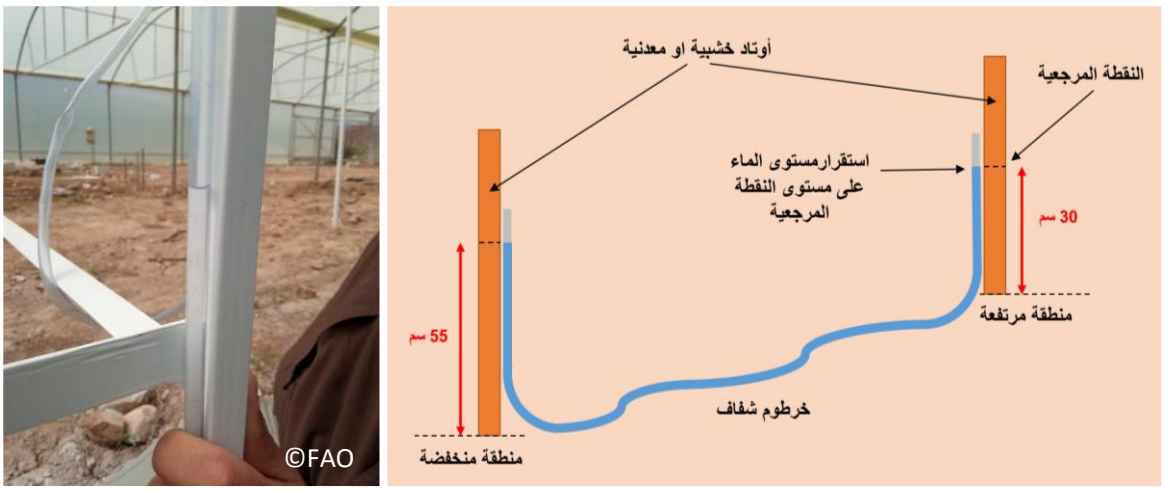
يأخذ كل شخص طرفا من الخرطوم ويضغط بإصبعه على نهايته لمنع انسكاب الماء عند نقل الخرطوم.

أمسك طرف الخرطوم وفتحته إلى الأعلى بشكل متعامد مع سطح التربة عند النقطة المرجعية على الوتد الأول، ثم اطلب من الشخص الثاني سحب الطرف الآخر من الخرطوم بالطريقة ذاتها، واجعله يثبت الخرطوم بشكل متعامد مع سطح التربة على الوتد الثاني.

حرر إصبعك من نهاية الأنبوب مما سيجعل الماء يتحرك داخل الخرطوم واتركه حتى يستقر، واطلب من الشخص الآخر فعل ذلك، إذا استقر الماء في نقطة أعلى من مستوى النقطة المرجعية، اجعل الشخص الثاني يحرك الخرطوم باتجاه الأسفل بشكل بطيء حتى يستقر مستوى الماء في الخرطوم لديك عند مستوى النقطة المرجعية، يمكن عندها للشخص الثاني وضع علامة للنقطة الثانية على الوتد الثاني عند مستوى الماء في الخرطوم، في هذه الحالة تكون هاتين النقطتين تقعان على مستوى واحد كرر ذلك للنقاط الأخرى بنفس الطريق.

إذا قمت بوصل الخيطان ما بين النقاط المختلفة تستطيع عمل شبكة من الخطوط المستوية تغطي سطح التربة داخل البيت البلاستيكي.

قم بقياس المسافة ما بين خيوط الشبكة وسطح التربة، فالمسافة الأبعد عن سطح التربة تعني أن هذه النقطة هي الأخفض، حينها اجعل ميلان مصاطب الزراعة وأنابيب صرف المياه باتجاه المنطقة الأكثر انخفاضا واحفر التربة لوضع خزان تجميع المياه.



رسم توضيحي 4: استخدام خرطوم المياه الشفاف لتحديد المناسيب المختلفة لقطعة الأرض

<u>بناء المصاطب الترابية</u>

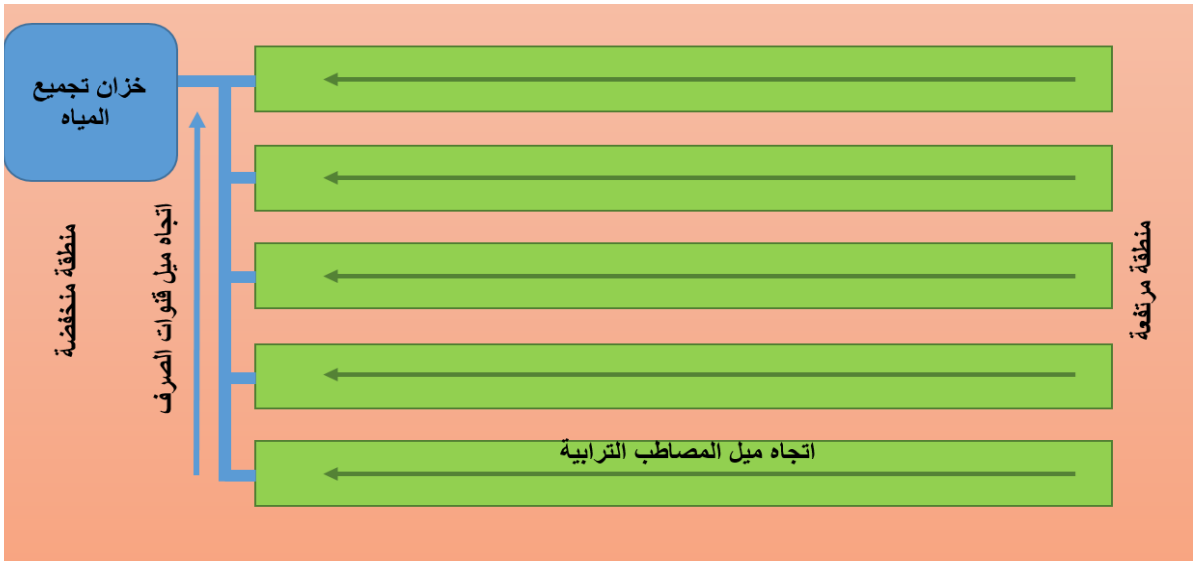
تعتمد هذه الطريقة على اليد العاملة بشكل كبير من أجل إنشاءها

<u>المواد اللازمة</u>

- أوتاد خشبية
- خيطان
- تراب وماء
- صناديق الخضار يمكن استخدام صناديق الخضار المستعملة المصنعة من البوليسترين لبناء هيكل القنوات،

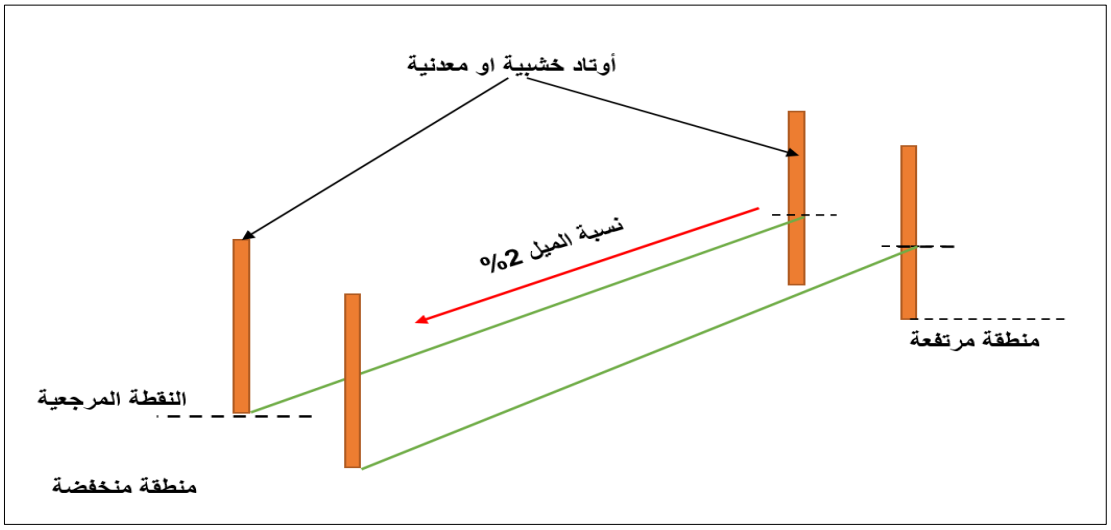
<u>طريقة العمل</u>

يتم تصميم المصاطب الترابية وقنوات الصرف بحيث تميل باتجاه المنطقة المنخفضة من سطح التربة وهي مكان خزان تجميع المياه داخل البيت البلاستيكي، ويبين الشكل التالي تصميم ميلان المصاطب وقنوات الصرف:



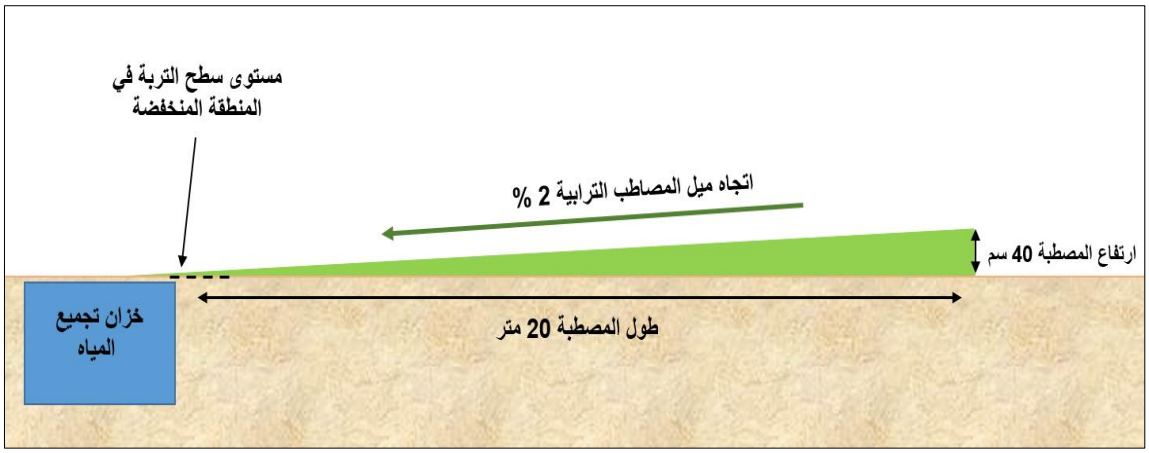
رسم توضيحي 5: تصميم ميلان المصاطب وقنوات الصرف

للبدء بتكوين المصطبة يتم غرز وتدين في المنطقة المرتفعة (بداية المصطبة)، ثم يتم غرز وتدين أخريين في المنطقة المنخفضة من البيت البلاستيكي (مكان قنوات التصريف وخزان تجميع المياه)، المسافة بين الأوتاد هي التي ستحدد عرض المصاطب وطولها، ويتم ربط الخيطان ذات الألوان الواضحة بين الأوتاد لتكون كدليل عند بناء المصاطب.



رسم توضيحي 6: دليل بناء المصاطب

ويتحدد عرض المصطبة بحسب نوع النبات المراد زراعته بحيث يزيد 10 إلى 20 سم عن عرض قناة الزراعة، ويبدأ بناء المصاطب الترابية من نقطة الصفر وهي مستوى سطح التربة في المنطقة المنخفضة، ويتم رفع المصاطب بميل وقدره 1.5 و2 في المائة، كما في الشكل التالي الذي يمثل مقطعا عرضيا لشكل المصاطب في الأرض المستوية:



رسم توضيحي 7: مثال عن تكوين المصطبة بميل 2 في المائة

يتم تكويم التراب داخل حدود المصطبة بارتفاع أعلى من الخيطان بمقدار 10 سم بشكل هرمي، بعدها يتم إزاحة الزائد من التربة إلى جانبي المصطبة بواسطة مسطرة خشبية أو حديدية إلى مستوى الخيطان، وبذلك يتكون لدينا تراب لدعم المصطبة على الجوانب ومنعها من الانهيار، ثم يتم رش المصاطب بالماء رشا خفيفا وتركها لليوم التالي حيث نلاحظ انخفاض مستوى تربة المصطبة بسبب تراص التربة بفعل المياه، ثم تضاف كمية من التربة إلى سطح المصطبة، وتكرر العملية حسب نوع التربة حتى يثبت ارتفاع التربة على مستوى الخيطان المحددة لعرض وارتفاع المصطبة.

صورة 46: تكويم التراب بشكل هرمي

صورة 47: إزاحة الزائد من التراب

صورة 48: رش المصاطب بالماء

صورة 49: الشكل النهائي للمصاطب الترابية

تشكيل قنوات الزراعة في المصاطب الترابية

المواد اللازمة

- صناديق تعبئة الخضار من البولستيرين تيرين يفضل بأن تكون بعرض 20-30 سم وارتفاع اقصى بحدود 10-15 سم.
- نايلون ذو لون أسود بسماكة 120-150 ميكرون لئلا يسمح بدخول الضوء إلى قنوات الزراعة.
- خرطوم ري مستعمل بقطر 16-25 ملم.

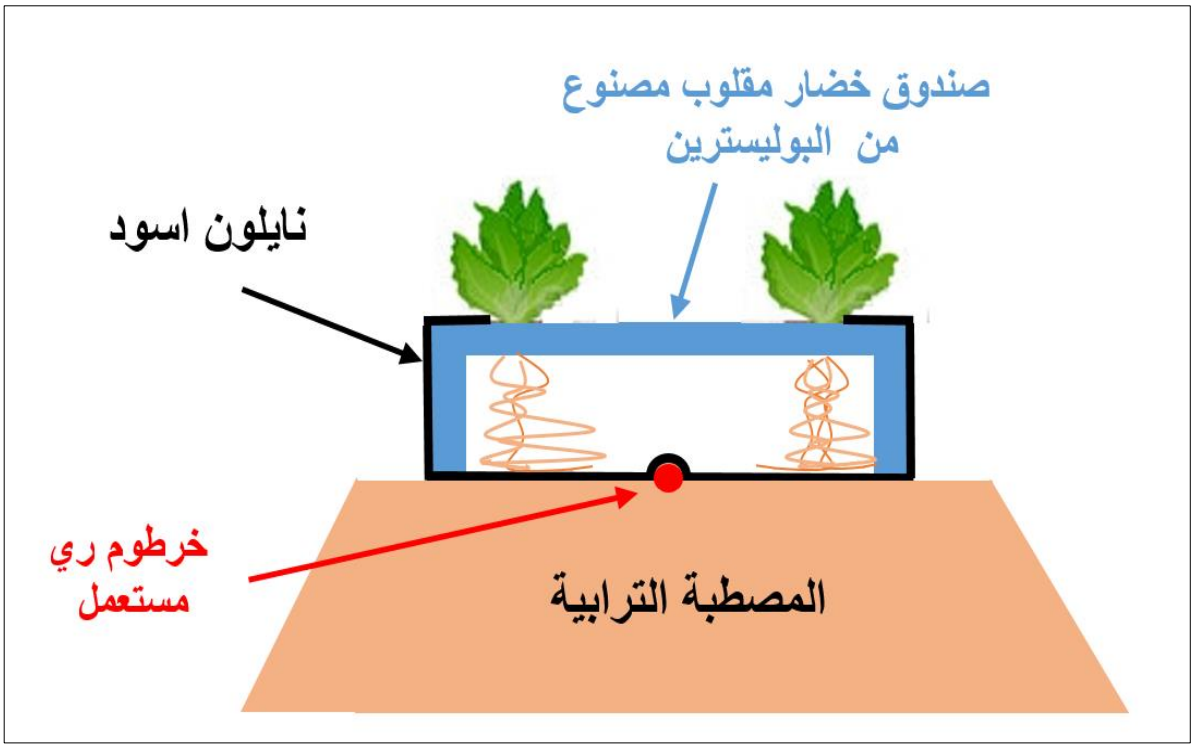
طريقة العمل

بعد تسوية سطح المصطبة الترابية يتم وضع خرطوم ري مستعمل في منتصف المصطبة بشكل طولي فوق السطح، ويتم شده وتثبيته وذلك لتشكيل قناتين منفصلتين للماء.

يتم تغطية سطح المصطبة الترابية مع الخرطوم بالنايلون الأسود من الأعلى، ويكون عرضه مناسبا لتغطية قاعدة صناديق تعبئة الخضار وجوانبه مع زيادة بمقدار 5 سم من كل جانب لتثبيت النايلون على الصناديق من الأعلى.

يتم وضع الصناديق بشكل مقلوب فوق النايلون ثم يتم شد النايلون من الطرفين وتثبيته بواسطة المسامير في أعلى الصناديق ثم يتم عمل فتحات في الصندوق من الأعلى حيث سيتم زراعة الأشتال.

ولتكوين قنوات الصرف يمكن حفر سطح التربة بشكل مثلث وتبطينها بالنايلون الأسود، كما يمكن حفر خزان تجميع المحلول المغذي في التربة بحيث يكون مستواه أدنى من مستوى قنوات الصرف، ويتم تبطينه بالنايلون لمنع تسرب المياه.



رسم توضيحي 8: مكونات قنوات الزراعة

صورة 50: الأشتال المزروعة في الصناديق

صورة 51: تشكيل قنوات الصرف

ii. الألواح الخشبية لتصنيع أنظمة بسيطة لتقنية الغشاء المغذي

يمكن في هذه الأنظمة البسيطة استخدم الألواح الخشبية المختلفة كالألواح والأبواب الخشبية المستعملة

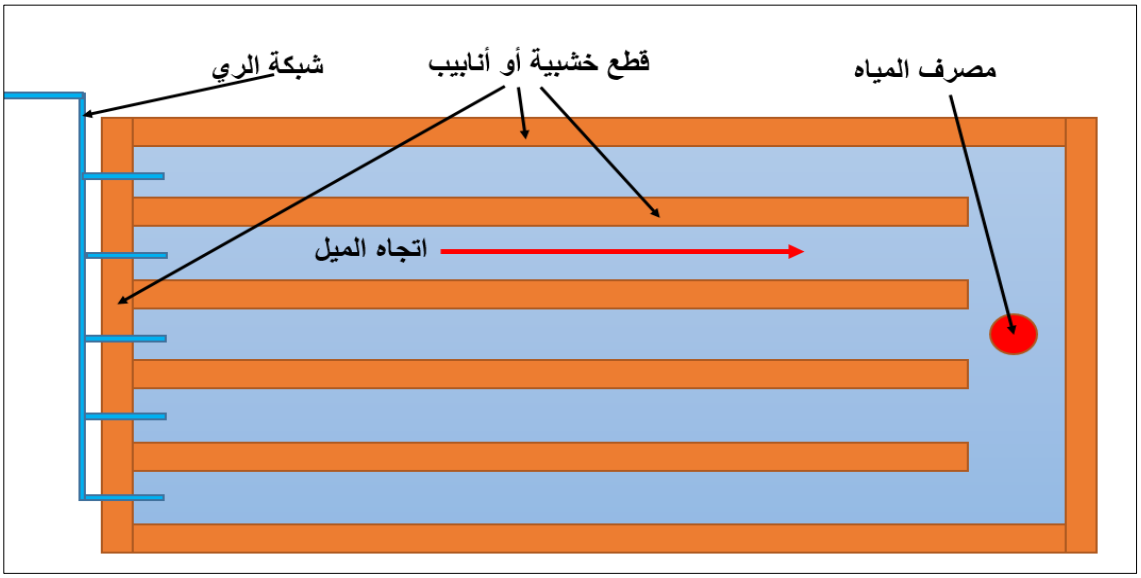
المواد اللازمة

- ألواح خشبية مستعملة
- أنابيب ري مستعملة بقطر 4-5 سم أو قطع خشبية
- مصرف يستعمل للمغاسل
- شبكة الري وتتألف من أنابيب للري قطر 16 أو 20 ملم
- مضخة
- حوض ماء بلاستيك أو معدني

طريقة العمل

يتم تنظيف الألواح الخشبية من المسامير أو الأماكن الخشنة التي يمكن أن تثقب النايلون.

يتم تشكيل قنوات الري باستخدام القطع الخشبية أو أنابيب الري بارتفاع 4-5 سم، ويكون عرض القنوات حسب نوع المحصول المراد زراعته، ويجب أن تلتقي قنوات الري جميعها لتصب قرب مصرف المياه، ويتم تثبيت هذه القطع الخشبية أو الأنابيب بواسطة المسامير أو البراغي حسب المخطط التالي:



رسم توضيحي 9: مخطط نظام بسيط لتقنية الغشاء المغذي مصنع من الألواح الخشبية وأنابيب الري

يتم عمل فتحة دائرية في الألواح الخشبية لتركيب مصرف للمياه.

ثم يجري تغطية القنوات بالبلاستيك ذو اللون الأسود لمنع تسريب المياه ومنع وصول الضوء إلى منطقة الجذور حيث أن وجود الضوء يؤدي إلى نمو الطحالب.

يتم فحص التسريب بصب المياه فوق البلاستيك لاكتشاف أماكن التسريب وإصلاحها.

لإصلاح البلاستيك المثقوب يتم سنفرة المنطقة المتضررة بورق سنفرة خشن ثم يتم وضع المادة اللاصقة فوق الفتحة، وإذا كانت الفتحة كبيرة يمكن استخدام رقعة من نفس نوعية البلاستيك بعد سنفرتها، ثم وضع المادة اللاصقة عليها ويراعى عدم إضافة الماء قبل التأكد من جفاف اللاصق.

ثم يتم لاحقا تركيب المصرف المستخدم في أحواض المجلي المنزلية في الفتحة التي تم ثقبها في الألواح الخشبية.

يتم وضع لوح من البولستيرين بسماكة 3 سم، تثقب فيه فتحات دائرية وذلك لزراعة النباتات بحيث تكون الفتحات متموضعة فوق قنوات الري.

يمكن رفع النظام على هيكل خشبي أو معدني، ويتم وضع خزان بلاستيك تحت المصرف لجمع المحلول المغذي، كما يتم تركيب شبكة ري لتزويد المحلول المغذي إلى كل القنوات، كما تقوم مضخة صغيرة داخل الخزان بإيصال المحلول المغذي من الخزان إلى شبكة الري.

صورة 52: الألواح الخشبية المستعملة

صورة 53: تركيب أنابيب المياه لتشكيل القنوات

صورة 54: تغطية الأنابيب بالنايلون

صورة 55: صب المياه لفحص التسريب

صورة 56: سنفرة مكان المصرف

صورة 57: وضع السيليكون على المصرف بعد تركيبه

صورة 58: وضع لوح البولستيرين

صورة 59: الخس في مرحلة النضج

كما يمكن أيضا عمل نظام بسيط للغشاء المغذي باستخدام الواح الحديد المغلفن المضلع كقاعدة وتغطيتها بلوح من البولستيرين المثقب، حيث تنمو جذور النباتات في قنوات الري المتشكلة من الجزء المنخفض من الواح الحديد المغلفن.

صورة 60: نظام بسيط للغشاء المغذي باستخدام الواح الحديد المغلفن

iii. نظام الغشاء المغذى المعلق للبيوت البلاستيكية التقليدية

وهو أحد الأنظمة المطورة المرفوعة على الهيكل المعدني للبيوت البلاستيكية التقليدية، وهي مجربة وفعالة ويمكن تصميمها لتناسب عمل ذوي الإعاقة الحركية بسهولة.

المواد اللازمة

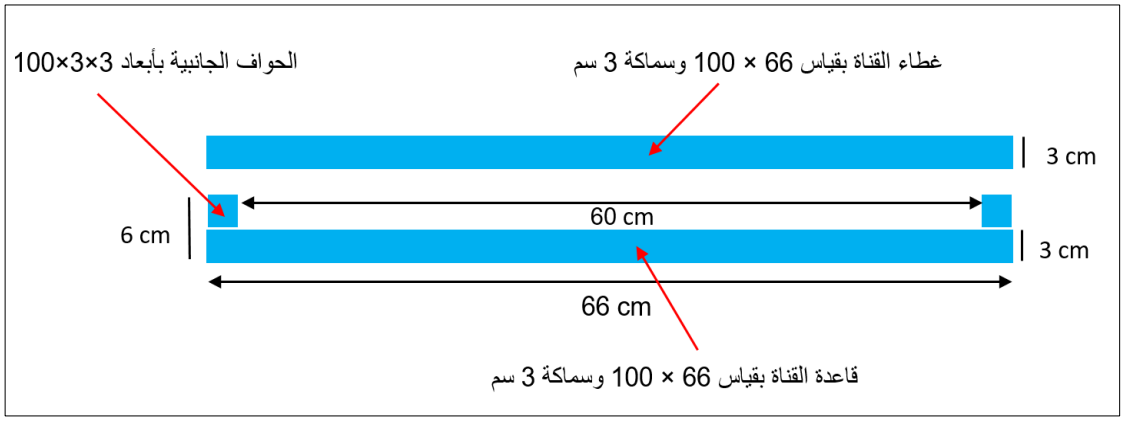
- ألواح منفصلة من ألوح البولستيرين تيرين أو الفوم المضغوط بأبعاد 66×100 سم وبسماكة 3 سم وعددها اثنان من أجل تشكيل القاعدة وغطاء القناة.
- قطعتين من ألوح البولستيرين تيرين أو الفوم المضغوط بأبعاد 3×3×100 سم لتشكيل الحواف الجانبية.

طريقة العمل

تصنيع قنوات الزراعة من البولستيرين أو الفوم المضغوط

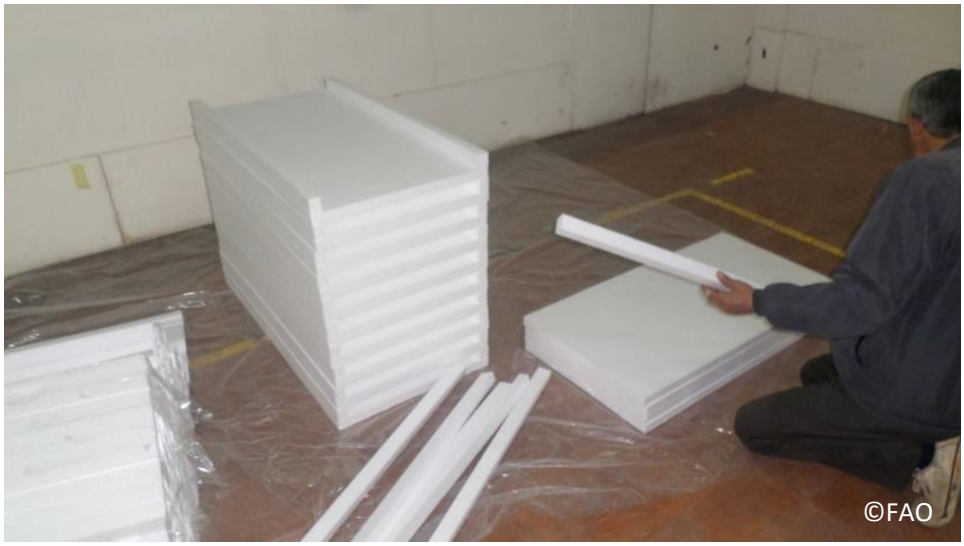
تتألف القنوات بشكل أساسي من ألواح البولستيرين ذات الضغط العالي أو الفوم المضغوط بسماكة 3 سم، يتم تصنيع هذه القنوات كقطع منفصلة بأبعاد صغيرة ليسهل التعامل معها، حيث يتم صفها بجانب بعضها البعض على الحوامل المعدنية لتشكيل القنوات حسب الطول المطلوب.

يتم تشكيل القناة الصغيرة المنفصلة للنظام بلصق القطعتين الصغيرتين بأبعاد 3×3×100 على طرفي لوح القاعدة لتشكيل حواف القناة، كما يتم يتم عمل ثقوب دائرية داخل قطعة الغطاء من أجل زراعة الأشتال.



رسم توضيحي 10: أبعاد قناة الزراعة

صورة 61 استعمال غراء الخشب للصق قطع البولستيرين ببعضها



صورة 62: لصق القطعتين على طرفي اللوح لتشكيل حواف القناة

صورة 63: عمل ثقوب دائرية في غطاء القناة لزراعة النباتات

تصنيع الهيكل المعدني الحامل للقنوات

يتألف الهيكل المعدني بشكل أساسي لكل خط من القنوات من اثنان من زوايا الحديد بأبعاد 3×3 سم وهو الذي سيحمل قنوات الزراعة، حيث تكون المسافة الداخلية بين هاتين الزاويتين 67 سم، ويتم تعليقه مع الهيكل المعدني للبيت البلاستيكي بواسطة قضبان الحديد المضلع المربع الشكل.

المواد اللازمة

- زوايا حديد بأبعاد 3×3 سم.
- قضبان من الحديد المبسط بعرض 3 سم.
- براغي للحديد (سلف درل).
- حديد مضلع مربع الشكل بأبعاد 2×2 سم.

- قطع من الحديد المبسط المغلفن بسماكة 1 ملم مخصص لتركيب حمالات المحاصيل بالهيكل المعدني للبيت البلاستيك.

طريقة العمل

لتشكيل الجسم الحامل للقنوات توضع زاويتان بشكل متوازٍ بحيث تكون المسافة الداخلية بينهما 67 سم، و يتم تثبيت المسافة ما بين هاتين الزاويتين بواسطة قضبان الحديد المبسط بعرض 3 سم المحضرة مسبقا بطول 72 سم، بحيث يتم ضبط المسافة الداخلية فيما بين الزوايا بحدود 67 سم، وذلك باستخدام البراغي المخصصة لاختراق المعادن وذلك لسهولة فك وتركيب القنوات عند اللزوم، وتكون المسافة ما بين القطعة والأخرى 100 سم، ولسهولة ضبط المسافات ما بين الزاويتين يتم استخدام قطعة من البوليسترين كدليل لضمان تماثل المسافات، وبهذا يكون الجسم الحامل للقنوات الذي سيحمل قنوات البولستيرين تيرين تيرين قد اكتمل.

صورة 64: ضبط المسافات ما بين الزاويتين باستخدام قطعة من البولستيرين

صورة 65: تثبيت المسافة بين الزاويتين باستخدام قضبان الحديد المبسط بواسطة البراغي

لتشكيل الحمالات يتم قص قطع الحديد المضلع المربع الشكل بأبعاد 2×2 سم بأطوال تتناسب مع ارتفاع البيت البلاستيكي، بحيث تكون مساوية تقريبا للمسافة ما بين سطح التربة وحمالات المحاصيل، ثم يتم لف قطع الحديد المبسط المغلفن على حمالة المحاصيل ويتم تثبيت قطع الحديد المضلع فيها بواسطة البراغي.

صورة 66: طريقة تركيب قطع الحديد المبسط المغلفن على حمالة المحاصيل

صورة 67: تثبيت الهيكل المعدني الحامل للقنوات بالبراغي

ويجب مراعاة معايرة ميل الجسم الحامل للقنوات أثناء تثبيته مع الحمالات، ويمكن الاستعانة بميزان الماء الزئبقي عند المعايرة. وبعد تثبيت الجسم الحامل للقنوات مع الحمالات يمكن إضافة قطعة من الحديد المضلع المربع الشكل أو قضبان من الحديد المبسط وتثبيتها مع الحمالات وذلك

على ارتفاع 15 إلى 20 سم فوقه، حيث تعمل على تقوية الهيكل المعدني بالإضافة إلى أنه يمكن ثقب هذه القطع لتمرير أسلاك تثبيت الخيطان من خلالها لتعمل كحامل لأسلاك التربيط.

صورة 68: استخدام ميزان الماء الزنبقي عند المعايرة

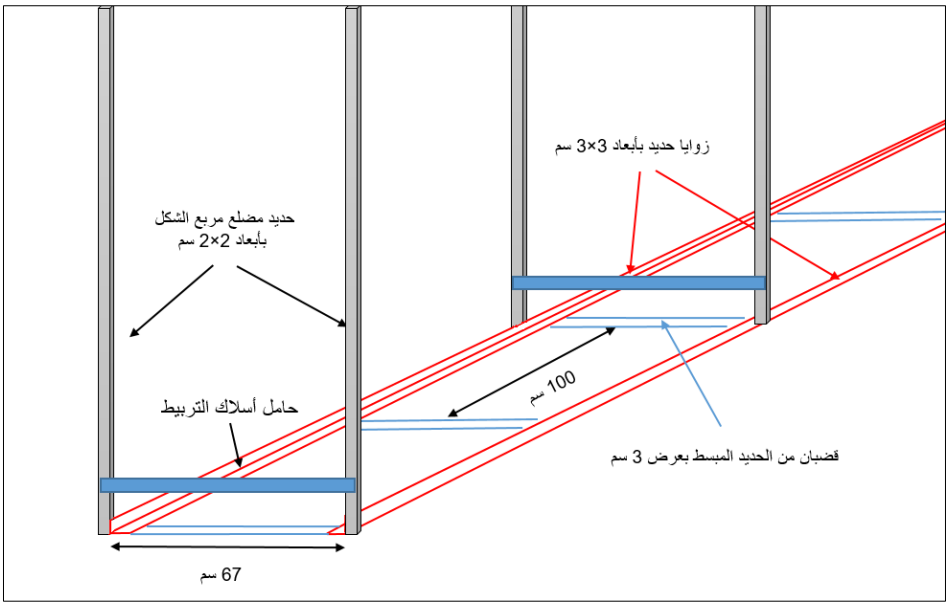
صورة 69: تركيب قطعة من الحديد المضلع المربع للتقوية ولتعمل كحامل لأسلاك التربيط

<u>تشكيل قنوات الزراعة</u>

بعد تركيب الجسم الحامل بالكامل يتم صف قنوات الزراعة من البولستيرين بشكل متراص لتكوين قناة واحدة طويلة، وتحمَل كل قناة من الطرفين على حواف الزوايا المعدنية، كما نقوم بتحميل الأطراف الأخرى على قضبان الحديد المبسط بحيث تتشارك قناتين من البولستيرين نفس قطعة الحديد المبسط وهذا سيحمي القنوات من الانثناء بتأثير وزن المحلول المغذي والنباتات.

صورة 70: تركيب قنوات الزراعة على الهيكل المعدني

صورة 71: الجسم الحامل للقنوات معلق بالحمالات

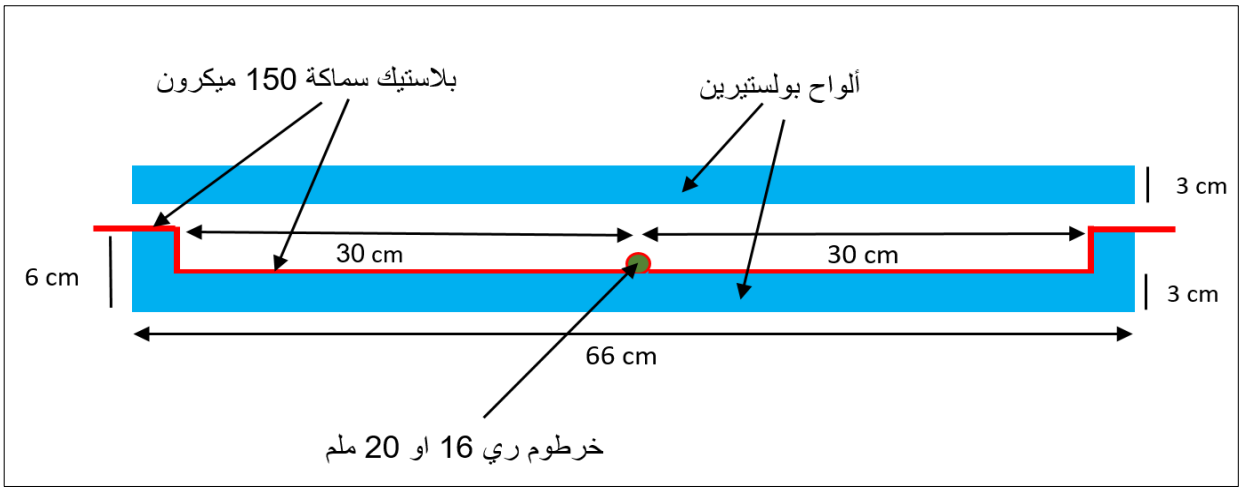


رسم توضيحي 11: مخطط الهيكل المعدني

لتكوين قناتين منفصلتين للزراعة وتوزيع المحلول المغذي بالتساوي بينهما، فإن الطريقة الأفضل لفعل ذلك كانت بتقسيم قناة الزراعة إلى قناتين من خلال تثبيت خرطوم للري بقطر 16-20 ملم في منتصف وعلى طول لوح قاعدة قنوات الزراعة من البولسترين، وقد لوحظ سابقا من خلال التجارب العملية عدم انتظام توزيع المحلول المغذي في جميع أنحاء القناة، وبالتالي عدم وصوله إلى الجذور مما يؤدي إلى جفاف الجذور وموتها، وذلك عندما يكون عرض قنوات الزراعة أكثر من 25-30 سم، ، بالأخص في بداية الزراعة عندما تكون جذور النباتات صغيرة، و تم تجربة عدة طرق منها لحل هذه المشكلة منها وضع القليل من الحصى أو التف البركاني لاعتراض المحلول المغذي وتغيير مساره، كما استخدم الشبك القماشي (المستخدم لتغطية النباتات المزروعة في الأنفاق) لتوزيع المحلول المغذي في كافة سطح قاع القناة، وكان هناك بعض الإخفاقات وكلف إضافية باستخدام هذه الطرق.

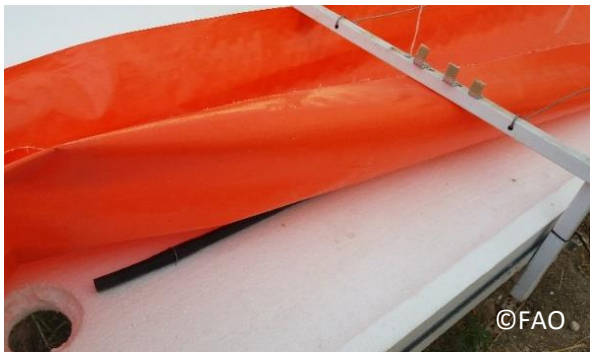
عند الانتهاء من تركيب خرطوم الري يتم تغطية لوح قاعدة القناة بالنايلون الشفاف أو المعتم المرن، حتى يلتف بسهولة على الخرطوم فيتشكل لدينا بسهولة مجريين للمحلول المغذي.

لضمان وصول المحلول المغذي إلى جذور الأشتال، ينصح بلف جذور الأشتال بالمناديل الورقية عند زراعتها، حيث تقوم هذه المناديل عند ملامستها للمحلول المغذي بامتصاصه وإيصاله إلى كل أنحاء الجذر ولن تؤثر على تنفسه وستذوب لاحقا.



رسم توضيحي 12: مقطع عرضي لقنوات الزراعة بعد تركيب النايلون وخرطوم الري

صورة 72: تركيب خرطوم الماء في وسط قناة الزراعة



صورة 73: وضع النايلون فوق خرطوم الماء

صورة 74: تشكيل مجريين للمحلول المغذي باستخدام خرطوم الري والنايلون

صورة 75: استخدام التف البركاني لاعتراض المحلول المغذي وتوزيعه على مساحة قاع القناة

صورة 76: استخدام الشبك القماشي لتوزيع المحلول المغذي في كافة مساحة قاع القناة

صورة 77: لف الجذور بالمناديل الورقية

<u>بناء شبكة الصرف</u>

لتكوين المصارف يمكن استخدام المصارف البلاستيكية للمغاسل لهذه الغاية، حيث يتم ثقب القطعة الأخيرة من قنوات البولستيرين في نهايتها بحيث يتناسب قطر الفتحة مع قطر المصرف المنوي تركيبه، ثم يتم توصيل كل المصارف بشبكة الصرف المؤلفة من الأنابيب البلاستيكية بقطر 2 إنش التي تصرف المحلول المغذي إلى خزان التجميع الموجود تحت سطح التربة.

صورة 78: تركيب المصرف في نهاية القناة

صورة 79: شبكة الصرف وخزان التجميع

يجدر بالذكر بانه يوجد طرق عديدة ومتنوعة لتصميم وتنفيذ نظام الغشاء المغذي، تتعلق بطبيعة الأرض وتوفر المواد الأولية المختلفة وطرق التنفيذ، حيث يمكن وضع قنوات البولستيرين على الأرض مباشرة بعد تسويتها بالميل المناسب، كما يمكن رفع الهيكل المعدني عن سطح التربة كما يمكن تصنيع قنوات الزراعة من الحديد المغلفن والمطلي وغيرها.

صورة 80 :وضع القنوات مباشرة على الأرض بعد تسويتها

صورة 81: قنوات الزراعة المصنوعة من الحديد المغلفن والمطلي

صورة 82: رفع الهيكل المعدني الأرض بواسطة

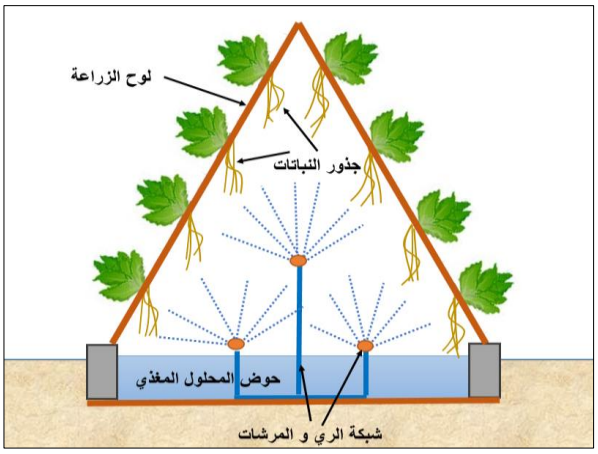
8.2.2. الزراعة الهوائية

الزراعة الهوائية هي أحد أنواع الزراعة بدون تربة، حيث تكون النباتات في هذا النوع من الزراعة معلقة فوق ألواح الزراعة المصنوعة من مادة عازلة كالفوم أو البوليستيرين أو غيرها، وتتدلى جذورها للأسفل إلى بيئة مغلقة للحفاظ على الرطوبة ويتم رشها بشكل دوري بمحلول مائي يحتوي على العناصر الغذائية للنبات.

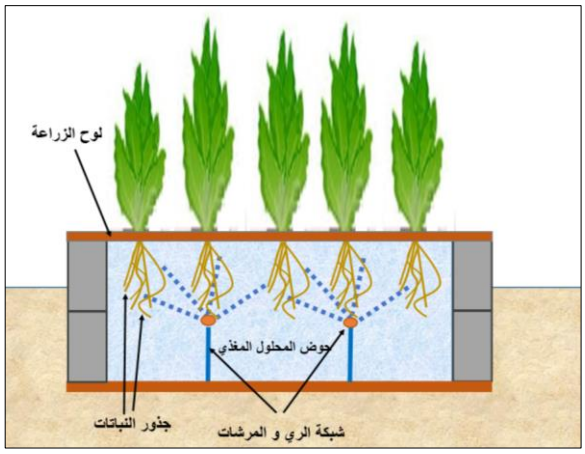
على الرغم من أن الزراعة المائية تمكنت من زراعة محاصيل تنمو بسرعة أكبر من الزراعة في التربة بنسبة قد تصل إلى أكثر من 25 في المائة، إلا أنه ما زالت هناك مشاكل تتعلق بكمية الأوكسجين الواصلة إلى جذور النباتات حيث تكون مغمورة دائمًا في الماء، لكن في الزراعة الهوائية يتم استخدام المضخات لرش جذور النباتات برذاذ خفيف من المحلول المغذي المشبع بالهواء على فترات منتظمة وبذلك لا تواجه الجذور أية مشاكل تتعلق بالتشبع بالماء والهواء، واتضح أن هذه الطريقة أدت إلى توفير المزيد من المياه والمغذيات والهواء مقارنة مع معظم أنظمة الزراعة المائية، وعند مقارنة سرعة نمو النباتات المزروعة في نفس الوقت، وجد أن سرعة النمو وحجم النباتات في الزراعة الهوائية تزداد بمقدار 2 إلى 3 مرات مقارنة مع الزراعة بدون تربة.

صورة 83 :نبات الكرفس في الوسط تم زراعته في نظام الزراعة الهوائية مقارنة مع النباتات المحيطة المزروعة في التف البركاني

يتألف نظام الزراعة الهوائية البسيط بشكل عام من حوض معزول يحوي المحلول المغذي والمضخات وشبكة الري والمرشات، ويتم تركيب الهيكل المعدني المعزول فوقه ليحمل الألواح التي ستحمل النباتات، وتكون هذه الألواح مثقبة حيث يمكن تثبيت النباتات بشكل مباشر في هذه الألواح أو يمكن تثبيت الأصص فيها ومن ثم زراعة النباتات في هذه الأصص، يتخذ الهيكل المعدني شكلا هرميا عند زراعة النباتات صغيرة الحجم كالخس والنباتات الورقية، ويكون مستويا عند زراعة النباتات كبيرة الحجم، ويمثل الشكل التالي المكونات المختلفة لنظام الزراعة الهوائية:



رسم توضيحي 13: المكونات المختلفة لنظام الزراعة الهوائية للمحاصيل الورقية



رسم توضيحي 14: المكونات المختلفة لنظام الزراعة الهوائية للمحاصيل الثمرية

صورة 84: نظام الزراعة الهوائية الهرمي الشكل لزراعة الخضار الورقية

في الزراعة الهوائية عادة ما يتم رش الجذور بالمحلول المغذي لمدة 20 ثانية كل دقيقتين إلى خمس دقائق، بواسطة مرشات ضبابية باستخدام مضخات عالية الضغط بقوة أكبر من 4.5 كيلو باسكال، وفي الظروف المثالية يتم اختيار فوهات المرشات لتعطي قطرات من المحلول المغذي بشكل ضبابي بقطر يتراوح ما بين 25 و50 ميكرون، وعندما ينتقل هذا الضباب الناعم عبر الهواء فإنه يذيب الأكسجين الموجود فيه، وعند ملامسته لشعيرات الجذر ينقل كل من الأكسجين المذاب والمغذيات إلى النبات.

ويرجع السبب في تفضيل القطرات صغيرة الحجم، إلى حقيقة أنها تحتوي على مساحة سطحية أكبر وتستطيع إذابة المزيد من الأكسجين ونقله في النهاية إلى الجذور، وهذا يعني أنه من الناحية المثالية في الزراعة الهوائية يجب أن تكون الجذور رطبة قليلاً وليست جافة ولا مبللة بالتنقيط، ويلاحظ بأنه كلما نقص قطر القطرات كلما كان لديها محتوى أكبر من الأوكسجين، لذلك تستخدم بعض أنظمة الزراعة الهوائية الأجهزة فوق الصوتية لتشكيل الضباب التي تصدر اهتزازاتها قطرات يتراوح قطرها ما بين 5 و10 ميكرون، لكن هذا يخدم فقط زراعة النباتات الصغيرة ذات الجذور الصغيرة مثل الخس والخضروات العشبية، لأن هذه القطرات الصغيرة لا يمكنها حمل ونقل الكثير من العناصر المغذية للنباتات ذات الاحتياجات السمادية العالية مثل النباتات الثمرية كالبندورة والخيار وغيرها، كما يعاب أيضا على أجهزة الضباب فوق الصوتية تآكل عنصر الاهتزاز بفعل الأسمدة المضافة والتكلس الداخلي لمكوناتها المختلفة، وهي قضايا عملية يجب أخذها في الاعتبار أيضًا عند استخدام مثل هذه الأنظمة.

8.2.2.1. تصنيع بعض أنظمة تقنية الزراعة الهوائية الهرمية منخفضة التكلفة

المواد اللازمة

- ألواح فوم ذات ضغط عالي بأبعاد 60×120 سم وسماكة 3 سم
- زوايا حديد بأبعاد 3×3 سم
- مرشات رذاذة مع ثقالة
- أنبوب ري قطر 20 ملم
- خرطوم رفيع مرن بقطر 8 ملم (سباغيتي)
- نايلون سماكة 100 إلى 150 ميكرون
- طوب إسمنتي بأبعاد 40×20×20 سم
- مضخة غاطسة ومؤقت زمني
- خيطان بلاستيكية

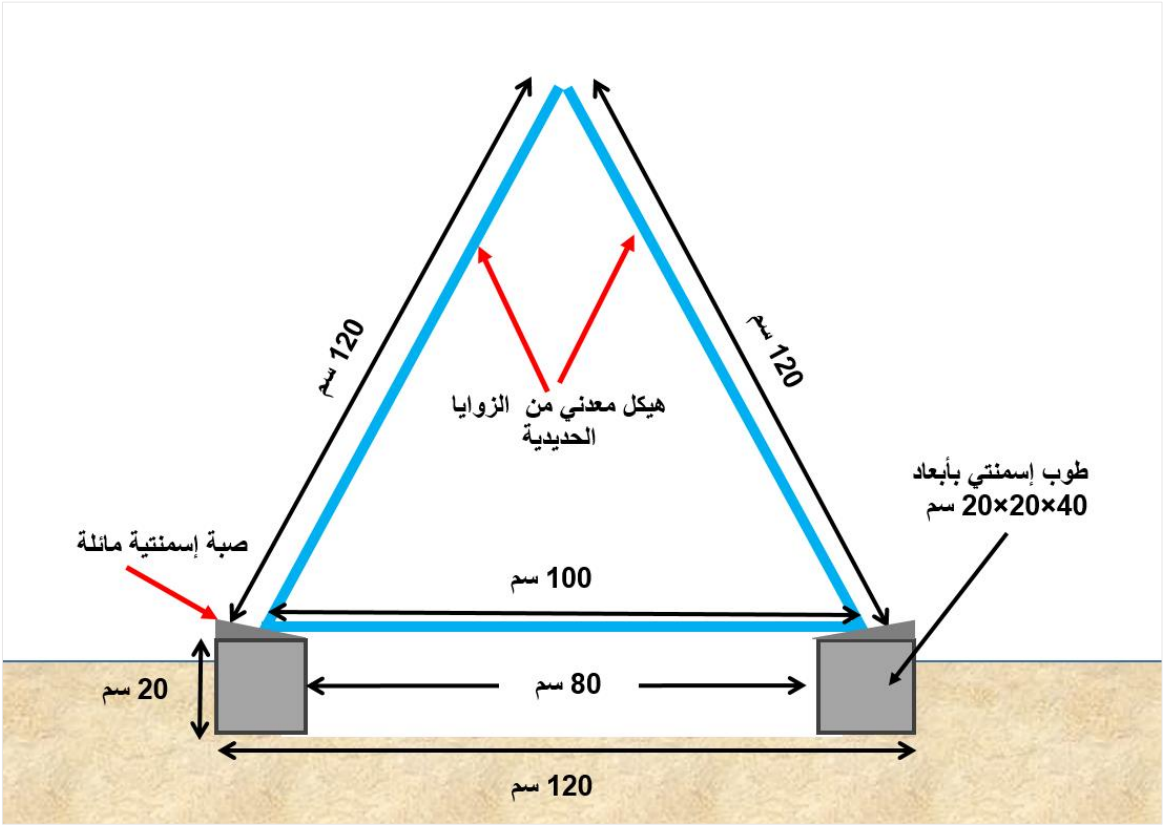
طريقة بناء الأحواض

عادة ما يتم في البداية تسوية سطح التربة بشكل مستوٍ تحت المساحة التي يراد بناء الأحواض عليها، ويتم بناء جدران الأحواض من الطوب بأبعاد 40×20×20 سم، بحيث تكون المسافة الداخلية بين صفي الطوب بحدود 80 سم، ويكون طول الحوض متناسبا مع قدرة المضخة على إيصال المحلول المغذي لكافة المرشات في النظام، ويفضل أن لا يزيد طول الحوض عن 10 متر، بعد الانتهاء من بناء الجدران يتم عمل حفرة بأبعاد بعمق 40 سم وأبعاد 30×30 سم في أحد طرفي الحوض حيث سيتم وضع المضخة الغاطسة، كما يتم أضافة الرمل الناعم فوق سطح التربة في الحوض، وهذا سيمنع تمزق النايلون الذي سيغطي سطح الحوض، كما يراعى أثناء توزيع الرمل الناعم خلق ميل بسيط باتجاه الحفرة التي أنشأناها لتجميع المحلول المغذي في نهاية القناة في المنطقة المنخفضة، ثم يتم عمل صبة إسمنتية أعلى الطوب المكون لجدران الحوض لتشكيل ميل باتجاه داخل الحوض لمنع الماء من الانسكاب خارج الحوض عند تشغيل المرشات، بعد ذلك يتم استعمال النايلون بسماكة 150 إلى 200 ميكرون لتغطية أرضية وجدران الأحواض من الداخل والخارج لضمان عدم تسرب المياه.

صورة 85: الأحواض المصنوعة من الطوب الإسمنتي

بناء الهيكل المعدني

يمكن بناء الهيكل المعدني من الزوايا الحديدية بقياس 3×3 سم، يتألف جزء الهيكل المعدني القائم من مثلثات متساوية الساقين طول قاعدتها 100 سم وطول كل من الساقين 120 سم، ويتم توزيع المثلثات على طول الحوض لتحمل باقي أجزاء الهيكل المعدني بحيث تكون المسافة فيما بين هذه المثلثات بحدود 3 متر، يتم تكملة بناء الهيكل المعدني بالتوصيل ما بين المثلثات في كل طرف من أطراف المثلث الثلاثة، كما تضاف زاويتان في منتصف المسافة ما بين الضلعين المتساويين، بعد الانتهاء من لحام الأجزاء المختلفة للهيكل المعدني يتم طلائه بطلاء مقاوم للصدأ ومن ثم الانتظار حتى يجف، ثم يتم وضع قطع من الفوم العازل تحت أطراف الهيكل المعدني قبل تركيبه فوق الحوض وذلك للحرص على عدم تمزيق النايلون الذي يغطي الحوض.



رسم توضيحي 15: أبعاد الهيكل المعدني والحوض

صورة 86: الهيكل المعدني بعد لحام أجزائه المختلفة

تركيب ألواح الزراعة

يتم البدء بصف ألواح الفوم في بداية الهيكل المعدني حيث صممت هذه الألواح لتتداخل مع بعضها البعض، وذلك يمنع الماء من الخروج من الفتحات البينية ما بين الألواح عند تشغيل المرشات، ويتم تركيب ألواح الفوم على أحد الجانبين بشكل كامل ثم يجري ترقيمها على الأطراف لسهولة تركيبها مرة أخرى، يتم تحديد مكان الثقوب على الألواح لزراعة النباتات بربط مجموعة خيطان على طول الألواح، وتكون المسافة ما بين الخطوط هي 25 إلى 30 سم وذلك لزراعة نبات الخس والمحاصيل الورقية، ويراعى عند توزيع الثقوب بأن يكون هناك تناوب في الخطوط التي فوق بعضها البعض (الثقب في الخط الأول يقابله ثقب في الخط الثالث وهكذا)، ثم يتم عمل الثقوب باستخدام مثقاب دائري يتناسب مع حجم الأصص المراد استخدامها.

صورة 87 الواح الفوم مركبة على الهيكل الحديدي

صورة 88 ربط الخيطان على طول الألواح

صورة 89: تحديد المسافة ما بين الخطوط

صورة 90: حفر الثقوب بشكل متناوب

صورة 91: ألواح الفوم بعد الانتهاء من الثقوب

تركيب نظام الري

يتألف نظام الري من مؤقت زمني مربوط بمضخة غاطسة موجودة في المنطقة المنخفضة من الحوض، ويتم توصيلها بأنبوب قطر 20 ملم يتم تعليقه أعلى الهيكل المعدني، أما الأنابيب الفرعية فتتألف من خراطيم مياه مرنة بقطر 8 ملم (السباجيتي) يوجد في نهاية كل خرطوم مرش رذاذي رباعي الفتحات مع ثقالة لتمنع تحرك المرشات أثناء تشغيل المضخة، ويتم تحديد أعداد هذه المرشات حسب قدرة المضخة ويجب أن تكون قادرة على أيصال المحلول المغذي إلى جميع جذور النباتات المتدلية.

صورة 92: أنبوب الري بقطر 20 ملم تتدلى منه مجموعة من الخراطيم المرنة (السباجيتي)

صورة 93: المرشات الرذاذة رباعية الفتحات مع الثقالة

طرق زراعة الأشتال

هناك عدة طرق مجربة لزراعة الأشتال ومن أفضل هذه الطرق استخدام شرائط من الإسفنج تلف على ساق الشتلة ثم يتم حشر الأشتال في الفتحة لتتدلى الجذور داخل النظام، ومن الطرق الأخرى وضع الأصص المثقبة في الفتحات ومن ثم وضع الأشتال داخلها بعد لفها بقطعة من المناديل الورقية، كما يمكن وضع الأشتال في الأصص المعبأة بالتف البركاني، ولوحظ من خلال التجربة أن استعمال التف البركاني أكثر فعالية من لف جذور الأشتال بالمناديل الورقية، حيث نمت الجذور بشكل كثيف عند استخدام التف البركاني مقارنة مع المناديل الورقية.

صورة 94: حجم الجذور عند استعمال المناديل الورقية

صورة 95: حجم الجذور عند استعمال التف البركاني

8.2.3. الزراعة بدون تربة باستخدام أوساط النمو الصلبة

8.2.3.1. أوساط النمو أو ركائز النمو

اكتشف باحثو فسيولوجيا النبات أثناء القرن الثامن عشر أن النباتات تمتص العناصر المغذية الأساسية في صورة أيونات معدنية ذائبة، وتعمل التربة في الظروف الطبيعية كمستودع لهذه العناصر المغذية بالإضافة إلى دورها في تثبيت النباتات ولكنها ليست ضرورية لنمو النباتات، وبالتالي يمكن الاستغناء عن هذه التربة باستخدام بدائل مناسبة كوسط لنمو جذور النباتات.

تعتمد الكثير من أنظمة الزراعة بدون تربة على استخدام أوساط نمو صلبة لنمو جذور النباتات، يطلق عليها أسماء أخرى مثل بيئات النمو أو الركائز، وهي كل المواد الصلبة بخلاف التربة والتي تقوم بالأدوار المختلفة للتربة كتدعيم المجموع الجذري وإمداد الجذور بالمواد المغذية والهواء والماء وغيرها، وتتنوع الأوساط ما بين المواد الطبيعية أو المصنعة، وقد يستخدم المزارعون هذه الأوساط بشكل أحادي أو كخليط من المواد المختلفة، وذلك لتحقيق مواصفات جديدة تجمع بين خصائص أوساط النمو الممزوجة مع بعضها.

ومن المهم جدا معرفة خصائص أوساط النمو الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، ومدى ملاءمتها لنمو المحصول المراد زراعته، حيث بينت الأبحاث أن هناك أوساط نمو تصلح لإنتاج محاصيل معينة بجودة عالية مقارنة مع غيرها من أوساط النمو.

8.2.3.2. *الصفات العامة لأوساط النمو*

القدرة على الاحتفاظ بالماء وإمداد النبات به وصرف الماء الزائد، حيث يُمسك الماء على سطح الحبيبات وما بين المسامات، وكلما صغر حجم الحبيبات إلى حد معين وكان شكلها غير متماثل كلما ازدادت قدرة وسط النمو على الاحتفاظ بالماء.

- ✓ القدرة على توفير التهوية والتبادل الغازي للأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون بشكل سلس، ما بين الوسط وجذور النباتات.
- ✓ القدرة على تدعيم النبات المزروع وتثبيته في بعض الحالات، وأن تكون ذات حواف ناعمة للتقليل من إتلاف جذور النباتات.
- ✓ يفضل أن تكون أوساط النمو العضوية خاملة كيميائيا وذات بناء مستقر ولا تتفكك بسهولة وذات نشاط منخفض للكائنات الحية.
- ✓ القدرة على تنظيفها وإزالة بقايا جذور النباتات منها وسهولة تعقيمها في حال إعادة استخدامها.
- ✓ سهولة الحصول عليها ورخص ثمنها.
- ✓ خلوها من الأملاح والمواد السامة ومسببات الأمراض، والمواد الكيميائية الضارة بالنبات بالإضافة إلى خلوها من المواد التي تؤثر على تركيبة المحلول المغذي، فعلى سبيل المثال لا يوصى باستخدام الرمال من أصل كلسي لأنها تحتوي على كربونات الكالسيوم بكميات كبيرة، فهي تؤدي إلى رفع حموضة المحلول المغذي (pH) مما يؤثر سلبا على توفر المغذيات.
- ✓ أن تكون خفيفة الوزن حتى لا تمثل حمولة زائدة في حال رفع الحاويات أو الأصص عن الأرض.
- ✓ ملاءمتها لارتفاع الماء بواسطة الخاصية الشعرية للحصول على توزيع متماثل للمحلول المغذي داخل وسط النمو.

8.2.3.3. *الخصائص الفيزيائية لأوساط النمو*

هناك عدة خصائص فيزيائية لأوساط النمو يتم تحديدها من خلال المكونات المستخدمة والنسب التي يتم مزجها معًا.

أ- الكثافة الظاهرية

يتم قياس الكثافة الظاهرية بتقسيم الوزن الجاف لوسط النمو على وحدة الحجم ووحدته هي كيلوغرام/متر مكعب، وتتراوح الكثافة الظاهرية المثلى لأوساط النمو المناسبة لزراعة المحاصيل في الحاويات بين 150 و500 كيلوغرام/متر مكعب، وبعض أوساط النمو ذات الكثافة الظاهرية المنخفضة كالبيرلايت (100 كجم/متر مكعب) وحبيبات البوليسترين (35 كجم/متر مكعب) غير صالحة للاستعمال بمفردها خاصة مع النباتات التي تنمو عموديا.

ب- المسامية الكلية

عندما نملأ حاويات النمو بوسط النمو فإن الحجم الإجمالي في تلك الحاوية، يتم ملؤه بثلاثة مكونات وهي حبيبات وسط النمو الصلبة والفراغات المملوءة بالهواء والفراغات المملوءة بالماء، ويمثل مجموع الفراغات المملوءة بالهواء والماء المسامية الكلية، و تُشكل الجسيمات كبيرة الحجم مسامًا أكبر في وسط النمو وتحتوي على كمية أكبر من الهواء وتسهل عملية الصرف، أما الجسيمات صغيرة الحجم فتشكل مسامًا أصغر تساعد على الاحتفاظ بالمياه، وتبلغ

المسامية الكلية المثالية لأوساط النمو المزروعة من 50 إلى 70 في المائة، ومن الملاحظ أن المسامية الكلية تقل مع زيادة نمو النباتات حيث يزداد حجم الجذور وتنمو في المسامات البينية، كما أن أوساط النمو المستقرة تحافظ على هيكل بنيوي مستقر مما يحافظ على المسامية، عكس أوساط النمو غير المستقرة التي تتغير فيها المسام مع زيادة الانهدام.

ت- المسامية الهوائية

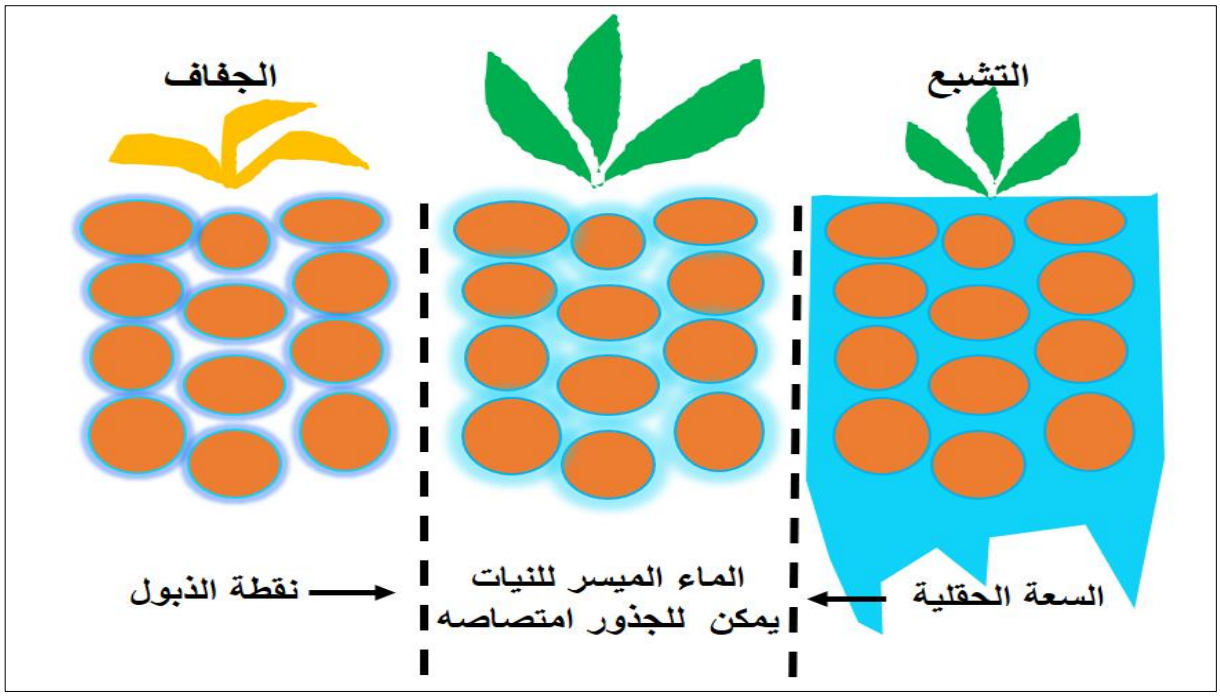
وهي حجم المسام في وسط النمو والمشغولة بالهواء بعد تشبع وسط النمو بالماء ورشح المتبقي منه، حيث يمكن أن يحتفظ وسط النمو بالمياه داخل المسام الصغيرة بتأثير قوى الخاصية الشعرية مقاوماً بذلك قوى الجاذبية الأرضية، أما داخل المسام الكبيرة فيكون تصريف المياه أكبر لأن قوة الجاذبية أكبر من قوى الخاصية الشعرية، وتحسب المسامية الهوائية كنسبة مئوية ومن المفضل أم تكون المسامية الهوائية لوسط النمو ما بين 15 إلى 25 في المائة.

ث- قدرة الاحتفاظ بالماء

قدرة الاحتفاظ بالماء هي النسبة المئوية لحجم المسام في وسط النمو التي تظل مملوءة بالماء بعد تصريف الماء الزائد بواسطة الجاذبية الأرضية، وتختلف حسب أنواع وأحجام مكونات وسط النمو وترتبط ارتباطا كبيرا بحجم المسامات فإذا كان وسط النمو في الحاوية مكونًا من مواد تخلق مسامًا صغيرة جدًا فإن وسط النمو سيحتفظ بكميات كبيرة من الماء، تؤثر طريقة المناولة والتحضير بشكل كبير على قدرة أوساط النمو العضوية على الاحتفاظ بالماء حيث يؤدي الضغط على وسط النمو إلى التقليل من حجم المسامات، كما يؤدي الري الغزير إلى تراص مكوناته المختلفة، كما أن ارتفاع حاوية الزراعة سيخفض من قدرة وسط النمو على الاحتفاظ بالماء بسبب زيادة تأثير الجاذبية، و يجب أن لا تكون قدرة الاحتفاظ بالمياه عالية جدًا حيث يعتبر تصريف المياه الزائدة من الوسط مهماً جداً للسماح بالتهوية المناسبة لجذور النباتات، وبشكل عام إذا ظل الوسط مغمورًا بالمياه لمدة طويلة تتجاوز ٢٤ ساعة، فسيؤدي ذلك إلى تباطؤ نمو النباتات وإذا استمر لفترات أطول يمكن أن يؤدي إلى اختناق الجذور وموت النباتات، و يتم حساب المياه المتاحة للنبات من خلال حساب الفرق بين كمية المياه عند السعة الحقلية و نقطة الذبول .

السعة الحقلية: وهي المحتوى الرطوبي الذي تحتفظ به التربة أو وسط النمو بعد صرف الماء الزائد بفعل الجاذبية الأرضية وتباطؤ معدل الرشح إلى حد كبير.

نقطة الذبول: وهي مستوى معين من رطوبة التربة أو وسط النمو الممسوكة بشدة ولا يمكن للنبات أن يمتصها فيذبل ويموت، ويمثل الشكل التالي توضيحا للماء الميسر للنبات:



رسم توضيحي 16: الماء الميسر للنبات

ج- التوصيل الهيدروليكي

توصف السهولة التي يمكن أن يتحرك بها الماء عبر فراغات وسط النمو الأفقية بالموصلية الهيدروليكية، وهذا مهم جدا لتوزيع المحلول المغذي في كل أجزاء وسط النمو، وتختلف أوساط النمو في التوصيل الهيدروليكي فعلى سبيل المثال تتميز خلطات الزراعة بدون تربة التي تستخدم البيتموس بأنها ذات قيم منخفضة من التوصيل الهيدروليكي عند انخفاض محتوى الماء فيها إلى 20 في المائة، ففي هذه الحالة فإن إضافة كميات كبيرة من الماء إلى البيتموس الجاف لن يقوم بترطيبه بل سيرشح بسهولة، لذلك يجب إضافة الماء بكميات صغيرة وترك فترات أطول ما بين الريّات، وذلك لزيادة التوصيل الهيدروليكي للسماح للماء بالتحرك بشكل أفقي في وسط النمو.

8.2.3.4. الطريقة العملية لقياس المسامية الكلية والهوائية وقدرة الاحتفاظ بالماء

يمكن قياس المسامية بشكل عملي باتباع الخطوات التالية:

1- حدد حجم الأصيص المستخدم في زراعة النباتات وذلك من خلال تعبئته بالماء ومن ثم قياس حجم هذا الماء بواسطة مقياس مدرج، وذلك بعد إغلاق الأصيص من الأسفل بقطعة من البلاستيك وربطها بإحكام لمنع تسريب الماء من خلال الفتحات أسفل الأصيص.

2- املأ الأصيص إلى أعلاه بوسط النمو (الركيزة) مع الضغط قليلا كما نفعل عادةً أثناء تحضير الأصص للزراعة الحقيقية، وفي هذه المرحلة يكون حجم وسط النمو مساويًا لحجم الإناء.

3- أضف الماء إلى الجزء العلوي لوسط النمو ببطء، ولا تحاول سكب الماء بكميات كبيرة، وراقب بعناية الكمية التي تضيفها حتى يتشبع وسط النمو تمامًا وذلك عندما تبدأ في رؤية طبقة لامعة من الماء فوق وسط النمو، ثم قم بتغطية الأصيص بغطاء واتركه جانبًا لمدة ساعة، بعد ساعة

واحدة تحقق مما إذا كنت بحاجة إلى إضافة المزيد من الماء حال نقصه وفي هذه الحالة يكون حجم الماء الذي أضيف لتشبع وسط النمو يساوي إجمالي حجم المسامات.

بعد ذلك يتم استخدام هذه المعادلة لتحديد المسامية:

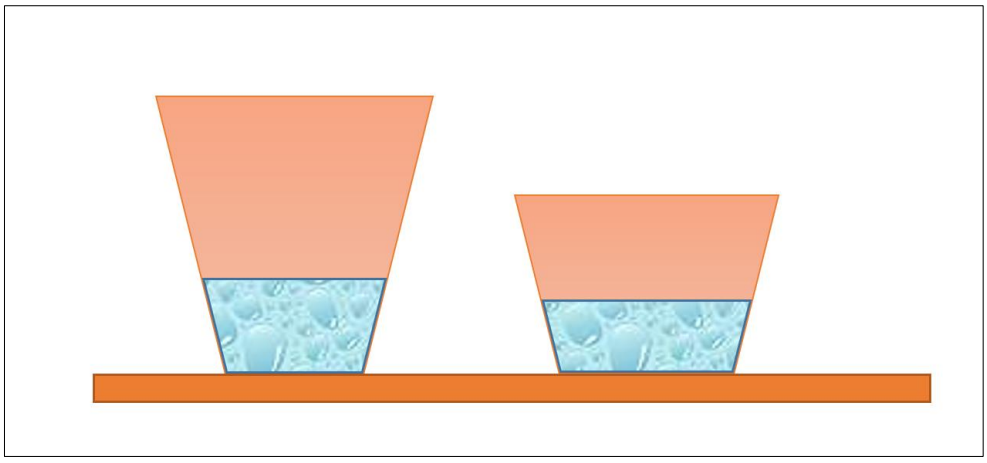
$$\textbf{المسامية الكلية كنسبة مئوية} = \frac{\text{حجم الماء المضاف}}{\text{حجم الأصيص}} \times 100$$

4- بعد ذلك ضع الأصيص في وعاء وقم بعمل ثقوب في أسفل قطعة البلاستيك الذي أضفتها في الخطوة الأولى وذلك لتصريف المياه، ثم اترك الأصيص يرشح لمدة 10 إلى 15 دقيقة لتصريف الماء تمامًا، ثم قم بقياس حجم الماء المصفى، بعد ذلك يتم استخدام هذه المعادلة لتحديد المسامية الهوائية:

$$\textbf{المسامية الهوائية كنسبة مئوية} = \frac{\text{حجم الماء المصفى}}{\text{حجم الأصيص}} \times 100$$

6- الماء المتبقي في وسط النمو بعد عملية التصريف يسمى قدرة الاحتفاظ بالماء وهو الماء المتاح للنباتات بعد عملية الري ويمكن تحديده بالطريقة التالية:

قدرة الاحتفاظ بالماء كنسبة مئوية = 100-المسامية الهوائية



رسم توضيحي 17: ارتفاع حاوية الزراعة وتأثيره على توفر الماء

8.2.3.5. الخواص الكيميائية لأوساط النمو

تأتي أهمية الخواص الكيميائية لأوساط النمو لتأثيرها على سلوك العناصر المغذية في المحلول المغذي مما يؤثر على توافر المغذيات للنباتات.

أ- رقم الحموضة

يؤثر رقم حموضة أوساط النمو على توافر العناصر الغذائية للنباتات، ويجب موازنته عند الحد الأمثل ما بين 5.5 و6.5 ويؤدي ارتفاع رقم الحموضة pH إلى قيمة أكبر من 7.5 إلى ترسيب كربونات الكالسيوم والمغنيزيوم والأرثوفوسفات والتي يمكن أن تسبب انسداد النقاطات، وقد تظهر

مشاكل رقم الحموضة في بداية الزراعة عند استخدام أوساط الزراعة لأول مرة، ولكن بعد ذلك يمكن تعديل رقم الحموضة من خلال الإدارة الجيدة للمحلول المغذي.

ب- السعة التبادلية الكاتيونية

هي مقياس لعدد الكاتيونات (الشحنات الموجبة) التي يمكن الاحتفاظ بها (إدمصاصها) على أسطح جسيمات التربة أو وسط النمو، مثل البوتاسيوم K^+ و الأمونيوم NH_4^+ والكالسيوم Ca^{2+} وذلك بشكل متاح للنباتات، وتستطيع التبادل مع جزيئات أخرى ذات شحنة موجبة في الوسط المحيط، وتقاس السعة التبادلية الكاتيونية بالميلي مكافئ/100 جرام، و يمكن لأوساط النمو ذات السعة التبادلية العالية أن تخزن المزيد من العناصر، بالإضافة إلى أنها تقوم بتخفيف أثر استخدام الماء العسر وتحتفظ بالعناصر المغذية لحاجة النبات عندما لا يتم تغذية النباتات بشكل مستمر.

السعة التبادلية لبعض أوساط النمو منخفضة جدا 1.5 إلى 3.5 ميلي مكافئ/100 غرام كما في البيرلايت، أو مرتفعة جدا 100 إلى 180 ميلي مكافئ/100 غرام كما في البيتموس، ولا تتطلب المحاصيل التي يتم إضافة الأسمدة إليها باستمرار أن يكون لوسط النمو سعة تبادلية كاتيونية مرتفعة.

ت- تركيز الأملاح

تؤثر زيادة محتوى الأملاح في أوساط النمو بشكل سلبي على نمو النباتات وقد تصل إلى مستوى السمية، ولوحظ عند استخدام ألياف جوز الهند التي تمت معالجتها بالمياه المالحة، ظهور أعراض نقص الكالسيوم على أوراق الفراولة في بداية الزراعة، حيث يقوم الصوديوم الموجود في الأملاح بالتأثير على توافر الكالسيوم، وذلك رغم وجود الكالسيوم بشكل كاف في المحلول المغذي الذي يروي النباتات، ويمكن التغلب على مشاكل الملوحة عن طرق غسيل أوساط النمو المستخدمة ولكن ذلك يشكل تكلفة أعلى وكميات إضافية من مياه الري النقية.

صورة 96 أعراض نقص الكالسيوم على أوراق الفراولة المزروعة في وسط ألياف جوز الهند

هناك مشكلة شائعة في الأردن تواجه منتجو الفراولة باستخدام ألياف جوز الهند كوسط للنمو، وتحدث بسبب ارتفاع ملوحة ألياف جوز الهند المستخدمة والتضاد ما بين الصوديوم والكالسيوم، لذلك يفضل إضافة 1 كغ من نترات الكالسيوم بشكل بودرة إلى كل واحد طن من ألياف جوز الهند عند بداية الزراعة، ويلاحظ أن هذه الظاهرة تختفي بعد فترة من الوقت.

8.2.3.6. أنواع أوساط النمو

تتعدد أوساط النمو التي يمكن استخدامها للزراعة بدون تربة، ويفضل دائما استخدام الأوساط المتوفرة في الأسواق المحلية وذلك لسهولة توفرها ورخص ثمنها ويمكن تقسيم أوساط النمو إلى:

أوساط عضوية المنشأ: مثل البيتموس وقطع لحاء الأشجار وألياف جوز الهند والقش، وهذه الأوساط قابلة للتحلل وينتج عن ذلك بعض العناصر المغذية للنباتات، وتتفاوت في درجة تحللها ويفضل استخدام الأقل تحللا والأكثر ثباتا.

أوساط غير عضوية المنشأ: والتي بدورها تصنف إلى طبيعية وصناعية، وهي ثابتة الخواص ولا تتحلل، ومنها ما هو طبيعي كالرمل والتف البركاني والحصى، ومنها ما هو مصنع كالبيرلايت والطين الممدد والصوف الصخري.

أ- الأوساط عضوية المنشأ

i. البيتموس أو الخث

يعتبر البيتموس من أكثر أوساط النمو شيوعاً، ويستخدم بصورة كبيرة على مستوى العالم في الزراعة وبالأخص لزراعة الأشتال ونباتات الزينة، يوجد البيتموس بشكل شائع في المستنقعات والأراضي الرطبة في نصف الكرة الشمالي من الكرة الأرضية، ويتشكل البيتموس من تحلل نباتات الموس التي تتألف من أكثر من 300 صنف، حيث تنمو هذه النباتات في المستنقعات في جميع أنحاء العالم إلى ارتفاع 30 سم أو أكثر، يكون لهذه النباتات سيقان عديدة مغطاة بأوراق خضراء فاتحة اللون، تحتوي السيقان والأوراق على خلايا مميزة لديها القابليّة على امتصاص الماء وتخزين كميات كبيرة منه، و عندما تموت هذه النباتات تترسب موادها العضوية وتبقى محفوظة لفترات كبيرة وتتحلل بشكل بطيء، ويعود ذلك إلى احتواء النبتة على الأحماض في تركيبتها، وهذا ما يساعد أيضا على خفض رقم الحموضة عند استعمال البيتموس في خلطات الزراعة بدون تربة.

عند جفاف المستنقعات يتم استخراج البيتموس بحفر شبكة من الخنادق على طول الأراضي التي تحتوي على البيتموس لتصريف المياه، ثم يقومون بإزالة الطبقة العلوية لكشف طبقة البيتموس واستخراجها بشكل قوالب، ثم تمر في مراحل متعددة كالتجفيف والغربلة والتعبئة لتصبح جاهزة للاستعمالات الزراعية وغيرها.

صورة 97 :البيتموس

مواصفات البيتموس:

مادة ثابتة الخواص وذات بناء مستقر ولها سعة تبادلية كاتيونية كبيرة.

لديها القدرة الكبيرة على امتصاص الماء حيث يمتص ما يصل إلى 20 ضعف وزنه في الماء ويطلق هذا الماء ببطء شديد.

يتميز بانخفاض درجة الحموضة.

مادة خالية عموما من الملوثات ومسببات الأمراض.

نسبه المادة العضوية به مرتفعة وتبلغ حوالي 94 إلى 99 في المائة.

يعتبر البيتموس عالي المسامية حيث تبلغ مساميته ما بين 95 و98 في المائة.

ii. ألياف جوز الهند

تعد ألياف جوز الهند أحد أوساط النمو التي دخلت حديثا إلى الأردن لاستخدامها كوسط لنمو محصول الفراولة والمحاصيل الأخرى، وتستخرج من قشور ثمار جوز الهند، وتتميز بمرونة عالية حيث يمكن ضغطها في قوالب ليسهل نقلها وتداولها، وتحتوي على مركبات اللجنين بكمية أكبر من السيليلوز وتكون أكثر مقاومة للتحلل، ويمكن استخدامها لموسمين متتالين في الزراعة بدون تربة، وهي أسهل لإعادة الترطيب مقارنة مع البيتموس.

تبلغ درجة حموضة ألياف جوز الهند من 5.8 إلى 6.8، وهذا يعني أن ألياف جوز الهند ملاءمة كوسط نمو لمجموعة متنوعة من النباتات دون الحاجة لضبط مستويات رقم حموضة وسط النمو، يتم تحضيرها من قشور جوز الهند الناضجة التي يتم ترطيبها لفترة طويلة بالماء وذلك لاستخراج الألياف منها، وقد تستخدم مياه البحر المالحة لذلك مما قد يؤدي إلى ارتفاع مستويات الملوحة فيها، بعد ذلك يتم فصل الألياف الطويلة بواسطة الماكينات حيث تستخدم لصناعة الحبال، ويتم غربلة المواد المتبقية الناعمة وكبسها في مكعبات لاستخدامها كوسط للزراعة.

مواصفات ألياف جوز الهند:

إمكانية استخدامها لأكثر من عام فهي بطيئة التحلل ويحدث تغيُر بطيء في مواصفاتها الفيزيائية.

لها القدرة على الاحتفاظ بالماء.

لها القدرة على توفير التهوية الجيدة لجذور النباتات.

يمكن ترطيبها بسهولة عندما تكون جافة وتتميز بتوصيل هيدروليكي مرتفع.

لا يقل حجمها عندما تجف.

صورة 98 ألياف و قشور جوز الهند

صورة 99 لوح ألياف جوز الهند الجافة في الوسط والألواح المشربة بالماء عند الطرفين

صورة 100: محصول الخيار المزروع في وساند الياف جوز الهند

صورة 101: محصول الفراولة المزروع في ألياف جوز الهند

ب- الأوساط غير عضوية المنشأ:

i. الصوف الصخري

يعد الصوف الصخري من أكثر أوساط النمو استخدامًا على نطاق واسع للإنتاج التجاري في أوروبا، حيث بدأ استعماله في الأصل كمواد عازلة للحرارة والصوت في البناء، وهو مادة خفيفة الوزن وسهلة التشكيل والقص، وفي نهاية الستينيات من القرن الماضي أجريت تجارب في الدنمارك لاختبار إمكانية استخدام الصوف الصخري كوسط لنمو النباتات، ومنذ ذلك الحين أجريت العديد من التطويرات عليه بإضافة بعض المواد لتحسين مواصفاته الفيزيائية.

على الرغم من أن الصوف الصخري من صنع الإنسان إلا أنه مصنوع بشكل أساسي من الصخور ويعتبره الكثيرون منتجًا طبيعيًا، وتنطوي عملية التصنيع على إذابة الصخور البازلتية والطباشير في درجة حرارة 1500 درجة مئوية ثم تضاف المواد المنصهرة إلى أسطوانة تدور بسرعة كبيرة، حيث تخرج هذه المواد من ثقوب صغيرة لتشكل الألياف، ثم يتم نسجها وضغطها إلى حصيرة ثم تقَطَع إلى ألواح حسب الطلب، ومن أهم المحاصيل التي تزرع في الصوف الصخري البندورة والفليفلة والخيار والبطيخ والفاصولياء والباذنجان.

مواصفات الصوف الصخري:

مادة خاملة كيميائيا وبيولوجيا حتى عند تعقيمه لإعادة استخدامه، وخالي من الأمراض والحشرات بسبب ارتفاع درجة حرارة تصنيعه.

يوفر النسبة الأمثل بين الهواء والماء لنمو النباتات، كما أن امتصاص ورشح الماء يتم بسهولة كبيرة منه.

لا يعدِل أو يقيد العناصر الغذائية لأن السعة التبادلية الكاتيونية له تساوي الصفر.

يمكن للصوف الصخري الاستجابة بسرعة للتغيُرات في تغذية النباتات، وهذا مهم جداً عند الرغبة في تعديل رقم الحموضة أو تركيز الأسمدة في منطقة الجذور.

يكون 98 في المائة من المحلول المغذي فيه متوفر بسهولة للاستهلاك من قبل النباتات، كما يمكن للنباتات امتصاص الماء بسهولة عندما تفقد وسادة الصوف الصخري 70 إلى 80 في المائة

من محتواها الرطوبي، وهي المستويات التي قد تسبب ذبول بعض النباتات في وسائط النمو الأخرى.

أما عيوب استخدام الصوف الصخري في الزراعة فهي كلفته العالية وصعوبة إعادة استخدامه والتخلص منه،

صورة 102 :وسادة من الصوف الصخري بأبعاد 100×20×8 سم لزراعة البندورة

صورة 103: مكعب من الصوف الصخري قياس 10×10× 8 سم لتشتيل البندورة

ضبط حموضة الصوف الصخري عند الزراعة

لا بد من ضبط رقم الحموضة لوسائد الصوف الصخري في بداية الزراعة حيث يكون مرتفعا (7 إلى 8)، حيث تملأ الوسائد بالمحلول المغذي من خلال نظام الري وتترك لمدة 24 ساعة، ثم يتم عمل شقوق أسفل الوسائد لصرف المحلول الزائد.

الصوف الصخري وتدرج الرطوبة

بشكل عام بعد ري وسائد الصوف الصخري فإنها تحتوي عادةً على 80 في المائة من المحلول المغذي و15 في المائة من المسام الهوائية و5 في المائة من ألياف الصوف الصخري، ويمكن أن تختلف هذه النسب قليلاً بين العلامات التجارية.

يعد التدرج الرطوبي بين أعلى وقاعدة لوح الصوف الصخري أحد الخصائص المهمة، حيث تكون الطبقات العليا من الصوف الصخري أكثر جفافاً من القاعدة وتحتوي على الكثير من الهواء اللازم لتنفس الجذور.

إعادة استخدام الصوف الصخري

الصوف الصخري لا يتحلل أو يتكسر بمرور الوقت لذلك يمكن للمزارعين إعادة استخدامه أو تقطيعه واستعماله مع المواد الأخرى، ولكن يوصى بغسله جيدا من الأملاح ومعالجته بالبخار الساخن لقتل الممرضات فيه، وعادة عند زراعة محصول الخيار لأكثر من موسم في السنة، يتم قطع ساق النبات بالكامل وترك الجذور في وسائد الصوف الصخري ثم يتم إعادة الزراعة مرة ثانية فيه.

ii. البيرلايت

عبارة عن مادة خفيفة الوزن ذات مسامية عالية تكون بشكل حبيبات صغيرة، يصنع البيرلايت من صخر بركاني يسمى أوبسيديان الذي يحتوي على ما نسبته 2 إلى 6 في المائة من الماء في داخله، وعند تسخينه إلى 1 000 درجة مئوية يتم تحويل الماء المدمج فيه إلى بخار الماء، مما يؤدي إلى توسيع حجم حبيباته من أربع إلى أكثر من عشرين ضعف حجمها الأصلي، ويزن المنتج النهائي تقريبا 2 كيلوغرام لكل 28 لترًا ويتمتع بمسامات سطحية كبيرة تمتص الرطوبة وتبقيها ميسرة لجذور النباتات، ويستخدم البيرلايت على مستوى واسع في الزراعة، حيث يستخدم بصورة منفردة أو يدخل في عمل خلطات مع أوساط أخرى مثل البيتموس، وذلك لزراعة العديد من محاصيل الخضار و الأشتال وزهور القطف ونباتات الزينة الداخلية.

صورة 104: حبيبات البيرلايت

صورة 105: زراعة البندورة في الأكياس المملوءة بالبيرلايت

مواصفات البيرلايت:

خفيف الوزن وثابت التركيب من الناحية الفيزيائية، وليس لديه القدرة على التبادل الكاتيونى حيث لا يستطيع الاحتفاظ بالمغذيات وإمدادها للنبات.

تتميز حبيبات البيرلايت بوجود الخاصية الشعرية، مما يعني إمكانية استخدام الري تحت السطحي لترطيبها.

يمكن استعمال البيرلايت لزيادة سعة الاحتفاظ بالمياه لأوساط الزراعة الأخرى.

iii. التف البركاني

هو نوع من أنواع الصخور البركانية الطبيعية، يتشكل عند انفجار الصخور والرماد والصهارة وغيرها من المواد من فتحات البراكين، حيث تنتقل هذه المقذوفات عبر الهواء لتعود إلى الأرض في المنطقة المحيطة بالبركان، مشكلة رواسب يمكن أن تبلغ سماكتها مئات الأمتار، تحتوي صخور التف البركاني على العديد من الفراغات نتيجة خروج البخار الساخن قبل أن تبرد الحمم البركانية، ويتواجد التف البركاني في مناجم في الأردن بشكل صخور كبيرة يجري طحنها إلى عدة أحجام دون الحاجة إلى المعالجة للاستخدامات المتعددة ومنها الزراعة بدون تربة، وهو من أكثر المواد استخداما في الأردن لزراعة البندورة والخيار والفلفل والورد، و تتراوح المسامية الكلية للتف البركاني من 60 إلى 80 في المائة اعتمادًا على حجم الحبيبات كما تزداد سعة الاحتفاظ بالماء

له عندما يكون حجم الحبيبات صغيرا، يتواجد التف البركاني في الأردن بلونين وهما الأحمر والأسود ، و يتميز التف البركاني ذو اللون الأحمر بسعة تبادلية كاتيونية ومساحة سطحية أعلى مقارنة مع التف ذو اللون الأسود.

مواصفات التف البركاني

يمتص الماء إذا كان قطر حبيباته صغيرة ويتميز بالخاصية الشعرية.

يوفر تهوية جيدة لجذور النباتات.

سهل التنظيف والتعقيم ويمكن أن يستعمل لأكثر من 20 سنة كوسط للزراعة بدون تربة بشرط تعقيمه قبل الزراعة كل عام.

صورة 106 :التف البركاني ذو اللون الأحمر

صورة 107: خليط من التف البركاني ذو اللون الأحمر والأسود

صورة 108: زراعة الورد في التف البركاني

iv. الرمل

يعتبر الرمل من أقدم المواد التي استخدمت كوسط حبيبي صلب لتنمية النباتات في التجارب الأولى للزراعة بدون تربة، ويمكن استخدام أنواع متعددة من الرمال كوسط للزراعة بدون تربة، كرمال الشاطئ أو الكوارتز أو غيرها، ويفضل عدم استخدام الرمل الذي تتكون حبيباته من كربونات الكالسيوم (الجير) بسبب ارتفاع رقم الحموضة فيه، حيث تعمل كربونات الكالسيوم كمادة لاحمة لجزيئات الرمل، وتذوب مع الوقت وتؤدي إلى تهوية سيئة، لذلك يفضل استخدام الرمال ذات الأصل الجرانيتى أو السليكاتى كوسط للزراعة، كما لوحظ أن الرمل متوسط النعومة هو أفضل خيار عند استخدامه للزراعة بدون تربة، حيث أن الرمل الخشن لا يحتفظ بقدر كاف من الماء، أما الرمل الناعم فلا يسمح بنسبه كافية من التهوية، ويتميز الرمل بالصرف الجيد لكن قدرته على الاحتفاظ بالماء ضعيفة، لذلك يفضل ريه لعدة مراتٍ في اليوم، كما يوصى بغسيل رمال شواطئ البحار أو البحيرات المالحة قبل استعمالها لاحتوائها على نسبةٍ مرتفعةٍ من الأملاح.

v. الفيرميكوليت

يصنع الفيرميكوليت من معدن طبيعي يتألف من سيليكات المغنيسيوم والألمنيوم والحديد، ويتواجد في الطبيعة بشكل رقائق معدنية تستخرج من مناجم الميكا في إفريقيا وأستراليا وأمريكا، ويتم معاملة هذه الرقائق الخام في درجة حرارة 1 000 درجة مئوية، مما يحول الرطوبة الموجودة في داخلها إلى البخار الذي يؤدي إلى تكسير وتقسيم هذه الطبقات إلى أجزاء صغيرة خفيفة ذات مسامية عالية.

مواصفات الفيرميكوليت

له قدرة كبيرة على الاحتفاظ بالماء.

يتواجد فيه عنصري المغنيسيوم والبوتاسيوم في صورة ميسرة يمكن للنباتات امتصاصها والاستفادة منها.

الفيرميكوليت مادة ماصة للماء بشكل كبير ويظل مبتلا لمعظم الوقت، لذلك يفضل خلطه مع مواد أخرى عند استخدامه كوسط للزراعة، وذلك للتقليل من حالة الابتلال الدائمة ليصبح ملائما لنمو النباتات.

تنهار بنية الفيرميكوليت عند استخدامه لفترات نمو طويلة مما يؤدي إلى سوء تهوية وسط الزراعة.

vi. كريات الطين الممدد

هي عبارة عن حبيبات كروية صغيرة خفيفة الوزن تصنع من كريات الطين، ثم تشوى في فرن دوار على درجة حرارة تصل إلى 1 200 درجة مئوية، فتتحول جزيئات الماء الموجودة فيها إلى البخار الذي يؤدي إلى توسعة كريات الطين وإحداث فراغات ذات مسامات، يستخدم هذا المنتج أساساً لصنع منتجات خرسانية خفيفة الوزن واستخدامات أخرى.

8.2.3.7. تصنيع بعض أنظمة الزراعة بدون تربة باستخدام أوساط النمو الصلبة منخفضة التكلفة

أ- إنشاء نظام للزراعة بدون تربة باستخدام القنوات البلاستيكية

المواد اللازمة

- أنابيب ري بقطر 20 ملم.
- أنابيب ري بقطر 16 ملم مع نقاطات.
- مضخة غاطسة ومؤقت زمني.
- قنوات بلاستيكية مخصصة للزراعة بدون تربة مصنوعة من النايلون الأسود سماكة 600 إلى 800 ميكرون، ويبلغ عرض القناة 40 سم أما الجانبين فيبلغ ارتفاعهما 20 سم، ويوجد هناك فتحات في الجانبين على ارتفاع 10 سم، يبلغ البعد ما بين هذه الفتحات 50 سم وذلك لتثبيت خيطان من النايلون بين جانبي القناة مع بعضهما البعض لمنع انسكاب وسط النمو عند تعبئة القنوات.
- خزان ماء بلاستيكي مضلع أفقي لوضعه تحت سطح التربة.
- خزان بلاستيكي قائم.

طريقة العمل

في البداية يجب تنظيف التربة من الأحجار وتسوية سطح التربة بميل مقداره من 1.5 إلى 2 في المائة (أي كل 100 متر يميل السطح بمقدار 150 سم إلى 200 سم)، وكلما ازداد طول القناة يزداد الميل، ثم يحدد مكان توزيع القنوات بواسطة الأوتاد الخشبية والخيطان،

ثم يتم توزيع القنوات على سطح التربة ولغاية التأكد من الميل يتم سكب الماء في القنوات وذلك في المنطقة المرتفعة منها، ومراقبة جريان الماء حتى خروجه من آخر القناة من الأسفل، ثم يتم العمل على تسوية سطح التربة عند الأماكن التي يتجمع فيها الماء في القنوات حتى ينساب بشكل سلس وذلك قبل تعبئة القنوات بوسط النمو، ثم يتم بعد ذلك إغلاق نهايات القنوات بواسطة المكبس، ثم يتم وضع حاجز بلاستيكي أو خشبي في نهاية القنوات وذلك لمنع حبيبات وسط النمو من إغلاق المصارف، ويتم تركيب مصرف في نهاية كل القناة يتصل بشبكة التصريف المؤلفة من الأنابيب البلاستيكية بقطر 2 إنش، التي تجمع الماء من القنوات وتحوله إلى خزان التجميع المدفون تحت سطح التربة، أما شبكة الري فتتألف من مضخة غاطسة مربوطة بمؤقت زمني توضع في الخزان، وأنابيب ري رئيسية بقطر 20 ملم يخرج منها أنابيب فرعية تحوي نقاطات تتوزع على كل النباتات المزروعة، كما يوجد خزان للتزويد موصول مع الخزان المدفون تحت الأرض وذلك لتعويض الفاقد من المحلول المغذي الممتص بواسطة النباتات.

كما يمكن بناء القنوات من الطوب الإسمنتي وتغليفه بنايلون ذو سماكة 150 ميكرون إلى 200 ميكرون وإكمال العمل كما ورد في الفقرة السابقة.

صورة 109: تنظيف وتسوية سطح التربة

صورة 110: ثني نهايات القنوات وإغلاقها باستعمال مكبس الورق

صورة 111: تعبئة القنوات بوسط النمو

صورة 112: خزان التجميع وخزان التزويد والحاجز البلاستيكي

صورة 113: وضع كيس مملوء بالتف البركاني في نهايات القنوات

صورة 114: وضع قفص خشبي في نهايات

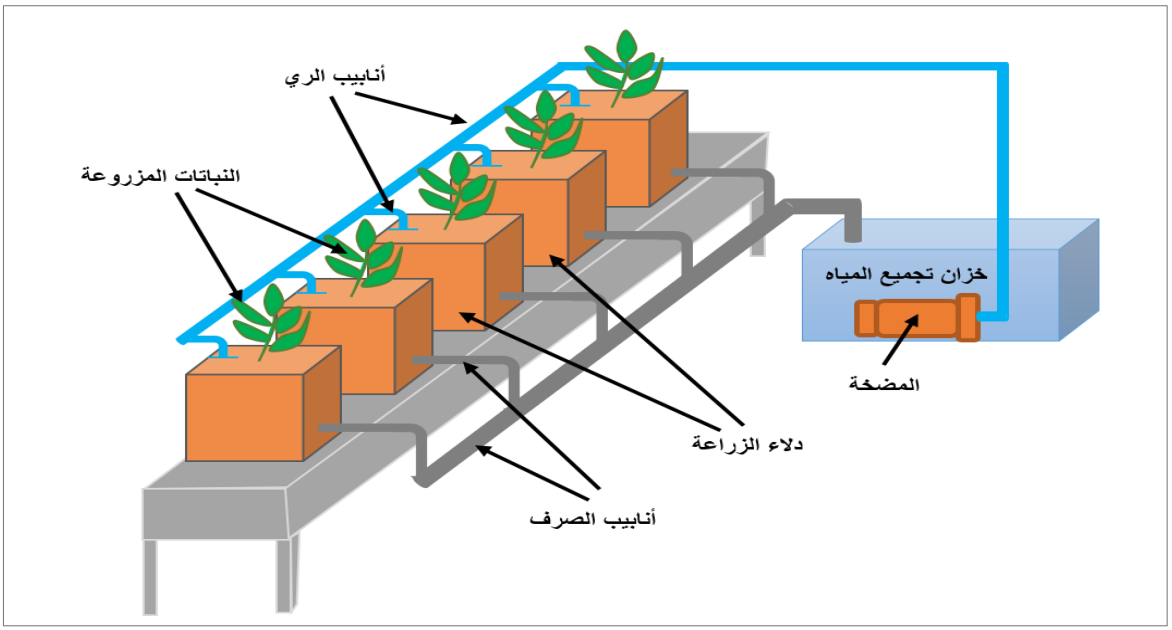
صورة 115: قنوات الزراعة من الطوب المغطى بالنايلون

ب- نظام الدلاء الهولندية

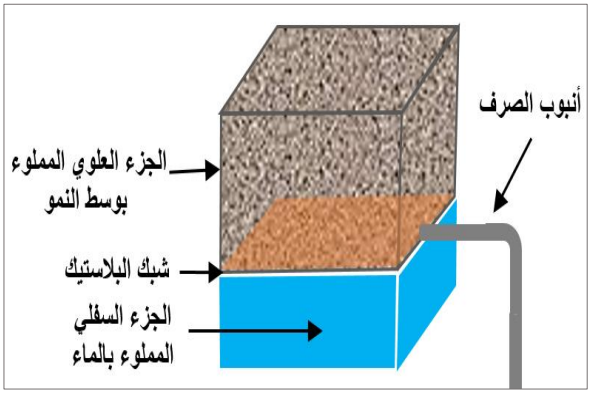
يستخدم هذا النظام الخاصية الشعرية لإيصال المحلول المغذي لجذور النباتات، ويتكون النظام من مجموعة من الدلاء المخصصة للزراعة بدون تربة، يتم ترتيبها في صف واحد أو صف مزدوج وبميل بسيط باتجاه قنوات الصرف، ويتم تزويدها بالمحلول المغذي باستخدام نظام ري يؤمن لكل نبتة الكمية المناسبة من المحلول المغذي، كما يوجد هناك خط مشترك من الأنابيب لصرف الزائد من المحلول المغذي إلى خزان تجميع المياه الذي يحتوي مضخة للتزويد.

تكون مكونات الدلو مفصولة إلى جزئين، ويكون الجزء السفلي بارتفاع 10 سم إلى 15 سم ومملوء بالحصى أو التف البركاني أو مواد أخرى لتقوم بدور مستودع للمحلول المغذي، ويوجد في أعلى هذا الجزء أنبوب لتصريف المحلول المغذي، أما الجزء العلوي من هذا الدلو فيتم تعبئته بوسط الزراعة ذو الخاصية الشعرية كالبيتموس والبيرلايت والتف البركاني أو غيرها، ويتم الفصل ما بين الجزئين العلوي والسفلي بشبك بلاستيكي لمنع اختلاط وسط النمو المستخدم مع الجزء السفلي.

في هذا النظام يبقى المحلول المغذي متاحاً في الجزء السفلي من الدلو لفتراتٍ طويلةٍ، حيث يصعد المحلول المغذي بواسطة الخاصية الشعرية ويمد جذور النباتات بالماء والمغذيات، ونادراً ما تتعرض النباتات للجفاف مقارنةً مع الأنظمة الأخرى، لكن يعاب على هذا النظام كثرة انسداد أنابيب الصرف حيث تحتاج إلى تنظيفٍ مستمرٍ، بالإضافة إلى زيادة ملوحة وسط الزراعة مع مرور الوقت وخاصةً في الأجزاء السفلية منه.



رسم توضيحي 18: مكونات نظام الدلاء الهولندية



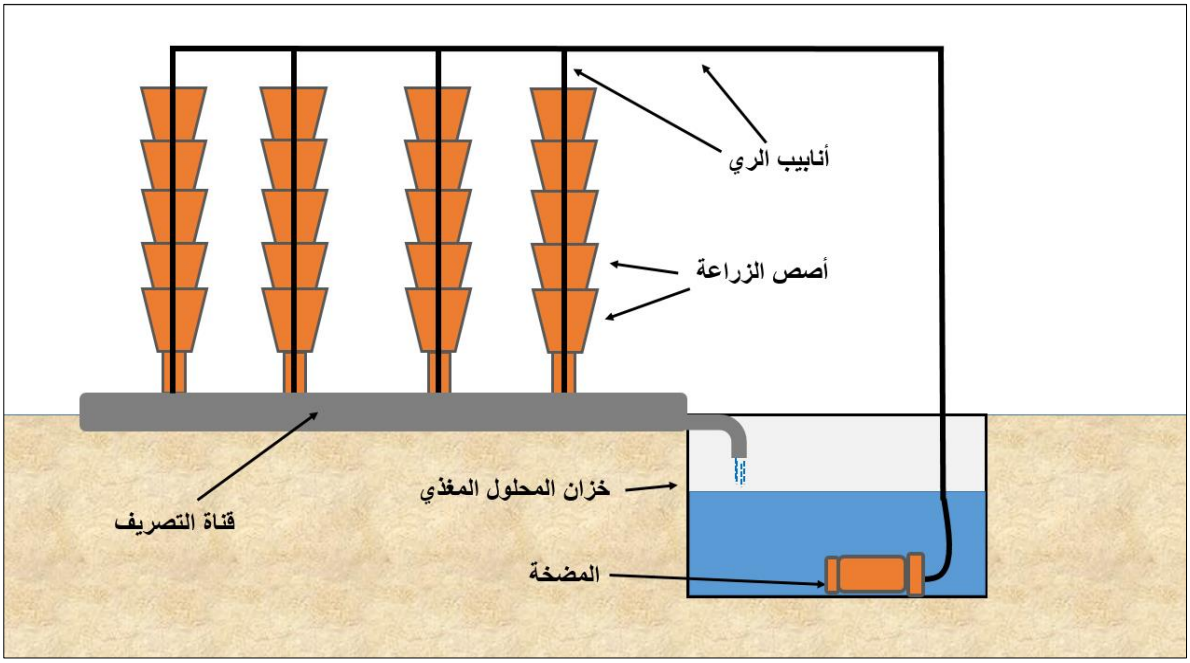
رسم توضيحي 19: مكونات الدلو

صورة 116: نظام الدلاء الهولندية باستعمال البيرلايت كوسط للنمو

ت- نظام الزراعة بدون تربة العمودية

وهي أحد الأنظمة البسيطة التي تعتمد على زراعة النباتات بشكل عمودي لتوفير المساحات، وتزرع النباتات في مجموعة من الأصص المصنوعة من البلاستيك أو البوليسترين المصممة لتركيبها فوق بعضها البعض، وتتصل فيما بينها بفتحات تسمح بمرور المحلول المغذي بواسطة الجاذبية الأرضية لتغذية كل أجزاء جذور النباتات، كما يمكن استخدام الأكياس البلاستيكية الأسطوانية عوضا عن الأصص، ويستعاض عن التربة باستخدام أوساط للنمو قليلة الوزن مثل ألياف جوز الهند والبيتموس والبيرلايت أو خليط منها، ونظرًا لأن هذه الأنظمة مرفوعة فوق سطح الأرض فإن بعض الآفات تجد صعوبة في الوصول إلى النباتات، كما أنه لا حاجة لإزالة الأعشاب عندما تستخدم أوساط النمو موثوقة المصدر.

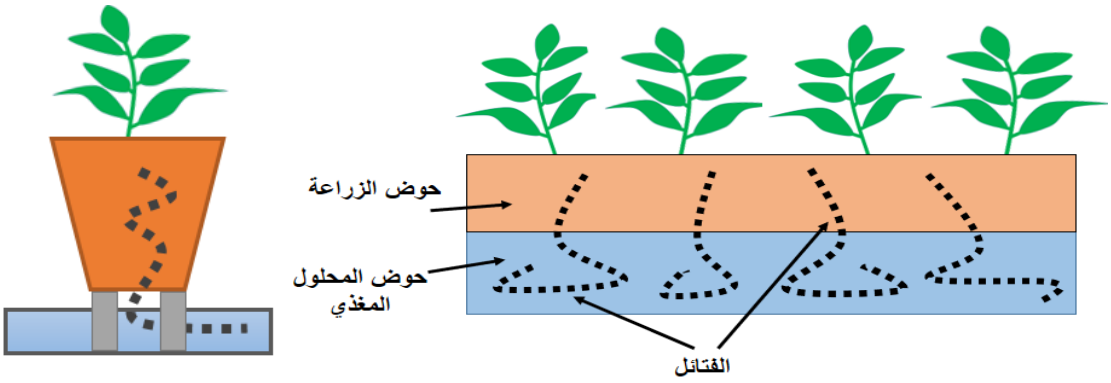
يعاب على هذه الأنظمة ضعف نمو النباتات في الجزء المظلل الذي لا تصله أشعة الشمس بشكل مباشر، بينما لا نجد هذه المشكلة لدى النباتات التي تواجه أشعة الشمس، ويمكن حل هذه المشكلة بتدوير الأنظمة دوريا خلال النهار.



رسم توضيحي 20: نظام الزراعة بدون تربة العمودية

ث- نظام الفتائل

من أبسط أنواع الأنظمة المنزلية حيث تزرع النباتات في حوض للزراعة يمكن أن يحتوي على مجموعة متنوعة من أوساط النمو كالحصى والبيرلايت وألياف جوز الهند والبيتموس أو غيرها، ويتم تزويد جذور النباتات بالمحلول المغذي عن طريق مجموعة من الفتائل، تصنع من القطن أو القماش وتوضع داخل وسط النمو في حوض الزراعة وتنزل لتصل إلى حوض المحلول المغذي، حيث يصعد المحلول المغذي ليغذي الجذور باستخدام الخاصية الشعرية، و هذا النظام مناسب لزراعة المحاصيل الصغيرة كالخس والمحاصيل الورقية، لكنه غير فعال للمحاصيل الثمرية كبيرة الحجم، حيث يكون معدل استهلاك المحلول المغذي من قبل النبات أسرع من قدرة الفتائل على امتصاصه.

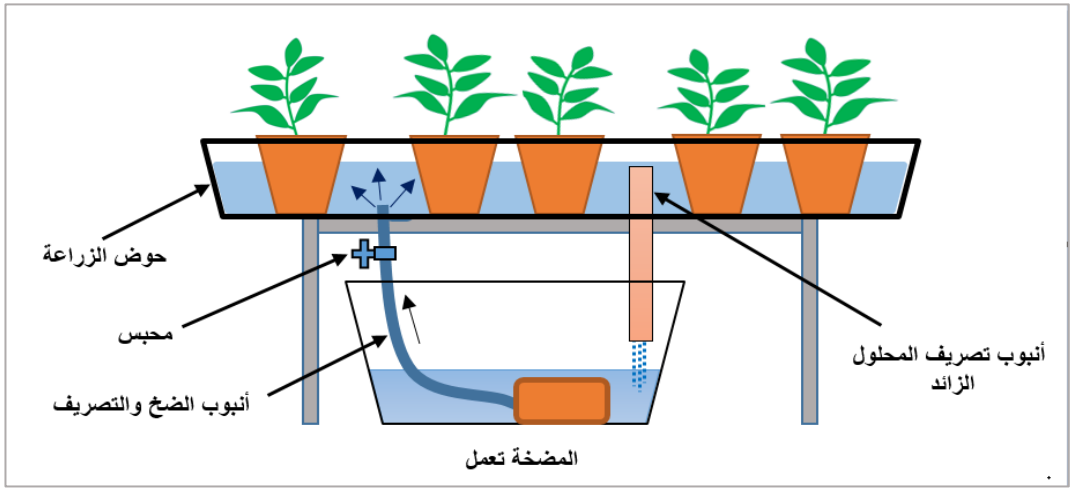


رسم توضيحي 21 مكونات نظام الفتائل

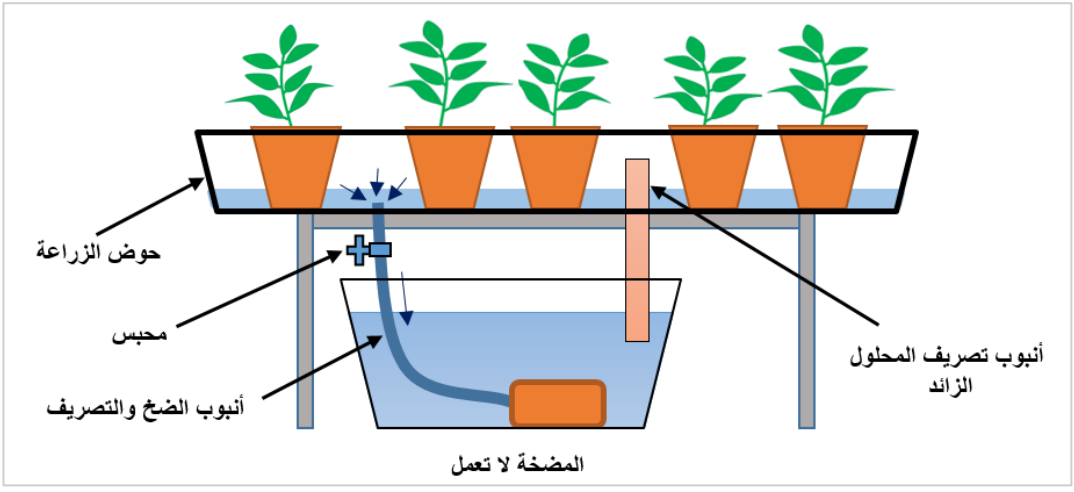
ج- نظام الغمر والصرف

يعتبر هذا النظام من الأنظمة المنزلية البسيطة على نطاق صغير ويطبَق على مساحات قليلة، يتألف هذا النظام من حوضين الأول هو حوض الزراعة الموجود في الأعلى، وتوضع فيه الأصص المعبأة بوسط النمو أما حوض المحلول المغذي فيوضع أسفل حوض الزراعة، يعمل هذا النظام من خلال غمر الأصص الموجودة في حوض الزراعة بالمحلول المغذي إلى ارتفاع معين بحيث يضمن وصول المحلول إلى كافة أجزاء الأصص.

يتم استخدام مضخة ومؤقت زمني للتحكم بمدة وعدد مرات الري اللذان يعتمدان على نوع وحجم ومراحل نمو النبات، وتستطيع النباتات الحصول على الماء والمغذيات في فترة الغمر، وعند إطفاء المضخة يتم تصريف المحلول المغذي بفعل الجاذبية الأرضية إلى الحوض السفلي من خلال أنبوب الضخ والتصريف، ويتم التحكم بالمدة اللازمة لرشح المحلول المغذي إلى خزان التسميد، عن طريق محبس يمكن معايرته حسب الحاجة، كما يوجد أنبوب مفتوح من الطرفين يتم تركيبه أسفل حوض الزراعة، وذلك لتصريف المحلول الزائد والحيلولة دون فيضانه أثناء عملية الضخ، ويتم تركيبه بحيث يكون مستوى الحافة العليا له تتناسب مع منسوب المحلول المراد الوصول إليه في حوض الزراعة.



رسم توضيحي 22 نظام الغمر والصرف أثناء تشغيل المضخة



رسم توضيحي 23 نظام الغمر والصرف أثناء إطفاء المضخة

9. جودة مياه الري

عند بدء التخطيط لتأسيس مشاريع الزراعة بدون تربة يجب البدء بدراسة جودة المياه، جنبا إلى جنب مع دراسة الأنظمة المراد استخدامها والمحاصيل التي ستزرع، لأن المياه ذات الجودة الرديئة ستكون غير صالحة للاستعمال أو مكلفة من أجل تحويلها إلى مياه عالية الجودة، وفي هذه الحالة سيترتب على المزارع تكاليف إضافية لتحسين جودة المياه.

من الضروري إجراء أكثر من تحليل للمياه التي ستستخدم في الري، وخاصة عندما يكون مصدر الماء من القنوات أو الأنهار، حيث ستتغير مواصفات المياه مع الفصول وبالأخص صيفا عندما يزداد التبخر ويرتفع تركيز بعض العناصر التي ستؤثر سلبا على نمو النباتات، ويمكن أن تصل إلى مرحلة السمية للنباتات.

تعتمد جودة المياه بشكل أساسي على مصدر المياه وتؤثر بشكل كبير على إنتاجية المحاصيل الزراعية، وفي كثير من الأحيان يمكن التسامح في بعض المواصفات غير المرغوبة للمياه في الزراعة التقليدية، حيث يمكن للتربة أن تقوم بمعادلة أو موازنة العناصر المعدنية الموجودة فيها، وذلك من خلال خواصها الفيزيائية والكيميائية والحيوية، حيث تقوم من خلال هذه الخاصية بتقليل الأثر السلبي للتراكيز العالية لبعض العناصر المعدنية أو الملوحة أو غيرها على النباتات. ويبين الجدول التالي إرشادات لجودة مياه الري للمحاصيل المزروعة في التربة:

الخصائص	درجة المشكلة		
	لا يوجد مشكلة	مقبول	يسبب مشكلة
* الموصلية الكهربائية EC(ديسيمنز/متر)	أقل من 0.75	0.75 إلى 3.0	أكثر من 3.0
** مجموع المواد الصلبة الذائبة TDS ملغرام/ليتر	أقل من 480	480 إلى 1920	أكثر من 1920
*** نسبة امتزاز الصوديوم (SAR)	أقل من 3	3 إلى 9	أكبر من 9
الكلور (ملغرام/ليتر)	أقل من 70	70 إلى 345	أكثر من 345
البورون (ملغرام/ليتر)	1.0	1.0 إلى 2.0	من 2.0 إلى 10
بيكربونات (HCO3) ملغرام/لبتر	أقل من 40	40 إلى 520	أكثر من 520

المصدر: Farnhand, D. S., Hasek, R. F., and Paul, J. L., 1985

Farnhand, D. S., Hasek, R. F., and Paul, J. L. 1985. Water quality, leaflet 2995. Division of Agriculture Science, University of California, Davis.

* الموصلية الكهربائية

يتم استخدام مصطلح الموصلية الكهربائية لقياس إجمالي الأملاح الذائبة التي تشكل الأيونات الحرة، التي توصل التيار الكهربائي عبر الماء في المحاليل أو التربة أو بدائل التربة، فعندما يتم إذابة الأملاح ومنها بعض الأسمدة في الماء فإنها تنفصل إلى ذرات مختلفة مشحونة كهربائيًا تسمى أيونات، قد تحمل شحنات سالبة وتسمى كاتيون أو تحمل شحنات موجبة وتسمى أنيون، تسمح هذه الأيونات المشحونة في الماء بتدفق تيار كهربائي يمكن قياسه باستخدام أجهزة قياس الموصلية الكهربائية، وكلما زاد تركيز هذه الأيونات في وحدة الحجم من الماء كلما زادت الموصلية الكهربائية.

وعلى سبيل المثال عند إذابة ملح الطعام وهو كلوريد الصوديوم وصيغته الكيميائية (NaCl) في الماء، سيتم إطلاق كاتيون واحد من الصوديوم وصيغته الكيميائية (Na^+) بالإضافة إلى أنيون واحد من الكلور وصيغته الكيميائية (Cl^-) لكل وحدة نذيبها من كلوريد الصوديوم.

**مجموع المواد الصلبة الذائبة و تعبر عن كمية المواد العضوية و اللاعضوية التي يحتويها سائل سواء كانت مواد عالقة في صورة جزيئية أو أيونية.
*** نسبة امتزاز الصوديوم(: وهي التركيز النسبي للصوديوم إلى الكالسيوم والمغنيسيوم، و تعبر عن النشاط النسبي لأيونات الصوديوم في تفاعلات التبادل مع التربة، ولذلك أهمية كبيرة في حال وجود الصوديوم في التربة أو أوساط النمو العضوية فهو يحل محل الكالسيوم و المغنيزيوم.

جدول 2 إرشادات لجودة مياه الري للمحاصيل المزروعة في التربة

من الضروري توافر بعض العناصر المغذية للنباتات بكميات قليلة جدا في المحلول المغذي، لكن زيادة بعضها ولو بكميات صغيرة يمكن أن يؤذي النباتات ويسبب السمية، وقد يسبب موتها ونجد في الجدول التالي التركيزات القصوى الموصى بها للعناصر الصغرى (النادرة) في مياه الري:

العنصر	اسم ورمز العنصر باللغة الإنكليزية	التركيز الأقصى المسموح به ملغرام/ليتر (ppm)	ملاحظات
الألمنيوم	Aluminum (Al)	5	يمكن أن يقلل الإنتاجية بشكل كبير في الوسط الحامضي عندما تكون pH أقل من 5.5.
الزرنيخ	Arsenic (As)	0.1	يختلف مدى السمية للنباتات حيث تتراوح من 12 ملغرام/لتر لحشيشة السودان إلى أقل من 0.05 ملغرام/لتر للأرز.
البورون	Boron (B)	0.75	عنصر هام لنمو النباتات وسميته واضحة عند تركيز 1 ملغرام/ليتر في أشجار الحمضيات.
الكوبالت	Cobalt (Co)	0.05	سام لنبات البندورة عند مستوى 0.1 ملغرام/لتر في المحلول المغذي.
النحاس	Copper (Cu)	0.2	سام لعدد من النباتات بتركيز 0.1 إلى 1.0 ملغرام/لتر في المحاليل المغذية.
المنغنيز	Manganese (Mn)	0.2	سام لعدد من المحاصيل عند التراكيز القليلة وخاصة في الأوساط الحامضية.
المولبيديوم	Molybdenum (Mo)	0.01	يمكن أن يكون سام للماشية إذا تم تغذيتها بالأعلاف المزروعة في تربة ذات تركيزات عالية من المولبيديوم المتاح.
النيكل	Nickel (Ni)	0.2	سام لعدد من النباتات عند مستوى 0.5 ملغرام/ لتر إلى 1.0 ملغرام/لتر، وتنخفض سميته عندما تكون درجة الحموضة حيادية أو قلوية.
الرصاص	Lead (Pd)	5	يمكن أن يمنع نمو الخلايا النباتية بتركيزات عالية جدا.
السيلينيوم	Selenium (Se)	0.02	سام للنباتات بتركيزات منخفضة تصل إلى 0.025 ملغرام/لتر وسام للماشية إذا تم تغذيتها بالأعلاف المزروعة في تربة ذات تركيزات عالية نسبيًا من السيلينيوم.

الزنك	Zinc (Zn)	2	سام للعديد من النباتات بتركيزات متفاوتة على نطاق واسع.
البريليوم	Beryllium (Be)	0.1	تختلف مدى السمية للنباتات بتراكيز من 0.5 إلى 5 ملغرام/لتر.
الفلوريد	Fluoride (F)	1	يتم تعطيله بواسطة التربة المحايدة والقلوية.
الفاناديوم	Vanadium (V)	0.1	سام للعديد من النباتات بتركيزات منخفضة نسبيًا.
الكروم	Chromium (Cr)	0.1	يوصى بحدود تحفظية بسبب نقص المعرفة من حيث سميتها للنباتات.
الكادميوم	Cadmium (Cd)	0.01	سام للفاصولياء والشمندر واللفت بتركيزات منخفضة تصل إلى 0.1 ملغرام/لتر في المحاليل المغذية، و يوصى بالحذر نظرا لإمكانية تراكمه في النباتات بتراكيز قد تكون ضارة بالإنسان.
المصدر: Guy Fipps, 2003			
Fipps, G. (2003). Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies.			

جدول 3: التركيزات القصوى الموصى بها للعناصر النادرة في مياه الري

من الملاحظ بأن جودة مياه الري تأخذ أهمية أكبر في الزراعة بدون تربة، لأن جذور النباتات تنمو في منطقة محددة من وسط النمو أو القنوات أو الأحواض، وتكون أكثر تأثرا بمواصفات مياه الري، ولذلك يجب توفير الماء وكافة العناصر المغذية للنباتات بشكل متوازن للحصول على نمو مثالي،

في بعض الأحيان يمكن أن تحتوي مياه الري على بعض المركبات كالكربونات والبيكربونات والتي قد ترفع رقم الحموضة، أو تحتوي على نسبة عالية من المعادن كالصوديوم أو الكلور، مما يؤثر سلبا على نمو النباتات، ومن ناحية أخرى قد تحتوي مياه الري على بعض العناصر الغذائية المفيدة للنباتات مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت، والعناصر النادرة مثل البورون والمنغنيز والحديد والزنك والتي يجب تقدير كميتها عند تحضير المحاليل المغذية لكيلا تزيد عن حاجة النباتات.

وعند تلوث مياه الري بالمبيدات الحشرية والفطرية ومبيدات الأعشاب فإنها تؤثر بشكل كبير على نمو النباتات حتى عند التراكيز المنخفضة، ويحدث ذلك غالبا عندما تكون المياه المستخدمة من مصادر سطحية أو من آبار قليلة العمق أو قد تلوثت بمياه الصرف، وفي الأنظمة المغلقة للزراعة بدون تربة يمكن أن يتلوث المحلول المغذي عند رش المبيدات على النباتات، ويشكل ذلك خطرا كبيرا على نمو النباتات حين يعاد استخدام المحلول المغذي الملوث.

9.1. تعقيم وترشيح مياه الري والمحلول المغذي

عندما تكون هناك حاجة إلى معالجة مياه الري يجب أن توضع تكلفة هذه المعالجة في الحسبان عند إنشاء مشاريع الزراعة المائية، وتتنوع أجهزة المعالجة ما بين الفلاتر الرملية أو القرصية البسيطة إلى المحطات الأكثر كلفة التي تستخدم التناضح العكسي.

عندما تحتوي مياه الري على مستويات زائدة من الصوديوم والكلور والكبريت والمكونات الأخرى، يمكن معالجتها بواسطة محطات تحلية المياه العاملة بطريقة التناضح العكسي التي تمنع مرور الأملاح عبرها، لكنها أكثر كلفة من الفلاتر الرملية أو القرصية، كما يمكن خلط جزء من مياه المصدر غير المعالجة مع جزء من المياه المعالجة حيث تعتمد كمية المزج على مقدار المستويات الزائدة من العناصر الموجودة في مياه المصدر.

صورة 117: محطة لتحلية المياه باستخدام التناضح العكسي

كما يجب إزالة أي مادة معلقة في مصدر المياه عن طريق الفلاتر، وذلك لضمان عدم انسداد أنابيب الري أو النقاطات، وقد تحتوي المواد العالقة على الكائنات الممرضة التي يمكن أن ترشح إلى المحلول المغذي الذي يعاد استعماله، ومن أجل القضاء على الممرضات يمكن تعقيم المحلول المغذي باستخدام مصابيح الأشعة فوق البنفسجية ، وقد أثبتت التجارب فعَالية التعقيم عند تدفق المحلول المغذي بسرعة 13 ليتراً في الدقيقة، مع وجود مصباحين بقوة 16 واط في الأنبوب، كما يمكن استخدام الأوزون لتعقيم المحلول المغذي حيث أن ذلك لن يغير الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية للمحلول المغذي.

9.2. تأثير ملوحة مياه الري على النباتات

من المعروف بأن زيادة ملوحة مياه الري تؤثر سلبا على نمو النباتات ويعود التأثير السلبي للملوحة إلى زيادة الضغط الحلولي للمياه، مما يؤدي إلى الحد من امتصاص النباتات للماء وتأثر العمليات الاستقلابية والفيزيولوجية في النبات، ويحدث ذلك نتيجة ظاهرتي الإجهاد المائي والإجهاد الملحي، وتختلف النباتات في تحملها للملوحة حيث يمكن لبعض النباتات تحمل الملوحة العالية في مياه الري، وبعضها الآخر حساس لارتفاع الملوحة، ويبين الجدول التالي تصنيف بعض المحاصيل بناء على تحملها للملوحة:

المحصول	تصنيف النباتات	عتبة الموصلية الكهربائية (ديسيمنز/متر)
الخس والجزر والفراولة والبصل	حساسة (Sensitive)	1.4
البروكلي و الملفوف والبندورة والخيار والفليفلة	حساسية معتدلة (Moderately sensitive)	3.0
فول الصويا	متوسط التحمل (Moderately tolerant)	6.0
القطن والشمندر السكري	متحمل للملوحة (Tolerant)	10.0

Tanji, K. K. (1990). *Agricultural salinity assessment and management*. American Society of Civil Engineers, ISBN-10: 0872627624, New York, U. S. A.

جدول 4: تصنيف بعض المحاصيل بناء على تحملها للملوحة

9.3. الإجهاد المائي والإجهاد الملحي

من المعروف بأن الماء ينتقل بسهولة من التركيز الملحي الأقل في المنطقة المحيطة بالجذر إلى التركيز الملحي الأعلى داخل الجذر، ويحدث الإجهاد المائي عندما يزداد تركيز الأملاح في منطقة الجذر حيث تقل قدرة النبات على امتصاص الماء، مما يحد من عمليات التمثيل الغذائي والضوئي في النبات، وخلال ساعات يؤدي إلى ذبول الأوراق والسيقان، وفي مراحل متقدمة يموت النبات.

أما الإجهاد الملحي فهو عبارة عن وجود فائض من الأيونات داخل أنسجة النبات وبالأخص أيون الصوديوم والكلور أو غيرها، ويحتاج وقتا أطول من الإجهاد المائي لتجمع تراكيز مرتفعة من بعض العناصر في النبات لتصل إلى حد السمية.

سمية الأملاح لها عواقب أيضية أيضا، فعند تراكم تركيزات عالية من بعض العناصر كالصوديوم والكلور في البلاستيدات الخضراء، وهي المسؤولة عن عملية التركيب الضوئي في النباتات تحصل فيها تغييرات سلبية تؤثر على النشاط الكيميائي للتركيب الضوئي مما يثبِط الإنزيمات ويمنع تخليق البروتينات ويتلف البلاستيدات الخضراء ومكونات الخلية الأخرى، مما يؤدي إلى موت الأوراق التي تتم فيها عملية التمثيل الضوئي وتصنيع الغذاء للنبات.

وتختلف النباتات في تحملها للإجهاد الملحي اعتمادا على عدة عوامل، مثل كمية العناصر الممتصة ونوعها وحساسية النباتات لهذه العناصر، ويمكن أن يحدث الضرر للمحاصيل الحساسة عند تركيزات منخفضة نسبيًا من بعض العناصر كالبورون.

ويلاحظ أن النباتات تكون أكثر تأثرا بالإجهاد المائي والملحي في الأجواء الحارة مقارنة مع الأجواء الباردة، حيث يقوم النبات بزيادة النتح مما يقلل كمية الماء في النباتات ويؤدي لتراكم أكبر لهذه الأيونات داخل الأوراق.

تؤثر الأيونات التي تضاف بكميات كبيرة عند إضافة الأسمدة مثل أيونات النترات والبوتاسيوم والكالسيوم والكبريتات وغيرها بشكل كبير على الملوحة، أما المغذيات الدقيقة فتأثيرها أقل بكثير نتيجة إضافتها بكميات قليلة جدا، مثل أيونات الحديد والمنغنيز والزنك وغيرها،

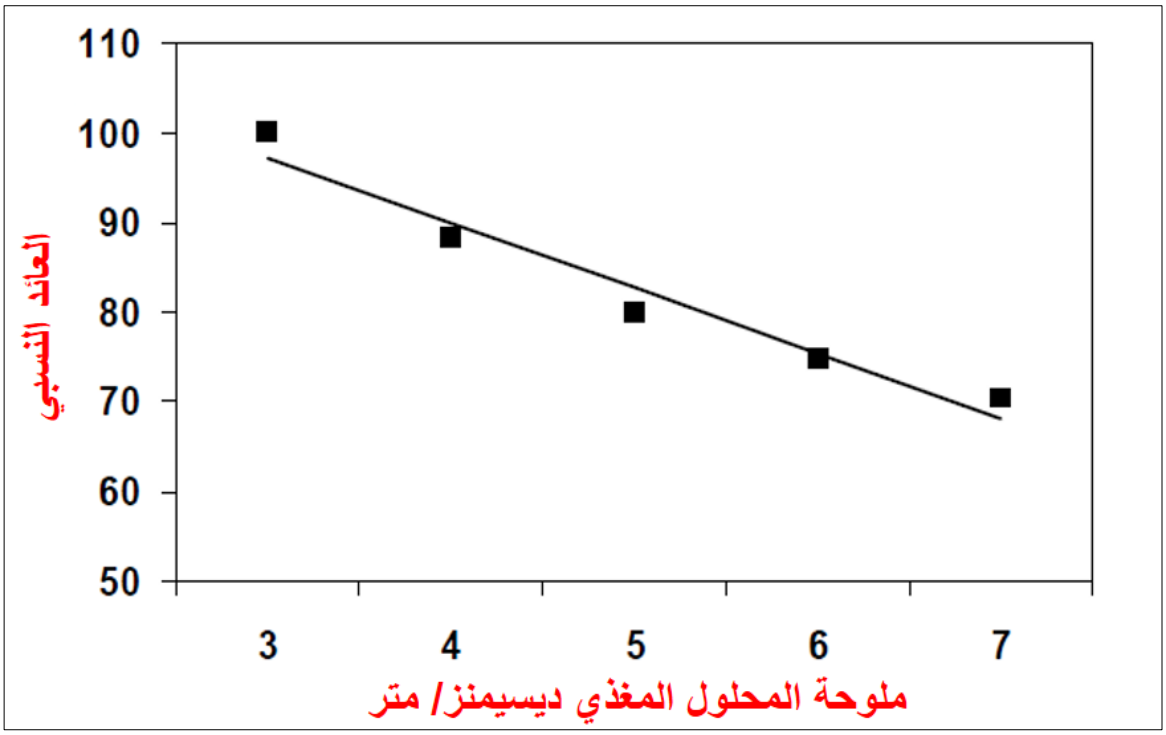
ويجدر الذكر بأنه كلما زادت ملوحة مياه الري فإن ذلك سيقلل من كمية العناصر المغذية التي يمكن إضافتها إلى المحلول المغذي للوصول إلى النسبة المثالية، ويفضل العاملون في مشاريع الزراعة بدون تربة استعمال أجهزة تحلية المياه للتخلص من هذه الأملاح الزائدة، حيث يستطيعون بذلك إضافة ما يحتاجه النبات من العناصر المغذية بشكل متوازن للحصول على أكبر عائد، ويبين الجدول التالي تصنيف جودة المياه تبعا لتركيز الأملاح لزراعة المحاصيل في الزراعة بدون تربة:

مستوى جودة المياه	الناقلية الكهربائية* Electrical Conductivity EC = ميلي سيمنز/سم (mS/cm)	ملاحظات

1	أقل من 0.5	مناسب لجميع المحاصيل
2	1.0–0.5	غير مناسب للأنظمة المغلقة عندما يعاد استخدام المحلول المغذي (غير مناسب لنظام الفيلم المغذي)
3	1.5–1.0	لا تستخدم للمحاصيل الحساسة للملوحة
المصدر : Heuvelink, E. 2005		
وحدات الناقلية الكهربائية هي : ميلي سيمنز/سم (mS/cm) =ديسيمنز/متر (dS/m) =100 ميكرو سيمنز/متر (µS /m)		
Heuvelink, E. (2005). *Tomatoes*. (Crop production science and horticulture; No. 13). CAB International. https://doi.org/10.1079/9780851993966.0000		

جدول 5: تصنيف جودة المياه تبعا لتركيز الأملاح لزراعة المحاصيل في الزراعة بدون تربة

يلاحظ من التجارب بشكل عام انخفاض غلة المحاصيل مع زيادة الملوحة، وفي تجربة لدراسة تأثير مستويات ملوحة المحلول المغذي في الزراعة بدون تربة على إنتاج البندورة في الأردن، تبين انخفاض الغلة مع ازدياد ملوحة المحلول المغذي ولوحظ أيضا من التجربة أن قدرة النبات على امتصاص الماء تنقص عند ازدياد مستويات الملوحة، كما كان هناك حاجة إلى زيادة كميات مياه الصرف المطلوبة للحفاظ على مستوى ملوحة ثابت في وسط النمو، في هذه التجربة تم أخذ مستوى الملوحة عند 3 ديسمنز/متر كنقطة مرجعية باعتبارها تشكل 100 في المائة من الغلة، وهي الملوحة الناتجة عن إضافة الأسمدة إلى المحلول المغذي، أما في المكررات الأخرى للتجربة فقد تم إضافة ملح كلوريد الصوديوم لزيادة مستوى الملوحة عن النقطة المرجعية، و يبين الشكل التالي مخططا لتأثير ملوحة المحلول المغذي على غلة البندورة:



رسم بياني 2: لتأثير ملوحة المحلول المغذي على غلة البندورة
المصدر: قريوتي وآخرون 2007

وينصح في الزراعة بدون تربة، الابتعاد عن استخدام مصادر المياه التي تحتوي على تراكيز عالية من بعض العناصر التي تؤثر سلبا على نمو النباتات والتي يمكن أن تؤدي إلى السمية، ويبين الجدول التالي بشكل عام المستويات القصوى لبعض المركبات والعناصر التي يسمح بوجودها في مياه الري في الزراعة بدون تربة:

العنصر	التركيز = ملغم/لتر أو (جزء في المليون)
البورون (B)	أقل من 1
الكالسيوم (Ca)	أقل من 200
الكربونات (CO3)	أقل من 60
الكلور (Cl)	أقل من 70 *
المغنيسيوم (Mg)	أقل من 60
الصوديوم (Na)	أقل من 180 *
الزنك (Zn)	أقل من 1
المصدر: * mith, R., 1999	
* الدراسات الحديثة للإنتاج التجاري تقدر نسبة الصوديوم المقبولة بشكل أكثر تحديدا تبعا لنوع المحصول كما سيأتي لاحقا.	
Smith, R. 1999. The growing world of hydroponics. Growing Edge 11 (1): 14–16.	

جدول 6: المستويات القصوى لبعض المركبات والعناصر التي يسمح بوجودها في مياه الري في الزراعة بدون تربة

9.4. محتوى الماء من الصوديوم (Na) والكلور(Cl) والكبريت (S)

الصوديوم موجود بشكل شائع في مياه الري، ويشكل محتوى الماء من الصوديوم أمرًا بالغ الأهمية، لأن النباتات لا تحتاج إلا كميات صغيرة منه، وتشكل الزيادة منه مشاكل في الملوحة وبالأخص في الأنظمة المغلقة عندما يتم إعادة استخدام المحلول المغذي، كما تسبب نقصا في

غلة المحاصيل، وبشكل عام يفضل عدم استخدام مياه تزيد نسبة الصوديوم فيها عن 1.5 ملمول/ليتر ويساوي 34.5 جزء في المليون، ويبين الجدول التالي مستويات الصوديوم (Na) القصوى المقبولة في منطقة الجذر في الزراعة بدون تربة لبعض المحاصيل:

المحصول	أقصى مستوى مقبول من الصوديوم (Na) في منطقة الجذر (مليمول/لتر)**	أقصى مستوى مقبول من الصوديوم (Na) في منطقة الجذر (جزء في المليون)
البندورة	8	184
الفليفلة الحلوة	6	138
الباذنجان	6	138
الخيار	6	138
البطيخ	6	138
الورد	4	92
المصدر: Der Lugt, Geerten. 2016		
للتحويل من مليمول/ليتر إلى جزء في المليون نضرب الوزن المولي بالوزن الذري للصوديوم وهو 23		

جدول 7: مستويات الصوديوم (Na) القصوى المقبولة في منطقة الجذر في الزراعة بدون تربة لبعض المحاصيل

يتواجد الكلور في العديد من مصادر المياه وتكون المستويات العالية منه ضارة بالمحاصيل، وتتحمل النباتات مستويات من الكلور أعلى بقليل مقارنة مع الصوديوم، لكن المستويات العالية من الكلور والصوديوم تؤثر سلبا على كمية الإنتاج.

ويعد الكبريت من العناصر الهامة لتغذية النبات، لكن على الرغم من أن الكميات الكبيرة من أيون الكبريت مقبولة في محاليل الزراعة المائية، حيث تمتلك معظم النباتات قدرة عالية على تحمل التركيزات المرتفعة منه، إلا أن زيادته ستحد من استخدام الأسمدة التي تحتوي على الكبريتات، وهذا يقلل من الخيارات المتاحة لاستخدام الأسمدة الكبريتية في المحلول المغذي، ويبين الجدول التالي تصنيف المياه للزراعة بدون تربة تبعا لتركيز الصوديوم والكلور والكبريت فيها:

مستوى جودة المياه	الصوديوم (Na) (جزء في المليون)	الكلور (Cl) (جزء في المليون)	الكبريت (S) (جزء في المليون)	ملاحظات
1	أقل من 30	أقل من 50	أقل من 100	مناسب لجميع المحاصيل
2	60-30	100-50	200-100	غير مناسب للأنظمة المغلقة عندما يعاد استخدام المحلول المغذي
3	90-60	150-100	300-200	لا تستخدم للمحاصيل الحساسة للملوحة
المصدر : Heuvelink, E. 2005				

جدول 8: تصنيف المياه للزراعة بدون تربة تبعا لتركيز الصوديوم والكلور والكبريت فيها

في بعض الأحيان يلجأ بعض المزارعين إلى استخدام مياه ذات محتوى أعلى من الصوديوم، وذلك لتحسين بعض الخواص التسويقية لمحصول البندورة مثل الحموضة والعمر التسويقي وغيرها، وفي تجربة للباحثين Sonneveld and Welles عام 1988 تم زيادة الموصلية الكهربائية للمحلول المغذي لمحصول البندورة من 2.6 إلى 3.5 وذلك بإضافة كلوريد الصوديوم فقط وتبين بأن هذا الزيادة لم تؤثر كثيرا على الغلة لكنها حسَنت من بعض الخواص التسويقية:

الخصائص	الموصلية الكهربائية = 2.6	الموصلية الكهربائية = 3.5
عدد الثمار/متر مربع	224	222
الغلة كغ/متر مربع	12.7	11.9
متوسط وزن الفاكهة (غرام)	56	54
مؤشر شكل الثمرة	6.4	6.6
تلوين الثمرة (يوم)	4.4	4.1
مدة الصلاحية (يوم)	17.5	19.2
درجة ملوحة عصارة الفاكهة ديسيمنز/متر	5.8	6.2
حموضة عصارة الفاكهة مليمول/ليتر	75	84

Welles, G.W.H., 1988. Yield and quality of rockwool-grown tomatoes as affected by variations in EC values Sonneveld, C., 37-42. and climatic conditions. Plant Soil 111,

جدول 9: نتائج تجربة إضافة الاملاح على الصفات التسويقية للبندورة

9.5. محتوى الماء من الكالسيوم (Ca)والمغنيسيوم (Mg)

الكالسيوم والمغنيسيوم من العناصر المغذية للنبات، وغالبًا ما يوجد الكالسيوم والمغنيسيوم في مياه الري بكميات كبيرة، ولكنهما يمكن أن يشكلا مشكلة عند تواجدهما بشكل كربونات أو بيكربونات، كما يجب الانتباه إلى خصم الكمية المتوفرة منهما في مياه الري عند حساب كمية العناصر المغذية المراد الوصول إليها في المحلول المغذي.

9.6. رقم الحموضة pH

رقم الحموضة هو مصطلح يستخدم عالميا للتعبير عن شدة حموضة المحاليل، وبتعبير أدق مقياس لتركيز أيونات الهيدروجين المتاحة في المحاليل، وله تسميات كثيرة مثل الرقم الهيدروجيني أو دليل شوارد الهيدروجين أو الأس الهيدروجيني، وتستخدم مؤشرات رقم الحموضة عادة في عمليات المعايرة الكيميائية.

ويشار إلى رقم الحموضة باختصار pH والمعنى الدقيق لـ "p" في "pH" متنازع عليه، ولكن وفقا لمؤسسة Carlsberg، فإن pH تشير إلى "قوة الهيدروجين بينما يعيدها البعض إلى كلمة Potenz الألمانية وتعني القوة، بينما يشير اقتراح آخر هو أن "p" تعني المصطلحات اللاتينية pondus hydrogenii وتعني كمية الهيدروجين أو potentia hydrogenii وتعني قدرة الهيدروجين أو الهيدروجين المحتمل.

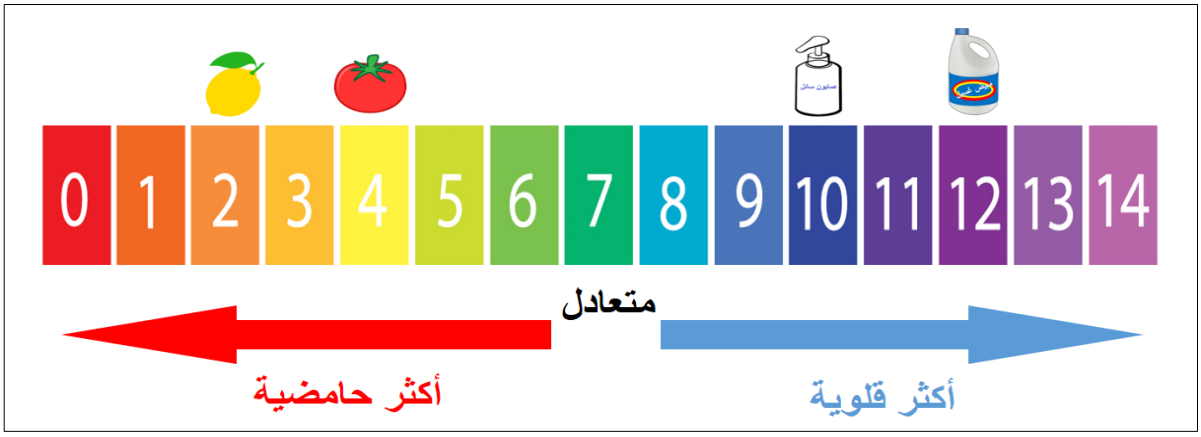
وبمعنى أدق تعتمد قيمة رقم الحموضة pH على تركيز كل من أيون الهيدروجين وصيغته (H^+) وأيون الهيدروكسيد السالب وصيغته (OH^-)، تتدرج قيم رقم الحموضة من 0 إلى 14، لكن عند

النظر إلى رقم الحموضة 7 فهو محايد مثل حالة الماء النقي، حيث يحوي تركيزات متكافئة من الهيدروجين (H^+) والهيدروكسيد (OH^-)، أما القيم التي أقل من 7 فهي حامضية وأعلى من ذلك تكون قلوية (قاعدية)، كما يتضح من الجدول التالي:

المحلول الحامضي	المحلول المتعادل	المحلول القلوي (القاعدي)
تركيز الهيدروجين (H^+) أكبر من تركيز الهيدروكسيد (OH^-) وقيمة PH أقل من 7	تركيز الهيدروجين (H^+) مساويا لتركيز الهيدروكسيد (OH^-) وقيمة PH تساوى 7	تركيز الهيدروجين (H^+) أقل من تركيز الهيدروكسيد (OH^-) وقيمة PH أكبر من 7

جدول 10 رقم الحموضة وتركيز أيون الهيدروجين والهيدروكسيد

من الأمثلة على رقم الحموضة المنخفض، بعض المواد الحامضة مثل عصير الليمون (pH2.2) والخل (pH3) وعصير البندورة (pH4)، أما الماء المقطر فهو متعادل ورقم الحموضة له هو 7، ومن الأمثلة على المواد القلوية بيكربونات الصوديوم (pH9) المستخدمة من قبل الكثير من الأشخاص لمعالجة مشاكل حموضة المعدة والصابون السائل (pH10) والمبيضات المنزلية (pH12).



رسم توضيحي 24: مخطط لتدرجات رقم الحموضة

ويجب الانتباه بأن رقم الحموضة هو مقياس لوغاريتمي وهذا يعني أن رقم الحموضة 4 أكثر حمضية **عشرة مرات** من رقم الحموضة 5 **ومئة مرة** أكثر حمضية من رقم الحموضة 6.

9.7. القلوية الكلية لمياه الري

القلوية هي التركيز الكلي للقواعد في الماء، وبعبارة أخرى القلوية الكلية هي مقياس لقدرة الماء على مقاومة التغير في رقم الحموضة للمحاليل، وتسمى أيضًا قدرة التخزين المؤقت للحمض، لكنها ليست أيونًا محددًا وتشتمل على العديد من الأيونات التي تؤثر على قدرة التخزين المؤقت للحمض. في معظم الأحيان تكون أيونات بيكربونات الكالسيوم أو المغنيسيوم أو الصوديوم ذات تأثير أكبر على القلوية الكلية، وبدرجة أقل الكربونات مثل كربونات الكالسيوم أو الصوديوم،

كما يمكن أن تساهم أيضًا العديد من الأيونات الأخرى مثل الهيدروكسيدات أو غيرها في القلوية الكلية، لكن تركيزها في معظم مياه الري عادةً ما يكون منخفضًا جدًا بحيث يمكن تجاهله.

تقاس القلوية الكلية بالميلي غرام لكل لتر وتساوي جزء من المليون من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) وتتراوح ما بين 50 إلى 500 جزء في المليون وتعتبر المستويات بين 30 و60 جزء في المليون من كربونات الكالسيوم مثالية لمعظم النباتات.

وعلى سبيل المثال توفر كربونات الكالسيوم وكربونات المغنيسيوم عند ذوبانها كاتيونات الكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنيسيوم (Mg^{2+}) وأنيونات الكربونات (CO_3^{2-}) والبيكربونات (HCO_3^-)، وتؤثر القلوية الكلية على كمية الحمض المطلوبة لمعادلة رقم الحموضة عند تحضير المحاليل المغذية، فعند إضافة الحمض ستقوم الكربونات والبيكربونات الموجودة في الماء بالتفاعل مع هيدروجين الحمض المضاف وتقوم بتحييد الحمض المضاف، وينتج الماء وثاني أوكسيد الكربون كما في المعادلة التالية:

$$Ca^{2+} + 2\ HCO_3^- + 2HNO_3 \leftrightharpoons Ca^{2+} + 2CO_2 + 2H_2O + 2NO_3$$

$$HCO_3^-\ (\text{في الماء}) + H^+\ (\text{من الحمض}) \rightarrow CO_2 + H_2O$$

يمكن استخدام عدة أحماض لمعادلة القلوية الكلية، ولكن يجب الانتباه بأنه عند إضافة الأحماض فان ذلك سيضيف العناصر المغذية المرتبطة بالحمض مثل النتروجين والفوسفور والكبريت، لذلك يجب ألا تتجاوز هذه الكميات التركيزات المطلوبة في المحلول المغذي، ونتيجة لذلك يعد التركيز الأولي للكربونات والبيكربونات في مياه الري قضية جودة رئيسية.

ويجدر بالذكر بأن معالجة البيكربونات بالأحماض سوف تطلق غاز ثاني أكسيد الكربون والماء، لذلك يجب أن يكون الخزان مفتوحا لإطلاق غاز ثاني أوكسيد الكربون في الهواء وعدم ارتفاع الضغط داخل الخزان.

ويجدر بالذكر بأن رقم الحموضة والقلوية الكلية هما عاملان مهمان في تحديد مدى ملاءمة الماء لري النباتات، يجب أن تتضمن اختبارات مياه الري دائمًا اختبارات رقم الحموضة والقلوية الكلية واختبار رقم الحموضة في حد ذاته ليس مؤشرا على القلوية، فرقم الحموضة هو مقياس لتركيز أيونات الهيدروجين (H^+) في الماء أو السوائل الأخرى.

في معظم الحالات لا يسبب استعمال مياه ذات رقم حموضة مرتفع قليلا بحدود 7 أية مشاكل، طالما أن القلوية الكلية منخفضة حيث يكون لهذه المياه تأثير ضئيل على رفع الرقم الهيدروجيني لأنها لا تملك سوى القليل من القدرة على تحييد الحموضة.

10. المحلول المغذي في الزراعة بدون تربة

تسمى مياه الري التي تحتوي على العناصر الغذائية اللازمة لنمو النباتات بالمحلول المغذي، وهذا المحلول يحوي تراكيز محددة من العناصر الغذائية حسب نوع النباتات المزروعة ومراحل نموها المختلفة.

يحتوي المحلول المغذي بشكل أساسي على أيونات غير عضوية من أملاح الأسمدة القابلة للذوبان تحتوي على العناصر الضرورية لنمو النباتات، وقد يحتوي المحلول المغذي على بعض المركبات العضوية مثل المخلّبات (الشيلات) والأحماض العضوية وغيرها.

ومن أجل الحصول على نباتات صحية وسليمة، يجب التأكد دائما من عدم وجود نقص في العناصر المغذية الضرورية للنباتات، كما يجب أن تكون هذه العناصر موجودة بكميات مدروسة ونسب محددة مسبقا خلال المراحل المختلفة لنمو النباتات، وعند وصول المحلول المغذي إلى وسط النمو تستخدم النباتات والميكروبات جزءا منه، أو تقوم بضخ المركبات المختلفة إليه، مما يجعله متغيرا بشكل مستمر، ويجب إدارته بالشكل الأمثل من خلال مختلف الممارسات البستانية.

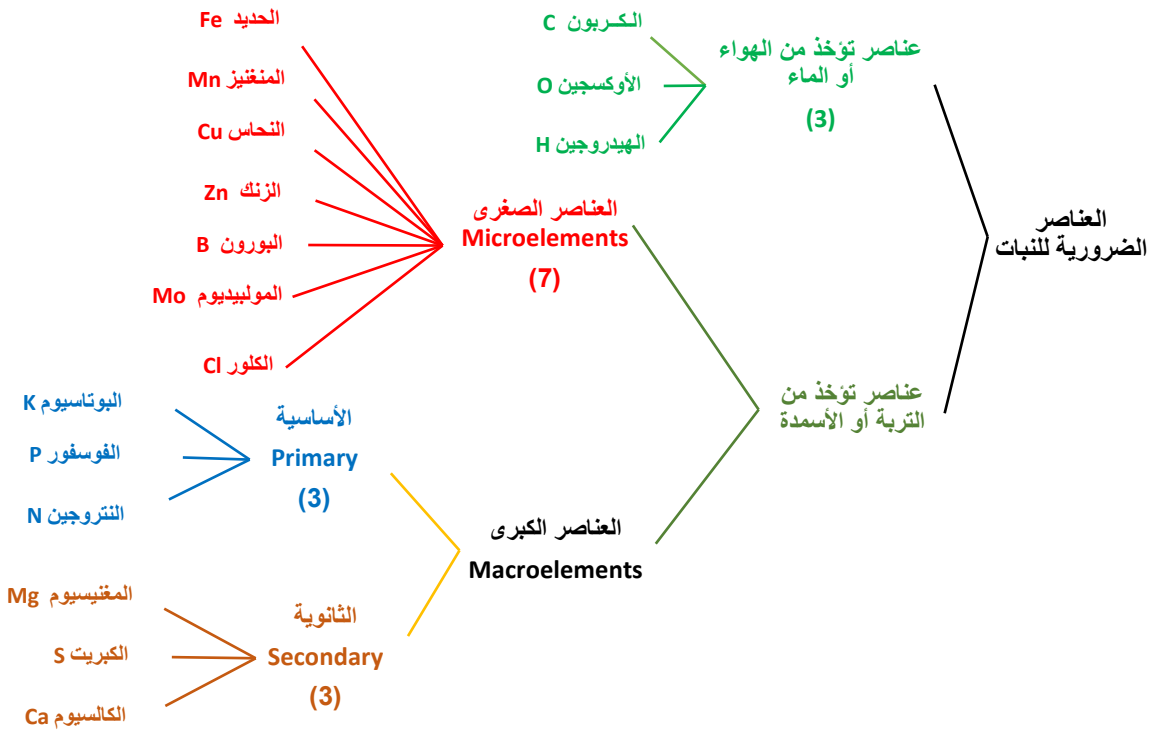
وبشكل عام لا يوجد إلى الآن ما يسمى بالمحلول المغذي المثالي، والذي يصلح لزراعة كافة النباتات، حيث تختلف النباتات في احتياجاتها من العناصر المغذية وذلك حسب نوعها ومراحل نموها وحالة الطقس المحيطة وعوامل أخرى.

10.1. العناصر الغذائية (العناصر السمادية) التي يجب توفيرها في المحلول المغذي

يحتاج النبات إلى عناصر مغذية ضرورية لنموه وتطوره وعددها 16 عنصر، وذلك من أصل أكثر من 60 عنصر يتواجد في النباتات، ويوجد لكل عنصر من هذه العناصر وظائف أساسية في النباتات، ويؤدي نقصها إلى تأثيرات سلبية على نمو وتطور النباتات، ولكي يقال بأن هذا العنصر ضروري يجب أن تتوفر فيه الشروط التالية:

- له تأثير مباشر على النمو أو التمثيل الغذائي للنباتات.
- يشارك العنصر بشكل مباشر في تغذية النباتات، بعيدًا عن آثاره المحتملة في تصحيح بعض الظروف المكروبيولوجية أو الكيميائية غير المواتية للتربة.
- عند عدم توفر هذا العنصر لا يمكن للنباتات إكمال دورة حياتها الطبيعية بمراحلها المختلفة من النمو الخضري والزهري إلى الإثمار.
- نقص العنصر المغذي يؤدي إلى ظهور أعراض نقص خاصة بهذا العنصر على النباتات، ولا تزول هذه الأعراض إلا بإضافته.
- لا يمكن تعويض هذا العنصر المغذي بأي عنصر آخر للقيام بوظائفه.

تم اكتشاف معظم هذه العناصر المغذية الضرورية للنباتات بين عامي 1922 و1954 وفي العام 1987 أضاف العالم Brown et al النيكل (Ni) كعنصر ضروري مغذي للنباتات، ولكن لا يوجد إجماع بين العلماء حول ما إذا كان النيكل عنصرا ضروريًا أم عنصرا مفيدًا، ومع ذلك لا تعتبر هذه القائمة نهائية ومن المحتمل أن يتم إضافة عناصر أخرى لهذه القائمة مستقبلا، ويبين الشكل التالي تصنيف العناصر المغذية الضرورية للنباتات حسب إجماع معظم العلماء:



رسم توضيحي 25: تصنيف العناصر المغذية الضرورية للنباتات حسب إجماع معظم العلماء

يتم تصنيف العناصر المغذية الضرورية بشكل عام بناءً على تركيزها النسبي في النباتات الذي يعكس حاجتها إليها، وتحصل النباتات على القسم الأكبر من العناصر المغذية الضرورية من الهواء والماء، حيث يتم الحصول على الكربون (C) والأكسجين (O) من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، ويتم الحصول على الهيدروجين (H) من الماء (H_2O)، وتتطلب النباتات هذه العناصر الثلاثة بكميات كبيرة لإنتاج المكونات النباتية المختلفة مثل السليلوز والنشاء وغيرها.

ويشكل الأكسجين والكربون والهيدروجين ما مجموعه 93 في المائة من محتوى النباتات من العناصر المغذية الضرورية، والنسب على التوالي هي: الأوكسجين 44 في المائة والكربون 42 في المائة والهيدروجين 7 في المائة، وتشكل العناصر الثلاثة عشر الأخرى ما نسبته 7 في المائة.

وتقسم العناصر المغذية الضرورية التي تؤخذ من الأسمدة والتربة، إلى عناصر مغذية كبرى تحتاجها النباتات بمقادير كبيرة، وعناصر مغذية صغرى أو دقيقة تحتاجها النباتات بكميات قليلة جدا تقاس بأجزاء من المليون، وتقسم العناصر المغذية الكبرى إلى العناصر الأساسية التي تضم النيتروجين (N) والفوسفور (P) والبوتاسيوم (K) وهي العناصر الأكثر تواجدا في الأسمدة التجارية، والعناصر الثانوية والتي تضم الكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg) والكبريت (S) وتوجد في الأسمدة المركبة ومحسنات التربة.

أما العناصر الصغرى، فتشمل كل من الحديد (Fe) والمنغنيز (Mn) والزنك (Zn) والبورون (B) والنحاس (Cu) والكلور (Cl) والموليبدينوم (Mo)، ويحتاجها النبات بكميات قليلة جدا، حيث يمكن أن تسبب السمية عند زيادة تراكيزها في التربة أو المحاليل المغذية.

بالإضافة إلى العناصر المغذية الضرورية يوجد هناك بعض العناصر المفيدة التي تحتاجها بعض النباتات مثل الكوبالت (Co) والصوديوم (Na) والفاناديوم (V) والسيليكون (Si) وغيرها، حيث تلعب أدوارا مختلفة في النباتات، ومن الجدير ملاحظته بأن النباتات تمتص العناصر المغذية الضرورية بأشكال أيونية محددة من التربة والأسمدة، ويبين الجدول التالي دور العناصر المغذية الضرورية في نمو النباتات وصورة امتصاصها من قبل النباتات:

العنصر المغذي الضروري	الصورة التي يمتص فيها من قبل النبات	بعض أدوار العنصر في تغذية النبات
الكربون (C)	CO_2	يتم الحصول على الكربون من غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عن طريق التمثيل الضوئي، و يدخل في تركيب جميع المركبات العضوية مثل السكريات والبروتينات والأحماض العضوية، حيث تُستخدم هذه المركبات في المكونات الهيكلية والتفاعلات الأنزيمية والمواد الوراثية وغيرها.
الهيدروجين (H)	H_2O	يعتبر الهيدروجين أيضًا أحد مكونات المركبات العضوية في النبات، كما تشارك أيونات الهيدروجين في التفاعلات الكهروكيميائية للحفاظ على توازن الشحنات عبر أغشية الخلايا.
الأوكسجين (O)	O	الأكسجين هو العنصر الثالث في الجزيئات العضوية النموذجية مثل السكريات البسيطة، كما أن له دوراً هاماً في العديد من التفاعلات الكيميائية الحيوية النباتية.
النتروجين (N)	$NO3^-$ NH_4^+	هو عنصر مهم جدا لنمو النبات ويوجد في العديد من المركبات، كالكلوروفيل وهي الصبغة الخضراء في النباتات والأحماض الأمينية والبروتينات والأحماض النووية والعضوية.
الفوسفور P	$H_2PO_4^-$ HPO_4^{2-}	يستخدم الفوسفور في العديد من مركبات نقل الطاقة في النباتات، كما أن له وظيفة هامة جدًا في الأحماض النووية وهي اللبنات الأساسية لمادة الشيفرة الوراثية في الخلايا النباتية.
البوتاسيوم K	K^+	يستخدم البوتاسيوم كمنشط في العديد من التفاعلات الإنزيمية في النبات، كما يلعب دورا هاما آخر في انتفاخ أو انكماش الخلايا الحارسة الموجودة حول الثغور التنفسية في الأوراق، ويتحكم في مستوى تبادل الغازات وبخار الماء من خلال هذه الثغور.
الكالسيوم Ca	Ca^{2+}	ضروري لتكوين بكتات الكالسيوم لتطوير جدار الخلية، بالإضافة إلى ذلك يتم استخدام الكالسيوم من قبل النبات كعامل مساعد لبعض التفاعلات الأنزيمية.
المغنيسيوم Mg	Mg^{2+}	يلعب دورًا مهمًا في الخلايا النباتية لأنه يظهر في وسط جزيء الكلوروفيل، كما تتطلب بعض التفاعلات الأنزيمية المغنيسيوم كعامل مساعد.
الكبريت S	SO_4^{2-}	هو أحد المكونات الأساسية للأحماض الأمينية مثل الميثيونين و بعض الأنزيمات.

الكلور Cl	Cl^-	يلعب الكلور دورًا في عملية التمثيل الضوئي.
الحديد Fe	Fe^{2+} Fe^{3+}	يلعب دورا في التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تشكل الكلوروفيل كما يدخل في تفاعلات الإنزيمات.
البورون B	BO^{32-} $B_4O_7^{2-}$	ما زالت أدوار البورون في النباتات غير واضحة، لكنه مهم لنمو الخلايا الميرستيمية في الأطراف النامية للجذور.
المنغنيز Mn	Mn^{2+}	يعمل في العديد من التفاعلات الأنزيمية التي تنطوي على مركب الطاقة أدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP)، كما أنه ينشط العديد من الإنزيمات ويشارك في نظام نقل الإلكترون في عملية التمثيل الضوئي.
الزنك Zn	Zn^{2+}	يشارك الزنك في تنشيط العديد من الإنزيمات في النبات، وهو ضروري لتخليق حمض الإندول الأسيتيك (IAA) أحد منظمات النمو في النبات.
النحاس Cu	Cu^+ Cu^{2+}	هو أحد مكونات العديد من الإنزيمات في النباتات، وهو جزء من أحد البروتينات في نظام نقل الإلكترون في عملية التمثيل الضوئي.
الموليبدينوم Mo	MoO_4^{2-}	عنصر أساسي لإنزيمين يشاركان في استقلاب النيتروجين.

جدول 11: دور العناصر المغذية الضرورية في نمو النباتات وصورة امتصاصها من قبل النباتات

10.2. الأسمدة

يعرف السماد بأنه منتج صخري منقَى أو مصنع، ويحتوي على واحد أو أكثر من العناصر المغذية الضرورية للنباتات، في صورة ميسرة أو محتمل تيسرها للنباتات، وفي كميات ذات قيمة تجارية، دون احتوائها على مواد ضارة أعلى من الحدود المسموح بها[6]، وتقسم الأسمدة كما يلي:

الأسمدة المعدنية البسيطة:

وهي الأسمدة التي تحتوي على عنصر واحد من العناصر المغذية الضرورية الأساسية الكبرى (النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم)، وتتواجد بشكل سائل أو صلب، ومنها أسمدة النتروجين مثل اليوريا وكبريتات الأمونيوم والأمونيا، وأسمدة الفسفور مثل السوبرفوسفات وحامض الفسفوريك.

الأسمدة المعدنية المركبة:

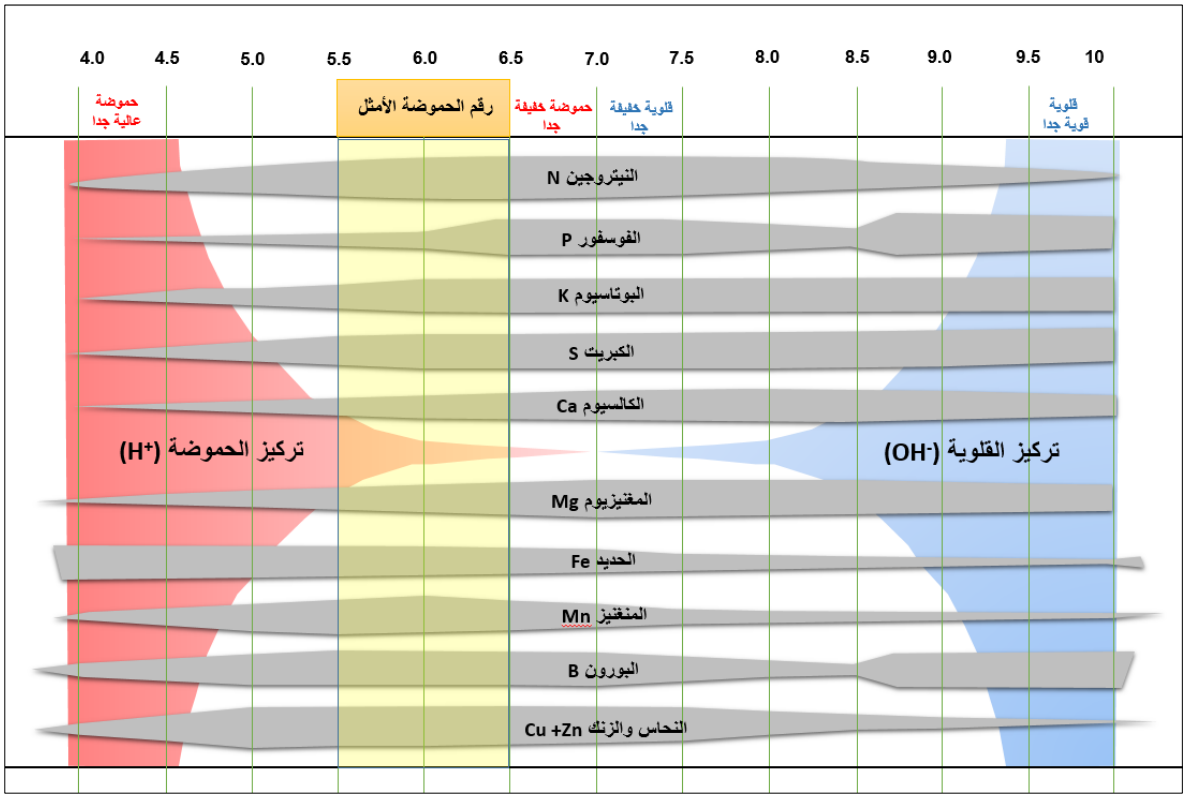
وهي الأسمدة التي تحتوي على عنصرين أو أكثر من العناصر المغذية الضرورية الأساسية الكبرى، وتحضر بخلط اثنين أو أكثر من الأسمدة المعدنية البسيطة، وقد يضاف إليها العناصر المغذية الضرورية الأساسية المغذية الصغرى بنسب معينة وبصورة متجانسة، ومن الأمثلة على هذه الأسمدة أسمدة فوسفات الأمونيوم ونترات البوتاسيوم وفوسفات البوتاسيوم وغيرها.

[6] منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة 2006

10.3. رقم الحموضة

10.3.1. أهمية رقم الحموضة في المحلول المغذي

تأتي أهمية رقم حموضة المحلول المغذي من تأثيره المباشر على قابلية ذوبان أو ترسيب أو توافر العديد من العناصر المغذية للنباتات، وبشكل عام يوضح مخطط Troug تأثير رقم الحموضة على توافر العناصر المغذية في التربة، حيث يتم تمثيل كل عنصر مغذي بنطاق ذو عرض محدد في كل درجة من درجات رقم الحموضة، حيث يزداد عرض هذا النطاق مع زيادة توافر هذا العنصر المغذي، ويُظهر كل عنصر من العناصر المغذية استجابات مختلفة للتغيرات في رقم الحموضة كما هو موضح في الرسم التالي:



رسم بياني 3: تأثير رقم الحموضة على توافر العناصر المغذية في التربة

تتراوح قيم رقم الحموضة المثلى في أنظمة الزراعة المائية ما بين 5.5 و6.5 حيث تتوفر في هذه الحدود كل العناصر المغذية الضرورية بشكل ميسر للنبات، ويلاحظ بأن كل نبات لديه قيمة محددة من رقم الحموضة مناسبة لنموه الأمثل، ويمكن أن يقل امتصاص بعض العناصر الغذائية إذا تجاوزت قيم رقم الحموضة هذه الحدود.

عندما يرتفع رقم الحموضة إلى أعلى من 7 فإن ذلك يؤثر على توافر بعض العناصر المغذية فالحديد (Fe) والمنغنيز (Mn) والكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg) قد تشكل رواسب وتصبح غير متوفرة، وقد ينخفض قليلا توفر البوتاسيوم (K) والفوسفور (P)، وقد ظهر نقص الفوسفور المتاح بوضوح عندما تم زراعة البندورة في محلول مغذي ذو رقم حموضة مرتفع، كما لوحظ بدء ترسب فوسفات الكالسيوم عند ارتفاع رقم الحموضة عن 6.5.

كما لوحظ قلة توفر الفوسفور (P) والكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg) والبوتاسيوم (K) عند انخفاض رقم الحموضة عن 5.5، كما يمكن أن يسبب انخفاض رقم الحموضة إلى أقل من 5.5 إلى نمو الفطريات وتضرر الجذور، وقد ظهر هذا واضحا على جذور نباتات الخس المزروعة في نظام الغشاء المغذي عندما تمت إضافة حمض الفوسفور بشكل مبالغ فيه، مما أدى إلى انخفاض درجة حموضة المحلول المغذي إلى أقل من 5 مما نتج عنه احتراق الجذور وذبول الأوراق وبعد فترة قصيرة موت النباتات.

صورة 118: احتراق جذور نبات الخس

صورة 119: ذبول أوراق الخس

كما ظهرت أعراض نقص العناصر عند ارتفاع رقم الحموضة إلى أكثر من 8 عند زراعة الخيار في نظام الغشاء المغذي رغم وجود جميع العناصر المغذية الضرورية في المحلول المغذي المضاف.

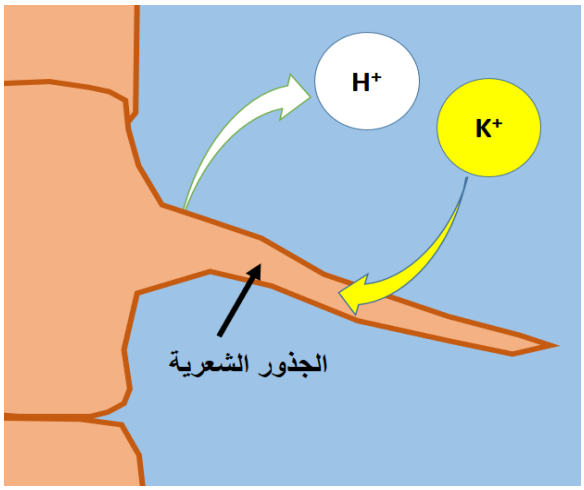
صورة 120: ظهور أعراض نقص العناصر على نبات الخيار

10.3.2. ما الذي يسبب تغير رقم الحموضة في الزراعة بدون تربة؟

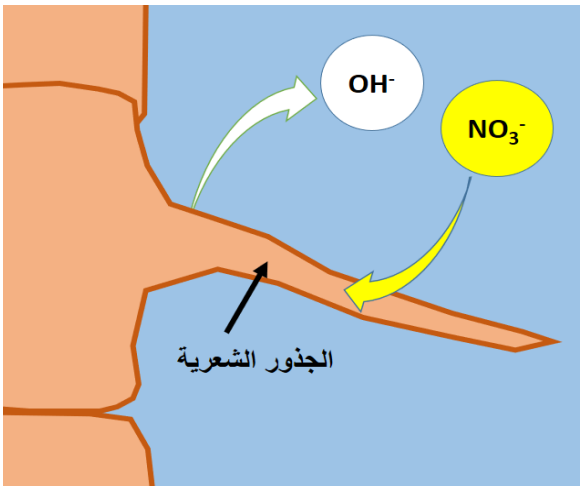
كما ذكر سابقا يحدد رقم الحموضة توافر المغذيات للنباتات لذلك يجب أن يتم ضبطه يوميًا، وعند إدارة المحلول المغذي بشكل جيد فإنه سوف يتغير بمعدلات طبيعية يمكن السيطرة عليها، وكلما كان حجم المحلول المغذي أقل، كلما كان تغير رقم الحموضة سريعا ويتطلب تعديلات متكررة للبقاء ضمن النطاق الأمثل.

عندما تستمر النباتات بامتصاص أيونات العناصر المغذية من المحلول المغذي، فإن رقم الحموضة سيتغير باستمرار إذا ترك دون رقابة، وغالبا ما ينخفض لعدة أيام بعد زراعة محصول جديد، ثم يبدأ بعد ذلك بالازدياد عندما تكبر النباتات، ويرجع ذلك إلى الامتصاص التفاضلي للأيونات من المحلول المغذي من قبل النباتات، حيث يترافق ذلك مع إطلاق الهيدروجين (H^+) أو الهيدروكسيل (OH^-) من نظام الجذر.

فعندما يقوم النبات بامتصاص عناصر مغذية ذات شحنة موجبة، مثل كاتيونات الكالسيوم (Ca^{2+}) والبوتاسيوم (K^+) والمغنيسيوم (Mg^{2+}) من المحلول المغذي في منطقة الجذر، فسيقوم النبات بإطلاق أيونات الهيدروجين (H^+) من نظام الجذر، وذلك لمعادلة نسبة العناصر ذات الشحنات الموجبة (الكاتيونات) مع العناصر ذات الشحنات السالبة (الأنيونات) في منطقة الجذر، ومن شأن هذا أن يقلل من رقم الحموضة للمحلول المغذي، وعندما تدخل النباتات في المرحلة النشطة للنمو تبدأ باستهلاك الأنيونات مثل النترات (NO_3^-) بشكل كبير مما يزيد من رقم الحموضة بسبب إطلاق أيونات الهيدروكسيل (OH^-) والبيكربونات ($HCO3^-$) من نظام الجذر إلى وسط النمو ومنه إلى المحلول المغذي.



رسم توضيحي 26: إطلاق أيونات الهيدروجين من الجذور الشعرية



رسم توضيحي 27: إطلاق أيونات الهيدروكسيل من الجذور الشعرية

ونلاحظ بشكل عام ازدياد رقم الحموضة في فترات الإضاءة الكافية والنمو السريع للنباتات، حيث يزداد امتصاص الأنيونات ذات الشحنة السالبة عن الكاتيونات ذات الشحنة الموجبة، بسبب زيادة امتصاص النترات واستخدامها في عملية التمثيل الغذائي للنباتات.

ويتم خفض رقم الحموضة عادة باستخدام الأحماض المخففة، وعند إضافة الأحماض إلى المحلول المغذي مثل حمض النيتريك أو الفوسفور أو الكبريت، فيجب الانتباه إلى أنها تضيف عناصر مغذية جديدة إلى المحلول المغذي يجب حسابها بدقة فهي تؤثر على تركيبة المحلول المغذي وتوازن العناصر الداخلة فيه.

في بعض الأحيان يمكن استخدام بعض الأسمدة لتقليل الرقم الهيدروجيني للمحلول المغذي، مما يقلل الحاجة إلى الأحماض، فعلى سبيل المثال يمكن استخدام أسمدة الأمونيوم وبكميات لا تتجاوز 10 إلى 15 في المائة من إجمالي النيتروجين الكلي، وبحد أقصى من 14 إلى 21 جزء في المليون من النتروجين على شكل أمونيوم (NH_4^+)، لكن يحذر من زيادة أسمدة الأمونيوم

عن هذه النسبة فقد تسبب السمية للنباتات عند زيادة كميتها كما يمكنها أن تتنافس مع امتصاص الكالسيوم.

وقد لوحظ بأن الأمونيوم على عكس النترات يكِون أيوناً موجباً (NH_4^+)، وعندما يتم امتصاصه من قبل النباتات يتم استبداله بأيونات الهيدروجين (H^+)، مما يقلل من رقم الحموضة للمحلول المغذي في منطقة الجذر، بالإضافة إلى ذلك يشكل الأمونيوم عند تفاعله مع الماء مركب هيدروكسيد الأمونيوم وأيونات الهيدروجين، التي ينتج عنها تأثير حمضي خفيف عندما تكون في المحلول المغذي كما يظهر في التفاعل التالي:

$$2NH_4+2H_2O \rightarrow 2NH_4OH+H_2$$

10.3.3. كيفية ضبط رقم الحموضة للمحلول المغذي

في الأنظمة المغلقة يعاد تدوير المحلول المغذي بشكل دائم ويكمل دورته بشكل كامل في دقائق معدودة، لذلك يمكن قياسه مباشرة في خزان التجميع لمعرفة التغييرات التي تحصل عليه، أما بالنسبة لأنظمة الزراعة في الأوساط الصلبة، فغالبا ما يتم ريها بالتنقيط ولا يتم إعادة تدوير المحلول المغذي، ويكون التحكم في الرقم الهيدروجيني مختلفا، حيث يتغير الرقم الهيدروجيني مع تدفق المحلول إلى منطقة الجذور، حيث تقوم الجذور بامتصاص أو إطلاق الأيونات التي تؤثر على قيمته، كما أن وسط النمو يلعب دورا في ذلك، ويعتمد تعديل الرقم الهيدروجيني في خزان الإمداد بالمغذيات، على قيمة رقم الحموضة المقاس لمحلول العصارة الراشحة الذي يتم تصريفه من قاعدة حوض الزراعة أو الأكياس أو الألواح.

على سبيل المثال إذا كانت القيمة المحددة لرقم الحموضة في المحلول المغذي هي 6 ورقم الحموضة في محلول العصارة الراشحة هو 7، فيجب خفض رقم الحموضة للمحلول المغذي إلى النقطة التي يبدأ فيها محلول العصارة الراشحة بالنزول إلى 6، بشرط ألا يقل عن 5.5 في أي حال من الأحوال خوفا من تضرر الجذور.

تتميز معظم مصادر المياه في الأردن بارتفاع رقم الحموضة، وعادة ما تكون ممارسات خفض رقم الحموضة للمحلول المغذي هي الأكثر شيوعا، حيث يجب قياسه مرتين على الأقل يوميا، خاصة بعد بضع ساعات من إضافة المحلول المغذي الجديد، ويتم ذلك الخفض باستخدام الأحماض.

تصنَف الأحماض إلى أحماض قوية وأحماض ضعيفة، وتتميز الأحماض القوية بتفكك معظم جزيئاتها عند إضافتها للماء، كحمض كلور الماء (HCl) وحمض النتريك (HNO_3) وحمض الكبريت (H_2SO_4)، وتكّون كمية كبيرة من أيونات الهيدروجين (H^+)، أما الأحماض الضعيفة كحمض الخل فيتفكك جزئيا في الماء بنسبة 4 في المائة فقط، ونادراً ما يستخدم تجاريًا في أنظمة الزراعة المائية.

الأحماض الأكثر شيوعًا المستخدمة لخفض رقم الحموضة في المحاليل المغذية، هي حمض الفوسفوريك (H_3PO_4) وحمض النيتريك (HNO_3)، ومن المهم أن يتوفر تحليل للمياه لتحديد الحمض المناسب للمياه المستخدمة، فعند وجود كميات كبيرة من بيكربونات الكالسيوم في مياه الري، يفضل استخدام حمض النتريك عوضا عن حمض الفوسفوريك لخفض رقم الحموضة، وذلك بسبب التفاعلات التي تجري ما بين الحمض المضاف وبيكربونات الكالسيوم حسب المعادلات الكيميائية التالية:

$Ca(HCO_3)_2+2HNO_3=Ca(NO_3)_2+CO_2+2H_2O$

$Ca(HCO_3)_2+2H_3PO_4=Ca(H_2PO_4)_2+2CO_2+2H_2O$

نلاحظ من هذه التفاعلات بأنه عند استخدام حمض النيتريك، فإن ناتج التفاعل هو نترات الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون والماء، حيث تبقى مكونات نترات الكالسيوم متاحة في المحلول المغذي ويستفيد منها النبات، أما في حالة إضافة حمض الفوسفور فينتج عن هذا التفاعل فوسفات الكالسيوم، وهو راسب غير قابل للذوبان في الماء ولا يمكن للنبات امتصاصه، وفي هذه الحالة نكون قد خسرنا الكالسيوم والفوسفور الذي يشكلان جزءا من الراسب، وفي بعض الأحيان يمكن أن يشكل هذا الراسب مشاكل في أنابيب الري الدقيقة.

من أجل السلامة العامة في الأنظمة المنزلية للزراعة المائية، يمكن إضافة أحماض عضوية لخفض رقم الحموضة مثل حمض الليمون ($C_6H_8O_7$)، لكن يجب الانتباه بأن هذه الأحماض ضعيفة وتعطي انخفاضا على المدى القصير، بالإضافة إلى أنها تضيف الكربون إلى المحلول المغذي مما يشجع نمو البكتيريا التي تتغذى عليه وتتنافس مع النباتات على الأوكسجين، وهذا يقلل من كمية الأوكسجين الذائبة في المحلول المغذي.

في بعض الأحيان قد يحصل انخفاض في رقم الحموضة للمحلول المغذي عند تحضير المحلول المغذي، حينها يمكن استخدام هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) لرفع رقم الحموضة، ويجب الانتباه عند استخدام هذه المواد فهي حارقة للجلد، لذلك يجب ارتداء القفازات الواقية عند تحضيرها بشكل محلول مخفف قبل إضافتها إلى المحلول المغذي، أما على المستوى المنزلي فيمكن استخدام بيكربونات الصوديوم ($NaHCO_3$) فهي أكثر أمانا.

يجب أن نتذكر دائما بأن رقم حموضة المحلول المغذي يعتمد على عوامل عديدة مثل درجة الحرارة ومحتوى الأيونات والمواد غير العضوية والعضوية وأنواع الأيونات الموجودة ومحتوى ثاني أكسيد الكربون، ويفضل بعض الخبراء عدم التدخل بشكل دائم في تعديل رقم الحموضة فقد يتداخل ذلك مع قدرة النباتات الطبيعية على تعزيز قدرتها على امتصاص أيونات العناصر المغذية، وبدلاً من ذلك يجب السماح للمحلول المغذي بالعودة إلى مستواه بشكل طبيعي بواسطة النباتات، وهنا تأتي أهمية الخبرة العملية في إدارة المحلول المغذي حيث يجب عمل التوازن ما بين الفوائد المكتسبة مقابل تكاليف التحكم في موازنة حموضة المحلول المغذي.

ومن بعض الممارسات التي تتم للحفاظ على مستويات الحموضة المطلوبة زيادة تواتر الري حيث سيقوم المحلول المغذي الجديد باستبدال القديم وإعادة التوازن المطلوب إلى حد كبير.

10.4. الموصلية الكهربائية للمحلول المغذي

يتم إضافة الأسمدة للمحلول المغذي على شكل أملاح، وعندما تذوب هذه الأملاح في الماء فإنها تتحلل إلى أيونات موجبة وسالبة تستطيع أن توصل الكهرباء، وتستخدم أجهزة قياس الموصلية الكهربائية هذه الخاصية لقياس تركيز الأملاح التي تشكِل العناصر المغذية في المحلول المغذي،

وتزداد قراءة الموصلية الكهربائية مع زيادة عدد الأيونات، يساعد قياس الموصلية الكهربائية على مراقبة مستويات العناصر المغذية واستكشاف الأخطاء وإصلاحها وتحسينها في المحلول المغذي، وبشكل عام كلما زادت الموصلية الكهربائية تزداد كمية العناصر المغذية المتاحة للنباتات،

ويمكن أن تؤثر الموصلية الكهربائية للمحلول المغذي أو التي تتكون في وسط النمو حول الجذور بشكل كبير على نمو النباتات، تتميز معظم وصفات المحلول المغذي بموصلية كهربائية منخفضة إلى حد ما وتكون عادة أقل من 3 ديسيمنز/متر، فعلى سبيل المثال تبلغ الموصلية الكهربائية لتركيبة Hoagland and Arnon 2.7 ديسيمنز/متر.

وتتراوح قيم الملوحة للمحلول المغذي بشكل عام ما بين 1.5 إلى 2.5 ديسيمنز/متر وتختلف من محصول لآخر، وتتغير بناءً على الظروف المناخية ومراحل نمو المحصول ويؤدي ارتفاع الملوحة في المحلول المغذي إلى إعاقة امتصاص العناصر الغذائية، أما نقصها فيؤثر على صحة النبات وإنتاجيته، ويمثل الجدول التالي ملوحة المحاليل المغذية الموصى بها للزراعة بدون تربة في الأردن:

المحصول	الموصلية الكهربائية ديسيمنز/متر (dS/m) النظام المغلق	الموصلية الكهربائية ديسيمنز/متر (dS/m) النظام المفتوح	حموضة المحلول المغذي pH
البندورة	2.0	2.5	5.6
الخيار	2	2.2	5.6
الفليفلة	1.8	2.2	5.7
الباذنجان	1.9	2.2	5.6
الكوسا	1.8	2.2	5.6
الفاصولياء	1.6	2	5.7
الخس	1.6	1.8	5.6
الفراولة	1.5	1.8	5.6
المحاصيل الورقية الأخرى	1.5	1.8	5.6

جدول 12: ملوحة المحاليل المغذية الموصى بها للزراعة بدون تربة في الأردن

صورة 121: ذبول الأوراق بتأثير ارتفاع ملوحة المحلول المغذي على محصول الخيار

10.5. الدليل الملحي للأسمدة

يستخدم للمقارنة بين تأثير الأسمدة المختلفة على ملوحة التربة، ويعرَّف بأنه القيمة النسبية للزيادة في الضغط الأسموزي الناتج عن سماد معين عند إضافته إلى التربة، مقارنة بالزيادة التي ينتجها نفس الوزن من نترات الصوديوم ($NaNO_3$)، وتم اختيار نترات الصوديوم كمرجع قياسي لأنه كان قابلاً للذوبان بنسبة 100 في المائة، وكان متاحًا كسماد على نطاق واسع عندما تم اقتراح هذا المفهوم لأول مرة، حيث تم تعيين قيمة نسبية لنترات الصوديوم وقدرها 100 في المائة، ويمكن حساب الدليل الملحي من المعادلة التالية:

$$\text{الدليل الملحي} = \frac{\text{الضغط الاسموزي للسماد}}{\text{الضغط الاسموزي لنترات الصوديوم}} \times 100$$

ومن الملاحظ أن الأيونات الناتجة عن إضافة العناصر المغذية الكبرى للمحلول المغذي بالإضافة إلى الصوديوم لها الأثر الأكبر في زيادة الملوحة، وذلك مقارنة مع العناصر المغذية الدقيقة التي يتم إضافتها بكميات قليلة جدا.، و يمكن خفض كمية الأملاح المستخدمة في تركيبة المحلول المغذي عن طريق اختيار تلك الأسمدة ذات الدليل المنخفض عند تحضير المحلول المغذي، لذلك يتم المفاضلة بين الأسمدة التي تحوي نفس العنصر السمادي المطلوب واختيار السماد ذو الدليل الملحي الأقل، آخذين بعين الاعتبار نسبة العنصر في السماد، ويبين الجدول التالي بعض أنواع الأسمدة والدليل الملحي الخاص بها:

اسم السماد	الاسم بالإنكليزية	الصيغة الكيميائية	الدليل الملحي للأسمدة Fertilizer salt index
نترات الصوديوم	Sodium nitrate	$NaNO_3$	100
نترات الأمونيوم	Ammonium nitrate	NH_4NO_3	104
سلفات الأمونيوم	Ammonium sulfate	$(NH_4)2SO_4$	69
نترات الكالسيوم	Calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2{\cdot}4H_2O$	52
سلفات الكالسيوم	Calcium sulfate	$CaSO_4{\cdot}2H_2O$	8
ثنائي فوسفات الأمونيوم	Diammonium phosphate	$(NH_4)2HPO_4$	29
سلفات المغنيسيوم	Magnesium sulfate	$MgSO_4{\cdot}7H_2O$	44
أحادي فوسفات الأمونيوم	Monoammonium phosphate	$NH_4H_2PO_4$	34
فوسفات الكالسيوم	Monocalcium phosphate	$CaHPO_4$	15
أحادي فوسفات البوتاسيوم	Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	30
كلوريد البوتاسيوم	Potassium chloride	KCl	116
نترات البوتاسيوم	Potassium nitrate	KNO_3	73
سلفات البوتاسيوم	Potassium sulfate	K_2SO_4	46
اليوريا	Urea	$CO(NH_2)_2$	75
المصدر: Jones, J. 2014			
Jones, J. (2014). Complete Guide for Growing Plants Hydroponically. Boca Raton: CRC Press, https://doi.org/10.1201/b16482			

جدول 13: الدليل الملحي لبعض الاسمدة

وبشكل عام يجب خفض ملوحة المحلول المغذي عند ارتفاع درجات الحرارة وقلة الرطوبة، حيث تقوم النباتات بامتصاص كميات كبيرة من الماء مترافقة مع كميات قليلة من العناصر المغذية، مما سيزيد من تركيز الأملاح ورفع الموصلية الكهربائية سواء للمحلول المغذي أو وسط النمو، ويمكن عمليا قياس الموصلية الكهربائية للمحلول الراشح من وسط النمو لتحديد متى يكون الري مطلوبًا لإزالة الأملاح المتراكمة.

ويجب الانتباه إلى عدم استخدام مياه الري الخام لغسيل الأملاح في أوساط النمو الصلبة، حيث سيؤدي ذلك إلى ارتفاع رقم الحموضة في منطقة الجذر مما يؤدي إلى عدم توافر بعض العناصر المغذية بشكل متاح للنباتات.

10.6. درجة حرارة المحلول المغذي

تؤثر درجة حرارة المحلول المغذي على عدة متغيرات مهمة في المحلول المغذي، حيث يترافق ارتفاع درجة الحرارة مع تناقص كمية الأوكسجين المذاب فيه، وعلى النقيض من ذلك تزداد

معدلات التنفس والأيض عند النباتات، لذلك يتم اختيار درجة الحرارة المثالية لتحقيق التوازن ما بين المتغيرين، ولا توجد قاعدة عامة لاختيار درجة حرارة المحلول المغذي الأمثل في الزراعة المائية، وهي تختلف حسب المنطقة والفصل والمحصول المزروع ونظام الزراعة المتبع وغيرها، وبشكل عام يفضل أن تكون درجات حرارة المحلول المغذي ما بين 20-30 درجة مئوية، ومع ذلك يمكن أن تزيح هذه الحرارة عن ذلك، لكن يفضل عدم ارتفاعها عن 27 درجة مئوية حيث سيزداد احتمال نمو البكتيريا والفطريات في الأنظمة المغلقة، كما أن انخفاضها عن 15 درجة مئوية سيبطئ نمو النباتات، وعلى سبيل المثال تبلغ درجة الحرارة المثلى للمحلول المغذي للمحاصيل الصيفية كالخيار والبندورة ما بين 27 و 28 درجة مئوية أما المحاصيل الشتوية كالخس فتبلغ 20 درجة مئوية.

وفي الأجواء الباردة يمكن رفع درجة حرارة المحلول المغذي قليلا للمساعدة في زيادة معدل امتصاص العناصر المغذية، ولكن بشرط ألا تزيد عن 4 إلى 5 درجات مئوية عن درجة الحرارة المحيطة.

10.7. وصفات المحاليل المغذية

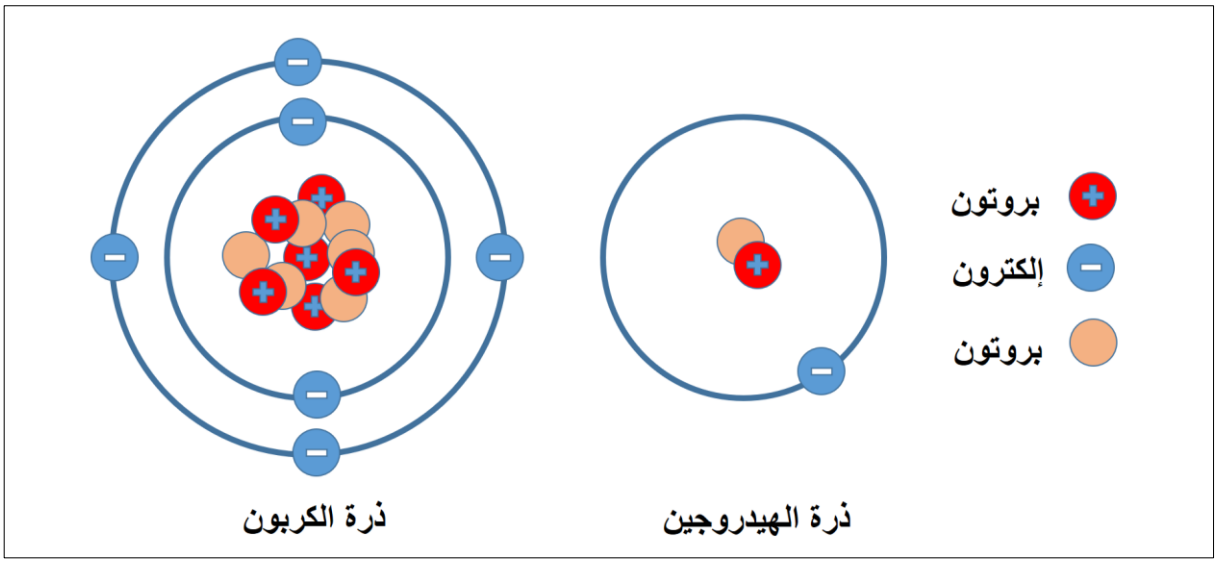
يعتمد تحضير المحاليل المغذية بشكل كبير على محتوى الأسمدة المختلفة من العناصر المغذية، لكن تحتوي معظم الأسمدة على العديد من العناصر التي تدخل في تركيبها الكيميائي لا علاقة لها بالعناصر المغذية، لكن من المهم جدا معرفتها وذلك لحساب النسبة المئوية للعناصر المغذية الضرورية في هذا السماد التي ستدخل في الحسابات، ويلزم لذلك حساب الوزن الذري للعناصر الداخلة في تركيب السماد وحساب الوزن الجزيئي له، ومن أجل تسهيل عملية الحساب لا بد من التعرف إلى بعض التعريفات المتعلقة بذلك.

10.7.1. تعريف العنصر

هو مادة كيميائية نقية لا يمكن تجزئتها إلى إجزاء أصغر منها بطرائق فيزيائية أو كيميائية وتتكون من ذرة وحيدة فريدة من نوعها يميزها العدد الذري.

10.7.2. مكونات الذرة

تتكون الذرّات من ثلاثة أجزاء صغيرة، تسمى الجسيمات دون الذرّية يتواجد بعضها في نواة الذرة وهي البروتونات ذات الشحنة الموجبة والنيوترونات متعادلة الشحنة، أما الإلكترونات فهي ذات شحنة سالبة وتدور في مدارات خاصة حول هذه النواة.



رسم توضيحي 28: مكونات ذرتي الهيدروجين والكربون

10.7.3. العدد الذري (الرقم الذري)

هو عدد البروتونات الموجودة في نواة ذرة العنصر، وهو في الوقت نفسه يمثل العدد الكلي للإلكترونات في الذرة المتعادلة الشحنة.

توافق معظم العلماء على أن معظم كتلة الذرة تتركز في نواتها، لأن كتلة الذرة تعتمد على عدد البروتونات والنيوترونات الموجودة في نواة الذرة، أما الإلكترونات التي تدور حول النواة فإن كتلتها صغيرة جدًا مقارنةً بكتلة البروتونات أو النيوترونات، ولذلك فإن مجموع عدد البروتونات والنيوترونات يمثل الكتلة الكلية للذرة.

كما اكتشف العلماء بانه يمكن للعناصر أن يكون لديها عدة نظائر وهذه النظائر لديها نفس عدد البروتونات والإلكترونات ولكن تختلف في عدد النيوترونات، ولتسهيل حساب كتلة الذرة استعمل العلماء مصطلح **الوزن الذري أو الكتلة الذرية(u)** ويمثل متوسط أوزان نظائر العنصر معبرا عنه بوحدة الكتلة الذرية اختيرت وحدة الكتلة الذرية لتكون $\frac{1}{12}$ من كتلة الكربون ^{12} وتساوي وحدة الكتلة الذرية $1.660538921\times10^{-27}$ كيلو غرام.

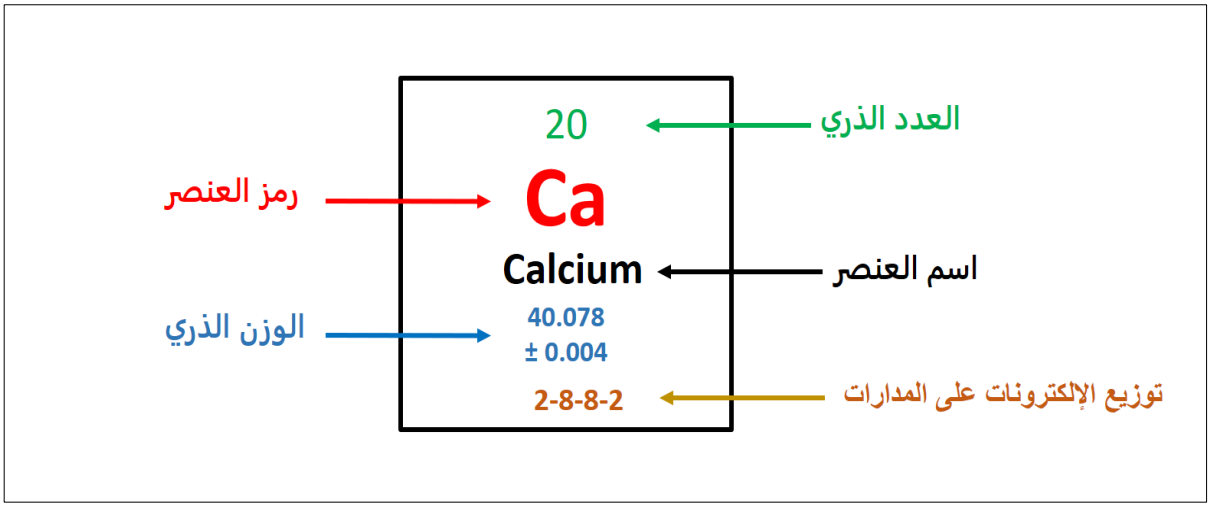
10.7.4. الوزن الجزيئي للمركب

هو مجموع الأوزان الذرية للعناصر الداخلة في تركيبه، ويمكن الحصول على الأوزان الذرية من الجدول الدوري للعناصر.

10.7.5. الجدول الدوري للعناصر الكيميائية

هو جدول يحتوي على مربعات للعناصر الكيميائية مرتبة في صفوف أفقية تسمى الدورات وعمودية تسمى المجموعات، حيث تتشابه عناصر المجموعة الواحدة في سلوكياتها الكيميائية، وتم ترتيب العناصر طبقا لعدد الإلكترونات الموجودة بكل عنصر, ويحتوي كل مربع على معلومات عن العنصر كاسمه ورمزه الكيميائي والعدد الذري والوزن الذري وقد يحتوي على توزيع الإلكترونات على المدارات، ومن الملاحظ بأن العلماء ما زالوا يحدثون المعلومات الموجودة في الجدول الدوري وقد يزيدون عدد من العناصر إلى الجدول، ويمكن الحصول على أحدث المعلومات المحدثة

بخصوص الجدول الدوري للعناصر من خلال الموقع الرسمي للاتحاد الدولي للكيمياء، ويمثل الشكل التالي عنصر الكالسيوم في الجدول الدوري:



رسم توضيحي 29: عنصر الكالسيوم في الجدول الدوري

وفيما يلي بعض الأوزان الذرية لبعض العناصر الداخلة في الأسمدة:

العنصر	الرمز الكيميائي	الوزن الذري
الهيدروجين	H	1.008
البورون	B	10.81
الكربون	C	12.011
النتروجين	N	14.007
الأوكسجين	O	15.999
الصوديوم	Na	22.9897
المغنيسيوم	Mg	24.305
الفسفور	P	30.974
الكبريت	S	32.06
الكلور	Cl	35.45
البوتاسيوم	K	39.0983
الكالسيوم	Ca	40.078
المنغنيز	Mn	54.938
الحديد	Fe	55.845
النحاس	Cu	63.546
الزنك	Zn	65.38
الموليبديوم	Mo	95.95

جدول 14: الأوزان الذرية لبعض العناصر الداخلة في الأسمدة

يمكن الحصول على العديد من تراكيب المحاليل المغذية من خلال البحث على شبكة الأنترنت، لكن يمكن أن تكون هذه المعلومات مربكة، عندما يذكر فقط اسم السماد و لا تتواجد الصيغة الكيميائية للسماد المستخدم، فالصيغة الكيميائية هي التي ستحدد نسب العناصر الداخلة في تركيبة السماد، فعلى سبيل المثال عندما يذكر سماد نترات الكالسيوم وهو مصدر رئيسي في وصفات المحاليل المغذية لعنصرين مغذيين ضروريين للنباتات وهما الكالسيوم (Ca) والنتروجين (N) فغالبا ما يتبادر للذهن الصيغة الكيميائية $Ca(NO_3)_2$ وعند حساب الوزن الذري للعناصر الداخلة في تركيب هذا السماد نجد أن نسبة عنصر الكالسيوم هي 24.42 في المائة و عنصر النتروجين هي 17.07 في المائة كما تظهره الحسابات في الجدول التالي:

$Ca(NO_3)_2$				
عدد العناصر في السماد	العنصر	الوزن الذري للعنصر غرام/مول	مجموع الأوزان الذرية للعناصر في السماد غرام/مول	النسبة المئوية للعنصر في السماد
1	الكالسيوم (Ca)	40.08	40.08	24.42
2	النتروجين (N)	14.01	28.02	17.07
6	الأوكسجين (O)	16.00	96.00	56.50
الوزن الجزيئي للسماد			164.09	

لكن معظم الأسمدة التجارية لنترات الكالسيوم تحتوي على 4 ذرات من الماء لذلك تتغير الصيغة الكيميائية لسماد نترات الكالسيوم إلى $\{Ca(NO_3)_2.4H_2O\}$ وهنا نجد أن نسبة عنصر الكالسيوم فيه 16.97 في المائة وعنصر النتروجين 11.86 في المائة وقد أصبحت هذه النسب أقل من النسب في الصيغة السابقة كما يظهر في الجدول التالي:

$Ca(NO_3)_2.4H_2O$				
عدد العناصر في السماد	العنصر	الوزن الذري للعنصر غرام/مول	مجموع الأوزان الذرية للعناصر في السماد غرام/مول	النسبة المئوية للعنصر في السماد
1	الكالسيوم (Ca)	40.08	40.08	16.97
2	النتروجين (N)	14.01	28.01	11.86
10	الأوكسجين (O)	16.00	160.0	67.75
8	الهيدروجين (H)	1.01	8.06	3.41
الوزن الجزيئي للسماد			236.15	

ومن الممكن أيضا أن يحتوي سماد نترات الكالسيوم على الأمونيوم وتصبح صيغته الكيميائية كالتالي: NH_4NO_3 $5[Ca(NO_3)_2.2H_2O]$ وفي هذه الصيغة تبلغ نسبة النتروجين 15.5 في المائة والكالسيوم 19 في المائة.

ولذلك من الضروري الانتباه إلى معرفة التركيب الكيميائي للمركبات السمادية الموجودة في وصفات المحاليل المغذية والأسمدة المراد استخدامها وحساب نسبة العناصر السمادية بدقة.

10.8. النقاط الواجب مراعاتها عند تحضير المحلول المغذي

10.8.1. توافق الأسمدة

على الرغم من وجود طرق مختلفة لتحضير المحلول المغذي، إلا أنه هناك نهجا محددا في عملية التحضير، وذلك باستخدام الأسمدة القابلة للذوبان في الماء، التي تتحول مكوناتها إلى أيونات بأشكال محددة يمكن للنباتات امتصاصها بسرعة، ويفضل عدم استخدام الأسمدة التي تحتاج وقتا طويلا للتحول إلى صيغة قابلة للامتصاص من قبل النباتات كاليوريا.

ويفضَل تحضير خلطات مركزة من المحاليل المغذية مسبقاً ويتم تخفيفها عند الاستعمال، وهذا يقلل من الوقت اللازم لتحضير الأسمدة، كما أن هناك حاجة إلى خزانين منفصلين للأسمدة المركزة، حيث يمكن لبعض الأسمدة عند خلطها مع بعضها البعض أن تعيق امتصاص بعض العناصر أو تتحول العناصر المغذية إلى شكل راسب لا يمكن للنباتات الاستفادة منها، فعلى سبيل المثال يجب أن يبقى الكالسيوم منفصلاً عن الكبريتات والفسفور، ويوضح المخطط التالي توافق وتعارض الأسمدة عند خلطها:

اسم السماد	نترات الأمونيوم	سلفات الأمونيوم	نترات الكالسيوم	نترات البوتاسيوم	كلوريد البوتاسيوم	سلفات البوتاسيوم	سلفات الأمونيوم	سلفات Fe, Zn, Cu, Mn	شيلات Fe, Zn, Cu, Mn	سلفات المغنيسيوم	حمض الفوسفور	حمض الكبريت	حمض النتريك
نترات الأمونيوم Ammonium nitrate	√												
سلفات الأمونيوم Ammonium Sulfate	√	√											
نترات الكالسيوم Calcium nitrate	√	×	√										
نترات البوتاسيوم Potassium nitrate	√	√	√	√									
كلوريد البوتاسيوم Potassium chloride	√	√	√	√	√								
سلفات البوتاسيوم Potassium sulfate	√	R	×	√	R	√							
سلفات الأمونيوم ammonium sulfate	√	√	×	√	√	√	√						
سلفات Fe, Zn, Cu, Mn sulfate	√	√	×	√	v	R	×	√					
شيلات Fe, Zn, Cu, Mn chelate	√	√	R	√	√	√	R	√	√				

سلفات المغنيسيوم Magnesium sulfate	√	√	×	√	√	R	×	√	√	√	√	√	
حمض الفوسفور Phosphoric acid	√	√	×	√	√	√	√	√	R	√	√	√	
حمض الكبريت sulfuric acid	√	√	×	√	√	R	√	√	√	√	√	√	
حمض النتريك Nitric acid	√	√	×	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

√ Compatible متوافق يمكن خلط هذه الأسمدة بسهولة	× Incompatible غير متوافق يجب عدم خلط هذه الأسمدة مطلقا ويجب البحث عن بدائل	R Reduced compatibility توافق منخفض يمكن خلط الأسمدة في حال عدم وجود بدائل

المصدر: Roddy, E. 2006

Roddy, E. 2006. Fertigation Fertilizer Sources. www.omafra.gov.on.ca/english/crops/ hort/news/vegnews/2006/vg0406a2.h

جدول 15: توافق وتعارض الأسمدة عند خلطها

10.8.2. ذوبان الأسمدة

لوحظ في الممارسات العملية بأن ذوبان الأسمدة في الماء يختلف من سماد لآخر، ويتغير حسب درجة الحرارة حيث يزداد مع ارتفاع درجة حرارة الماء، و عند تحضير المحاليل المركزة يجب الأخذ بعين الاعتبار قابلية ذوبان الأسمدة في الماء، فهي التي ستحدد الكمية القصوى من السماد التي يمكن إذابتها تمامًا في كمية معينة من الماء عند درجة حرارة معينة، ويجب الانتباه إلى تقليل تركيز المحاليل المغذية المركزة شتاء بسبب انخفاض ذائبيتها عند انخفاض درجات الحرارة، كما يجب الانتباه إلى تخفيفها أيضا عندما يكون الماء المستخدم في تحضير المحاليل المغذية المركزة غير نقي أو ذو ملوحة مرتفعة، ويبين الجدول التالي وزن الأسمدة التقريبي بالغرام الذي يمكن إذابته في ليتر من الماء لبعض أنواع الأسمدة التجارية:

وزن الأسمدة التقريبي بالغرام الذي يمكن إذابته في ليتر واحد من الماء Solubility (g/liters)				
نوع السماد/درجة الحرارة Temperature (C°)/Fertilizer	5	10	20	25
نترات البوتاسيوم Potassium nitrate	133	170	209	316
كبريتات البوتاسيوم Potassium sulfate	80	90	111	120
كلوريد البوتاسيوم Potassium chloride	229	238	255	264
نترات الأمونيوم Ammonium nitrate	1183	1510	1920	-
كبريتات الأمونيوم Ammonium sulfate	710	730	740	770
نترات الكالسيوم	1020	1130	1290	-

Calcium nitrate				
كبريتات المغنيسيوم Magnesium sulphate	-	-	330	-
نترات المغنيسيوم Magnesium Nitrate	680	690	710	720
فوسفات أحادي البوتاسيوم MKP (Mono Potassium Phosphate)	110	180	230	250
حمض البوريك Boric acid	-	-	49	-

جدول 16: وزن الأسمدة التقريبي بالغرام الذي يمكن إذابته في ليتر من الماء لبعض أنواع الأسمدة التجارية

10.9. كيفية اختيار الأسمدة المختلفة في تركيبة المحلول المغذي

ينبغي توافر نتائج تجريبية بشأن الاحتياجات الغذائية الخاصة لمحصول معين حتى يمكن تركيب المحلول المغذي المناسب له، ويجب أن يحتوي على جميع العناصر المغذية الضرورية وبنسب متوازنة مع بعضها البعض، كما يجب الانتباه بأن كل محصول ينمو ويزدهر في خلطة سمادية مختلفة عن المحاصيل الأخرى، ولكن بشكل عام يمكن البدء بخلطات مماثلة للمحاليل المغذية المعروفة عالمياً، ومن ثم العمل على تطويرها لتلائم الظروف الخاصة بكل منطقة وكل محصول، ويجب على المزارعين أن يضعوا في اعتبارهم أن هذه الخلطات السمادية هي نقطة بداية جيدة، لكنها تحتاج إلى التعديل اعتمادًا على عدة عوامل، منها نتائج تحليل مياه الري التي تبيِن محتواها من بعض العناصر كالكالسيوم و المغنيسيوم و الكبريت وغيرها، بالإضافة إلى كمية الحمض اللازمة لتعديل رقم الحموضة، ونوع وسط النمو حيث يمكن لبعض أنواع أوساط النمو الصلبة مثل البيتموس وألياف جوز الهند وغيرها الاحتفاظ بكميات كبيرة من العناصر الغذائية، مقارنة مع الزراعة المائية عند الزراعة مباشرة في المحلول المغذي، دون وجود وسط للنمو تنمو فيه الجذور، و بشكل عام من الأفضل البدء بكميات معتدلة من العناصر المغذية في بداية الزراعة، وزيادة التركيزات إلى تلك الموجودة في الخلطات الموصى بها مع تطور نمو المحصول.

تأتي معظم تركيبات المحاليل المغذية أساساً من صيغتين ظهرتا في عام 1950 للباحثين هوغلاند وآرنون، وهما الأكثر ورودا في جميع مطبوعات الزراعة المائية، وما زالت تستخدم من قبل العديد من الباحثين مع بعض التعديلات ويبين الجدول التالي أوزان العناصر في تركيبة المحلول المغذي لهوغلاند وآرنون:

العنصر	المحلول المغذي 1 (جزء في المليون)	المحلول المغذي 2 (جزء في المليون)
النتروجين بشكل نترات (NO_3)	242	220
النتروجين بشكل امونيوم (NH_4)	-	12.6
الفوسفور (P)	31	24
البوتاسيوم (K)	232	230
الكالسيوم (Ca)	224	179
المغنيسيوم (Mg)	49	49
الكبريت (S)	113	113
البورون (B)	0.45	0.45
النحاس (Cu)	0.02	0.02
المنغنيز (Mn)	0.50	0.05
المولبيديوم (Mo)	0.0106	0.0106
الزنك (Zn)	0.48	0.48
المصدر: Hoagland, D. R., and Arnon, D. I. 1950		

جدول 17: أوزان العناصر في تركيبة المحلول المغذي لهوغلاند وآرنون

كما اقترح العالم شتاينر عام 1961 صيغة عالمية لمحلول مغذي بشكل أيوني، وبيَن أن معظم النباتات ستنمو بشكل جيد، إذا ما تم الحفاظ على نسب متوازنة (أو قريبة من التوازن) من الأنيونات والكاتيونات في المحلول المغذي كما يلي:

الأنيونات	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}	المجموع
النسبة المئوية	60	5	35	100 في المائة
الكاتيونات	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	
النسبة المئوية	35	45	20	100 في المائة

جدول 18: نسب الأنيونات والكاتيونات في المحلول المغذي

لكن تحقيق هذه الصيغة عملياً يحتاج إلى خبرةٍ كبيرةٍ في الكيمياء، بالإضافة إلى معرفة الصيغة الكيميائية الفعلية للسماد المستخدم، وهذا لا يمكن تحقيقه من خلال استعمال الأسمدة المحلية، والتي تبيِن فقط على ملصق العبوة النسب المئوية للأسمدة الرئيسية دون ذكر التركيب الكيميائي للأسمدة المستخدمة في هذه الخلطات.

ومن أجل الحصول على محاليل مغذية نقيَة وذات جودة عالية، يجب على المزارع اختيار الأسمدة النقيَة وعالية الجودة والتي تذوب في الماء بنسبة 100في المائة، ويبين الجدول التالي الأسمدة الأكثر استخداما في الزراعة بدون تربة ونسب العناصر المغذية الموجودة فيها:

اسم السماد	اسم السماد باللغة الإنكليزية	الصيغة الكيميائية	نسبة العناصر المغذية الموجودة في السماد (كنسبة مئوية)	
نترات الأمونيوم	Ammonium nitrate	NH_4NO_3	N: 35	
نترات الكالسيوم الحاوية على الأمونيوم	Calcium nitrate	$5[Ca(NO_3)2.2H_2O]$ NH_4NO_3	N: 15.5	Ca: 19
نترات الكالسيوم	Calcium nitrate	$Ca(NO_3)2.4H_2O$	N: 11.9	Ca: 17.0
كلوريد الكالسيوم	Calcium chloride	$CaCl_2.2H_2O$	Ca: 27.3	Cl: 48.3
نترات البوتاسيوم	Potassium nitrate	KNO_3	N: 13.9	K: 38.7
نترات المغنيسيوم	Magnesium nitrate	$Mg(NO_3)2.6H_2O$	N: 11	Mg: 9.5
حمض النتريك (100 في المائة)	Nitric acid	HNO_3	N: 22.2	
فوسفات أمونيوم ثنائي هيدروجين	Monoammonium phosphate MAP	$NH_4H_2PO_4$	N: 12.2	P: 27
فوسفات أحادي البوتاسيوم	Monopotassium phosphate MKP	KH_2PO_4	K: 28.7	P: 22.8
حمض الفوسفور (100 في المائة)	Phosphoric acid	H_3PO_4	P: 31.6	
سلفات البوتاسيوم	Potassium sulphate	K_2SO_4	K: 45	S: 18
كلوريد البوتاسيوم	Potassium chloride	KCl	K: 52.5	Cl: 47.6
سلفات المغنيسيوم	Magnesium sulphate	$MgSO_4.7H_2O$	Mg: 9.9	S: 13
سلفات الأمونيوم	Ammonium sulphate	$(NH_4)_2SO_4$	N: 21.2	S: 24.3
نترات المغنيسيوم	Magnesium nitrate	$Mg(NO_3)2.6H_2O$	N: 10.9	Mg: 9.5

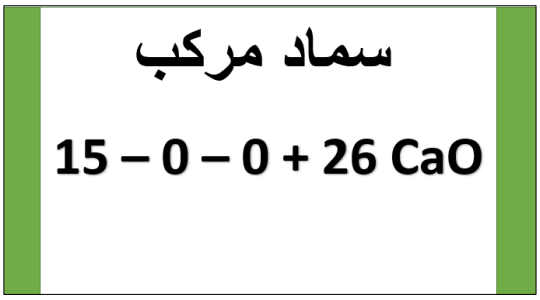
بيكربونات البوتاسيوم	Potassium bicarbonate	$KHCO_3$	K: 39	
شيلات الحديد	Iron chelate	various types	نسب مختلفة	
سلفات المنغنيز	Manganese sulphate	$MnSO_4.H_2O$	Mn: 32.5	
سلفات الزنك	Zinc sulphate	$ZnSO_4.7H_2O$	S: 11.2	Zn: 22.7
سلفات النحاس	Copper sulphate	$CuSO_4.5H_2O$	S: 12.8	Cu: 25.5
البوراكس	Borax	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	B: 11.34	
حمض البوريك (100 في المائة)	Boric acid	H_3BO_3	B: 17.5	
أوكتابورات الصوديوم	Sodium octaborate	$Na_2B_8O_{13}.4H_2O$	B: 21	
موليبدات الأمونيوم	Ammonium heptamolybdate	$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	Mo: 54.34	
مولبيدات الصوديوم	Sodium molybdate	$Na_2MoO_4.2H_2O$	Mo: 39.7	

جدول 19: الأسمدة الأكثر استخداما في الزراعة بدون تربة ونسب العناصر المغذية الموجودة فيها

10.10. كيف نقرأ ملصقات الأسمدة

قبل شراء الأسمدة يجب قراءة الملصقات التي تبين محتواها من العناصر المغذية للنبات، وتوفِر معظم منتجات الأسمدة بعض المعلومات الموحَدة لمساعدة المستهلكين على مقارنة المنتجات بسهولة، وكل ملصق يحمل ثلاثة أرقام واضحة أو أكثر وعادة ما تكون أعلى أو أسفل اسم المنتج مباشرة وبلون داكن، تمثل هذه الأرقام الثلاثة النسبة المئوية للعناصر السمادية الكبرى في السماد وهي من اليسار لليمين النيتروجين (N) والرقم الثاني هو نسبة الفوسفور بشكل (P_2O_5) والرقم الثالث هو نسبة البوتاسيوم بشكل (K_2O) ما لم يذكر على الملصق غير ذلك، كما يمكن إيجاد أرقام إضافية لعنصري الكالسيوم والمغنيسيوم في تركيبة السماد يوجد بجانبها رمز العنصر السمادي.

رسم توضيحي 30: ملصق صورة السماد دون كتابة اسم العناصر



رسم توضيحي 31: ملصق صورة السماد مع كتابة اسم العنصر الإضافي

ويُعتقد بأن هذا الشكل من الملصقات الذي يعبِر عن هذه النسب بهذه الطريقة حصل في بداية تصنيع الأسمدة في المملكة المتحدة، حيث وضعوا مكونات الأسمدة من البوتاسيوم والفوسفور والكالسيوم والمنغنيز على شكل أكاسيد على ملصقات الأسمدة وبقي هذا الحال إلى أيامنا هذه.

وفي الحقيقة لا يوجد الفوسفور بشكل (P_2O_5) في الأسمدة الفوسفاتية كما أن الأسمدة الأكثر شيوعا للفوسفور هي فوسفات الأمونيوم الأحادية ($NH_4H_2PO_4$) وصيغة الفوسفور فيه بشكل PO_4, وكذلك لا يوجد البوتاسيوم بشكل (K_2O) في الأسمدة البوتاسية.

لكن عند البحث عن معظم الوصفات المتداولة للمحاليل المغذية فإننا نلاحظ بأنها تبين مقادير العناصر السمادية بوحدات جزء في المليون للفوسفور بشكل أحادي (P) والبوتاسيوم بشكل أحادي (K) وليس بشكل أكاسيد وكذلك الأمر بالنسبة للكالسيوم (Ca) والمغنيسيوم (Mg)، لذلك من أجل تسهيل حساب الكميات اللازمة من الأسمدة، يمكن تحويل مقادير صيغ هذه الأكاسيد إلى مقادير بصيغة أحادية للعناصر المغذية كما يلي:

للتحويل من صيغة (P_2O_5) إلى صيغة (P) نضرب بالعدد 0.4364
للتحويل من صيغة (K_2O) إلى صيغة (K) نضرب بالعدد 0.8301
للتحويل من صيغة (CaO) إلى صيغة (Ca) نضرب بالعدد 0.7146
للتحويل من صيغة (MgO) إلى صيغة (Mg) نضرب بالعدد 0.6031
للتحويل من صيغة (P) إلى صيغة (P_2O_5) نضرب بالعدد 2.2915
للتحويل من صيغة (K) إلى صيغة (K_2O) نضرب بالعدد 1.2047
للتحويل من صيغة (Ca) إلى صيغة (CaO) نضرب بالعدد 1.3994
للتحويل من صيغة (Mg) إلى صيغة (MgO) نضرب بالعدد 1.6581

10.11. تحضير الخلطات السمادية

يفضل معظم المزارعون تحضير محاليل مركَزة ومن ثم تخفيفها لاستخدامها عند الحاجة وذلك لتوفير الوقت، ويجب مراعاة عدم خلط الأسمدة التي يمكن أن تتعارض مع بعضها البعض في نفس الخزان بالإضافة إلى الانتباه إلى كمية الأسمدة التي يمكن إضافتها وتذوب بشكل كامل في كمية الماء المحددة.

في حال عدم رغبة المزارع في تحضير المحاليل المركَزة والتوجُه إلى تحضير خزان واحد مخفف للأسمدة، يجب إذابة الأسمدة بشكل متدرج في خزان المحلول المغذي بعد تعبئته إلى 70 في المائة بالماء، ويتم أولاً إذابة الأسمدة الصغرى بشكل منفصل في كمية مناسبة من الماء الدافئ ثم إضافتها إلى الخزان، ثم يتم إضافة أحد أسمدة العناصر الكبرى وإذابته كلياً، ومن ثم يتم اضافة باقي الأسمدة للعناصر الكبرى بنفس الطريقة، ويفضَل البدء بإذابة الأسمدة الأقل ذوبانا في الماء قبل غيرها، و تجدر الإشارة إلى أن معظم وصفات المحاليل المغذية تتطلب على الأقل استخدام ثلاثة خزانات منفصلة للمحاليل المركزة، يضم الخزان الأول نترات الكالسيوم مع الحديد بشكل شيلات وقد يضاف إليه نصف كمية نترات البوتاسيوم، والخزان الثاني يضم باقي الأسمدة للعناصر الكبرى وباقي العناصر الصغرى، وإذا كانت مياه الري ذات ملوحة عالية يفضَل إضافة خزان مخصص للعناصر الصغرى، حيث يؤخذ منه الكمية الكاملة للعناصر الصغرى عند تحضير المحلول المغذي المخفف.

ويبين الجدول التالي بعض الملاحظات على الأسمدة المستخدمة في خلطات الزراعة المائية:

اسم السماد	ملاحظات
نترات الكالسيوم	هو السماد الأنسب والأكثر استخداما كمصدر للكالسيوم لتحضير المحلول المغذي.
كلوريد الكالسيوم	سماد قابل للذوبان وهو مصدر للكالسيوم، ومحتواه من الكالسيوم أعلى من نترات الكالسيوم إلا أن استخدامه نادر في الزراعة المائية لأنه يزيد أيون الكلور في المحلول المغذي وبالتالي يمكن استخدامه فقط عندما تحتوي مياه الري على كمية قليلة جدا من الكلور.
أسمدة فوسفات وسلفات الكالسيوم	هذه الأسمدة لا تذوب بشكل كامل في الماء لذلك يتجنب المزارعون استخدامها.
نترات البوتاسيوم	سماد قابل للذوبان بشكل كبير وهو السماد الأكثر استخداما كمصدر للنتروجين والبوتاسيوم، ولا يتعارض مع نترات الكالسيوم أو السلفات ولذلك يمكن توزيع كميته بالتساوي في كلا خزاني الأسمدة المركزة.
سلفات البوتاسيوم	سماد قابل للذوبان ويمكن استخدامه في تحضير المحلول المغذي، ويجب وضعه في خزان السلفات بعيدا عن الكالسيوم.
فوسفات أحادي البوتاسيوم	سماد ذواب في الماء وهو مصدر أساسي للفوسفور في المحاليل المغذية، ويجب وضعه في خزان السلفات بعيدا عن الكالسيوم.
سلفات المغنيسيوم	هو أحد المصادر الأساسية للمغنيسيوم، وهو قابل للذوبان في الماء ويمكن امتصاصه بسهولة من قبل النباتات، كما يوفر عنصر الكبريت.
نترات المغنيسيوم	نادرا ما يستخدم في الزراعة المائية.

أسمدة الحديد	يفضل استخدام الأسمدة التي توفر الحديد بشكل مخلبي، وتعرف الأسمدة المخلبية بأنها مواد عضوية طبيعية أو صناعية تغلف العنصر الغذائي وترتبط معه بأكثر من جهة، وتمنعه من التفاعل الكيميائي مع أيونات أخرى في المحلول المغذي، وهذا يحافظ عليه جاهزاً للامتصاص من قبل جذور النباتات ومن الأفضل وضعه في خزان الكالسيوم وهذا يبقيه منفصلاً عن المنغنيز والنحاس والزنك في المحلول المركز.
أسمدة العناصر الدقيقة (المنغنيز والنحاس والزنك)	يمكن استعمال أسمدة المنغنيز والنحاس والزنك في صورة سلفات، ويمكن أن تستخدم أسمدة الكلور لواحد أو أكثر من هذه العناصر المغذية، حيث أنَ كميتها قليلة ولن تضيف الكثير من عنصر الكلور إلى المحلول المغذي. يفضَل بشكلٍ عام تجنب استخدام أسمدة المنجنيز والنحاس والزنك بشكل مٌخلبي، لأنه يمكن لهذه العناصر الموجودة في شكل مخلَب أن تتحرك بناءً على تفضيل العامل المخلِب مما يجعل توزيعها وإتاحتها للنباتات غير متوقع.
أسمدة العناصر الدقيقة (البورون و الموليبدينوم)	يمكن توفير البورون باستخدام حمض البوريك، وهناك حاجة إلى كميةٍ صغيرةٍ جدًا من الموليبدينوم في محلول الأسمدة، ويتم توفيره عادة إما في شكل موليبدات الصوديوم أو موليبدات الأمونيوم، ويلاحظ أن كمية الصوديوم أو الأمونيوم التي يتم إضافتها مع سماد الموليبدينوم هي كميات صغيرة جداً ولا تؤدي إلى زيادة تركيز الصوديوم أو الأمونيوم في المحلول المغذي.

جدول 20: بعض الملاحظات على الأسمدة المستخدمة في خلطات الزراعة المائية

يلاحظ بأنه في معظم الأحيان وبسبب ارتفاع ملوحة مياه الري المستخدمة في الزراعة، تبقى نسب العناصر المغذية التي نستطيع إضافتها دون المستويات المثالية، لكن يمكن للنباتات التأقلم مع نقص العناصر المغذية، ويظهر الجدول التالي الحدود الدنيا والحدود العليا الموصى بها للعناصر المغذية في المحاليل المغذية كما وصفها Jones, J عام 2014:

العنصر	الحد الأدنى (جزء في المليون)	الحد الأعلى (جزء في المليون)
النتروجين بشكل نترات (NO_3)	80	150
النتروجين بشكل أمونيوم (NH4)	10	30
الفوسفور (P)	15	30

البوتاسيوم (K)	100	150
الكالسيوم (Ca)	150	200
المغنيسيوم (Mg)	50	80
الكبريت (S)	50	100
البورون (B)	0.1	0.6
النحاس (Cu)	0.01	0.10
الحديد (Fe)	2	5
المنغنيز (Mn)	0.5	2.0
المولبيديوم (Mo)	0.05	0.15
الزنك (Zn)	0.1	0.5
المصدر: Jones, J. 2014		

جدول 21: الحدود الدنيا والحدود العليا الموصى بها للعناصر المغذية في المحاليل المغذية كما وصفها Jones, J عام 2014

كما تظهر الوصفة التالية للعالم Morgan, L كميات الأسمدة اللازمة لتحضير محلول مغذِي مركَز يصلح لزراعة عدة محاصيل، ويتألف من محلولين منفصلين (A)و (B) حيث يتم إذابة هذه الأسمدة في الماء المقطَر في خزانين منفصلين بحجم 100 ليتر لكل منهما:

السماد	الاسم بالإنكليزية	التركيب الكيميائي	الكمية (غرام)
المحلول المركز A			
نترات الكالسيوم	Calcium nitrate	$Ca(NO_3)2.4H_2O$	13110
نترات البوتاسيوم	Potassium nitrate	KNO_3	2557
شيلات الحديد	Iron chelate	عدة مصادر	500
المحلول المركز B			
نترات البوتاسيوم	Potassium nitrate	KNO_3	2557
فوسفات أحادي البوتاسيوم	Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	3567
سلفات المغنيسيوم	Magnesium sulfate	$MgSO_4{\cdot}7H_2O$	6625
المصدر: Morgan, L., 2002c			
Morgan, L. 2002c. Raft system specifics. *Growing Edge* 14 (2): 46–60.			

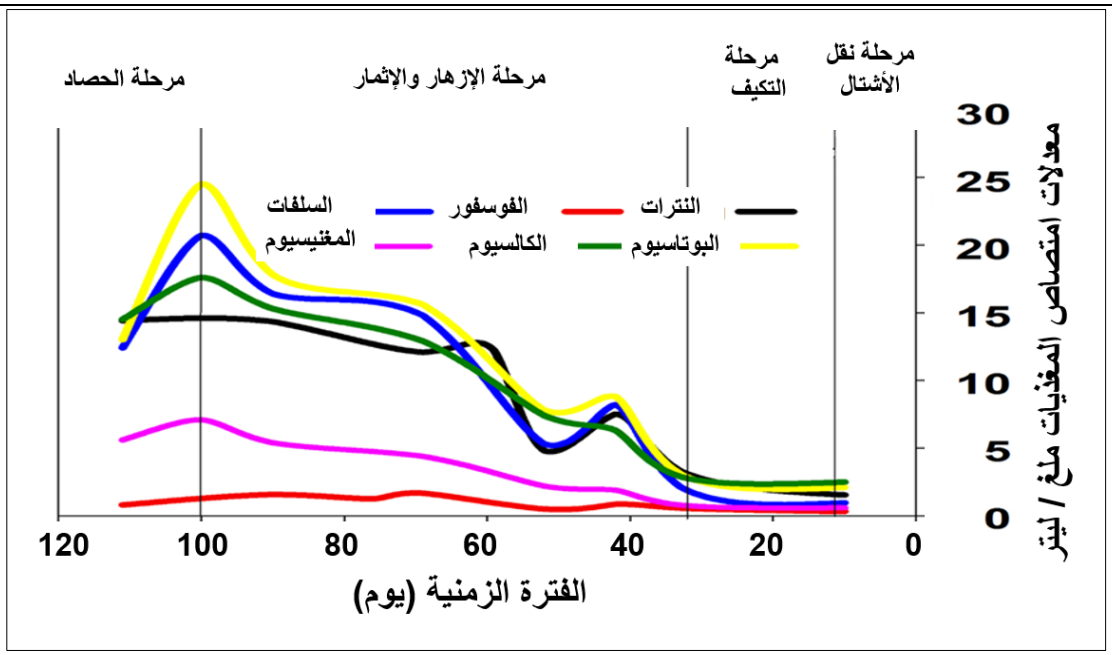
جدول 22: : كميات الأسمدة اللازمة لتحضير محلول مغذِي مركز يصلح لزراعة عدة محاصيل

ويبين الجدول التالي نسب العناصر المغذية الأساسية في وصفة مورغان بوحدة جزء في المليون، وتم حسابها من خلال حساب الأوزان الجزيئية للأسمدة ونسب العناصر المغذية فيها:

العناصر السمادية الكبرى	النتروجين N	الفوسفور P	البوتاسيوم K	الكالسيوم Ca	المغنيسيوم Mg	الكبريت S
نسبة العناصر السمادية جزء في المليون	227	81	300	223	66	86

جدول 23: نسب العناصر المغذية الأساسية في وصفة مورغان

يلاحظ من الوصفة السابقة أن تراكيز العناصر المغذية الكبرى في هذه الوصفة ثابت، لكن يمكن للمزارعين تعديلها مع التجربة للتكيَف مع الحاجة الحقيقية للمحاصيل المزروعة، وبشكلٍ عام فإن نسب العناصر المغذية تبقى ثابتة أثناء مراحل النمو المختلفة في معظم وصفات المحاليل المغذية للمحاصيل الورقية، بينما في المحاصيل التي تنتج الثمار، فيفضَل تعديل المحاليل المغذية حسب مراحل النمو المختلفة للنباتات كالنمو الخضري أو الزهري أو الثمري، لقد وجد من خلال التجربة بأن احتياج النباتات من العناصر المغذية وخاصة العناصر **الكبرى** منها، يتغير أثناء المراحل المختلفة للنمو، حيث تحتاج النباتات إلى كميات صغيرة من العناصر في بداية الزراعة ثم يزداد الطلب عليها مع تقدم نمو النباتات وخاصةً عند تشكُل الثمار، وفي دراسةٍ قام بها الباحث لي وآخرون عام 2017، لتبيان حركة امتصاص العناصر المغذية من المحلول المغذي، أثناء نمو البندورة في الصوف الصخري في نظام الزراعة المائية المغلق، تبيَن أن معدَلات امتصاص أيونات العناصر المغذية تزداد تدريجياً مع مراحل النمو المختلفة حسب الرسم البياني التالي:



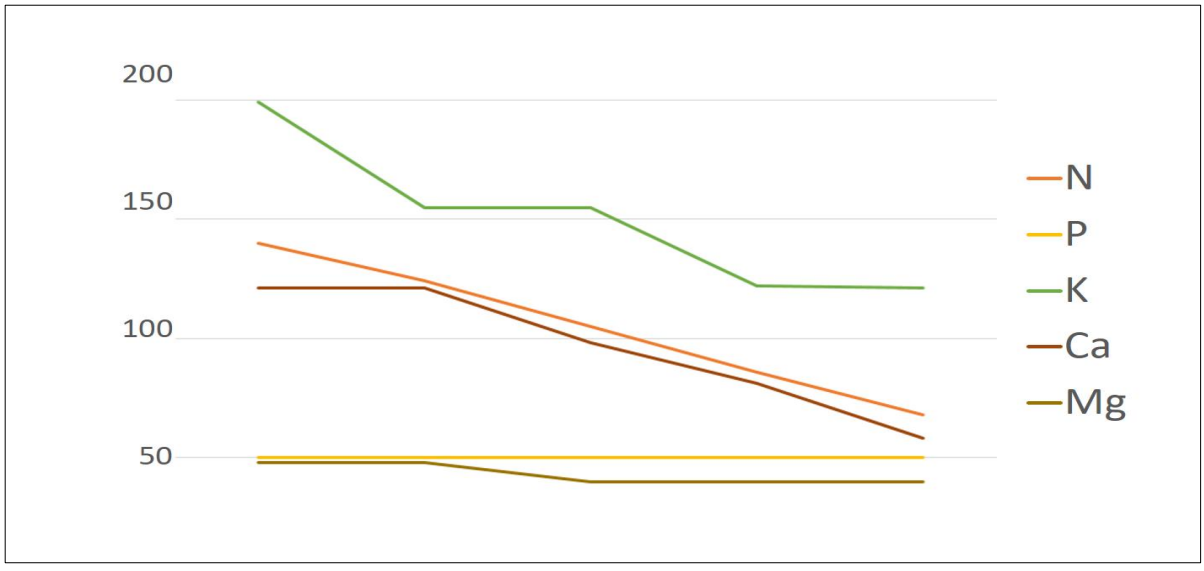
المصدر: Lee, J. Y., Rahman, A., Azam, H., Kim, H. S., & Kwon, M. J. 2017

رسم بياني 4::معدّلات امتصاص أيونات العناصر المغذيةً مع مراحل النمو المختلفة

لذلك من الأفضل للمبتدئين في تبني الزراعة بدون تربة التدرُج في زيادة العناصر المغذية مع تقدم عمر النبات، حيث يمكن أن تؤدي الزيادة غير المدروسة في بعض العناصر المغذية في المراحل المبكرة في الزراعة إلى مشاكل عديدة، فعلى سبيل المثال تؤدي زيادة عنصر النتروجين في المحلول المغذي إلى تشققات وأخاديد في السيقان يمكن أن تشكل منافذ دخول محتملة للكائنات المسببة للأمراض الفطرية أو غيرها، ويؤدي ذلك في النهاية إلى إنتاج ثمار مشوهة أو غير قابلة للتسويق، ويمكن التغلب على مثل هذه المشاكل بالحفاظ على مستوى منخفض من النتروجين ما بين 60 إلى 70 جزءًا في المليون في وقت مبكر من الموسم، لكن يجب ملاحظة أن محصول الخيار يتطلب كمية أعلى من النتروجين مقارنة مع البندورة.

كما يمكن لارتفاع نسبة البوتاسيوم في المحلول المغذي في وقت مبكر من الزراعة، أن يتداخل مع قدرة النباتات على امتصاص الكالسيوم والمغنيسيوم، وغالبًا ما تصاب النباتات التي تتعرض لنسبة زائدة من البوتاسيوم بمرض تعفُن نهاية الزهرة خاصةً في بداية الموسم.

ويبيِن المخطط التالي للباحث Hochmuth, G عام 1999، أحد وصفات المحلول المغذي المناسبة لمحصول البندورة، في هذا المخطط نلاحظ ازدياد تراكيز العناصر المغذية الكبرى من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم مع تقدم عمر النبات، لكن يبقى الكالسيوم والمغنيسيوم ثابتا تقريباً في كل مراحل النمو، كما يلاحظ ازدياد ملوحة المحلول المغذي مع تقدم عمر النبات :



رسم بياني 4 : ازدياد تراكيز العناصر المغذية الكبرى من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم مع تقدم عمر النبات

العنصر المغذي / فترة النمو	النتروجين N	الفوسفور P	البوتاسيوم K	الكالسيوم Ca	المغنيزيوم Mg	الموصلية الكهربائية/ديسي يمنز/متر
من الزراعة حتى بدء تكون العنقود الأول	68	50	121	58	40	0.8
من بدء تكون العنقود الأول إلى بدء تكون العنقود الثاني	86	50	122	81	40	0.9

من بدء تكون العنقود الثاني إلى بدء تكون العنقود الثالث	105	50	155	98	40	1.3
من بدء تكون العنقود الثالث إلى بدء تكون العنقود الخامس	124	50	155	121	48	1.5
من بدء تكون العنقود الخامس إلى الانتهاء	140	50	199	121	48	1.8
المصدر: Hochmuth, G. 1990						

جدول 24 ازدياد تراكيز العناصر المغذية الكبرى من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم مع تقدم عمر النبات

مع زيادة الممارسات الزراعية الجيدة وتراكم الخبرة، يمكن للمزارعين تعديل وصفة المحلول المغذي وفقًا لمرحلة نمو المحصول باستخدام استراتيجية مختلفة عما ذكر سابقاً، وتتمثل بتوفير المزيد من النيتروجين والكالسيوم والمغنيسيوم في مرحلة النمو الخضري، لتعزيز البنية الجيدة للنباتات والجذور، ثم يتم تقليل هذه العناصر المغذية وزيادة البوتاسيوم في مرحلة تشكُل ونمو الثمار لتعزيز النمو الثمري وزيادة الإنتاج.

يبين الجدول التالي وصفات المحاليل المغذية لمجموعة من المحاصيل تحت الظروف المناخية للبحر الأبيض المتوسط لأنظمة الزراعة المفتوحة والتي تصلح لتطبيقها في الأردن:

المحصول	فترة النمو	الموصلية الكهربائية	الحموضة	النتروجين	الفوسفور	البوتاسيوم	الكالسيوم	المغنيسيوم	الكبريت
		EC	PH	N	P	K	Ca	Mg	S
البندورة	مرحلة النمو الخضري	2.5	5.6	221	47	274	205	58	116
	مرحلة النمو الثمري	2.5	5.6	190	47	313	180	51	128
الخيار	مرحلة النمو الخضري	2.2	5.6	226	39	242	166	39	42
	مرحلة النمو الثمري	2.1	5.6	212	36	282	136	34	45
الفليفلة	مرحلة النمو الخضري	2.2	5.6	209	37	211	186	39	59
	مرحلة النمو الثمري	2.1	5.6	190	37	227	180	34	56
الباذنجان	مرحلة النمو الخضري	2.2	5.6	220	37	219	140	61	51
	مرحلة النمو الثمري	2.1	5.6	207	37	246	120	56	48
الكوسا	مرحلة النمو الخضري	2.2	5.6	223	39	219	160	51	43
	مرحلة النمو الثمري	2.1	5.6	203	37	258	120	41	35
الفاصولياء	مرحلة النمو الخضري	2	5.6	193	37	207	150	39	46
	مرحلة النمو الثمري	1.8	5.6	162	37	227	120	29	47
الخس	كافة مراحل النمو	1.8	5.6	252	43	293	217	36	48
المصدر: Savvas, D. 2012									

جدول 25 وصفات المحاليل المغذية لمجموعة من المحاصيل تحت الظروف المناخية للبحر الأبيض المتوسط لأنظمة الزراعة المفتوحة

في الأنظمة المغلقة يمكن اعتماد الوصفة السابقة بعد تقليل ملوحة هذه المحاليل بمقدار 15 إلى 20 في المائة.

كما يمثل الجدول التالي للباحث شون تراكيز العناصر الرئيسية الموصى بها في للمحلول المغذي حسب المحصول:

المحصول	النتروجين	الفوسفور	البوتاسيوم	الكالسيوم	المغنيسيوم
	N	P	K	Ca	Mg
البندورة	200	50	360	185	45
الخيار	230	40	315	175	42
الفليفلة	175	39	235	150	28
الباذنجان	175	30	235	150	28
الأعشاب	210	80	275	180	67
الخس	200	50	300	200	65
الشمام	186	39	235	180	25
المصدر: Schon, M., 1992					

جدول 26 تراكيز العناصر الرئيسية الموصى بها في للمحلول المغذي حسب المحصول للباحث Schon

10.12. الخلطات السمادية للعناصر الصغرى

بسبب ارتفاع ملوحة مياه الري في الأردن ستكون كمية العناصر المغذية الكبرى التي يمكن إضافتها للوصول إلى الموصلية الكهربائية المطلوبة للمحلول المغذي قليلة، وكما ذكر سابقا تستطيع النباتات تحمل قلة العناصر المغذية الكبرى، لكن من الممكن أن تتأثر النباتات سلباً من قلة العناصر المغذية الصغرى حيث تكون كمياتها قليلة جدا، لذلك من الضروري أن تكون الكمية المضافة من العناصر الصغرى كاملة حسب الوصفات، ويتم ذلك بفصل خزان العناصر الصغرى حيث يسهِل ذلك إضافة كامل الكمية المطلوبة.

ويبين الجدول التالي لمورغان كمية ونوع الأسمدة الواجب إضافتها لتحضير 100 ليتر من المحلول المغذي المركز للعناصر الدقيقة يصلح للعديد من المحاصيل، حيث تضاف هذه الأسمدة إلى 100 ليتر من الماء المقطر بعد تسخينه حتى تمام الذوبان، ويضاف ليتر واحد منه لكل 100 ليتر من المحلول المغذي المخفف الذي سيصل إلى جذور النباتات:

السماد	الاسم بالإنكليزية	التركيب الكيميائي	الكمية (غرام)
سلفات المنغنيز	Manganese sulfate	$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	121
سلفات الزنك	Zinc sulfate	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	11
حمض البوريك	Boric acid	H_3BO_3	39
سلفات النحاس	Copper sulfate	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	3
مولبيدات الأمونيوم	Ammonium molybdate	$(NH_4)6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	1.02
المصدر: Morgan, L., 2002c			

جدول 27: كمية ونوع الأسمدة الواجب إضافتها لتحضير 100 ليتر من المحلول المغذي المركز للعناصر الدقيقة

10.13. مثال على تحضير خلطة سمادية (لمحصول البندورة)

العنصر السمادي	النتروجين N	الفوسفور P	البوتاسيوم K	الكالسيوم Ca	المغنيسيوم Mg
نسبة العنصر في المحلول المغذي (جزء في الميلون)	200	50	360	185	45

يجب الانتباه إلى أن وحدة جزء في المليون=غرام في متر مكعب = غرام في ألف ليتر

بمعنى انه عندما تكون هذه الكميات في الخلطات السمادية بوحدة جزء في المليون، فإنه يمكننا وزن ما يقابلها من الأسمدة بالغرام، ووضعها في متر مكعب (1 000 ليتر) من الماء ليعطي في النهاية التركيز المطلوب بوحدة جزء في المليون.

يبين الجدول التالي أسمدة العناصر الكبرى المستخدمة في هذه الخلطة وكميات العناصر المغذية الكبرى وتم حسابها بعد معرفة تركيبها الكيميائي والنسبة المئوية للعناصر السمادية فيها:

السماد/النسبة المئوية للعناصر السمادية	النتروجين N	الفوسفور P	البوتاسيوم K	الكالسيوم Ca	المغنيسيوم Mg
نترات الكالسيوم	11.9			17	
نترات البوتاسيوم	13.9		38.7		
سلفات البوتاسيوم	45				
فوسفات أحادي البوتاسيوم		22.8	28.7		
سلفات المغنيسيوم					9.9

جدول 28 أسمدة العناصر الكبرى وكميات العناصر المغذية الكبرى

10.13.1. حساب كمية نترات الكالسيوم لتحقيق الكمية المطلوبة من الكالسيوم

حساب كمية نترات الكالسيوم اللازمة لتحضير 185 غرام من الكالسيوم وذلك حسب الخلطة السابقة

كل 100 غرام سماد نترات الكالسيوم يحوي 17 غرام كالسيوم

كل X غرام سماد نترات الكالسيوم يحوي 185 غرام كالسيوم

$X=\frac{185\times100}{17}$ =1088 غرام نترات الكالسيوم وهي الكمية الواجب إضافتها إلى متر مكعب من الماء لتحقيق نسبة 185 جزء في المليون.

نلاحظ هنا أنه عند إضافة 1088 غرام من سماد نترات الكالسيوم تم إضافة عنصري الكالسيوم والنتروجين لذلك يجب حساب كمية النتروجين التي تمت إضافتها.

كل 100 غرام سماد نترات الكالسيوم يحوي 11.9 غرام نتروجين.

كل 1088 غرام سماد نترات الكالسيوم يحوي A غرام نتروجين.

$A = \frac{11.9 \times 1088}{100}$ = 129.5 غرام نتروجين

وبالتالي يجب طرح كمية النتروجين الناتجة عن إضافة سماد نترات الكالسيوم من الكمية المطلوب تحقيقها وتساوي 200-129.5 =70.5 غرام

10.13.2. حساب كمية نترات البوتاسيوم لتحقيق باقي الكمية المطلوبة من النتروجين

الآن لتحقيق كمية النتروجين المطلوبة يمكن استخدام سماد نترات البوتاسيوم لهذه الغاية

كل 100 غرام سماد نترات البوتاسيوم يحوي 13.9 غرام نتروجين

كل B غرام سماد نترات البوتاسيوم يحوي 70.5 غرام نتروجين

$B = \frac{70.5 \times 100}{13.9}$ = 507.2 غرام نترات البوتاسيوم اللازمة للحصول 70.5 غرام نتروجين.

نلاحظ هنا أنه عند إضافة 507.2 غرام من سماد نترات البوتاسيوم تم إضافة عنصري النتروجين والبوتاسيوم لذلك يجب حساب كمية البوتاسيوم التي تمت إضافتها.

كل 100 غرام سماد نترات البوتاسيوم يحوي 38.7 غرام بوتاسيوم

كل 507.5 غرام سماد نترات البوتاسيوم يحوي C غرام بوتاسيوم

$C = \frac{38.7 \times 507.5}{100}$ = 196.4 غرام بوتاسيوم

الان تصبح الكمية المطلوبة من البوتاسيوم للوصول على الكمية المطلوبة

هي 360-196.4=163.3 غرام

10.13.3. حساب كمية فوسفات أحادي البوتاسيوم لتحقيق باقي الكمية المطلوبة من الفوسفور

كل 100 غرام سماد فوسفات أحادي البوتاسيوم يحوي 22.8 غرام فوسفور

كل D سماد فوسفات أحادي البوتاسيوم يحوي 50 غرام فوسفور

$D = \frac{50 \times 100}{22.8}$ =219.3 غرام فوسفات أحادي البوتاسيوم

كل 100 غرام سماد فوسفات أحادي البوتاسيوم يحوي 28.7 غرام بوتاسيوم

كل 219.3 سماد فوسفات أحادي البوتاسيوم يحوي E غرام بوتاسيوم

E= $\frac{28.7\times219.3}{100}$=63 غرام بوتاسيوم

الان تصبح الكمية المتبقية من البوتاسيوم =163.3-63=100.3 غرام

حساب كمية سلفات البوتاسيوم لتحقيق باقي الكمية المطلوبة من البوتاسيوم:

كل 100 غرام سماد سلفات البوتاسيوم يحوي 45 غرام بوتاسيوم

كل F سماد فوسفات أحادي البوتاسيوم يحوي 100.3 غرام بوتاسيوم

F= $\frac{100.3\times100}{45}$ =223 غرام سلفات البوتاسيوم

حساب كمية سلفات المغنيسيوم لتحقيق الكمية المطلوبة من المغنيسيوم:

كل 100 غرام سماد سلفات المغنيسيوم يحوي 9.9 غرام مغنيسيوم

كل G غرام سماد سلفات المغنيسيوم يحوي 45 غرام مغنيسيوم

G= $\frac{45\times100}{9.9}$ =454.5 غرام سلفات المغنيسيوم

وتصبح الكميات اللازمة من الأسمدة لتحقيق الخلطة السمادية المطلوبة كما يلي:

السماد/النسبة المئوية للعناصر السمادية	الكمية المضافة من السماد بالغرام
نترات الكالسيوم	1088
نترات البوتاسيوم	507.2
فوسفات أحادي البوتاسيوم	219.3
سلفات البوتاسيوم	223
سلفات المغنيسيوم	454.5

جدول 29: الكميات اللازمة من الأسمدة لتحقيق الخلطة السمادية السابقة

بعد حساب هذه الكميات يمكن للمزارعين بسهولة تحضير محلول مغذِي مركَز، يمكن تخفيفه بالماء للوصول إلى التركيزات المطلوبة للمحلول المغذي المطلوب، وبشكل عملي يمكن تحضير هذا المحلول من خلال ضرب هذه الكميات بالعدد 100 ولكن يجب الانتباه إلى فصل الأسمدة في عدة خزانات كما يبينه الجدول التالي:

الخزان (A)	الخزان (B)	الخزان (C)
نصف كمية نترات البوتاسيوم دائما يتم فصل الكالسيوم لوحده عن الأسمدة الأخرى مهما كان مصدر سماد الكالسيوم	نصف كمية نترات البوتاسيوم	الحمض المستخدم لخفض درجة الحموضة
شيلات الحديد	سلفات البوتاسيوم	
	فوسفات أحادي البوتاسيوم	
	سلفات المغنيسيوم	
	جميع المغذيات الدقيقة الأخرى ويفضل أن لا تكون بشكل مخلبي (شيلات)	

جدول 30: توزيع الأسمدة في خزانات المحلول المركز

في كثير من الأحيان لن تتوفر أسمدة نترات البوتاسيوم ونترات الكالسيوم في الأسواق لأسباب أمنية، لذلك يمكن استخدام أية أنواع من الأسمدة تحتوي على هذه العناصر الضرورية، وكما ذكر سابقاً يجب الانتباه إلى تحويل النسبة المئوية للأكاسيد الموجودة في السماد إلى النسبة المئوية للعناصر بشكلها الأحادي، ويمكن من خلال هذا الجدول حساب النسبة المئوية للعناصر المغذية الكبرى بالصيغة الأحادية لمعرفة الكميات اللازمة منها لتكوين خلطة المحلول المغذي:

الصيغة الموجودة على ملصق عبوة السماد	Mg MgO	Ca CaO	K K_2O	P P_2O_5	N
معامل التحويل	نضرب بالعدد 0.6031	نضرب بالعدد 0.7146	نضرب بالعدد 0.8301	نضرب بالعدد 0.4364	تبقى النسبة كما هي على ملصق عبوة السماد

جدول 31: حساب النسبة المئوية للعناصر المغذية الكبرى بالصيغة الأحادية

كما يمكن في بعض الأحيان أن ترد خلطات المحاليل المغذية في المراجع العلمية بوحدة الميلي مول/ليتر، حيث يمكن تسهيل عملية الحساب بتحويل هذه الوحدات إلى جزء في المليون كما يلي:

جزء في المليون (ppm) =الوزن المولي (mmol/L) ×الوزن الذري للعنصر (Atomic weight)

10.14. مراحل نمو النباتات وتوازن العناصر المغذية

يساعد النمو الخضري على تطوير الجذور والأوراق الصغيرة للحصول على بنية نباتية قوية وأوراق لعملية التمثيل الضوئي، بينما يساعد النمو التناسلي على نمو الأزهار وتكوين الثمار لتطوير محصول قابل للتسويق.

وهناك حاجة إلى التوازن بين نوعي النمو من أجل الحفاظ على نمو النباتات المثمرة وإنتاجيتها. تشجع المستويات العالية من النيتروجين N النمو الخضري لكن ذلك يضر بالنمو الثمري إذا ما بقي مرتفعا في مرحلة التكاثر في ظل الإضاءة المنخفضة، كما يزداد امتصاص البوتاسيوم K مع زيادة عدد الثمار.

يعد البوتاسيوم K من العناصر الضرورية الكبرى التي تمتصها معظم الخضروات، وتلعب دورًا مهمًا في التمثيل الضوئي وتكوين الكربوهيدرات وانتقالها إلى الثمار وتحسين جودتها وزيادة وزنها وبالتالي قيمتها السوقية، كما يتسبب نقص البوتاسيوم K في انخفاض معدل التمثيل الضوئي وزيادة التنفس مما يؤدي إلى انخفاض في تراكم الكربوهيدرات وجودة الثمار.

تؤثر نسبة K:N على التوازن بين مراحل النمو الخضري والتكاثري في المحاصيل وتتغير النسبة المثلى من البوتاسيوم K إلى النتروجين N مع مراحل النمو المختلفة وتختلف حسب نوع المحصول، ويوصي الباحثون بنسب مختلفة للمحاصيل المختلفة.

10.15. نسبة K: N في محصول البندورة

يوصي الباحثون بنسبة نترات:بوتاسيوم تساوي $\frac{K:N}{1.2:1}$ لمحصول البندورة في الفترة ما من بداية الزراعة حتى تشكُّل العنقود الزهري الأول، وهذه هي الحال لمعظم النباتات خلال مرحلة النمو الخضري وتزداد هذه النسبة إلى $\frac{K:N}{2:1}$ مع زيادة حمل الثمار على النبات لأن حوالي 70 في المائة من البوتاسيوم الممتص ينتقل إلى الثمار وبحلول الوقت الذي تتفتح فيه أزهار العنقود الزهري التاسع يجب رفع النسبة إلى $\frac{K:N}{2.5:1}$.

10.16. نسبة K:N في محصول الخيار

يوصي الباحثون بنسبة K:N تساوي $\frac{K:N}{1.4:1}$ في مرحلة النمو الخضري لمحصول الخيار وقد أثبتت الأبحاث أن زيادة هذه القيمة إلى $\frac{K:N}{3:1}$ في مرحلة التكاثر يزيد من كتلة الثمار والإنتاجية.

في هذا الجدول يبين تأثير اختلاف نسبة K:N في المحلول المغذي على إنتاجية الخيار في نظام الغشاء المغذي حيث طبقت النسبة $\frac{K:N}{1.4:1}$ طوال مرحلة النمو الخضري وتم تطبيق عدة نسب في مرحلة التكاثر كان أفضلها $\frac{K:N}{2:1}$ و $\frac{K:N}{3:1}$ ويبين الجدول التالي إنتاجية صنفين من الخيار مع تغير نسبة K:N للمحلول المغذي خلال مرحلة الإثمار:

K:N	وزن الثمار(غرام/نبات)	
	الصنف Runner	الصنف Natsuno Kagayaki
0.5:1.0	308.08	400.34
1.0:1.0	172.66	352.54
2.0:1.0	479.80	785.06
3.0:1.0	670.90	972.15
المصدر: Cardoso, D et al., 2017		
Cardoso, Deise & Sediyama, Maria & Poltronieri, Yonara & Marques Fonseca, Maira & Neves, Yane. (2017). Effect of concentration and N:K ratio in nutrient solution for hydroponic production of cucumber. Revista Caatinga. 30. 818-824. .10.1590/1983-21252017v30n401rc		

جدول 32 إنتاجية صنفين من الخيار مع تغير نسبة نترات: بوتاسيوم للمحلول المغذي خلال مرحلة الإثمار

10.17. القواعد العامة لتحضير المحلول المركَز للمحلول المغذي

- الطريقة الشائعة هي عمل محلولين مركزين A وB داخل خزانات بسعة 1 000 ليتر وقد يضاف خزان ثالث للعناصر الدقيقة عندما تكون ملوحة المياه مرتفعة.
- تحضَر المحاليل المغذية المركَزة بتراكيز عادة ما تكون 100 مرة ضعف التراكيز المطلوبة التي ستطبق على النبات، وعند الإستعمال يضاف ليتر واحد من المحلول المركَز لكل 100 ليتر من الماء.
- يفضل استخدام المياه المقطرة عند تحضير المحلول المغذي لكيلا تؤثر على انحلالية الأسمدة.
- يجب أن تكون كمية الأسمدة أقل من 100 كغ لكل خزان صيفا لضمان الذوبان التام وعدم ترسيب الأسمدة.
- في فصل الشتاء يفضل تقليل تركيز الأسمدة في المحلول المركز إلى النصف عندما تكون درجات حرارة الماء منخفضة، أو عند استخدام الماء ذو الموصلية الكهربائية العالية لأكثر من 0.5 ديسيمنز/متر لتحضير المحلول المركز.
- يجب فصل أسمدة الكالسيوم عن أسمدة الفسفور والكبريت.
- توضع أسمدة الكالسيوم في الخزان A.
- توضع أسمدة الكبريتات والأسمدة الفوسفاتية في الخزان B.
- وعند استخدام نترات البوتاسيوم لتحضير المحلول المغذي فيتم توزيعه وبشكلٍ متساوٍ قدر الإمكان في الخزانين A و B.
- تضاف العناصر الدقيقة إلى الخزان B في حالة إضافتها كأملاح كبريتات.
- تضاف العناصر الدقيقة بشكل مخلبات فقط بالنسبة للحديد، ويجب عدم استخدام مخلبات العناصر الدقيقة الأخرى بشكل مخلبات، فهي حساسة لمستويات رقم الحموضة وتتفكك عند انخفاضه.
- يفضل عدم استخدام الأحماض في تحضير المحلول المغذي.

- يتم تعبئة الخزانات بالماء حتى 75في المائة ثم تضاف الأسمدة الأقل ذوبانا في البداية بشكل بطيء مع التحريك المستمر، وإعطاء الوقت الكافي لإذابة الأسمدة قبل إضافة الكمية الأخرى من الأسمدة.
- بعد الانتهاء من إضافة جميع الأسمدة يتم إضافة الماء لإكمال الحجم إلى 000 1 ليتر.

11. إدارة الري في الزراعة بدون تربة

تتطلب الخضراوات المنتجة في البيوت البلاستيكية كميات كبيرة من الماء لتحقيق النمو الأمثل وزيادة الإنتاجية والحصول على ثمار عالية الجودة، الماء هام جدا في الخلايا النباتية ويشارك في العديد من العمليات البيو كيمائية، وعند نقص الماء حتى لفترات قصيرة سوف تتباطأ عمليات النمو وينتج عن ذلك انخفاض الغلة والجودة.

يتم تزويد الماء إلى النبات من خلال نظام الجذر ويخرج كبخار ماء عبر الأوراق عن طريق عملية تسمى النتح، على طول الطريق يشارك الماء في العديد من العمليات التي تساهم في النمو والإنتاجية، وعندما يغادر الماء النبات فإن عملية التبخر(النتح) تقوم بخفض حرارة النبات، وعادة ما يتم استهلاك حوالي 2 في المائة فقط من الماء الذي يدخل النبات في التفاعلات البيو كيميائية وتذهب الغالبية العظمى لعملية النتح.

يعد الإمداد الصحيح بالمياه والمغذيات واستخدام المياه بكفاءة عالية، أمرًا مهمًا في أنظمة الزراعة بدون تربة وذلك من أجل تجنب حالات الإجهاد المائي للنبات والتحكم في الإنتاج.

وتعتبر إدارة المحلول المغذي من أهم العوامل الإدارية التي يمكن للمزارعين من خلالها التحكم في نمو النبات والمحصول وجودته، وذلك يتطلب توفير الكمية المثلى من المحلول المغذي والأكسجين في منطقة الجذور لجميع النباتات للحصول على منتجات عالية الجودة.

لا توجد طريقة ري مثلى موحدة لأنظمة الزراعة بدون تربة لجميع النباتات في الزراعة بدون تربة، كما يجب أن يتم التحكم في المناخ داخل البيوت المحمية جنبا إلى جنبا مع الري من أجل التحكم في نمو النباتات.

يتبع المزارعون المحترفون جداول ري مختلفة، وذلك اعتمادًا على النظام المطبق في الزراعة بدون تربة ونوع وسط النمو ونوع النبات ومراحل نموه والمناخ، ولكل مزارع جدوله الزمني الخاص به بناءً على مستوى التحكم والخبرة الشخصية، حيث يتمكن بعض المزارعين من الوصول إلى حد التحكم اعتمادًا على أسعار السوق أو العوامل الاقتصادية الأخرى.

بالإضافة إلى التأثير على النمو والإنتاج الكليين، تؤثر إدارة المياه على جودة الثمار حيث يقل حجم الثمار في الحالات التي يكون فيها الماء غير كافٍ، ولا تقوم النباتات المُجهدة مائيا بتطوير أوراق كثيفة لحماية الثمار من أشعة الشمس المباشرة، كما يمكن ملاحظة زيادة فرصة الإصابة بمرض (تعفن الطرف الزهري) المرتبط بنقص الكالسيوم، و لوحظ في ظل الإجهاد المائي بأن جذور النباتات لا تستطيع امتصاص الكالسيوم من وسط النمو ونقله إلى الأجزاء المختلفة من النباتات، حيث ينتقل الماء بسرعة إلى أوراق النباتات لأن معدل النتح يكون أعلى في تلك المواقع

مقارنة مع الثمار، ويتم نقل كمية أقل من الكالسيوم إلى الثمار مما يسبب انهيار جزء من خلايا الثمار وتدهورها، و لا يحدث الإجهاد المائي فقط بسبب عدم كفاية الماء بل يمكن أن ينتج أيضًا عن زيادته حيث يؤدي ذلك إلى غمر الجذور بالماء وحرمانها من الأوكسجين اللازم للتنفس (يطلق عليه مصطلح الغدق).

صورة 122: آثار نقص الكالسيوم على ثمار البندورة والفليفلة

بشكل عام تتكون أنظمة الإنتاج في الزراعة بدون تربة، من منطقة وسط النمو التي ينمو فيها الجذر، والجزء العلوي من النبات المعرض للظروف المناخية داخل الدفيئة ويتضمن الساق والأوراق والأزهار والثمار، ونظام الري لتزويد الجذر بالمحلول المغذي المؤلف من الماء والعناصر المغذية ونظام الصرف، ويرتبط نظام الري ارتباطا وثيقا بمنطقة الجذر، ونظام الري الأمثل هو الذي يوفر الكمية المثلى من الماء والمغذيات مع الحفاظ على مستوى مثالي من الأوكسجين في منطقة الجذر، ويجب أن يعمل هذا النظام بكفاءة وموثوقية وأن يقدم كمية محددة وموحدة لكل النباتات المزروعة في النظام.

تعمل إدارة الري في الزراعة بدون تربة على توصيل المحلول المغذي إلى منطقة جذور النباتات بكميات محددة وبتوقيت معين حسب نوع النباتات المزروعة ومراحل نموه والظروف الجوية الأخرى.

يتم تحديد مدة الري عن طريق التجربة والقياس، وذلك للتأكد من أن كل دائرة ري في نظام الري تقدم الكمية اللازمة من المحلول المغذي لكل النباتات، حيث يشَبَّع وسط النمو بالمحلول المغذي ويضاف إلى ذلك 25 إلى 30 في المائة ككمية إضافية للصرف، والتي تلعب دورا رئيسيا في تقليل الفروقات في كمية الري الواصلة لكل نبات نتيجة عدم انتظام الري، وهي ضرورية لمنع تراكم الأملاح أو العناصر غير المرغوب فيها في منطقة الجذر.

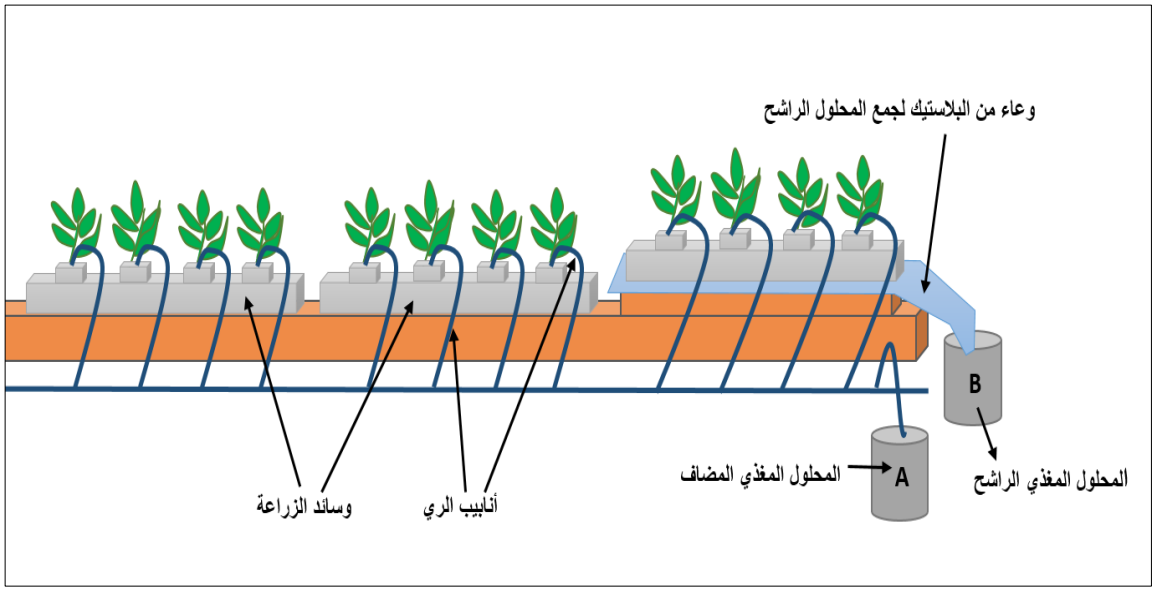
11.1. كيفية قياس حجم المحلول المغذي الراشح للصرف

تتعدد الطرق لقياس حجم المحلول المغذي الراشح، وتتضمن بعض الطرق رفع جزء من نظام الزراعة ووضع وعاء أو قطعة من البلاستيك أسفله، وذلك لجمع الراشح وقياسه ويمكن قياس النسبة المئوية للمحلول المغذي الراشح في المائة من الشكل التالي:

$$\text{النسبة المئوية للمحلول المغذي الراشح} = \frac{\text{حجم المحلول المغذي الراشح من الوسادة}}{\text{حجم المحلول المغذي المضاف إلى الوسادة}} \times 100$$

حجم المحلول الراشح (مللي ليتر) =حجم المحلول المغذي في الوعاء B

حجم المحلول المغذي المضاف إلى الوسادة (مللي ليتر) =حجم المحلول في الوعاء A×عدد أنابيب الري الواصلة إلى وسادة الزراعة.



رسم توضيحي 32: مكونات نظام قياس الراشح من المحلول المغذي

11.2. بيئة الجذر في الزراعة بدون تربة

يتمثل دور الجذور الرئيسي في امتصاص الماء والمغذيات وإنتاج الهرمونات المنظمة للنمو سواء في الزراعة بدون تربة أو الزراعة التقليدية في التربة، إضافة إلى دوره في تثبيت النبات.

في الزراعة التقليدية في التربة تنتشـــر الجذور أفقيا وعموديا في التربة للبحث عن المغذيات والماء، لكن في الزراعة بدون تربة تكون النباتات مزروعة في حجم محدد من وســـط النمو في الحاويات (القنوات أو الأكياس أو الأحواض)، وتنمو الجذور في مســـاحات محددة وهذا يقلل من حجمها مقارنة مع الزراعة في التربة، ولســـوء الحظ ليس هناك دراســـات كافية لتحديد الحجم الأمثل للجذور في أنظمة الزراعة بدون تربة، لضـــمان تلبية الطلب من قبل النباتات على الماء والعناصر الغذائية.

في الزراعة بدون تربة يمكن أن تتعرض الجذور للمخاطر بشـكل سـريع، وذلك بسـبب التغييرات البيئية السـلبية في وسـط النمو، مثل نقص الأكسـجين نتيجة الري المفرط خاصـة خلال فترات النمو النشـــط في الأجواء الحارة، وتراكم الأملاح عندما لا يكون هناك كمية كافية من المحلول المغذي لغســـيل منطقة الجذور، وســـمية الأمونيوم بســـبب التركيزات العالية من الأســـمدة وغيرها، كما يمكن أن تسرع بعض مواد تصنيع الحاويات ولونها من امتصاص الإشعاع الشمسي ورفع درجة حرارة وسط النمو في الحاويات الصغيرة مما يؤدي إلى تدمير الجذور.

صورة 123: إنتشار الجذر في وسادة الصوف الصخري

يؤثر الأوكسجين المذاب في المحلول المغذي بشكل مباشر على وظيفة الجذر، فالأكسجين هو العامل المؤكسد النهائي في سلسلة من تفاعلات الأكسدة الأنزيمية، والتي تطلق معظم الطاقة الكيميائية من السكريات اللازمة لنمو الجذور، وثبت أن انخفاض مستوى الأكسجين المذاب إلى حدود 3 أو 4 ملغرام/ليتر، سيثبط نمو الجذور ويبدأ تغير لونها للبني، ومع زيادة الوقت سيؤدي إلى موتها، كما إن استخدام أوساط النمو لفترات طويلة سيزيد من محتوى المادة العضوية ونشاط الكائنات الحية الدقيقة التي تنافس الجذور على الأكسجين في بيئة الجذر.

ويرتبط مستوى الأكسجين المذاب بشكل كبير بدرجة حرارة الماء، فمع ازدياد درجة الحرارة ستنخفض كمية الأكسجين المذاب في الماء، وفي الوقت نفسه سيزداد طلب النباتات على الأكسجين من أجل عمليات التمثيل الغذائي، ويمثل الجدول التالي كمية الأوكسجين المذابة في الماء عند درجات الحرارة المختلفة:

درجة الحرارة (مئوية)	درجة الحرارة (فهرنهايت)	الأوكسجين الممتص ملغ/ليتر (جزء في المليون)
0	32	14.6
5	41	12.8
10	50	11.3
15	59	10.1
20	68	9.1
25	77	8.2
30	86	7.5
35	95	6.9
المصدر: Nichols, M. 2002		

جدول 33: كمية الأوكسجين المذابة في الماء عند درجات الحرارة المختلفة

11.3. وسط النمو (خزان العناصر الغذائية)

في الزراعة التقليدية في التربة يمكن توفير المغذيات للنباتات بإضافة الأسمدة مباشرة للتربة، كما تحتوي التربة على العديد من المواد والأحياء الدقيقة، التي تعمل على موازنة التغييرات الكيميائية للمغذيات التي تحصل داخلها، وغالبا ما تقتصر مهمة الري على إذابة الأسمدة المضافة وتزويد النباتات بالماء اللازم لنموها وتطورها.

لكن في الزراعة بدون تربة تستخدم بدائل التربة كوسط للنمو، ويجب أن يقوم وسط النمو بضمان التبادل المثالي للمحلول المغذي في منطقة الجذر بحيث يتم توفيره حسب الحاجة، ومن المعلوم بأن وسط النمو هو الخزان الذي يتم فيه تخزين عدد من المكونات الهامة لنمو النبات وبقائه، وبمجرد استنفاد أي من هذه المكونات، يجب القيام بالري لإعادة تزويد هذا المكون الناقص، كما يمكن أن يصبح تركيز عنصر معين زائدا عن الحاجة وهناك حاجة للتخلص منه بعيدا عن منطقة الجذور.

بالإضافة إلى وظيفة وسط النمو كخزان للمغذيات، يجب أن يعمل أيضًا كقناة تسمح للعناصر بالانتقال فيه أو الانتشار عبره، ويجب الانتباه جيدا عند اختيار وسط النمو لتلبية هذه الحاجات، ويلاحظ بعد الري بأن جذور النباتات تقوم بامتصاص المغذيات القريبة منها مما يستنفذ هذه المغذيات من المحيط المباشر للجذور، لذلك يساعد الانتشار على انتقال العناصر من مواقع ذات تركيز أعلى إلى تلك ذات التركيز المنخفض، وإذا لم يعمل هذا التوصيل بمعدل مناسب سيعاني النبات من نقص المغذيات، على الرغم من وجود كميات كافية منها في وسط النمو، ويمكن التغلب على هذا الوضع عن طريق الشروع في الري لإزاحة المحلول المغذي المستهلك في منطقة الجذور واستبداله بمحلول مغذى طازج ومتوازن. ولوحظ من التجربة العملية بأن اختيار حجم حبيبات كبيرة لوسط النمو من التف البركاني لا يسمح بانتشار أو تبادل المغذيات أفقيا أو عموديا بالخاصية الشعرية.

صورة 124: حجمين من التف البركاني

11.4. تهوية مياه الري

بشكل عام الطريقة العملية التي يمكن من خلالها دخول الأكسجين إلى الماء هي الانتشار السطحي، ويمكن تطبيقها بواسطة التزويد بتيار من الهواء حيث يمكن وضع مضخة لتضخ الهواء داخل الخزانات، كما يساعد تحريك المياه بواسطة العنفات أو المراوح على خلط الهواء، ويمكن تهوية الماء من خلال بعض الإجراءات البسيطة كرفع أنبوب صرف الماء الراجع إلى الخزان، واستخدام أنبوب مثقب لتوزيع قطرات الماء الساقطة على أكبر مساحة تلامس ممكنة مع سطح الماء في الخزان، مما يؤدي إلى إذابة المزيد من الهواء في الخزان.

صورة 125: نظام تهوية بسيط باستخدام أنبوب مثقب

صورة 126: رفع أنبوب صرف الماء الراجع إلى الخزان

في أنظمة الغشاء المغذي: تستخدم هذه التقنية نظام تزويد للري عبارة عن غشاء رقيق للغاية من المحلول المغذي، وينصح بإبقاء ما لا يقل عن ثلث إلى نصف نظام الجذر معرض للهواء أثناء دورة الري، وفي مراحل متقدمة عندما تنمو الجذور في القناة، فإنها تشكل حصيرة يمكن أن تعمل كحاجز لهذا الغشاء الرقيق مما يرفعه للأعلى ليغمر حصيرة الجذور، وهذا يؤدي إلى نقص كبير في إمداد الجذور بالأوكسجين، ويمكن التغلب على هذه المشكلة ببرمجة الري لفترات متقطعة تتيح للجذور الحصول على الأوكسجين، كما يمكن في بعض الأنظمة المتطورة تزويد القنوات بمرشات تعمل كنظام داعم لزيادة الأوكسجين.

صورة 127: حصيرة الجذور في نظام الغشاء المغذي

في الزراعة الهوائية لا يشكل نقص الأوكسجين مشكلة في هذه الأنظمة، ويمكن الوصول بسهولة إلى مستويات عالية من الأوكسجين المذاب، حيث تتشبع قطرات الماء الصغيرة بالأوكسجين بعد أطلاقها من فوهات المرشات واصطدامها بالهواء.

وتقوم المرشات بشكل دوري بترطيب الجذور برذاذ دقيق من المحلول المغذي الغني بالأوكسجين، ويجب زيادة وتيرة الري لتلبية الطلب على النتح في النبات عندما تكون درجات الحرارة عالية، ومن المفضل عند تصميم بعض الأنظمة أن يكون هناك خزان صغير من المحلول المغذي تحت هذه الأنظمة (منطقة نمو الجذور) للإبقاء على نسبة عالية من الرطوبة.

تعتمد تقنية التدفق العميق على الأكسجين الذي يتم إذابته في المحلول المغذي، وإحضاره عن طريق دورة المحلول المغذي إلى جذور النباتات ويجب الإبقاء دوما على مستوى مناسب من الأوكسجين حيث تكون النباتات في هذا النظام أكثر عرضة لمخاطر نقص الأوكسجين.

11.5. كمية مياه الري

لقد حاول الكثير من الباحثين الوصول إلى نظام الري الأمثل لكل المحاصيل، لكن جميعها تواجه مشاكل تقنية ولها نقاط قوة ونقاط ضعف، لكن من أهم التوصيات القياسية في الزراعة بدون تربة هي إضافة كمية ثابتة من مياه الري في كل رية مع تغيير عدد مرات الري، والابتعاد عن تثبيت عدد مرات الري اليومية وتغيير كميات مياه الري لكل رية، وعند استخدام أوساط نمو ذات قدرة عالية على الاحتفاظ بالماء (محتوى هواء أقل) فيمكن مباعدة الفترات بين الريات مع زيادة كميات المياه لكل رية. وعند استخدام أوساط النمو قليلة الاحتفاظ بالماء فيفضل تقريب الفترات بين الريات وتقليل كمية المياه كل رية.

تحدد الظروف المناخية كالإشعاع الشمسي والحرارة والرطوبة النسبية وحركة الهواء و حجم النباتات ومراحل نموها كمية المياه المستخدمة، حيث لوحظ ازدياد معدلات استهلاك النباتات

للماء عند الإشعاع الشمسي المرتفع في فصل الصيف وأواخر الربيع، حيث يمر المحلول المغذي عبر وسط النمو عدة مرات في اليوم، أما في الفترات ذات الإشعاع المنخفض كالخريف والشتاء، تكون معدلات استهلاك النباتات للماء منخفضة وتبادل المحلول المغذي محدودًا، تؤدي زيادة معدلات التدفق إلى ظروف رطبة في منطقة الجذر قد تؤدي إلى نقص الأكسجين لاحقا، كما لوحظ تغير المواصفات الفيزيائية والكيميائية لوسط النمو في نهاية الموسم الزراعي حيث تنخفض المسامية بشكل رئيسي نتيجة تحلل المواد العضوية وزيادة كتلة الجذر.

لقد بينت التجارب بأن الإشعاع الشمسي هو المتغير الأكثر أهمية الذي يؤثر على عملية النتح بنسبة 70 في المائة وبالتالي يؤثر عل كميات مياه الري المطبقة، أما درجة الحرارة والرطوبة النسبية فإنها تؤثر على عملية النتح بنسبة 30 في المائة المتبقية ويجب تكييف الري مع هذه المتغيرات. ومن التوصيات في هذا الخصوص عند إدارة المحلول المغذي، زيادة كمية مياه الري مع خفض قيمة الموصلية الكهربائية للمحلول المغذي عندما يكون الإشعاع الشمسي مرتفعا، وذلك لتتمكن النباتات من امتصاص الماء بسهولة، وخفض كمية مياه الري ورفع الموصلية الكهربائية عندما يكون الإشعاع الشمسي منخفضا.

لقد ثبت أن ممارسات الري التقليدية التي تقوم بجدولة الري بشكل ثابت طوال اليوم، ليست مرنة بما يكفي للتعامل مع متطلبات النباتات المتغيرة للمياه خلال أوقات النهار والليل والموسم، والتي تعتمد على العديد من العوامل المتغيرة، وعادة ما يتم إهدار المياه والأسمدة أثناء الصباح (الري المفرط) وتعاني النباتات من الإجهاد المائي خلال فترة ما بعد الظهر (الري الناقص).

كما أن قياس معدل الصرف لمرة واحدة في اليوم غير واقعي ويجب فحص معدلات الصرف أكثر من مرة وبالأخص خلال ساعات منتصف النهار لتجنب مخاطر الإجهاد المائي.

كما يعتمد الري أثناء الليل على محتوى الرطوبة في وسط النمو صباحا ففي الأيام التي يكون فيها الإشعاع خلال النهار مرتفعًا جدًا، فإن النباتات تحتاج إلى المزيد من الماء في الساعات الأولى من المساء ما بين الساعة 6 وحتى 11 مساءً، وإذا لم يتم الري خلال هذه الفترة فقد يؤدي ذلك إلى نقص كبير في رطوبة وسط النمو أثناء الليل، مما يؤثر سلبا على جودة الثمار أو حتى جفاف الجذور في الطبقات العليا من وسط النمو، وينصح الخبراء بالري في ساعات المساء إذا لوحظ انخفاض محتوى الرطوبة في وسط النمو إلى أقل من 10 في المائة في الصباح الباكر.

في الظروف المثالية عند زراعة محاصيل البندورة والخيار والفليفلة والباذنجان في الصوف الصخري والبيرلايت وألياف جوز الهند، يتبع المزارعون جداول معينة للري بحيث تبدأ أول رية بعد شروق الشمس بساعة أو ساعتين ويتم إيقاف الري قبل ساعة إلى ساعتين قبل غروب الشمس وبمعدل يتجاوز 10 مرات في اليوم الواحد حسب ظروف الطقس.

11.6. جدولة الري للتأثير على نمو النباتات

يقوم المزارعون باتباع بعض الممارسات في جدولة الري للتحكم في إنتاجية النباتات تبعا لأسعار السوق، فعلى سبيل المثال يقوم مزارعو الخيار في الصوف الصخري بتحفيز النبات على الإثمار من خلال تقليل الصرف، ورفع قيمة الموصلية الكهربائية للمحلول المغذي EC، وبالمقابل يقومون بزيادة الصرف وخفض الموصلية الكهربائية للمحلول المغذي EC من أجل تحفيز النباتات على

النمو الخضري. كما يقومون بتقليل الري عن المستوى المثالي بعد نقل الأشتال للزراعة من أجل زيادة نمو الجذور والإزهار وتثبيت الثمار.

وعلى سبيل المثال يقوم مزارعو البندورة بتقليل الري عن البندورة بعد نقل الأشتال للزراعة لمدة 3 أسابيع تقريبًا، وذلك لضمان تفتح العنقود الزهري الأول والثاني وتقليل النمو الخضري في ظروف الإضاءة المنخفضة.

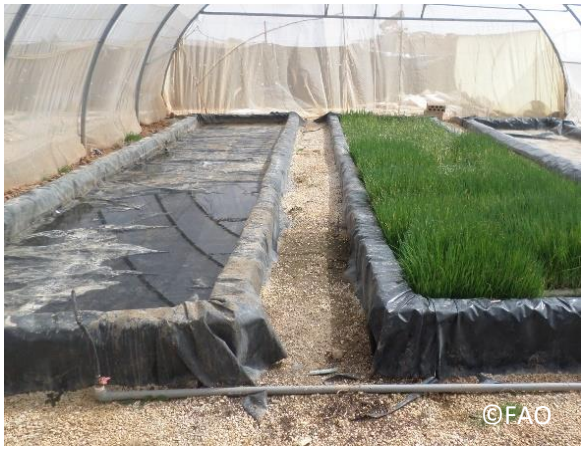
11.7. توصيل المحلول المغذي

الطريقة الأكثر شيوعًا لتوصيل المحاليل المغذية للنباتات هي الري بالتنقيط لمعظم أنظمة الزراعة بدون تربة، ويعتمد تكرار ومعدل التدفق على مرحلة نمو النباتات والظروف الجوية المحيطة، وعندما يكون المنقط قيد التشغيل تكون المنطقة المحيطة بنقطة التسليم مشبعة بالمحلول المغذي، وعندما يتم إيقاف تشغيله يتم رشح المحلول المغذي بعيدًا عن نقطة الإدخال وبالمقابل يتم سحب الهواء إلى وسط النمو حاملا معه الأوكسجين.

في الأنظمة البسيطة يمكن استخدام الخزانات الصغيرة الموجودة داخل البيوت المحمية كمصدر لتزويد شبكة الري، حيث يتم تخفيف المحلول المغذي المركز كل يوم ووضعه في الخزانات، وعلى الرغم من أن الخزان يمكن أن يشغل مساحة في الدفيئة يمكن استخدامها لزراعة النباتات إلا أنه يتطلب استثمارًا أقل بكثير من استخدام الحاقنات السمادية الأكثر تكلفة، أما في المشاريع الكبيرة فنحتاج إلى خزانات كبيرة لتخزين الماء بكميات تكفي لتغطية احتياجات النباتات لفترات طويلة، ومن الممكن أن تكون هذه الخزانات محفورة في الأرض كمعظم البرك الزراعية التقليدية المبطنة بالنايلون، أو تكون خزانات معدنية فوق سطح الأرض، وفي بعض أنظمة الزراعة بدون تربة تكون أحواض الزراعة هي نفسها خزانا للمحلول المغذي، كما يمكن استخدام محطات تنقية المياه للحصول على مياه ذات مواصفات جيدة، بالإضافة إلى استخدام حاقنات الأسمدة لخلط كميات صغيرة من الأسمدة المركزة، وإضافة الأحماض مع مصادر المياه الواردة إلى النباتات، وهناك العديد من حاقنات الأسمدة التي يمكن استخدامها منها ما يعمل بشكل أوتوماتيكي كامل ومنها ما يحتاج للمعايرة اليدوية للوصول إلى التراكيز المناسبة للمغذيات لإمداد النباتات.

صورة 128: نظام ري بسيط يتواجد فيه خزانين صغيرين للمحلول المغذي داخل البيت المحي

صورة 129: برك المياه التقليدية المحفورة في التربة والمبطنة بالنايلون



صورة 130: أحواض الزراعة هي نفسها خزانا للمحلول المغذي

صورة 131: خزانات معدنية للمياه عالية الجودة

صورة 132: محطة تحلية للمياه في أحد المزارع في منطقة الأغوار في الأردن

صورة 133: نظام تسميد نصف آلي

11.8. خصائص أنظمة الري

يتبنى المزارعون في الزراعة بدون تربة أنواعا مختلفة من أنظمة الري، وذلك بناء على دراسات مختلفة تتناول مختلف الجوانب الفنية والمالية، وذلك للحفاظ على كفاءة عالية لعمل الأنظمة وصيانتها بسهولة طوال فترة النمو،

11.8.1. جوانب التصميم الفني لأنظمة الري

11.8.1.1. مراعاة وجود مصدر دائم للمياه:

وذلك عند تحديد موقع المشروع الزراعي، بالإضافة إلى وجود خزانات كبيرة لتخزين المياه على لفترات طويلة وذلك للتعامل مع زيادة الطلب في فترات النمو الأعظمية، كما يمكن استخدام الخزانات الصغيرة القادرة على إمداد جميع النباتات لمدة يوم واحد في حالة حدوث عطل فني.

11.8.1.2. نظام الخلط والتوصيل:

والذي يتكون من وحدة خلط المحلول المغذي مع الماء والمضخة والخطوط رئيسية والخطوط فرعية والنقاطات والبواعث، ومن أهم المشاكل الفنية المتعلقة بنظام التوصيل التأخير الزمني وانخفاض الضغط الناتج عن بعد النقاطات عن المضخة.

ومن الضروري مراعاة الاتساق أو التجانس في نظام الري، وهذا يعني أن تصل مياه الري بشكل متساوٍ إلى كل النباتات المزروعة، ويعتمد ذلك على جودة المواد المستخدمة في نظام الري وجودة التصميم، ومن الضروري جدا تجانس الري في الإنتاج التجاري لكي يكون المزارع قادرًا على التنبؤ بالإنتاج بشكل دقيق لتلبية متطلبات السوق.

ويجب دراسة نظام الري ليحقق التجانس على مستوى النبات الواحد، عند زراعة النباتات كبيرة الحجم كالبندورة والخيار وغيرها أو على مستوى الحوض في أنظمة الزراعة المائية في الأحواض عندما يتم زراعة الخضار صغيرة الحجم كالأعشاب والخس.

11.8.1.3. نظام الصرف وخزان التجميع:

يجب دراسة نظام الصرف ليكون قادرا على استيعاب محلول الصرف وتوصيله إلى خزان التجميع لإعادة تدويره في الأنظمة المغلقة، ويصمم الخزان ليكون قادرا على استيعاب كل كمية المياه الراجعة من قنوات الزراعة وشبكة الري عند إيقاف التشغيل كما يجب تعقيم مياه الصرف وتصفيتها قبل إعادة استخدامها.

11.8.1.4. تقنيات معالجة المياه:

من المفضل دراسة التقنيات المختلفة المتاحة لتعقيم المحلول المغذي، وذلك بناء على نوعية المياه المستخدمة ونظام الزراعة، واختيار الأنسب منها من حيث الفعالية والتكلفة، وهناك العديد من هذه التقنيات كالمعالجة بالأشعة فوق البنفسجية أو الأوزون أو الفلاتر الرملية وغيرها.

11.9. بعض أنظمة الري المتبعة في الزراعة بدون تربة

11.9.1. نظام الري العلوي

يكون نظام الري معلقا وقد يكون متحركا، وعادة ما يستخدم في المراحل الأولى للتشتيل أو لزراعة المحاصيل الورقية، ويتميز بتكلفة إنشائية منخفضة ويمكن تطبيقه على نطاق واسع، لكن كفاءة استخدام المياه منخفضة بسبب انتشار الري على مساحات واسعة تتجاوز المزروعات مما يزيد مخاطر الإصابات الفطرية.

صورة 134: نظام الري العلوي المتحرك

11.9.2. الري بالتنقيط

يستخدم الري بالتنقيط قطارات (نقاطات) تكون عادة داخل تجويف أنبوب الري، حيث تعمل النقاطات على تنظيم تدفق المياه وتبديد الطاقة بواسطة ميكانيكيات هيدروليكية مختلفة تعمل على تحويل التيار المستمر من التدفق إلى تيار متقطع يوصل الماء قطرة قطرة بمستويات منخفضة ومتماثلة في جميع أنحاء شبكة الري، مما يسهل رشح المياه عميقا ويحافظ بشكل كبير على سطح وسط النمو جافًا تقريبًا والجذور رطبة.

ولوحظ التطور الكبير في نوعية النقاطات المستخدمة ،حيث يوجد نقاطات مختلفة يمكن تعديل معدل الصرف فيها حسب الحاجة، وأخرى يمكن أن تحافظ على معدل صرف موحد عند تغير ضغط المياه داخل الأنابيب، وفي الأردن تستخدم أنابيب الري بالتنقيط بمعدل تدفق ما بين 2 إلى 8 ليتر في الساعة، وبأقطار تتراوح ما بين 16 و18 ملم، وتتراوح المسافات بين هذه النقاطات ما بين 20 و40 سم حسب نوع النبات المراد زراعته، وتعمل هذه المنقطات بكفاءة عالية تحت الضغط المنخفض، وهذا يعني عدم الحاجة إلى مضخات ذات قدرة عالية، وعادة ما يتم زراعة النباتات قريبا من النقاطات، ومن أكثر مشاكل الري بالتنقيط ترسب الأتربة والأوساخ داخل الأنبوب عند توقف الري مما يؤدي إلى انسداد النقاطات، لكن يمكن التغلب على هذه المشكلة باستخدام نقاطات حديثة تعمل بطريقة التنظيف الذاتي، بالإضافة إلى باستخدام مختلف أنواع الفلاتر للتقليل من كمية الشوائب التي تدخل شبكة الري.

صورة 135: نظام الري بالتنقيط للزراعة بدون تربة

11.9.3. نظام خراطيم الري (السباغيتي)

تصمم شبكة الري في هذه الأنظمة بحيث يوضع في نهايتها خرطوم ري مرن يوصل مع شبكة من أنابيب الري بقطر 20 سم، ويتم تثبيته على شوكة بلاستيكية مخصصة تثبت مباشرة في وسط النمو، وذلك لإيصال المحلول المغذي للنباتات، ويجب استخدام منظمات الضغط لتنظيم تدفق المحلول المغذي بشكل متساوٍ لكل النباتات في نفس اللحظة.

ومن الملاحظ أن هذا النظام يقوم بتوصيل المحلول المغذي عن طريق الشوكة عميقا تحت سطح وسط النمو، مما يقلل بشكل كبير من تشكل الطحالب على سطح وسط النمو، ومن المفضل أن يكون لون خرطوم الري أبيض للتقليل من ارتفاع درجة الحرارة داخله لمنع ترسيب الأسمدة.

صورة 136: شبكة من أنابيب الري بقطر 20 ملم

صورة 137: شوكة بلاستيكية مخصصة لتثبيت خرطوم الري

11.9.4. أنظمة الري السفلي باستخدام الخاصية الشعرية:

تجلب هذه الأنظمة المحلول المغذي إلى منطقة الجذر من الأسفل، مثل أنظمة الغمر والصرف، وتستخدم للأنظمة الصغيرة وهي ذات كفاءة أكبر في استخدام المياه مقارنة بالري السطحي، ويرجع ذلك أساسًا إلى التقليل من فقد المياه عن طريق التبخر والجريان السطحي ولكن يوجد

بعض العيوب لهذه الأنظمة كتراكم الأملاح في الجزء العلوي من منطقة الجذر في الظروف الحارة بسبب تبخر الماء من سطح وسط النمو.

11.9.5. نظام الري المباشر في القنوات

في نظام الغشاء المغذي تتم عملية الري في أعلى القناة ويتدفق المحلول المغذي على قاع القناة التي تسبح فيها جذور النباتات، ومع زيادة المسافة عن نقطة التزويد يفقد المحلول المغذي بعضا من العناصر المغذية، لذلك يتم تزويد النظام بنقاط تزويد إضافية لكي تحصل النباتات على القدر نفسه من المغذيات.

12. المراجع

1. **Arnon, D.I. & Hoagland, D.R.** 1940. Crop production in artificial culture solutions and in soils with special reference to factors influencing yields and absorption of inorganic nutrients. *Soil Sci*, 50: 443-476.

2. **Bugbee, B.** 2004. Nutrient Management in Recirculating Hydroponic Culture. In: Proceedings of the South Pacific Soilless Culture Conference. M. Nichols, (ed.). *Acta Hort*, 648: 99-112.

3. **Cardoso, D.S.C.P., Sediyama, M.A.N., Poltronieri, Y., Fonseca, M.C.M. & Neves, Y.F.** 2017. Effect of concentration and N:K ratio in nutrient solution for hydroponic production of cucumber. *Revista Caatinga*, 30(4): 818–824. https://doi.org/10.1590/1983-21252017V30N401RC

4. **Combrink, N.** 2013. Mixing a balanced nutrient solution. *Acta Horticulturae*, 1014: 13-27. https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2013.1014.3

5. **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.

6. **De Kreij, C., Voogt, W. & Baas, R.** 1999. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. *PBG*. Naaldwijk, Holland. Brochure 196.

7. **Der Lugt, G.** 2016. Nutrient Solutions for Greenhouse Crops.

8. **Baudoin, W., Nono-Womdim, R., Lutaladio, N., Hodder, A., Castilla, N., Leonardi, C., Pascale, S. De & Qaryouti, M.** 2013. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. FAO. https://doi.org/10.1201/b13737-8

9. **Farnhand, D. S., Hasek, R. F., & Paul, J. L.** 1985. Water quality, leaflet 2995. Division of Agriculture Science, University of California, Davis.

10. **Fipps, G.** 2003. Irrigation water quality Standards and Salinity Management. *Texas A & E AGRILIFE extension*, B-1667.

11. **Fipps, G.** 2003. Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies.

12. **Fipps, G.** 2003. Irrigation water quality Standards and Salinity Management. *Texas A & E AGRILIFE extension*, B-1667.

13. **Hansen, R.C., Balduff, J. & Keener, H.M.** 2009. A Study of Controllable Factors that have an Effect on Lettuce Production in a Hydroponic Lettuce Growing System. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2009*, *ASABE 2009*, 10.

14. **Heuvelink, E.** 2005. Tomatoes. Crop production science and horticulture, No. 13. *CAB International.* https://doi.org/10.1079/9780851993966.0000

15. **Hoagland, D.R. & Arnon, D.I.** 1950. The water-culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. St.*, Circ. 347. Rev. by D.I. Arnon.

16. **Hochmuth, G.** 1990. Nutrient solution formation for hydroponic (Rockwool and NFT) tomatoes in Florida. *Univ. FL Coop. Ext. Misc. Pub. SSVEC.*

17. **Libia, I. & Fernando, C.** 2012. Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches. InTech. doi:10.5772/37578

18. **Jones, J.** 2005. Hydroponics - A Practical Guide for the Soilless Grower. 2e.

19. **Jones, J.** 2014. Complete Guide for Growing Plants Hydroponically. *Boca Raton: CRC Press*. https://doi.org/10.1201/b16482

20. **Kipp, J.A., Wever, G. & De Kreij, C.** 2001. International substrate manual. *Elsevier,* Amsterdam.

21. **Lee, J.Y., Rahman, A., Azam, H., Kim, H.S. & Kwon, M.J.** 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(5): e0177041. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0177041

22. **Maucieri, C., Nicoletto, C., Os, E.v., Anseeuw, D., Havermaet, R.V., Junge, R.** 2019. Hydroponic Technologies. In: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M. (eds). Aquaponics Food Production Systems. *Springer, Cham.* https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_4

23. **Morgan, L.** 2002. Raft system specifics. *Growing Edge* 14 (2): 46–60.

24. **Nichols, M.** 2002. Aeroponics: Production systems and research tools. *Growing Edge* 13 (5): 30–35.

25. **Qaryouti, M.M., Qawasmi, W., Hamdan, H. & Edwan, M.** 2007. Influence of NaCl salinity stress on yield, plant water uptake and drainage water of tomato grown in soilless culture. *Acta Horticulturae,* 747: 539–544. https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2007.747.70

26. **Ayers, R.S. & Westcot, D.W.** 1985. Water Quality for Agriculture. Rome, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29.

27. **Roddy, E.** 2006. Fertigation Fertilizer Sources.

28. **Savvas, D.** 2012. Soilless culture. Hydroponics – substrates. *Agrotypos Publishing,* Athens, Greece.

29. **Schon, M.** 1992. In: Proceedings of the 13th Annual Conference on Hydroponics. Hydroponic Society of America, ed. D. Schact, 1992, Hydroponic Society of America, ed. San Ramon, CA.

30. **Schröder, F. and J. H. Lieth.** 2017. Chapter 11 Irrigation control in hydroponics.

31. **Schwarz, M.** 1995. Soilless Culture Management. Advanced Series in Agricultural Sciences, Vol. 24. *Springer-Verlag*. Berlin, Heidelberg, New York.

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

33. **Sonneveld, C. & Welles, G.W.H.** 1988. Yield and quality of rockwool-grown tomatoes as affected by variations in EC-value and climatic conditions. *Plant and Soil*, 111(1): 37–42. https://doi.org/10.1007/BF02182034/METRICS

34. **Sonneveld, C. & Voogt, W.** 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops:* 1–431. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2532-6/COVER

35. **Tanji, K. K.** 1990. Agricultural salinity assessment and management. *American Society of Civil Engineers*, ISBN-10: 0872627624. New York, U. S. A.

36. **Vinoo. A**. 2018. Aeroponics - the future of crop production?.

37. **Wallach, J.** 2008. Physical characteristics of soilless media. In: Raviv, Lieth (eds) Soilless culture, theory and practice. *Elsevier,* Amsterdam, pp 41–116

38. **De Willigen, P. & Heinen, M.** 1998. Modelling water and nutrient uptake of crops grown in protected cultivation. Acta Horticulturae, 456: 227–236. https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.1998.456.26

39. **AlSharif, W.** 2009. الأسس العملية في تقدير الاحتياجات المائية وجدولة الري للمحاصيل الزراعية. [Practical fundementals in estimating water needs and scheduling irrigation for agricultural crops]. NARC. Jordan.

40. **Orenda Technologies.** Total Alkalinity vs. pH, and Their Roles in Water Chemistry. Cited 6 April 2023. https://blog.orendatech.com/total-alkalinity-role-water-chemistry

41. **Asao, T.** 2012. Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches.

42. **Lecuona, A.** 2013. How to adjust the pH in hydroponic nutrient solutions. In: Commercial Hydroponics Farming. Cited 6 April 2023. https://www.commercial-hydroponic-farming.com/adjust-ph/

43. **Morgan, L.** 2020. Perfecting the pH of your hydroponic nutrient solution. In: Maximum Yield. Cited 6 April 2023. https://www.maximumyield.com/perfecting-ph/2/1212

تعد الزراعة بدون تربة أحد أهم الحلول التطبيقية العملية للمشاكل التي تواجه انتاج الغذاء، كالجفاف وشح المياه وتناقص مساحات الأراضي القابلة للزراعة وخروج بعضها من الخدمة بسبب سوء إدارة الأراضي والملوحة والأمراض.

توفر الزراعة بدون تربة أكثر من 60 في المائة من مياه الري وأكثر من 40 في المائة من الأسمدة مقارنة مع الزراعة التقليدية، كما تساهم في زيادة عدد النباتات المزروعة في وحدة المساحة وإنتاج نباتات صحية ذات جودة عالية.

يواجه المزارعون في مجال الزراعة بدون تربة مصاعب كثيرة أهمها قلة المعلومات المتوفرة عن التقنيات المتبعة في الزراعة بدون تربة، بالإضافة إلى صعوبة التعامل مع المحلول المغذي والأسمدة وزراعة المحاصيل.

يهدف هذا الكتاب للتعريف بالعلوم الأساسية للزراعة بدون تربة وربطها بالتطبيقات العملية لزراعة عدة محاصيل باستخدام تقنيات مختلفة، حيث تم توفير المعلومات اللازمة لذلك بحيث تكون سهلة الاستيعاب من قبل المهندسين والمزارعين وغيرهم على حد سواء.