

Research Article

Open Access



كفاءة استخدام المياه في أنظمة الزراعة بدون تربة (دراسة مقارنة للاحتياجات المائية لمحاصيل الطماطم والفلفل مقابل الزراعة التقليدية).

هبة الناجي علي ثابت^{1*}، أسماء رابح سعيد آدم²

الباحث الأول^{1*}: قسم الهندسة الزراعية،

كلية الزراعة، البيضاء، ليبيا

الباحث الثاني²: قسم النبات، كلية

العلوم، القبة، ليبيا

المستخلص: هدفت هذه الدراسة إلى إجراء مقارنة تحليلية بين نظام الزراعة المائية (Hydroponics) والزراعة التقليدية في التربة من حيث كفاءة استهلاك المياه ومؤشرات النمو الخضري لمحصولي الطماطم والفلفل. تم حساب الاحتياجات المائية في التربة باستخدام معادلة مونتيث اعتماداً على نموذج (Omu-ET)، بينما اعتمدت حسابات النظام المائي على السحب الفعلي للمحلول المغذي. أظهر النتائج تفوقاً معنوياً ($P=0.005$) لنظام الزراعة المائية في خفض الإستهلاك المائي بنسبة تجاوزت 75%، مع تحسن ملحوظ في تراكم الكتلة الحيوية للمحاصيل.

الكلمات المفتاحية: الزراعة المائية، التنمية المستدامة، العناصر الغذائية، الماء، الموارد الطبيعية، الاحتياجات المائية، بنمان-مونتيث.

*Corresponding author:

Heba Al-Naji Ali

heba.thabet@omu.edu.ly

Department of Agricultural engineering, Faculty of Agriculture, Omer Al-Mukhtar University, Al Bayada, Libya
Asma R.S. Adam

asmaarabeh1982@gmail.com
Department of Botany, Faculty of Science, Al Qubbah, Libya

Received: 4.05.2026

Accepted: 11.05.2026

Publish online: 30.06.2026

Water Use Efficiency in Soilless Culture Systems: A Comparative Study of Water Requirements for Tomato and Pepper Crops Versus Traditional Agriculture Cultivation

Abstract: This study aimed to conduct a comparative analysis between hydroponic systems and traditional soil cultivation in terms of water-use efficiency and vegetative growth parameters for tomato and pepper crops. Water requirements under soil cultivation were estimated using the Penman–Monteith (FAO-56) equation based on the Omu-ET model, whereas water requirements in hydroponic system were calculated based on the actual uptake of the nutrient solution. The results demonstrated a statistically significant superiority ($P = 0.005$) of the hydroponic system in reducing water consumption by more than 75%, along with a marked improvement in biomass accumulation of the crops.

Keywords: Hydroponics, Sustainable Development, Nutrients, Natural Resources, Water Requirements, Penman–Monteith

المقدمة

تواجه النظم الزراعية التقليدية تحديات جوهرية تعيق قدرته على تحقيق الأمن الغذائي المستدام، وتتجلى هذه العقبات في حدة التغيرات المناخية، وتدهور الخصائص الحيوية للتربة وارتفاع معدلات تلوثه، فضل عن تفاقم أزمة شح الموارد المائية. و



The Author(s) 2026. This article is distributed under the terms of the *Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License* (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, *for non-commercial purposes only*, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

تتزامن هذه الظروف مع تصاعد مستمر في الطلب علي الغذاء نتيجة للنمو السكاني المتسارع (Mittal et al., 2020) وفي ظل اعتبار الأمن الغذائي احد ابرز الرهانات الاستراتيجية في الألفية الجديدة، تبرز حاجة ماسة لتبني تقنيات زراعية ابتكارية وحلول تقنية متطورة قادرة علي سد الفجوة الغذائية وتلبية الاحتياجات المتزايدة للبشرية (Sambo et al., 2019). تعد قضية الأمن الغذائي من الأولويات الرئيسية المدرجة علي جدول اعمال السياسات العلمية، في ظل التزايد السكاني المتسارع والمستمر وما يترتب عليه من ارتفاع في الطلب علي الغذاء. وتشير التقديرات الي ان عدد سكان العالم قد يقترب من تسعة مليارات نسمة بحلول عام 2050، الأمر الذي يستلزم زيادة انتاج الغذاء بأكثر من 50% لتلبية الاحتياجات المتنامية (Mittal et al., 2020). كما تقدر الحاجة الي اضافة نحو 120 مليون هكتار من الأراضي الزراعية بحلول عام 2030 لرفع انتاجية المحاصيل و مواكبة الطلب المتزايد (Ilango, 2017)، غير ان التحدي الرئيسي يتمثل في محدودية الأراضي الصالحة للزراعة، مما يفرض ضغوطا متزايدة علي الموارد الطبيعية ويستدعي البحث عن حلول مستدامة لتعزيز الإنتاجية الزراعية دون التوسع الأفقي في المساحات المزروعة.

وفي ظل هذه الضغوط وما يرافقها من تغيرات مناخية وتدهور في خصائص التربة ونقص حاد في الموارد المائية، تبرز تكنولوجيا الزراعة بدون تربة (Soiless Culture) كمدخل استراتيجي لتحقيق الكفاءة الإنتاجية العالية والإستخدام الأمثل للموارد. تكتسب هذه التقنية ميزة تنافسية وتفضيلية، لاسيما في المناطق التي تعاني من تدهور بيئي حاد، حيث تمثل استجابة نموذجية نحو تبني ممارسات زراعية صديقة للبيئة (Benke & Tomkins, 2017)، وبذلك تعد الزراعة بدون تربة اداة واعدة ومحورية لسد الفجوة الغذائية ومواجهة التحديات التي تحيط بالأمن الغذائي العالمي في الألفية الجديدة (Sambo et al., 2019).

وقد أظهرت نتائج الدراسات والتجارب العلمية تفوقاً ملحوظاً للزراعة المائية من حيث كفاءة استخدام المياه وسرعة النمو وجودة المحصول، خاصة في البيئة التي تعاني من شح الموارد الطبيعية (AlShrouf, 2017; Putra & Yuliando, 2015; Treftz & Omaye, 2016). كما تسهم هذه التقنية في استغلال الأراضي الغير الصالحة للزراعة، مثل المناطق الصحراوية، إلي مساحات منتجة، مما يعزز مفهوم الزراعة العمودية والزراعة الحضرية المستدامة (Sardare & Admane, 2013; Sharma et al., 2018).

بالإضافة إلي نتائج هذه التجارب والدراسات التي أظهرت تفوق هذه الطريقة في كثير من النواحي فهي تعطي إنتاجاً وفيراً وتساعد على توفير كمية كبيرة من مياه الري ما بين 70-90% من المياه المستهلكة في الزراعة العادية بالإضافة إلى الاستغناء عن العمليات المختلفة التي تتطلبها الزراعة العادية مثل عمليات تحضير التربة وإضافة الأسمدة العضوية والدورة الزراعية كما أنها تساعد على استغلال الأراضي غير الصالحة للزراعة وتوفير الكلفة في الأيدي العاملة بالإضافة إلى إنتاج المحاصيل في غير مواسمها.

المواد وطرق البحث

موقع التجربة

أجريت التجربة في بيئة مخبرية بكلية الزراعة جامعة عمر المختار/البيضاء، بإستخدام نظام مغلق لتقنية التدفق العميق، (DFT) قيس استهلاك الماء في نظام (Deep Flow Technique - DFT) مباشرة علي مستوى النبات (لتر /نبات/موسم). قُدرت احتياجات التربة من الماء بإستخدام معادلة (بنمان-مونثيث FAO-56) مع قيم معامل المحصول (Kc).

$$ET_0 = [0.408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * (900 / (T + 273)) * u_2 * (e_s - e_a)] / [\Delta + \gamma * (1 + 0.34 * u_2)]$$

حيث أن:-

ET_0	<	التبخّر - نتح المرجعي /م/يوم
Δ	<	ميل منحني ضغط البخار المشبع كيلوباسكال/درجة مئوية
R_n	<	الإشعاع الصافي السطحي ميغا جول/م ² /يوم
G	<	كثافة تدفق حرارة التربة ميغا جول/م ² /يوم
γ	<	الثابت السيكرومتري كيلوباسكال/درجة مئوية

T	متوسط درجة حرارة الهواء	درجة مئوية
u ₂	سرعة الرياح على ارتفاع 2 متر/ث	
e _s	ضغط بخار التشبع	كيلوباسكال
e _a	ضغط البخار الفعلي	كيلوباسكال
Kc	معامل المحصول (حسب مراحل النمو)	

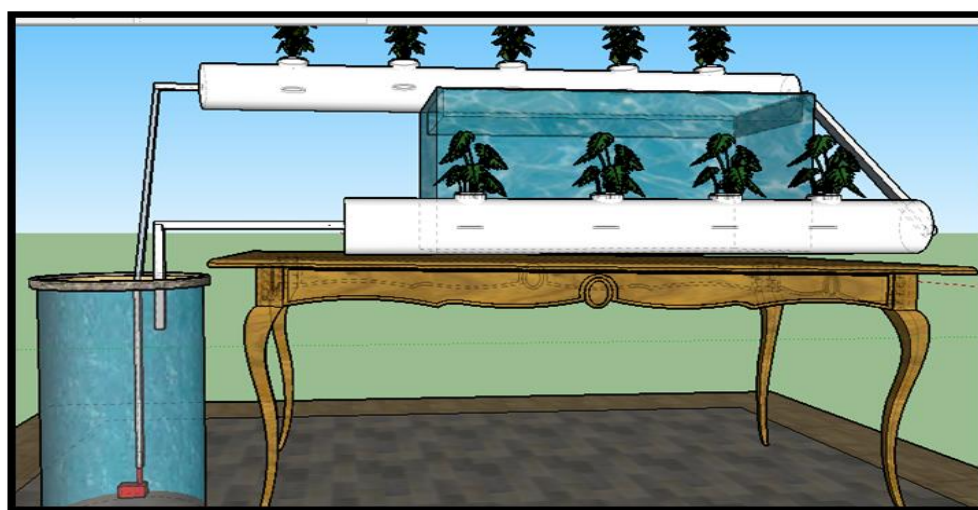
التصميم التجريبي

اتبعت التجربة تصميماً عشوائياً كاملاً (Completely Randomized Design-CRD) بعاملين هما:

1. نظام الزراعة: مستويان نظام مائي (DFT)، ونظم تربة تقليدي.

2. نوع لمحصول: مستويين (طماطم، فلفل).

تم توزيع المعاملات بـ ثلاث مكررات (Replicates) لكل منها، ليصبح إجمالي الوحدات التجريبية 12 وحدة (2 نظام، 2 محصول، 3 مكررات). احتوت كل وحدة تجريبية علي 5 نباتات، ليصبح إجمالي لنباتات 60 نباتاً.



المحلول المغذي المستخدم في التجربة

تم تحضير المحلول المغذي المستخدم في التجربة وفقاً لصيغة هوغلاند و أرنون (Hoagland and Arnon, 1950) المعدلة، وهي التركيبية المعيارية لضمان الإمداد المتوازن بالعناصر الغذائية الكبرى والصغرى في الأنظمة المائية. جرت مراقبه تركيز الأملاح (EC) ودرجة الحموضة (PH) دورياً لضمان بقاء العناصر في صورة أيونية ميسرة للإمتصاص الجذري، مع ضبط المحلول عند المستويات المثلى لنبات الطماطم و الفلفل.

جدول (1) كيفية تحضير المحلول المغذي في هذه التجربة.

المحلول الأم	سعة الماء/لتر	العناصر	الكمية
A	3.424	نترات الكالسيوم	1250g
		الحديد	3.42g
B	6	سلفات الماغنسيوم	240g
	6	NPK	1995g
		نيتروجين	
		فسفور	
		بوتاسيوم	
C	10	حامض النيتريك	1L

خصائص الماء المستخدم فالري

جدول (2) يوضح بعض الخواص الكيميائية والفيزيائية لمياه الري.

الاختبار	مياه الري (مغذية)	خواص التربة الكيميائية
pH	6	7.04
EC	0.74ds/m	8.18ds/m
Temp	27C ⁰	26C ⁰
Turbidity	0.80mg/l	4.33mg/l
T.D.S	626mg/l	407mg/l
Na	2.72mg/l	5.4mg/l
Ca	1.6mg/l	2.4mg/l
Mg	0.4mg/l	1.5mg/l
K	0.7mg/l	0.3mg/l
Cl	2 mg/l	3.5mg/l
So4	2.4 mg/l	2.8mg/l
Co3	0mg/l	2.2mg/l

حساب الاستهلاك المائي للنباتات

تقدير الاحتياجات المائية

- في التربة: حُسبت الاحتياجات باستخدام معادلة بنمان-مونتيث ومنهجية معامل المحصول المنفرد (K-C) عبر نموذج (Omu-ETmodel.1.0.0) وبناءً علي بيانات وكالة ناسا المناخية (POWER).

<https://power.larc.nasa.gov/>.

- في الزراعة المائية: في نظام الزراعة المائية (DFT) تم قياس الاستهلاك المائي بطريقة الموازنة الحجمية، حيث تم:
 - ◀ تسجيل كمية المياه المبدئية في الخزان عند بداية التجربة.
 - ◀ تعويض الماء المفقود يومياً نتيجة لإمتصاص النباتات و التبخر السطحي، حتي الوصول الي العلامة الثابتة في الخزن.
 - ◀ تسجيل كمية الماء المعوضة يومياً باستخدام عداد المياه الحجمي.
 - ◀ حساب الإستهلاك الكلي للموسم (لتر/نبات/موسم) بقسمة إجمالي الماء المعوض علي عدد النباتات.
 - ◀ تم افتراض كثافة نباتية مقدارها 100000 نبات/هكتار للطماطم، و 15000 نبات/هكتار للفلفل لتحويل الإستهلاك الي م³/3هكتار

قياس النمو الخضري

- تم أخذ العينات عشوائياً من النباتات لقياس:
 - الوزن الرطب: بوزن المجموع الخضري باستخدام ميزان حساس بدقة (0.01) جم.
 - الوزن الجاف: بعد تجفيف العينات في فرن هوائي ساخن علي درجة حرارة 70م⁰ لمدة 48 ساعة، تم اخذ قياس الوزن الجاف للنباتات.
 - نسبة لרטوبة: حُسبت بالمعادلة (الوزن الرطب - الوزن الجاف)/ الوزن الرطب * 100.
 - طول الجذور: قيس طول الجذور باستخدام مسطرة مدرجة.

حساب الإنتاجية المائية (Water Productivity)

حُسبت الإنتاجية المائية (WP) وفقاً للمعادلة:

$$WP = DW / WU$$

WP = الإنتاجية المائية (جم/لتر)

DW = الوزن الجاف (جم)

WU = كمية المياه المستهلكة (لتر/نبات)

التحليل الإحصائي

تم تحليل البيانات الإحصائية باستخدام برنامج (SPSS) الإصدار 26. تم استخدام اختبار (T-Test) لعينتين مستقلتين (Independent Samples T-Test) لمقارنة متوسطات النظامين عند مستوى دلالة إحصائية ($\alpha = 0.05$).

يوضح جدول (3) البيانات المناخية اللازمة لحساب البخر نتج المرجعي.

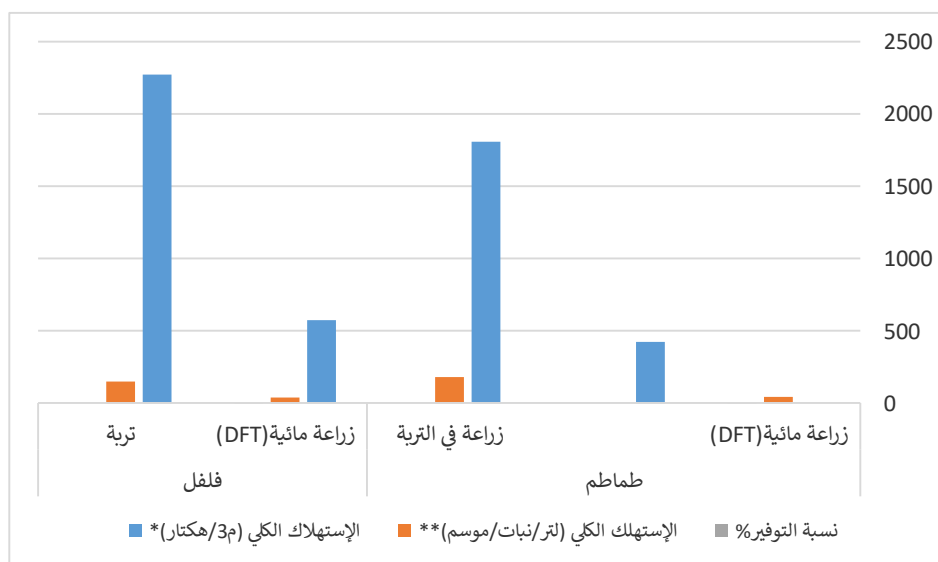
الشهر	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢
متوسط درجة الحرارة الصغرى (م)	5.2	12	14	17	20	19.03	15	12	5.9	5.9	5.98	3.51
متوسط درجة الحرارة العظمى (م)	18	29	31	36	40	39.2	38	36	33	25	18.75	21.4
متوسط الرطوبة النسبية (%)	79	68	66	62	60	61.06	56	55	63	75	80.62	81.1
متوسط سرعة الرياح على ارتفاع 2 م	4.4	3.2	3	3.5	3.9	3.94	3.3	3	3.9	3.5	3.32	4.09
متوسط الإشعاع قصير الموجة	9.9	13	17	23	27	28.87	29	29	25	20	16.05	11.7
البخر نتج المرجعي (مم/يوم)	2	3.7	4.6	6.8	8.5	8.6	8.3	7.5	6.8	3.8	2.3	2.36

النتائج والمناقشة

أظهرت نتائج المقارنة في جدول (4) عن قدرة النظام المائي (DFT) على توفير المياه، مقارنة بالإحتياجات النظرية المقدرة لنظام الزراعة في التربة باستخدام نموذج FAO-56. ويُعزى هذا الفرق إلى غياب فقد إنتاجي مثل: الرش العميق، البخر السطحي، والفواقد المرتبطة بعدم تجانس التربة. وأكد اختبار T-Test وجود فروق عالية المعنوية ($\alpha = 0.05$) بين النظامين.

جدول (4) تحليل مقارنة للاستهلاك المائي وكفاءة التوفير

المحصول	نظام الزراعة	الإستهلاك الكلي (م ³ /هكتار)*	الإستهلاك الكلي (لتر/نبات/موسم)**	نسبة التوفير%
طماطم	زراعة مائية (DFT)	425	42.5	76.5%
	زراعة في التربة	1810	181	
فلفل	زراعة مائية (DFT)	573	38.2	74.8%
	تربة	2274	151.6	



شكل (2) يوضح مقارنة للاستهلاك المائي (لتر/نبات) وكفاءة التوفير.

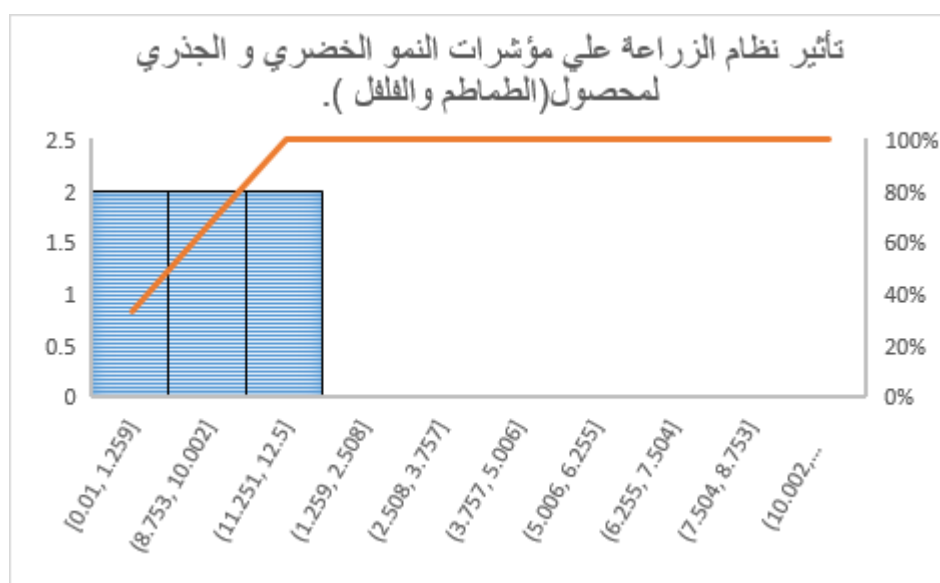
القيم تمثل متوسط ثلاث مكررات تم لتحويل بإفتراض كثافة نباتية مقدارها 100000 نبات/هكتار للطماطم ، و 15000 نبات/هكتار للفلفل، لتحويل قيم الإستهلاك الي م3/3هكتار تختلف باختلاف الكثافة النباتية***.

• تحليل مؤشرات النمو الخضري و الجذري

أظهرت النتائج تباين واضحاً لنظام الزراعة المائية في تحفيز الكتلة الحيوية. يعزي هذا التباين الي توفر العناصر الغذائية في صورة أيونية ميسرة مباشرة في المحلول، مما يقلل الجهد الطاقة المبذول في امتصاص المغذيات ويحوله نحو البناء الخضري.

جدول(5) تأثير نظام الزراعة علي مؤشرات النمو الخضري و الجذري لمحصول (الطماطم والفلفل)

المحصول	نظام الزراعة	الوزن الرطب (جم)	الوزن الجاف(جم)	نسبة الرطوبة	طول لجذور(سم)
طماطم	زراعة مائية(DFT)	4.51	0.375	91.8	12.5
	زراعة في التربة	2.49	0.197	92.08	12.00
	نسبة الزيادة	81.1%	90.3%	-	4.2%
فلفل	زراعة مائية(DFT)	8.53	1.073	87.42	9.93
	تربة	3.51	0.515	85.32	9.83
	نسبة الزيادة	143%	108.3%	-	1.0%



شكل (3) يوضح تأثير نظام الزراعة علي مؤشرات النمو الخضري و الجذري لمحصول (الطماطم والفلفل).

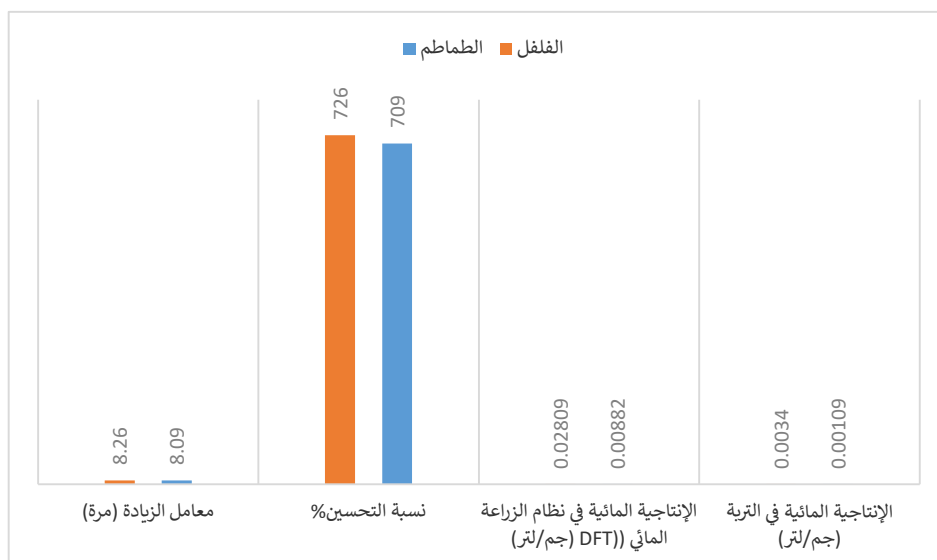
يُمكن إرجاع التباين الملحوظ في الأداء المورفولوجي للجذور بين النظامين الي الخصائص الفيزيائية لوسط النمو؛ فبينما تواجه الجذور في التربة مقاومة ميكانيكية تحد من انتشارها، يوفر وسط الحصى الخامل في تقنية (DFT) مسامية عالية سمحت بإستطالة الجذور بنسبة أكبر (وصلت الي 12.5 سم في الطماطم). ومن الناحية الفسيولوجية، فإن توافر العناصر الغذائية في صورة أيونية ميسرة داخل المحلول المغذي أدى الي تحسين الإمتصاص النوعي (Specific Uptake Rate) حيث استثمر النبات طاقته التمثيلية في بناء الكتلة الحيوية. وهذا ما يفسر الزيادة المعنوية في الوزن الجاف للمحاصيل المائية مقارنة بالمحاصيل المزروعة في التربة.

• الإنتاجية المائية (WP)

تبين عند احتساب الإنتاجية المائية علي مستوي النبات، أن نظام (DFT) حقق كفاءة أعلى في تحويل وحدة الماء المستهلكة إلي كتلة حيوية جافة، مما يعكس تحسنا في الكفاءة الفسيولوجية والهيدرولوجية للنظام المغلق.

جدول (6). الإنتاجية المائية WP للنظامين.

المحصول	الإنتاجية المائية في التربة (جم/لتر)	الإنتاجية المائية في نظام الزراعة المائي (DFT) (جم/لتر)	نسبة التحسين %	معامل الزيادة (مرة)
الطماطم	0.00109	0.00882	709	8.09
الفلفل	0.00340	0.02809	726	8.26



شكل (4) يوضح الإنتاجية المائية WP للنظامين.

تشير النتائج الي تحسين كبير في الإنتاجية المائية WP في النظام المائي مقارنة بالزراعة التقليدية في التربة، حيث بلغت نسبة الزيادة أكثر من 700% اكلا المحصولين (الطماطم، الفلفل). ويعكس هذا الارتفاع الكبير في الكفاءة قدرة النظام علي تحسين استخدام وحدة الماء بشكل ملحوظ. وترجع هذه الزيادة الي عدة عوامل، من أبرزها أن الأنظمة المائية المغلقة تقلل من الفواقد المائية الناتجة عن التبخر والتسرب العميق، والتي تعد من أهمها اسباب انخفاض كفاءة استخدام المياه في الزراعة التقليدية.

• التحليل الإحصائي

اظهرت نتائج اختبار للعينات المستقلة وجود فروق عالية المعنوية بين النظامين في جميع المؤشرات المدروسة (الإستهلاك المائي، الوزن الجاف) عند مستوي معنوية عالية ($p < 0.05$).

جدول (7). نتائج اختبار T-test للمقارنة بين النظامين في إستهلاك المياه

المتغير	نظام الزراعة	المتوسط (لتر/نبات)	الانحراف المعياري	قيمة T	درجات الحرية (df)	مستوي المعنوية (Sig)
إستهلاك المياه (لتر/نبات)	تربة	166.3	20.8	14.85	10	0.000
مائي		40.35	3.1			

• الاستنتاج والتوصيات.

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي باستخدام اختبار T-Test وجود فروق ذات دلالة معنوية عالية ($p < 0.05$) بين نظم الزراعة المائية و الزراعة التقليدية فيما يتعلق بكفاءة استخدام المياه و مؤشرات النمو الخضري.

• كفاءة استهلاك المياه: أظهرت نتائج التحليل الإحصائي باستخدام اختبار T-Test وجود فروق ذات دلالة معنوية عالية ($p < 0.05$) بين نظم الزراعة المائية و الزراعة التقليدية فيما يتعلق بكفاءة استخدام المياه حيث سجلت تقنية التدفق العميق DFT انخفاضا حاداً في الإحتياجات المائية الموسمية بنسبة توفير 76.5% للطماطم و 74.8% للفلفل مقارنة بالزراعة في التربة. يرجع هذا التباين الملحوظ اساساً الي طبيعية الفواقد الميكانيكية المرتبطة بالتربة كالبحر من السطح والرشح العميق، ويقتصر الفقد في نظام الزراعة المائية علي النتج الفسيولوجي المرتبط بالبناء الحيوي، وهو ما

يتمشى مع ما ذكره (Serge & Britz, 2009) بأن الإستهلاك في هذه النظم يقتصر فعلياً على عمليات النتح والاحتياج الفسيولوجي للنبات.

- تحليل مؤشرات النمو: ارتبط الانخفاض في استهلاك المياه بزيادة معنوية في الكتلة الحيوية، حيث حقق محصول الفلفل في بيئة الزراعة المائية وزناً جافاً بلغ 1.073 جم مقارنة بـ 0.515 جم في الزراعة التقليدية. هذا التفوق يعكس الكفاءة العالية للإمتصاص الجذري للعناصر المغذية في وسط الحصى الخامل، مما يقلل من الضغط الفسيولوجي على النبات ويوجه الطاقة نحو بناء المجموع الخضري.
- العلاقة بين الرطوبة والنمو: بالرغم تقارب نسب الرطوبة في أنسجة المحاصيل بين النظامين (تتراوح بين 85% و 92%)، إلا أن التفوق الإحصائي في الأوزان الكلية للنباتات المزروعة مائياً يؤكد أن توفير المياه لم يكن على حساب جودة الأنسجة النباتية، بل ساهم في تحسين مؤشرات النمو الكلية. أثبتت الدراسة أن الانتقال نحو نظم الزراعة بدون تربة (DFT) لم يعد مجرد خيار تقني، بل ضرورة استراتيجية لمواجهة ندرة المياه وتدهور التربة.

التوصيات:

1. **تبني تقنيات الزراعة المائية:** توصي الدراسة بالتوسع في استخدام أنظمة الزراعة المائية، وخاصة تقنية DFT، للمحاصيل الثمرية عالية القيمة مثل الطماطم والفلفل في المناطق التي تعاني من شح المياه أو تدهور التربة، حيث أثبتت قدرتها على توفير المياه بنسبة تتجاوز 75% وتحسين الإنتاجية.
2. **دراسة الجدوى الاقتصادية:** قبل التوسع في هذه الأنظمة على نطاق تجاري واسع، يوصي بإجراء دراسة جدوى اقتصادية شاملة تأخذ في الاعتبار التكاليف الأولية (الإنشاء، المعدات) وتكاليف التشغيل (الطاقة، المحاليل المغذية، الصيانة) مقابل العائد من زيادة الإنتاجية وتوفير المياه.
3. **تطوير برامج تدريبية:** ضرورة تأهيل وتدريب الكوادر الفنية والمزارعين على تشغيل وصيانة أنظمة الزراعة المائية، والتعامل مع المحاليل المغذية ومراقبة الـ pH والـ EC، نظراً لإختلافها الجذري عن التقنيات التقليدية.
4. **البحوث المستقبلية:** يقترح إجراء المزيد من الدراسات لتقييم أداء أنواع أخرى من المحاصيل (خضروات ورقية، نباتات طبية وعطرية) في هذه الأنظمة، وكذلك دراسة تأثير استخدام مصادر مياة مختلفة (مالحة، رمادية) بعد معالجتها على إنتاجية النباتات وسلامتها الغذائية.
5. **قيود الدراسة:** ينبغي لأخذ في الاعتبار أن هذه الدراسة أجريت في بيئة محمية (صوبة) وعلى نطاق تجريبي صغير. قد تختلف النتائج عند التطبيق في الحقول المفتوحة وعلى مساحات واسعة بسبب اختلاف الظروف المناخية وإمكانية تطبيق مستويات مختلفة من الإدارة الفنية.

المراجع

خنيفر، ع.، وبوبريق، ن. (2018). نموذج Omu-ET لحساب البخر نتح المرجعي والاحتياجات المائية للمحاصيل. جامعة عمر المختار.

AlShrouf, A. (2017). Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences, *27*(1), 247–255.

Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: Vertical farming and controlled-environment agriculture. Sustainability: Science, Practice and Policy, 13(1), 13–26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>

Bernier, P. (2015). Vers la construction d'un discours critique de l'agriculture urbaine commerciale en serres sur les toits [Master's thesis, Université du Québec à Montréal]. Archipel.

Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Circular (California Agricultural Experiment Station), 347. University of California, Berkeley.

Ilango, S. (2017). Global trends in vertical farming and soilless agriculture. Academic Press.

Mittal, D., Kaur, G., Singh, P., Yadav, K., & Ali, S. A. (2020). Nanoparticle-based sustainable agriculture and food science: Recent advances and future outlook. *Frontiers in Nanotechnology*, 2, Article 579954. <https://doi.org/10.3389/fnano.2020.579954>

Putra, P. A., & Yuliando, H. (2015). Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: A review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, *3*, 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054>

Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S., Terzano, R., & Cesco, S. (2019). Hydroponic solutions for soilless production systems: Issues and opportunities in a smart agriculture perspective. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 923. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00923>

Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation*, *17*(4), 364–371. <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>

Sardare, M. D., & Admane, S. V. (2013). A review on plant without soil-hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, *2*(3), 299–304.

Serge, P., & Britz, W. (2009). Environmental impacts of hydroponic systems: A comparative analysis. *Journal of Cleaner Production*, 17(12), 110-118.

Treftz, C., & Omaye, S. T. (2016). Comparison between hydroponic and soil-grown strawberries: Sensory attributes and correlations with nutrient composition. *Food and Nutrition Sciences*, *7*(14), 1371–1379. <https://doi.org/10.4236/fns.2016.714123>

الاختصارات

الرمز	الاسم الكيميائي
Cl	كلوريد
So4	كبريتات
Na	صوديوم
Ca	كالسيوم
K	بوتاسيوم
Mg	مغنيسيوم
Co3	كربونات
T.D.S	اجمالي المواد الذائبة
EC	التوصيلية الكهربائية للماء
PH	الاس الهيدروجيني
