Al-Mukhtar Journal of Agricultural, Veterinary and Environmental Science 00 (0): 01-11, 2026
Doi: https://doi.org/10.54172/dgp0sx44

Research Article **Open Access**

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

هبه الناجي علي ثابت[1]*،اسماء رابح سعيد ادم[2]

الباحث الاول[1]*: قسم الهندسة الزراعية، كلية الزراعة، البيضاء، ليبيا
الباحث الثاني: قسم النبات، كلية العلوم، القبة، ليبيا

المستخلص: تهدف 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، وتم حساب الاحتياجات المائية في التربة باستخدام معادلة مونتيث اعتماداً علي نموذج-**Omu ET)**، بينما اعتمدت حسابات النظام المائي علي السحب الفعلي للمحلول المغذي، وقد أظهرت النتائج تفوقاً معنوياً**(P=0.005)**لنظام الزراعة المائية في خفض الاستهلاك المائي بنسبة تجاوزت 75%،مع تحسن ملحوظ في تراكم الكتلة الحيوية للمحاصيل.

الكلمات المفتاحية :الزراعة المائية، التنمية المستدامة،العناصرالغذائية،الماء الموارد الطبيعية، الاحتياجات المائية، بنمان–مونتيث.

***Corresponding author:**
Heba A. Ali
heba.thabet@omu.edu.ly,
Department of Agricultural engineering, Faculty of Agriculture, Omer Al-Muhktar University, Al Bayada, Libya

Asma R.S. Adam
asmaarabeh1982@gmail.com
Department of Botany, Faculty of Science, Al Qubbah, Libya

Received:

Accepted:

Publish online:

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

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 indices for tomato and pepper crops. Water requirements in soil were estimated using the Penman–Monteith (FAO-56) equation based on the Omu-ET model, whereas hydroponic system calculations were 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 علي تحقيق الأمن الغذائي المستدام ، وتتجلى هذه العقبات في حدة التغيرات المناخية ،وتدهور الخصائص الحيوية للتربة و ارتفاع معدلات تلوثه ، فضلاً عن تفاقم أزمة شح الموارد المائية، و تتزامن هذه الظروف مع تصاعد مستمر في الطلب علي الغذاء نتيجة للنمو السكاني المتسارع (Mittal *et al.*, 2020)، وفي ظل اعتبار الأمن الغذائي أحد أبرز الرهانات الاستراتيجية في الألفية الجديدة ، وتبرز الحاجة الماسة لتبني تقنيات زراعية ابتكارية وحلول تقنية متطورة قادرة علي سد الفجوة الغذائية وتلبية الاحتياجات المتزايدة للبشرية (Sambo *et al.*, 2019)، وتعد قضية الأمن الغذائي من الأولويات الرئيسة المدرجة علي جدول أعمال السياسات العلمية ، في ظل التزايد السكاني المتسارع والمستمر

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/], 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.

وما يترتب عليه من ارتفاع في الطلب علي الغذاء، وتشير التقديرت إلي أن عدد سكان العالم قد يقترب من تسعة مليارات نسمة بحلول عام2050، الأمر الذي يستلزم زيادة إنتاج الغذاء بأكثر من 50%لتلبية الاحتياجات المتنامية(Mittal et al., 2020)، كما تقدر الحاجة إلي إضافة نحو 120 مليون هكتار من الأراضي الزراعية بحلول عام 2030 لرفع إنتاجية المحاصيل و مواكبة الطلب المتزايد (Ilango, 2017)، غير أن التحدي الرئيسي يتمثل في محدودية الأراضي الصالحة للزراعة ، ممايفرض ضغوطا متزايدة علي الموارد الطبيعية ويستدعي البحث عن حلول مستدامة لتعزيز الإنتاجية الزراعية دون التوسع الأفقي في المساحات المزروعة.

وفي ظل هذه الضغوط وما يرا فقها من تغيرات مناخية وتدهور في خصائص التربة ونقص حاد في الموارد المائية، تبرز تكنولوجيا الزراعة بدون تربة (Soilless Culture) كمدخل استراتيجي لتحقيق الكفاءة الإنتاجية العالية والاستخدام الأمثل للموارد، وتكتسب 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 أداة 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 تُسهم هذه التقنية في استغلال الأراضي غير 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 مابين70– 90%من المياه المستهلكة في الزراعة العادية بالإضافة إلى الاستغناء عن العمليات المختلفة التي تطلبها 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، باستخدام نظام مغلق لتقنية التدفق العميق، (DFT) قيس استهلاك الماء في نظام (Deep Flow Technique - DFT) مباشرة علي مستوى النبات (لتر /نبات/موسم)، وقد قُدرت احتياجات التربة من الماء باستخدام معادلة (بنمان–مونتيث56-FAO) مع قيم معامل المحصول(Kc) .

$$ET0 = [0.408 * \Delta * (Rn - G) + \gamma * (900 / (T + 273)) * u2 * (es - ea)] / [\Delta + \gamma * (1 + 0.34 * u2)]$$

حيث أن:–

- ET_0 التبخر–نتح المرجعي مم/يوم
- Δ ميل منحنى ضغط البخار المشبع كيلوباسكال/درجة مئوية
- R_n الإشعاع الصافي السطحي ميجاجول/م²/يوم
- G كثافة تدفق حرارة التربة ميجاجول/م²/يوم
- γ الثابت السيكرومتري كيلوباسكال/درجة مئوية

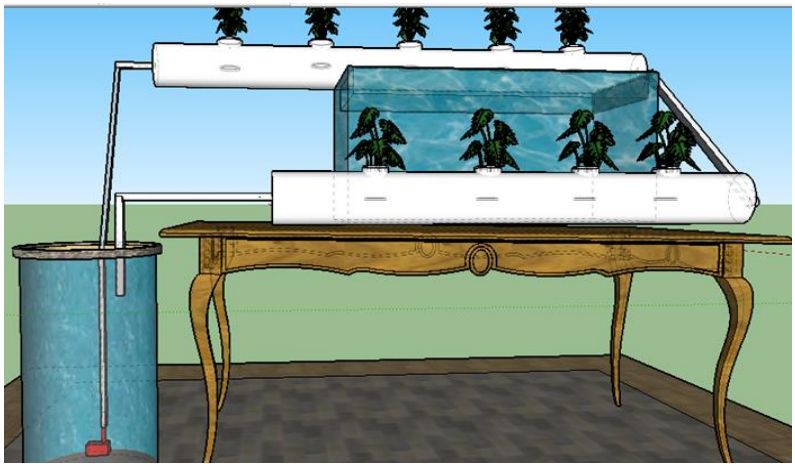
- **T** متوسط درجة حرارة الهواء درجة مئوية
- **u_2** سرعة الرياح على ارتفاع 2 متر م/ث
- **e_s** ضغط بخار التشبع كيلوباسكال
- **e_a** ضغط البخار الفعلي كيلوباسكال
- **Kc** معامل المحصول (حسب مراحل النمو)

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:مستوين(طماطم،فلفل).

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



شكل (1) يوضح منظومة التغذية للمحاصيل.

المحلول المغذي والرقابة التقنية:

تم تحضير المحلول المغذي المستخدم في التجربة وفقاً لصيغة هوغلاند و أرنون (Hoagland and Arnon,1950)المعدلة، وهي التركيبة المعيارية لضمان الإمداد المتوازن بالعناصر الغذائية الكبرى و الصغرى في الأنظمة المائية، وقد جرت مراقبة تركيز الأملاح (EC)ودرجة الحموضة (PH)دورياً لضمان بقاء العناصر في صورة أيونية ميسرة للامتصاص 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 في الري

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

الاختبار	مياه الري(مغذية)	خواص التربة الكيميائية
P^H	6	7.04
EC	0.74ds/m	8.18ds/m
Temp	$27C^0$	$26C^0$
Turbidtty	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 لامتصاص النباتات و التبخر السطحي، حتي الوصول إلي العلامة الثابتة في الخزان.
  - تسجيل كمية الماء المعوضة يومياً باستخدام عداد المياه الحجمي.
  - حساب الاستهلاك الكلي للموسم (لتر/نبات/موسم) بقسمة إجمالي الماء المعوض علي عدد النباتات.
  - تم افتراض كثافة نباتية مقدارها 100000 نبات/هكتار للطماطم، و 15000نبات/هكتار للفلفل لتحويل الاستهلاك إلي م3/هكتار

قياس النمو الخضري:

تم أخذ العينات عشوائيا 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 70م^0 لمدة 48 ساعة، تم أخذ قياس الوزن الجاف للنباتات.

نسبة الرطوبة :حسبت بالمعادلة (الوزن الرطب – الوزن الجاف)/ الوزن الرطب *100.

طول الجذور: قيس طول الجذور باستخدام مسطرة مدرجة.

حساب الإنتاجية المائية: (Water Productivity)

حسبت 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 الإحصائي باستخدام برنامج (SPSS)الإصدار 26 وتم 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 نتح المرجعي.

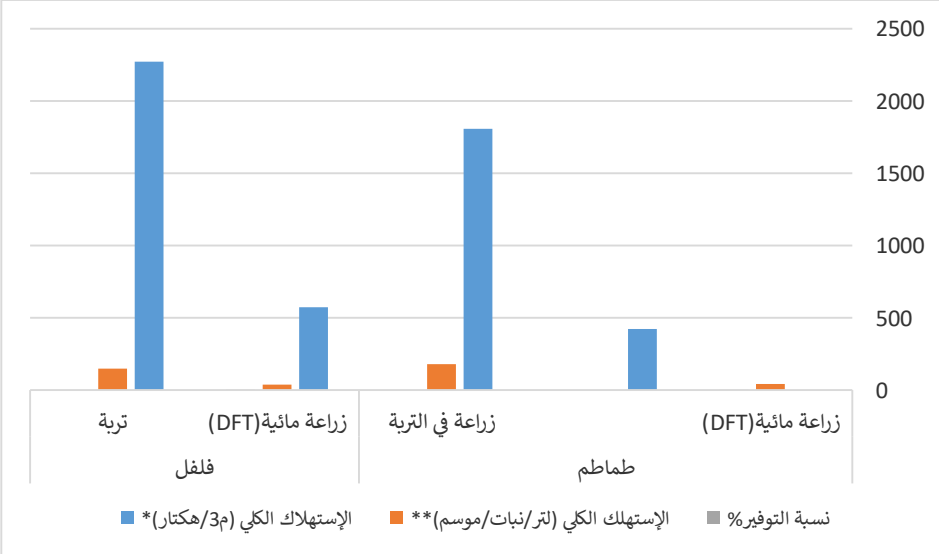
الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
متوسط درجة الحرارة الصغرى (م0)	3.51	5.98	5.9	5.9	12	15	19.03	20	17	14	12	5.2
متوسط درجة الحرارة العظمى (م0)	21.4	18.75	25	33	36	38	39.2	40	36	31	29	18
متوسط الرطوبة النسبية (%)	81.1	80.62	75	63	55	56	61.06	60	62	66	68	79
متوسط سرعة الرياح على ارتفاع 2 م	4.09	3.32	3.5	3.9	3	3.3	3.94	3.9	3.5	3	3.2	4.4
متوسط الاشعاع قصير الموجة	11.7	16.05	20	25	29	29	28.87	27	23	17	13	9.9
البخر نتح المرجعي (مم/يوم)	2.36	2.3	3.8	6.8	7.5	8.3	8.6	8.5	6.8	4.6	3.7	2

النتائج والمناقشة:

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

جدول (4) تحليل مقارنة للاستهلاك المائي وكفاءة التوفير

المحصول	نظام الزراعة	الاستهلاك الكلي ($م^3$/هكتار)*	الاستهلاك 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.

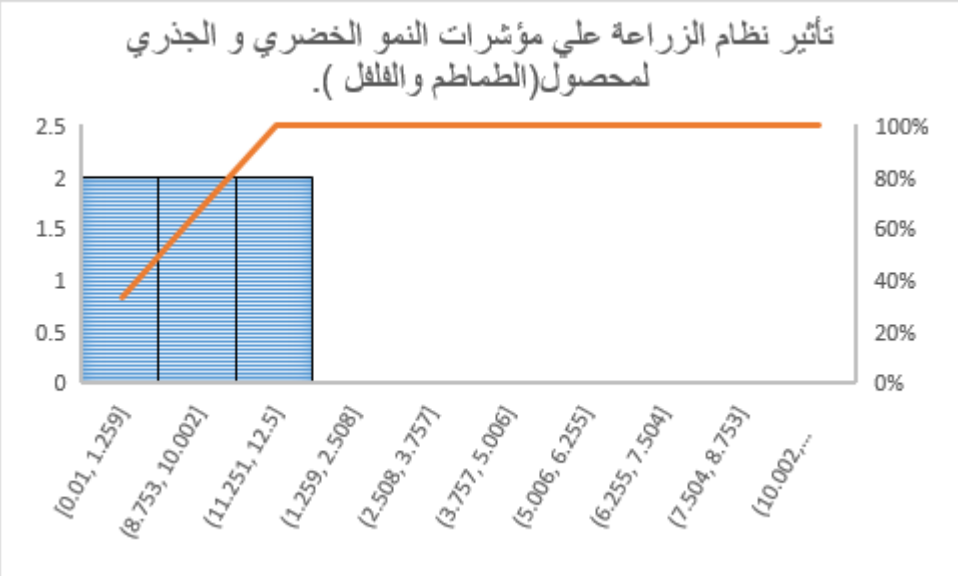
القيم تمثل متوسط ثلاث مكررات تم لتحويل بافترض كثافة نباتية مقدارها 100000** نبات/هكتار للطماطم ،و 15000نبات/هكتار للفلفل، لتحويل قيم الاستهلاك إلي م3/هكتار تختلف باختلاف الكثافة النباتية***.

- **تحليل مؤشرات النمو الخضري و الجذري:**

أظهرت النتائج تبايناً واضحاً لنظام الزراعة المائية في تحفيز الكتلة الحيوية، ويعزى هذا التباين إلي توافر العناصر الغذائية في صورة أيونية ميسرة مباشرة في المحلول، مما يقلل جهد 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).

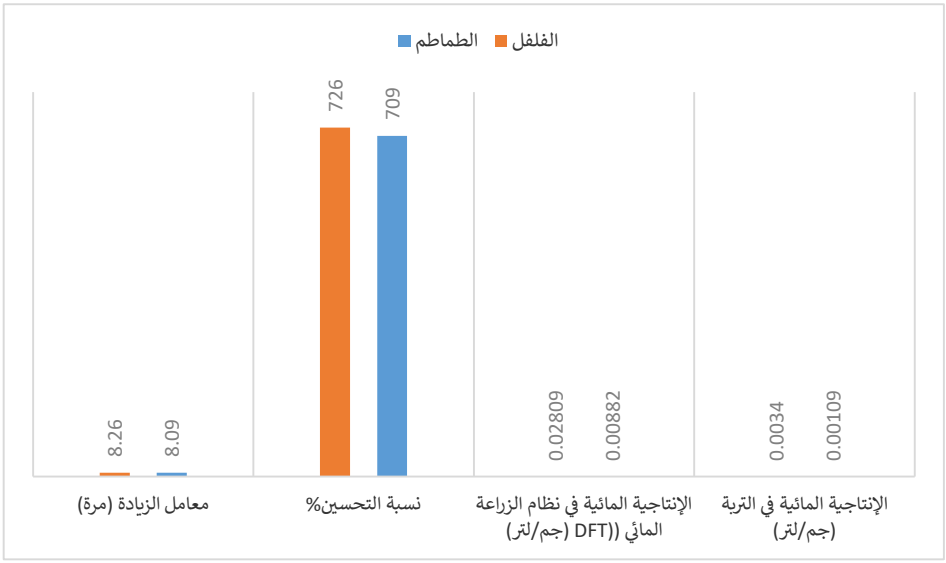
يُمكن إرجاع التباين الملحوظ في الأداء المورفولوجي للجذور بين النظامين إلي الخصائص الفيزيائية لوسط النمو؛ فبينما تواجه الجذور في التربة مقاومة ميكانيكية تحد من انتشارها، يوفر وسط الحصى الخامل في تقنية (DFT)مساميةعالية سمحت باستطالة الجذور بنسبة أكبر(وصلت إلي 12.5سم في الطماطم)، ومن الناحيه الفسيولوجية، فإن توافر العناصر الغذائية في صورة أيونية ميسرة داخل المحلول المغذي أدى إلي تحسين الامتصاص 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 على مستوى 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 إلى تحسن كبير في الإنتاجية المائية WP في النظام المائي مقارنة بالزراعة التقليدية في التربة، حيث بلغت نسبة الزيادة أكثر من 700%لكلا المحصولين(الطماطم،الفلفل)، ويعكس هذا الارتفاع الكبير في الكفاءة قدرة النظام علي تحسين استخدام وحدة الماء بشكل ملحوظ، وترجع هذه الزيادة إلي عدة عوامل، من أبرزها أن الأنظمة المائية المغلقة تقلل من الفواقد المائية الناتجة عن التبخر والتسرب العميق، والتي تعد من أهمها أسباب انخفاض كفاءة استخدام المياه في الزراعة التقليدية.

- **التحليل الإحصائي:**

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

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

المتغير	نظام الزراعة	المتوسط(لتر/نبات)	الإنحراف المعياري	قيمةT	درجات الحرية(df)	مستوى المعنوية(Sig)
استهلاك 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 معنويه 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 انخفاضاً حاداً في الاحتياجات المائية الموسمية بنسبة توفير 76.5% للطماطم و74.8% للفلفل مقارنة بالزراعة في التربة، ويرجع هذا التباين الملحوظ أساساً إلي طبيعية الفواقد الميكانيكية المرتبطة بالتربة كالبخر من السطح والرشح العميق، ويقتصر الفقد في نظام الزراعة المائية علي النتح الفسيولوجي المرتبط بالبناء الحيوي، وهو ما يتماشى مع ما ذكره (Serge & Britz, 2009) بأن الاستهلاك في هذه النظم يقتصر فعلياًعلي 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 وزنا جافاً بلغ 1.073جم مقارنة ب0.515جم في الزراعة التقليدية، وهذا التفوق يعكس الكفاءة العالية للامتصاص الجذري للعناصر المغذية في وسط الحصى الخامل، مما يقلل من الضغط الفسيولوجي على النبات ويوجه الطاقه نحو بناء المجموع الخضري.
- العلاقة بين الرطوبة والنمو: بالرغم من 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 علي حساب جودة الأنسجة النباتية ،بل ساهم في تحسين مؤشرات النمو الكلية، وأثبتت 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 علي توفير المياه بنسبة تتجاوز 75% وتحسين الإنتاجية.
2. **دراسة الجدوي الاقتصادية:** قبل التوسع في هذه الأنظمة علي نطاق تجاري واسع، يوصى 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 علي تشغيل وصيانة أنظمة الزراعة المائية، والتعامل مع المحاليل المغذية ومراقبة ال Ph والEc،نظرا لاختلافها 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 علي إنتاجية النباتات وسلامتها الغذائية.
5. **قيود الدراسة:** ينبغي الأخذ في الاعتبار أن هذه الدراسة أجريت في بيئة محمية(صوبة) وعلي نطق تجريبي صغير، وقد تختلف النتائج عند التطبيق في الحقول المفتوحة وعلي 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:

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