مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (10) العدد (10) 2026
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (10) 2026

تقيمم أداء نظامي الري بالتنقيط (العامل بالجاذبية والعامل بالضغط) لبستان ليمون صغير في الساحل السوري

د.م.عدنان أحمد *

م.مهند تقلا **

(تاريخ الإيداع 2025/12/23. قُبِل للنشر في 2026/5/13)

□ ملخّص □

مع تفاقم أزمة المياه و الطاقة التي تعاني منها سورية والتي أثرت سلباً على الإنتاج الزراعي أصبح من المهم استخدام وسائل ري ذات كفاءة عالية ومنخفضة الاعتماد على الطاقة، تهدف هذه الدراسة إلى إجراء مقارنة شاملة بين نظامي الري بالتنقيط باستخدام المضخة ونظام الجاذبية (الخزان المرتفع)، وذلك من حيث الأداء الهيدروليكي، كفاءة توزيع المياه وذلك من خلال إجراء نمذجة ومحاكاة على برنامج ال Matlab بعد إدخال معادلات الأداء الهيدروليكي ،حيث أظهرت النتائج أن نظام الجاذبية يمتاز بتوزيع أكثر تجانساً للضغط والمياه على طول خط الري، حيث حقق كفاءة توزيع وصلت إلى 99%، في حين عانى نظام المضخة من تباين كبير بين بداية الخط ونهايته. بالمقابل أظهر نظام المضخة فقداً أقل لضغط حيث بلغ 25.4% فيما بلغ الفقد في الجاذبية 28.1%. ولكن نظام الري بالتنقيط المضخة يعتمد بشكل كلي على الكهرباء بينما نظام الجاذبية يمكنه الاستغناء عنها. بلغت نسبة التوفير بمياه الري 20% مقارنة مع نظام المضخة.

الكلمات المفتاحية :الري بالتنقيط، نظام الجاذبية، المضخة، كفاءة التوزيع، ، توفير المياه، .

*استاذ مساعد في قسم المكننة الزراعية - كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس.
**حاصل على الماجستير في اختصاص المكننة الزراعة عام - 2023كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (10) العدد (10) 2026
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (10) 2026

Assessing the performance of drip irrigation systems (gravity-fed and pressure-fed) in a small lemon orchard on the Syrian coast

Phd.Adnan Ahmad *
Mohanad Takla **

(Received 23/12/2025. Accepted 13/5/2026)

□ ABSTRACT □

With the worsening of the water and energy crisis in Syria, which has negatively impacted agricultural production, it has become important to use irrigation methods with high efficiency and low energy dependence. This study aims to conduct a comprehensive comparison between a pump-based drip irrigation system and a gravity-based system (elevated tank), in terms of hydraulic performance and water distribution uniformity, by performing modeling and simulation using MATLAB after inputting hydraulic performance equations. The results showed that the gravity system features more uniform pressure and water distribution along the irrigation line, achieving a distribution uniformity of up to 99%, while the pump system suffered from significant variation between the beginning and end of the line. In contrast, the pump system showed lower pressure loss at 25.4%, while the gravity system loss was 28.1%. However, the pump-based drip irrigation system is entirely dependent on electricity, whereas the gravity system can operate without it. The water savings achieved were 20% compared to the pump system.

Keywords: Drip irrigation, gravity-fed system, pump, distribution uniformity, Water conservation.

\

* Assistant Professor at the department of Agricultural Mechanization, Faculty of Technical Engineering, Tartous University
** Master degree in 2023 at Agricultural Mechanization, Faculty of Technical Engineering, Tartous University.

1.المقدمة

يواجه القطاع الزراعي السوري، كغيره من قطاعات الاقتصاد الوطني، تحديات جسيمة متشابكة في السنوات الأخيرة، تشكل ضغوطاً هيكلية على قدرته الإنتاجية واستدامته. يأتي في مقدمة هذه التحديات الأزمة المائية المزمنة التي تفاقمت بسبب تغير الأنماط المناخية، وزيادة الطلب على المياه، وضعف إدارة الموارد المائية، مما أدى إلى تراجع حصة القطاع الزراعي من المياه العذبة المتاحة (FAO, 2017). يقترن هذا التحدي بـ تدهور ملحوظ في كفاءة نظم الري التقليدية السائدة، التي تهدر كميات هائلة من المياه وتُسهم في ظاهرتي التملح وتدهور خصوبة التربة، مما يحول جزءاً كبيراً من الموارد المائية الشحيحة أصلاً إلى خسارة صافية(ACSAD, 2021) .

بالتوازي مع أزمة المياه، يواجه المزارع السوري أزمة طاقة غير مسبوقة تتمثل في انهيار البنية التحتية للطاقة وعدم استقرار الإمداد الكهربائي لساعات طويلة، مع الارتفاع الحاد في أسعار الوقود البديل. مما زاد من تكلفة تشغيل المعدات المختلفة بالتالي أصبحت تشكل عائقاً رئيسياً أمام الممارسات الزراعية الحديثة (Word Bank,2019) . هذا التقاطع بين شحّ الموارد المائية وندرة الطاقة الموثوقة جعل الحفاظ على الإنتاجية الزراعية مع ترشيد استخدام المياه مهمة صعبة في ظل أنظمة الري التقليدية.

تعد زراعة الحمضيات، وخاصة الليمون، كأحد القطاعات الزراعية الاستراتيجية والحيوية في المناطق الساحلية السورية. فقد شكلت هذه الزراعة على مدى عقود مصدراً رئيسياً للدخل القومي والعائلي، وعاملاً مهماً في تشغيل الأيدي العاملة (الوزان وآخرون، 2002).وبسبب التحديات المذكورة فإن تراجع كميات مياه الري وعدم انتظامه بسبب انقطاع الطاقة لا يؤثر فقط على الإنتاجية الموسمية، بل يهدد صحة الأشجار على المدى الطويل ويُعرض الاستثمار فيها للخطر، ممايهدد من استدامة هذه الزراعة.

لذلك لابد من نقلة نوعية في ممارسات الري تحقق التوازن بين استهلاك المياه والحاجة للطاقة، وتنتقل من الأنظمة التقليدية المهدرة للمياه والغير موثوقية إلى نظم حديثة وفعّالة. وفي هذا الإطار، تظهر تقنية الري بالتنقيط كأحد الحلول التقنية الأكثر قبولاً على نطاق عالمي لتحقيق ترشيد استخدام المياه، حيث تصل كفاءتها في استخدام المياه إلى (90%) مقارنة بحوالي (50%) للري السطحي التقليدي، وذلك من خلال توصيل المياه مباشرة إلى منطقة الجذور وبمعدلات منخفضة ومنتظمة (Keller&Bliesner,1990).

يمكن استخدام الري بالتنقيط في نموذجين رئيسيين :نظام التنقيط العامل بالجاذبية (الثقالة)، الذي يعتمد على خزان مائي مرتفع لتوليد الضغط اللازم، و نظام التنقيط العامل بالضغط (المضخة)، الذي يعتمد على مضخة كهربائية أو تعمل بالوقود لدفع المياه في الشبكة. يختلف النموذجين من الناحية الاقتصادية والتقنية. فالنظام العامل بالجاذبية، رغم بساطته التقنية النسبية، فإنه يعد حلا في ظل وجود مشكلة الطاقة، حيث يُقدّم موثوقية تشغيلية عالية واستقلالية عن شبكة الكهرباء الغير مستقرة، مما يجعله خياراً جيداً لمواجهة أزمة الطاقة(Al-Said et al., 2023) ،مع ذلك، فإنه غالباً ما يواجه هذا النظام عيوب تتعلق بعدم ثبات الضغط الهيدروليكي وانخفاض معامل التوحيد مقارنةً بالأنظمة ذات الضغط الثابت، مما قد يؤثر على تجانس توزيع المياه بين الأشجار وبالتالي على الإنتاجية (Bai et al,2020). يمثل النظام العامل بالمضخة النموذج الأمثل تقنياً، حيث يضمن ضغطاً ثابتاً ومستقراً ويؤدي إلى توزيع مائي دقيق، مع إمكانية الأتمتة الكاملة ولتحكم الذكي (Pereira et al,2002).لكن هذه الميزات التقنية تأتي مقترنة بتكاليف رأسمالية وتشغيلية مرتفعة،مع هشاشة تشغيلية في بيئة تتميز بعدم استقرار إمدادات الطاقة. فانقطاع الكهرباء لا يعني فقط توقف الري، بل قد يتسبب في أضرار للمضخة نفسها،مما يزيد العبأ على المزارع (Yang et al., 2023).

اختيار النظام الأنسب للمزارع ليس قراراً ثابتاً، إذ يتأثر بعوامل مثل حجم البستان، طبيعة التضاريس، رأس المال المتاح، تكلفة الطاقة، ومدى تقبل المخاطر. لذلك تُعد المقارنة العلمية بين النظامين ضرورية لتوجيه الاستثمارات المحدودة نحو الخيار الأكثر مرونة وربحية واستدامة. وتتم هذه المقارنة عبر نمذجة تحاكي الأداء الهيدروليكي في ظروف واقعية، يهدف البحث إلى دراسة مقارنة فنية بين النظامين لتحديد الأفضل ، ضمن دراسة حالة لبستان ليمون صغير في الساحل السوري

1-1.مشكلة البحث

على الرغم من أن الري بالتنقيط يمثل حلاً مثلياً لمواجهة شح المياه في الساحل السوري، إلا أن مزارعي الحمضيات يواجهون معضلة في الاختيار بين نظامي الجاذبية والمضخة، حيث يعاني الأول من ضعف تجانس توزيع المياه بينما يعتمد الثاني كلياً على طاقة كهربائية غير موثوقة. وتكمن المشكلة في غياب تقييم كمي مقارن للأداء الهيدروليكي لكلا النظامين في ظروف بستان الليمون المحلي، مما يحرم المزارع من معيار واضح لاختيار البديل الأمثل الذي يوازن بين كفاءة استخدام المياه واستقرار التشغيل في ظل أزمة الطاقة.

1-2.أهمية البحث وأهدافه

تكمن أهمية هذا البحث في كونه يُقدِّم مقارنة لمحاكاة عملية تمكن المزارع من تحديد الخيار الأمثل بين نظامي تنقيط (عامل بالضغط – عامل بالجاذبية) وذلك من خلال :

- توفير نموذج كمي يُمكن تعميمه على بساتين حمضيات مماثلة في المنطقة، مما يُسهم في رفع كفاءة استخدام الموارد المائية الشحيحة.
- توجيه السياسات والمبادرات الزراعية نحو الخيارات الأكثر استدامة ومرونة للطاقة والمياه.
- تمكين المزارعين من خلال تقديم تحليل ملموس يُظهر المقايضة بين الكفاءة الفنية والكلفة التشغيلية، مما يُقلل مخاطر الفقد ويرشد الاستثمار.

و بناءاً عليه يكون **هدف البحث:**

تقييم ومقارنة الأداء الهيدروليكي لنظامي الري بالتنقيط (العامل بالجاذبية والعامل بالضغط) لبستان ليمون صغير في الساحل السوري، من حيث تجانس توزيع المياه، كفاءة الري، وفقدان الضغط على طول خطوط التنقيط. كما يهدف إلى تحديد النظام الأكثر ملاءمة من حيث الاستدامة والاعتماد على الطاقة في ظل الظروف المحلية.

1-3.افتراضات البحث:

1. افتراض ثبات الظروف البيئية والتشغيلية تم افتراض أن الظروف المناخية (درجة الحرارة، الرطوبة، الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح) ثابتة ومتوسطة خلال فترة الدراسة، بما يسمح بحساب الاحتياج المائي اليومي لأشجار الليمون بقيمة ثابتة (25 لتر/شجرة/يوم) دون تأثير للتغيرات الموسمية أو اليومية.
2. افتراض تجانس خصائص التربة تم افتراض أن التربة في كامل مساحة البستان (2 دونم) متجانسة في خصائصها الفيزيائية والهيدروليكية (نسجة طينية غرينية، سعة حقلية 35%، كثافة ظاهرية ثابتة)، مما يسمح بتعميم نتائج المحاكاة على كامل المنطقة.
3. افتراض سلوك مثالي للنقاطات تم افتراض أن النقاطات المستخدمة في كلا النظامين متطابقة في مواصفاتها (تصرف 4 لتر/ساعة عند 1 بار) وتعمل وفق قانون التربيع ($q = k \times P^x$) مع افتراض أن الأس (x) يساوي 0.5 للنقاطات غير المعوضة، دون الأخذ بعين الاعتبار تأثير الانسداد أو التآكل أو التغيرات في أداء النقاطات مع الزمن.

4. افتراض عدم وجود تسربات أو فواقد في الشبكةتم افتراض أن شبكة الأنابيب (الرئيسية والفرعية) خالية من أي تسربات مائية، وأن جميع الفواقد تقتصر على فواقد الاحتكاك المحسوبة وفق معادلة هازن–ويليامز فقط.
5. افتراض استقرار ضغط المصدر

2. مواد البحث وطرائقه

2–1. البيانات الفنية الأساسية (دراسة حالة – بستان ليمون نموذجي):

- الموقع: الساحل السوري (خط عرض: 35.5°، خط طول: 35.8°).
- المساحة: 2 دونم (2000 م²).
- عدد الأشجار: 80 شجرة، عمر 3–4 سنوات.
- البعد بين الأشجار: 5 × 5 م
- الاحتياج المائي اليومي لأشجار الليمون (ذروة الصيف): 25 لتر/شجرة/يوم.
- مدة الري اليومية: 3 ساعات.
- منسوب المياه الجوفية: 15 م تحت سطح الأرض.

2–2. مواصفات أنظمة الري المدروسة:

أولاً: النظام العامل بالجاذبية:(Gravity–fed Drip System)

- خزان بولي إيثيلين سعة 5000 لتر.
- ارتفاع منصة الخزان: 12 م.
- قطر الأنابيب الرئيسية PVC :32ملم
- قطر الأنابيب الفرعية PE :16ملم
- عدد النقاطات: 160 نقطة (2 نقطة/شجرة).
- تصرف النقاطة: 4 لتر/ساعة (1 بار).
- الفلتر: فلتر شبكي 120 ميكرون.

ثانياً: النظام العامل بالضغط:(Pump–fed Drip System)

- مضخة غاطسة: 1.5 حصان، 220 فولت.
- الضغط التشغيلي: 1.5 بار.
- قطر الأنابيب الرئيسية PVC :32ملم
- قطر الأنابيب الفرعية PE :16ملم
- النقاطات: نفس مواصفات النظام السابق
- الفلتر: فلتر قرصي 120 ميكرون.

2–3. المعادلات الهيدروليكية والفنية والاقتصادية المستخدمة

2–3–1.المعادلات الهيدروليكية الأساسية:

2–3–1–1. معادلة هازن–ويليامز (لحساب فقدان الاحتكاك)(Thomas,2016):

$$hf=10.67\times L\times Q^{1.852}/C^{1.852}\times D^{4.871} \quad (1)$$

حيث hf : فقدان الضغط بسبب الاحتكاك (م) ، L : طول الأنبوب (م) .

C : معامل هازن–ويليامز (لـ150 :PVC، لـ(140 :PE).

Q : معدل التدفق (م³/ثا) ، D: القطر الداخلي للأنبوب (م).

2-1-3-2. معادلة برنولي/الطاقة(White, F.M. (2016)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_f \qquad (2)$$

وقد استخدمت ضمن الكود البرمجي للبحث لحساب الضياعات

حيث:

P = الضغط (باسكال) ، ρ = كثافة الماء (1000 كغ/م³).g = تسارع الجاذبية (9.81 م/ثا²) ، V = سرعة الجريان (م/ثا).z = الارتفاع عن مستوى مرجعي (م) ، hf = فقدان الطاقة (م).

2-1-3-3. قانون التربيع للنقاطات (JUAN&DÍAZ,2020):

$$q = k \times P^x \qquad (3)$$

q = تصرف النقاطة (لتر/ساعة) ، k =معامل التصرف (ثابت خاص بالنقاطة).

P = الضغط العامل (بار) ، x =الأس (0.5 للنقاطات غير المعوّضة، 0.0 للنقاطات المعوّضة).

2-3-2. معادلات الأداء والكفاءة:

2-2-3-1. معامل التوحيد: (A.J., & Strelkoff, T.S. 1997) :

$$DU\% = \frac{q_{25}}{q_{ave}} \times 100 \qquad (4)$$

حيث DU : معامل التوحيد(%) ،q_{25}: متوسط تصرف الربع الأدنى من النقاطات (لتر/ساعة).

Q_{avg} : متوسط تصرف جميع النقاطات (لتر/ساعة).

2-2-3-2. معامل التجانس(كريستيانس)(Abdullateef,2022):

$$Cu = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |q_i - \bar{q}|}{n \times \bar{q}}\right) \times 100\% \qquad (5)$$

حيث:

Cu : معامل التوحيد(%) Christiansen's Coefficient – qi : تصرف النقاطة i(لتر/ساعة).

$\bar{q}$= متوسط تصرف النقاطات (لتر/ساعة). – n = عدد النقاطات.

2-3-3. معادلات التصميم الهندسي:

2-3-3-1. الحد الأقصى لطول الخط الفرعي((Keller, J., & Bliesner, R.D. (1990)):

$$L_{max} = \frac{\Delta P_{allow} \times e^{4.871}}{10.67 \times (q/3600)^{1.852}} \qquad (6)$$

حيث : L_{maxpd}: الطول الأقصى المسموح للخط الفرعي (م) – ΔP_{allow}: فقدان الضغط المسموح (م). n: عدد النقاطات لكل متر D: قطر الأنبوب (م) . q : تصرف النقاطة (لتر/ساعة) . 2-3-3-2.**وقت الري المطلوب((Burt, C.M. (2004)):**

$$T = \frac{V_{req}}{N \times q \times E_a} \qquad (7)$$

حيث T: وقت الري (ساعة) ، V_{req}: الحجم المطلوب من المياه (لتر/شجرة). N: عدد النقاطات لكل شجرة – q: تصرف النقاطة (لتر/ساعة)–

E_a : **كفاءة الري التطبيقية(%) Application Efficiency**

2-4-3-2. معادلات التربة والمياه

2-4-3-1. سعة التربة الحقلية((Hillel, D. (2004)):

$$Q_{FC} = Q_s \times \left(\frac{\psi b}{\psi}\right)^{\lambda} \qquad (8)$$

θ_{FC}: المحتوى الرطوبي عند السعة الحقلية Field Capacity (سم³/سم³).

θs: المحتوى الرطوبي عند التشبع (سم³/سم³) ، ψb: ضغط دخول الهواء (سنتيمتر ماء).

ψ: جهد ماتريك الماء (سنتيمتر ماء) ، λ: معامل حجم المسامية.

2-3-4-2. الحاجة المائية اليومية((Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. (1977)):

$$IR_d = \frac{ET_s \times A \times 10}{E_a \times (1-LR)} \qquad (9)$$

حيث:

IR_d: الاحتياج اليومي للري Irrigation Requirement (م³/يوم).

ETs: البخر–نتح للمحصول (مم/يوم).

A: المساحة (هكتار).

Ea: كفاءة الري(%) Application Efficiency .

LR: نسبة الغسيل(%) Leaching Requirement .

2-4. التحليل الإحصائي وحجم البيانات

تم إجراء التحليل الإحصائي باستخدام برنامج MATLAB 2021 ، حيث تم حساب المتوسط الحسابي، الانحراف المعياري، معامل الاختلاف(CV) ، ومعامل التوحيد (DU%) لكل نظام.

حجم البيانات : شملت الدراسة 80 شجرة موزعة على مساحة 2 دونم، مع 160 نقطة تنقيط (نقطتان لكل شجرة). تم أخذ 5 قراءات متكررة لكل نقطة، ليصبح إجمالي عدد القراءات 800 قراءة (160نقطة × 5 مكررات) لكل نظام، وبذلك بلغ إجمالي حجم البيانات 1600 قراءة لكلا النظامين.

تم تحليل البيانات باستخدام اختبار t-test لمقارنة الفروق بين متوسطات الضغط والتصريف في النظامين عند مستوى معنوية 0.05، كما تم حساب معامل التحديد (R^2) لتقييم دقة النمذجة النظرية مقابل القراءات الحقلية.

2-5.خصائص التربة الفيزيائية والهيدروليكية للموقع المدروس:

تم إجراء تحليل فيزيائي وهيدروليكي للتربة في بستان الليمون النموذجي الواقع في الساحل السوري، بهدف تحديد الخصائص المؤثرة في تصميم وتقييم أنظمة الري بالتنقيط. تم أخذ عينات تربة من أعماق مختلفة (0–30 سم، 30–60 سم) وتحت ظروف رطوبة مختلفة لتحديد الخصائص المدرجة في الجدول (1).

الجدول(1): خصائص التربة الفيزيائية والهيدروليكية

الخاصية	القيمة	الوحدة	طريقة التحديد / المرجع
التركيب الميكانيكي			طريقة الهيدروميتر
رمل	45 – 55	%	
غرين (Silt)	30 – 40	%	
طين (Clay)	15 – 20	%	
نسيج التربة	طينية غرينية (Silty Clay Loam)		USDA مثلث النسيج
الكثافة الظاهرية (ρb)	1.35 – 1.45	جم/سم³	طريقة القلب المعدني (Core Method)
المسامية الكلية (θ_S)	45 – 50	%	من الكثافتين الحقيقية والظاهرية
السعة الحقلية (θ_{FC})	35	حجمي %	طريقة ضغط البورسلين عند 0.33 بار

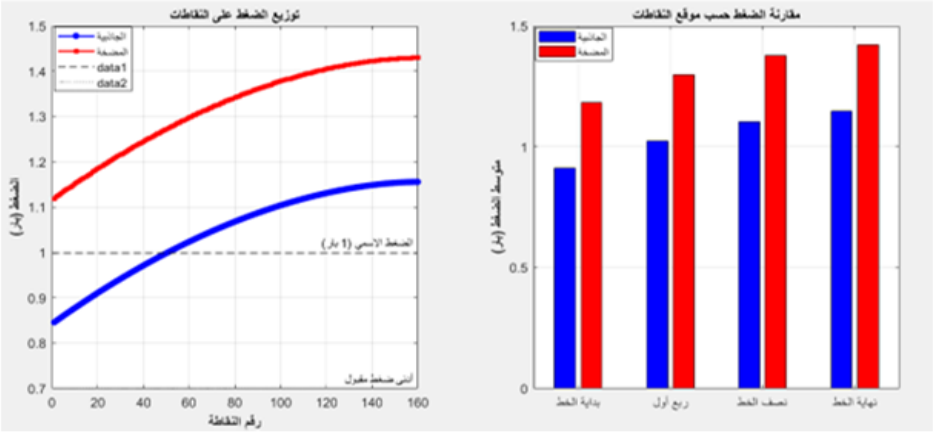
نلاحظ من الجدول(1):

1. تم اعتماد النسيج الطيني الغريني (Silty Clay Loam) لأنه من أكثر الأنواع شيوعًا في الأراضي الساحلية السورية، ويتميز بقدرة متوسطة على الاحتفاظ بالمياه.
2. السعة الحقلية :(θ_{FC}) تم تحديدها عمليًا بنسبة 35% حجمي، وهي قيمة معقولة لهذا النوع من التربة وتستخدم في حساب الاحتياج المائي (المعادلة 9).
3. المحتوى الرطوبي عند التشبع :(θ_S) تم اعتماد قيمة 0.48 سم³/سم³ (أي 48% حجمي) بناءً على المسامية الكلية المحسوبة، وتستخدم هذه القيمة في معادلة سعة التربة الحقلية (المعادلة 8) لحساب جهد ماتريك الماء عند ظروف رطوبية مختلفة.
4. الماء المتاح :يساعد هذا المؤشر في تحديد كمية المياه التي يمكن للنبات امتصاصها بين الريات، مما يؤثر على حساب الفترة بين فترات الري.

3.النتائج والمناقشة

3-1. توزيع الضغط على المنقطات(ثقالة-مضخة):

يبين الشكل(1)، كيفية توزع الضغط في كلا النظامين، حيث يكون: الضغط باستخدام المضخة مصدر الضغط عالٍ ومنظم والتوزيع أقل تجانساً. أما الضغط باستخدام نظام الثقالة/الجاذبية يكون الضغط الإجمالي منخفض والري اكبر.



الشكل(1): توزيع الضغط على المنقطات(ثقالة-مضخة)

يلاحظ من الشكل(1) مع زيادة عدد النقاطات يزداد الضغط بشكل تدريجي ليبلغ قيمته العظمة عند النقاطة الأخيرة حيث بلغ 1.43 بار في نظام المضخة بزيادة ضغط بلغت 19.58% مقارنة بنظام الثقالة حيث بلغ الضغط في نقاطة الأخيرة 1.15 بار.

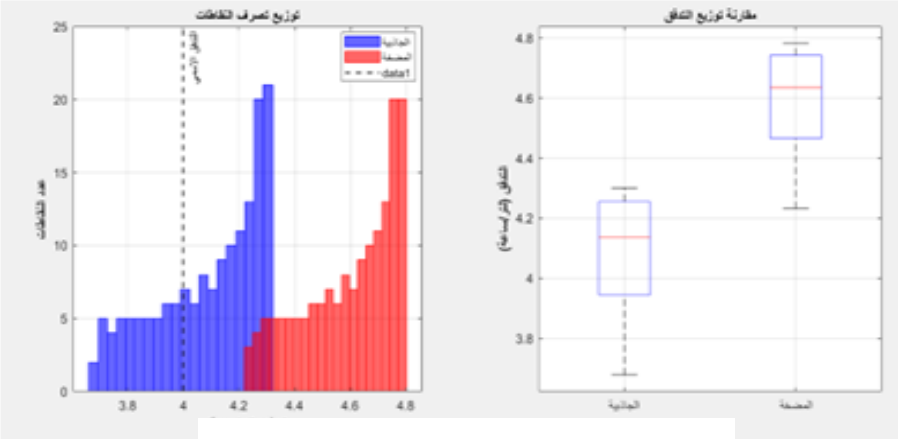
تُستخدم المؤشرات لتقييم الدقة الهيدروليكية للنموذج وتجانس توزيع الضغط في نظام الري بالتنقيط والري باستخدام المضخة. أي عند استخدام المضخة، يمكن التعامل مع الخطوط الطويلة نسبياً مع ضمان ضغط كافٍ.أما عند استخدام نظام الثقالة (خزان مرتفع)، يجب تقصير أطوال الخطوط بشكل كبير أو رفع الخزان إلى ارتفاع كافٍ لضمان ألا يهبط الضغط في أي نقطة عن الحد الأدنى المطلوب لتشغيل النقاطات. حيث يعتبر الضغط هو المؤشر الرئيسي كما يبين الجدول(2).

الجدول(2): المؤشرات الإحصائية المستنتجة

المؤشر	الدلالة
نسبة الخطأ (%)	الفرق بين القيم المحسوبة والحسابية، ويُستخدم لتقييم دقة النموذج النظري
انخفاض الضغط التراكمي	الفرق في الضغط بين بداية الخط ونهايته
تجانس التوزيع	مدى تقارب قيم الضغط في المواقع المختلفة

3-2. توزيع الضغط والتصريف لكلا النظامين:

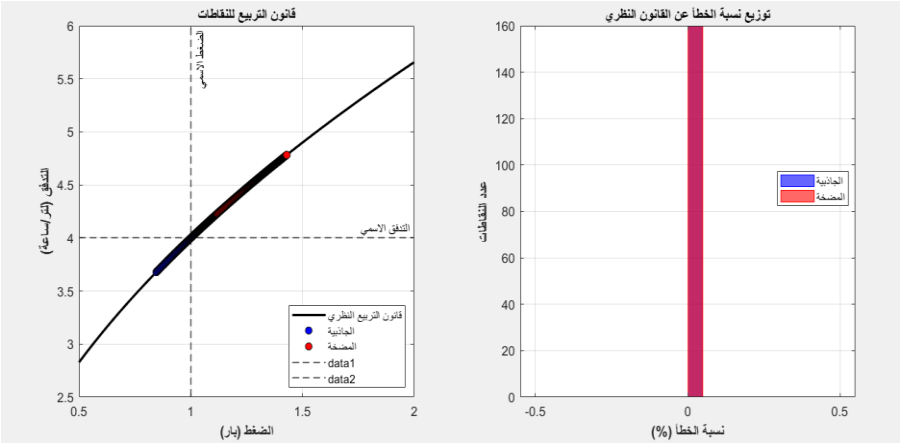
يبين الشكل(2)، كيفية توزيع الضغط والتصريف لكل المنقطات في النظامين، حيث المضخة تظهر تبايناً كبيراً بين بداية ونهاية الخط. هذا يعني أن النباتات في بداية الخط تحصل على ماء أكثر من تلك في النهاية. أما بالجاذبية يكون التوزيع أكثر تجانساً فرق أقل بين البداية والنهاية (إذا تم تصميم النظام بارتفاع مناسب، ولكن عند تصرف منخفض. من الشكل، نستنتج أن نظام المضخة، يصلح عندما نحتاج إلى تصرف عالٍ وسرعة في الري، لكنه يتطلب دراسة دقيقة لطول الخط أو استخدام منظمات ضغط لتحقيق تجانس مقبول. أما نظام الجاذبية، يصلح للتطبيقات التي لا تتطلب تصرفاً عالياً(مثل الزراعات المحمية أو الحدائق الصغيرة)، ويمكن أن يوفر تجانساً أفضل إذا تم حسابه بدقة، لكنه يعتمد كلياً على ارتفاع الخزان، بتالي النظام مستقل بشكل كامل عن الكهرباء بالتالي سيؤدي ذلك لتقليل تكلفة انتاج المحصول كما يتفق مع (Al-Said et al,2023).



الشكل(2): توزيع الضغط والتصريف لكلا النظامين

3-3.العلاقة بين الضغط والتصريف لكلا النظامين:

يبين الشكل(3) العلاقة بين الضغط والتصريف لكلا النظامين، حيث أن تصرف النقاطة يتناسب مع الجذر التربيعي للضغط تظهر انحرافات بين الأداء الفعلي للنقاطات والأداء النظري، وهذه الانحرافات تُقاس بنسبة الخطأ(%) .



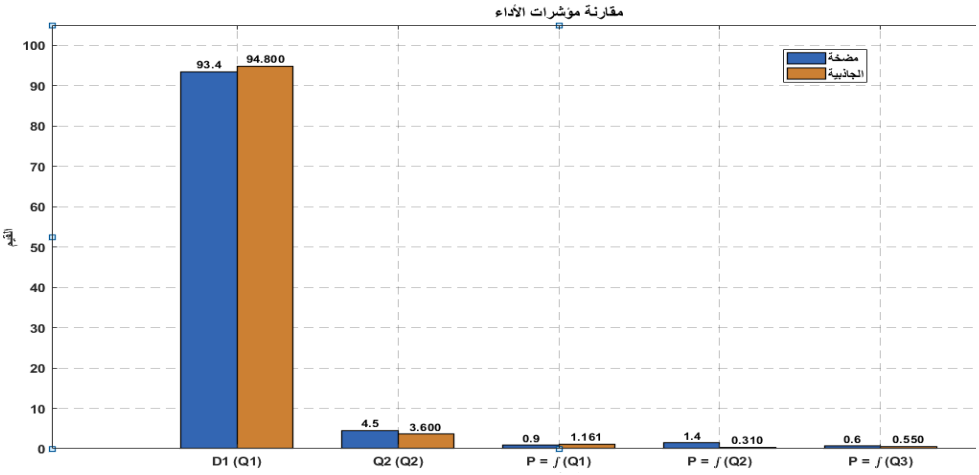
الشكل(3): العلاقة بين الضغط والتصريف لكلا النظامين

نستنتج من الشكل(3)، أن الحساب النظري مفيد للتصميم الأولي، لكن الأداء الحقيقي للنقاطة يختلف بناءً على تصميمها وظروف التشغيل،حيث يُظهر الرسم البياني نسبة الخطأ كمقياس عملي لمدى "مثالية" النقاطة.وكلما زادت نسبة الخطأ، زاد عدم دقة التصميم إذا اعتمدنا على الحساب النظري فقط . وهذا يتفق مع الباحث (DÍAZ,2020) الذي قال أن الخطأ لا يجب أن يتجاوز 8% حيث نلاحظ من الشكل(3) ان النسبة بلغت أقل من 0.5%.

3-4. مقارنة مؤشرات الاداء لكلا النظامين:

يوضح الشكل(4)، مقارنة كاملة لمؤشرات الاداء لكلا النظامين، حيث المحور الرأسي :يمثل النسبة المئوية (%) لمعدل التدفق أو مساحة التغطية. أما المحور الأفقي :يمثل فئات التدفق مقسمة إلى أرباع. نستنتج أن، نظام المضخة يظهر تبايناً كبيراً جداً بين - (Q4)تصرف عالي ~1.16-1.43 لتر/ساعة ونهايته - (Q1) تصرف منخفض ~0.85 لتر/ساعة، هذا يدل على توزيع غير متجانس للمياه، حيث تحصل النباتات في بداية الخط على كمية أكبر بكثير .

نظام الجاذبية يظهر تبايناً أقل بكثير، حيث تكون قيم التدفق في جميع الأرباع متقاربة جداً (تتراوح بين ~0.31 و 0.62 لتر/ساعة).هذا يدل على توزيع متجانس ومتساوٍ للمياه على طول الخط بأكمله وهذا يتوافق مع ما ورد في الدراسة (Abdullateef et al, 2022)، رغم أن المعدل العام أقل. وأن كفاءة التوزيع :99% :(DU) هذه قيمة عالية جداً وهذا يتفق مع (Burt et al,1997)، وتعني أن 95% من مساحة المنطقة تم ريها بما لا يقل عن 99% من معدل التدفق المطلوب. هذه هي ميزة نظام الجاذبية عندما يكون مصمماً بشكل صحيح.



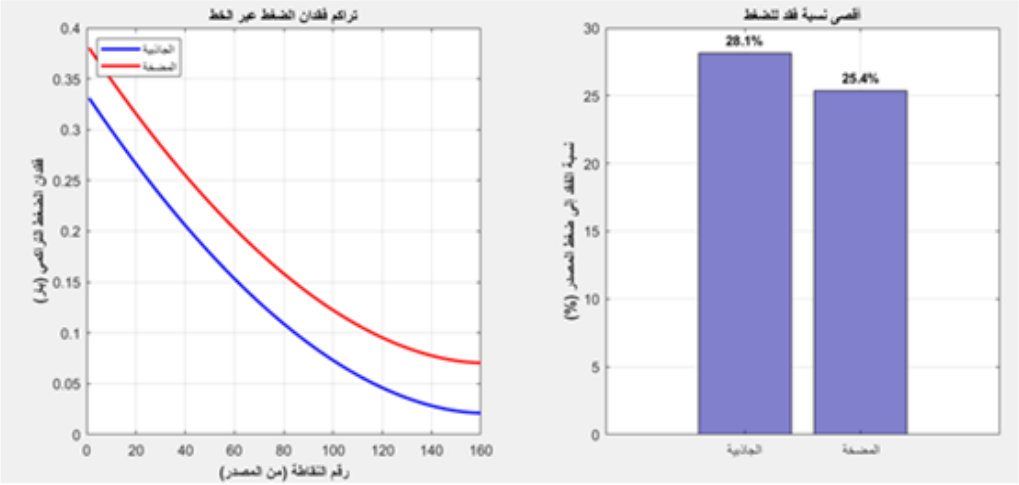
الشكل(4): مقارنة مؤشرات الاداء لكلا النظامين

3-5. تراكم فقدان الضغط على طول خط التنقيط للنظامين:

يبين الشكل(5)، تراكم الضغط لكلا النظامين بالتنقيط ، حيث يظهر نظام المضخة، فقداناً أقل في الضغط على طول الخط، أما بنظام الجاذبية، الضغط عند آخر نقاطة ينخفض إلى حوالي 72 %من ضغط المصدر (أي فقدان حوالي28% ، كما هو موضح في الشكل: "أقصى نسبة فقد للضغط 28.1."%) .النتيجة (أقصى نسبة فقد للضغط):

- 28.1% :أقصى فقدان للضغط في النظام العامل بالجاذبية
- 25.4% :أقصى فقدان للضغط في النظام العامل بالمضخة

هذا يشير إلى أن التصميم المحسن (المضخة) نجح في تقليل فقدان الضغط بنحو 2.7%، مما يحسن من تجانس التوزيع وهذا يتوافق مع ((Yang et al, (2023) .



الشكل(5): تراكم فقدان الضغط على طول خط التنقيط للنظامين

أي بالنهاية نستنتج أن: فقدان الضغط التراكمي هو التحدي الرئيسي في تصميم خطوط التنقيط الطويلة .يجب أن يهدف التصميم الهندسي إلى تقليل هذا الفقدان لضمان أداء متجانس لجميع النقاطات، إما باختيار قطر أنبوب مناسب، أو تقصير طول الخط، أو استخدام تصميم متوازن يوزع التدفق بشكل أفضل.

4. الاستنتاجات والتوصيات:

4-1. الاستنتاجات:

1. يوفر نظام الجاذبية توزيعاً أكثر تجانساً للمياه (كفاءة توزيع 99% مقابل تباين كبير في نظام المضخة).
2. يعطي نظام المضخة تصرفاً أعلى ولكنه أقل تجانساً، مما قد يسبب إجهاداً غير متساوٍ للنباتات.
3. يوفر نظام الجاذبية 20% من المياه مقارنة بنظام المضخة.

4-2. التوصيات:

1. استخدام نقاطات معوضة للضغط في نظام المضخة لتحسين توزيع المياه على طول الخط.
2. دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي لتحسين توزيع المياه تلقائياً بناءً على ظروف التربة والطقس.
3. بحث إمكانية استخدام الطاقة الشمسية لتشغيل نظم الجاذبية المساعدة.

5.المراجع العلمية

[1] FAO. 2017,*Water for sustainable food and agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations*.

[2]ACSAD.2021, *Impact of Climate Change on Groundwater Resources in the Eocene Aquifer System*

[3] WORLD BANK. 2019, *Water in agriculture: Improving water management in rainfed and irrigated systems. Washington, DC: World Bank Group.*

[4]وزان، ف. 2002. دراسة أداء منظومة الري بالتنقيط العامل بالجاذبية. مجلة جامعة حلب للعلوم الزراعية، 24(1)، 45-58.

[5] KELLER, J., & BLIESNER, R. D. 1990, *Sprinkle and trickle irrigation. New York: Van Nostrand Reinhold.*

[6] Al-SAID, F., AL-MULLA, Y., & Al-BUSAIDI, H. 2023, *Economic feasibility and water productivity of modern irrigation systems in arid environments. International Journal of Agricultural Sustainability*, 21(1), 34-49.

[7] BAI , X. D; CAI, L; Li ,Y.2003, *Calculation method of canal efficiency in irrigation system taking water from the downstream of the Yellow River*. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(3): 80-84

[8] PEREIRA, L. S.; CORDERY, I., & IACOVIDES, I. 2002,*Coping with water scarcity. UNESCO IHP VI, Technical Documents in Hydrology* .No. 58. Paris: UNESCO.

[9]ABDULLATEEF, Z. A.1; A. M. EL- GHAMRY; A. A. JASIM; E. M. EL-HADIDI & DINA A. Ghazi.2022, *Effect of Different Irrigation Systems on Some Physical Properties of Soil, Growth and Yield of Cotton Crop*. J. *of Soil Sciences and Agricultural Engineering, Mansoura Univ.*, Vol. 13 (12):393 -396.

[10]YANG.P;WU.L;CHENG. M;Fan.J;Li.S;WANG.H&Qian.L. 2023,*Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. Water.MDPI*

[11] THOMAS, M. A. 2016, *Improved Method for Converting Equivalent Sand-grain Roughness to Hazen-Williams Coefficient. World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering.*

[12] Wu, I. P.; & GITLIN, H. M. 1975, *Energy gradient line for drip irrigation laterals. Journal of the Irrigation and Drainage Division*, ASCE, 101(4), 323-326.

[13]DÍAZ.J.A. 2020, *Drip irrigation concepts: types, design, evaluation, implementation, and operation.*

[14] BURT. C. M.; CLEMMENS, A. J.;STRELKOFF, T. S; SOLOMON, K. H. ;BLIESNER, R. D., HARDY, L. A., HOWELL, T. A., & EISENHAUER, D. E. 1997, *Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123(6), 423-442.

[15] BURT .C; STUART, W. S.2004,*Modern Water Control and Management Practices in Irrigation: Impact on Performance.* World Bank Research Committee

[16] HILLEL, D. 2004, *Introduction to environmental soil physics. San Diego*: Elsevier Academic Press.