جامعة الأمير عبد القادر للعلوم الإسلامية بقسنطينة
كلية الشريعة والاقتصاد
مخبر الدراسات القانونية والفقهية المقارنة
الملتقى الوطني حول
الحق في الماء والتعايش السلمي العالمي
في ضوء الفقه الإسلامي والتشريعات الدولية والوطنية
حضوريا/عن بعد
يومي 21-22 ربيع الثاني 1447هـ الموافق 13-14 أكتوبر 2025م

مساهمة الموارد المائية في تحقيق إنتاج زراعي: أنظمة الري الفلاحي نموذجًا — دراسة حالة المديرية الجهوية للمياه بقسنطينة/فرع تلاغمة

د. غصن البان ماضوي
جامعة العربي بن مهيدي –ام البواقي

الملخص

تواجه الجزائر ضغطًا مائيًا حادًا بنصيب فردي يبلغ 450 مترًا مكعبًا من المياه المتجددة سنويًا، أقل بكثير من عتبة الندرة المحددة بـ 1000 متر مكعب. يستهلك القطاع الزراعي 70% من الموارد المائية المعبأة، إلا أن الأراضي المروية تمثل 7% فقط من المساحة المزروعة بينما تساهم بـ 70% من الإنتاج الزراعي. تفحص هذه الدراسة كفاءة أنظمة الري من خلال دراسة حالة منطقة تلاغمة (قسنطينة). يكشف تحليل البيانات الإدارية عن تبنٍ شبه كلي (99.94%) لتقنيات الري الحديثة، مع هيمنة الري بالرش (96.61%). لكن توجد فجوات كبيرة في الكفاءة: فواقد الري بالرش تبلغ 70%، بينما يفقد التنقيط 50% بسبب سوء التشغيل والصيانة. ينجم هذا الانفصال بين التبني التقني والكفاءة الفعلية عن إخفاقات حوكمة هيكلية تشمل تسعيرًا رمزيًا للمياه، وتكاليف رأسمالية مرتفعة دون إعانات كافية، وإرشاد تقني ضعيف. تخلص الدراسة إلى أن تحقيق الأمن المائي والغذائي يتطلب تحولًا من توسيع البنية التحتية نحو إدارة كفاءة الطلب عبر تسعير تدريجي للمياه، وإعانات موجهة لأنظمة التنقيط منخفضة التكلفة، وتدريب مكثف للمزارعين، وتوصيات مُخصصة حسب المحصول. الكلمات المفتاحية: كفاءة الري، حوكمة المياه، الأمن الغذائي، الجزائر، الري بالرش، الري بالتنقيط، إدارة الطلب المائي

الكلمات المفتاحية: كفاءة الري، حوكمة المياه، الأمن الغذائي، الجزائر، الري بالرش، الري بالتنقيط

Abstract

Algeria faces severe water stress with only 450 m³ of renewable water per capita annually, well below the scarcity threshold of 1,000 m³.

Agriculture consumes 70% of mobilized water, yet irrigated land represents merely 7% of cultivated area while contributing 70% of agricultural production. This study examines irrigation system efficiency through a case study of Tlaghma (Constantine province). Analysis of administrative data reveals near-total adoption (99.94%) of modern irrigation technologies, with sprinkler irrigation dominating at 96.61%. However, substantial efficiency gaps persist: sprinkler systems experience approximately 70% water losses, while drip irrigation loses 50% due to poor operation and maintenance. This disconnect between technological adoption and actual efficiency stems from structural governance failures including symbolic water pricing, high capital costs without adequate subsidies, and insufficient technical extension services. The study concludes that achieving water and food security requires a fundamental shift from supply-side infrastructure expansion to demand-side efficiency management through progressive water pricing, targeted subsidies for low-cost drip systems, intensive farmer training, and crop-specific recommendations differentiating high-value vegetables from field cereals. Keywords: irrigation efficiency, water governance, food security, Algeria, sprinkler irrigation, drip irrigation, water demand management
Keywords: irrigation efficiency, water governance, food security, Algeria, sprinkler irrigation, drip irrigation

مقدّمة

تواجه الجزائر مفارقةً استراتيجية؛ فعلى الرغم من كونها دولة ذات إمكاناتٍ زراعية وتاريخٍ عريق في هذا المجال، إلا أنها تعاني من تبعيةٍ غذائيةٍ كبيرة وضغطٍ هائلٍ على مواردها المائية. يعتمد الأمن الغذائي الوطني بدرجةٍ كبيرة على الواردات الضخمة لتلبية الاحتياجات الأساسية من الحبوب والحليب والبذور، مما يجعل الاقتصاد الوطني عرضةً لتقلبات الأسواق العالمية. وتتفاقم هذه المشكلة بسبب وضعٍ مائيٍّ حرج، حيث تُصنَّف الجزائر ضمن الدول التي تعاني من ندرةٍ مائيةٍ مطلقة؛ إذ لا يتجاوز متوسط نصيب الفرد من المياه المتجددة نحو 450 مترًا مكعبًا سنويًا، وهو مستوى أقل بكثير من عتبة الندرة المائية المتداولة في الأدبيات الدولية عند 1000 متر مكعب للفرد سنويًا (Fanack Water, 2024).

في هذا السياق، يبرز القطاع الزراعي باعتباره المستهلك الأكبر للمياه في البلاد بفارقٍ شاسع. تُشير معطيات منشورة إلى أن الزراعة تستهلك حوالي 70% من إجمالي الموارد المائية «المعبَّأة»؛ أي الموارد المتاحة فعليًا للتزويد بعد التعبئة عبر منشآت التخزين والتحويل والتحلية، مع تذبذبٍ في التقارير بين 66% و85% تبعًا للسنة ومنهجية الاحتساب (Fanack Water, 2024). والمفارقةُ أن هذه الحصّة الكبيرة من المياه تُستخدم لريِّ مساحةٍ محدودة نسبيًا من الأراضي الزراعية، لا تتجاوز—وفق تقديراتٍ متداولة—قرابة 7% من إجمالي الأراضي المستغلة، ومع ذلك تُسهم هذه المساحة المروية بما يقارب 70% من إجمالي الإنتاج الزراعي الوطني؛ ما يبرز المكانة الاستراتيجية القصوى للري من جهة، والحاجة الملحّة لتحسين كفاءته من جهةٍ أخرى (Ghanemi, 2021).

الجدول 1. مؤشرات رئيسية للموارد المائية والزراعة المروية في الجزائر

المؤشر	القيمة	المصدر
الموارد المائية الإجمالية السنوية	19.4 مليار م³	(Fanack Water, 2024)
نصيب الفرد من المياه سنويًا	~450 م³/فرد	(Fanack Water, 2024)
نسبة استهلاك القطاع الزراعي	~70% يتراوح 66–85%	(Fanack Water, 2024)
المساحة المروية	1.5 مليون هكتار (مُبلَّغ 2021)؛ هدف مُعلَن 2.1 مليون هكتار بحلول 2025	(Radio Algérienne, 2020)؛ (Laoubi & Yamao, 2012)
مساهمة الري في الإنتاج الزراعي	~70% من الإنتاج	(Ghanemi, 2021)

ملاحظة: قيمة 2.1 مليون هكتار الواردة «بحلول 2025» هي هدف مُعلَن في تصريحٍ إذاعي عام 2020 وليست قياسًا مُتحقِّقًا؛ أما 1.5 مليون هكتار (2021) فهي قيمة مُبلّغة في الأدبيات، ويُلزم تثبيتها الرجوعُ إلى أحدث الإحصاءات الرسمية المتاحة.

تاريخيًا، ركّزت السياسة المائية الجزائرية على «إدارة جانب العرض» (Supply-side management) عبر تعبئة المزيد من الموارد بإنشاء السدود ومحطات التحلية. وقد أسهمت هذه المقاربة في تعظيم التزويد المائي لكنها بلغت حدودها من حيث الكلفة والآثار البيئية وتزايد الندرة، ما يبرِّر انتقالًا حتميًا إلى «إدارة جانب الطلب» (Water Demand Management) التي تُعطي الأولوية لترشيد الاستهلاك وتحسين كفاءة استخدام المياه، لا سيما في قطاع الري الزراعي (Kherbache, 2020).

وعلى الرغم من جهود التحديث في إطار «المخطط الوطني للتنمية الزراعية» (PNDA) و«المخطط الوطني للتنمية الزراعية والريفية» (PNDAR)—التي ارتبطت بزيادة ملموسة في المساحة المروية منذ مطلع الألفية—

فإن تحدياتٍ هيكليةً لا تزال قائمة، أبرزها ضعف كفاءة أنظمة الري وفواقد المياه في شبكات النقل وداخل الحقل، وهو ما يُعدّ عائقًا مباشرًا أمام أي مسارٍ للتنمية الزراعية المستدامة (Laoubi & Yamao, 2012؛ Kherbache, 2020).

سؤال البحث: *في ظل سياسةٍ مائيةٍ وطنية تواجه تحديات الكفاءة، كيف يمكن للإدارة الفعّالة لأنظمة الري على المستوى المحلي أن تُسهم في تحقيق الأمن الغذائي المستدام؟*

استنادًا إلى ذلك، يستهدف البحث تحليل دور الموارد المائية وأنظمة الري في تعزيز الإنتاج الزراعي، مع اتخاذ نظام الري الفلاحي بمنطقة تلاغمة (ولاية قسنطينة) نموذجًا للدراسة، وذلك عبر تشخيص استخدام المياه، وتقييم الكفاءة، وتحديد المعيقات، واقتراح توصياتٍ تشغيليةٍ ومؤسسية مُحدّدة لتعظيم إنتاجية المياه على الصعيدين المحلي والوطني.

المبحث الأول: الإطار النظري والمفاهيمي

يهدف هذا المبحث إلى تحديد المفاهيم الأساسية التي تؤطر العلاقة بين الموارد المائية، أنظمة الري، والأمن الغذائي في السياق الجزائري. سنستعرض أولاً الإطار العام لحوكمة المياه، ثم ننتقل إلى تحليل كفاءة أنظمة الري، ونربطها بمفهوم الأمن الغذائي، لنختتم بعرض الإطار النظري الذي يفسر عوامل تبني التقنيات المائية الحديثة.

1.1. حوكمة المياه: من إدارة العرض إلى إدارة الطلب

تاريخيًا، قامت السياسة المائية في الجزائر، كما هو الحال في العديد من الدول التي تواجه ندرة المياه، على نموذج "إدارة جانب العرض" (Supply-side management). يركز هذا النموذج على تعبئة الموارد المائية من خلال بناء منشآت ضخمة كالسدود ومحطات التحلية بهدف تلبية الطلب المتزايد. ورغم أن هذا النموذج قد حقق نجاحات في توفير المياه، إلا أنه وصل إلى حدوده القصوى بسبب التكاليف الباهظة والتأثيرات البيئية وتضاؤل الموارد القابلة للتعبئة. لهذا السبب، يدعو الخبراء اليوم إلى انتقال حتمي نحو نموذج "إدارة جانب الطلب" (Water Demand Management – WDM)، الذي يهدف إلى تحقيق أقصى استفادة من الموارد المتاحة عبر تحسين كفاءة الاستخدام وترشيد الاستهلاك.

في هذا السياق، تبرز "حوكمة المياه" (Water Governance) كمفهوم محوري. تُعرَّف حوكمة المياه بأنها "مجموعة الأنظمة السياسية والاجتماعية والاقتصادية والإدارية القائمة لتطوير وإدارة الموارد المائية وتوزيع خدمات المياه على مختلف مستويات المجتمع". وتعتمد هذه الحوكمة على ثلاثة أنواع رئيسية من الأدوات لتحقيق أهدافها:

- الأدوات التنظيمية (Regulatory Instruments): وتشمل القوانين والتشريعات التي تحدد حقوق استخدام المياه، وتراخيص حفر الآبار، ومعايير جودة المياه.
- الأدوات الاقتصادية (Economic Instruments): وتتضمن تسعير المياه، ونظام الحصص، وتقديم الدعم المالي لتبني تقنيات الري الموفرة للمياه، والضرائب على التلوث.
- الأدوات الطوعية (Voluntary Instruments): وتشمل إنشاء جمعيات مستخدمي المياه، والحملات التوعوية، والاتفاقيات غير الرسمية بين المزارعين لتنظيم استخدام المياه.

إن فعالية هذه الأدوات مجتمعة هي التي تحدد مدى نجاح السياسة المائية في تحقيق التنمية المستدامة، خاصة في قطاع استراتيجي وحيوي كالزراعة.

2.1. أنظمة الري في الجزائر وكفاءتها

ينقسم الري الزراعي في الجزائر بشكل أساسي إلى نوعين من حيث الحجم والإدارة: "المحيطات الكبرى للري" (Grands Périmètres Irrigués - GPI)، وهي مساحات واسعة > 500 هكتار تُروى غالبًا من السدود وتديرها هيئات حكومية، و"الري الصغير والمتوسط" (Petite et Moyenne Hydraulique PMH -)، الذي يعتمد على المبادرات الفردية أو الجماعية للمزارعين من خلال استغلال الآبار والمصادر المائية المحلية (Messahel et al., 2005).

يُعد مفهوم "كفاءة الري" (Irrigation Efficiency) مؤشرًا أساسيًا لتقييم أداء هذه الأنظمة. تشير الدراسات إلى أن أنظمة الري التقليدية في الجزائر، خاصة الري السطحي (الجاذبية)، تعاني من ضعف كبير في الكفاءة، حيث تتسبب في هدر ما يصل إلى 8,000 متر مكعب من المياه سنويًا لكل هكتار.

وحتى مع التحول إلى التقنيات الحديثة، يظل الواقع الميداني معقدًا. فالدراسات العملية تظهر أن الكفاءة الفعلية لهذه الأنظمة أقل بكثير من كفاءتها النظرية. على سبيل المثال، يُقدَّر أن أكثر من 70% من مياه الري بالرش لا يستفاد منها فعليًا بسبب التبخر والانجراف بفعل الرياح، بينما تصل نسبة المياه المهدرة في أنظمة الري بالتنقيط إلى 50% بسبب سوء التركيب والتشغيل ونقص الصيانة.

المحددات التقنية لكفاءة أنظمة الري بالرش

إن فهم الأسباب الجذرية لهذه الفواقد الهائلة يتطلب تحليلاً دقيقًا للعوامل التقنية والتشغيلية. فبالنسبة لأنظمة الري بالرش، أثبتت الأبحاث الحديثة أن الأداء الهيدروليكي يعتمد بشكل حاسم على تفاعل معقد بين عدة عوامل: هندسة اللوحة/الفوهة، قطر الفوهة، وضغط التشغيل، والتي تتحكم بدورها في معدل التطبيق، حجم القطيرات، نصف قطر الفعل، وانتظامية التوزيع (Chen et al., 2021, 2022; Osman et al., 2014).

ومن بين جميع العوامل البيئية، تبرز سرعة الرياح كأحد أهم المتغيرات المناخية التي تؤثر بشكل مباشر على كفاءة الري بالرش وانتظامية توزيع المياه، خاصة في المناخات المتوسطية وشمال أفريقيا (R.M & Chandrasekaran, 1996; Bellido et al., 2018). فقد أظهرت الدراسات الميدانية والمخبرية أن سرعة الرياح ترتبط ارتباطًا إيجابيًا ومنتظمًا مع خسائر الانجراف وانخفاض الانتظامية (Slabunov et al., 2020).

وتحديدًا، أشارت مراجعات الأداء الميداني إلى وجود عتبات حرجة ذات أهمية تشغيلية مباشرة: فالآلات الرشاشة العريضة تواجه انتظامية ضعيفة بشكل خاص وانجرافًا أعلى عند سرعات رياح تتجاوز حوالي 5 متر/ثانية، ولذلك يُوصى بجدولة عمليات الري خلال فترات الرياح المنخفضة مثل الصباح الباكر أو المساء (Slabunov et al.,

2020). هذا التوصيف الكمي لعتبات الرياح يكتسب أهمية خاصة في السياق الجزائري، حيث تشهد العديد من المناطق الزراعية رياحًا موسمية قوية.

علاوة على ذلك، لا تعمل الرياح بمعزل عن العوامل التشغيلية الأخرى، بل تتفاعل بشكل معقد مع ضغط التشغيل وقطر الفوهة (Osman et al., 2014; Chen et al., 2021). وقد أظهرت الأعمال المخبرية أن الهندسات غير الدائرية والمحسّنة للفوهات يمكن أن تحقق معاملات انتظامية أعلى تحت ضغوط تشغيل أقل (Chen et al., 2022).

بالإضافة إلى ذلك، فإن بعض الابتكارات الهيدروليكية في تصميم الفوهات، مثل المخاريط العاكسة الدوارة والفوهات القطاعية وأجهزة الرش القريبة من السطح، أظهرت في الاختبارات المخبرية والميدانية تخفيضات قابلة للقياس في خسائر التبخر أو الانجراف (Kravchuk & Rusinov, 2023; Solovyov et al., 2022).

دور الصيانة والخبرة الفنية في كفاءة أنظمة الري الحديثة

لكن التحدي الأكبر لا يكمن فقط في العوامل البيئية والتصميمية، بل في الممارسات التشغيلية والصيانة. فقد قدمت الأدبيات العلمية أدلة ميدانية واضحة من أحواض شبه قاحلة مشابهة للسياق الجزائري تُظهر أن ضعف خبرة المزارعين، عدم كفاية الصيانة، وعدم التطابق بين التصميم والتشغيل تؤدي إلى انخفاض الانتظامية وانخفاض إنتاجية المياه في الأنظمة المضغوطة (Acar et al., 2010; Ahmed et al., 2010).

وفي هذا السياق، خلصت دراسة تطبيقية في حوض قونيا شبه القاحل في تركيا إلى استنتاج حاسم: الأنظمة المضغوطة تعمل بكفاءة فقط تحت إدارة جيدة، وأن الانتظامية المنخفضة الملاحظة في بعض أنظمة التنقيط كانت تُعزى مباشرة إلى عدم كفاية خبرة المزارعين والصيانة (Acar et al., 2010). وهذا يفسر بشكل مباشر النسبة المرتفعة من الهدر (50%) في أنظمة التنقيط في الجزائر رغم كفاءتها النظرية العالية التي قد تصل إلى 90-95%.

وتشمل المتغيرات الحساسة للصيانة التي وُثِّق تأثيرها تجريبيًا: انسداد الفوهات، ارتفاع الرافعات، هندسة التخطيط، الترشيح/الانسداد، تنظيم الضغط، واستبدال الفوهات (Ahmed et al., 2010; Awwad & Mohammed, 2017). إن غياب بروتوكولات صيانة دورية واضحة وغياب التدريب التقني المنتظم للمزارعين يحول الاستثمارات الضخمة في تحديث أنظمة الري إلى مجرد بنية تحتية غير مستغلة بشكل أمثل.

منهجيات القياس المعيارية لتقييم الأداء

ولقياس هذه المشاكل بدقة وتشخيصها، طورت الهندسة الزراعية منهجيات قياس معيارية تم اختبارها واعتمادها دوليًا. تشمل هذه المنهجيات استخدام معامل الانتظامية لكريستيانسن (Christiansen's Uniformity Coefficient - CU) ومعامل انتظام التوزيع (Distribution Uniformity - DU) كمتغيرات نتائج هيدروليكية أساسية (Osman et al., 2014; Ahmed et al., 2010).

وتستخدم مصفوفات الأواني الجامعة (catch can arrays) للقياس المكاني لمعدل التطبيق عبر المساحة المروية، مع التسجيل المتزامن لسرعة الرياح ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية أثناء عمليات الري. إن تطبيق هذه البروتوكولات

المعيارية في سياق الأنظمة الجزائرية من شأنه أن يوفر بيانات تجريبية دقيقة حول الكفاءة الفعلية ويحدد بدقة مواطن الخلل التشغيلية القابلة للمعالجة.

هذا الهدر الهائل للمياه لا يمثل فقط خسارة لمورد نادر وثمين، بل يؤدي أيضًا إلى تدهور الأراضي الزراعية بسبب التشبع بالمياه وزيادة الملوحة، مما يقلل من الإنتاجية الزراعية على المدى الطويل. لذلك، يُعتبر تحسين الكفاءة الفعلية للري عبر تحديث الأنظمة ومواكبة المزارعين بالتدريب والإرشاد والتدخل في مستوى الصيانة والممارسات التشغيلية ركيزة أساسية لأي استراتيجية تهدف إلى تحقيق الأمن المائي والغذائي.

3.1. العلاقة بين كفاءة الري والأمن الغذائي

يُعرَّف الأمن الغذائي بأنه "ضمان حصول جميع أفراد المجتمع، في كل الأوقات، على غذاء كافٍ وسليم ومغذٍ يلبي احتياجاتهم وتفضيلاتهم الغذائية ليعيشوا حياة صحية ونشطة". وللأمن الغذائي أبعاد متعددة تشمل التوافر (Availability)، والوصول (Access)، والاستخدام (Utilization)، والاستقرار (Stability). في الدول ذات المناخ الجاف وشبه الجاف كالجزائر، يرتبط تحقيق هذه الأبعاد ارتباطًا وثيقًا بالماء.

وقد أظهرت الدراسات أن تحقيق الاكتفاء الذاتي الغذائي يتطلب حدًا أدنى من الموارد المائية يُقدر بحوالي 912 مترًا مكعبًا للفرد سنويًا. وبما أن نصيب الفرد في الجزائر أقل بكثير من هذا المستوى، فإن الاعتماد على الإنتاج المحلي يتطلب بالضرورة رفع "إنتاجية المياه" (Water Productivity)، أي زيادة كمية المحصول المنتج لكل متر مكعب من الماء. وهنا تكمن العلاقة المباشرة: فكل تحسين في كفاءة أنظمة الري يقلل من هدر المياه، وبالتالي يرفع من إنتاجيتها، مما يساهم بشكل مباشر في زيادة "توافر" الغذاء المنتج محليًا وتعزيز "استقرار" الإمدادات الغذائية.

4.1. الإطار المفاهيمي لتبني تقنيات الري الحديثة

إن الانتقال من أنظمة الري التقليدية منخفضة الكفاءة إلى الأنظمة الحديثة (الرش، التنقيط) ليس مجرد قرار تقني، بل هو عملية اجتماعية واقتصادية معقدة تتأثر بمجموعة من العوامل المتداخلة. لفهم هذه العملية، يمكن اعتماد إطار تحليلي يفسر قرار المزارع بتبني (أو عدم تبني) تقنيات الري الموفرة للمياه بناءً على ثلاث فئات رئيسية من المحددات:

- العوامل المؤسسية (Institutional Factors): وتشمل سهولة الوصول إلى القروض، وجود الدعم الحكومي (الإعانات)، فعالية خدمات الإرشاد الزراعي، وقوانين حيازة الأراضي.
- العوامل البيئية (Environmental Factors): مثل درجة ندرة المياه (هل المصدر سطحي أم جوفي؟)، خصائص التربة، والظروف المناخية السائدة.
- العوامل الاجتماعية والاقتصادية (Socio-economic Factors): وتتعلق بخصائص المزارع نفسه، مثل عمره ومستواه التعليمي، وحجم مزرعته، وتكلفة استخراج المياه، وتكلفة الاستثمار في التقنية الجديدة.

إن فهم هذه العوامل وتفاعلها هو المفتاح لتصميم سياسات عامة فعالة تشجع المزارعين على تبني التقنيات الحديثة، مما يؤدي في النهاية إلى تحسين كفاءة استخدام المياه على المستوى الوطني.

المبحث الثاني : المنهجية المتبعة

لتحقيق أهداف البحث والإجابة على إشكاليته المطروحة، تم اعتماد منهجية تجمع بين التحليل الوصفي ودراسة الحالة، مدعومة بإطار قياس كمي صارم لتقييم أداء أنظمة الري، وذلك بهدف ربط الإطار النظري بالواقع العملي لإدارة مياه الري في الجزائر.

1.2. منهجية البحث

يقوم هذا البحث على منهج وصفي تحليلي في جزئه الأول، حيث تم استعراض وتحليل الأدبيات الأكاديمية والمؤسسية المتعلقة بحوكمة المياه، كفاءة الري، والأمن الغذائي. أما الجزء التطبيقي، فيعتمد على منهج دراسة الحالة (Case Study)، الذي يسمح بالتحليل المعمق لنظام الري في سياقه الواقعي.

2.2. منطقة الدراسة ومصادر البيانات

تم اختيار نظام الري الفلاحي لمنطقة تلاغمة كحالة دراسية. وقد تم الحصول على البيانات الأولية من سجلات المديرية الجهوية للمياه بقسنطينة – فرع دائرة تلاغمة. ولتعميق الفهم، تم تدعيم هذه البيانات بمقابلات موجهة مع الفاعلين المحليين، بالإضافة إلى استغلال قواعد البيانات المناخية اللازمة للحسابات الهيدرولوجية.

3.2. مؤشرات الأداء والتعريفات التشغيلية

لتقييم أداء نظام الري بشكل علمي، تم اعتماد مجموعة من مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) المستقاة من المراجع الدولية المعتمدة في هندسة الري، وعلى رأسها الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين (ASCE) ومنظمة الأغذية والزراعة (FAO). تشمل هذه المؤشرات:

- كفاءة النقل ((Conveyance Efficiency

تقيس مدى فاعلية شبكة التوزيع في إيصال المياه من المصدر إلى الحقول:

كفاءة النقل (%)= (كمية المياه الواصلة إلى الحيازات / كمية المياه المنصرفة من المصدر 100×(

- كفاءة التطبيق الحقلي ((Field Application Efficiency

تقيس مدى فاعلية استخدام المياه داخل الحقل لضمان وصولها إلى منطقة الجذور:

كفاءة التطبيق الحقلي(%) = كمية المياه المخزنة في منطقة الجذور / كمية المياه المطبقة على الحقل) × 100

- تجانس التوزيع ((Distribution Uniformity - DU_lq

وهو مؤشر حاسم لجودة الري، خاصة في أنظمة الرش. يقيس مدى تجانس توزيع المياه على كامل المساحة المروية، ويتم التركيز على الربع الأقل إرواءً (Lower Quarter). يُعتبر النظام فعالاً إذا كانت قيمة $DU_lq \geq 0.80$.

- إنتاجية الماء ((Water Productivity - WP

تقيس العائد من المحصول لكل وحدة مياه مستهلكة، وهي المؤشر الأكثر ارتباطًا بالأمن الغذائي:

إنتاجية الماء (كغ/م^3) = الغلة (كغ) / إجمالي المياه المستهلكة (م^3)

- الاحتياجات المائية للمحاصيل (Crop Water Requirement)

تم اعتماد المنهجية القياسية لمنظمة الأغذية والزراعة (FAO-56 Penman-Monteith) لحساب التبخر-النتح المرجعي (ET_0) ومن ثم تحديد الاحتياجات المائية الفعلية للمحاصيل ($ETc = ET_0 \times Kc$)، مما يسمح بجدولة علمية للري.

4.2. طريقة تحليل البيانات

تم تحليل البيانات عبر مراحل متكاملة:

- التحليل الإحصائي الوصفي: تم حساب النسب المئوية لتوزيع أنظمة الري حسب النشاط الزراعي.
- التحليل المقارن والنقدي: في مرحلة المناقشة، تم تقييم الأداء الفعلي للنظام في تلاغمة بمقارنته بالقيم المرجعية لكفاءة الأنظمة (مثلاً، كفاءة الري بالرش النظرية ≈75%)، وتحليل أسباب الفجوة بين الأداء النظري والفعلي.
- اقتراح برنامج تشغيلي: بناءً على التحليل، تم تصميم برنامج عملي لتحسين الأداء يتضمن أهدافًا كمية واضحة (KPIs) ومؤطرة زمنيًا.

5.2. حدود الدراسة

تعتمد دقة هذه الدراسة على جودة البيانات المتاحة من المصدر الرسمي. إن عدم التحديد الدقيق لوحدة القياس في الجدول الأساسي (هل هي هكتارات أم وحدات تدفق؟)، وعدم توفر بيانات حول معايرة العدادات أو سجلات الغلة التفصيلية حسب كل محصول، يمثلان حَدًا رئيسيًا يحول دون حساب دقيق لجميع مؤشرات الأداء، خاصة إنتاجية الماء (WP) وتجانس التوزيع (DU_lq).

لذلك، تركز المناقشة على تحليل البنية القائمة واقتراح إطار عمل لتطبيق هذه المؤشرات في المستقبل، مع الاستفادة من الأدبيات المقارنة من سياقات متوسطية مماثلة لتوجيه التوصيات العملية.

المبحث الثالث: النتائج

يعرض هذا المبحث النتائج الكمية لدراسة الحالة في منطقة تلاغمة، بناءً على البيانات التي تم الحصول عليها من مديرية المياه الجهوية بقسنطينة. تتمحور النتائج حول توزيع أنظمة الري المستخدمة وفقًا للأنشطة الزراعية المختلفة في المنطقة.

1.3. توزيع أنظمة الري حسب النشاط الزراعي

يُلخص الجدول رقم 02 البيانات المتعلقة بأنظمة الري المعتمدة للأراضي الفلاحية في منطقة تلاغمة، مقسمة حسب خمسة أنشطة رئيسية: التشجير، الزراعات الكبرى، البستنة، النشاط الصناعي، والحبوب.

الجدول رقم 02: توزيع أنظمة الري حسب النشاط في منطقة تلاغمة

نوع النشاط	الري بالتوزيع	الري بالرش	الري بالتقطير	المجموع

التشجير	3.15 (9.3%)	0.00 (0.0%)	30.65 (90.7%)	33.80
الزراعة	0.00 (0.0%)	561.72 (100.0%)	0.00 (0.0%)	561.72
البستنة	0.00 (0.0%)	2614.22 (94.3%)	158.85 (5.7%)	2773.07
صناعي	0.00 (0.0%)	6.00 (100.0%)	0.00 (0.0%)	6.00
الحبوب	0.00 (0.0%)	2308.97 (100.0%)	0.00 (0.0%)	2308.97
المجموع	3.15	5490.90	189.50	5683.56

المصدر: مديرية المياه الجهوية بقسنطينة، فرع دائرة تلاغمة (تم الحساب والتنسيق من قبل الباحث).

ملاحظة: الأرقام تمثل وحدات قياس لم يتم تحديدها بدقة في المصدر الأصلي (يُحتمل أنها هكتارات مجهزة أو وحدات تدفق). النسب المئوية محسوبة ضمن كل نشاط على حدة.

2.3. الملاحظات الرئيسية

يكشف تحليل البيانات الواردة في الجدول عن أنماط واضحة في اختيار تقنيات الري:

- هيمنة شبه كاملة للري الحديث

أكثر من 99% من إجمالي الوحدات المروية تعتمد على أنظمة الري الحديثة (الرش والتقطير)، بينما لا يمثل الري التقليدي بالتوزيع سوى 0.06% من الإجمالي (3.15 وحدة فقط).

- تخصص واضح حسب نوع النشاط

- التشجير: اعتماد شبه كلي على الري بالتقطير (90.7%)، مما يعكس توجهًا نحو الكفاءة المائية للمحاصيل المعمرة.
- الحبوب والزراعات الكبرى: اعتماد كلي (100%) على الري بالرش، وهو النمط السائد للمحاصيل الحقلية واسعة المساحة.
- البستنة: هيمنة واضحة للري بالرش (94.3%)، مع استخدام محدود للتقطير (5.7%)، مما قد يعكس تنوعًا في أنواع المحاصيل أو تفاوتًا في مستوى التحديث بين المزارع.
- النشاط الصناعي: حصة هامشية (6 وحدات) تعتمد كليًا على الري بالرش.

- محدودية تبني التقطير في البستنة

رغم أن البستنة تمثل أكبر نشاط من حيث الوحدات المروية (2773.07 وحدة، أي 48.8% من الإجمالي)، إلا أن استخدام الري بالتقطير يبقى محدودًا جدًا (5.7% فقط)، مما يشير إلى وجود عوائق أمام تبني هذه التقنية الأكثر كفاءة.

مؤشرات تكميلية على مستوى الإجمالي

أ. حصص أنماط الري من الإجمالي:

- الري بالرش: 96.61%
- الري بالتقطير: 3.33%
- الري السطحي (التوزيعي): 0.06%
- إجمالي الري الحديث (رش + تقطير): 99.94%

ويبلغ معدل تركز الري بالرش مقارنة بالتقطير حوالي 29:1، مما يعكس هيمنة شبه كاملة لتقنية الرش في المنطقة.

ب. الأوزان النسبية للأنشطة:

- البستنة: 48.79% من إجمالي الوحدات المروية
- الحبوب: 40.63%
- الزراعات الكبرى: 9.88%
- التشجير: 0.59%
- النشاط الصناعي: 0.11%

ملاحظة: يُقصد بـ"الزراعات الكبرى" المحاصيل الحقلية الصناعية (قطن، شمندر سكري، إلخ)، بينما تشير "الحبوب" إلى القمح والشعير والذرة تحديدًا. هذا التصنيف مستمد من سجلات المديرية

المبحث الرابع : المناقشة

يهدف هذا المبحث إلى تقديم تحليل للنتائج المستخلصة من دراسة حالة منطقة تلاغمة، وذلك عبر وضعها في سياقها الوطني الأوسع ومقارنتها بالأدبيات العلمية والتحديات العملية التي تواجه قطاع المياه والزراعة في الجزائر. سنقوم بتفكيك دلالات هيمنة الري الحديث، وتقييم كفاءته الفعلية، وتحليل المعوقات الهيكلية التي تحول دون تحقيق الإدارة المستدامة للمياه، لنخلص إلى استشراف الحلول الممكنة.

1.4. هيمنة الري الحديث: ضرورة إنتاجية أم وهم الكفاءة؟

تُظهر نتائج منطقة تلاغمة، للوهلة الأولى، صورة إيجابية للغاية، حيث إن الاعتماد شبه الكلي (99.94%) على تقنيات الري الحديثة (الرش والتقطير) يوحي بوجود وعي عالٍ بأهمية الاقتصاد في الماء وتبني واسع للتقنيات الموفرة. هذا التوجه يتماشى مع السياسات الوطنية التي تشجع على تحديث الري، مثل "المخطط الوطني للتنمية الزراعية" (PNDA)، الذي قدم إعانات كبيرة للمزارعين لتبني هذه التقنيات منذ بداية الألفية (Laoubi & Yamao, 2012).

ومع ذلك، فإن هذا الانتشار الواسع لا يعكس بالضرورة تحولًا نحو "الكفاءة المائية"، بل هو في جوهره استجابة لضرورة اقتصادية حتمية. البيانات الوطنية تكشف هذه الحقيقة بوضوح: 7% فقط من الأراضي الزراعية (المساحة المروية) تساهم بنسبة 70% من إجمالي الإنتاج الزراعي الوطني (Ghanemi, 2021). هذا الفارق الهائل في الإنتاجية بين الزراعة المروية والبعلية يجعل من الري ليس خيارًا، بل شرطًا أساسيًا لتحقيق أي مردودية اقتصادية، خاصة في ظل التحديات المناخية المتزايدة.

من الضرورة الإنتاجية إلى وهم الكفاءة

لكن هذا الانتشار يخفي وراءه "وهم الكفاءة". فكما تشير الدراسات الأكاديمية، لا يعني مجرد تبني تقنية حديثة بالضرورة تحقيق الكفاءة المرجوة في استخدام المياه (Oulmane et al., 2022). إن فعالية هذه الأنظمة تعتمد بشكل حاسم على جودة التركيب، وحسن التشغيل، والصيانة الدورية، وهي عوامل غالبًا ما تكون غائبة. وتؤكد البيانات الميدانية الوطنية هذا الواقع المقلق:

- الري بالرش: أكثر من 70% من مياه الري بالرش تُهدر ولا يستفاد منها فعليًا بسبب التبخر والانجراف
- الري بالتنقيط: 50% من المياه المستخدمة فيه تذهب هدرًا في الواقع العملي بسبب سوء الإدارة والتشغيل

إشكالية الأثر العكسي (Rebound Effect)

هذا الواقع يطرح إشكالية "الأثر العكسي" (Rebound Effect)، حيث قد يشجع الشعور بوجود كفاءة أكبر المزارعين على التوسع في المساحات أو زراعة محاصيل أكثر استهلاكًا للمياه، مما يؤدي في النهاية إلى زيادة الضغط على الموارد المائية بدلاً من تخفيفه. وفي سياق جزائري يعتمد فيه القطاع الزراعي على 86.7% من المياه الجوفية، فإن هذا الأثر العكسي يهدد باستنزاف متسارع للموارد غير المتجددة.

إن التحدي الحقيقي إذن ليس في تبني التقنيات الحديثة – فهذا قد تحقق بالفعل في تلاغمة – بل في ضمان الاستخدام الفعال لهذه التقنيات من خلال إطار حوكمي متكامل يربط بين الدعم المالي والأداء الفعلي، ويضمن توفر المعرفة والصيانة اللازمة لتحويل الاستثمار التقني إلى وفورات مائية حقيقية.

2.4. كفاءة الأنظمة في تلاغمة: بين العقلانية الفردية والاستدامة الجماعية

عند تحليل الخيارات التقنية في تلاغمة، نجد أن زراعة الحبوب تعتمد بنسبة 100% على الري بالرش. هذا الاختيار، رغم ضعف كفاءته المائية، يمكن تفسيره من خلال العقلانية الاقتصادية للمزارع الفردي. ففي الظروف المثلى، يمكن أن يصل إنتاج القمح المروي إلى 6–7 طن/هكتار، بينما لا يتجاوز متوسط إنتاج القمح البعلي في شرق الجزائر 1.9 طن/هكتار.

هذه القفزة الهائلة في الإنتاجية (أكثر من 3 أضعاف) تجعل من الري بالرش استثمارًا مربحًا للمزارع، حتى مع هدر كميات كبيرة من المياه. هنا يظهر بوضوح التناقض بين ما هو عقلاني على المستوى الفردي وما هو مستدام على المستوى الجماعي. إن المزارع يتخذ قرارًا يضمن له أقصى عائد ممكن في المدى القصير، بينما يتحمل النظام البيئي والمجتمع ككل تكلفة استنزاف الموارد المائية على المدى الطويل.

إنتاجية المياه كمعيار حاسم للمقارنة

لكن تقييم هذا الاختيار يتطلب تجاوز مجرد النظر إلى الإنتاجية الزراعية (طن/هكتار) إلى مفهوم أكثر شمولية وهو إنتاجية المياه (Water Productivity)، أي كمية الإنتاج لكل متر مكعب من الماء المستهلك (كغ/م^3). فعلى الرغم من أن الري بالرش يحقق إنتاجية عالية للأرض، إلا أن إنتاجيته المائية قد تكون أقل بكثير من أنظمة أكثر كفاءة كالتنقيط، خاصة عندما نأخذ بعين الاعتبار الفواقد الهائلة (70%).

وقد أظهرت التجارب الميدانية المقارنة في سياقات شبه قاحلة مماثلة للجزائر نتائج لافتة. ففي دراسة على نخيل التمر في منطقة النوبارية بمصر، أظهرت النتائج أن نظام التنقيط حقق كفاءة استخدام أعلى للمياه وأدى إلى تحسينات ملحوظة في جودة وكمية الإنتاج (Ghazzawy et al., 2022). وبالمثل، في تجربة حقلية على فول الصويا في منطقة قاحلة، خلصت الدراسة إلى أن نظام التنقيط أظهر كفاءة استخدام أعلى للمياه (WUE) حتى عند معدلات ري مماثلة (Alshamary et al., 2024).

هذه النتائج توضح أن الاختيار التقني الأمثل يجب أن يُقيّم بناءً على العائد لكل وحدة ماء وليس فقط العائد لكل وحدة أرض، وهو معيار غائب عن قرارات العديد من المزارعين في تلاغمة.

التحديات الخاصة بتبني التقطير في البستنة

يظل استخدام الري بالتقطير محدودًا في قطاع البستنة (5.7% فقط) في تلاغمة، على الرغم من أن هذا القطاع ذو قيمة مضافة عالية ويمكن أن يستفيد بشكل كبير من وفورات المياه والأسمدة. هذا يعكس وجود عوائق حقيقية أمام تبنيه، وهي نفس العوائق التي تم تحديدها في دراسات مشابهة في سهل متيجة، مثل:

- ارتفاع تكاليف الاستثمار الأولية
- نقص الخبرة الفنية لدى المزارعين
- صعوبة الوصول إلى القروض
- الخوف من انسداد الأنابيب بسبب نوعية المياه ((Belaidi et al., 2022

إن حقيقة أن 50% من مياه الري بالتنقيط تُهدر عمليًا تشير إلى أن مجرد توفير التكنولوجيا لا يكفي. فبدون بناء القدرات والمعرفة اللازمة لتشغيلها وصيانتها بشكل صحيح، تصبح هذه الاستثمارات المكلفة غير فعالة. وهذا ما أكدته الدراسات الميدانية في أحواض شبه قاحلة مشابهة، حيث خلصت إلى أن الأنظمة المضغوطة تعمل بكفاءة فقط تحت إدارة جيدة، وأن الانتظامية المنخفضة كانت مرتبطة مباشرة بعدم كفاية الخبرة والصيانة (Acar et al., 2010).

البُعد الصحي: المياه غير التقليدية واختيار نظام الري

في سياق الاستراتيجية الوطنية الجزائرية لاستخدام المياه غير التقليدية (المياه المعالجة)، والتي تستهدف 2 مليار متر مكعب سنويًا، يكتسب اختيار نظام الري بُعدًا إضافيًا يتعلق بالمخاطر الصحية والبيئية.

فقد أظهرت تجربة ميدانية مقارنة على زراعة الفصة (البرسيم) بالمياه المعالجة في الأردن اختلافات واضحة في التعرض لمسببات الأمراض حسب طريقة الري: سجلت طرق الري السطحي والري بالرش مستويات أعلى بكثير من بكتيريا *E. coli* على الأوراق، بينما أظهر الري بالتنقيط تحت السطحي (subsurface drip) أدنى مستويات تلوث (Mazahrih et al., 2024).

هذه النتيجة لها تداعيات مباشرة على تلاغمة والمناطق الجزائرية الأخرى. فالاعتماد الحالي شبه الكلي على الري بالرش (94.3% في البستنة، 100% في الحبوب) قد يشكل مخاطر صحية كبيرة إذا تم اعتماد المياه المعالجة دون تغيير في أنظمة الري، خاصة للمحاصيل التي تُستهلك طازجة. هذا يستدعي إعادة تقييم استراتيجية اختيار أنظمة الري بما يتوافق مع مصادر المياه المستقبلية المتوقعة، مما يضيف حجة إضافية قوية لصالح التحول نحو التنقيط تحت السطحي، خاصة في البستنة.

دروس التجارب الإقليمية

إن التجارب المقارنة الميدانية في دول الجوار ذات الظروف المناخية والزراعية المماثلة (مصر، تركيا، الأردن) توفر نماذج تطبيقية قابلة للتكرار في السياق الجزائري. فقد اعتمدت هذه الدراسات تصميمات تجريبية صارمة، حيث تكون طريقة الري أحد العوامل الرئيسية، مما يسمح بتقدير التأثيرات الرئيسية والتفاعلات بين العوامل.

إن تطبيق منهجيات مماثلة في تلاغمة، مع قياس متزامن للمؤشرات الزراعية (الغلة، الجودة، كفاءة استخدام المياه) والمؤشرات الهيدروليكية (معاملات الانتظامية، الفواقد)، من شأنه أن يوفر قاعدة معرفية محلية دقيقة لتوجيه المزارعين نحو الخيارات التقنية الأكثر ملاءمة. وهذا يتطلب شراكة فعالة بين مراكز البحث الزراعي، مديريات المياه، ومصالح الإرشاد الزراعي لتصميم وتنفيذ تجارب ميدانية تشاركية تُشرك المزارعين أنفسهم في عملية التقييم والتعلم.

3.4. معوقات الحوكمة المستدامة للمياه وتحدياتها الهيكلية

إن واقع الري في تلاغمة هو انعكاس مباشر للتحديات الأوسع التي تواجه حوكمة المياه في الجزائر، والتي تتجاوز مجرد الاختيار التقني لتلامس جوهر السياسات العامة والإطار المؤسسي.

ضعف الأدوات الاقتصادية كأداة للترشيد

لا يزال سعر مياه الري في الجزائر رمزيًا ومدعومًا بشكل كبير، حيث لا يغطي سوى جزء بسيط من التكلفة الحقيقية للتعبئة والتوزيع (Oulmane et al., 2022). هذا التسعير المنخفض، الذي يهدف إلى دعم الفلاحين، يفشل في إرسال إشارة اقتصادية واضحة حول ندرة المورد، وبالتالي لا يشجع على الترشيد.

ولفهم عمق هذه الإشكالية، يجب النظر إلى البُعد الاقتصادي لقرارات المزارعين من منظور تحليلي دقيق. فالأدبيات العلمية المقارنة تُظهر بوضوح أن الجاذبية الاقتصادية النسبية لأنظمة الري تتحدد بشكل حاسم بكيفية تسعير المياه أو تقنينها، وبأدوات السياسة العامة التي تدعم التكاليف الرأسمالية أو تكافئ توفير المياه (Darouich et al., 2014; Dhehibi et al., 2022).

وتشير دراسة متعددة المعايير على القطن صراحةً إلى أن الري بالتنقيط يُختار فقط عندما تُعطى أولوية عالية لتوفير المياه، مما يسلط الضوء على حقيقة أن النظام الاقتصادي إذا لم يكافئ كفاءة المياه، فإن العائد على الاستثمار الخاص (Private ROI) للتنقيط قد يكون أقل من البدائل الأرخص رغم الفوائد البيئية العامة (Darouich et al., 2014). وهذا يفسر بدقة لماذا يستمر المزارعون في تلاغمة في استخدام الري بالرش للحبوب (100% من المساحة) رغم فواقده الهائلة: فالقرار عقلاني تمامًا من منظور المزارع الفردي في غياب تسعير حقيقي للمياه.

التكلفة الرأسمالية: الحاجز الاقتصادي الحاسم

إن التكلفة الأولية المرتفعة لأنظمة التنقيط (الأنابيب، البواعث، المرشحات، المضخات، المنظمات، معدات التسميد) تمثل العائق الأساسي أمام الجاذبية الاقتصادية قصيرة المدى مقارنة بأنظمة الرش أو الري السطحي، حتى عندما يقلل التنقيط من تكاليف العمالة والمياه بمرور الوقت (Möller & Weatherhead, 2007).

وقد أكدت دراسات السياق الإقليمي أنه في حين يزيد التنقيط من كفاءة استخدام المياه والإنتاجية، فإن التكلفة الرأسمالية المرتبطة بالتركيب تحد من التبني على المدى القصير (Dhehibi et al., 2022). في المقابل، أظهرت تصاميم التنقيط منخفضة التكلفة أن التكاليف الرأسمالية الأولية يمكن تخفيضها بشكل كبير لصغار المزارعين، مما يحسن الاقتصاديات قصيرة المدى. فتصميم التنقيط منخفض التكلفة قلّص تكلفة الري للهكتار إلى النصف وزاد صافي الإيرادات بنسبة 27–54% مقارنة بالري بالأخاديد (Aziz et al., 2021).

إن هذه النتائج لها تداعيات مباشرة على السياق الجزائري: ففي غياب الدعم أو آليات التمويل الميسر، تظل التكلفة الرأسمالية حاجزًا لا يمكن تجاوزه أمام معظم صغار ومتوسطي المزارعين، حتى عندما يكون العائد على الاستثمار طويل المدى إيجابيًا.

المقارنة بين العوائد قصيرة المدى والاستدامة طويلة المدى

تسلط أعمال متعددة الضوء على أن حسابات العائد على الاستثمار الخاصة قد تقلل من قيمة فوائد استدامة الحوض طويلة المدى (تقليل انخفاض المياه الجوفية، انخفاض مخاطر الملوحة، تحسين التدفقات المصب) التي تتراكم من الري الكفء، مما يخلق تباعدًا محتملاً بين حوافز المزارع الخاصة والأهداف المجتمعية (Ragab et al., 2015; Moataz, 2021).

فالنمذجة المتكاملة بنموذج SALTMED تُظهر كيف يمكن للتنقيط تحت السطحي والري بالعجز أن يقللا من مخاطر الملوحة واستخراج المياه، مما يوفر فوائد بيئية قد لا تُلتقط في حسابات أرباح المزارعين ولكن لها قيمة اجتماعية عالية (Ragab et al., 2015).

وهنا تكمن المعضلة الاستراتيجية للجزائر: في الوضع الحالي حيث المياه شبه مجانية والدعم الرأسمالي محدود، يختار المزارعون بعقلانية أنظمة الرش لأنها تعظم ربحهم الخاص قصير المدى، بينما يتحمل الحوض المائي والمجتمع ككل تكلفة الاستنزاف طويل المدى. إن ترجمة هذه الفوائد الاجتماعية إلى حوافز خاصة (تسعير المياه، مدفوعات مقابل

خدمات النظام البيئي، أو الإعانات) يمكن أن يوائم العائد على الاستثمار الخاص مع أهداف الاستدامة العامة (Dhehibi et al., 2022).

الفجوة بين السياسات الطموحة والتطبيق الميداني

تضع الجزائر أهدافًا طموحة، مثل توسيع المساحة المروية إلى 3 ملايين هكتار بحلول 2030 واستخدام 2 مليار متر مكعب من المياه المعالجة سنويًا للري. لكن تحقيق هذه الأهداف يصطدم بضعف آليات المراقبة والتنفيذ على المستوى المحلي. غياب "شرطة مياه" فعالة، وضعف خدمات الإرشاد الزراعي، والتعقيدات البيروقراطية في الحصول على الدعم، كلها عوامل تخلق فجوة عميقة بين ما يتم التخطيط له مركزيًا وما يمكن تحقيقه فعليًا على الأرض (Kherbache, 2020).

وتؤكد الأدبيات المقارنة أن تحقيق العائد على الاستثمار المبلّغ عنه في التجارب لأنظمة التنقيط يتطلب دعمًا مؤسسيًا في شكل إرشاد فني، وخدمات صيانة، وسلاسل إمداد موثوقة لقطع الغيار، وتدريب المزارعين (Maisiri et al., 2005). فقد أُكّد أن الإرشاد والإدارة المتسقة ضروريان لتحويل توفيرات المياه إلى أرباح زراعية لصغار المزارعين (Woltering et al., 2011).

الاعتماد المفرط والخطير على المياه الجوفية

تشير البيانات الوطنية إلى أن 86.7% من المياه المستخدمة في الزراعة تأتي من مصادر جوفية، وأن الزراعة تستهلك 68.4% من إجمالي المياه الجوفية المستخرجة. هذا الاستنزاف الهائل للموارد الجوفية، التي غالبًا ما تكون غير متجددة أو بطيئة التجدد، يشكل تهديدًا مباشرًا لاستدامة الزراعة على المدى الطويل. إنه نموذج تنموي غير مستدام يعتمد على استهلاك "رأس المال المائي" للأجيال القادمة.

وفي هذا السياق، يجب أن يمتد تحليل التكلفة–الفائدة المتوسطي إلى تحليل التكلفة–الفائدة الاجتماعي حيث تُكمّم خارجيات توفير المياه وتُدرج في التقييم لتوجيه التدخلات السياسية الفعالة (Ragab et al., 2015). إن إدراج هذه الخارجيات غالبًا ما يعزز الحجة الاجتماعية لدعم أو تحفيز تبني التنقيط حتى عندما قد يكون العائد على الاستثمار الخاص وحده هامشيًا.

إن معوقات حوكمة المياه في الجزائر ليست تقنية بالدرجة الأولى، بل هي اقتصادية ومؤسسية بامتياز. فطالما بقي سعر المياه رمزيًا، والتكاليف الرأسمالية مرتفعة بدون دعم كافٍ، والإرشاد ضعيفًا، سيستمر المزارعون في اتخاذ قرارات عقلانية فردياً ولكنها غير مستدامة جماعياً. إن تجاوز هذه المعضلة يتطلب إعادة تصميم جذرية للأدوات الاقتصادية والمؤسسية: تسعير تدريجي للمياه يعكس ندرتها، دعم مستهدف للتنقيط منخفض التكلفة، تمويل ميسر، وبناء قدرات مكثف للمزارعين والإرشاد الزراعي.

4.4. نحو حلول متكاملة ومستدامة: ما بعد التكنولوجيا

إن تجاوز هذه التحديات يتطلب تبني مقاربة متكاملة تتجاوز الحلول التقنية البحتة. بناءً على نتائجنا وما ورد في الأدبيات، يمكن اقتراح المحاور التالية:

1.4.4. تفعيل حوكمة المياه على كافة المستويات

الأدوات الاقتصادية:

لا بد من مراجعة تدريجية لتسعيرة مياه الري لجعلها تعكس ندرة المورد، مع توجيه الدعم بشكل مباشر لتبني التقنيات الموفرة وليس لاستهلاك المياه. وتقترح الأدبيات العلمية عدة تدخلات سياسية مُثبتة:

- الإعانات الرأسمالية المستهدفة لمكونات التنقيط
- الائتمان منخفض الفائدة للتركيب
- الاستثمار المشترك في أنظمة التنقيط المجتمعية
- مخططات الدفع مقابل المياه الموفّرة
- الاستثمار في شبكات الإرشاد والصيانة ((Aziz et al., 2021; Dhehibi et al., 2022

فقد أشارت دراسات التنقيط منخفضة التكلفة إلى أن دعم التصنيع المحلي أو التصاميم المبسطة هو رافعة سياسية فعالة يمكن أن تخفض تكاليف الري للهكتار إلى النصف (Aziz et al., 2021).

الأدوات التنظيمية:

يجب تعزيز الأدوات التنظيمية من خلال تفعيل "شرطة المياه" ومراقبة صارمة للاستهلاك، ليس فقط للمياه السطحية ولكن أيضًا، وبشكل حاسم، للمياه الجوفية.

حساسية العائد على الاستثمار لتسعير المياه:

يجب أن يتضمن تحليل التكلفة–الفائدة تحليل السيناريوهات الذي يعكس أنظمة التسعير الحالية والمستقبلية المحتملة للمياه، لأن هذه العوامل تغير بشكل جوهري نتائج العائد على الاستثمار الخاص والاجتماعي (Darouich et al., 2014). فالأبحاث تؤكد أن الحساسية الأساسية التي يجب نمذجتها تشمل: سعر المياه وتوفرها، التكلفة الرأسمالية للهكتار، الارتفاع المتوقع في الغلة، تقلبات أسعار المحاصيل، وموثوقية الصيانة.

2.4.4. الاستثمار المكثف في رأس المال البشري

يجب أن يواكب الدعم المالي للاستثمار في التقنيات الحديثة دعم فني ومعرفي قوي. يتطلب ذلك إعادة تأهيل وتفعيل دور الإرشاد الزراعي لتدريب المزارعين على التشغيل الأمثل والصيانة الدورية لأنظمة الري الحديثة.

إن تقييمات العائد على الاستثمار لتبني التنقيط يجب أن تدمج تكاليف وفوائد الإرشاد ودعم الصيانة في نماذجها المالية لتجنب التحيزات المتفائلة (Maisiri et al., 2005). فالأدلة من دراسات الأتمتة تشير إلى أن العوائد الأعلى الملاحظة في التجارب تتطلب انضباطًا تشغيليًا جيدًا ومساعدة فنية للحفاظ على معايرة المستشعرات وجداول التسميد (Kumar et al., 2021).

3.4.4. توصيات تقنية مُخصّصة حسب نوع المحصول

إن الأدبيات العلمية توفر قواعد قرار عملية مختلفة لمنتجي الخضروات ومنتجي الحبوب، وهو تمييز حاسم يجب أن توضحه السياسة الوطنية الجزائرية بوضوح.

أ. التوصيات لمنتجي الخضروات:

بناءً على الأدلة التجريبية، يجب على منتجي الخضروات إعطاء الأولوية للري بالتنقيط عندما: (أ) تكون المحاصيل عالية القيمة، (ب) تكون المياه نادرة أو مُسعّرة، (ج) يكون رأس المال أو التمويل متاحًا، و(د) تكون خدمات الإرشاد والصيانة متاحة (Akram et al., 2020; Aziz et al., 2021).

فالدراسات التجريبية تتقارب للإشارة إلى أن معامل المنفعة–التكلفة (BCR) للتنقيط في الخضروات عادة ما يتجاوز 2.0، مما يشير إلى عائد قوي على الاستثمار.

التوصيات العملية:

- اعتماد ممارسات إدارة متكاملة (التسميد بالتنقيط، مكافحة الأعشاب الموجهة، التغطية) لتحقيق الفوائد الكاملة
- عندما يكون رأس المال محدودًا، فإن خيارات التنقيط منخفضة التكلفة أو الأنظمة المجتمعية مُفضّلة (Woltering et al., 2011)
- تقييم خيارات المستشعرات والأتمتة بعناية، فهي يمكن أن تزيد BCR بشكل كبير لكنها تتطلب دعمًا فنيًا موثوقًا (Kumar et al., 2021)

ب. التوصيات لمنتجي الحبوب/المحاصيل الحقلية:

يجب على منتجي الحبوب عدم افتراض أن التنقيط متفوق تلقائيًا؛ بدلاً من ذلك، يجب عليهم استخدام نمذجة دوال إنتاج المياه أو محاكاة SALTMED لتقدير فوائد الغلة/توفير المياه ثم حساب BCR وصافي القيمة الحالية وفترة الاسترداد قبل اتخاذ قرارات الاستثمار (KUMAR et al., 2014; Ragab et al., 2015).

التوصيات العملية:

- حيث تكون التغييرات النظامية ممكنة (استبدال المحاصيل، الزراعة الحافظة المقترنة بالتنقيط تحت السطحي)، يمكن أن تصبح الاقتصاديات إيجابية بقوة (Jat et al., 2019)
- إذا كانت التغييرات النظامية غير ممكنة ورأس المال محدود، فإعطاء الأولوية لتحسين أنظمة الري السطحي أو الرش والتركيز على تدابير الكفاءة منخفضة التكلفة

فالعائد على الاستثمار للحبوب حساس للسياق ويتطلب نمذجة صارمة وتحليل السيناريوهات.

4.4.4. أدوات النمذجة وتحليل القرار

تُوصي عدة دراسات باستخدام دوال إنتاج المياه–المحصول والنماذج المتكاملة (مثل SALTMED) لتقدير استجابات الغلة لأنظمة الري المختلفة ولتحويل توفيرات المياه إلى مصطلحات اقتصادية، مما يوفر أساسًا صارمًا لحسابات العائد على الاستثمار (KUMAR et al., 2014; Ragab et al., 2015).

أ. نموذج SALTMED كأداة إدارة متكاملة:

يقدم نموذج SALTMED أداة متكاملة لمحاكاة غلة المحصول، ورطوبة التربة، وديناميكيات النيتروجين تحت استراتيجيات ري مختلفة، مما يمكّن المزارعين والمخططين من تقييم توفيرات المياه اقتصاديًا في إطار تحليل التكلفة–الفائدة (Ragab et al., 2015). فالنمذجة المتكاملة تسمح بتقييم ديناميكيات رطوبة التربة والملح، وتُظهر كيف يمكن للتنقيط تحت السطحي والري بالعجز أن يقللا من المخاطر البيئية مع توفير المياه.

ب. دوال إنتاج المياه للتحسين الاقتصادي:

يُنتج نهج دالة إنتاج المياه علاقة مُعلّمة صراحة بين الري المطبق والغلة، ويحدد كمية الري التي تعظم صافي العوائد في ظل أسعار المياه والمحاصيل المعطاة (KUMAR et al., 2014).

ج. تحليل العتبة والاسترداد:

تحتوي الأدبيات على أمثلة تجريبية لحساب عتبات التعادل التي تساعد المزارعين على تقرير ما إذا كان رأس المال الإضافي للتنقيط مبررًا بالتوفيرات المتوقعة (Möller & Weatherhead, 2007). فقد استخدم تحليل الشاي سعر السوق وعتبات الغلة الإضافية لحساب أن التنقيط يجب أن يولد على الأقل إنتاجًا إضافيًا محددًا لتحسين الهامش الإجمالي على الرش.

د. مقاييس القرار للاستخدام على مستوى المزرعة:

تقترح الأدبيات معايير عملية لقرارات التبني:

- أكبر بكثير من BCR = 1 (العديد من تجارب الخضروات تُبلغ عن BCR = 2–3)
- فوائد صافية سنوية إيجابية تتجاوز التكاليف الرأسمالية والصيانة السنوية
- فترات استرداد متوافقة مع آفاق تخطيط المزارعين

لكن العتبات الرقمية الدقيقة يجب أن تُشتق من النتائج التجريبية المحلية لأن العتبات العامة تعتمد بشدة على سعر المحصول والتكاليف الرأسمالية (Akram et al., 2020).

5.4.4 تسريع التحول نحو المياه غير التقليدية

يجب تسريع تنفيذ الاستراتيجية الوطنية لاستخدام المياه غير التقليدية، خاصة المياه المعالجة، لتخفيف الضغط الهائل على الموارد المائية الجوفية. إن هدف استخدام 2 مليار متر مكعب سنويًا يجب أن يتحول من مجرد رقم في الخطط إلى واقع ملموس من خلال استثمارات موجهة وبنية تحتية ملائمة.

ومع ذلك، كما أظهرت الأبحاث المقارنة (Mazahrih et al., 2024)، فإن اختيار نظام الري يصبح حاسمًا من منظور الصحة العامة عند استخدام المياه غير التقليدية. لذا يجب أن تقترن استراتيجية المياه المعالجة باستراتيجية التحول نحو التنقيط تحت السطحي للمحاصيل التي تُستهلك طازجة، وليس فقط من منظور توفير المياه ولكن كإجراء صحي وقائي.

6.4.4. خارطة طريق التنفيذ للمناطق المتوسطية

بناءً على التحليل المتكامل، يُوصى بمسار تنفيذ مرحلي للسياق الجزائري والمتوسطي:

المرحلة 1 – العروض التوضيحية التجريبية وجمع البيانات (سنة 1-2):

تشغيل عروض توضيحية لأنظمة التنقيط القياسية ومنخفضة التكلفة عبر مزارع خضروات وحبوب ممثلة مع جمع بيانات الغلة واستخدام المياه والتكلفة (Ragab et al., 2015; Aziz et al., 2021).

المرحلة 2 – النمذجة والتقييم الاقتصادي (سنة 2-3)

تطبيق نماذج SALTMED أو دوال إنتاج المياه المعايرة على بيانات التجارب لحساب العائد على الاستثمار المتوقع عبر السيناريوهات (Ragab et al., 2015; KUMAR et al., 2014).

المرحلة 3 – تصميم حزم التمويل والدعم (سنة 2-3):

تصميم حزم تمويل وإعانات لتقليل رأس المال المقدم للأنظمة ذات القيمة العالية لتوفير المياه الاجتماعية (Aziz et al., 2021; Dhehibi et al., 2022).

المرحلة 4 – الاستثمار في الإرشاد والصيانة (مستمر):

الاستثمار في شبكات الإرشاد والصيانة لضمان الأداء والعمر الطويل (Maisiri et al., 2005).

المرحلة 5 – التوسع الانتقائي (سنة 4+):

التوسع بشكل انتقائي بناءً على العوائد الخاصة والاجتماعية الإيجابية المثبتة.

إن اتباع خارطة طريق مرحلية وقائمة على الأدلة من هذا القبيل سيضمن أن تبني التنقيط المتوسطي يحقق كلاً من الربحية الخاصة للمزارعين وفوائد حفظ المياه الأوسع على مستوى الحوض.

تُظهر دراسة حالة تلاغمة أن تحديث الري في الجزائر قد قطع أشواطًا على مستوى تبني التقنيات، لكن التحدي الأكبر اليوم يكمن في ضمان "كفاءة" هذا التحديث واستدامته. وهذا لن يتحقق إلا من خلال انتقال حقيقي في نموذج الحوكمة، من التركيز على البنى التحتية إلى التركيز على المستخدمين، ومن دعم الاستهلاك إلى دعم الكفاءة. وبتجميع الأدلة التجريبية والنمذجية، فإن الاستنتاجات المتسقة للظروف المتوسطية الشحيحة بالمياه هي:

- الري بالتنقيط يوفر المياه بشكل موثوق ويزيد من إنتاجية مياه الري، آلية غالبًا ما تترجم إلى عوائد صافية أعلى و BCR مواتٍ في الخضروات؛
- بالنسبة للحبوب والمحاصيل الحقلية منخفضة القيمة، النتيجة الاقتصادية مشروطة وتتطلب نمذجة استجابات الماء–الغلة؛
- التكلفة الرأسمالية هي العائق الأهم، والتصاميم/التمويل منخفضة التكلفة والدعم السياسي تغير العائد على الاستثمار الخاص بشكل جوهري؛
- الإدارة المتكاملة بالإضافة إلى الأتمتة تحسن بشكل كبير آفاق العائد على الاستثمار للتنقيط.

الاستنتاج

في نهاية هذا البحث، الذي سعى إلى استكشاف مساهمة الموارد المائية في تحقيق الإنتاج الزراعي من خلال دراسة حالة نظام الري الفلاحي بمنطقة تلاغمة، يمكننا استخلاص مجموعة من النتائج والتوصيات الأساسية. لقد أظهر

التحليل أن الجزائر، ورغم الجهود المبذولة في تعبئة الموارد المائية، لا تزال تواجه تحديًا مزدوجًا يتمثل في ندرة المياه وضعف كفاءة استخدامها، مما يضع ضغوطًا كبيرة على طموحاتها في تحقيق الأمن الغذائي المستدام.

النتائج الرئيسية

وقد كشفت دراسة الحالة في تلاغمة عن واقع مركب؛ فمن ناحية، هناك تبنٍ واسع النطاق (99.94%) لتقنيات الري الحديثة كالرش والتقطير، وهو ما يعكس استجابة إيجابية للسياسات الوطنية الهادفة إلى تحديث الزراعة. ولكن من ناحية أخرى، أظهرت المناقشة أن هذا التبني التقني لا يضمن بالضرورة تحقيق الكفاءة المرجوة. فالبيانات الوطنية تشير إلى فواقد مائية عملية تصل إلى 70% في الري بالرش و50% في الري بالتنقيط، مما يحول هذه الاستثمارات إلى أدوات لهدر المياه في غياب الحوكمة الفعالة.

بناءً على ذلك، يمكن تلخيص النتائج الرئيسية في النقاط التالية:

- الري هو محرك الإنتاجية الزراعية: أكدت الدراسة أن 7% من الأراضي المروية تضمن 70% من الإنتاج الزراعي، مما يجعل الإدارة الفعالة للمياه حجر الزاوية لتحقيق أي اكتفاء ذاتي غذائي.
- تحديث الري ضروري ولكنه غير كافٍ: إن التحول نحو أنظمة الري الحديثة، كما هو ملاحظ في تلاغمة، خطوة لا غنى عنها، لكن فعاليتها تظل محدودة دون وجود إطار حوكمي متكامل يضمن استخدامها الأمثل والمستدام.
- عقلانية المزارع مقابل استدامة المورد: أظهرت النتائج أن اختيارات المزارعين تتبع منطقًا اقتصاديًا فرديًا يهدف لتعظيم الإنتاجية، حتى لو كان ذلك على حساب استدامة المورد المائي الجماعي.
- الاعتماد الخطير على المياه الجوفية: إن استخراج 86.7% من مياه الري من مصادر جوفية يشكل تهديدًا مباشرًا لاستدامة الزراعة على المدى الطويل.

التوصيات

انطلاقًا من هذه النتائج، يخلص البحث إلى تقديم التوصيات التالية لصناع القرار ومديري الموارد المائية:

أولاً: الانتقال من دعم التجهيز إلى دعم الكفاءة

يجب إعادة توجيه سياسات الدعم لتشجيع الاستخدام الفعال للمياه وليس فقط اقتناء التجهيزات. يمكن تحقيق ذلك من خلال ربط الإعانات بمؤشرات أداء واضحة، مثل إنتاجية المتر المكعب من الماء، وتوفير الدعم التقني لضمان التشغيل الصحيح.

ثانيًا: تفعيل الأدوات الاقتصادية والتنظيمية

من الضروري مراجعة تسعيرة مياه الري بشكل تدريجي لتعكس قيمتها الحقيقية، مع تعزيز آليات المراقبة وتفعيل "شرطة المياه" للحد من الهدر، خاصة في ظل الاعتماد المقلق على المياه الجوفية.

ثالثًا: الاستثمار في رأس المال البشري

يجب إطلاق برامج تكوين وإرشاد زراعي مكثفة لمواكبة المزارعين في عملية التحول التقني، وتزويدهم بالمعارف اللازمة لإدارة وصيانة أنظمة الري الحديثة بكفاءة، وتقليص الفجوة بين الكفاءة النظرية والواقع الميداني.

رابعًا: تبني توصيات مُخصّصة حسب المحصول

- للخضروات: التحول التدريجي نحو التنقيط مع دعم مالي وفني مكثف
- للحبوب: تحسين كفاءة أنظمة الرش الحالية مع دراسة جدوى التنقيط على أساس كل حالة على حدة

خامسًا: تسريع استخدام المياه غير التقليدية

تفعيل استراتيجية استخدام المياه المعالجة (هدف 2 مليار م^3/سنة) مع اعتماد التنقيط تحت السطحي للمحاصيل المستهلكة طازجة لتجنب المخاطر الصحية.

يؤكد هذا البحث أن مستقبل الأمن الغذائي في الجزائر لا يكمن فقط في بناء المزيد من السدود أو تحقيق هدف 3 ملايين هكتار مروية، بل يكمن بالدرجة الأولى في تحقيق أقصى استفادة من كل قطرة ماء متاحة. إن تحقيق هذه "الثورة في الكفاءة" يتطلب إرادة سياسية قوية ورؤية استراتيجية تضع حوكمة المياه في صميم التنمية الزراعية.

إن حالة تلاغمة تمثل نموذجًا مصغرًا للتحديات والفرص التي تواجه الجزائر في رحلتها نحو الأمن المائي والغذائي. فالتقنيات موجودة، والموارد البشرية متوفرة، لكن ما ينقص هو الإطار المؤسسي والاقتصادي الذي يحول الاستثمارات التقنية إلى وفورات مائية حقيقية وإنتاجية زراعية مستدامة.

قائمة المراجع

Acar, B., Topak, R., & Direk, M. (2010). Impacts of pressurized irrigation technologies on efficient water resources uses in semi-arid climate of Konya basin of Turkey. *International Journal of Sustainable Water and Environmental Systems*, *1*(1), 1–4. https://doi.org/10.5383/swes.0101.001

Ahmed, M., Awaad, M., El-Ansary, M., & El-Haddad, Z. (2010). Performance of rotating spray plate sprinklers. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, *27*(2), 565–585. https://doi.org/10.21608/mjae.2010.105847

Akram, M., Asif, M., Rasheed, S., & Rafique, M. (2020). Effect of drip and furrow irrigation on yield, water productivity and economics of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under semiarid conditions. *Science Letters*, *8*(2). https://doi.org/10.47262/sl/8.2.132020004

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Alshamary, W., Sharif, Y., Noori, N., & Kahlel, A. (2024). Effect of moisture depletion rate and irrigation water depth on the productivity and water use efficiency of soybean crop (*Glycine max* L.) Merr. under drip irrigation and fixed sprinkler irrigation systems. *Agricultural Science Digest - A Research Journal*. https://doi.org/10.18805/ag.df-651

Awwad, A., & Mohammed, A. (2017). Effect of windbreaks and some design factors on performance of sprinkler irrigation system. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, *8*(7), 331–339. https://doi.org/10.21608/jssae.2017.37528

Aziz, M., Rizvi, S., Iqbal, M., Syed, S., Ashraf, M., Anwer, S., Naeem, M., Ali, H., Akhtar, N., & Akhtar, J. (2021). A sustainable irrigation system for small landholdings of rainfed Punjab, Pakistan. *Sustainability*, *13*(20), 11178. https://doi.org/10.3390/su132011178

Belaidi, S., Chehat, F., & Benmehaia, M. A. (2022). The adoption of water-saving irrigation technologies in the Mitidja plain, Algeria: An econometric analysis. *New Medit*, *21*(1), 53–73.

Bellido, B., Montero, J., & Pérez-Urrestarazu, L. (2018). Development of an automatic test bench to assess sprinkler irrigation uniformity in different wind conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, *151*, 31–40. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.036

Chen, R., Hong, L., Wang, J., Guo, X., & Song, Z. (2022). Comparisons of spray characteristics between non-circular and

circular nozzles with rotating sprinklers. *Applied Engineering in Agriculture*, *38*(1), 61–75. https://doi.org/10.13031/aea.14688

Chen, R., Li, H., Wang, J., & Chen, C. (2021). Effects of plate structure and nozzle diameter on hydraulic performance of fixed spray plate sprinklers at low working pressures. *Transactions of the ASABE*, *64*(1), 231–242. https://doi.org/10.13031/trans.13958

Darouich, H., Pedras, C., Gonçalves, J., & Pereira, L. (2014). Drip vs. surface irrigation: A comparison focussing on water saving and economic returns using multicriteria analysis applied to cotton. *Biosystems Engineering*, *122*, 74–90. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.03.010

Dhehibi, B., Salah, M., Frija, A., Aw-Hassan, A., Wahaibi, H., Raisi, Y., Abulibdeh, A., & Niane, A. (2022). Economic and environmental evaluation of different irrigation systems for date palm production in the GCC countries: The case of Oman and Saudi Arabia. *Desalination and Water Treatment*, *263*, 116–124. https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28215

Fanack Water. (2024). *Water resources in Algeria*. https://water.fanack.com/algeria/water-resources/

Ghanemi, M. (2021). [Référence complète non disponible dans les sources fournies - citée pour la contribution de 7% des terres irriguées à 70% de la production].

Ghazzawy, H., Sobaih, A., & Mansour, H. (2022). The role of micro-irrigation systems in date palm production and quality: Implications for sustainable investment. *Agriculture*, *12*(12), 2018. https://doi.org/10.3390/agriculture12122018

Jat, H., Sharma, P., Datta, A., Choudhary, M., Kakraliya, S., Sidhu, H., Yadav, A., & Jat, M. (2019). Re-designing irrigated intensive cereal systems through bundling precision agronomic

innovations for transitioning towards agricultural sustainability in north-west India. *Scientific Reports*, *9*(1), 17929. https://doi.org/10.1038/s41598-019-54086-1

Kherbache, N. (2020). Water policy in Algeria: Limits of supply model and perspectives of water demand management (WDM). *Desalination and Water Treatment*, *180*, 141–155.

Kravchuk, A., & Rusinov, D. (2023). Theoretical substantiation of the design parameters of the rotating reflective cone of the sprinkler nozzle, providing increased wind resistance of rain. *The Agrarian Scientific Journal*, (5), 146–150. https://doi.org/10.28983/asj.y2023i5pp146-150

Kumar, B., Rao, V., Ramulu, V., Devi, M., & Kumar, K. (2014). Water production function and optimal irrigation programme for drip irrigated castor (*Ricinus communis* L.). *Journal of Oilseeds Research*, *31*(2). https://doi.org/10.56739/jor.v31i2.142485

Kumar, J., Patel, N., Singh, R., Sahoo, P., Sudhishri, S., Sehgal, V., Singh, K., & Singh, A. (2021). Development and evaluation of automation system for irrigation scheduling in broccoli (*Brassica oleracea*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, *91*(5), 796–798. https://doi.org/10.56093/ijas.v91i5.113108

Laoubi, K., & Yamao, M. (2012). The challenge of agriculture in Algeria: Are policies effective? *Journal of Agricultural Science and Technology B*, *2*(1), 65–74.

Maisiri, N., Senzanje, A., Rockström, J., & Twomlow, S. (2005). On farm evaluation of the effect of low cost drip irrigation on water and crop productivity compared to conventional surface irrigation system. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, *30*(11-16), 783–791. https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.08.021

Mazahrih, N., Albalawneh, A., Hani, N., Khadra, R., Dalo, A., Al-Omari, Y., Al-Zu'bi, Y., & Haddad, N. (2024). Impact of reclaimed wastewater on alfalfa production under different irrigation methods. *Water Practice & Technology*, *19*(6), 2226–2236. https://doi.org/10.2166/wpt.2024.126

Messahel, M., Benhafid, M. S., & Ouled Hocine, C. (2005). Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie. In *Irrigation systems performance* (pp. 61–78). CIHEAM.

Moataz, E. (2021). Integration of subsurface irrigation and organic mulching with deficit irrigation to increase water use efficiency of drip irrigation. *INMATEH - Agricultural Engineering*, *64*(2), 215–226. https://doi.org/10.35633/inmateh-64-21

Möller, M., & Weatherhead, E. (2007). Evaluating drip irrigation in commercial tea production in Tanzania. *Irrigation and Drainage Systems*, *21*(1), 17–34. https://doi.org/10.1007/s10795-006-9016-9

Osman, M., Hassan, S., & Yusof, K. (2014). Effect of combination factors of operating pressure, nozzle diameter and riser height on sprinkler irrigation uniformity. *Applied Mechanics and Materials*, *695*, 380–383. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.695.380

Oulmane, A., Kechar, A., Benmihoub, A., & Benmehaia, M. A. (2022). Assessment of surface water management institutions: A case of public irrigation schemes in northern Algeria. *Water Policy*, *24*(2), 229–242.

R. M., P., & Chandrasekaran, D. (1996). Influence of climatic factors over the drift loss in sprinkler irrigation. *Madras Agricultural Journal*, *83*(August), 496–498. https://doi.org/10.29321/maj.10.a01040

Radio Algérienne. (2020). *L'Algérie vise 2,1 millions d'hectares de superficie irriguée en 2025*. https://www.radioalgerie.dz/

Ragab, R., Battilani, A., Matović, G., Stikić, R., Psarras, G., & Chartzoulakis, K. (2015). SALTMED model as an integrated management tool for water, crop, soil and N-fertilizer water management strategies and productivity: Field and simulation study. *Irrigation and Drainage*, *64*(1), 13–28. https://doi.org/10.1002/ird.1898

Slabunov, V., Slabunova, A., & Kupriyanov, A. (2020). Determination of qualitative indicators of the work of the wide sprinkling machine. *Melioration and Water Management*, *0*(5), 25–28. https://doi.org/10.32962/0235-2524-2020-5-25-28

Solovyov, D., Ryzhko, N., Ryzhko, S., & Smirnov, E. (2022). Improving the patency of multi-support sprinkler machines. *Scientific Life*, *17*(6), 864–872. https://doi.org/10.35679/1991-9476-2022-17-6-864-872

Woltering, L., Ibrahim, A., Pasternak, D., & Ndjeunga, J. (2011). The economics of low pressure drip irrigation and hand watering for vegetable production in the Sahel. *Agricultural Water Management*, *99*(1), 67–73. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.07.017