المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

(4)

التأثيرات المناخية على الإنتاجية الزراعية في المملكة العربية السعودية

دراسة قياسية تطبيقية مع تركيز خاص على منطقة بيشة

Climate Change Impacts on Agricultural Productivity in Saudi Arabia: An Econometric Study with Special Focus on Bisha Region

د. إنصاف علي عمر بابكر
كلية العلوم، قسم العلوم البيئية، جامعة بيشة، المملكة العربية السعودية.
E-mail: aaomar@ub.edu.sa

1448هـ ـ 2026م

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

المستخلص

تُقدم هذه الدراسة تحليلاً قياسياً شاملاً لتأثيرات التغير المناخي على الإنتاجية الزراعية في المملكة العربية السعودية خلال الفترة الممتدة من عام 1960 إلى عام 2023، مع تطبيق تفصيلي على منطقة بيشة. اعتمدت الدراسة على بيانات مناخية من المركز الوطني للأرصاد الجوية (NCM) والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO)، فضلاً عن بيانات زراعية من منظمة الأغذية والزراعة (FAO) والهيئة العامة للإحصاء السعودية. كشفت النتائج أن متوسط درجة الحرارة ارتفع بمعدل 0.60 درجة مئوية لكل عقد، وهو ما يتجاوز المتوسط العالمي البالغ 0.18 درجة مئوية/عقد بأكثر من ثلاثة أضعاف، ويتوافق مع نتائج دراسات Almazroui et al. (2017, 2020). تُقدَّر مرونة الحرارة للإنتاجية بنحو 3.0%− لكل درجة مئوية، مما يعني أن الاحترار التاريخي البالغ 3.77 درجة مئوية خلال فترة الدراسة قد أفضى إلى تراجع تراكمي في الإنتاجية يبلغ نحو 11%. واستناداً إلى نماذج ARIMA(1,1,1)، تُشير التنبؤات إلى ارتفاع إضافي يبلغ 1.3 درجة مئوية بحلول عام 2035، مما يستلزم استثمارات سنوية تُقدر بـ 1.2 مليار دولار في تقنيات التكيف للحفاظ على المستويات الراهنة للإنتاج الزراعي. كما تكشف الدراسة أن عقوبة المناخ المتراكمة حتى عام 2023 تبلغ 7.6%−، في حين تُتوقع أن ترتفع إلى 10.55%− بحلول 2035 في السيناريو المرجعي.

الكلمات المفتاحية: التغير المناخي، الإنتاجية الزراعية، الأمن الغذائي، المملكة العربية السعودية، منطقة بيشة، نماذج ARIMA، عقوبة المناخ، نماذج الانحدار القياسية

Abstract

This study presents a comprehensive econometric analysis of climate change impacts on agricultural productivity in Saudi Arabia over the period 1960–2023, with a detailed application to the Bisha region. Drawing on climatic data from the National Center of Meteorology (NCM) and the World Meteorological Organization (WMO), alongside agricultural data from the FAO and the General Authority for Statistics, the findings reveal that mean annual temperature has increased at a rate of 0.60°C per decade—more than three times the global average of 0.18°C/decade—consistent with Almazroui et al. (2017, 2020). The estimated thermal elasticity of productivity is approximately −3.0% per degree Celsius, implying that the historical warming of 3.77°C has resulted in a cumulative productivity decline of approximately 11%. Projections based on ARIMA(1,1,1) models indicate an additional increase of 1.3°C by 2035, necessitating annual investments of approximately USD 1.2 billion in adaptation technologies to sustain current production levels. The accumulated climate penalty to 2023 stands at −7.6%, projected to reach −10.55% by 2035 under the baseline scenario.

Keywords: Climate change, agricultural productivity, food security, Saudi Arabia, Bisha region, ARIMA models, climate penalty, econometric regression.

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

1. المقدمة ومراجعة الأدبيات

1.1 السياق الجغرافي والمناخي

تحتل المملكة العربية السعودية مساحة قدرها 2,149,690 كيلومتراً مربعاً، تمثل نحو 80% من إجمالي مساحة شبه الجزيرة العربية. تتميز المملكة بتنوع طبوغرافي لافت يمتد من سهول تهامة الساحلية ذات الارتفاع المنخفض على امتداد البحر الأحمر، إلى سلسلة جبال السروات وعسير التي تبلغ قممها ارتفاعاً يصل إلى 3,133 أمتار عند جبل السودة، ثم تنحدر تدريجياً شرقاً نحو الهضاب الداخلية والصحاري الشاسعة، بما فيها الربع الخالي الذي تبلغ مساحته 650,000 كيلومتر مربع، والنفود الكبير البالغة مساحته 103,600 كيلومتر مربع (Vincent, 2008; الهيئة العامة للإحصاء، 2023).

يُصنَّف مناخ المملكة ضمن المناخ الصحراوي الحار (BWh) وفق تصنيف كوبن–غيغر، إذ تُهيمن عليه الكتلة الهوائية المدارية القارية الجافة وخلايا الضغط العالي شبه الاستوائية معظم أيام السنة. يتراوح متوسط الهطول السنوي من أقل من 50 ملم في المناطق الصحراوية الداخلية، إلى ما بين 200 و400 ملم في المرتفعات الجنوبية الغربية، مع تسجيلات استثنائية تبلغ 500 ملم في بعض السنوات المطيرة (Almazroui, 2011; Hasanean & Almazroui, 2015). أما متوسط درجة الحرارة السنوية على المستوى الوطني فيتراوح بين 24 و27 درجة مئوية، فيما ترتفع درجات الحرارة القصوى الصيفية لتبلغ 50 درجة في المناطق الداخلية، بينما تنخفض في المرتفعات الجبلية والمناطق الشمالية إلى ما دون الصفر شتاءً (Almazroui et al., 2012; Tarawneh & Chowdhury, 2018).

1.2 السياق الاقتصادي والسياسات الزراعية

على الرغم من هيمنة القطاع النفطي الذي يُسهم بنحو 42% من الناتج المحلي الإجمالي ويُمثل ما يزيد على 85% من إيرادات الصادرات (وزارة المالية، 2023)، فقد انتهجت المملكة العربية السعودية منذ سبعينيات القرن الماضي سياسات زراعية طموحة تهدف إلى تحقيق الأمن الغذائي الاستراتيجي. وتُقسم السياسة الزراعية الوطنية إلى مرحلتين متمايزتين:

1.2.1 مرحلة التوسع المدعوم (1975–2007)

اتسمت هذه المرحلة بدعم أسعار شراء القمح بمعدلات بلغت ثلاثة إلى أربعة أضعاف السعر العالمي (Chaudhry, 1997)، إلى جانب توزيع 1.5 مليون هكتار من الأراضي الزراعية مجاناً، وتقديم قروض ميسرة بفائدة صفرية، ودعم مستلزمات الإنتاج بنسبة تتراوح بين 30% و50%. أسفرت هذه السياسات عن نمو استثنائي في إنتاج القمح، إذ قفز من 3,000 طن عام 1978 إلى ذروة تاريخية بلغت 4.1 مليون طن عام 1992، محوّلاً المملكة من مستورد كامل إلى مُصدِّر صافٍ (Al-Zahrani et al., 2011). غير أن هذا الإنجاز جاء على حساب استنزاف حاد للموارد المائية غير المتجددة، إذ بلغ الاستهلاك المائي لإنتاج طن القمح 3,000–4,000 م³ مقارنةً بـ 1,000–1,500 م³ (Elhadj, 2004).

1.2.2 مرحلة إعادة الهيكلة (2008–حاضر)

استجابةً للانخفاض المتسارع في مستويات المياه الجوفية بمعدل 1–3 أمتار سنوياً في مناطق الإنتاج المكثف (Almazroui et al., 2016)، تحوَّلت السياسة الزراعية نحو الترشيد والاستدامة، ومن أبرز إجراءاتها: التخفيض التدريجي لدعم القمح خلال الفترة 2008–2016، وحظر زراعة الأعلاف الخضراء بموجب القرار الوزاري رقم 335

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

لعام 2018، وتشجيع الاستثمار الزراعي الخارجي في دول كالسودان وأوكرانيا وباكستان، وتوجيه الاستثمار نحو المحاصيل الأقل استهلاكاً للمياه كالنخيل والخضروات المحمية. وحالياً يُسهم القطاع الزراعي بنحو 2.4% من الناتج المحلي الإجمالي، ويوظف 6.2% من القوى العاملة (الهيئة العامة للإحصاء، 2023).

1.3 مراجعة الأدبيات العلمية

1.3.1 الدراسات العالمية

أثبتت جملة من الدراسات الرائدة التأثيرات السلبية الموثقة للاحترار العالمي على الإنتاجية الزراعية. فقد أظهر (Lobell & Field 2007) من خلال تحليل بيانات 166 دولة خلال الفترة 1980–2002 أن غلات القمح تراجعت بنسبة 5.5% والذرة بنسبة 3.8% مع ارتفاع درجات الحرارة. وعلى المنوال ذاته، حدد Schlenker & Roberts (2009) عتبات حرارية حرجة—29°C للذرة و30°C لفول الصويا—تتسارع بعدها الخسائر بصورة غير خطية وفق بيانات ساعية لخمس عشرة ولاية أمريكية. ووثّق (Asseng et al. 2015) عبر نماذج محاكاة عالمية للقمح انخفاضاً متوسطاً قدره 6% لكل درجة مئوية مع تفاوت إقليمي واسع. أما (Zhao et al. 2017) فقد أكد في تحليله التلوي الشامل لسبعين دراسة انخفاضاً متوسطاً في الحبوب الرئيسية يتراوح بين 3% و8% لكل درجة مئوية.

1.3.2 الدراسات الإقليمية – الشرق الأوسط

على الصعيد الإقليمي، قدَّم Almazroui et al. (2017, 2020) تحليلاً شاملاً للبيانات المناخية السعودية للفترة 1978–2009، كشف عن معدل احترار يبلغ 0.60±0.08 درجة مئوية/عقد، مصحوباً بتزايد في تواتر الأيام شديدة الحرارة وارتفاع في معامل تباين الهطول السنوي من 35% إلى 48%. وقيّم Ouda (2014) تداعيات ذلك على الموارد المائية، متوقعاً ارتفاع التبخر–نتح بنسبة 15–25% بحلول 2050 وزيادة احتياجات الري للقمح من 8,000 إلى 10,500 م³/هكتار. كما أجرى Al-Zahrani et al. (2016) محاكاة بنماذج DSSAT وAquaCrop في ثلاث مناطق سعودية، خلص إلى انخفاض متوقع في غلة القمح بنسبة 20–40% بحلول 2050 وفق سيناريو RCP4.5.

1.3.3 الفجوات البحثية

رصدت المراجعة النقدية للأدبيات جملة من الثغرات الجوهرية: أولاً، ندرة التحليلات القياسية الهيكلية طويلة الأجل التي تعتمد على البيانات التاريخية الفعلية بديلاً عن نماذج المحاكاة. ثانياً، غياب التطبيقات الإقليمية التفصيلية للمناطق ذات الطابع الزراعي–المائي الخاص كمنطقة بيشة. ثالثاً، عدم وجود إطار منهجي موحَّد لتكميم «عقوبة المناخ» وقياس معدل التحسن التكنولوجي المطلوب لتعويضها. رابعاً، محدودية الدراسات التي تدمج التأثيرات المناخية المباشرة مع الضغوط المائية في إطار تحليلي متكامل. تسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الثغرات من خلال منهجية قياسية متعددة المراحل.

1.4 أهداف وفرضيات الدراسة

تسعى هذه الدراسة إلى تحقيق ثلاثة أهداف رئيسية: الأول، القياس الكمي الدقيق للعلاقة التاريخية (1960–2023) بين المتغيرات المناخية ومؤشرات الإنتاجية الزراعية مع التحكم في التقدم التكنولوجي والسياسات الزراعية. الثاني، تطبيق إقليمي تفصيلي على منطقة بيشة يدمج البيانات المناخية والهيدرولوجية والزراعية المحلية. الثالث، التنبؤ بمسارات درجات الحرارة حتى 2035 وتقدير عقوبة المناخ والاستثمارات التكيفية اللازمة.

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

وفي ضوء هذه الأهداف، تختبر الدراسة ثلاث فرضيات: (H1) وجود مرونة حرارية سالبة ذات دلالة إحصائية تبلغ نحو 3% – لكل درجة مئوية؛ (H2) إسهام الاحترار بنسبة 10– 20% في تراجع الحصة الاقتصادية للقطاع الزراعي؛ (H3) تصاعد عقوبة المناخ المتوقعة بحلول 2035 لتبلغ 8% – إلى 12%–، مما يستوجب زيادة معدل التحسن التكنولوجي بنسبة 15–20%.

2. المنهجية والبيانات

2.1 الإطار التحليلي

تعتمد الدراسة نهجاً قياسياً متعدد المراحل يجمع بين أساليب السلاسل الزمنية والتحليل الهيكلي. تشمل المرحلة الأولى التحليل الاستكشافي للبيانات واختبارات الثبات (ADF, KPSS, Johansen)، تليها المرحلة الثانية المتضمنة تقدير نماذج لوج–خطية بطريقة المربعات الصغرى الاعتيادية (OLS) مع تصحيح أخطاء هيتيروسيداستيسيتي والارتباط الذاتي (HAC Newey–West). وتُخصص المرحلة الثالثة لبناء نماذج ARIMA للتنبؤ بدرجات الحرارة ومقارنتها بسيناريوهات نماذج الدوران العام (GCM)، في حين تُكرَّس المرحلة الرابعة لحساب عقوبة المناخ وتحليل السيناريوهات المستقبلية.

2.2 مصادر البيانات

2.2.1 البيانات المناخية

اعتمدت الدراسة على ثلاثة مصادر مناخية رئيسية: (1) بيانات يومية وشهرية من شبكة محطات المركز الوطني للأرصاد الجوية (NCM) المكونة من 47 محطة أرضية للفترة 1960–2023، تشمل درجات الحرارة المتوسطة والقصوى والدنيا، والهطول والرطوبة والرياح. (2) بيانات إعادة التحليل ERA5 الصادرة عن المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى (ECMWF)، بدقة مكانية 0.25° × 0.25° ودقة زمنية ساعية منذ عام 1979 (Hersbach et al., 2020). (3) بيانات CRU TS v4.06 الصادرة عن جامعة إيست أنجليا بدقة 0.5° × 0.5° شهرياً منذ عام 1901 (Harris et al., 2020). جرت معايرة بيانات NCM مع ERA5 باستخدام تقنية تصحيح التحيز بالرسم الكمي (Quantile Mapping)، وملء الفجوات المحدودة (أقل من 5%) بطريقة التوزين العكسي للمسافة (IDW).

2.2.2 البيانات الزراعية والاقتصادية

اعتُمدت بيانات الإنتاج الزراعي من قاعدة بيانات FAOSTAT للفترة 1961–2023، مشفوعةً بالنشرات السنوية للإحصاءات الزراعية الصادرة عن الهيئة العامة للإحصاء (GASTAT) ووزارة البيئة والمياه والزراعة (MEWA) للفترة 1970–2023. أما البيانات الاقتصادية الكلية فمصدرها مؤشرات التنمية العالمية لمجموعة البنك الدولي ومؤسسة النقد العربي السعودي (SAMA)، في حين استُقيت بيانات الموارد المائية من قاعدة بيانات AQUASTAT التابعة لمنظمة الأغذية والزراعة ومن سجلات وزارة البيئة والمياه والزراعة المتعلقة بتدفقات سد بيشة اليومية للفترة 1997–2023.

2.3 المواصفات القياسية

2.3.1 اختبارات الثبات

أُجريت اختبارات Augmented Dickey–Fuller (ADF) للكشف عن وجود جذر وحدوي في السلاسل الزمنية، إذ تُقدَّر المعادلة المعزَّزة: $\Delta Y_t = \alpha + \beta t + \gamma Y_{t-1} + \Sigma \delta_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t$، حيث يُعد غياب الجذر الوحدوي مؤشراً على

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

استقرار السلسلة الزمنية. وتُكمل اختبارات KPSS (Kwiatkowski et al., 1992) الصورة من منظور معاكس إذ تفترض الاستقرارية في الفرضية الصفرية. اعتُمد معيار المعلومات لشوارز (SIC) في تحديد درجة التأخر الزمني الأمثل (p)، وأُجري اختبار Johansen للتكامل المشترك في حال وجود تكامل من الدرجة الأولى للتحقق من وجود علاقة توازن طويلة الأجل.

2.3.2 النموذج الأساسي والنماذج الموسعة

يُشكِّل النموذج الأساسي (Model 1) الركيزة التحليلية للدراسة: $\ln(\text{CerealYield}_t) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{AvgTempt} + \beta_2 \cdot \text{Yeart} + \varepsilon_t$، حيث يُمثل β_1 نصف–المرونة أو التغير النسبي في الغلة لكل ارتفاع درجة مئوية واحدة، فيما يعكس β_2 معدل التحسن التكنولوجي السنوي. يُوسَّع النموذج في المواصفة الثانية (Model 2) بإضافة درجة الحرارة القصوى وتقلبية الحرارة للكشف عن تأثيراتها المستقلة. ويتضمن النموذج الثالث (Model 3) متغيرات دمية للسياسة الزراعية مع تفاعلاتها الزمنية للتحكم في أثر برنامج الدعم الحكومي الضخم (1980–2007). أما النموذج الرابع (Model 4) فيختبر تأثير الحرارة على حصة القطاع الزراعي في الناتج المحلي بعد ضبط حجم الاقتصاد والاتجاه الزمني.

2.3.3 نماذج ARIMA ومنهجية Box–Jenkins

اتُّبعت منهجية Box–Jenkins في بناء نماذج ARIMA عبر مراحل أربع: تحديد رتبة التفاضل (d) استناداً إلى اختبارات ADF وKPSS؛ تحديد الرتبتين p وq عبر تحليل دوال الارتباط الذاتي (ACF) والارتباط الذاتي الجزئي (PACF)؛ تقدير المعاملات وانتقاء النموذج الأمثل وفق معياري AIC وBIC؛ وأخيراً تشخيص جودة الملاءمة باختبار Ljung–Box على البواقي. تُنتج النماذج المُقدَّرة تنبؤات نقطية وفواصل ثقة 95% للمسار الحراري حتى عام 2035.

2.3.4 منهجية حساب عقوبة المناخ

تُعرَّف عقوبة المناخ (Climate Penalty) بوصفها النسبة المئوية للانخفاض في الإنتاجية المنسوب تحديداً للاحترار مقارنةً بسنة الأساس مع افتراض ثبات معدل التحسن التكنولوجي. وتُحسب وفق الصيغة: $\text{CPt} = [\exp(\hat{\beta}_1 \times (\text{Tt} - \text{Tbase})) - 1] \times 100\%$، حيث $\hat{\beta}_1$ هو معامل الحرارة المُقدَّر من النموذج الأساسي، وTbase درجة الحرارة في سنة الأساس (2000). ويُشتق بعدها معدل التعويض التكنولوجي السنوي المطلوب: $\Delta\text{TechRate} = |\text{CPt}| / (t - 2000)$.

3. الجغرافيا الإقليمية – منطقة بيشة

3.1 الموقع والخصائص الطبوغرافية – الهيدرولوجية

تقع منطقة بيشة (خط العرض N‹59°19، خط الطول E‹36°42) في الجزء الجنوبي الغربي من المملكة العربية السعودية ضمن منطقة عسير الإدارية. يمتد حوض وادي بيشة على مساحة 7,860 كيلومتراً مربعاً (Bamousa, 2013)، ويتدرج ارتفاعه من 1,200 متر عند موقع السد إلى ما يزيد على 2,500 متر في المرتفعات الغربية. يتميز الوادي بنظام تصريف فيضاني موسمي (ephemeral) يتغذى من روافد رئيسية هي وادي رنية ووادي تبالة ووادي تثليث، ويتراوح معامل الجريان بين 0.08 و0.15.

يُعد سد بيشة المكتمل عام 1997 الركيزة الأساسية للبنية التحتية المائية في المنطقة؛ وهو سد ركامي ارتفاعه 106 أمتار وطول قمته 540 متراً، بطاقة تصميمية تبلغ 325 مليون م³، يخدم أغراضاً متعددة تشمل الحماية من

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

الفيضانات والري وإعادة تغذية الطبقات الجوفية. وتبلغ مساحة التربة الزراعية في المنطقة نحو 42,800 هكتار، يستهلك القطاع الزراعي منها 285 مليون م³ سنوياً، 24% منها من تصريف السد والباقي (76%) من الآبار الجوفية (MEWA, 2023).

3.2 المناخ المحلي والأنظمة الزراعية

يتسم مناخ بيشة بصيف حار جاف وشتاء معتدل نسبي مقارنةً بالمناطق الداخلية. يبلغ المتوسط الحراري السنوي 27.4 درجة مئوية ومعدل الهطول السنوي 138.5 ملم. يتوزع الهطول على موسمين: موسم الربيع (مارس–مايو) الذي يستوعب 43% من الهطول السنوي، وموسم الخريف–الشتاء (أكتوبر–يناير) الذي يستوعب 35%، فيما يشهد الصيف (يونيو–سبتمبر) فترة جفاف واضحة لا تتجاوز 12% من الهطول السنوي. يصل التبخر–نتح المرجعي السنوي (ET_o) إلى نحو 2,000 ملم، مُشكِّلاً ضغطاً مائياً بالغاً على المزروعات.

يهيمن على المشهد الزراعي في بيشة النخيل الذي يحتل 26,400 هكتار ويُنتج 112,500 طن سنوياً، يليه الأعلاف بمساحة 8,200 هكتار وإنتاج 164,000 طن، ثم الخضروات بمساحة 4,800 هكتار وإنتاج 86,400 طن. ويُلفت الانتباه التطور الملحوظ في نظم الري إذ يغطي الري بالتنقيط 40% من المساحة المروية، وهو ما يعكس وعياً متصاعداً بالترشيد المائي، في حين لا يزال الغمر التقليدي يستحوذ على 30% من المساحة (MEWA, 2023).

4. النتائج التجريبية

4.1 الاتجاهات المناخية (1960–2023)

كشف الانحدار الخطي لمسار درجة الحرارة السنوية عن معادلة: AvgTempt = 24.178 + 0.0598 × (Year − 1960)، وهي ذات دلالة إحصائية عالية (R^2 = 0.908، F = 620.8)، مُترجِمةً معدل احترار يبلغ 0.60 درجة مئوية/عقد (فاصل ثقة 95%: 0.55–0.65). ويرتفع الاحترار الكلي خلال فترة الدراسة إلى 3.77 درجة مئوية، ما يتجاوز المتوسط العالمي البالغ 0.18 درجة مئوية/عقد بأكثر من ثلاثة أضعاف، متسقاً مع ما وثقه Almazroui et al. (2020). في الجانب المقابل، تراجع الهطول بمعدل 3.85 ملم/عقد (انحدار: R^2 = 0.368)، بمجموع انخفاض تراكمي يبلغ 24.3 ملم، في ظل تصاعد ملحوظ في التقلبية المناخية إذ ارتفع معامل التباين من 35% في الفترة 1960–1980 إلى 48% في الفترة 2000–2023.

الجدول 1: نتائج اختبارات الجذر الوحدوي للمتغيرات الرئيسية

المتغير	ADF إحصائية	ADF p-value	KPSS إحصائية	KPSS p-value	الاستنتاج
AvgTemp	-2.18	0.216	**0.185	0.022	I(1)
ln(CerealYield)	*-3.42	0.057	0.128	0.068	TS
AgGDPShare	-2.65	0.089	**0.171	0.031	I(1)
ln(GDP	-1.85	0.355	**0.198	0.015	I(1)
Δ AvgTemp	***-6.84	0.001>	0.082	0.10<	I(0)
Δ ln(CerealYield	***-7.12	0.001>	0.091	0.10<	I(0)

TS: trend-stationary | I(1) متكامل من الدرجة الأولى: *** p<0.01 ** p<0.05 * p<0.10

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

4.2 النماذج القياسية الأساسية

4.2.1 النموذج الأساسي (Model 1)

يكشف النموذج الأساسي عن مرونة حرارية تبلغ $\beta1 = -0.0301$، ذات دلالة إحصائية عالية حتى بعد تصحيح أخطاء HAC ($t = -2.95$، $p = 0.005$)، مما يعني أن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة يُقلص الغلة الزراعية بنسبة 3.01% (فاصل ثقة 95%: 1.0%–5.0%). وتُقدَّر قيمة $\beta2 = 0.0187$، دالة على نمو سنوي في الإنتاجية بمعدل 1.87% يُعزى للتحسينات التكنولوجية والإدارية. يُفسر النموذج 62.5% من التباين الكلي ($R^2 = 0.625$)، وتجتاز البواقي اختبارات التشخيص المعيارية جميعها: اختبار Breusch–Godfrey ($\chi^2(2) = 3.12$، $p = 0.21$)، واختبار White ($\chi^2(5) = 7.85$، $p = 0.16$)، واختبار Jarque–Bera ($JB = 2.14$، $p = 0.34$).

الجدول 2: نتائج تقدير النموذج الأساسي (OLS مع تصحيح HAC)

المتغير	المعامل	SE	(SE (HAC	p-value	CI 95%
الثابت	12.458	1.842	2.105	0.001>	[16.71 ,8.21]
AvgTemp	**-0.0301**	0.0089	0.0102	***0.005**	[-0.010 ,-0.050]
Year	0.0187	0.0034	0.0039	0.001>	[0.026 ,0.011]
$R^2 = 0.625$ | Adj. $R^2 = 0.612$ | $F = 50.8$ | $n = 64$ | RMSE = 0.428 | DW = 1.78					

4.2.2 النموذج الموسع ونماذج السياسات

تُؤكد نتائج النموذج الموسع (Model 2) التأثير السلبي المستقل لدرجة الحرارة القصوى ($\beta = -0.0089$، $p = 0.093$) ولتقلبية الحرارة ($\beta = -0.0127$، $p = 0.071$)، مع بقاء المتوسط الحراري معنوياً ($p = 0.035$). ويعزز اختبار F للقيود المشتركة على هذين المتغيرين ($F(2,59) = 3.45$، $p = 0.038$) أهميتها في تفسير التباين الإضافي (R^2 يرتفع إلى 0.649).

في نموذج السياسات (Model 3)، يتأكد التأثير السلبي للحرارة (−3.15%، $p < 0.001$) حتى بعد التحكم في سياسة الدعم الضخمة. وتكشف النتائج أن الدعم الحكومي أحدث قفزة فورية في الغلة بلغت 53.4% (e^0.428 − 1)، وأن معدل النمو الإنتاجي خلال فترة الدعم بلغ 3.5% سنوياً مقابل 1.65% فقط خارجها، مما يُشير إلى أن برامج الدعم كانت فاعلة في تعزيز الإنتاجية لكنها لم تُلغِ العبء المناخي المستمر ($R^2 = 0.732$).

أما نموذج التحول الهيكلي (Model 4) فيقدِّر تأثير الحرارة على حصة الزراعة في الناتج المحلي بـ −0.292 نقطة مئوية/درجة مئوية ($p = 0.002$). وعلى ضوء الاحترار الكلي البالغ 3.77 درجة مئوية، يُفسر الاحترار ما مقداره 1.10 نقطة مئوية من التراجع الكلي البالغ 6.3 نقطة (8.4% → 2.1%)، أي ما يمثل 17.5% من التراجع الإجمالي، والباقي (~82%) يُعزى للتحول الهيكلي الطبيعي وسياسات تنويع الاقتصاد ($R^2 = 0.831$).

4.3 اختبارات المتانة

جرى التحقق من متانة النتائج عبر مناهج متعددة. أولاً، قُدِّرت النماذج في فترتين زمنيتين فرعيتين (1960–1989 و1990–2023)، وأظهر اختبار Chow للاستقرار الهيكلي ($F(3,58) = 2.14$، $p = 0.105$) ثبات

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

المعاملات نسبياً. ثانياً، بإضافة الهطول للنموذج الأساسي، يبقى معامل الحرارة معنوياً (p = 0.003 ،−2.85%) مع تأثير إيجابي حدي للهطول (p = 0.057). ثالثاً، طبقت الدراسة تقدير المتغيرات الآلية (2SLS) باستخدام تأخرات الحرارة أداةً، وأسفر ذلك عن تقدير IV مقداره − 3.18 % — قريب جداً من تقدير 3.01% − (OLS) − مع اختبار أدوات قوي (First-stage F = 142.5) وصحيح (Hansen J: p = 0.36)، مما يُسبغ دعماً قوياً على التفسير السببي للنتيجة.

4.4 التطبيق على منطقة بيشة

يكشف النموذج الإقليمي لبيشة (R^2 = 0.687، n = 24) عن مرونة حرارية تبلغ 3.25%− لكل درجة مئوية— أعلى قليلاً من المتوسط الوطني—إلى جانب مرونة توفر المياه الإيجابية البالغة 14.2%+ (أي أن كل 10% زيادة في تدفقات السد ترفع الغلة بـ 1.42%). ويُجلِّي تحليل السنوات الحارة مقابل الباردة حجم المخاطر الفعلية: تعاني المزارع في السنوات الحارة (25% الأعلى) تراجعاً في الغلة يبلغ 19.4% مقارنةً بالسنوات الباردة (p = 0.004)، وهذا الفارق يتجاوز ما يفسره التأثير الحراري المباشر وحده (5.9%−)، مُشيراً إلى تأثير تضخيمي لتفاعل الحرارة مع الإجهاد المائي. وتُبيِّن المقارنة بين مصادر الري أن الأراضي المروية من السد تُحقق إنتاجية أعلى بـ 18.8% (p = 0.012) وتقلباً أقل (CV: 12.7% مقابل 21.5% للآبار)، مع اتساع الفارق في السنوات الحارة الجافة ليبلغ 25–30%.

5. التنبؤ وعقوبة المناخ

5.1 نمذجة ARIMA والتنبؤات الحرارية

أُجريت مقارنة منهجية بين خمسة نماذج ARIMA بديلة على بيانات السلسلة الحرارية 1960–2023. انتُخب نموذج ARIMA(1,1,1) المُعزَّز بثابت بوصفه الأمثل وفق معياري المعلومات (AIC −92.3 و BIC −86.9) وبمعدل خطأ MAPE بلغ 1.31%، كما اجتاز بواقيه اختبارات الضجيج الأبيض (Ljung–Box Q(20) = 18.35، p = 0.56). وتُعطى المعادلة المُقدَّرة: (1 − 0.521L)Δt = 0.043 + (1 − 0.287L)(1−L)AvgTempt، حيث جميع المعاملات معنوية.

الجدول 3: التنبؤ بمتوسط درجة الحرارة السنوية 2024–2035

السنة	التنبؤ (°C)	95% CI أدنى	95% CI أعلى	ΔT من ٢٠٢٣
2024	**27.92**	27.21	28.63	+0.12
2025	**28.06**	27.12	29.00	+0.26
2027	**28.31**	26.93	29.69	+0.51
2030	**28.63**	26.68	30.58	+0.83
2033	**28.91**	26.47	31.35	+1.11
2035	**29.08**	26.35	31.81	+1.28

يُتوقع ارتفاع إضافي بنحو 1.3°C خلال 2023–2035 بمعدل 0.11°C/سنة، متسقاً مع سيناريو SSP2-4.5 من نماذج CMIP6.

5.2 حساب عقوبة المناخ وتحليل السيناريوهات

باستخدام سنة الأساس 2000 (Tbase = 25.4°C) والمرونة الحرارية المُقدَّرة (β1 = -0.0301)، تُحسب عقوبة المناخ وفق الصيغة: CPt = [exp(-0.0301 × (Tt − 25.4)) − 1] × 100%. وعلى هذا الأساس، بلغت عقوبة المناخ عام 2023 نحو 7.59%−، ما يعادل فقدان نحو 4 سنوات من التحسينات التكنولوجية المتراكمة (7.59% ÷ 1.87%/سنة). وتتصاعد العقوبة في السيناريو المرجعي لتبلغ 10.55%− بحلول 2035، أي إلغاء مكاسب عقد

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

تكنولوجي كامل (2025–2035)، فيما يُشير السيناريو المتشائم (upper CI: 31.8°C) إلى عقوبة كارثية قد تبلغ −17.51%.

الجدول 4: عقوبة المناخ التاريخية والمتوقعة—السنوات المفصلية

السنة	T (°C	ΔT من ٢٠٠٠	CP (%)	التفسير
2000	25.4	0.00	0.00	سنة الأساس
2010	26.7	+1.30	-3.85	تراجع إنتاجية معنوي
2020	27.8	+2.40	-6.96	ما يعادل ٣,٧ سنوات تكنولوجية
2023	28.0	+2.60	**-7.59**	وضع راهن حرج
2030	28.6	+3.20	-9.26	سيناريو مرجعي—متوسط
2035	29.1	+3.70	**-10.55**	إلغاء عقد تكنولوجي كامل

5.3 التعويض التكنولوجي والاستثمارات المطلوبة

للحفاظ على مسار الإنتاجية الأصلي بحلول 2035، يستلزم تعويض العقوبة المتوقعة (−10.55%) رفع معدل التحسن التكنولوجي السنوي بمقدار 0.301 نقطة مئوية (أي من 1.87% إلى 2.17%/سنة)، وهو ما يمثل زيادة نسبية تبلغ 16.1%. وبافتراض متوسط عائد للبحث والتطوير الزراعي يبلغ 30% (Alston et al., 2000)، وانطلاقاً من القيمة الإنتاجية الوطنية المتوقعة للقطاع بحلول 2035 والبالغة 60 مليار ريال، يُقدَّر الاستثمار السنوي اللازم وطنياً بنحو 600 مليون ريال (160 مليون دولار) سنوياً، أي ما يتراوح بين 1.2 و1.9 مليار دولار خلال الفترة 2024–2035. ولمنطقة بيشة (بحصة تُقدَّر بـ 8% من القيمة الوطنية)، يبلغ المطلوب نحو 48 مليون ريال (13 مليون دولار) سنوياً. وتجدر الإشارة إلى أن هذه تقديرات محافظة تفترض فعالية استثمارية مرتفعة؛ إذ قد تتضاعف التكاليف الفعلية 50–100% عند استحساب البنية التحتية المائية وتحسين نظم الري والإرشاد الزراعي والدعم المباشر للمزارعين.

6. المناقشة والتوصيات السياساتية

6.1 تفسير النتائج في ضوء الأدبيات

تتموضع النتيجة المحورية لهذه الدراسة (مرونة −3.0%) ضمن النطاق المُحدد في الأدبيات الدولية، وإن كانت في حدوده الدنيا. فبينما تُقدر دراسات عالمية كـ Lobell et al. (2011) و Asseng et al. (2015) مرونات أعلى (−5.5% و−6.0% على التوالي) ودراسة Al-Zahrani et al. (2016) الإقليمية للسعودية نطاقاً يتراوح بين −4.5% و−8.0%، ثمة اعتبارات تُفسر هذا التباين: الاعتماد الكامل على الري الاصطناعي يُخفف جزئياً من إجهاد الجفاف المرافق للحرارة؛ والتكيف التاريخي للأصناف والممارسات في بيئة حارة في الأصل؛ فضلاً عن أثر الدعم الحكومي الضخم الذي مكّن استثمارات وقائية كالتظليل وأنظمة التبريد. كما يُشار إلى التحيز الانتقائي الناجم عن تمركز الإنتاج المتبقي في المناطق الأكثر إنتاجية بعد تقلص المساحات.

على الصعيد الآلي البيولوجي، يعمل التأثير السلبي للحرارة عبر قنوات متعددة متشابكة: تسريع دورة النمو وتقليص موسم ملء الحبوب (Porter & Gawith, 1999)؛ والإجهاد الحراري المباشر على التلقيح والإخصاب (Prasad et al., 2017)؛ وزيادة الطلب المائي بنسبة 5–7% لكل درجة مئوية؛ وتراجع جودة الحبوب من حيث المحتوى البروتيني والنشوي (Wardlaw et al., 2002). ويُعد التفاعل بين الحرارة وشح المياه ذا أثر تضخيمي بارز في البيئة القاحلة السعودية، إذ تكشف بيانات بيشة أن تأثير الحرارة يتضاعف تقريباً في سنوات الشح المائي (−4.8%/°C) مقارنةً بسنوات التوفر المائي الجيد (−2.5%/°C).

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

6.2 خارطة التوصيات السياساتية

6.2.1 المحور الأول: الإدارة المائية المتكاملة

توسيع الري بالتنقيط: يُقترح رفع نسبة الري بالتنقيط من 40% الراهنة إلى 80% بحلول 2030 في منطقة بيشة، بتكلفة إجمالية تبلغ 255 مليون ريال تتحمل الدولة 60% منها عبر المنح والقروض بدون فائدة. ويُقدَّر حجم توفير المياه المتحقق بـ 85 مليون م³ سنوياً بقيمة تعادل 170 مليون ريال، بما يُعطي نسبة منفعة–تكلفة تبلغ 6.6:1. وتشمل توصيات هذا المحور أيضاً: تركيب أغطية تبخر على السد لتوفير 8–12 مليون م³ سنوياً؛ وتنفيذ برامج دورية لإزالة الترسبات لاستعادة 10–12% من السعة الإجمالية المفقودة منذ 1997؛ وإطلاق مشاريع إعادة التغذية الجوفية المُدارة في السنوات الرطبة لبناء مخزون استراتيجي. كذلك يُقترح اعتماد هيكل تسعير تدريجي للمياه (Block Tariff) يتحاشى صدمة السعر عبر تطبيق تدريجي على خمس سنوات مع استثناء الحيازات الصغيرة.

6.2.2 المحور الثاني: التكيف الزراعي والابتكار

برنامج وطني لتطوير أصناف متحملة: يُقترح إطلاق برنامج مُكثَّف لتطوير 8–10 أصناف محسّنة لمحاصيل القمح والشعير والنخيل والخضروات خلال عقد واحد، يستلزم استثمار 200 مليون ريال وطنياً، مستعيناً بتقنيات الانتقاء بالواسمات الجزيئية (MAS) والتحرير الجيني (CRISPR) وبروتوكولات التربية المُسرَّعة (Speed Breeding). ويجب أن يتضمن البرنامج شراكات استراتيجية مع ICARDA وCIMMYT وجامعة الملك عبدالله (KAUST). وإلى جانب ذلك، يُوصى بمضاعفة نسبة الزراعة المحمية من الوضع الراهن إلى 40% من إنتاج الخضروات بحلول 2035، وتنويع المحفظة المحصولية نحو محاصيل عالية القيمة وشحيحة استهلاك المياه كالكينوا والمورينجا والجوجوبا التي تُحقق عائداً مائياً يتراوح بين 4 و30 ريالاً لكل م³ مقارنةً بـ 0.30 ريال/م³ للقمح.

6.2.3 المحور الثالث: الحوافز والمؤسسات

إنشاء صندوق التكيف المناخي الزراعي: يُقترح إنشاء صندوق وطني برأسمال يبلغ 2 مليار ريال يضم ثلاثة أذرع: منح التحويل التكنولوجي، وقروض ميسرة لاستثمارات التحديث، وتمويل بحث وتطوير تطبيقي. ويُخصَّص لمنطقة بيشة 8% من هذا الصندوق (160 مليون ريال) على مدى عشر سنوات. ويُكمل هذا الإطار المؤسسي برنامج تأمين زراعي مدعوم بالنصف يغطي المزارعين ضد مخاطر انخفاض الغلة الحادة وموجات الحر الشديدة، إذ يُتوقع أن يستقطب مشاركة 30–40% من المزارعين خلال السنوات الخمس الأولى.

6.2.4 المحور الرابع: نظم المعلومات والبحث

توسيع شبكة الرصد: يُقترح إضافة 200 محطة رصد مناخي–زراعي أوتوماتيكية وطنياً (بينها 12 محطة في بيشة) بتكلفة 30 مليون ريال، تُوفر بيانات درجات الحرارة والهطول ورطوبة التربة بدقة 15 دقيقة. وتُكمل هذه الشبكة منظومة إنذار مبكر متكاملة تقدم توقعات موسمية وتنبيهات موجات حر عبر تطبيق جوال/SMS. وعلى صعيد المؤسسية البحثية، يُوصى بإنشاء مركز وطني لبحوث الزراعة القاحلة في عسير بـ 50 باحثاً ومزارع تجريبية 200 هكتار، إلى جانب 100 منحة دراسات عليا سنوية في تخصصات التكيف المناخي الزراعي.

6.3 خارطة الطريق الزمنية

تُقسَّم التوصيات على ثلاث مراحل متعاقبة: المرحلة الأولى (2024–2027) تختص بالإصلاحات العاجلة وبناء المنظومة المؤسسية، باستثمار 1.2 مليار ريال وطنياً (95 مليون لبيشة)، وتستهدف توفيراً مائياً بـ 10–12% وتحسيناً

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

في الكفاءة الإنتاجية بـ 8–10%. المرحلة الثانية (2027–2032) تُركز على التوسع والتعميم، باستثمار 3.5 مليار ريال وطنياً (280 مليون لبيشة)، وتستهدف توفيراً مائياً تراكمياً بـ 25–30% وتحسيناً في الإنتاجية بـ 12–18%. المرحلة الثالثة (2032–2040) تُكرَّس لبناء النموذج الزراعي المستدام القادر على الصمود أمام احترار 2+ درجة مئوية إضافية، باستثمار 4.5 مليار ريال يُمكِّن من تحقيق اكتفاء ذاتي بنسبة 60–70% في المحاصيل المستهدفة وترسيخ ريادة إقليمية في الزراعة القاحلة.

7. الخلاصة والاستنتاجات

تُسهم هذه الدراسة في الأدبيات العلمية بعدة إضافات منهجية وتطبيقية لافتة. على الصعيد المنهجي، قدمت تحليلاً قياسياً هيكلياً طويل الأجل لعلاقة الحرارة بالإنتاجية الزراعية السعودية، مُدعَّماً بسلسلة واسعة من اختبارات المتانة تشمل التقدير بالمتغيرات الآلية، مما يُعزز الاستدلال السببي لا الترابطي فحسب. وعلى الصعيد التطبيقي، وفّرت الدراسة أول تقدير منهجي لعقوبة المناخ المُكمَّمة كمفهوم عملي قابل للترجمة مباشرةً إلى متطلبات بحث وتطوير واستثمارات تكيفية مُحددة.

تتمحور الاستنتاجات الرئيسية حول خمس نقاط: أولاً، الاحترار المناخي في المملكة حقيقة إحصائية راسخة بمعدل 0.60 درجة مئوية/عقد، يتجاوز المعدل العالمي بأكثر من ثلاثة أضعاف. ثانياً، تأثير الحرارة على الإنتاجية الزراعية سلبي ومعنوي إحصائياً (3% – لكل درجة مئوية)، وهو قائم بمعزل عن السياسات والتحول الهيكلي. ثالثاً، يُفسر الاحترار 17.5% من تراجع الحصة الاقتصادية للقطاع الزراعي، وهو أثر معنوي رغم هيمنة عوامل السياسة والتنويع الاقتصادي. رابعاً، عقوبة المناخ تتصاعد بوتيرة تتجاوز معدل التحسن التكنولوجي الراهن، مما يستوجب تدخلاً سياساتياً مستعجلاً لا يحتمل المراهنة على الوقت. خامساً، منطقة بيشة تُجسّد نموذجاً واعداً لدور البنية التحتية المائية (السدود) في تخفيف تأثيرات الاحترار ودرء التقلبية الإنتاجية، مما يُشير إلى أن الاستثمار في الموارد المائية يُمثل استراتيجية تكيف مناخي جوهرية لا مجرد اختيار قطاعي.

وفي ختام هذه الدراسة، يجدر التنويه إلى بعض محدوداتها: التجميع المكاني للمتغيرات الوطنية يُخفي تبايناً إقليمياً دقيقاً؛ واستخدام الاتجاه الزمني كمُعبِّر عن التقدم التكنولوجي يُبسِّط تعقيد الابتكار الزراعي؛ وافتراضات ARIMA في استمرارية الأنماط التاريخية قد لا تصمد أمام تسارع أو تحولات مفاجئة في النظام المناخي. تبقى مسارات بحثية واعدة للدراسات المستقبلية، منها: تحليلات إقليمية أكثر دقة بتوظيف البيانات المكانية عالية الدقة؛ ونمذجة آثار التفاعل بين الحرارة وشح المياه بصورة غير خطية؛ وتقييم فعالية حزم التكيف المقترحة عبر نماذج توازن عام قابل للحوسبة (CGE).

المراجع والمصادر References

أولاً: المراجع العربية والحكومية

- الهيئة العامة للإحصاء (2023). (GASTAT). النشرة السنوية للإحصاءات الزراعية 2023/2022. الرياض: المملكة العربية السعودية.
- وزارة البيئة والمياه والزراعة (2023). (MEWA). الإحصاءات الزراعية التفصيلية لمنطقة بيشة. الرياض.
- وزارة المالية السعودية. (2023). التقرير السنوي للميزانية العامة 2023. الرياض.
- مؤسسة النقد العربي السعودي (2023). (SAMA). التقرير السنوي: الحسابات القومية. الرياض.
- المركز الوطني للأرصاد الجوية (2023). (NCM). البيانات المناخية التاريخية للمحطات الأرضية 1960–2023. الرياض.

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

ثانياً: المراجع الأجنبية

Al-Zahrani, K. H., Baig, M. B., Straquadine, G. S., & Mourad, M. (2016). DSSAT-based simulation of wheat yield under climate change in Saudi Arabia. Journal of Animal and Plant Sciences, 26(3), 838–847.

Al-Zahrani, K. H., Baig, M. B., & Al-Barakah, F. (2011). Food security challenges in Saudi Arabia. Journal of Food, Agriculture and Environment, 9(2), 371–376.

Almazroui, M. (2011). Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. Atmospheric Research, 99(3–4), 400–414. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.11.006

Almazroui, M., Islam, M. N., Athar, H., Jones, P. D., & Rahman, M. A. (2012). Recent climate change in the Arabian Peninsula: Annual rainfall and temperature analysis of Saudi Arabia for 1978–2009. International Journal of Climatology, 32(6), 953–966. https://doi.org/10.1002/joc.2342

Almazroui, M., Saeed, F., Saeed, S., Ismail, M., Ehsan, M. A., Islam, M. N., … O'Brien, E. (2020). Projected changes in temperature and precipitation over the United States, Central America, and the Caribbean in CMIP6 GCMs. Earth Systems and Environment, 5(1), 1–24.

Almazroui, M., Tarawneh, Q. Y., Alattar, H. H., & Islam, M. N. (2016). Changes in Arabian Peninsula water resources due to climate variability and change. In Climate Change and Water Resources in the Middle East and North Africa (pp. 363–385). Springer.

Almazroui, M., Islam, M. N., Saeed, F., Alkhalaf, A. K., & Dambul, R. (2017). Assessments of surface temperature and precipitation trends in Saudi Arabia. Arabian Journal of Geosciences, 10(1), 13. https://doi.org/10.1007/s12517-016-2813-8

Alston, J. M., Chan-Kang, C., Marra, M. C., Pardey, P. G., & Wyatt, T. J. (2000). A meta-analysis of rates of return to agricultural R&D: Ex pede Herculem? Research Report No. 113. IFPRI, Washington, D.C.

Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R. P., Lobell, D. B., Cammarano, D., … Zhu, Y. (2015). Rising temperatures reduce global wheat production. Nature Climate Change, 5(2), 143–147. https://doi.org/10.1038/nclimate2470

Bamousa, A. O. (2013). Flash flood assessment and risk management using GIS and remote sensing at Wadi Bisha catchment, southern Saudi Arabia. Life Science Journal, 10(2), 1711–1718.

Chaudhry, M. A. (1997). The price of wealth: Economies and institutions in the Middle East. Cornell University Press.

Elhadj, E. (2004). Camels don't fly, deserts don't bloom: An assessment of Saudi Arabia's experiment in desert agriculture. Occasional Paper No. 48. School of Oriental and African Studies, University of London.

Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. Scientific Data, 7(1), 109. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3

Hasanean, H., & Almazroui, M. (2015). Rainfall: Features and variations over Saudi Arabia, a review. Climate, 3(3), 578–626. https://doi.org/10.3390/cli3030578

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., … Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146(730), 1999–2049. https://doi.org/10.1002/qj.3803

Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. Journal of Econometrics, 54(1–3), 159–178.

المجلة العلمية المُحكمة للأكاديمية العربية الدولية
The Scientific Journal of the International Arab Academy
IUU Membership Certificate No.: 1102202600217 - Arab Impact Factor Certificate No.: 287
ISSN (ONLINE): 1858 - 8441 - ISSN (PRINT): 1858 - 845X

Lobell, D. B., & Field, C. B. (2007). Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. Environmental Research Letters, 2(1), 014002. https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/1/014002

Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. Science, 333(6042), 616–620. https://doi.org/10.1126/science.1204531

Mahmood, R., & Jia, S. (2017). Assessment of impacts of climate change on the water resources of the transboundary Jhelum River basin of Pakistan and India. Water, 9(6), 246.

Ouda, O. K. M. (2014). Water demand versus supply in Saudi Arabia: Current and future challenges. International Journal of Water Resources Development, 30(2), 335–344.

Porter, J. R., & Gawith, M. (1999). Temperatures and the growth and development of wheat: A review. European Journal of Agronomy, 10(1), 23–36.

Prasad, P. V. V., Bheemanahalli, R., & Jagadish, S. V. K. (2017). Field crops and the fear of heat stress—Opportunities, challenges and future directions. Field Crops Research, 200, 114–121.

Schlenker, W., & Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(37), 15594–15598. https://doi.org/10.1073/pnas.0906865106

Tarawneh, Q. Y., & Chowdhury, S. (2018). Trends of climate change in Saudi Arabia: Implications on water resources. Climate, 6(1), 8.

Vincent, P. (2008). Saudi Arabia: An environmental overview. Taylor & Francis.

Wardlaw, I. F., Dawson, I. A., Munibi, P., & Fewster, R. (2002). The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. I. Survey procedures and general response patterns. Australian Journal of Agricultural Research, 40(1), 1–13.

World Bank. (2023). World Development Indicators. Washington, D.C.: World Bank Group. https://data.worldbank.org

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., … Asseng, S. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114(35), 9326–9331. https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114