

أثر التغيرات المناخية في إنتاج القمح في سوريا (دراسة قياسية باستخدام نموذج الانحدار الذاتي للإبطاء الموزع (ARDL) خلال الفترة (1994-2023)

روعه الدندل^{1*}، عبدالرحمن الخالدي²

¹ طالبة دكتوراة، قسم الاقتصاد والإرشاد الزراعي، كلية الزراعة، جامعة الفرات، دير الزور، سوريا.

² أستاذ دكتور، قسم الاقتصاد والإرشاد الزراعي، كلية الزراعة، جامعة الفرات، دير الزور، سوريا.

(*) الباحث المراسل rwadnan@alfuratuniv.edu.sy

الملخص

استهدف البحث تحليل أثر المتغيرات المناخية على إنتاج القمح في سوريا ، باعتباره من أهم المحاصيل الاستراتيجية المرتبطة بالأمن الغذائي، وذلك من خلال تقدير العلاقة بين المتغيرات المناخية والإنتاج الزراعي خلال الفترة (1994-2023) . واعتمد البحث على نموذج الانحدار الذاتي للإبطاء الموزع ARDL لتحليل العلاقة في الأجلين الطويل والقصير وذلك لكفاءة الإحصائية العالية عند التعامل مع سلاسل زمنية محدودة الحجم، حيث شملت بيانات سنوية متغيرات درجات الحرارة والهطول المطري خلال الفترة 1994-2023م، إلى جانب المتغيرات الإنتاجية ، كما تم تقدير مرونة الإنتاج لكافة المتغيرات المدروسة بما يساهم في قياس حجم أثر تغيرات مناخية على إنتاج القمح وقد أكدت النتائج وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين إنتاج القمح كمتغير تابع والمتغيرات المستقلة (الحرارة، معدل الهطولات المطرية ،مساحة مزرعة، عدد الآلات ، كمية الأسمدة والمبيدات، قيمة القروض الزراعية الممنوحة، متغير الوهمي) كما بينت النتائج وجود أثر سلبي ومعنوي لدرجات الحرارة على إنتاج القمح ، حيث تؤدي زيادة درجات الحرارة بمعدل 1% إلى انخفاض متوسط الإنتاج بنسبة (1.13%) ، في حين تبين وجود أثر إيجابي ومعنوي للهطول المطري على الإنتاج إذ أن زيادة معدل الأمطار بمقدار 1% يرفع إنتاج القمح بنسبة (0.92%). كما أشارت النتائج إلى وجود سرعة مرتفعة في تصحيح اختلالات الأجل القصير والعودة إلى التوازن طويل الأجل ،حيث بلغت سرعة التعديل نحو 130% ويوصي البحث بضرورة تبني إجراءات للتكيف مع تغيرات مناخية ، ولا سيما ما يتعلق بمواعيد زراعة وإدارة الموارد المائية بما يساهم في تحسين واستقرار إنتاج القمح .

الكلمات المفتاحية : تغيرات مناخية ، الحرارة ، الأمطار، قمح ، نموذج ARDL ، الأمن الغذائي ، السلاسل الزمنية

ورد للنشر بتاريخ 2026 / 7 / 3

قبل للنشر بتاريخ 2026 / 9 / 15

© 2026 المؤلف (المؤلفون). هذا المقال منشور بنظام الوصول المفتوح بموجب ترخيص CC BY-NC-SA 4



The Impact of Climate changes on Wheat Production in Syria : An Econometric Study Using the Autoregressive Distributed Lag(ARDL) Model for the Period (1994-2023)

Rawaa AL-Dandal ^{1*}, Abdulrahman AL-Khalidi ²

⁽¹⁾PhD Student :Department of Agriculture Economics and Extension Faculty of Agriculture, AL-Furat University ,Deir ez –Zor, Syria

⁽²⁾Professor,Department of Agriculture Economics and Extension Faculty of Agriculture, AL-Furat University ,Deir ez –Zor, Syria

^(*)Corresponding author rwadnan@alfuratuniv.edu.sy

Abstract

This study aims to analyze the impact of climatic change on wheat production in Syria, wheat being one of the most important strategic crops linked to food security, by estimating the relationship between climatic variables and agricultural production over the period (1994–2023). The study employs the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) model to analyze the long- and short-run relationships, given its high statistical efficiency in handling limited-size time series, using annual data covering temperature and rainfall variables over the period 1994–2023, in addition to production-related variables. The elasticity of production with respect to all variables examined in the study was also estimated, contributing to measuring the magnitude of the impact of climatic changes on wheat production. The results confirmed the existence of a long-run equilibrium relationship between wheat production, as the dependent variable, and the independent variables (temperature, rainfall, cultivated area, number of agricultural machines, quantity of fertilizers and pesticides, value of agricultural loans granted, and a dummy variable). The results also revealed a negative and significant effect of temperature on wheat production, as a 1% increase in temperature leads to a 1.13% decrease in average production, whereas rainfall was found to have a positive and significant effect on production, with a 1% increase in the average rainfall rate raising wheat production by 0.92%. Furthermore, the results indicated a high speed of adjustment in correcting short-run deviations and returning to long-run equilibrium, with the adjustment speed reaching approximately 130%. In light of these findings, the study recommends the necessity of adopting adaptation measures to climatic changes, particularly with respect to planting schedules and water resource management, in order to improve and stabilize wheat production.

Keywords: Climate change, temperature, rainfall, wheat, ARDL model, food security, time series

Received: 3 /7 /2026

Accepted: 15/ 9 /2026



© 2026 Author(s). This article is licensed under CC BY-NC-SA 4.0 Open Access License.

1-مقدمة :

-يعد التغير المناخي من أبرز التحديات التي تواجه القطاع الزراعي عالمياً، نظراً لارتباط النشاط الزراعي المباشر بالعوامل المناخية من احتباس حراري، وتكرار حالات الجفاف، وتباين معدلات الهطولات المطرية والتي قد تكون أسبابه طبيعياً أو من صنع الإنسان، وربما يبدو طبيعياً ولكنه ناتج عن أنشطة بشرية (Raizada at el,2022)

إذ اشارت تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) ، إلى أن ارتفاع درجات الحرارة وتزايد الظواهر المناخية المتطرفة يؤثران سلباً على إنتاجية المحاصيل الزراعية والأمن الغذائي ،ولا سيما في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تعتمد بدرجة كبيرة على الموارد المائية المحدودة ،إذ أن التغيرات في أنماط الهطول المطري أدت إلى زيادة مخاطر الجفاف وتراجع كفاءة استخدام الموارد المائية في الزراعة (Intergovernmental Panel on Climate Change,2023).

وتعد سوريا من الدول المعرضة والمتأثرة بشكل مباشر بهذه التطورات المناخية العالمية ، نظراً لموقعها ضمن النطاق الجاف وشبه الجاف ،الذي يجعلها أكثر عرضة لتبعات التغير المناخي مقارنة بالمناطق ذات الموارد المائية الأكثر توفراً حيث شهدت العقود الأخيرة تذبذباً ملحوظاً في درجات الحرارة وكميات الأمطار ،الأمر الذي انعكس على استقرار الإنتاج الزراعي ومستويات الأمن الغذائي ، ويكتسب هذا التأثير أهمية خاصة في ظل اعتماد جزء كبير من الزراعة السورية على الأمطار ، مما يجعل الإنتاج الزراعي أكثر حساسية للتقلبات المناخية وخاصة المحاصيل الاستراتيجية ، ومنها القمح نظراً لارتباطه المباشر بالأمن الغذائي والاستهلاك المحلي ، حيث يتأثر إنتاجه بدرجة كبيرة بالظروف المناخية السائدة خاصة الجفاف والحرارة التي تشكل أبرز العوامل التي تقلل من إنتاجية المحاصيل ، إذ ان أدنى درجات الحرارة والجفاف تؤثر سلباً على غلة المحاصيل ويكتسب هذا التأثير حدة خاصة عندما يتزامن ارتفاع الحرارة مع المراحل الحرجة كمرحلة الإزهار وامتلاء الحبوب حيث يؤدي الإجهاد الحراري خلال هذه المرحلتين إلى الإخلال بعمليات التلقيح وانخفاض الوزن الحبي للمحصول . وهو ما أكدته بعض الدراسات حيث أن ارتفاع الحرارة والجفاف يقلل من غلة المحاصيل بنسبة تصل إلى 50% (Lamaoui et al,2018) .

وفي ظل هذه التغيرات المناخية العالمية وما رافقها من تذبذب في الظروف المناخية المحلية. برزت الحاجة إلى دراسة طبيعة العلاقة بين المتغيرات المناخية وإنتاج القمح وتحليل آثارهما في الأجلين القصير والطويل، وتشير العديد من الدراسات إلى وجود علاقة طويلة الأجل بين المتغيرات المناخية والإنتاج الزراعي مع اختلاف حجم واتجاه التأثير باختلاف المناطق والمحاصيل الزراعية لذلك تكتسب الدراسات

القياسية أهمية متزايدة في تحليل هذه العلاقات ،وخاصة باستخدام نماذج كنموذج الانحدار الذاتي للإبطاء الموزع (ARDL) التي تسمح بدراسة العلاقات الديناميكية قصيرة الأجل وطويلة الأجل بين المتغيرات الاقتصادية والمناخية .

2-الدراسات مرجعية:

على مدى السنوات الماضية، استخدمت العديد من الدراسات دراسة أثر تغير المناخ على الإنتاج الزراعي والقمح بشكل خاص. ويتناول هذا الجزء نظرة عامة على الدراسات التجريبية الحديثة حول تأثير تغير المناخ على الإنتاج الزراعي للقمح

1- إذ أن دراسة (Dube; at el،2026) التي بعنوان (المحددات الهيكلية والمناخية المتعلقة بالتكلفة الرئيسية لإنتاج القمح في جنوب افريقيا) ، هدفت إلى تحديد القيود طويلة الأجل وقصير الأجل حيث تم تحليل البيانات السنوية للفترة 1990 -2022 باستخدام نموذج (ARDL) وأكدت النتائج وجود علاقة تكامل مشترك طويلة الأجل ومستقرة بين المتغيرات (المساحة المزروعة ، استخدام الأسمدة ، تضخم أسعار المدخلات ، تغير هطول الأمطار). كما تبين أن المساحة المزروعة هي المحرك الأكثر تأثير على المدى الطويل لإنتاج القمح، يليها هطول الأمطار، في حين أن تضخم تكاليف المدخلات له تأثير سلبي ذو دلالة إحصائية واقتصادية على الإنتاج. أما استخدام الأسمدة أظهر تأثير محدود على إنتاج القمح في ظل الظروف الهيكلية والمناخية السائدة.

2-وقد تناولت دراسة (عبد الظاهر وآخرون ،2019) تأثير التغيرات المناخية على إنتاج بعض المحاصيل الحقلية ، والتي هدفت إلى دراسة العوامل المؤثرة على الإنتاج الزراعي لمحصول القمح سواء كانت هذه المتغيرات اقتصادية أو بيئية ، وقد تبين من النتائج أن أهم العوامل التي تؤثر على إنتاج القمح هي المساحة المزروعة منه ،ومتوسط درجة الحرارة الصغرى ، ومتوسط درجة الحرارة العظمى. كما وجد علاقة ارتباط مباشرة بين كمية إنتاج القمح والمساحة المزروعة لمحصول القمح. بنسبة زيادة 90% في إجمالي إنتاج القمح عند زيادة المساحة المزروعة من القمح بمقدار 10% كما وجد علاقة ارتباط موجبة بين كمية إنتاج القمح ومتوسط درجة الحرارة الصغرى ، في حين كانت العلاقة عكسية بين كمية محصول القمح ومتوسط درجة الحرارة العظمى ، وذلك بنسبة انخفاض في إجمالي إنتاج القمح قدرت ب27%، وذلك عند زيادة درجة حرارة العظمى بنسبة 10% .

3-أشار (Ali ، 2023) : من خلال عنوانه دراسة اقتصادية لأثر تغيرات المناخية على إنتاجية محصول القمح في مصر والتي سعت إلى تقدير أثر المتغيرات المناخية (درجات الحرارة العظمى والصغرى ،الأمطار ، الرطوبة) على إنتاجية محصول القمح في مصر خلال الفترة 1990-2021 ،

باستخدام نموذج (ARDL) وأظهرت النتائج وجود علاقة تكامل مشترك طويلة الأجل بين هذه المتغيرات، مما أكد تأثير إنتاجية القمح بالتغيرات المناخية في الأجل الطويل. وجاء معامل التصحيح الخطأ سالباً وقوياً (-0.68)، مما بين أن أي انحراف مؤقت في الإنتاجية يصحح بنسبة 68% خلال فترة زمنية قصيرة، ليعود إلى مسارها التوازني، وتبين أن ارتفاع درجة الحرارة العظمى كان له أثر سلبي واضح، إذ أدت زيادة بنسبة 1% في متوسط درجة الحرارة العظمى إلى انخفاض الإنتاجية بنحو 0.1% في الأجل الطويل.

- يتضح مما سبق اتفاق غالبية الدراسات السابقة على اعتماد منهجية الانحدار الذاتي للإبطاءات الموزعة (ARDL) لتحليل أثر المتغيرات المناخية على إنتاج القمح، إلا أن هذه الدراسات تباينت في تحديد اتجاه وحجم تأثير كل من الحرارة و الهطول المطري باختلاف السياق المناخي ولجغرافي لكل دراسة، وتأتي هذه الدراسة لتسد هذه الفجوة البحثية من خلال تطبيق منهجية ARDL على الحالة السورية، ولتغطية فترة زمنية ممتدة من أواسط التسعينات حتى عام 2023، بما يوفر أساساً علمياً محدثاً يدعم رسم السياسات الزراعية المناسبة لهذا السياق تحديداً

3- مشكلة البحث:

يواجه القطاع الزراعي في سوريا خلال العقود الأخيرة تحديات متزايدة نتيجة التغيرات المناخية، وما رافقها من ارتفاع درجات الحرارة وتذبذب كميات الهطول المطري، وتكرار موجات الجفاف. الأمر الذي انعكس بصورة مباشرة على إنتاجية المحاصيل الزراعية، وخاصة محصول القمح بوصفه أحد أهم المحاصيل الاستراتيجية المرتبطة بالأمن الغذائي. وتعتبر الزراعة السورية من القطاعات الحساسة تجاه التغيرات المناخية لاعتماد جزء كبير منها على الأمطار، مما يزيد من تأثير الإنتاج الزراعي بالتقلبات المناخية السنوية. وعلى الرغم من وجود العديد من الدراسات التي تناولت أثر التغيرات المناخية على القطاع الزراعي، إلا أن الدراسات التطبيقية التي تناولت تحليل العلاقة الديناميكية بين المتغيرات المناخية وإنتاج القمح في سوريا باستخدام نماذج قياسية حديثة ما تزال محدودة، ولا سيما الدراسات التي تميز بين آثار الأجل القصير والأجل الطويل. وعليه فإن مشكلة البحث الرئيسية تتمحور حول التساؤل الآتي:

-ما أثر تغيرات المناخية على إنتاج القمح في سوريا خلال الفترة الممتدة من 1994 إلى 2023؟

ومنه يتفرع عدة تساؤلات فرعية أهمها:

1- هل تربط إنتاج القمح والمتغيرات الإنتاجية والمناخية علاقة تكامل مشترك؟

2-ما اتجاه وحجم الأثر الذي تمارسه كل من درجات الحرارة ومعدلات الأمطار على إنتاج القمح على المدى الطويل ؟

3-إلى أي مدى تختلف طبيعة استجابة إنتاج القمح للمتغيرات المناخية والإنتاجية بين الأجلين القصير والطويل؟

4-ما سرعة تصحيح أي اختلال يطرأ على العلاقة التوازنية بين المتغيرات في الأجل القصير للعودة على مسارها التوازني طويل الأجل.

4-أهمية البحث:

ترجع أهمية البحث ، من الناحية العلمية، إلى إسهامه في تقدير أثر التغيرات المناخية على الإنتاج الزراعي في سوريا ، من خلال توظيف نماذج قياسية حديثة (ARDL) تتيح قياس العلاقة بين المتغيرات في الأجلين الطويل والقصير معاً ، بما يسد فجوة بحثية قائمة في السياق السوري تحديداً . أما من الناحية التطبيقية ، فتتبع أهميته من محورية محصول القمح بوصفه أحد الركائز الأساسية للأمن الغذائي في سوريا ، كونه من أهم المحاصيل الاستراتيجية فضلاً أن هذا البحث يسهم في دعم صانعي القرار في وضع السياسات الملائمة للتكيف مع هذه المتغيرات ، وتعزيز استدامة إنتاج المحاصيل الاستراتيجية في القطاع الزراعي.

5-هدف البحث:

- يهدف البحث بشكل رئيسي إلى دراسة العلاقة قصيرة الأجل وطويلة الأجل بين المتغيرات المناخية وإنتاج القمح في سوريا باستخدام نموذج الانحدار الذاتي للإبطاءات الموزعة (ARDL) خلال الفترة 1994-2023. ويبثق منه عدة أهداف فرعية :

1-اختبار خصائص استقرارية السلاسل الزمنية لمتغيرات النموذج .

2-اختبار وجود علاقة تكامل مشترك بين إنتاج القمح والمتغيرات المناخية والإنتاجية

3-تقدير العلاقة طويلة الأجل وقصيرة الأجل بين إنتاج القمح والمتغيرات المناخية والإنتاجية المدروسة.

6-فرضيات البحث:

- 1-الفرضية الصفرية (HO): لا توجد علاقة تكامل مشترك طويلة الأجل بين إنتاج القمح والمتغيرات المناخية والإنتاجية المدروسة.
- الفرضية البديلة (H1): توجد علاقة تكامل مشترك طويلة الأجل بين إنتاج القمح والمتغيرات المناخية والإنتاجية المدروسة
- 2-الفرضية الصفرية (HO): لا يوجد علاقة معنوية قصيرة الأجل بين إنتاج القمح والمتغيرات المناخية والإنتاجية المدروسة.
- الفرضية البديلة (H1): يوجد علاقة معنوية قصيرة الأجل بين إنتاج القمح والمتغيرات المناخية والإنتاجية المدروسة.
- 3-الفرضية الصفرية (HO): لا يوجد أثر معنوي للهطول المطري على إنتاج القمح.
- الفرضية البديلة (H1): يوجد أثر معنوي للهطول المطري على إنتاج القمح.
- 4- الفرضية الصفرية (HO): لا يوجد أثر معنوي لدرجات الحرارة على إنتاج القمح.
- الفرضية البديلة (H1): يوجد أثر معنوي لدرجات الحرارة على إنتاج القمح.

7-منهجية البحث:

تم استخدام المنهج التحليلي الكمي، إذ تمت الاستعانة بأدوات الاقتصاد القياسي للسلاسل الزمنية وذلك من خلال استخدام نموذج الانحدار الذاتي للفجوات الزمنية الموزعة المتباطئة لقياس العلاقة بين المتغيرات في الأجلين الطويل والقصير، كما تم حساب مرونة المتغيرات المستقلة بالاعتماد على المتوسطات الحسابية للمتغيرات ومعاملات الانحدار المقدرة وذلك لإضفاء تفسير اقتصادي على معاملات نموذج (ARDL)، وقد تم اختبار هذا النموذج لعدة اعتبارات منهجية التي فرضتها طبيعة البيانات الدراسة ومن أبرزها قدرتها على استيعاب مزيج من متغيرات مستقرة عند مستوى $I(0)$ وأخرى مستقرة عند الفرق الأول $I(1)$ ، ضمن الإطار التقديري ذاته، أيضاً تفوق هذه المنهجية من حيث الكفاءة الإحصائية على منهجية التقليدية وذلك عند التعامل مع سلاسل زمنية محدودة الحجم كالعينات المدروسة والبالغة ثلاثون مشاهدة سنوية فضلاً عن تمكينها من تقدير العلاقتين التوازنية الطويلة والقصيرة الأجل ضمن إطار تقديري موحد ومتكامل.

واعتمد البحث على بيانات ثانوية ذات طبيعة سنوية، مستمدة من دائرة الإحصاء السوري، وزارة الزراعة ولإصلاح الزراعي، منظمة الأغذية والزراعة FAO، وذلك للفترة الممتدة بين عامي 1994 و 2023

وتمثلت الصيغة العامة (الخطية) للنموذج القياسي للدراسة فيما يلي :

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \beta_4 X_{4t} + \beta_5 X_{5t} + \beta_6 X_{6t} + \beta_7 X_{7t} + \beta_8 X_{8t} + \epsilon$$

- β_0 : الحد الثابت
- Y : إنتاج القمح (ألف طن) ،
- X_1 : متوسط درجة الحرارة السنوية (م°)
- X_2 : متوسط كمية الأمطار السنوية (مم)
- X_3 : متوسط عدد الآلات الزراعية (ألف جرار)
- X_4 : متوسط كمية الأسمدة (كغ/هكتار)
- X_5 : متوسط كمية المبيدات (كغ/هكتار)
- X_6 : متوسط القروض الزراعية (مليون ليرة سورية)
- X_7 : مساحة المزرعة بالقمح (مليون هكتار)،
- X_8 : متغير وهمي (الأزمة على القطاع الزراعي) حيث يأخذ (0) خلال الفترة السابقة لعام 2011 والقيمة (1) خلال الفترة بعد عام 2011
- ϵ : حد الخطأ العشوائي

واعتمدت الدراسة على بيانات سنوية تم الحصول عليها من منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO) ولتحقيق أهداف الدراسة تم اعتماد الخطوات الآتية:

- اختبار استقرار السلاسل الزمنية باستخدام اختبار ديكي-فولر الموسع (ADF)
- تحديد فترات الإبطاء المثلى للنموذج بالاعتماد على معيار (AIC)
- تطبيق اختبار الحدود (Bounds Test) للتحقق من وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين إنتاج القمح والمتغيرات المفسرة .
- تقدير معاملات الأجل الطويل في حال ثبوت وجود تكامل مشترك بين المتغيرات .
- تقدير نموذج تصحيح الخطأ (ECM) لاستخراج التأثيرات قصيرة الأجل وقياس سرعة عودة النظام إلى التوازن بعد حدوث الصدمات.
- إجراء الاختبارات التشخيصية للتحقق من سلامة النموذج وفق اختبارات (الارتباط الذاتي ، واختبار عدم تجانس التباين، واختبار التوزيع الطبيعي للبواقي .
- إجراء اختبار استقرار معاملات النموذج خلال فترة الدراسة باستخدام اختباري (CUSUM ، CUSUMSQ)

- حساب معاملات المرونة للمتغيرات المناخية بهدف قياس مدى استجابة إنتاج القمح للتغيرات في درجات الحرارة وكميات الأمطار وتحديد حجم التأثير الاقتصادي لهذه المتغيرات وفق قانون :

$$Ei = \beta i * \frac{xi}{y}$$

- حيث Ei : مرونة المتغير
- βi : معامل انحدار مقدر
- X_i المتوسط الحسابي للمتغير المستقل
- Y_i : المتوسط الحسابي للمتغير التابع.

8-النتائج والمناقشة:

يتناول هذا القسم نتائج تقدير نموذج الانحدار الذاتي للإبطاءات الموزعة (ARDL) وفقاً لخطواته المنهجية، بدءاً باختبارات خصائص السلاسل الزمنية وتحديد فترات الإبطاء المثلى، مروراً باختبار الحدود وتقدير العلاقة طويلة الأجل وقصيرة الأجل، وانتهاءً باختبارات صلاحية النموذج، مع مناقشة النتائج المتحصل عليه ومقارنتها بما توصلت إليه دراسات سابقة وتفسيرها في ضوء طبيعة كل سياق مناخي وجغرافي.

1- اختبارات جذر الوحدة (سكون السلاسل الزمنية) لمتغيرات نموذج إنتاج القمح باستخدام اختبار ديكي فولر الموسع (ADF):

تم إجراء اختبار جذر الوحدة (Unit Root Test) لكونه خطوة أساسية وضرورية قبل تقدير أي نموذج قياسي للسلاسل الزمنية وذلك للكشف عن استقرارية السلاسل الزمنية للمتغيرات ومدى ثبات متوسطها وتباينها عبر الزمن وقد اعتمد على اختبار ديكي فولر الموسع (ADF) لكونه من أكثر اختبارات جذر الوحدة استخداماً في تحليل السلاسل الزمنية حيث يتميز بمعالجته لمشكلة الارتباط الذاتي في البواقي من خلال إدراج فروق مبطاً ذاتياً ضمن معادلة الاختبار، إذ تبين من نتائجه في الجدول (1) أن جميع متغيرات المستقلة لنموذج دالة إنتاج القمح تعاني من مشكلة عدم الاستقرار عند مستوى (Level)، حيث كانت القيمة المحسوبة أكبر من القيمة الجدولية عند مستوى معنوية 5% وللتأكد من مدى استقرار هذه السلاسل، تم إجراء الاختبار عند الفرق الأول (1 st difference)، إذ لوحظ أن جميع المتغيرات أصبحت مستقرة عند هذا المستوى ولم يظهر أي متغير من الرتبة (2) وهذا يؤكد استيفاء الشرط الأساسي لتطبيق منهجية الانحدار الذاتي للإبطاءات الموزعة (ARDL) أيضاً استقرار السلاسل عند الفرق الأول يؤكد أن متوسطها وتباينها يصبحان ثابتين مع مرور الزمن، وهو ما يمثل الأساس المنهجي اللازم للانتقال إلى اختبار التكامل المشترك بين متغيرات نموذج إنتاج القمح.

الجدول (1) اختبارات جذر الوحدة (سكون السلاسل الزمنية لمتغيرات نموذج دالة إنتاج القمح) (ADF)

المتغير	قيمة المحسوبة والقيمة الاحتمالية	المستوى Level			الفرق الأول 1 st difference			الرتبة
		حد ثابت	حد ثابت واتجاه عام	بدون ثابت واتجاه	حد ثابت	حد ثابت واتجاه عام	بدون ثابت واتجاه	
إنتاج القمح	المحسوبة	2.29-	-3.45	0.94-	7.35-	7.20-	7.43-	(1) I
	الاحتمالية	0.18	0.06	0.29	0.00	0.00	0.00	
مساحة القمح	المحسوبة	-1.52	-3.24	-3.24	-3.79	-3.72	-3.55	(1) I
	الاحتمالية	0.50	0.09	0.09	0.008	0.03	0.001	
حرارة	المحسوبة	-2.02	-7.77	0.59	-12.01	-11.78	-12.14	(1) I
	الاحتمالية	0.27	0.000	0.83	0.00	0.000	0.00	
أمطار	المحسوبة	-5.67	-5.55	-0.59	-6.02	-5.89	6.12-	(1) I
	الاحتمالية	0.0001	0.0005	0.45	0.000	0.0003	0.000	

I(1)	4.64	-6.10	-4.89	1.22	-2.05	-4.76	المحسوبة	الالات
	0.0000	0.0001	0.0005	0.93	0.54	0.0007	الاحتمالية	
I (1)	8.03-	7.96-	8.08-	1.007	4.56-	0.24-	المحسوبة	مبيدات
	0.0000	0.0000	0.0000	0.91	0.0057	0.92	الاحتمالية	
I(1)	5.17-	5.12-	5.23-	1.25-	2.20-	0.80-	المحسوبة	أسمدة
	0.0000	0.0015	0.0002	18.0	0.46	0.80	الاحتمالية	
I (1)	6.26	5.25	5.98	0.001-	1.89	0.72	المحسوبة	قروض
	0.00	0.00	0.00	0.67	1	0.98	الاحتمالية	
I(1)	5.19-	5.20-	5.29-	0.0000	2.08-	0.77-	المحسوبة	متغير (الوهمي)
	0.0000	0.0013	0.0002	0.67	0.52	0.81	الاحتمالية	
	-2.65	-4.32	-3.68	-2.64	-4.30	-3.67	%1	القيم الجدولية الحرجة
	-1.95	-3.58	-2.97	-1.95	-3.57	-2.96	%5	
	-1.60	-3.22	-2.62	-1.61	-3.22	-2.62	10	

المصدر: نتائج مخرجات البرنامج القياسي 10 Eviews

2- اختبار التكامل المشترك لنموذج الانحدار الذاتي للإبطاءات الموزعة لدالة إنتاج القمح:

يعبر تكامل المشترك عن وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين متغيرات الدراسة في المدى الطويل ، وذلك من خلال اختبار الفرضيتين الآتيتين:

الصفرية: لا يوجد علاقة تكامل مشترك بين متغيرات دالة الإنتاج .

البديلة: يوجد علاقة تكامل مشترك بين متغيرات دالة الإنتاج .

-تحديد مدة الإبطاء المثلى:

تم اختيار الإبطاء الأمثل لنموذج الانحدار المبطأ للقمح بناء على معايير كلاً من (sc) ، (HQ) (AIC) وأظهرت النتائج أن lag=1 هو الإبطاء الأنسب ويشير هذا إلى أن تأثير المتغيرات المستقلة يمتد لسنتين في نموذج المستويات ، بينما يتم اشتقاق نموذج ، وتصحيح الخطأ للأجل القصير مباشرة من هذا النموذج ، بحيث تمثل معاملات الفروق القصيرة التأثيرات الفورية ضمن الموسم الزراعي نفسه.

جدول (2) التخلفات الزمنية لنموذج دالة إنتاج القمح

HQ	SC	AIC	FPE	LR	LogL	Lag
61.30	61.59	61.16	2.97	NA	-877.92	0
54.33*	57.24*	53.006*	1.10*	261.19*	-678.59	1

المصدر: نتائج مخرجات البرنامج القياسي 10 Eviews ،

ملاحظة: تشير (*) إلى فترات الإبطاء المثلى، (Lag): فترة الإبطاء، (LogL): دالة الإمكان للوغاريتمية، (LR): اختبار نسبة الإمكان، (FPE) : معيار الخطأ النهائي للتنبؤ، (AIC): معيار أكايكي، (SC): معيار شوارتز، (HQ): معيار هانن-كوبن.

-اختبار الحدود (Bound test) للسلاسل الزمنية لدالة إنتاج القمح:

تشير نتائج الجدول رقم (3) أن قيمة F تساوي (5.65) وهي أعلى من جميع قيم الحدود العليا عند مستويات المعنوية المختلفة ووفقاً لمعيار اختبار الحدود، إذا تجاوزت قيمة الإحصائية F الحد الأعلى للقيم الحرجة (1)، ترفض الفرضية الصفرية التي تتضمن عدم وجود علاقة تكامل مشترك، و يستدل على وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين المتغيرات. ونظراً إلى أن القيمة المحسوبة تتجاوز الحد الأعلى حتى عند مستوى معنوية 1% وهي (3.77)، فإن هذا يؤكد بدرجة عالية من الثقة وجود علاقة تكامل مشترك (توازن طويل الأجل) بين إنتاج القمح والمتغيرات المفسرة المدرجة في النموذج وتتفق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه دراسة (Ali، 2023)، والتي أكدت بدورها وجود علاقة تكامل مشترك مماثلة بين هذه المتغيرات وفق نموذج ARDL.

الجدول رقم (3) نتائج اختبار التكامل المشترك باستخدام منهجية الحدود Bound test لنموذج (ARDL-UECM):

النتيجة	Value (القيمة)	Test statistic (اختبار t)
وجود علاقة تكامل مشترك	5.65	F-statistic
قيمة الحد الأعلى I(1)	قيمة الحد الأدنى I(0)	القيم الحرجة
2.85	1.85	10%
3.15	2.11	5%
3.42	2.33	2.5%
3.77	2.62	1%

المصدر: نتائج مخرجات البرنامج القياسي 10 Eviews

3-تقدير العلاقة طويلة الأجل لنموذج انحدار التكامل المشترك (ARDL) لإنتاج القمح:

بينت نتائج الانحدار طويل الأجل وجود علاقة ايجابية معنوية احصائياً بين معدل الهطولات المطرية ونتاج القمح إذ تشير تقديرات المرونة الى أن زيادة الأمطار بنسبة 1% تؤدي إلى زيادة انتاج القمح بنسبة 92.0% وهو ما يعكس الدور المحوري للأمطار في دعم الانتاج الزراعي ويتسق هذا الأثر النسبي مع نتائج نموذج المستوى حيث ارتبطت زيادة 1 ملم من الأمطار على مستوى سوريا بزيادة انتاج القمح بمتوسط (10.3) ألف طن سنوياً مع ثبات العوامل الأخرى .

في المقابل أظهرت درجة الحرارة أثر سلبياً معنوياً إذ تؤدي زيادة درجات الحرارة بنسبة 1% إلى انخفاض الانتاج بمقدار 1.13% وتتوافق ذلك مع نتائج النموذج التي تشير إلى أن ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة يخفض متوسط الإنتاج بنحو (197) ألف طن سنوياً وهو ما يعكس التأثير الكبير والجوهري للحرارة على إنتاج القمح وتدعم دراسة (Asseng et al، 2015) وتؤكد أن ارتفاع الحرارة غالباً ما يكون تأثيره السلبي أكبر من التأثير الايجابي للأمطار وبالانتقال إلى مدخلات الإنتاج غير المناخية نجد أن متغير الآلات كان له أثر موجب ومعنوي إذ تبين أن زيادة استخدامه بنسبة 1% تؤدي إلى زيادة إنتاج القمح بنسبة (1.18)% مما يعكس استجابة مرنة نسبياً للإنتاج تجاه مستوى الميكنة الزراعية ، كذلك اظهر متغير مساحة الأرض المزروعة أثراً موجباً ومعنوياً على مستوى إنتاج القمح بمرونة بلغت 1.49% وهو ما يؤكد الدور المباشر لحجم الرقعة الزراعية في تحديد مستوى الإنتاج الكلي

في المقابل ، لم تظهر متغيرات المبيدات وقيمة القروض والأسمدة أثراً معنوياً على إنتاج القمح خلال فترة الدراسة ،ويمكن أن يعزى ذلك إلى ضعف انتظام استخدام هذه المدخلات خلال سنوات الدراسة أو إلى تداخل أثرها مع متغيرات أخرى أكثر تأثيراً مثل مساحة الأرض أما بالنسبة للمتغير الوهمي الذي مثل الفترة الاستثنائية المرتبطة بالظروف التي مرت بها سوريا ، فلم يظهر تأثيراً معنوياً إحصائياً رغم إشارته السالبة الكبيرة إذ بلغ معاملته بنحو (-636) ألف طن سنوياً دون أن تصل قيمته الاحتمالية إلى مستوى المعنوية المعتمد ،وقد يعود ذلك إلى التذبذب الكبير في الظروف خلال هذه الفترة بما يصعب رصد أثر ثابت ومنتظم لها إحصائياً وإن كان اتجاه الإشارة يتوافق مع الانخفاض الفعلي الملحوظ في مستوى إنتاج القمح خلال تلك السنوات.

الجدول رقم (4): تقديرات نموذج الأجل الطويل لدالة إنتاج القمح والمرونة المقدرة للمدخلات

المتغير	معامل الانحدار	المرونة المحسوبة	الخطأ المعياري	اختبار (t)	القيمة الاحتمالية
مساحة الأرض AHW1	3.22	1.49	0.88	3.63	0.0022
معدل الأمطار AR0101	10.35	0.92	2.83	3.64	0.0022
معدل الحرارة AT	196.7-	1.13-	210.90	0.93-	0.03
عدد الجرات DD1	36.95	1.18	12.53	2.94	0.009
مبيدات PEST	-0.64	0.0003	0.43	-1.48	0.15
قيمة القروض RR	-0.07	0.0006	0.16	-0.42	0.67
SERIES0 الأسمدة	-6.7	0.09	10.3	-0.64	0.5
متغير وهمي SS	-636.8	/	532.1	-1.19	0.2
C	12378.25		7242.5	1.70	0.16

المصدر: نتائج مخرجات البرنامج القياسي 10 Eviews

4-تقدير نموذج تصحيح الخطأ (ECM) والعلاقة قصيرة الأجل لدالة إنتاج القمح وفقاً لنموذج (ARDL) :

توضح نتائج نموذج تصحيح الخطأ (ECM) أن معامل تصحيح الخطأ بلغ (-1.30) وكان دالاً إحصائياً عند مستوى معنوية 1% ويشير ذلك إلى أن نحو 130% من الانحراف عن التوازن يتم تصحيحه خلال سنة واحدة بما يعكس نمط تصحيح مفرط بدلاً من العودة التدريجية المعتادة نحو التوازن أي أن إنتاج القمح يستجيب للصدمات القصيرة الأجل بشكل حاد ومتذبذب قبل أن يستقر عند مستواه التوازني، وهو ما يعكس محدودية قدرة القطاع الزراعي في سوريا على الامتصاص التدريجي للصدمات المناخية. وعلى مستوى الأجل القصير ، تبين أن التغيرات المناخية وخاصة الأمطار تلعب دوراً مهماً في

تحديد التغيرات السنوية في إنتاج القمح ، إذ أن زيادة مقدارها 1 ملم في الهطول السنوي تؤدي إلى زيادة إنتاج القمح بنحو 7.8 ألف طن كمتوسط في السنة نفسها مع ثبات بقية العوامل وأن زيادة الهطول بمعدل 1% تؤدي إلى زيادة الإنتاج بنسبة 0.69% . هذا التأثير الإيجابي للأمطار على الإنتاج يتسق مع ما توصلت إليه دراسة (Ousayd et al ، 2025) التي وجدت علاقة ايجابية معنوية بين مستويات الهطول المطري خلال موسم النمو وإنتاج الحبوب في المناطق المطرية وفيما يتعلق بمدخلات الإنتاج الهيكلية ، أظهر متغير المساحة المزروعة معاملاً موجباً في الأجل القصير حيث أن زيادة قدرها ألف هكتار في المساحة المزروعة تربط بزيادة الإنتاج بنحو 1.9 ألف طن كما بلغت مرونتها المشتقة 0.88 % وتدعم الدراسات الاقتصادية هذه النتيجة حيث وجد (Langridge, 2021)) أن زيادة حجم المساحة الأراضي المزروعة يعزز من القدرة الإنتاجية وتحسن المؤشرات الاقتصادية لمحصول القمح أما الآلات الزراعية فقد سجلت معاملاً موجباً مرتفعاً حيث أن زيادة عدد الآلات بمقدار ألف آلة ترتبط بزيادة الإنتاج بنحو 158.27 ألف طن مع مرونة مشتقة تقارب 5.06 في الأجل القصير ويمكن تفسير هذا اقتصادياً بأن الميكنة تؤدي إلى تحسين إنتاجية الأرض المتاحة وتوقيت العمليات الزراعية وتقلل الفاقد مما يرفع العائد الإنتاجي وهو ما يتوافق مع نتائج الدراسات التي بينت أن زيادة خدمات الميكنة تعزز سعة وقوة الإنتاج في محاصيل الحبوب بما فيها القمح (Liu&Li, 2023).

الجدول رقم (5) :تقديرات نموذج الأجل القصير (ECM) لدالة إنتاج القمح والمرونة المقدرة للمدخلات

المتغير	معامل الانحدار	المرونة المحسوبة	الخطأ المعياري	اختبار (t)	القيمة الاحتمالية
D(AHW1) مساحة القمح	1.9	0.69	0.56	3.35	0.0040
D(AR0101) معدل الأمطار	7.8	0.88	1.06	7.4	0.0000
D(DD1) عددا الآلات	158.2	5.06	32.83	4.82	0.0002
معامل تصحيح الخطأ CointEq(-1)*	-1.30	/	0.13	-9.39	0.0000

المصدر :نتائج مخرجات البرنامج القياسي 10 Eviews

5-اختبارات التشخيصية للكشف عن جودة النموذج المقدر :

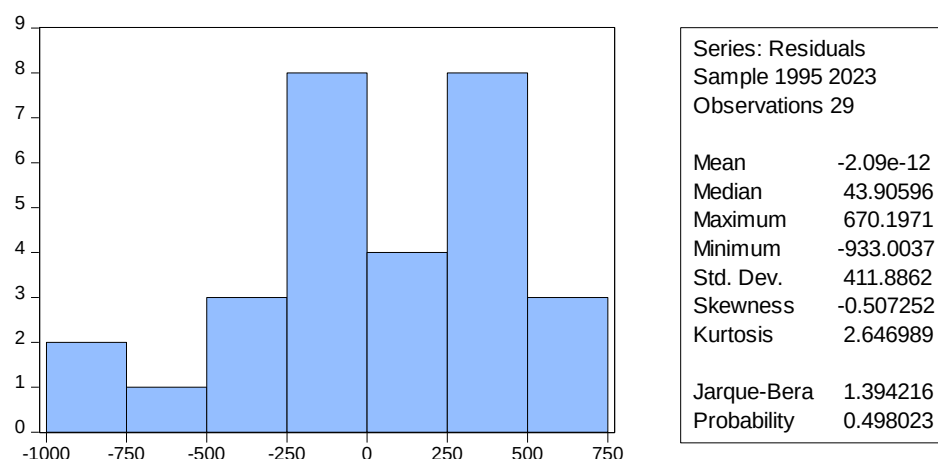
يتبين من الجدول (6) خلو النموذج من مشكلة الارتباط الذاتي نظراً لأن القيمة الاحتمالية بلغت (0.15) وهي أكبر من مستوى المعنوية (1%، 5%) كما يظهر لدينا أن القيمة الاحتمالية لاختبار التوزيع الطبيعي بلغت (0.49) وهذا يعني أن البواقي تتوزع توزيعاً طبيعياً وأكدت أيضاً القيمة الاحتمالية الخاصة باختبار عدم ثبات التباين والتي قدرت (0.9) وبمستوى معنوية أكبر من (1%، 5%)

الجدول (6) نتائج اختبارات تشخيص النموذج المقدر

الاختبار	الإحصائية	القيمة	الاحتمال
الاختبار الارتباط الذاتي – Breusch – Godfrey	F-Statistic	2.11	0.15
التوزيع الطبيعي Jarque – Bera	Jarque – Bera	1.39	0.49
عدم ثبات التباين ARCH	F-Statistic	0.002	0.95

المصدر: مخرجات البرنامج القياسي Eviews 10

وهذا يشير إلى تجانس وثبات تباين البواقي وعليه من نتائج الاختبارات التشخيصية نستنتج جودة النموذج من الناحية القياسية وأن العلاقة المقدرة بين المتغيرات المناخية ومدخلات الإنتاج وإنتاج القمح تعكس علاقة اقتصادية حقيقية وليست نتيجة لمشكلات إحصائية كامنة.



الشكل رقم (1) التوزيع الطبيعي لبواقي النموذج المقدر

6- اختبار الاستقرار الهيكلية لنموذج (UECM – ARDL) المقدر:

تم الاعتماد على نتائج اختبارات الاستقرار في المدى الطويل (CUSUM، CUSUM(Squares)) لتقييم مدى صلاحية النموذج في تفسير العلاقة التوازنية بين المتغيرات، حيث تمثل هذه الفترة الاستقرار البنوي الضروري لاستخدام النتائج في التحليل الاقتصادي والتنبؤ بالمستقبل. أما نتائج المدى القصير فتستخدم فقط لتفسير التقلبات السنوية المؤقتة في الإنتاج، إذ أشارت نتائج اختبار الاستقرار الهيكلية باستخدام كل من اختبار CUSUM واختبار CUSUM لمربعات البواقي (CUSUMSQ) أن منحنيات الاختبارين بقيت ضمن الحدود الحرجة عند مستوى معنوية 5% طوال فترة الدراسة، مما

يبين عدم وجود كسر هيكلي جوهري في معاملات النموذج واستقرار العلاقة التقديرية بين المتغيرات المناخية ومدخلات الانتاج الأخرى كمتغيرات مستقلة وإنتاج القمح كمتغير تابع ورغم ملاحظة انخفاض طفيف في منحنى البواقي التراكمية خلال فترة معينة ، إلا أن هذا الانخفاض بقي داخل حدود الثقة الإحصائية ،ويمكن تفسير ذلك بوجود تقلبات مؤقتة في تباين الأخطاء ناتجة عن صدمات قصيرة الأجل ، كالتذبذبات المناخية الحادة أو الظروف الاقتصادية الاستثنائية التي قد تكون أثرت على القطاع الزراعي خلال بعض السنوات . غير أن عودة المنحنى إلى مساره ضمن الحدود الحرجة تعكس أن تلك التقلبات لم ترق إلى مستوى عدم استقرار هيكلي دائم ، وبالتالي يمكن اعتبار معاملات النموذج مستقرة وملائمة لأغراض التفسير والتحليل القياسي .

9-الاستنتاجات:

1- أثبتت الدراسة وجود علاقة طويلة الأجل بين المتغيرات المناخية وإنتاج القمح في سوريا، مما يؤكد أن التغيرات المناخية تمثل أحد المحددات الرئيسية للإنتاج الزراعي، وأن تجاهلها في التخطيط الزراعي قد ينعكس سلباً على تحقيق الأمن الغذائي .

2- بينت النتائج أن ارتفاع درجات الحرارة يؤدي إلى انخفاض إنتاج القمح ،في حين يسهم تحسن معدلات الهطول المطري في زيادة الإنتاج ، وهو ما يعكس حساسية محصول القمح للتغيرات المناخية وضرورة تبني ممارسات زراعية تتكيف مع الظروف المناخية المتغيرة .

3- أوضحت الدراسة أن المتغيرات الاقتصادية والإنتاجية ، ولا سيما المساحة المزروعة تؤدي دور إيجابياً في دعم إنتاج القمح ، بينما يعكس التأثير السلبي للمتغير الوهمي حجم الخسائر التي تسببت بها الظروف الاستثنائية خلال مدة الدراسة ، الأمر الذي يؤكد أهمية تحقيق الاستقرار الاقتصادي وتوفير بيئة مناسبة للإنتاج القمح .

4- أظهرت نتائج النموذج أن العلاقة بين المتغيرات المدروسة وإنتاج القمح لا تقتصر على الأجل الطويل ، بل تمتد أيضاً إلى الأجل القصير ، مما يشير إلى استجابة إنتاج القمح للتغيرات المناخية والاقتصادية خلال الفترات الزمنية المختلفة ، وهو ما يعزز موثوقية النتائج المتحصل عليها .

5- أكدت قيمة معامل تصحيح الخطأ وجود آلية فعالة لعودة النموذج إلى حالة التوازن بعد حدوث الصدمات حيث تتجاوز سرعة التصحيح المستوى الطبيعي، بما يعكس حساسية مرتفعة للعلاقة طويلة

الأجل تجاه الاختلالات قصيرة الأجل ويؤكد في الوقت نفسه إمكانية الاعتماد على النموذج في تفسير سلوك إنتاج القمح.

6-أوضحت نتائج تقدير القياسي أن النموذج المقدر بالصيغة الخطية هو أفضل تمثيل للدالة المدروسة حيث أن هذا النموذج بهذه الصيغة قد اجتاز المعايير الإحصائية والقياسية المعتمدة .

7-أثبت نموذج الانحدار الذاتي للإبطاء الموزع (ARDL) كفاءته في تحليل العلاقة بين المتغيرات المناخية وإنتاج القمح في سوريا ، وذلك لقدرته على تقدير العلاقات في الأجلين الطويل والقصير ، الأمر الذي يجعله أداة مناسبة لدراسة القضايا الزراعية ذات الطابع الزمني.

10- التوصيات :

-بناء على الاستنتاجات التي توصلت إليها الدراسة، وانعكاساتها على واقع إنتاج القمح، تقترح الدراسة التوصيات الآتية:

1- الحفاظ على المساحات المزروعة بالقمح والحد من تحويلها إلى استعمالات أخرى، من خلال تبني سياسات وحوافز داعمة للمزارعين، نظراً لدورها الإيجابي في تعزيز إنتاج القمح.

2-إعطاء أولوية لتطوير ونشر أصناف القمح المتحملة للإجهاد الحراري وتيسير وصولها إلى المزارعين عبر المؤسسات الزراعية المختصة، بهدف الحد من الآثار السلبية لارتفاع درجات الحرارة على إنتاج القمح.

3- مراعاة الظروف المناخية عند التخطيط للتوسع في زراعة القمح، ولا سيما درجات الحرارة من خلال العمل على استحداث نظام للتأمين الزراعي ضد مخاطر الإجهاد الحراري، بما يسهم في تحسين واستقرار الإنتاج .

4- توسيع نطاق إدخال التقنيات الحديثة وتحسين كفاءة استخدام المكننة الزراعية من خلال توفير الدعم المالي والفني لتسهيل اقتناء الآلات الزراعية بما يضمن زيادة إنتاج القمح.

5- الاعتماد على النموذج القياسي الخطي المقدر كأداة داعمة في إعداد الخطط الزراعية والتنبؤ بالإنتاج المستقبلي للقمح نظراً لتمتعه بقدرة تفسيرية وقياسية ملائمة بما يتيح استخدامه في تقييم السيناريوهات المناخية والزراعية المختلفة.

6- إعادة تأهيل البنية التحتية الزراعية ومنظومات الري في المناطق التي تراجع إنتاجها بشكل حاد خلال السنوات الأخيرة باعتبار ذلك شرطاً أساسياً لاستعادة مستويات الإنتاج السابقة .

7- يوصى بإجراء دراسات تجمع بين النماذج القياسية والبيانات المكانية (GIS) وبيانات الاستشعار عن بعد ، بما يساهم في بناء نماذج أكثر دقة للتنبؤ بتأثير التغيرات المناخية على إنتاج القمح ودعم متخذي القرار في رسم السياسات الزراعية.

المراجع العربية:

1. بسمه كمال عبد الظاهر وآخرون (2019)، أثر التغيرات المناخية على إنتاج بعض المحاصيل الحقلية ، مجلة اتحاد الجامعات العربية للعلوم الزراعية ،جامعة عين شمس ،مصر ،مجلد (27) ،العدد(5) ،ص ص 2417-2427.

المراجع الأجنبية:

- 1) Ali, H. (2023). An Economic Study of The Impact of Climate Change on The Productivity of Wheat Crop in Egypt. Journal of the Advances in Agricultural Researches, 28(2), 380–394. <https://doi.org/10.21608/jalexu.2023.202781.1131>
- 2) 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>
- 3) Ousayd, L., Epule, T. E., Belaqqiz, S., Ongoma, V., Amazirh, A., & Chehbouni, A. (2025). The impact of precipitation, temperature, and soil moisture on wheat yield gap quantification: Evidence from Morocco. Agriculture & Food Security, 13, 55. <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00509-w>
- 4) Dube, B., Mabhunu, N., Lungwana, M., Molepo, S., Kau, J., & Moswane, L. (2026). Structural, climatic, and cost drivers of wheat production in South Africa: An ARDL analysis)1990–2022(. Frontiers in Sustainable Food Systems, 10, Article <https://doi.org/10.3389/fsufs.2026.1762581> .1762581

- 5) Lamaoui, M., Jemo, M., Datla, R., & Bekkaoui, F. (2018). Heat and Drought Stresses in Crops and Approaches for Their Mitigation. *Frontiers in Chemistry*, 6. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00026>
- 6) Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: /Synthesis -report. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr>
- 7) Langridge, P., Alaux, M., Almeida, N., Ammar, K., Baum, M., Bekkaoui, F., Bentley, A., Beres, B., Berger, B., Braun, H., Brown-Guedira, G., Burt, C., Caccamo, M., Cattivelli, L., Charmet, G., Civán, P., Cloutier, S., Cohan, J., Devaux, P. J., Zhang, X. (2022). Meeting the Challenges Facing Wheat Production: The Strategic Research Agenda of the Global Wheat Initiative. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112767>
- 8) Liu, X., & Li, X. (2023). The influence of agricultural production mechanization on grain production capacity and efficiency. *Processes*, 11(2), 487. <https://doi.org/10.3390/pr11020487>
- 9) Raizada, A., Sharma, S., & Srivastava, N. (2022). Climate Change - An Overview. *Journal of Mountain Research*. <https://doi.org/10.51220/jmr.v17i2.23>