تأثير التغيرات المناخية وانعكاسها في ديناميكية رطوبة التربة في شمال محافظة حلب (محطة أبحاث المسلمية)

محمد حسام بهلوان[1] و محمد خلدون درمش[1] و يوسف الخلف[1] و عبد المحسن السيد عمر[2] و وفاء عيسى[3]

[1] قسم علوم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حلب، حلب، سورية.

[2] قسم المحاصيل، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حلب، حلب، سورية.

[3] قسم الإحصاء الرياضي، كلية العلوم، جامعة حلب، حلب، سورية.

(*للمراسلة: يوسف الخلف، البريد الإلكتروني: yousef-khalaph@alepuniv.edu.sy)

تاريخ الاستلام: 25/ 1/ 2026 **تاريخ القبول:** 8/ 4/ 2026

الملخّص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير التغيرات المناخية في محطة أبحاث المسلمية بمحافظة حلب خلال الفترة الممتدة من (2000–2025) وبشكل خاص الإشعاع الشمسي والهطل المطري ودرجات حرارة سطح التربة وسرعة الرياح وانعكاس هذه العناصر على رطوبة التربة وذلك عن طريق الحصول على البيانات من وكالة ناسا الفضائية. أظهرت النتائج وجود ارتفاع واضح في قيمة الإشعاع الشمسي ودرجات حرارة سطح التربة وتراجع ملموس في كميات الهطل المطري مقابل زيادة في سرعات الرياح التي تتعرض لها محطة أبحاث المسلمية، وتبين أن الهطل المطري أهم العوامل المؤثرة على رطوبة التربة، حيث كان تأثير كمية الهطل المطري قوياً جداً وطردياً ومعنوياً في رطوبة التربة، وكذلك كان تأثير الإشعاع الشمسي في قيم رطوبة التربة قوياً وعكسياً ومعنوياً، في حين أن تأثير باقي عناصر المناخ (حرارة سطح التربة وسرعة الرياح) لم يكن معنوياً. كما أن سلسلة رطوبة التربة اتصفت بالدورية بدور ثمان سنوات وثمان أشهر تقريباً لكنها لم تمتلك اتجاه عام نحو التزايد أو التناقص.

الكلمات المفتاحية: التغيرات المناخية، الجفاف، الإشعاع الشمسي، رطوبة التربة.

المقدمة:

يشير مصطلح "تغير المناخ" إلى التقلبات التي تحدث على المدى الطويل في درجات الحرارة وأنماط الطقس. وخلال السنوات الخمس والستين الماضية حدثت تغيرات مناخية فعلية ومتوقعة في كوكب الأرض، بالإضافة إلى حدوث ظواهر أخرى كظاهرة الاحتباس الحراري، وذلك نتيجة العديد من الممارسات. ويعد تغير المناخ قضية عالمية ذات تأثيرات متعددة الأوجه في مختلف المجالات، بما في ذلك المجالات البيئية والاجتماعية والسياسية والاقتصادية (Feliciano *et al*., 2022; Abbass *et al*., 2022). ومنذ العقود السابقة التي تعود إلى القرن الماضي، كانت الأنشطة البشرية السبب الرئيسي لتغير المناخ (Murshed *et al*., 2022). الذي سببه احتراق الوقود الأحفوري، بما في ذلك الفحم والنفط والغاز. وتُعدّ الأنشطة البشرية مسؤولة عن معظم حالات الاحتباس الحراري التي حدثت في القرنين الماضيين. وأشار (Murshed *et al*., 2022) أنه في الوقت الراهن، ازدادت درجة حرارة سطح الأرض نحو 1.2 درجة مئوية مما كانت عليه في القرن الثامن عشر. وفقاً لـ (Zhang *et al*., 2017) يُعرَّف تغير المناخ بأنه تغير في أنماط الطقس من خلال تباين في معدلات قيم المتغيرات المناخية، التي تتضمن درجة الحرارة، والهطول، والرطوبة، وسرعة الرياح، وعدد ساعات

السطوع الشمسي، والتبخر. وفي هذا السياق ذكر (Rosenzweig *et al*., 2014) أن هذه التغيرات لا تقتصر على منطقة جغرافية واحدة، بل تمتد لمناطق واسعة في كل القارات المكونة لليابسة، حيث شهدت العديد من المناطق الزراعية الحساسة للتغيرات المناخية في أمريكا الجنوبية وجنوب آسيا ومنطقة البحر الأبيض المتوسط تأثيرات مماثلة لما شهدته سورية في العقود الأخيرة.

ذكر (Xie *et al*., 2020) ان التغيرات المناخية تصيب بشكل أساسي الحرارة والهطول حيث تزداد درجات الحرارة عن معدلاتها بشكل واضح، وتزداد تقلبات الهطل المطري بشكل كبير بين عام وآخر، وحتى توزعها خلال العام يكون متذبذباً بشكل كبير، وهذا التغير المناخي يوثر على القطاع الزراعي، الذي يُعد المصدر الرئيسي للدخل للمجتمعات في البلدان النامية؛ ومنها سورية. فقد أشار (Sudarshan and Atula, 2016) إلى أن الاقتصاد الكلي لأي بلد يتأثر سلباً بتغير المناخ وتقلباته، إذ يؤثران على الأسر المعيشية عبر قنوات متعددة. ووفقاً لتقرير صادر عن منظمة الزراعة والأغذية (FAO, 2022) فإن الخسائر الاقتصادية العالمية الناجمة عن التأثيرات الزراعية المرتبطة بالمناخ تُقدَّر بنحو 23 مليار دولار أمريكي سنوياً بحلول عام 2050، مما يؤثر بشكل رئيسي على الدول منخفضة الدخل التي تعتمد على زراعة الكفاف.

يؤدي الجفاف الناجم عن تغير المناخ إلى انخفاض حاد في رطوبة التربة، مما يعطل نشاط الكتلة الحيوية، ويعيق دورة المغذيات، مما يسبب في زيادة معدلات انضغاط التربة، الأمر الذي يعيق نمو النباتات وعملية التمثيل الضوئي بشكل مباشر، وهذا يؤدي إلى انخفاض كبير في غلة المحاصيل، وزيادة الإجهاد الحراري، وندرة المياه، وزيادة التعرض للآفات وحرائق الغابات، مما يستلزم استراتيجيات تكيفية مثل المحاصيل المقاومة للجفاف والري الفعال وإدارة حازمة للموارد المائية. يصنف الجفاف إلى أربع فئات: مناخية، وهيدرولوجية، وزراعية، واجتماعية اقتصادية (Pandit and Sharma, 2024). ويُعدّ اختلال التوازن بين الهطول المطري والتبخر–النتح السبب الرئيسي في ظاهرة الجفاف المناخي، حيث يُعدّ الهطول المطري المؤشر الأكثر استخداماً في التحليل الاحصائي لدراسة ظاهرة الجفاف (Chang, 1991). ويعرف الجفاف المناخي وفقاً للهيئة الدولية للتغير المناخي Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) بأنه حدث مناخي متطرف متكرر يحدث فوق سطح اليابسة، ويتميز بانخفاض في معدلات هطول الأمطار عن المتوسط. وغالباً ما يصاحبه ارتفاع في درجات الحرارة لفترات تتراوح بين عدة أسابيع إلى عدة أشهر، مما ينشأ عن هذه الظروف المناخية ما يعرف باسم الجفاف الزراعي، الذي يؤدي إلى انخفاض رطوبة التربة، والتأثير سلباً على الإنتاجية الزراعية. بينما ينشأ الجفاف الهيدرولوجي عندما لا تلبي موارد المياه السطحية والجوفية المتاحة احتياجات نظام إدارة موارد المياه، وعادةً ما يتم تُحليل هذه الحالات باستخدام بيانات تدفق الأنهار(Dracup *et al*., 1980) أما تقييم حالات الجفاف الاجتماعية والاقتصادية فيعتمد على أنشطة الخزانات المائية المتاحة، والتي تُعدّ بالغة الأهمية في إدارة إمدادات المياه خلال الظواهر المناخية المتطرفة. وينتج عن هذه الحالات آثاراً بالغة على الاقتصاد الريفي.

أشارت دراسة قام بها (هرمز وآخرون، 2015) إلى وجود علاقة واضحة لتأثير المتغيرات المناخية وعلاقتها مع إنتاجية القمح والشعير البعلي والمروي في محافظة الحسكة، كما أشارت الدراسة التي امتدت من عام 2001–2010 إلى أن أكثر الأعوام جفافاً في فترة الدراسة كانت (2007–2008) و(2008–2009). يحدث الجفاف الزراعي عندما تكون رطوبة التربة في منطقة الجذور غير كافية لسد حاجة المحصول مما يسبب إجهاداً مائياً، يؤدي إلى نقص في الإنتاج، وقد يؤدي إلى موت النباتات في حالات محددة، وعادة تعتبر رطوبة التربة المؤشر الأفضل لتقدير الجفاف الزراعي (Yurckli and Kurunk, 2006). تشير نتائج دراسات أجريت محلياً في الساحل السوري من قبل (محمد وآخرون، 2020) إلى وجود علاقة بين كمية الهاطل المطري مع المحتوى الرطوبي للطبقة السطحية للتربة، والتي حققت ارتباطا قوياً وموجباً وحققت معنوية عند كلا مستويي الدلالة 0.05و0.01 على مستوى كل شهر في الأشهر التي تهطل فيها الأمطار، بينما كانت قيمة معامل الارتباط الكلي ** 0.739 عند مستوى دلالة 0.01.

مكنت التطورات الحديثة في مجال الاستشعار عن بعد من رصد بيانات غير مسبوقة لهطل الأمطار مما يمثل مساهمة كبير في رسم خرائط لهطل الأمطار العالمي، حيث تستمد المعلومات الخاصة بكميات هطل الأمطار من مستشعرات تعتمد على الأشعة مثل الأشعة المرئية (VIS) والأشعة تحت الحمراء الحرارية (IR) والموجات الدقيقة المنفعلة (PMW)، حيث يتم تنفيذه هذه التقنيات بشكل روتيني من قبل المركز العالمي لعلم المناخ (Arkin *et al*., 1994). استخدم (Alrubaye and Merhej) مجموعة بيانات هطول الأمطار للفترة من 1975 إلى 2010، وصور سلسلة زمنية من جهاز MODIS للفترة من 2000 إلى 2010 لدراسة الجفاف في المنطقة الشرقية من سورية، وقد أظهرت خرائط NDVI وقيم مؤشر SPI أن عام 2008 كان عام جفاف في منطقة الدراسة بينما كانت الأعوام (2003، 2004، 2005) أعواماً رطبة. استخدمت دراسات (جلب وآخرون، 2014) و(ضعون، 2017) فعالية مؤشرات NDVI وVCI المشتقة من صور الأقمار الاصطناعية في تتبع التغيرات البيئية في سورية خلال الفترة ما بين عامي 2000 و2014، حيث وجد تعرض أكثر من 12% من مساحتها لموجات الجفاف في أغلب السنوات المذكورة مما ينذر بحالة تدهور بيئي مستمرة.

تسعى العديد من الدول للحصول على معلومات رطوبة التربة لتشكيل قاعدة بيانات لدراسة أثر التغير المناخي والجريان السطحي وانجراف التربة وخصائص ومحتوى المياه السطحية (Kerr *et al*., 2010). استخدمت في الدراسات الحديثة نماذج الانحدار الخطي أحادية المتغير ومتعددة المتغيرات لوصف عدم التجانس المكاني اليومي لدرجة حرارة التربة في أعماق مختلفة وذلك باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد من مقياس الطيف الضوئي (MODIS) على القمر الصناعي Terra وAqua لنظام مراقبة الأرض (EOS) من قبل الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA) ، إلى جانب القياسات في الموقع ، قام الباحثون بتقييم مدى ملائمة أربعة سلاسل زمنية لدرجة حرارة سطح الأرض أثناء النهار أو الليل (LST) من Terra أو Aqua، وهي سلسلة زمنية لإعادة بناء وإظهار مدى الملائمة التي حققتها النماذج المتعددة المتغيرات، حيث أكدت النتائج أن هذه الطريقة أداة واعدة لتقدير درجة الحرارة الحركية للتربة في أعماق مختلفة، ولا سيما في المناطق التي تكون فيها المعلومات في الموقع محدودة أو غير متوفرة (Huang *et al*., 2020).

أهمية البحث وأهدافه:

إن التغير المُناخي أصبح حقيقة ثابتة علمياً، بالرغم من أنه ليس من السهل التنبؤ بالأثر المحدد الناجم عن هذه التغيرات المناخية. ويمثل تغير المُناخ على المدى الطويل تهديداً حقيقياً للتنمية البشرية، ويعيق جهود المشاريع التنموية. وستزداد تذبذبات وتقلبات المُناخ، وكذلك القابلية للتضرر وخصوصاً للفقراء، وأولئك الذين يعتمدون اعتماداً كبيراً على الموارد الطبيعية مثل المزارعين والرعاة. وعلى الرغم من أن الدول العربية هي الأقل في مساهمتها في أسباب تغير المُناخ، فقد أثر تغير المُناخ بالفعل أو سوف يؤثر في معظم سكان المنطقة العربية.

لذلك يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على التغيرات المناخية التي بدأت تؤثر في شمال محافظة حلب، حيث تم تحديد هذه المحطة كموقع لتسليط الضوء على التغيرات المناخية حيث يهدف البحث إلى الكشف عن الاتجاهات الزمنية للتغيرات المناخية في شمال محافظة حلب للفترة الزمنية (2000–2025) وتحليل أثر هذه التغيرات المناخية في ديناميكية رطوبة التربة، حيث ستكون الأهداف على الشكل التالي:

1- تحليل الاتجاهات الزمنية لرطوبة التربة ودلالاتها الإحصائية.

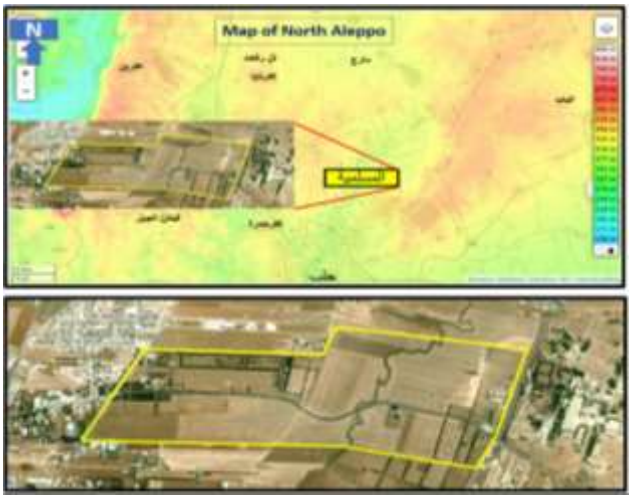
2- دراسة ديناميكية رطوبة التربة وتحليل استجابتها للمتغيرات المناخية (الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة سطح التربة وسرعة الرياح).

مواد البحث وطرائقه:

1. ***الحصول على البيانات:*** تم اختيار محطة أبحاث المسلمية الواقعة في شمال حلب، وتحديداً محطة أبحاث كلية الهندسة الزراعية، وذلك لدراسة تأثير تغيرات العناصر المناخية في خصائص التربة الرطوبية، ولتحقيق أهداف هذه الدراسة تم الحصول على البيانات التالية: (الهطل المطري – درجة حرارة سطح التربة – رطوبة التربة – سرعة الرياح – الإشعاع الشمسي) من قاعدة البيانات التابعة إلى الوكالة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء الأميركية National Aeronautics and Space Administration (NASA). ولضمان تناسق وسلاسة التغطية الزمنية (2000–2025) ودقة المنتجات الفضائية والمعادلات، تم اتباع منهجية متكاملة وفق ما يلي:

- **تحديد نقطة الدراسة (الإحداثيات):** حددت إحداثيات مركز محطة أبحاث المسلمية الواقعة في محافظة حلب (خط العرض 36.3094 N وخط الطول37.2047 E) حيث تم اعتماد هذه النقطة كنقطة استعلام (Point-based)، حيث تمثل متوسط الخلية الشبكية (Gird Cell) والتي تقع ضمنها الإحداثيات المحددة بدقة مكانية تقارب 0.5°*0.5°، حيث تمثل ظروف الموقع بدقة لأغراض المقارنة الزمنية (Gelaro *et al*., 2017).
- **الإشعاع الشمسي وبيانات الطقس السطحية:** استخدمت خدمة (NASA POWER) للحصول على معلومات الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة سطح التربة بصيغة زمنية شهرية.
- **الهطول المطري:** تم الحصول على بيانات الهطل المطري من منتج IMERG التابع لـ GPM (Global Precipitation Measurement) المطورة من قبل وكالة الفضاء الأميركية (NASA). وتم تحديد منطقة الدراسة باستخدام الإحداثيات الجغرافية لمحطة أبحاث المسلمية الواقعة شمال محافظة حلب وفق الاحداثيات التالية: (خط العرض 36.3094 N وخط الطول 37.2047 E)

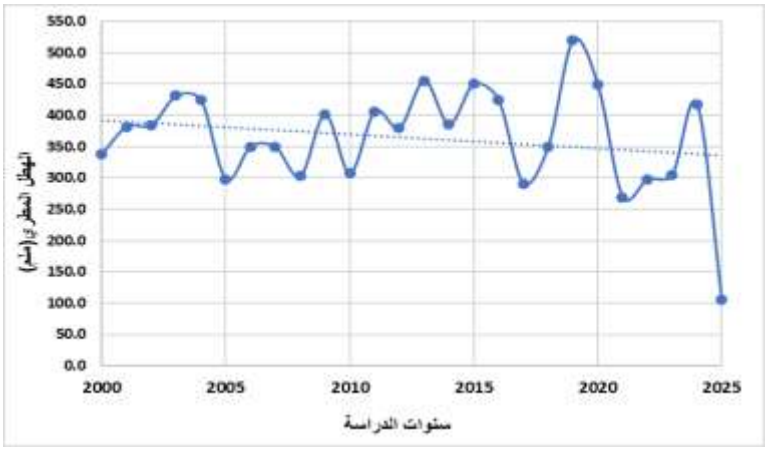
2. ***موقع الدراسة:*** أجريت الدراسة في شمال سوريا (محافظة حلب) وتحديداً في محطة أبحاث المسلمية، والتي ترتفع عن سطح البحر نحو 336 متر، وتقع على بعد 22 كم شمال شرق مدينة حلب ضمن سهل انهدامي يجتازه مجرى نهر قويق.



الشكل (1): موقع الدراسة، محطة أبحاث كلية الهندسة الزراعية في المسلمية – شمال حلب.

3. المناخ:

- **درجة الحرارة:** تعد درجة الحرارة من أهم العناصر المناخية لما لها من انعكاسات على عناصر المناخ الأخرى، من ضغط جوي وحركة الرياح وسقوط الأمطار ومعدلات التبخر، وتمتاز درجات الحرارة في محطة أبحاث المسلمية بتباينها الفصلي الشديد بين الصيف والشتاء. حيث يسود المنطقة مناخ متوسطي نصف جاف، ويبلغ متوسط درجة الحرارة العظمى للشهر الأكثر حرارة نحو 36.5°م ومتوسط درجة الحرارة الصغرى للشهر الأكثر برودة نحو 0.7°م.
- **الأمطار:** تتميز محطة أبحاث المسلمية بمتوسط هطل مطري يبلغ نحو 320 ملم/السنة، حيث يلاحظ أن الأمطار في محطة أبحاث المسلمية تتسم بأنها قليلة في بداية الموسم الزراعي، ثم تبدأ بالإرتفاع التدريجي لتصل قمتها في فصل الشتاء، مع قلة الحاجة إليها من قبل النبات. أما في فصل الربيع فإن الأمطار تكون أقل من فصل الشتاء لكنها أكثر من أمطار الخريف، ولكن هذا التوزيع لا يكون دائماً بشكل مستمر فقد تقل الأمطار في بداية الموسم وتسبب خسائر في عدم حصول الإنبات. أو قد تنحبس الأمطار في فصل الربيع في الأوقات الحرجة للنبات، كما في وقت التزهير وبداية طرد السنابل، وبالتالي تسبب فشل المحصول. في الواقع، تؤدي الأمطار وتذبذها دوراً كبيراً في نجاح زراعة المحاصيل المطرية أو فشلها، ولا يقتصر التذبذب على المعدلات السنوية بل أيضاً يمتد إلى المعدلات الشهرية، والذي له الأثر الأكبر في انتاجية ونمو المحاصيل الزراعية، والشكل (2) يبين كمية الهطل المطري لمحطة أبحاث المسلمية للفترة الزمنية من (2000–2025) م، ويبين الشكل (3) متوسط الهطل المطري الشهري لمحطة أبحاث المسلمية.



الشكل (2): كمية الهطل المطري في محطة أبحاث المسلمية في الفترة الممتدة بين عامي (2000–2025).

الشكل (3): متوسط الهطل المطري الشهري في محطة أبحاث المسلمية.

- **الإشعاع الشمسي:** تعمل حرارة الشمس الواصلة الى سطح المنطقة على تسخين التربة، ويتفاوت ذلك بحسب طبيعة ونوع الرواسب الموجودة، وكثافة الغطاء النباتي، فضلاً عن تأثير الإشعاع الشمسي في مدى توفر المادة العضوية للتربة

وسرعة تحللها، والتأثير المباشر في معدلات عملية التركيب الضوئي للنبات. ونظراً لوقوع منطقة الدراسة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، فإن زاوية وفترة الإشعاع الشمسي يتباينان فصلياً ومكانياً. حيث يلاحظ من البيانات الخاصة بمحطة أبحاث المسلمية أن قيم الإشعاع الشمسي ترتفع تدريجياً من شهر أذار الذي بلغ المعدل فيه نحو $MJ/m^2/day$ (16.41)، لتصل إلى ذروتها خلال شهر حزيران حيث بلغت نحو $MJ/m^2/day$ (29.05)، ويعود السبب في ارتفاع قيم الإشعاع الشمسي في شهر حزيران إلى أن زاوية سقوط الشمس تكون أكبر، وبالتالي تركيز الطاقة يكون أعلى، كما أن عدد ساعات النهار تكون أعظمية، حيث تصل إلى نحو 14.5 ساعة في محطة أبحاث المسلمية، كما تكون الغيوم نادرة والجو جاف نسبياً.

4. المؤشرات الإحصائية:

- **اختبار Durbin-Watson:**

يؤثر الارتباط الذاتي لأخطاء النموذج على نتائج تحليل الانحدار فتعطي اختبارات F, t نتائج أقل دقة من تلك في حالة وجوده، حيث تستند تلك الاختبارات على التباين والخطأ المعياري. يعتمد هذا الاختبار على بواقي نموذج الانحدار حيث تنص فرضية العدم على عدم وجود ارتباط الذاتي لأخطاء (بخيت وفتح الله، 2006)، تحسب قيمة إحصائية الاختبار $D-W$ كما يلي:

$$D-W=\frac{\sum_{i=2}^{n}(e_t+e_{t-1})^2}{\sum_{i=1}^{n}e_t^2}$$

حيث e_t بواقي نموذج الانحدار

- **اختبار Shapiro-Wilk:**

للتحقق من التوزيع الطبيعي لبواقي نموذج الانحدار، نستخدم اختبار Shapiro-Wilk، يمكن استخدم هذه الاختبار عندما يكون حجم العينة [3,5000] حيث يختبر فرضية العدم القائلة بأن الأخطاء تخضع للتوزيع الطبيعي (البحر، 2012)، واحصائية الاختبار تعطى بالعلاقة:

$$z=\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}$$

تخضع هذه الإحصائية للتوزيع الطبيعي، نرفض فرضية العدم إذا كانت p-value<0.05

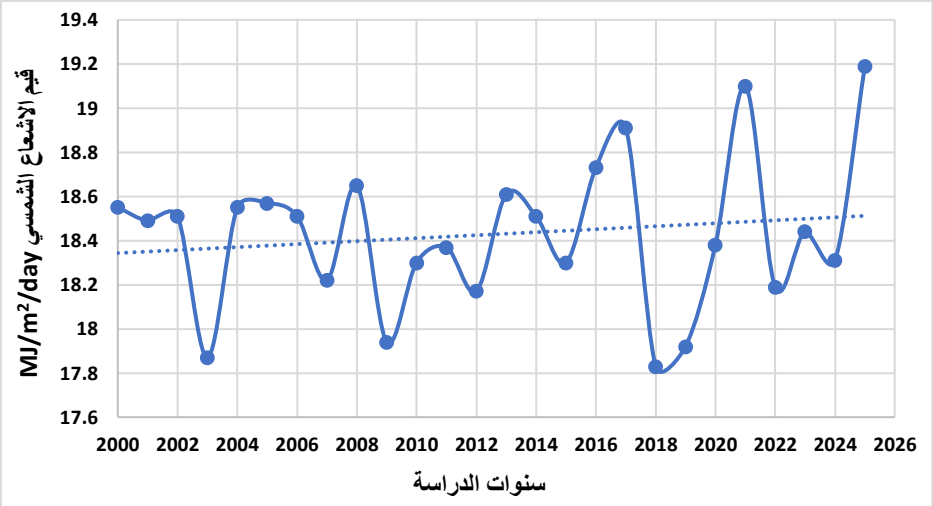
النتائج والمناقشة:

إن ارتفاع درجات الحرارة الناتج عن الاحتباس الحراري لا يكون متجانساً في كل المواقع الجغرافية التي تتأثر بعوامل التغير المناخي. فبعض المناطق تشهد ارتفاعاً أكبر في درجات الحرارة، وبالتالي، تتأثر بشكل أشد، بما في ذلك التغيرات التي ترتبط في أنماط هطول الأمطار وتوزعها الزمني والمكاني، وكذلك تتباين المعدلات في درجات الحرارة العظمى بنفس الطريقة التي تتذبذب بها معدلات الهطول المطري.

1. تأثير الإشعاع الشمسي في درجة حرارة سطح التربة في محطة أبحاث المسلمية:

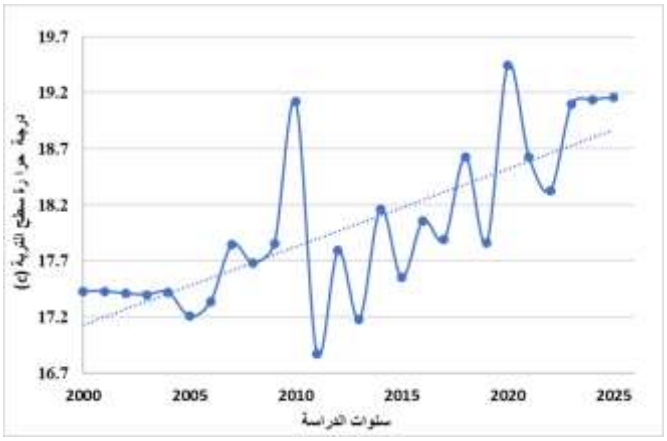
يعد الإشعاع الشمسي هو المصدر الرئيسي للطاقة الواردة إلى سطح الأرض، وترتبط زاوية سقوط الإشعاع الشمسي بمدى شدة تسخين الأرض، حيث يتم امتصاص جزءً من هذا الاشعاع، وانعكاس الجزء الأخر إلى الجو، حيث تشير نتائج هذه الدراسة إلى وجود تفاوت واضح في قيمة الإشعاع الشمسي الواصل إلى التربة للفترة الزمنية المدروسة، حيث أشارت النتائج إلى وجود ارتفاع

في منحنى معدلات الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض في محطة أبحاث المسلمية، حيث كانت أعلى قيم الإشعاع الشمسي في أعوام (2021–2025)، بينما كانت الأعوام (2003–2018) هي الأدنى في السلسلة الزمنية المدروسة لمحطة أبحاث المسلمية، والشكل (4) يبين قيم الإشعاع الشمسي الواصلة إلى سطح التربة في محطة أبحاث المسلمية.



الشكل (4): كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح التربة في محطة أبحاث المسلمية في الفترة بين (2000–2025).

من جهةٍ أخرى، تشير نتائج تحليل بيانات درجات حرارة سطح التربة في محطة أبحاث المسلمية إلى ارتفاع واضح في درجات حرارة سطح التربة، حيث أشارت النتائج إلى زيادة في مستويات درجات حرارة سطح التربة حيث وصلت إلى أكثر من 19 درجة مئوية في عامي 2021 و2025، وهي الأكثر حرارةً للفترة الممتدة بين عامي 2000 و2025، حيث بلغ المدى نحو (2.96) سيلسيوس، وربما يعود السبب في ذلك إلى انخفاض مساحات الغطاء النباتي في المنطقة المدروسة، نتيجة تعرض محطة الأبحاث إلى قطع جائر للأشجار المثمرة والحراجية من قبل النازحين الذين نزحوا من مناطق شمال سورية في عام 2017، وبالتالي أصبحت ترب المحطة معرضة بشكل مباشر للإشعاع الشمسي، والشكل (5) يبين درجات حرارة سطح التربة لمحطة أبحاث المسلمية خلال الفترة الزمنية 2000–2025.



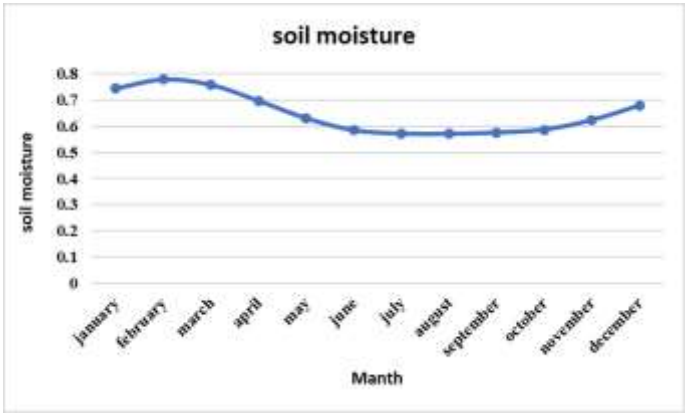
الشكل (5): حرارة سطح التربة في محطة أبحاث المسلمية في الفترة الممتدة بين عامي (2000–2025).

تشير بيانات هذه الدراسة إلى وجود علاقة عكسية بين درجة حرارة سطح التربة، ومعدلات الإشعاع الشمسي من جهة، ورطوبة منطقة انتشار الجذور من جهة أخرى، حيث أنه مع ارتفاع درجة حرارة سطح التربة سوف يزداد التبخر، وبالتالي انخفاض في قيم رطوبة التربة وزيادة معدلات التعرية الريحية نتيجة جفاف التربة، حيث تصبح مفككة وأكثر عرضةً للانجراف الريحي، وبالتالي

تفاقم حالة الجفاف الزراعي، وهذا يتوافق مع دراسة (Zittis *et al*., 2022) حيث أشارت نتائج الدراسة إلى ارتفاع ملحوظ في متوسط درجة الحرارة خلال القرن الماضي لمنطقة شرق البحر الأبيض المتوسط والتي تقع فيها سوريا، ولكن تسارعت في العقود الأربعة الأخيرة وتيرة هذه الارتفاعات لتصل نحو 0.4 درجة مئوية لكل عقد ، كما أنه من المتوقع أن يؤدي اشتداد الاحترار حتى 1.5 درجة مئوية إلى حدوث تأثيرات على مناطق المناخ الجاف ونصف الجاف والتي تقع ضمنه سوريا إلى تراجع كميات الهطل المطري واشتداد معدلات التبخر وجفاف التربة وبالتالي تفاقم وتعقيد حالات الجفاف بأنواعه المختلفة (Zittis *et al*.,2016).

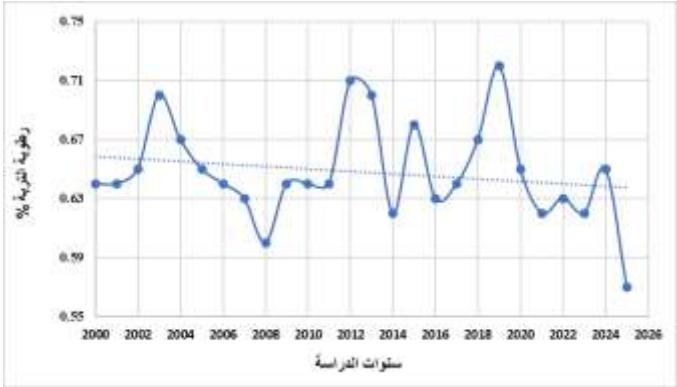
2. تأثير الإشعاع الشمسي في رطوبة التربة في محطة أبحاث المسلمية:

تشير المتوسطات الشهرية لرطوبة التربة في منطقة انتشار الجذور إلى نمط موسمي واضح، حيث تسجل أعلى قيم للرطوبة خلال فصل الشتاء (شباط)، يعقبها انخفاض تدريجي يبدأ في نيسان، ويلاحظ بدء فترة الجفاف الفعلية في حزيران، حيث تنخفض قيم رطوبة التربة وتبلغ أدنى مستوياتها في شهر أب، لتبدأ بالزيادة من جديد مع بداية موسم الأمطار في شهر تشرين الأول والشكل (6) يبين المتوسطات الشهرية لقيم رطوبة التربة خلال فترة الدراسة.



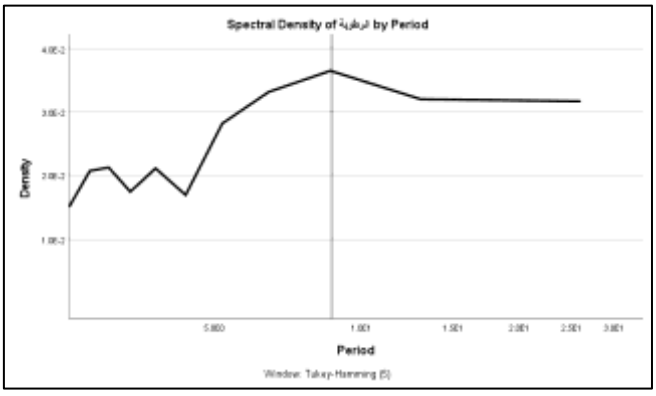
الشكل (6): المتوسطات الشهرية لقيم رطوبة التربة في محطة أبحاث المسلمية بين عامي (2000-2025).

أشارت نتائج تحليل بيانات رطوبة منطقة انتشار الجذور لمحطة أبحاث المسلمية خلال الفترة الممتدة من عام 2000 إلى عام 2025 إلى وجود تذبذب سنوي في قيم رطوبة التربة في منطقة الدراسة، مع وجود ميل للانخفاض في السنوات الأخيرة، حيث أشارت النتائج إلى أن أعلى قيمة لرطوبة منطقة انتشار الجذور كانت في عام 2019، بينما كانت أدنى قيمة لها في عام 2025، وهذا يرتبط بشكل أساسي بتراجع الهطولات المطرية (الجفاف المناخي) وزيادة الإجهاد المائي في الاعوام الأخيرة وهذا يتوافق مع دراسة (Kaniewskia *et al*., 2012) الذين أشاروا في دراستهم إلى تعرض سوريا لثلاث موجات من الجفاف واعتبروا فترة الجفاف من عام 2006 إلى عام 2010 من أسوء فترات الجفاف التي تعرضت لها سوريا، حيث أدى انخفاض هطل الأمطار وخاصةً في شرق سوريا إلى جانب ارتفاع درجات الحرارة إلى التصحر وتدهور الأراضي الزراعية وانخفاض إنتاجيتها وهذا قد انعكس بشكل مباشر على حياة المزارعين في محافظات حلب والرقة والحسكة ودير الزور، يبين الشكل (7) رطوبة التربة في منطقة انتشار الجذور في محطة أبحاث المسلمية في الفترة الممتدة بين عامي (2000-2025).



الشكل (7): رطوبة منطقة انتشار الجذور في محطة أبحاث المسلمية في الفترة الممتدة بين عامي (2000-2025).

كما نلاحظ من الشكل (7) وجود دورية في السلسلة المدروسة، ولمعرفة دور هذه السلسلة تم استخدام الكثافة الطيفية لسلسلة الرطوبة، حيث يلاحظ من الشكل (8) أن السلسة دورية ودورها 8.65 سنة (8 سنوات 8 أشهر)، مما يعني أن لهذه السلسلة سلوك دوري يتكرر كل ثمان سنوات وثمان أشهر.



الشكل (8): الكثافة الطيفية لسلسلة رطوبة منطقة انتشار الجذور في محطة أبحاث المسلمية للفترة (2000-2025).

3. الاتجاهات الزمنية لرطوبة التربة:

تم تحليل الاتجاهات الزمنية لرطوبة التربة خلال فترة الدراسة باستخدام اختبار Mann-Kendall هو اختبار غير المعلمي، ويعد من أشهر الاختبار لاتجاهات السلاسل الزمنية في الدراسات المناخية والهيدرولوجية (Kendall, 1975)، وتعطى إحصائية الاختبار بالعلاقة:

$$Z = \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} + \frac{-53}{\sqrt{2058.3}} = -1.1462$$

حيث تخضع هذه الإحصائية للتوزيع الطبيعي.

الجدول (1) اختبارMann-Kendall

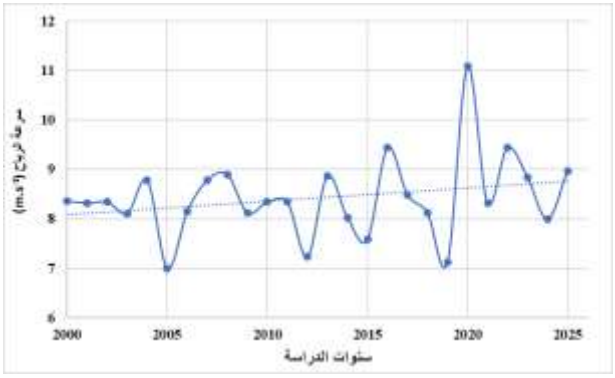
المتغير	S	Z	الاتجاه
رطوبة التربة	-53	-1.1462	لا يوجد اتجاه

نقارن القيمة المحسوبة Z=-1.1462 مع القيمة الحرجة 1.96- وبما أن 1.96- <Z=-1.1462 فإن ذلك يعني أن السلسلة لا تملك اتجاه عام نحو التزايد أو التناقص. تتفق هذه النتيجة الإحصائية مع ما توصل إليه (Masri *et al.*, 2015) في دراستهم لمنطقة وادي خناصر، حيث أشاروا إلى أن رطوبة التربة في المناطق الجافة السورية تخضع لتذبذبات موسمية حادة مرتبطة بتوزيع

الأمطار وسرعة الرياح، مما يجعل من الصعب رصد اتجاه زمني (Trend) مستمر أو خطي في سلاسل الرطوبة القصيرة، نظراً لسيادة حالة الجفاف وتأثير الرياح الصيفية التي تمنع تراكم الرطوبة.

4. تأثير التغيرات المناخية في زيادة معدلات سرعة الرياح في محطة أبحاث المسلمية:

تشير نتائج دراسة مؤشر سرعات الرياح العظمى لمحطة أبحاث المسلمية إلى وجود ارتفاع في سرعة الرياح بين عام 2000 وعام 2025، حيث يلاحظ من الشكل (9) أن أعلى قيمة لسرعة الرياح العظمى قد بلغت نحو 11.09 م. ثا$^{-1}$، وذلك في عام 2020. كما تشير النتائج إلى أن أدنى قيمة لسرعة الرياح العظمى بلغت 6.99 م. ثا$^{-1}$ وذلك في عام 2005، وبشكل عام عندما تزيد سرعات الرياح عن (12) م. ثا$^{-1}$ تبدأ عندها سرعات الرياح بتشكيل العواصف الغبارية عبر ظاهرة الانجراف الريحي، حيث يؤدي انخفاض المستوى الرطوبي في التربة وزيادة الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح التربة إلى جفاف التربة وجعلها هشة ومفككة عرضة للانجراف بفعل الرياح، مما يسهل حمل ذرات الغبار والترب الناعمة، ويزيد من العواصف الترابية. والشكل (9) يبين سرعات الرياح العظمى لمنطقة الدراسة للفترة الزمنية الممتدة من عام 2000 إلى عام 2025.



الشكل (9): سرعات الرياح العظمى في محطة أبحاث المسلمية في الفترة الممتدة بين عامي (2000–2025).

تؤثر الرياح تأثيراً واضحاً في الترب التي تتعرض للرياح، فتؤثر على عملية التبخر والنتح، فنجد الرياح الحارة والجافة تؤدي إلى زيادة النتح من النباتات، كما تعمل الرياح على زيادة كمية التبخر من سطح التربة، كما تعمل على خسارة رطوبة التربة، وهذا يتوافق مع الدراسة التي قاموا بها (Masri *et al.*, 2015) حيث أشارت الدراسة إلى أن الرياح الصيفية الحارة في البادية السورية والمناطق الهامشية ترفع معدل التبخر بشكل حاد، مما يؤدي إلى انجراف حبيبات التربة بعد حصاد المحاصيل (مثل الشعير والكمون). وحسب دراسة (Masri *et al.*, 2015)، فإن الرياح تلعب دوراً مزدوجاً في تجفيف التربة ونقل حبيباتها. وقد أثبتت النتائج الميدانية أن ترك بقايا المحاصيل (التبن) بعد الحصاد أو استخدام تقنيات حراثة معينة يساعد في حماية الرطوبة المتبقية وتقليل كمية الغبار المتطاير، حيث تعمل الرياح على تعرية التربة المكشوفة والمفككة بسرعة أكبر بمرات مضاعفة مقارنة بالتربة المحمية.

5. دراسة تأثير العناصر المناخية (كمية الأمطار، الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح) في رطوبة التربة:

تؤثر العناصر المناخية في رطوبة التربة، ولتحديد هذا الأثر تم استخدام معاملات الارتباط والانحدار المتعدد للبيانات من 2000-2025، حيث اعتبرنا كل من (كمية الأمطار، الإشعاع الشمسي، سرعة الرياح) متغيرات مستقلة، ورطوبة التربة كمتغير تابع، حيث أن: Y: رطوبة التربة، X_1: الإشعاع الشمسي، X_2: كمية الأمطار، X_3: حرارة سطح التربة، X_4: سرعة الرياح

الجدول (2): يبين معاملات النموذج

Coefficients [a]								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	1.200	.354		3.388	.003		
	X1الاشعاع	-.034	.018	-.340	-1.889	.043	.528	1.894
	X2الهطل	.000212	.000	.518	2.988	.007	.570	1.754
	X4الرياح	.056	.084	.104	.669	.511	.708	1.412
	X3الحرارة	-.009	.007	-.188	-1.261	.221	.771	1.297
a. Dependent Variable: الرطوبة								

من الجدول (2) نجد النموذج:

$$Y = 1.2 - 0.034\,X1 + 0.000212X2 - 0.009X3 + 0.056\,X4$$

وهو نموذج معنوي لأن قيم F= 9.341، و0.05 > Sig = 0.001 عند مستوى دلالة 0.05، ومعامل التحديد R2 =0.80، وللتأكد من صلاحية النموذج تم إجراء الفحوص التشخيصية التالية:

- **دراسة سلوك بواقي النموذج:** من اختبار Shapiro-Wilk كانت قيمة $Sig = 0.625 > 0.05$ مما يؤكد أن بواقي النموذج تخضع للتوزيع الطبيعي.
- **دراسة الارتباط الذاتي للأخطاء :**

كانت قيمة اختبار Durbin-Watson = 1.947، مما يدل على عدم وجود ارتباط ذاتي لأخطاء النموذج، حيث أن وقوع قيمة اختبار Durbin-Watson ضمن المجال (2.5,1.5) يدل على عدم وجود ارتباط ذاتي بين الأخطاء. مما سبق نجد أن النموذج المقترح اجتاز الفحوص التشخيصية مما يسمح لنا بالاعتماد على النتائج المستخلصة منه. حيث يلاحظ من النموذج أن معامل الإشعاع الشمسي يؤثر سلباً على رطوبة التربة فقد بلغت قيمة هذا المعامل 0.034-، أما معامل كمية الأمطار فقد بلغ 0.000212 مؤثراً بشكل إيجابي على كمية الرطوبة، أي أنه زيادة كمية الأمطار السنوية 100 ملم ستؤدي إلى زيادة الرطوبة بمقدار: 0.000212×100=0.0212، أي سيؤدي إلى زيادة في الرطوبة 2.1% تقريباً، أما بقية المتغيرات فقد كانت غير معنوية. وبغية توضح أهمية تأثير العناصر المناخية على رطوبة التربة سنأخذ المعاملات المعيارية (Standardized Beta).

الجدول (3) المعاملات المعيارية (Standardized Beta)

المتغير	Standardized Beta	التأثير
كمية الأمطار	0.518	قوي جداً وطردي
الإشعاع الشمسي	-0.34	قوي وعكسي

ويتم توضيح أهمية المتغيرات وفق القيم المعيارية للمعاملات حسب القاعدة التالية (Cohen, 1988):

ضعيف $|\beta| < 0.1$ ←

متوسط 0.1–0.3 ←

قوي 0.3–0.5 ←

قوي جداً 0.5 ←

من الجدول (3) دينا القيمة المعيارية لكمية الأمطار 0.518 أي أن هذا العامل هو أهم العوامل المؤثرة على رطوبة التربة، ويأتي العامل الثاني بالأهمية الإشعاع الشمسي بتأثير قوي وعكسي وبقيمة معيارية 0.34-. حيث تتفق هذه النتائج مع المنطق البيئي حيث تُعد الأمطار المورد المباشر لرطوبة التربة، وهو ما يفسر ظهورها كأقوى المتغيرات تأثيراً وذلك بحسب معايير (Cohen, 1988)، في المقابل جاء تأثير الإشعاع الشمسي عكسياً وقوياً، وهو ما ينسجم مع الدور الذي يلعبه الإشعاع في رفع معدلات التبخر ويؤكد اجتياز النموذج لاختبار (Durbin-Watson) بقيمة (1.947) دقة هذه العلاقات واستقلاليتها إحصائياً، مما يعزز الثقة في أن هذه العوامل المناخية هي المحددات الرئيسية لرطوبة التربة في منطقة الدراسة.

الاستنتاجات:

1- تساهم التغيرات المناخية في التأثير على خصائص التربة الرطوبية، وسنوات الجفاف ساهمت بخفض قيم رطوبة التربة بشكل واضح.
2- اتصفت سلسلة رطوبة التربة بالدورية بدور ثمان سنوات وثمان أشهر تقريباً لكنها لم تمتلك اتجاه عام نحو التزايد أو التناقص.
3- كان تأثير كمية الهطل المطري قوياً جداً وطردياً ومعنوياً في رطوبة التربة، وكذلك كان تأثير الإشعاع الشمسي في قيم رطوبة التربة قوياً وعكسياً ومعنوياً، في حين أن تأثير باقي عناصر المناخ (حرارة سطح التربة وسرعة الرياح) لم يكن معنوياً.

التوصيات:

1. إعادة تفعيل محطة المناخ والأرصاد الموجودة في مركز أبحاث المسلمية.
2. التوسع في استخدام تقانات الاستشعار عن بعد في دراسات التغير المناخي وانعكاسها في خصائص التربة وانتاجية المحاصيل.
3. التفكير في حصاد مياه الأمطار وذلك لتأمين مصدر للري التكميلي للمحاصيل المطرية.
4. يوصي البحث بضرورة اعتماد تقانات الري الحديث وتحسين إدارة الموارد المائية.

المراجع:

البحر، غيث (2012) دراسة ومقارنة طرائق اختبار طبيعية التوزيع لتحديد معايير وضوابط لهذه الطرائق، رسالة ماجستير. جامعة حلب

بخيت، حسين يحيى، وفتح الله، سحر .(2006). *الاقتصاد القياسي*. دار اليازوردي العلمية للنشر والتوزيع. عمان. الأردن.

جلب، أدهم، وعلي، أحمد، ومرهج، علا .(2014). استخدام مؤشر الاختلاف النباتي القياسي NDVI في تقدير الجفاف في المنطقة الشمالية الشرقية من سورية. *مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم البيولوجية، 36*(4)، 207-221.

ضعون، غياث .(2017). استخدام القرينة النباتية MODIS13A3_NDVI في حساب المؤشر VCI بهدف تتبع الجفاف في سورية خلال الفترة من عام 2000 إلى 2014. *مجلة الاستشعار عن بعد*، (28)، 22-41.

محمد، ندى وفيق، المسبر، وسيم، أحمد الخالد، إياد .(2020). الارتباط بين كمية الهطل المطري ورطوبة التربة السطحية خلال سلسلة زمنية في الساحل السوري باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد. *المجلة السورية للبحوث الزراعية، 7*(3)، 293-314.

هرمز، نور الدين، وجلب، أدهم، وغضبان، أسامة رمضان .(2015). تأثير العناصر المناخية (الأمطار، الحرارة الجافة، الجفاف) على إنتاج القمح والشعير (المروي والبعل) في المنطقة الشرقية. *مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، 37*.(4)

Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(28), 42539–42559.

Arkin, P. A., Joyce, R., & Janowiak, J. E. (1994). The estimation of global monthly mean rainfall using infrared satellite data: The GOES Precipitation Index (GPI). *Remote Sensing Reviews, 11*(1-4), 619–628.

Alrubaye, A., & Merhej, O. (2015). Drought risk assessment using remote sensing data case study: The eastern north region in Syria. *Journal of International Academic Research for Multidisciplinary, 3*(11), 41–58.

Chang, T. J. (1991). Investigation of precipitation droughts by use of kriging method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 117*(6), 935–943.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Dracup, J. A., Lee, K. S., & Paulson, E. G. (1980). On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources Research, 16*(2), 289–296.

Food and Agriculture Organization. (2022). *Global agricultural trends and climate change*. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb9479ar

Feliciano, D., Recha, J., Ambaw, G., MacSween, K., Solomon, D., & Wollenberg, E. (2022). Assessment of agricultural emissions, climate change mitigation, and adaptation practices in Ethiopia. *Climate Policy, 22*(4), 427–444. https://doi.org/10.1080/14693062.2022.2028597

Gelaro, R., McCarty, W., Suárez, M. J., Todling, R., Molod, A., Takacs, L., Randles, C. A., Darmenov, A., Bosilovich, M. G., Reichle, R., Wargan, K., Coy, L., Cullather, R., Draper, C., Akella, S., Buchard, V., Conaty, A., da Silva, A. M., Gu, W., . . . Zhao, B. (2017). The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). *Journal of Climate, 30*(14), 5419–5454. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0758.1

Huang, R., Huang, J., Zhang, C., Chen, Y., Ma, H., Zhuo, W., Zhu, D., Wu, Q., & Mansaray, L. R. (2020). Soil temperature estimation at different depths, using remotely-sensed data. *Journal of Integrative Agriculture, 19*(1), 277–290.

Kerr, Y. H., Waldteufel, P., Wigneron, J. P., Delwart, S., Cabot, F., Boutin, J., Escorihuela, M. J., Font, J., Reul, N., Gruhier, C., Juglea, S. E., Drinkwater, M. R., Hahne, A., Martin-Neira, M., & Mecklenburg, S. (2010). The SMOS mission: New tool for monitoring key elements of the global water cycle. *Proceedings of the IEEE, 98*(5), 666–687.

Kaniewski, D., Van Campo, E., & Weiss, H. (2012). Drought is a recurring challenge in the Middle East. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 109*(10), 3862–3867.

Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods* (4th ed.). Charles Griffin.

Murshed, M., Nurmakhanova, M., Al-Tal, R., Mahmood, H., Elheddad, M., & Ahmed, R. (2022). Can intra-regional trade, renewable energy use, foreign direct investments, and economic growth reduce ecological footprints in South Asia? *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 17*(1),

Masri, Z., van Donk, S., Bruggeman, A., & Turkelboom, F. (2015). Post-harvest summer tillage to control wind erosion in the Khanasser Valley, Syria. *Aeolian Research*, *17*, 1-13.

Pandit, J., & Sharma, A. K. (2024). Impact of climate change on drought: A comprehensive review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology, 17*(4), 749–763.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K. J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T. A. M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H., & Jones, J. W. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 111*(9), 3268–3273.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K. J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T. A. M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H., & Jones, J. W. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 111*(9), 3268–3273. doi.org/ 10. 1073/ pnas. 12224 63110

Sudarshan, C., & Atula, N. (2016). Climate change adaptation in agriculture: A computable general equilibrium analysis of land use change in Nepal. *Land Use Policy, 59*, 241–250.

Xie, W., Huang, J., Wang, J., Cui, Q., Robertson, R., & Chen, K. (2020). Climate change impacts on China's agriculture: The responses from market and trade. *China Economic Review, 62*, Article 101256.

Yurekli, K., & Kurunc, A. (2006). Simulating agricultural drought periods based on daily rainfall and crop water consumption. *Journal of Arid Environments, 67*(4), 629–640.

Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of Geophysics, 60*(3),

Zittis, G., Hadjinicolaou, P., & Fnais, M. (2016). Stereotypical subtropical summer heatwaves over the Mediterranean and Middle East. *Regional Environmental Change, 16*(7), 1863–1876.

Zhang, P., Zhang, J., & Chen, M. (2017). Economic impacts of climate change on agriculture: The importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation. *Journal of Environmental Economics and Management, 83*, 8–31.

The impact of climate change and its reflection on soil moisture dynamics in the northern Aleppo Governorate (Al-Muslimiyah Research Station)

Mohammed Hossam Bahlawan[1*], Mohammed Khaldoun Darmash[1], Youssef Al-Khalaf[1], Abdul Mohsen Al-Sayed Omar[2] and Wafaa Issa[3]

[1] Department of Soil Science and Land Reclamation, Faculty of Agricultural Engineering, University of Aleppo, Aleppo, Syria.

[2] Department of Field Crops, Faculty of Agricultural Engineering, University of Aleppo, Aleppo, Syria.

[3] Department of Mathematical Statistics, Faculty of Science, University of Aleppo, Aleppo, Syria.

(*Corresponding author: Yousef Khalaf, Email: yousef-khalaph@alepuniv.edu.sy)

Received: 25/ 1/ 2026 **Accepted:** 8/ 4/ 2026

Abstract

This research aims to study the impact of climate change at the Muslimiyah Research Station in Aleppo Governorate during the period from (2000-2025), specifically solar radiation, rainfall, soil surface temperatures, wind speed, and the reflection of these elements on soil moisture, by obtaining data from NASA. The results showed a clear increase in solar radiation and soil surface temperatures, and a noticeable decrease in rainfall, coupled with an increase in wind speeds at the Al-Musallamiyah research station. Rainfall was found to be the most significant factor affecting soil moisture, with a very strong, direct, and significant impact. Similarly, solar radiation had a strong, inverse, and significant effect on soil moisture. The effects of the other climatic elements (soil surface temperature and wind speed) were not significant. Furthermore, the soil moisture series exhibited a cyclical pattern of approximately eight years and eight months, but did not show a general trend of either increasing or decreasing.

Keywords: Climate change, drought, solar radiation, soil moisture.