Kirkuk University Journal: Humanity Studies
مجلة جامعة كركوك للدراسات الانسانية
ISSN P: 1992-1179
ISSN E: 3107-3360

An Integrated Framework for Combining Climate Solution Mapping (CSE) and a Geospatial Artificial Intelligence Digital Twin (GEOAIDT) to Model and Evaluate Climate Forecasting Scenarios in Iraq

Prof. Dr. Ahmed Mohammed Jihad Al-Kubaisi
Department of Education, Fallujah / Educational Supervision,
prof.ahmed.m.j.alkubaisi@gmail.com
Prof. Dr. Mohammed Musaa Hammadi Al-Shabani
Department of Geography, Faculty of Arts, University of Anbar.
mohammad.mussa@uoanbar.edu.iq

Abstract:

Objective: This study aims to utilize the Climate Solutions Explorer (CSE) to develop interactive maps that support the analysis of climate change mitigation pathways and the assessment of avoidable climate impacts, drawing on advanced databases and modeling techniques. It further evaluates future trends in climate and development indicators within an integrated geospatial information framework, based on a comprehensive platform comprising 12 key climate indicators and 42 quantitative metrics, supported by multiple future scenarios.

Methodology: The study adopts a techno-analytical descriptive approach for the production and analysis of interactive maps, aligning climate indicators with spatial characteristics and projected population dynamics under diverse climatic, social, and economic scenarios. The analytical framework focuses on major indicator groups, including precipitation, water resources, temperature and heat stress, energy demand, air pollution, and land use, with particular emphasis on the most influential variables in Iraq. Results: The analysis examines major climate indicator groups, including precipitation, water resources, temperature and heat stress, energy demand, air pollution, and land use, with a focus on the most significant variables in Iraq. These indicators are integrated with a Geospatial Artificial Intelligence Digital Twin (GeoDT) using big data analytics to develop advanced models for evaluating climate forecasting scenarios over the period 2018–2070. The modeling framework incorporates key variables such as emissions, energy demand, fuel sources, energy transitions, and electricity supply.

Conclusions: The study produces interactive visual maps supported by interpretive analysis and comparative metrics. The findings demonstrate that the integration of interactive mapping with digital twin technologies and big data analytics constitutes a robust scientific framework for understanding climate dynamics. Furthermore, it provides a reliable knowledge base to support decision-making in spatial planning and

resource management, thereby enhancing the effectiveness of future climate adaptation and mitigation strategies.

Keywords: Digital Twin, Interactive Mapping, Climate Solutions, Forecasting Scenarios, Geospatial Science.

التكامل بين خرائط حلول المناخ (CSE) والتوأم الرقمي للذكاء الجغرافي المكاني (GEOAIDT) في نمذجة وتقييم سيناريوهات التنبؤ المناخي في العراق.

احمد محمد جهاد الكبيسي[١*]

prof.ahmed.m.j.alkubaisi@gmail.com

محمد موسى حمادي الشعباني[٢*]

mohammad.mussa@uoanbar.edu.iq

المستخلص:

الهدف: يسعى البحث إلى توظيف مستكشف حلول المناخ (CSE) في إنتاج خرائط تفاعلية تسهم في تحليل مسارات التخفيف من آثار التغير المناخي، واستشراف التأثيرات المناخية الممكن تجنبها، بالاعتماد على أحدث قواعد البيانات والنماذج المتقدمة. وتقييم الاتجاهات المستقبلية لمؤشرات المناخ والتنمية ضمن إطار منظومة معلوماتية مكانية متكاملة، من خلال تحليل الخرائط التفاعلية لمنصة حلول المناخ التي تضم قاعدة بيانات تشمل (١٢) مؤشرًا رئيسًا لتغير المناخ، تتفرع إلى (٤٢) مقياسًا كميًا، إلى جانب مجموعة من السيناريوهات المستقبلية. المنهجية: اعتمد البحث على المنهج التقني التحليلي–الوصفي في إعداد وتحليل الخرائط، عبر مواءمة المؤشرات المناخية مع الخصائص المكانية وتوقعات التغير السكاني ضمن سيناريوهات مناخية واجتماعية واقتصادية. النتائج: شملت الدراسة تحليل أنماط رئيسة من المؤشرات، منها: التساقط المطري، والموارد المائية، ودرجات الحرارة والإجهاد الحراري، ومتطلبات الطاقة، وتلوث الهواء، واستخدامات الأرض، مع التركيز على مجموعة منتقاة من المؤشرات الأكثر تأثيرًا وتطبيقها على العراق. تم دمج هذه المؤشرات مع تقنية التوأم الرقمي للذكاء الجغرافي المكاني (GeoDT)، من خلال توظيف البيانات الضخمة لبناء نماذج تحليلية متقدمة لتقييم سيناريوهات التنبؤ المناخي، واستكشاف اتجاهات التغير المستقبلية للفترة (٢٠١٨–٢٠٧٠)، والتي تضمنت مؤشرات الانبعاثات، والطلب على الطاقة، ومصادر الوقود، وتوقعات الطاقة، وتحولات نظم الطاقة، وإمدادات الكهرباء. الاستنتاجات: توصل البحث إلى إنتاج عرض مرئي تفاعلي للخرائط الخاصة بكل مؤشر، مدعومًا بتحليل تفسيري ومؤشرات مقارنة، أظهرت أن تكامل الخرائط التفاعلية مع تقنيات التوأم الرقمي وقواعد البيانات الضخمة يمثل أداة علمية متقدمة لتعزيز فهم ديناميكيات التغير المناخي، وتوفير قاعدة معلومات دقيقة تدعم متخذي القرار في مجالي التخطيط المكاني وإدارة الموارد، بما يسهم في تحسين كفاءة استراتيجيات التكيف والتخفيف المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: التوأم الرقمي، خرائط تفاعلية، حلول مناخ، سيناريوهات تنبؤ، علوم مكانية.

---

[*] **استاذ، دكتوراة، قسم تربية الفلوجة، الاشراف التربوي.**

[*] **استاذ، دكتوراة، قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة الانبار.**

١. المقدمة (Introduction):

يُعدّ التغير المناخي أحد أكثر التحديات إلحاحًا في العصر الحديث، إذ تتجلى آثاره الجغرافية في ظواهر متطرفة مثل الفيضانات والجفاف وموجات الحر. وفي هذا السياق، برزت تقنيات الذكاء الجغرافي المكاني كأدوات تحليلية أساسية لدعم الفهم العلمي واتخاذ القرار. كما تُعد خرائط حلول المناخ والتوأم الرقمي للذكاء الجغرافي المكاني من الأدوات المتقدمة في تحليل التغيرات المناخية وتقييم سيناريوهات التنبؤ المستقبلية، بالاعتماد على تكامل البيانات الجغرافية المكانية وتقنيات الذكاء الاصطناعي. تمثل خرائط حلول المناخ (Climate Solution Mapping) مرئيات ديناميكية وخرائط تفاعلية تعتمد على نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والبيانات المناخية المعقدة لتحديد وتحليل وتوصيل المخاطر والفرص المرتبطة بالتغير المناخي. أما التوأم الرقمي للذكاء الجغرافي المكاني (Geospatial AI Digital Twin) فهو نموذج افتراضي يحاكي بدقة أنظمة أو كيانات حقيقية مثل المدن أو النظم المائية أو الغلاف الجوي، ويتم تحديثه بشكل لحظي اعتمادًا على البيانات الراصدة والنماذج التحليلية. وعند تأسيسه على نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، يتحول إلى توأم رقمي جغرافي مكاني قادر على محاكاة الواقع وتحليل ديناميكياته البيئية. ويُعد هذا النهج من أبرز التطورات الحديثة في تحليل النظم البيئية والتخطيط المستدام، إذ يدمج بين البيانات المكانية والاستشعار عن بُعد ونماذج المحاكاة الذكية لإنشاء بيئات رقمية موازية للواقع قادرة على تتبع التغيرات المناخية. يهدف هذا البحث إلى استعراض تطبيقات خرائط حلول المناخ (CSM) والتوأم الرقمي في العراق، مع التركيز على نماذج تقييم سيناريوهات التنبؤ المناخي، بما يدعم بناء سياسات تكيف قائمة على الأدلة الرقمية والذكاء الجغرافي المكاني. يلاحظ الشكل (١) ملخص منهجية البحث.

الشكل (١) ملخص منهجية البحث

عمل الباحثان بنموذج الذكاء الاصطناعي لوفارت.

٢.١ **المشكلة(Problem)** : يتمحور هذا البحث حول الإشكالية الرئيسة الآتية:

كيف يمكن توظيف منصة خرائط حلول المناخ والتوأم الرقمي للذكاء الجغرافي المكاني في تقييم سيناريوهات التنبؤ المناخي في العراق، بما يسهم في تعزيز عملية اتخاذ القرار ودعم مسارات التنمية المستدامة؟

١. ٣ **الفرضية(Hypothesis)**: ينطلق هذا البحث من فرضية مفادها:

أن توظيف منصة خرائط حلول المناخ بالتكامل مع تقنيات التوأم الرقمي والذكاء الجغرافي المكاني يسهم بفاعلية في رفع دقة وكفاءة تقييم سيناريوهات التنبؤ المناخي في العراق مقارنة بالأساليب التقليدية، ويعزز بناء نماذج مكانية تفاعلية متقدمة قادرة على تمثيل التغيرات المناخية المستقبلية، بما يدعم اتخاذ القرار ويوجه السياسات نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

٤.١ الأهداف: (Objectives)

١. توظيف منصة حلول المناخ ودمج تقنيات التوأم الرقمي المدعوم بالذكاء الجغرافي المكاني في نمذجة ومحاكاة المخاطر المناخية المستقبلية في العراق.
٢. تقديم تحليل وصفي للبيانات المناخية التفاعلية بما يسهم في تحسين دقة التنبؤات المناخية.
٣. استكشاف إمكانات تطبيق النماذج المتقدمة في البيئة الجغرافية للعراق.
٤. تقييم كفاءة ودقة النماذج التنبؤية في محاكاة التغيرات المناخية المحتملة، واقتراح آليات توظيف التوأم الرقمي في دعم اتخاذ القرار والسياسات المناخية.

٥.١ الاهمية: (Significance) تكمن أهمية البحث على الاتي: **تكمن أهمية هذا البحث في**

١. يسهم في توظيف مفاهيم الذكاء الجغرافي المكاني والتوأم الرقمي في الدراسات المناخية، بما يسد فجوة بحثية تتعلق بتطبيق خرائط حلول المناخ ضمن إطار تطبيقي متكامل.
٢. يقدم منهجية معرفية حديثة تعتمد على الذكاء الاصطناعي في تفسير الظواهر المناخية، مما يفتح آفاقاً جديدة للبحث العلمي في التحليل المكاني التنبؤي.
٣. يزود المؤسسات المعنية بأداة علمية متقدمة لتقييم المخاطر المناخية المحتملة، بما يدعم صياغة سياسات التكيف المناخي واتخاذ القرار.
٤. يدعم التخطيط الاستراتيجي للحد من آثار التغيرات المناخية من خلال وضع خطط تكيف تتناسب مع حجم وطبيعة المخاطر المناخية.

٥.١ الحدود: (Boundaries):

يستعرض البحث الحدود المكانية لدراسة العراق ضمن إطار جغرافي يغطي المدة الزمنية من (١٩٧٩- ٢٠٦٠). أما الحدود الموضوعية للدراسة فتتمثل في تحليل مؤشرات الجفاف وفق

سيناريوهات التغير المناخي العالمية. يقع العراق في غرب قارة آسيا، ويحده من الشمال تركيا وإيران، ومن الجنوب المملكة العربية السعودية، ومن الغرب الأردن وسوريا. كما يمتد جغرافياً بين خطي العرض (٢٩°٥٨′–٣٧°٢٢′) شمالاً، وخطي الطول (٣٩°١٨′–٤٨°٥٠′) شرقاً، ما يمنحه موقعاً استراتيجياً في الجزء الشرقي من الوطن العربي وفي قلب منطقة الشرق الأوسط. ويُظهر هذا الموقع الجغرافي أهمية العراق من الناحية المناخية والبيئية، الأمر الذي يجعل دراسته ذات خصوصية في تحليل مؤشرات الجفاف والتغيرات المناخية. ويُلاحظ ذلك في الخريطة (١).

خريطة (١) حدود منطقة البحث الوحدات الإدارية للعراق

المصدر: جمهورية العراق، وزارة الموارد المائية، مديرية المساحة العامة، قسم انتاج الخرائط، خريطة العراق مقياس ١:(١٠٠)٠٠٠٠ سنة ٢٠١٨ تحسين كارتوغرافي بنموذج الذكاء الصناعي (Gemini pro 3.2)

٢. الدراسات السابقة:

- **دراسة (يحيى، ب و سيكر، د.، ٢٠١٨):** قامت الدراسة بتصميم نموذج للتنبؤ بمتغيرات مناخية مختارة في محافظة نينوى، الواقعة شمال غرب العراق، بالاعتماد على الشبكات العصبية الاصطناعية، إلا أنها لم تتناول الخرائط التفاعلية ذات الدمج والتكامل التقني.

- **دراسة (Park, J. و .J، ٢٠٢٠):** تهدف هذه الدراسة إلى تطوير مخطط هيكلي لنظام التوأم الرقمي المدعوم بنظم المعلومات الجغرافية، واستكشاف التقنيات الجغرافية المكانية التي يمكن أن تسهم في نشر نظام التوأم الرقمي في مشروع واقعي، ولا سيما في مجال التقييم المستدام لانبعاثات الكربون، إلا أنها لم تتناول نماذج مناخية تطبيقية، كما لم توظف منصات تفاعلية مدعومة بالذكاء الاصطناعي في منهجيتها.

- **دراسة (محمد و حسن، ٢٠٢٢):** استُخدم في هذه الدراسة نموذج LARS-WG6.0 لتوليد بيانات الطقس والتنبؤ بالتغيرات المستقبلية في هطول الأمطار ودرجات الحرارة، إضافة إلى خمسة نماذج مناخية عالمية للتنبؤ وفق سيناريوهين للانبعاثات (RCP8.5 وRCP4.5) خلال ثلاث فترات زمنية مختارة، إلا أن الفجوة البحثية تمثلت في التركيز على متغيرين فقط هما الأمطار ودرجات الحرارة.

- **دراسة (الدليمي، ٢٠٢٤):** هدفت هذه الدراسة إلى تحليل الخصائص المكانية والزمانية لدرجات الحرارة وهطول الأمطار في شمال العراق باستخدام نموذج LARS-WG (٨)، إلا أنها لم تتناول بشكل تفصيلي نماذج حلول المناخ أو المنصات التفاعلية.

ويتضح من الدراسات السابقة أنها لم تتناول موضوع خرائط حلول المناخ التفاعلية (Climate Solution Mapping – CSM) ضمن إطار تكاملي مع التوأم الرقمي، وهو ما يتناوله هذا البحث بشكل تطبيقي.

٣. منهجية البحث (Methodology):

يعتمد البحث على منهجية متعددة المراحل تجمع بين التحليل الكمي المتقدم (النمذجة) والتطبيق الجغرافي المكاني من خلال النمذجة الجغرافية المكانية والذكاء الاصطناعي (GeoAI and Modeling). وتم استخدام البيانات المناخية المفتوحة عبر المنصة التفاعلية، مع مقارنة نتائج التوأم الرقمي بالبيانات التاريخية ومخرجات النماذج الأخرى للتحقق من الدقة، إضافة إلى بناء توأم

رقمي مناخي لتحليل السيناريوهات التنبؤية وتقييم موثوقية النماذج ودعم اتخاذ القرار المناخي. اعتمد البحث على منصة مستكشف حلول المناخ (Climate Solutions Explorer) * لرسم الخرائط وتحليل مسارات التخفيف والتأثيرات المناخية والمخاطر المرتبطة بالتغير المناخي والتنمية، إلى جانب استخدام نماذج الدوران العام (GCMs) والنماذج الهيدرولوجية ونماذج التأثير ضمن مشروع مقارنة نماذج التأثير بين القطاعات (ISIMIP)، وهي نماذج تحاكي مناخ الأرض. كما تم توظيف نموذج الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Nano Banana Pro3.5) لتعزيز عمليات التحليل والتنبؤ المكاني.

٤. النتائج والمناقشة:

١.٤ التوأم الرقمي والذكاء الجغرافي المكاني (GEOAIDT):

تُمكّن التوائم الرقمية محللي الاستخبارات الجغرافية المكانية من إنشاء نماذج تفصيلية للمناطق ذات الأهمية، سواء أكانت منطقة نزاع أم أرضًا تابعة للخصم. تحاكي هذه النماذج المناطق بدقة عالية، مستخدمةً تقنيات التعرف على الأنماط ودمج البيانات المدعومة بالذكاء الاصطناعي. يُمكّن هذا النهج الاستباقي المحللين من التنبؤ بتحركات الخصم، ما يمنحهم ميزة تنافسية في العمليات الاستخباراتية. على سبيل المثال، تُساعد أدوات تحليل الصور القائمة على الشبكات العصبية التلافيفية في تحديد المعدات أو البنية التحتية العسكرية. (**McCall، ٢٠٢٣، صفحة ٢٢**).

يُعزز دمج الذكاء الاصطناعي في عمليات العمل الجغرافية المكانية، بما في ذلك التعلم الآلي لمعالجة سحابة نقاط الليدار، قدرات تقنيات المسح ورسم الخرائط التقليدية مثل المسح الليزري، والتصوير المساحي الرقمي، ورسم الخرائط المتنقلة، والطائرات المسيّرة. وقد جعلت هذه الابتكارات التقاط الواقع أكثر تطوراً ودقة من أي وقت مضى، (**Byrne, 2025, p. 13**) تُعدّ التوائم الرقمية ذات قيمة بالغة في قطاعات مثل المرافق العامة والنقل والإنشاءات، إذ تُعتبر المعلومات الدقيقة والآنية ضرورية. ففي إدارة شبكات الطاقة، على سبيل المثال، تُوفّر التوائم الرقمية رؤى آنية حول حالة البنية التحتية، مما يُساعد على تحديد نقاط الضعف وتحديد أولويات الصيانة. ومع

*https://www.climate-solutions-explorer.eu/about

ازدياد تواتر الظواهر الجوية المتطرفة، تُصبح هذه الأدوات أساسية للحفاظ على موثوقية وسلامة الشبكة.

تعتبر التوأمة الرقمية (Digital Twin) واحدة من أحدث التقنيات الجيومكانية. فهي تمثل نسخة رقمية مطابقة لنظام أو عملية أو منتج في العالم الحقيقي، وتتيح للمختصين التحليل والتنبؤ بسلوك هذه الأنظمة وتفاعلها مع البيئة المحيطة بها، وهي نموذج رقمي متقدم يجمع بين البيانات الحقيقية والمحاكاة لإنشاء تمثيل رقمي دقيق، مما يتيح مراقبة أدائه وتحسينه واتخاذ قرارات مستنيرة بشأن صيانته وتطويره. **(geoportal.sa، ٢٠٢٢)** .تكمن أهمية التوأمة الرقمية في قدرتها على:

- تحسين الأداء.
- زيادة الكفاءة.
- اتخاذ قرارات أفضل.

أمثلة على استخدام التوأمة الرقمية:

- سيناريو محاكاة حدوث سيول باستخدام التوأمة الرقمية.
- محاكاة التشجير وتأثيرها على الانبعاثات الكربونية باستخدام التوأمة الرقمية.
- محاكاة حدوث حريق باستخدام التوأمة الرقمية.

٢.٤ مستكشف حلول المناخ التفاعلية:

يقدم مستكشف حلول المناخ خرائط ومعلومات حول مسارات التخفيف والتأثيرات المناخية القابلة للتجنب، بالإضافة إلى ضعف التنمية ومخاطر تغير المناخ. باستخدام أحدث البيانات والنماذج المتطورة، تم تقييم الاتجاهات المستقبلية لمؤشرات تحديات التنمية والمناخ. **(Edward Byers، ٢٠٢٣).**

مع ارتفاع درجة الحرارة العالمية نتيجةً لتغير المناخ في القرن الحادي والعشرين، سيواجه المزيد من الناس مخاطر مرتبطة بتغير المناخ. وللمساعدة في فهم مواقع هذه المخاطر وعدد الأشخاص الذين قد يتأثرون بها، أنشأنا قاعدة بيانات تضم ١٢ مؤشرًا لتغير المناخ، تتضمن ٤٢ قياسًا مختلفًا، تتتبع تغير هذه المؤشرات مع اختلاف الزيادات في متوسط درجة الحرارة العالمية (١.٢ درجة مئوية – ٣.٥ درجة مئوية) مقارنةً بعالم خالٍ من تغير المناخ الناجم عن الأنشطة البشرية. تغطي هذه المؤشرات قطاعات مختلفة، مثل هطول الأمطار، وموارد المياه، ودرجة الحرارة، والطلب على

الطاقة، ويمكن استكشافها بمزيد من التفصيل في مستكشف التأثيرات (.F، .Fricko, O، .Byers, E، .Werning, M.، و .Krey, V، ٢٠٢٣، صفحة ٣٣).

كمدخلات، استخدمت بيانات من نماذج الدوران العام (GCMs) ونماذج هيدرولوجية ونماذج تأثير أخرى من مشروع مقارنة نماذج التأثير بين القطاعات (ISIMIP). نماذج الدوران العام هي نماذج حاسوبية معقدة تحاكي مناخ الأرض، وتُعتبر أفضل أداة علمية لتمثيل المناخات المستقبلية. يجمع مشروع ISIMIP علماء من مختلف التخصصات باستخدام نماذج مختلفة، ويتيح مقارنة نتائجهم. حُسبت المؤشرات من مجموعة فرعية من نماذج الدوران العام التابعة لمشروع ISIMIP، والتي اختيرت لمراعاة النطاق الكامل لعدم اليقين فيما يتعلق بدرجات الحرارة وهطول الأمطار في المناخات المستقبلية. (**.F، .Fricko, O، .Byers, E، .Werning, M.، و .Krey, V، ٢٠٢٣، صفحة ٤٤**).

لتسهيل فهم المخاطر التي تُشكلها المؤشرات المختلفة، تم انشاء نظام تقييم يتراوح من (٠) (لا يوجد خطر إضافي) إلى (٦) (خطر شديد جدًا). يجمع هذا النظام معلومات حول شدة هذه المخاطر وكيفية تغيرها مع ارتفاع درجات الحرارة. يُعد كلا العنصرين مهمين نظرًا لتأثيرهما على تأثير الخطر المناخي. على سبيل المثال، إذا كنت تعيش في منطقة من العالم تشهد بالفعل ٦٠ ليلة استوائية سنويًا، فإن مضاعفة هذه النسبة ستكون مختلفة تمامًا عن شخص يعيش في منطقة من العالم تشهد خمس ليالٍ فقط من هذا القبيل. من العوامل المهمة أيضًا مساحة الأرض وعدد الأشخاص المعرضين لهذه المخاطر. لحساب هذه الإحصاءات، جمعنا مؤشراتنا مع مساحة الأرض وتوقعات كيفية تغير حجم السكان في ظل سيناريوهات اجتماعية واقتصادية مختلفة، كما هو موضح في المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة (SSPs). بالنسبة للبيانات المعروضة على هذا الموقع الإلكتروني، يُعرّف مصطلح "مُعرَّض" بأنه التعرض لخطر متوسط على الأقل (أو درجة تساوي أو تزيد عن ٣). تتوفر إحصاءات التعرض لكل دولة على لوحات المعلومات الوطنية.

١.٢.٤ تغير المناخ *

* (الاحترار العالمي بالدرجة المئوية منذ فترة ما قبل الثورة الصناعية)

سيناريو تغير المناخ مُحدد بمتوسط درجة الحرارة العالمية، مقارنةً بالفترة التاريخية ما قبل الثورة الصناعية. **(Edward Byers، ٢٠٢٣، صفحة ٢٣٢)**، ويمكن توضيح ذلك على النحو الآتي:

- يُعد نحو (١.٢) درجة مئوية المتوسط التقريبي الحالي لدرجة حرارة سطح الأرض عالميًا.
- تمثل درجتا (١.٥) و(٢) درجة مئوية الأهداف الطموحة لاتفاقية باريس للمناخ.
- يعكس نطاق (٢.٥) إلى (٣) درجات مئوية السيناريو المتوقع في حال استمرار سياسات التخفيف الحالية دون تعزيزها.
- قد تصل الزيادة إلى (٣.٥) درجات مئوية في حال انعكاس السياسات الحالية، أو إذا كانت حساسية المناخ وردود الفعل المناخية أعلى من التقديرات المركزية.

٢.٢.٤ مستكشف التأثيرات/ المؤشرات:

تستند بيانات تأثيرات المناخ (والتعرض المتجنب) المعروضة إلى مناهج مستوى الاحترار العالمي، حيث تُعرض التأثيرات عند درجات (١.٢، ١.٥، ٢، ٢.٥، ٣، و٣.٥) درجة مئوية مقارنةً بفترة ما قبل الثورة الصناعية **(Edward Byers، ٢٠٢٣، صفحة ٤٤)**، وذلك ضمن إطار مشروع (ISIMIP3a). وقد تم الاعتماد على متوسط النماذج المتعددة لخمسة نماذج مناخية عالمية (GCMs) من مشروع (CMIP6)، إضافة إلى أربعة نماذج من مشروع (CMIP5) ضمن (ISIMIP2b) للمؤشرات الهيدرولوجية. كما جرى تقليص نطاق بيانات النماذج المناخية العالمية ومعالجة الانحياز الإحصائي لها، لتصل إلى دقة شبكية مقدارها (٠.٥) درجة **(McCall، ٢٠٢٣، صفحة ٨٩)**.

١.٢.٢.٤ خرائط هطول المطر (climate-solutions-explorer.eu):

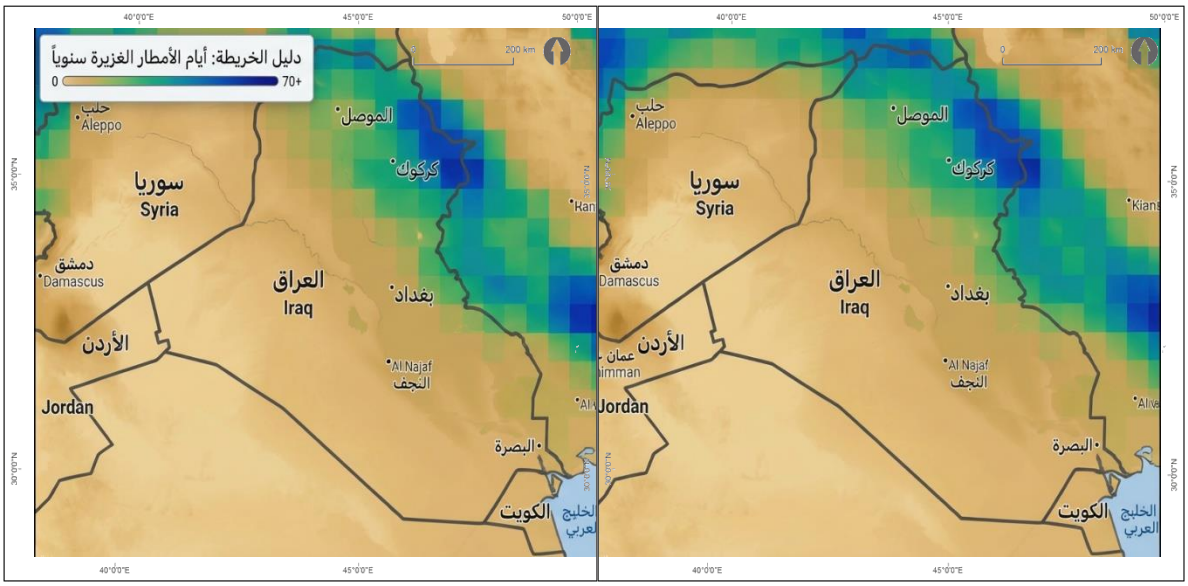
عدد أيام هطول الأمطار الغزيرة: يمثل العدد السنوي للأيام التي يكون فيها معدل الهطول ≤ (١٠) ملم/يوم. خريطة (٢) (الشكل ٢).

عدد أيام هطول الأمطار الغزيرة جداً: يمثل العدد السنوي للأيام التي يبلغ فيها معدل الهطول ≤ (٢٠) ملم/يوم. خريطة (٣).

الأيام الممطرة الشديدة: إجمالي الهطول السنوي للأيام التي يتجاوز فيها الهطول النسبة المئوية الخامسة والتسعين من القيم التاريخية. خريطة (٤).

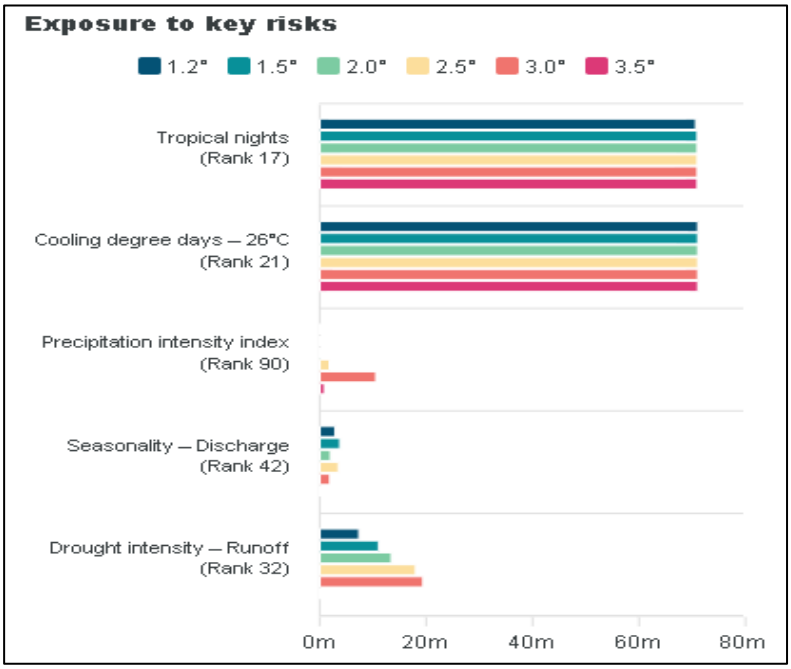
مؤشر شدة الأمطار اليومي البسيط: يُحسب من خلال قسمة إجمالي الهطول السنوي على عدد الأيام الرطبة. خريطة (٥).

الخريطة (٢) **الخريطة (٣)**



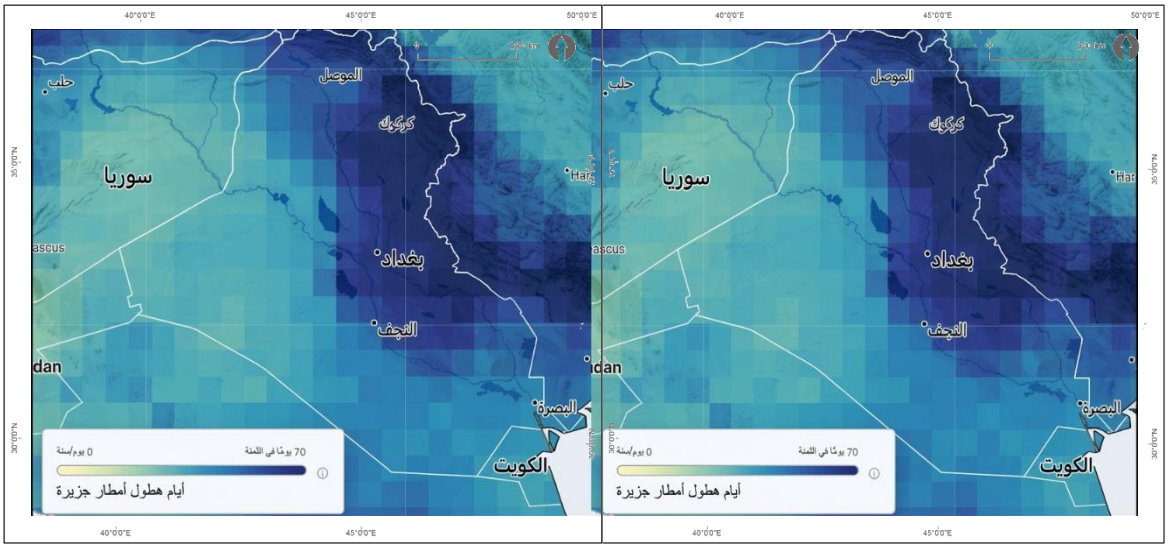
عمل الباحثان المسند الى مستكشف حلول المناخ (Climate Solutions Explorer) ونموذج الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Nano Banana Pro3.5).

الشكل (٢) مؤشرات المقارنة لهطول المطر ومواسم متوسطات درجات الحرارة– العراق



المصدر: *(ويكيبيديا، ٢٠٢١)*

الخريطة (٤) الخريطة (٥)



عمل الباحثان المسند الى مستكشف حلول المناخ (Climate Solutions Explorer) ونموذج الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Nano Banana Pro3.5).

٢.٢.٢.٤ موارد المياه:

- **شدة الجفاف:**

يشير التغير في شدة الجفاف إلى المناطق التي تشهد ازديادًا في حدة الجفاف، بوصفه دالة لكل من مدة الجفاف ونقص الموارد المائية. وتجدر الإشارة إلى عدم توفر بيانات عند مستوى الاحترار (٣.٥) درجة مئوية، وذلك نتيجة محدودية المخرجات من النماذج الهيدرولوجية. خريطة (٦) (شدة الجفاف/الجريان السطحي). ويُعرَّف مؤشر شدة الجفاف بأنه العلاقة بين العجز اليومي في حجم المياه (م^3/ث) عندما يكون أقل من النسبة المئوية العاشرة للتصريف اليومي(Q90) ، ومدة حدث الجفاف (بالأيام)، وفقاً لما ورد في(Wanders & Wada ، ٢٠١٥، ص ١٢٢). وتعتمد الحسابات على نماذج الدوران العام للمناخ، إذ تم استخدام أربعة نماذج من نماذج (ISIMIP) للدوران العام للمناخ، إضافة إلى النماذج الهيدرولوجية (H08؛ LPJmL؛ MATSIRO).

- **الموسمية:**

يشير متوسط التغير في مؤشر الموسمية إلى المواقع التي يُتوقع أن تزداد فيها الفروقات بين المواسم الرطبة والجافة، بما يعني ارتفاع تقلبات توافر المياه الموسمي وصعوبة التنبؤ به. وتجدر

الإشارة إلى عدم توفر بيانات عند مستوى الاحترار (٣.٥) درجة مئوية بسبب محدودية المخرجات من النماذج الهيدرولوجية. خريطة (٧) (شدة الجفاف/الجريان السطحي). ويُحسب مؤشر الموسمية اعتمادًا على معامل التباين (الانحراف المعياري مقسومًا على المتوسط) لمتوسط التصريف الشهري (dis) أو الجريان السطحي (qtot). وتشير القيم المنخفضة (<١) إلى انخفاض الموسمية، أي أن التدفقات المائية لا تختلف بشكل كبير على مدار السنة.

- **التباين في السنوات:**

يشير متوسط التغير في مؤشر التباين بين السنوات إلى المواقع التي يُتوقع أن تزداد فيها الفروقات بين السنوات الرطبة والجافة، بما يعكس ارتفاع عدم الاستقرار في توافر المياه السنوي وصعوبة التنبؤ به. وتجدر الإشارة إلى عدم توفر بيانات عند مستوى الاحترار (٣.٥) درجة مئوية بسبب محدودية المخرجات من النماذج الهيدرولوجية (خريطة ٨). ويُحسب هذا المؤشر باستخدام معامل التباين (الانحراف المعياري مقسومًا على المتوسط) لمتوسط التصريف السنوي (dis) أو الجريان السطحي (qtot). وتشير القيم المنخفضة (<٠.٥) إلى تباين منخفض بين السنوات، أي أن التدفقات السنوية لا تختلف بشكل ملحوظ بين سنة وأخرى.

- **مؤشر الإجهاد المائي:**

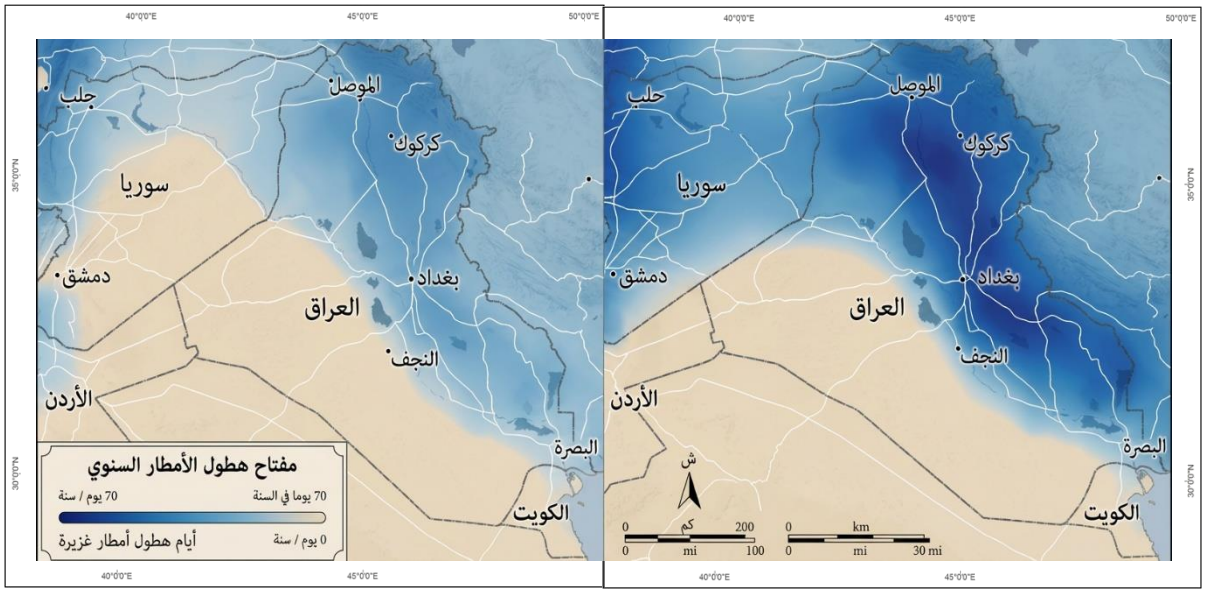
يقارن مؤشر الإجهاد المائي بين الطلب على المياه والإمدادات المائية المتاحة. ويعني ارتفاع الإجهاد المائي أن نسبة كبيرة من المياه المتاحة تُستخدم.

- لا يوجد توتر: wsi <٠.١
- الضغط المنخفض: wsi ≥ 0.1 wsi <٠.٢
- إجهاد متوسط: ٠.٢ ≤ wsi <٠.٣
- الإجهاد المرتفع: ٠.٣ ≤ wsi < ٠.٤
- إجهاد مرتفع للغاية: wsi > ٠.٤

الحساب: نسبة صافي الطلب البشري (المنزلي، الصناعي، الري) مقسومة على توافر المياه السطحية المتجددة، والمعروفة أيضًا بنسبة السحب إلى التوافر (**F.، Fricko, O.، Byers, E.، Werning, M.، و Krey, V.، ٢٠٢٣، صفحة ٤٤**). تم حساب المؤشر باستخدام بيانات التصريف الشهرية (مع توجيه التصريف المجتمعي "pressoc"). تم حساب الطلب على المياه باستخدام سيناريوهات SSP من مبادرة IIASA لمستقبل المياه وحلولها، إذ يمكن الاطلاع

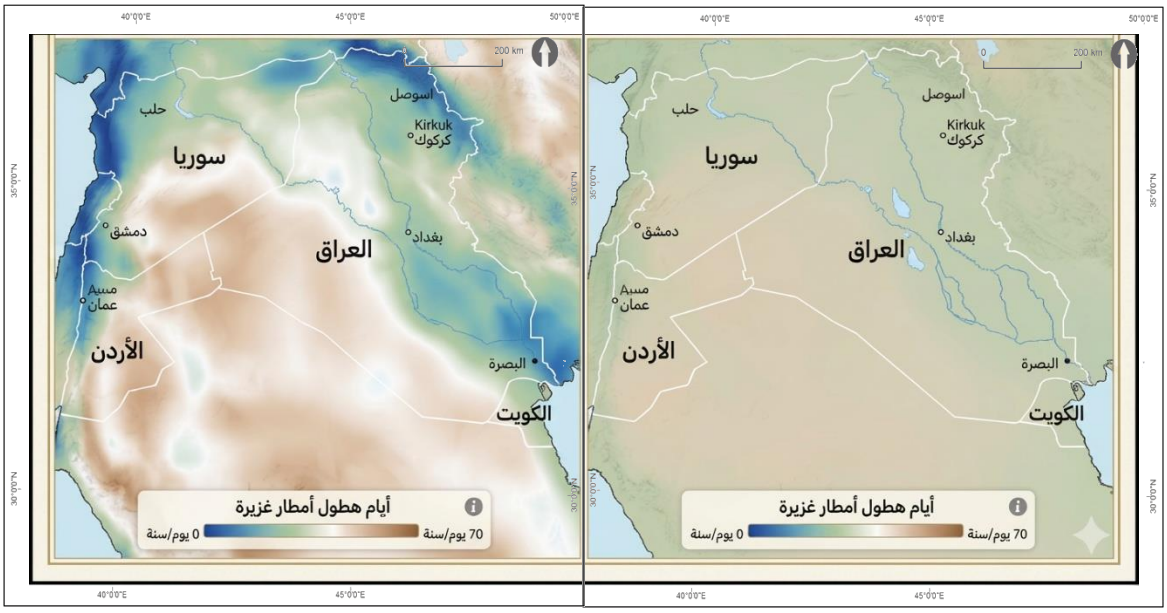
على مزيد من التفاصيل حول تطوير السيناريوهات ووصف النماذج (**بوريك وآخرون، ٢٠١٦؛ ساتوه وآخرون، ٢٠١٧**). (خريطة ٩).

الخريطة (٦) **الخريطة (٧)**



عمل الباحثان:(Climate Solutions Explorer) ونموذج (Nano Banana Pro3.5).

الخريطة (٨) **الخريطة (٩)**



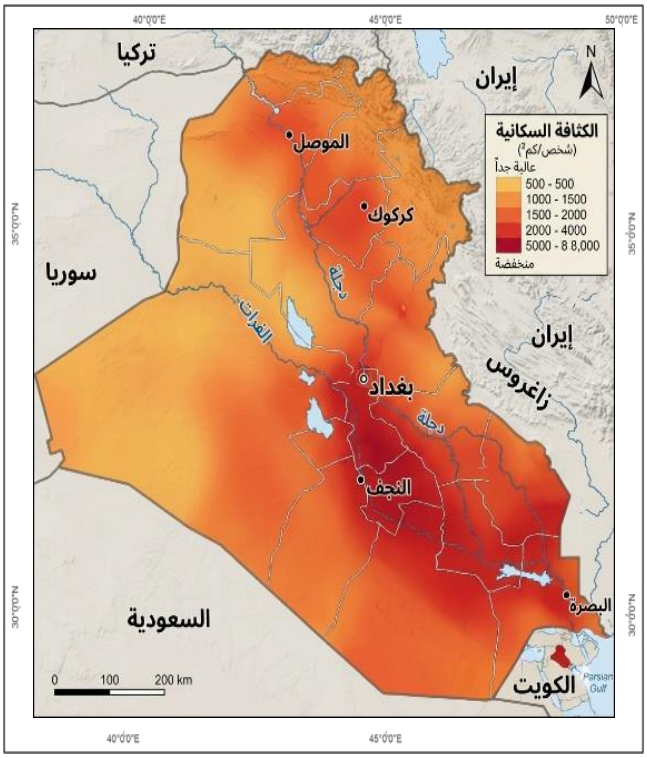
عمل الباحثان المسند الى مستكشف حلول المناخ (Climate Solutions Explorer) ونموذج الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Nano Banana Pro3.5).

٣.٢.٤ درجة الحرارة والاجهاد الحراري:

- **موجات الحر في السنة:**

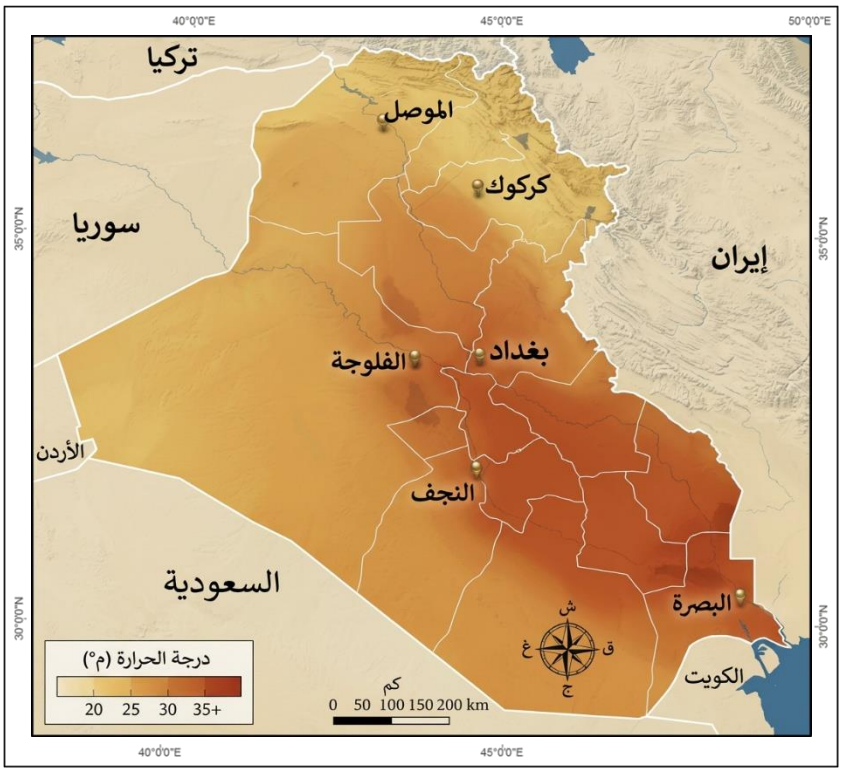
يمثل هذا المؤشر عدد موجات الحر السنوية، ويُعرّف بأنه عدد الفترات التي يحدث فيها ارتفاع في درجة الحرارة، مع اشتراط أن يكون الحد الأدنى لعدد الأيام المتتالية التي يتجاوز فيها متوسط درجة حرارة البصيلة الرطبة اليومية القيمة المئوية (٩٥٪) من القيم التاريخية، (خريطة ١٠).

الخريطة (١٠) عدد موجات الحر في السنة، مع الحد الأدنى لعدد الأيام المتتالية



يمثل مؤشر العدد التراكمي للأيام خلال السنة الناتجة عن أحداث موجات الحر، والتي تُعرَّف بأنها الفترات التي يستمر فيها الحد الأدنى من الأيام المتتالية التي يتجاوز فيها متوسط درجة حرارة البصيلة الرطبة اليومية المئوية (٩٥٪) من القيم التاريخية، (خريطة ١١).

الخريطة (١١) عدد الأيام التراكمي في السنة، من أحداث موجات الحر



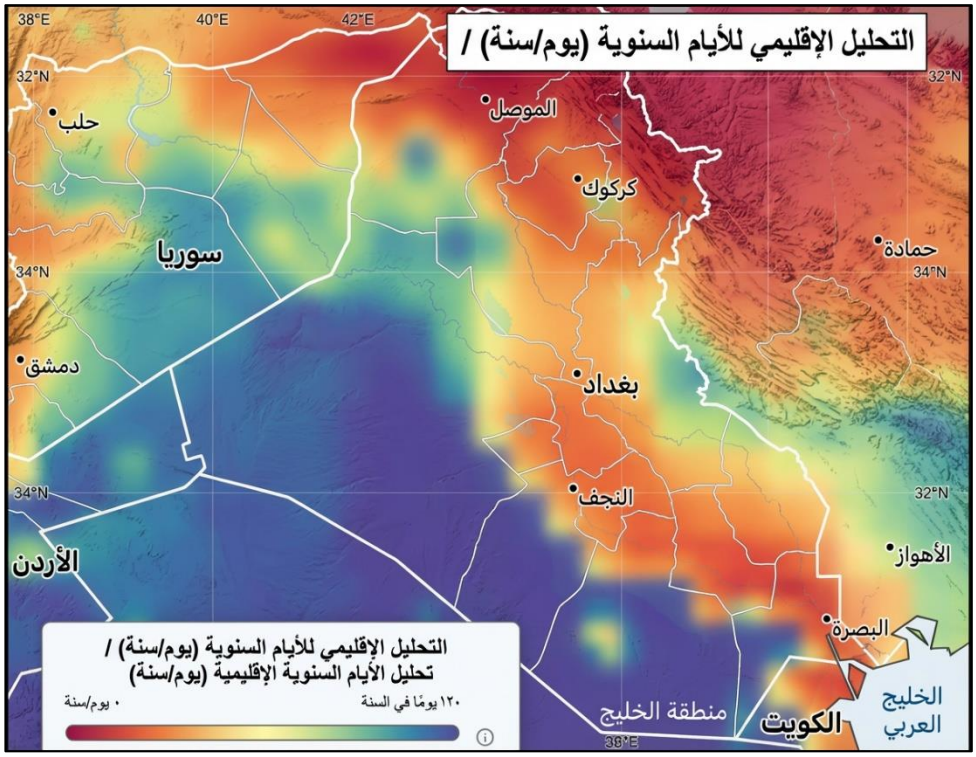
عمل الباحثان المسند الى مستكشف حلول المناخ (Climate Solutions Explorer) ونموذج الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Nano Banana Pro3.5).

٤.٢.٤ الغطاء الأرضي:

- **غطاء ارضي منخفض الكثافة:**

نسبة المساحة المغطاة باستخدامات الأراضي منخفضة الكثافة، بما في ذلك المناطق المحمية والغابات البكر والغابات المُدارة وغيرها من الغطاء النباتي الطبيعي، والتي تتميز عادةً بتنوع بيولوجي أعلى. (**Krey, V.، و .,.Werning, M ،.Byers, E ،Fricko, O.، F.**، **٢٠٢٣، صفحة ٧٧**) ويمكن أن تتغير درجة الحرارة القصوى المتاحة تبعًا لخطة التنمية المستدامة المختارة. خريطة (١٢) الحساب: تم تقديره كنسبة مئوية للتغير من حصة مساحة الأرض داخل البكسل التي يتم تحويلها من مجموع الاستخدامات منخفضة الكثافة إلى استخدامات أخرى، مثل الأراضي الزراعية والمراعي، في المستقبل كما تمت محاكاتها بواسطة نموذج GLOBIOM وتم تقليلها إلى ٠.٥ درجة (**Park, J.,، و .B، ٢٠٢٠، صفحة ٤٧**).

الخريطة (١٢) نسبة المساحة المغطاة باستخدامات الأراضي منخفضة الكثافة

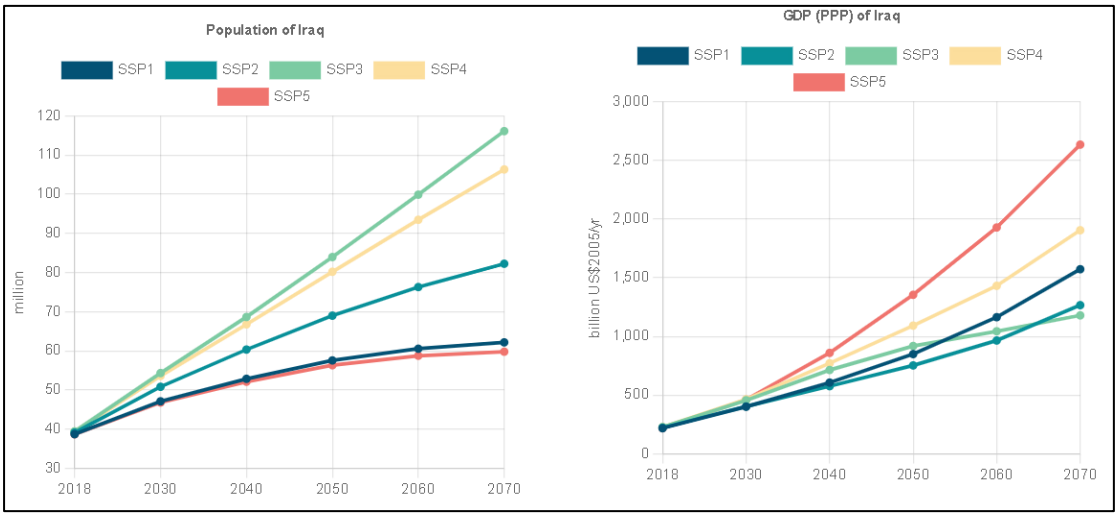


عمل الباحثان المسند الى مستكشف حلول المناخ (Climate Solutions Explorer) ونموذج الذكاء الاصطناعي الجغرافي (Nano Banana Pro3.5).

٥.٢.٤ الاقتصاد الاجتماعي:

بحسب السيناريوهات، قد يتراوح عدد سكان العراق بحلول عام ٢١٠٠ بين (٥٥.٩) مليون نسمة كحد أدنى و(١٦٣.٥) مليون نسمة كحد أعلى، مع تقدير مركزي يبلغ نحو (٩٠.٦) مليون نسمة. وتستند هذه التوقعات إلى إطار "المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة" (SSP)، المستخدم على نطاق واسع في دراسات المناخ لوصف سيناريوهات التخفيف والتكيف، مع الأخذ بعين الاعتبار مجموعة من العوامل الديموغرافية مثل الخصوبة ومستويات التعليم والهجرة. أما فيما يتعلق بالناتج المحلي الإجمالي، ووفقًا للتقديرات الوطنية المحدثة الصادرة عن منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، فمن المتوقع أن يتراوح بين (٢,١٨٥) مليار دولار أمريكي كحد أدنى و(٥,٦٧٧) مليار دولار أمريكي كحد أعلى (وفقًا لتعادل القوة الشرائية لعام ٢٠١٠)، مع تقدير متوسط يبلغ نحو (٣,١٧٣) مليار دولار أمريكي بحلول عام ٢١٠٠. يلاحظ الشكل (٣) (Edward Byers، ٢٠٢٣).

الشكل (٣) توقعات الناتج المحلي الإجمالي /يمين والتوقعات السكانية للعراق/يسارا



https://www.climate-solutions-explorer.eu/dashboard/IRQ/overview

٤-٣ نتائج الخرائط التحليلية لسيناريوهات تغير المناخ:

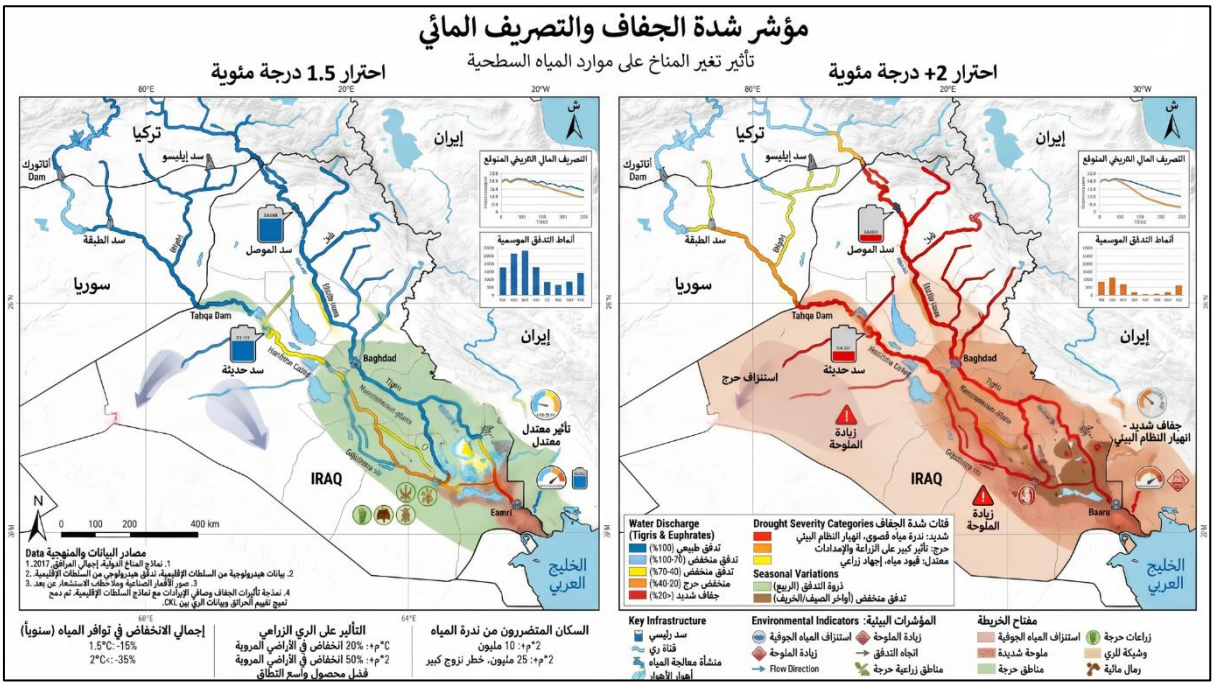
٤-٣-١ الخرائط التحليلية لسيناريوهات تغير المناخ بنماذج الذكاء الاصطناعي:

أبرز نتائج آثار تغير المناخ في العراق عند (١.٥) درجة مئوية مقارنة بمستويات الاحترار الأعلى، وفقًا لنموذج الذكاء الاصطناعي (Nano Banana Pro3.5):

•**ارتفاع أسرع في درجات الحرارة:** يُتوقع أن يشهد العراق ارتفاعًا في درجات الحرارة بمعدل يفوق المتوسط العالمي حتى ضمن سيناريو (١.٥) درجة مئوية، مع تزايد واضح في معدلات الارتفاع ضمن سيناريوهات الاحترار الأعلى.

•**تفاقم موجات الحر والجفاف:** تزداد وتيرة وشدة موجات الحر والجفاف في العراق عند مستوى (١.٥) درجة مئوية، إلا أنها تصبح أكثر حدة وتكرارًا في سيناريوهات الاحترار الأعلى، مما ينعكس سلبًا على القطاع الزراعي والموارد المائية (الخريطة١٣).

الخريطة (١٣) مؤشر شدة الجفاف والتصريف المائي في العراق



نموذج الذكاء الاصطناعي (nano banana).

•**ضغط متزايد على الموارد المائية:** يستمر تراجع تدفقات نهري دجلة والفرات نتيجة ارتفاع معدلات التبخر وانخفاض كميات الهطول المطري حتى عند مستوى (١.٥) درجة مئوية، ويتفاقم هذا الضغط بشكل كبير في مستويات الاحترار الأعلى، مما يهدد الأمن المائي في العراق.

•**زيادة العواصف الترابية:** يُتوقع ازدياد تكرار وشدة العواصف الترابية والرملية نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وتدهور الأراضي، وتكون هذه الظاهرة أكثر انتشارًا وحدةً في سيناريوهات الاحترار الأعلى.

•**تباين حرج في التأثيرات:** على الرغم من التحديات القائمة ضمن سيناريو (١.٥) درجة مئوية، إلا أن مستوى التأثيرات يبقى أقل حدة مقارنةً بسيناريوهات (٢) درجة مئوية فما فوق، إذ تصبح بعض الآثار أكثر خطورة وقد تكون غير قابلة للعكس.

•**أهمية الخرائط التحليلية:** تؤكد النتائج ضرورة اعتماد الخرائط التحليلية في تحديد المناطق الأكثر تعرضًا للمخاطر المناخية وفق مختلف السيناريوهات، بما يدعم التخطيط الفعّال لسياسات التكيف والتخفيف في العراق.

•**هشاشة العراق المناخية:** يُعد العراق من أكثر الدول هشاشةً أمام التغيرات المناخية، إذ تتجلى هذه التأثيرات بوضوح في تفاقم ظاهرتي الجفاف والفيضانات بصورة متزامنة.

•**الجفاف كتهديد رئيسي:** يمثل الجفاف التهديد المناخي الأبرز في العراق، نتيجة تراجع معدلات الأمطار وارتفاع درجات الحرارة وانخفاض تدفقات نهري دجلة والفرات، مما ينعكس سلبًا على الزراعة والموارد المائية ويزيد من معدلات النزوح الداخلي.

•**الفيضانات المتقطعة:** على الرغم من هيمنة ظاهرة الجفاف، يشهد العراق فيضانات مفاجئة ناجمة عن الأمطار الغزيرة غير المنتظمة وسوء إدارة الموارد المائية، مع توقع تزايد تقلبات الهطول المطري مستقبلًا.

•**أهمية هدف (١.٥) درجة مئوية:** يُسهم الحفاظ على الاحترار العالمي عند مستوى (١.٥) درجة مئوية في الحد من شدة وتكرار الظواهر المناخية المتطرفة مقارنةً بمستويات الاحترار الأعلى، مما يوفر مجالًا أوسع للتكيف الفعّال.

•**مخاطر تجاوز الهدف المناخي:** إن تجاوز مستوى (١.٥) درجة مئوية إلى (٢) درجة مئوية أو أكثر سيؤدي إلى تفاقم الجفاف وارتفاعات حرارية قياسية وزيادة الفيضانات المدمرة، بما يهدد الاستقرار البيئي والاقتصادي ويجعل جهود التكيف أكثر صعوبة وكلفة.

•**مؤشر مخاطر الموسمية:** يُعد مؤشرًا مركبًا لتقييم هشاشة الأنظمة المناخية الناتجة عن تغير الأنماط الموسمية من حيث التوقيت، والشدة، والمدة، وقابلية التنبؤ، ويعتمد على دمج مؤشرات مناخية وهيدرولوجية متعددة باستخدام أدوات (GIS) والنمذجة المناخية.

• **الأهمية التطبيقية للمؤشر في العراق:** رغم سيناريو (١.٥) درجة مئوية، تبقى التغيرات الموسمية ذات تأثير ملحوظ على المياه والزراعة والصحة العامة، مما يجعل هذا المؤشر أداة أساسية في تقييم الهشاشة المناخية ودعم التخطيط المستقبلي.

٤-٣-٢ العراق: الجفاف والفيضانات وتغير المناخ:

•**الهشاشة المناخية في العراق:** يعتبر العراق من أكثر الدول تأثرًا بالتغير المناخي بسبب موقعه الجغرافي وموارده المائية المحدودة. تتجلى هذه التأثيرات من خلال تفاقم ظاهرتي الجفاف والفيضانات وما يرتبط بها من انعكاسات بيئية واقتصادية واجتماعية.

•**الجفاف بوصفه التهديد المناخي الرئيس:** يمثل الجفاف التحدي المناخي الأبرز في العراق، إذ تتفاقم حدته بفعل انخفاض معدلات الهطول المطري، وارتفاع درجات الحرارة، وتراجع واردات نهري دجلة والفرات، الأمر الذي يؤدي إلى تدهور القطاع الزراعي، وانخفاض كفاءة الموارد المائية، وارتفاع معدلات الهجرة والنزوح الداخلي.

•**الفيضانات كخطر مناخي متكرر:** على الرغم من سيادة مظاهر الجفاف، إلا أن العراق يتعرض أيضًا إلى فيضانات مفاجئة ناتجة عن الأمطار الغزيرة غير المنتظمة، أو ضعف كفاءة إدارة الموارد المائية، مع توقع تزايد هذه الظاهرة نتيجة اختلال أنماط الهطول المطري المرتبطة بالاحترار المناخي.

•**أهمية الحفاظ على هدف (١.٥) درجة مئوية:** إن الحد من الاحترار العالمي عند مستوى (١.٥) درجة مئوية يسهم في تقليل شدة وتكرار الظواهر المناخية المتطرفة، ويمنح العراق فرصة أكبر لتعزيز استراتيجيات التكيف وتقليل الخسائر المرتبطة بالجفاف والفيضانات مقارنةً بمستويات الاحترار الأعلى.

•**مخاطر تجاوز مستويات الاحترار الأعلى:** إن تجاوز مستوى (١.٥) درجة مئوية إلى (٢) درجة مئوية أو أكثر سيؤدي إلى تفاقم حاد في موجات الجفاف، وارتفاع درجات الحرارة إلى مستويات قياسية، وزيادة احتمالات الفيضانات المدمرة، مما يهدد الأمن المائي والغذائي ويؤثر في الاستقرار البيئي والاقتصادي للدولة.

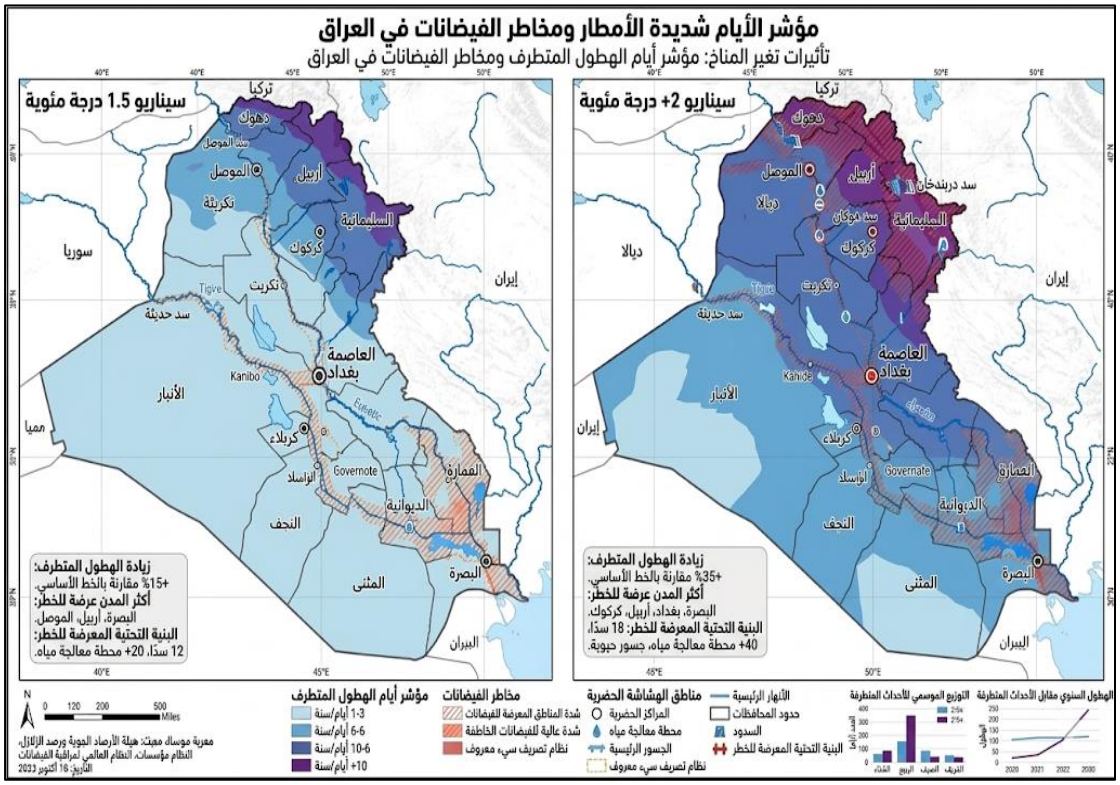
•**مؤشر مخاطر الموسمية:** يُعد مؤشر مخاطر الموسمية أداة تحليلية مركبة تهدف إلى قياس درجة الهشاشة الناتجة عن التغيرات في الأنماط المناخية الموسمية، مثل التوقيت، والشدة، والمدة، وقابلية

التنبؤ، وذلك من خلال دمج مؤشرات مناخية وهيدرولوجية متعددة تعكس طبيعة التأثيرات المناخية المستقبلية.

•**المكونات الرئيسة للمؤشر:** يشمل المؤشر تحليل التغيرات في موسمية هطول الأمطار، وتوزيعها الزمني، وفترات الجفاف والفيضانات، إضافة إلى موسمية درجات الحرارة، وموجات الحر، والتغيرات الهيدرولوجية المرتبطة بتدفقات الأنهار والمياه الجوفية، فضلًا عن تأثيرها في ملاءمة موسم النمو الزراعي والظواهر المتطرفة كالعواصف الترابية.

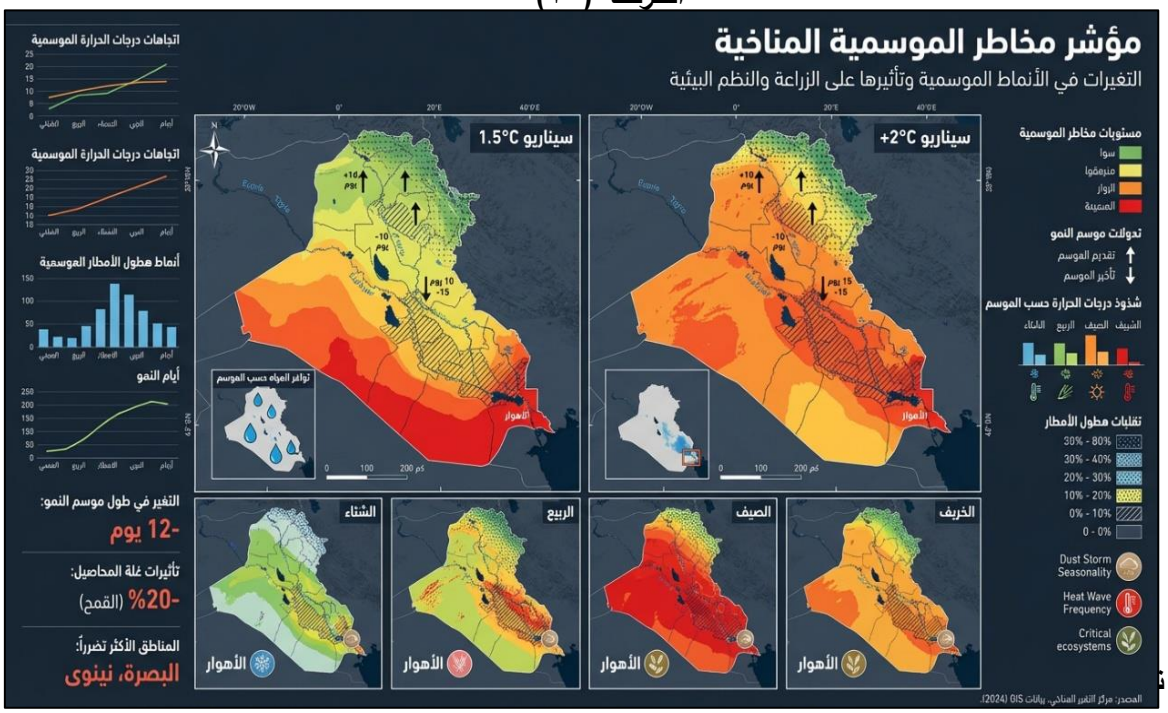
•**المنهجية المعتمدة:** تعتمد دراسة المؤشر على تحليل البيانات المناخية التاريخية، وإسقاطات النماذج المناخية العالمية مثل(CMIP6) ، للمقارنة بين سيناريو (١.٥) درجة مئوية وسيناريوهات الاحترار الأعلى، مع استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في التحليل المكاني وتحديد مناطق الهشاشة المناخية.

الخريطة (١٤)



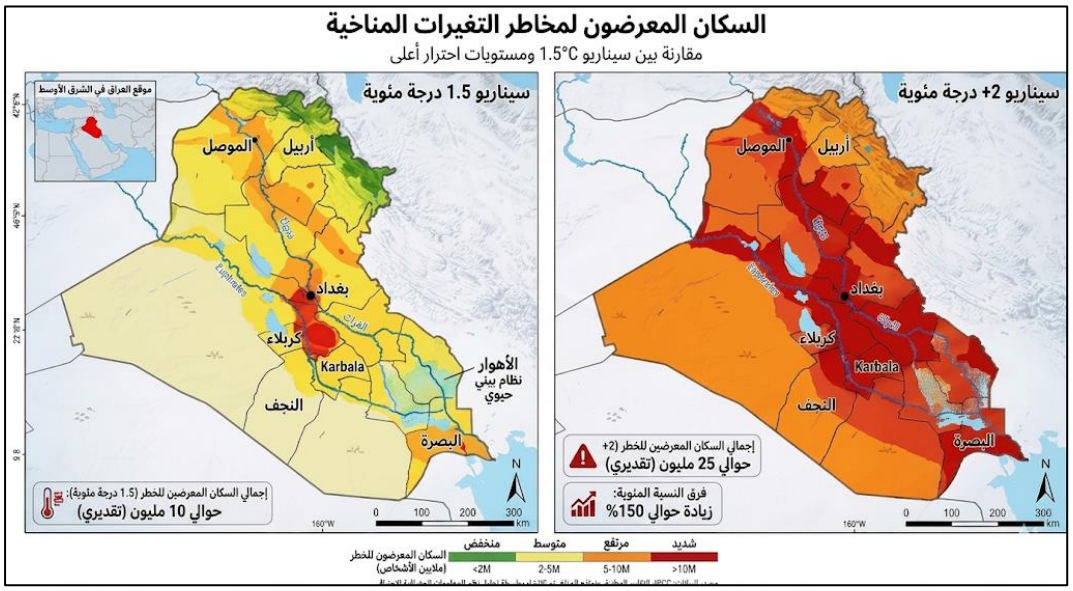
نموذج الذكاء الاصطناعي (nano banana pro).

الخريطة (١٥)

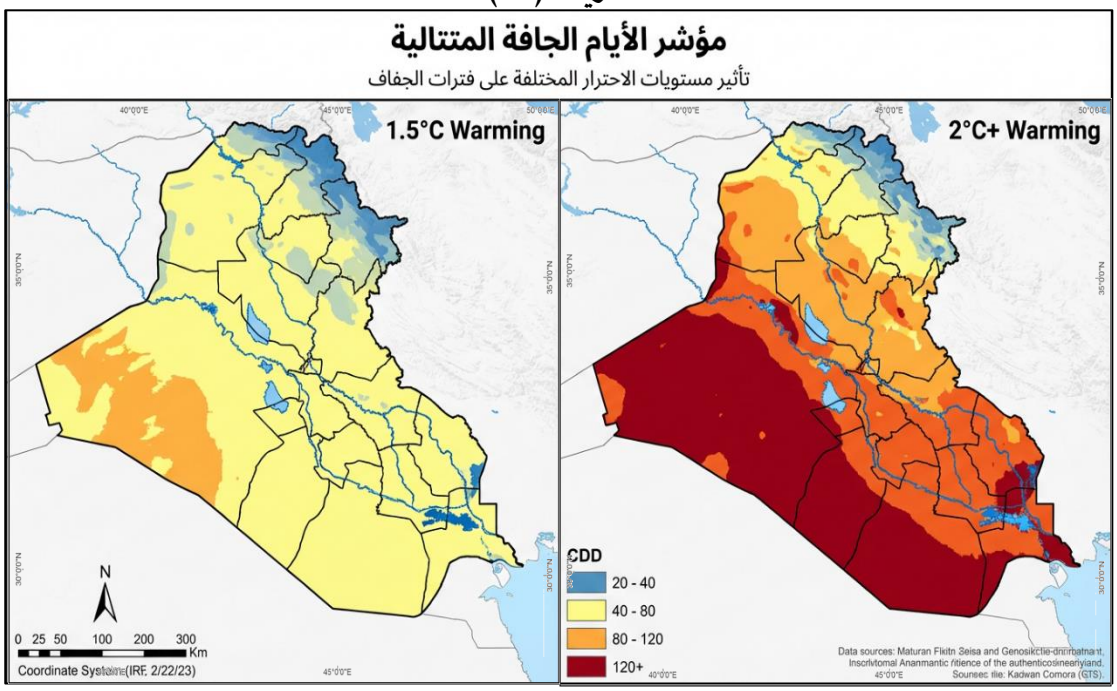


•**تأثيرات الاحترار المناخي على الموسمية:** عند مستوى (١.٥) درجة مئوية تكون التغيرات الموسمية أقل حدة نسبيًا، إلا أنها تبقى ذات تأثير واضح على العراق، من خلال تغير أنماط أمطار الشتاء، وزيادة أيام الإجهاد الحراري، واضطراب الدورة المائية، في حين تصبح هذه التأثيرات أكثر حدة وتعقيدًا في سيناريوهات الاحترار الأعلى.

الخريطة (١٦)



الخريطة (١٧)



نموذج الذكاء الاصطناعي (nano banana pro).

• **الأهمية التطبيقية للعراق:** يمثل مؤشر مخاطر الموسمية أداة علمية مهمة لتقييم نقاط الضعف المناخي في العراق، خاصة في قطاعات المياه والزراعة والصحة العامة، ويسهم في دعم التخطيط الاستراتيجي ووضع سياسات تكيف أكثر كفاءة في مواجهة التغيرات المناخية المستقبلية.

٤-٤ استراتيجيات التكيف مع تغير المناخ في العراق:

١ -**إدارة الموارد المائية المحورية:** تُعد الإدارة المستدامة للموارد المائية الركيزة الأساسية في التكيف المناخي بالعراق، من خلال تطوير تقنيات الري الحديث، ومعالجة المياه وإعادة استخدامها، وحصاد مياه الأمطار، والإدارة المتكاملة للمياه الجوفية، نظرًا لكون شح المياه يمثل التحدي المناخي الأكثر إلحاحًا.

٢ -**الزراعة المقاومة للمناخ:** يرتكز التكيف الزراعي على تطوير نظم زراعية مستدامة وصديقة للمناخ، عبر اعتماد المحاصيل المقاومة للجفاف، وتنويع الإنتاج الزراعي، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، بما يسهم في تعزيز الأمن الغذائي وتقليل آثار التغيرات المناخية.

٣ -**مكافحة التصحر والتشجير:** تُعد مشاريع التشجير، وإنشاء الأحزمة الخضراء، وتثبيت الكثبان الرملية، من الاستراتيجيات الأساسية للحد من ظاهرة التصحر وتقليل العواصف الترابية والرملية، فضلًا عن تحسين الاستقرار البيئي وتقليل تدهور الأراضي.

٤ -**التحول نحو الطاقة المتجددة:** يتجه العراق نحو توسيع الاعتماد على الطاقة الشمسية ومصادر الطاقة المتجددة الأخرى، بهدف تقليل الانبعاثات الكربونية، وتعزيز مرونة قطاع الطاقة، وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية ذات التأثير البيئي المرتفع.

٥ -**التخطيط المؤسسي وبناء القدرات:** يتطلب التكيف الفعّال إعداد خطط وطنية شاملة للتكيف المناخي، وتعزيز الوعي البيئي، وبناء القدرات المؤسسية والفنية على مختلف المستويات، مع دمج اعتبارات التغير المناخي ضمن سياسات التخطيط التنموي المستدام.

٦ -**مرونة البنية التحتية وأنظمة الإنذار المبكر:** تشمل استراتيجيات التكيف تطوير بنية تحتية أكثر قدرة على مواجهة التأثيرات المناخية المتطرفة، إلى جانب تعزيز أنظمة الإنذار المبكر الخاصة بالجفاف والفيضانات والعواصف الترابية، بما يسهم في تقليل الخسائر ورفع كفاءة الاستجابة للمخاطر المناخية.

٥. الاستنتاجات والتوصيات:

- الاستنتاجات(Conclusions):

١ -أثبتت الدراسة أن العراق من أكثر الدول هشاشةً أمام التغيرات المناخية، خاصةً فيما يتعلق بالجفاف، وتراجع الموارد المائية، وارتفاع درجات الحرارة، فضلًا عن تزايد الفيضانات المفاجئة والعواصف الترابية، بما ينعكس على الأمن المائي والغذائي والاستقرار البيئي.

٢ -أظهرت النماذج المناخية أن سيناريو الاحترار العالمي عند مستوى (١.٥) درجة مئوية يمثل حدًا حرجًا يمكن من خلاله تقليل شدة التأثيرات المناخية مقارنةً بسيناريوهات الاحترار الأعلى، في حين يؤدي تجاوزه إلى تفاقم المخاطر وصعوبة التكيف.

٣ -بينت الخرائط التحليلية المدعومة بالذكاء الاصطناعي والتوأم الرقمي كفاءة عالية في تحديد المناطق الأكثر تعرضًا للمخاطر المناخية، مما يعزز دقة التخطيط المكاني ودعم اتخاذ القرار.

٤ -أكد البحث أن مؤشر مخاطر الموسمية يمثل أداة علمية فعّالة لتقييم هشاشة الأنظمة البيئية والزراعية والمائية، من خلال تحليل التغيرات في الأنماط المناخية الموسمية وتأثيراتها المستقبلية.

٥ -أظهرت الدراسة أن دمج خرائط حلول المناخ مع تقنيات الذكاء الجغرافي المكاني والتوأم الرقمي يوفر إطارًا تطبيقيًا متكاملًا لدعم سياسات التكيف والتخفيف وتحقيق التنمية المستدامة.

٦ -بينت النتائج أن قطاع الموارد المائية هو الأكثر تأثرًا بالتغيرات المناخية، نتيجة تراجع الإيرادات المائية وارتفاع التبخر وزيادة الطلب على المياه، مما يتطلب استراتيجيات تكيف عاجلة.

٧ -أظهرت الدراسة أن القطاع الزراعي من أكثر القطاعات هشاشةً أمام التغيرات المناخية، بسبب ارتباطه المباشر بالأمطار والموارد المائية، مما يؤدي إلى تراجع الإنتاجية وزيادة مخاطر التصحر.

٨- أكدت النتائج أن استخدام النماذج التنبؤية المعتمدة على البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي يسهم في رفع دقة التنبؤ بالمخاطر المناخية وتعزيز كفاءة السياسات الاستباقية.

- التوصيات(Recommendations):

١ -توصي الدراسة باعتماد تقنيات التوأم الرقمي والذكاء الجغرافي المكاني في مؤسسات التخطيط المناخي وإدارة الموارد المائية في العراق، لما توفره من دقة عالية في التحليل المكاني والتنبؤ بالمخاطر المستقبلية.

٢ -تطوير منظومة الإدارة المستدامة للموارد المائية عبر تحديث تقنيات الري، وتوسيع حصاد مياه الأمطار، وإعادة استخدام المياه المعالجة، وتعزيز الإدارة المتكاملة للمياه السطحية والجوفية بما يحقق الأمن المائي المستدام.

٣ -تعزيز التعاون الإقليمي والدولي مع دول المنبع لضمان توزيع عادل ومستدام للموارد المائية في نهري دجلة والفرات، بما يسهم في تقليل الضغوط المناخية وتعزيز الاستقرار المائي في العراق.

٤ -التوسع في تطبيق أنظمة الإنذار المبكر للجفاف والفيضانات والعواصف الترابية، وربطها بمنصات تحليل مكاني تعتمد على نظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي، لرفع كفاءة الاستجابة وتقليل الخسائر.

٥ -دعم الزراعة المقاومة للمناخ من خلال اعتماد محاصيل متحملة للجفاف والحرارة، وتنويع الأنشطة الزراعية، وتحسين كفاءة استخدام المياه، وتقليل الاعتماد على الأساليب التقليدية عالية الاستهلاك.

٦ -تنفيذ برامج وطنية متكاملة لمكافحة التصحر تشمل التشجير، وإنشاء الأحزمة الخضراء، وتثبيت الكثبان الرملية، للحد من تدهور الأراضي وتقليل العواصف الغبارية.

٧ -دمج سيناريوهات التغير المناخي في الخطط التنموية والتخطيط الحضري والإقليمي، بالاعتماد على البيانات المكانية والخرائط التحليلية، لضمان تنمية مستدامة قائمة على الأدلة العلمية.

٨- تطوير منصات وطنية للذكاء الاصطناعي المناخي والبيانات الضخمة لإنتاج خرائط تفاعلية وتحليل المؤشرات المناخية متعددة السيناريوهات، بما يدعم متخذي القرار في صياغة سياسات تكيف وتخفيف أكثر كفاءة.

٦.المراجع(References) :

ز محمد، و و حسن. (١٠, ٢٠٢٢). **تغير المناخ وتوقعات درجات الحرارة وهطول الأمطار في جنوب العراق باستخدام نموذج LARS-WG**. نمذجة أنظمة الأرض والبيئة(٨)، الصفحات ٤٢٠٥-٤٢١٨. doi:https://doi.org/10.1007/s40808-022-01358-x

عبد الصاحب، س.، الزبيدي، س.، الممالاشي، ي.، والدليمي. (١١, ٢٠٢٤). **تقييم تغيرات درجة الحرارة وهطول الأمطار في شمال العراق باستخدام نماذج LARS-WG و CMIP6**. *مجلة المياه*. doi:https://doi.org/10.3390/w16192869

يحيى، ب، و سيكر، د. . (٢٠١٨). **تصميم نموذج للتنبؤ بالطقس باستخدام أدوات الذكاء الحسابي.** *الذكاء الاصطناعي التطبيقي*، الصفحات ١٣٧-١٥١ . doi:https://doi.org/10.1080/08839514.2018.153085

ويكيبيديا ؛ مجموعة البنك الدولي ؛ منظمة الأغذية والزراعة الفاو. (٢٠٢١).

Park, J.,. ، و Park J. (١٢, ٢٠٢٠). **GIS-Enabled Digital Twin System for Sustainable Evaluation of Carbon Emissions: A Case Study of Jeonju City, South Korea.** *Sustainability* .doi:https://doi.org/10.3390/su12219186

Byrne Christine. (٢٩ ٩, ٢٠٢٥). **AI, digital twins and the new geospatial era Towards seamless integration of advanced mapping technologies.** تم الاسترداد من https://www.gim-international.com/content/article/ai-digital-twins-and-the-new-geospatial-era

geoportal.sa. (٢٠٢٢). تم الاسترداد من https://www.geoportal.sa/Geoportal/DigitalTwin

McCall Kenneth. (١٠, ٢٠٢٣). **CEO,The Transformative Power of Digital Twins in GEOINT** Operations., تاريخ الاسترداد ٢٠٢٥، من https://gatewaygeo.io/digital-copy

Mia Werning,Max Wolschlager,Dan Hooke Edward Byers. (٢٠٢٣). ***Climate Solutions Explorer***. تم الاسترداد من https://www.climate-solutions-explorer.eu/about/

.(٢٠٢٣) .Krey, V و ،,.Werning, M ،,.Byers, E ،Fricko, O., ،Sferra, F.
Climate Solutions Explorer – downscaled country-level IAM
doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.8135211 .(٠.٢) scenarios

.