



Future changes in rainfall amounts at the Mosul station according to climate change scenarios (RCPs) using statistical miniaturization technique (SDSM)

Asst. Prof. Dr. Nadia Hatem Tuma

Department of Geography, College of Education for Humanities, University of Wasit

nadiah@uowasit.edu.iq

Received Apr 12, 2026

Revised May 6, 2026

Accepted May 9, 2026

Online Jul. 1, 2026

ABSTRACT

This research aims to analyze future rainfall patterns at the Mosul station by comparing baseline data (1991–2020) with projections for the period (2025–2050) under climate change scenarios RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5, using Statistical Minimization Symmetry (SDSM) based on CMIP5 model outputs. Monthly and annual rainfall averages, peak values, and variability were analyzed, along with the Standard Precipitation Index (SPI) to assess drought severity for the period (2025–2050). The results show a clear downward trend in rainfall, with annual averages decreasing by up to 26.7% in the RCP8.5 scenario by 2050, and a significant decline in peak rainfall months. Peak rainfall values also increased by approximately 27%, and variability rose by more than 30%, reflecting escalating climate instability. The SPI also showed a trend toward increasing drought severity, with its values decreasing to the low end of the range. (-2.0), indicating a very severe drought at the end of the period.

The results suggest a shift in the rainfall pattern towards a more extreme pattern, characterized by decreased amounts, increased intensity, and irregularity, which raises the risks of drought and flooding and necessitates the adoption of effective water resource management strategies and climate change adaptation.:

Keywords: Climate Change, Rainfall Variability, Mosul Station, Statistical Downscaling (SDSM), CMIP5 Models, RCP Scenarios

التغيرات المستقبلية لكميات الأمطار في محطة الموصل وفق سيناريوهات التغير المناخي (RCPs) باستخدام تقنية التصغير الإحصائي (SDSM)

أ.م.د. نادية حاتم طعمة العنابي

قسم الجغرافيا/ كلية التربية للعلوم الإنسانية/ جامعة واسط

nadiah@uowasit.edu.iq

المخلص

تُعد مناطق شمال العراق ذات المناخ شبه الرطب الانتقالي من المناطق المتأثرة بالتغيرات المناخية، ولا سيما في تذبذب كميات الأمطار، ومع ذلك ما تزال الدراسات المستقبلية باعتماد تقنيات التصغير الإحصائي محدودة، خاصة في محطة الموصل.

ويهدف البحث إلى تحليل التغيرات المستقبلية لكميات الأمطار في محطة الموصل من طريق مقارنة بيانات المدة الأساس (1991–2020) مع التوقعات المستقبلية للمدة (2025–2050) على وفق سيناريوهات التغير المناخي (RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5) بتوظيف تقنية التصغير الإحصائي (SDSM) اعتماداً على مخرجات نماذج CMIP5.

وتم تحليل المعدلات الشهرية والسنوية للأمطار، والقيم القصوى، ومقياس التباين، فضلاً عن اعتماد مؤشر المطر القياسي (SPI) لتقييم شدة الجفاف للمدة (2025–2050). إذ أظهرت النتائج وجود اتجاه تنازلي واضح في كميات الأمطار، إذ انخفضت المعدلات السنوية بنسبة تصل إلى (26.7%) في سيناريو RCP8.5 بحلول عام 2050، مع تراجع ملحوظ في أشهر الذروة المطرية.

وسجلت القيم القصوى للأمطار زيادة تصل إلى نحو (27%)، كذلك ارتفع التباين بأكثر من (30%)، مما يعكس تصاعد حالة عدم الاستقرار المناخي. وأظهر مؤشر SPI اتجاهًا نحو تزايد حدة الجفاف، إذ انخفضت قيمه إلى حدود (-2.0)، وهو ما يشير إلى جفاف شديد جدًا في نهاية المدة.

وتشير النتائج إلى تحول النظام المطري نحو نمط أكثر تطرفاً، يتميز بانخفاض الكميات وزيادة الشدة وعدم الانتظام، مما يزيد من مخاطر الجفاف والفيضانات، ويستدعي تبني استراتيجيات فعالة لإدارة الموارد المائية والتكيف مع التغيرات المناخية.

الكلمات المفتاحية: التغير المناخي، الأمطار، محطة الموصل، SDSM، CMIP5، RCP



المقدمة

يشهد نظام المناخ العالمي تغيرات متسارعة نتيجة الزيادة المستمرة في تراكيز غازات الدفيئة، مما أدى إلى اضطرابات واضحة في عناصر المناخ، ولا سيما الهطول المطري (IPCC, 2021, p. 12). وقد أشارت تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ إلى أن المناطق الجافة وشبه الجافة، ومنها العراق، تُعد من أكثر المناطق تأثرًا بالتغيرات المناخية، إذ يتوقع أن تشهد انخفاضًا في كميات الأمطار وتزايدًا في تذبذبها وشدتها (WMO, 2020, p. 33).

وتُعد الأمطار عنصرًا مناخيًا أساسيًا يرتبط بشكل مباشر بالدورة الهيدرولوجية، إذ يؤثر تغيرها في توزيع الموارد المائية، والإنتاج الزراعي، والاستقرار البيئي. وفي هذا السياق، تبرز أهمية دراسة التغيرات المستقبلية للأمطار، ليس فقط من حيث الكميات، بل من حيث خصائصها الزمنية والتطرفات المرتبطة بها، مثل شدة الهطول وتكرار الجفاف.

وتحتل محطة الموصل موقعًا جغرافيًا مهمًا في شمال العراق، إذ تمثل إقليمًا شبه رطب نسبيًا مقارنة بالمناطق الوسطى والجنوبية، مما يجعلها نموذجًا مناسبًا لدراسة التغيرات المطرية تحت تأثير التغير المناخي. كما أن أي تغير في النظام المطري في هذه المنطقة ينعكس بشكل مباشر على الموارد المائية والزراعة، مما يزيد من أهمية تحليل هذه التغيرات في ظل السيناريوهات المناخية المستقبلية.

وفي ظل التطور الكبير في النماذج المناخية العالمية، أصبح من الممكن التنبؤ بالتغيرات المستقبلية لعناصر المناخ باستخدام نماذج مثل CMIP5، إلا أن هذه النماذج تحتاج إلى تقنيات تصغير مكاني لتحسين دقتها على المستوى المحلي، ومن أبرزها تقنية التصغير الإحصائي (SDSM)، التي تُعد من الأدوات الفعالة في ربط المخرجات المناخية العالمية بالبيانات المحلية. وانطلاقًا من ذلك، يهدف هذا البحث إلى تحليل التغيرات المستقبلية لكميات الأمطار في محطة الموصل بمقارنة بيانات المدة الأساس (1991–2020) مع التوقعات المستقبلية (2025–2050) على وفق سيناريوهات (RCP4.5، RCP8.5، RCP2.6) مع التركيز على تحليل التغيرات الشهرية والسنوية، والقيم القصوى، ومقياس التباين، فضلًا عن استعمال مؤشر المطر القياسي (SPI) لتقييم شدة الجفاف. ويأتي هذا البحث في إطار السعي لفهم طبيعة التحول في النظام المطري في شمال العراق وتقديم قاعدة علمية تدعم استراتيجيات التكيف مع التغير المناخي.

مشكلة البحث (Research Problem):

يمكن التعبير عن مشكلة البحث من طريق التساؤلات الآتية:

1. ما طبيعة التغيرات المستقبلية في كميات الأمطار الشهرية والسنوية في محطة الموصل؟
2. كيف تختلف هذه التغيرات باختلاف سيناريوهات التغير المناخي (RCPs)؟
3. ما مدى التغير في القيم القصوى والتباين لكميات الأمطار مستقبلاً؟
4. كيف ينعكس ذلك على شدة الجفاف وفق مؤشر SPI؟
5. هل يتجه النظام المطري نحو المزيد من التطرف وعدم الاستقرار؟

فرضيات البحث (Research Hypotheses)

ينطلق البحث من مجموعة فرضيات رئيسة تتمثل في:

1. توجد علاقة عكسية بين شدة السيناريوهات المناخية وكميات الأمطار، بحيث تنخفض الأمطار بزيادة الانبعاثات ($RCP8.5 > RCP4.5 > RCP2.6$).
2. لا يقتصر التغير المناخي على انخفاض كميات الأمطار، بل يؤدي إلى زيادة القيم القصوى للهطول المطري، مما يشير إلى تزايد شدة وتكرار الأحداث المطرية المتطرفة.
3. يؤدي التغير المناخي إلى ارتفاع مقياس التباين لكميات الأمطار، مما يعكس زيادة عدم الاستقرار والتذبذب المناخي.

4. تتجه قيم مؤشر SPI اتجاهًا تنازليًا نحو القيم السالبة، مما يعكس تصاعد شدة الجفاف وتكراره .
5. يشهد نظام الأمطار في محطة الموصل تحولًا من شبه مستقر إلى نمط يتسم بالتطرف وعدم الانتظام تحت تأثير التغير المناخي.

أهداف البحث (Research Objectives)

يهدف هذا البحث إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية، تتمثل في:

1. تحليل التغيرات المستقبلية في كميات الأمطار الشهرية والسنوية في محطة الموصل في المدة (2025–2050) .
2. مقارنة كميات الأمطار المستقبلية مع المدة الأساس (1991–2020) لتحديد اتجاهات التغير المناخي .
3. دراسة تأثير سيناريوهات التغير المناخي (RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5) في سلوك الأمطار .
4. تحليل القيم القصوى لكميات الأمطار وتحديد مدى التغير في شدة الهطول المطري .
5. قياس درجة التباين في كميات الأمطار لتحديد مستوى عدم الاستقرار المناخي .
6. تقييم شدة الجفاف باستخدام مؤشر الهطول القياسي (SPI) وربطها بالتغيرات المطرية .
7. استنتاج طبيعة التحول في النظام المطري في شمال العراق تحت تأثير التغير المناخي .

أهمية البحث (Significance of the Study)

تتبع أهمية البحث من كونه يتناول أحد أهم عناصر المناخ تأثيرًا في الموارد الطبيعية وهو الأمطار، في منطقة ذات هشاشة مناخية مرتفعة مثل شمال العراق. وتتمثل أهمية البحث في :

1. تقديم تحليل علمي للتغيرات المستقبلية في كميات الأمطار في محطة الموصل التي تمثل منطقة شبه رطبة نسبيًا .
2. فهم العلاقة بين التغير المناخي والتغير في خصائص الهطول المطري، بما فيها الشدة والتباين .
3. تسليط الضوء على مخاطر الجفاف والتطرف المناخي باعتماد استخدام مؤشر المطر القياسي (SPI) .
4. توفير قاعدة بيانات وتحليل يمكن أن يُستخدم في التخطيط المائي والزراعي في المنطقة .
5. الإسهام في دعم استراتيجيات التكيف مع التغير المناخي في العراق .

منهجية البحث (Research Methodology)

اعتمد البحث على المنهج الكمي التحليلي، باستخدام بيانات الأمطار للمدة الأساس (1991–2020) ومقارنتها بالتوقعات المستقبلية للمدة (2025–2050). تم اعتماد بيانات الأمطار من الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي لمحطة الموصل للمدة (1991–2020)، بعد إجراء فحص الجودة ومعالجة القيم المفقودة إحصائيًا. واستُخدمت بيانات NASA POWER لأغراض التحقق واستكمال السلاسل الزمنية، بعد التأكد من توافقها مع البيانات المرصودة. فيما تم استخدام مخرجات نماذج CMIP5 لتمثيل السيناريوهات المناخية المستقبلية (Taylor et al., 2012, p. 486) .

وتم استخدام مخرجات نماذج الدوران العام (GCMs) ضمن CMIP5، والتي تم اختيارها بناءً على ملاءمتها لتمثيل مناخ منطقة الدراسة. وقد تم إدخال هذه المخرجات في نموذج SDSM، بعد إجراء عملية المعايرة (Calibration) باستخدام بيانات المرحلة الأساس، ومن ثم تلا ذلك عملية التحقق (Validation) من دقة النموذج. كما تم استخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية لتحليل البيانات، شملت:

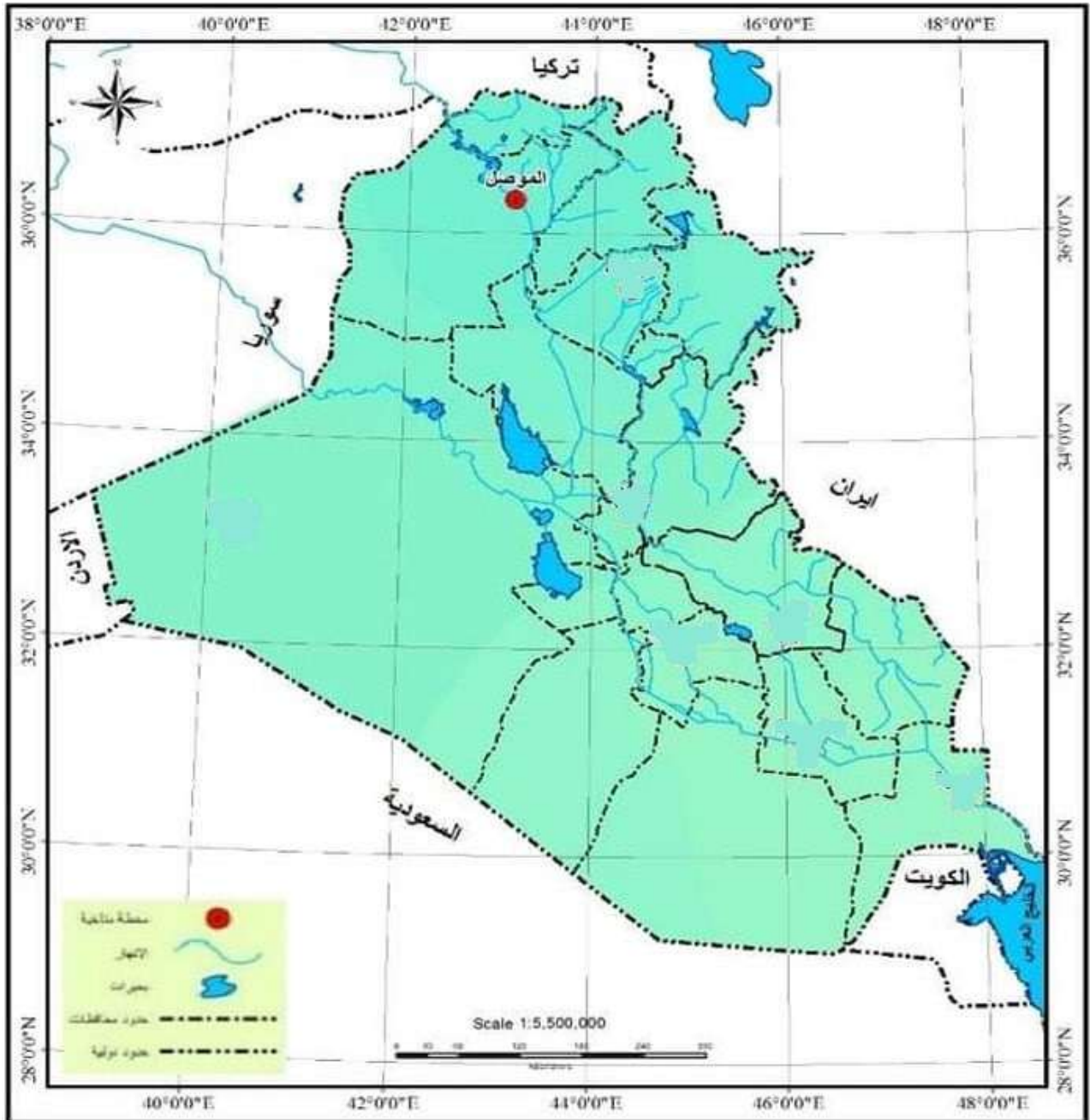
- المتوسطات الحسابية
- القيم القصوى
- مقياس التباين (Variance)
- مؤشر المطر القياسي (SPI) لتقييم الجفاف

وتم تحليل النتائج ومقارنتها بين السيناريوهات المختلفة لتحديد اتجاهات التغير المناخي وانعكاساته على النظام المطري.

حدود البحث (Study Limits)

تقتصر الدراسة مكانياً على محطة الموصل الواقعة في شمال العراق، والتي تمثل الإقليم شبه الرطب نسبياً. ينظر خريطة (1).
 أما زمانياً فقد اعتمد البحث المدة الأساس وهي (1991–2020) والمدة المستقبلية (2025–2050).
 وموضوعياً اقتصر البحث على تحليل التغيرات في كميات الأمطار، من حيث: المجاميع الشهرية والسنوية، القيم القصوى، مقياس التباين ومؤشر الهطول القياسي (SPI).

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة من العراق



المصدر: الباحثة اعتماداً على وزارة النقل، الهيئة العامة للأشياء الجوية والرصد الزلزالي، أطلس مناخ العراق (1971-2000)، ج1، 2012.
 وبرنامج Arc GIS 10.3

أولاً: تحليل التغير في المجاميع الشهرية لكميات الأمطار

يتضح من جدول (1) وشكل (1) تركيز المجاميع الشهرية لكميات الأمطار في محطة الموصل في فصلي الشتاء والربيع في المدة الأساس (1991-2020)، إذ جاءت الأشهر (كانون الثاني، شباط، آذار، كانون الأول) بأعلى القيم المطرية، فبلغت على التوالي (74.1، 68.0، 73.5، 71.6 ملم)، على حين تنخفض الأمطار إلى أدنى مستوياتها في أشهر الصيف (حزيران-آب وتموز)؛ إذ لا تتجاوز (4.5 ملم في حزيران) وتنخفض إلى (0.1 ملم في تموز وآب)، وذلك لانحسار وصول المنخفضات الجوية المتوسطة في هذا الفصل. وتم اعتماد هذه القيم بوصفها أساساً مرجعياً لتحليل التغيرات المستقبلية.

وعند مقارنة هذه القيم مع التوقعات المستقبلية للمدة (2025-2050) وفق سيناريوهات التغير المناخي، يظهر اتجاه عام نحو انخفاض كميات الأمطار الشهرية في جميع الأشهر، إذ انخفضت أمطار كانون الثاني من (74.1 ملم) إلى (62.4 ملم) في سيناريو RCP8.5، أي بانخفاض قدره (11.7 ملم) وبنسبة تقارب (15.8%) وفي آذار من (73.5 ملم) إلى (59.8 ملم)، أي بانخفاض (13.7 ملم) وبنسبة (18.6%). كما سجل نيسان انخفاضاً من (55.0 ملم) إلى (41.9 ملم)، أي ما يعادل (13.1 ملم) وبنسبة (23.8%)، أما في تشرين الثاني فتراجعت من (46.8 ملم) إلى (34.6 ملم)، أي (12.2 ملم) وبنسبة (26.1%). مما يشير إلى وجود اتجاه عام نحو انخفاض كميات الأمطار الشهرية مقارنة بمرحلة الأساس، إذ يؤكد ذلك أن التغير لا يقتصر على القيم المطلقة، بل يعكس تحولاً واضحاً في سلوك النظام المطري.

يُلاحظ مما تقدم أن سيناريو RCP8.5 يسجل أعلى قيم الانخفاض يليه RCP4.5 ثم RCP2.6 ويكون التراجع أكثر وضوحاً في الأشهر الانتقالية (آذار-نيسان-تشرين الثاني). مما يدل على تزايد تأثير التغير المناخي مع ارتفاع مستويات الانبعاثات. وتشير النتائج إلى تقلص طول الموسم المطري، إذ تبدأ الأمطار بالانخفاض المبكر في فصل الربيع (عبد، 2019، ص 359)، مع استمرار شبه انعدامها صيفاً (0.1 → 0.0 ملم)، مما يعكس تغيراً في النمط الموسمي للأمطار.

إن الانخفاض في كميات الأمطار الشهرية لا يقتصر على كونه تغيراً كمياً، بل يعكس تحولاً في ديناميكية الأنظمة الجوية المؤثرة على شمال العراق، إذ إن التراجع الواضح في أشهر الذروة المطرية بانخفاض يصل إلى نحو (18-26%) يدل على ضعف تأثير المنخفضات المتوسطة، بالتزامن مع انزياح مسارات العواصف نحو الشمال وزيادة سيطرة المرتفعات شبه المدارية، مما يؤدي إلى تقليص فعالية الأنظمة الممطرة في المنطقة.

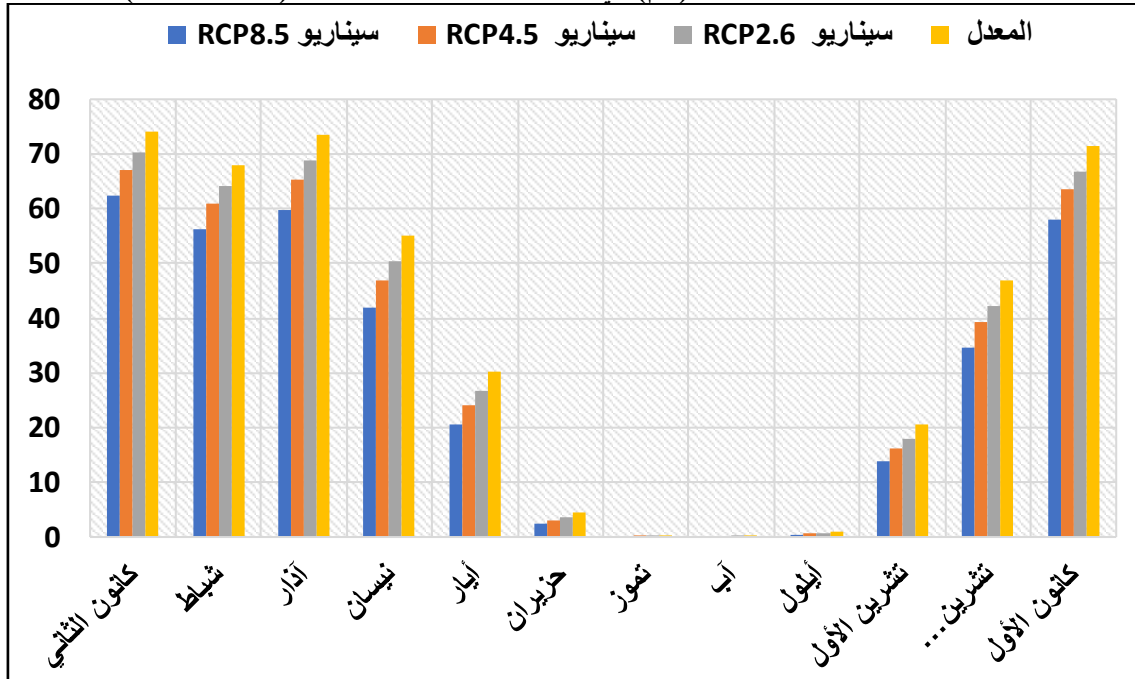
جدول (1)

التغيرات الشهرية لكميات الأمطار (ملم) في محطة الموصل للمدة الأساس (1991-2020)

الشهر	المعدل	سيناريو RCP2.6	سيناريو RCP4.5	سيناريو RCP8.5
كانون الثاني	74.1	70.2	67.1	62.4
شباط	68	64.1	61	56.2
آذار	73.5	68.9	65.2	59.8
نيسان	55	50.3	46.8	41.9
أيار	30.2	26.8	24.1	20.7
حزيران	4.5	3.6	2.9	2.3
تموز	0.1	0.1	0.1	0
آب	0.1	0.1	0	0
أيلول	1	0.8	0.6	0.5
تشرين الأول	20.5	17.9	16.2	13.8
تشرين الثاني	46.8	42.3	39.4	34.6
كانون الأول	71.6	66.9	63.5	58

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للأتواء الجوية والرصد الزلزالي (غير منشورة) و NASA POWER، باستخدام نموذج SDSM

شكل (1)
التغيرات الشهرية لكميات الأمطار (ملم) في محطة الموصل للمدة الأساس (1991–2020)



المصدر: جدول (1)

ثانيًا: التباين في أعلى كميات الأمطار

يظهر جدول (2) وشكل (2) زيادة ملحوظة في القيم القصوى للأمطار الشهرية (Maximum Rainfall) مقارنة بفترة الأساس، خاصة في الأشهر الرئيسة للموسم المطري، مما يعكس تغيرًا واضحًا في خصائص الامطار (O’Gorman, 2015, p. 364). إذ ارتفعت القيم القصوى في كانون الثاني من (148 ملم) إلى (170 ملم) في سيناريو RCP8.5، أي بزيادة مقدارها (22 ملم) وبنسبة تقارب (14.9%) وفي شباط من (135 ملم) إلى (158 ملم)، أي بزيادة (23 ملم) وبنسبة (17%) على حين في آذار ترتفع من (140 ملم) إلى (165 ملم)، أي بزيادة (25 ملم) وبنسبة (17.9%) وتلاها ارتفاع قيم الامطار في نيسان من (112 ملم) إلى (135 ملم)، أي بزيادة (23 ملم) وبنسبة (20.5%)

و تظهر زيادة كبيرة في الأشهر الانتقالية؛ إذ ارتفعت في تشرين الثاني من (102 ملم) إلى (130 ملم)، أي بزيادة (28 ملم) وبنسبة (27.4%) وفي كانون الأول من (135 ملم) إلى (160 ملم)، أي بزيادة (25 ملم) وبنسبة (18.5%) و يُلاحظ ارتفاع في القيم القصوى حتى في الأشهر الجافة نسبيًا، ففي حزيران ارتفعت من (20 ملم) إلى (30 ملم) بزيادة بلغت (10 ملم) أي بنسبة (50%) وفي تموز من (3 ملم) إلى (6 ملم) الضعف تقريبًا، وفي آب من (2 ملم) إلى (5 ملم) بزيادة بلغت نسبتها (150%)

ان انخفاض المعدل العام للأمطار يقابله ارتفاع في القيم العظمى يصل إلى نحو (27%) في بعض الأشهر مثل تشرين الثاني، الامر الذي يكشف تحولاً نوعياً في النظام المطري، إذ لم يعد التغير مقتصرًا على انخفاض الكميات، بل أصبح يتمثل في إعادة توزيع الامطار زمانياً وحدثاً امطار حملية شديدة، وفي مدد قصيرة. ويعكس ذلك انتقالاً من نظام مطري منتظم إلى نظام يتسم بالتطرف، مما يزيد من احتمالية حدوث الفيضانات والسيول المفاجئة، على الرغم من التراجع العام في كميات الأمطار السنوية.

جدول (2)

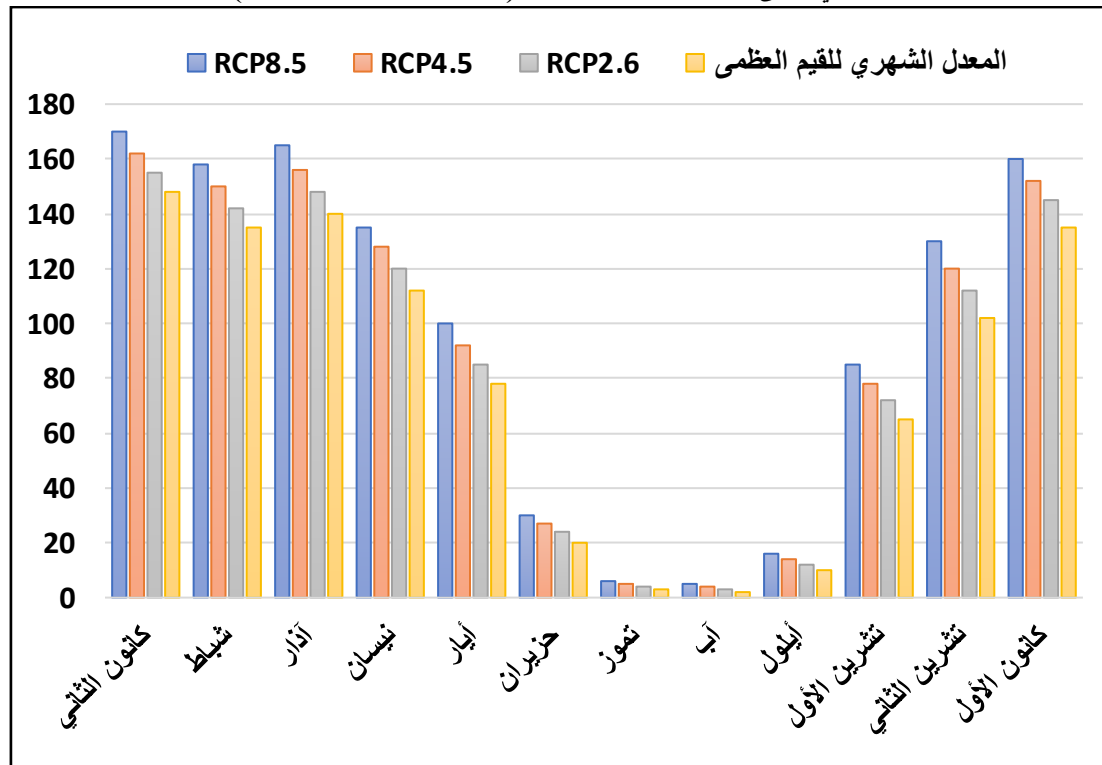
التباين في أعلى كميات الأمطار الشهرية (Maximum Rainfall)

الشهر	المعدل الشهري للقيم العظمى	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
كانون الثاني	148	155	162	170
شباط	135	142	150	158
آذار	140	148	156	165
نيسان	112	120	128	135
أيار	78	85	92	100
حزيران	20	24	27	30
تموز	3	4	5	6
آب	2	3	4	5
أيلول	10	12	14	16
تشرين الأول	65	72	78	85
تشرين الثاني	102	112	120	130
كانون الأول	135	145	152	160

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للأحوال الجوية والرصد الزلزالي (غير منشورة) و NASA POWER، باستخدام نموذج SDSM

شكل (2)

التباين في أعلى كميات الأمطار الشهرية (Maximum Rainfall)



المصدر: جدول (2)

ثالثاً: تحليل التباين لكميات الأمطار

يُعد التباين مؤشراً مهماً لقياس درجة تشتت كميات الأمطار وعدم انتظامها، إذ تعكس القيم المرتفعة زيادة التقلبات المناخية. تم حساب مقياس التباين باستخدام المعادلة الإحصائية للتباين، التي تعتمد على متوسط مربعات انحرافات القيم عن المتوسط الحسابي، وتقاس بوحدة (ملم²).

ويتضح من جدول (3) وشكل (3) وجود زيادة واضحة في مقياس التباين (Variance) لكميات الأمطار الشهرية في محطة الموصل ضمن جميع سيناريوهات التغير المناخي، إذ ترتفع القيم بشكل تدريجي من مدة الأساس إلى سيناريو RCP8.5، مما يعكس تصاعداً في درجة عدم الاستقرار المناخي. فقد ارتفع التباين في شهر كانون الثاني من (325) إلى (420)، أي بزيادة قدرها (95) ملم² وبنسبة تقارب (29.2%)، وفي آذار من (315) إلى (410) بزيادة (95) ملم² وبنسبة (30.1%)، كما سجل تشرين الثاني أعلى زيادة؛ إذ ارتفع من (265) إلى (365) بزيادة (100) ملم² وبنسبة (37.7%). وتظهر زيادات مماثلة في بقية الأشهر، لا سيما الأشهر الرطبة مثل نيسان (255 إلى 350)، وهو ما يدل على أن الزيادة في التباين تتركز في قلب الموسم المطري وليس في أطرافه فقط.

يشير ارتفاع التباين إلى عدم انتظام الهطول المطري، بحيث تتزايد الفروقات بين السنوات الرطبة والجافة، مما يشير إلى انتقال النظام المناخي من حالة الاستقرار النسبي إلى حالة التقلب العالي. كما يُلاحظ أن التباين يزداد تدريجياً مع ارتفاع مستوى السيناريوهات من (RCP2.6 إلى RCP8.5)، مما يدل على وجود علاقة طردية بين شدة الانبعاثات ودرجة عدم الاستقرار المطري. وتكمن خطورة هذه النتائج في أن زيادة التباين لا تؤدي فقط إلى تغير في كمية الأمطار، بل إلى صعوبة التنبؤ بها، وارتفاع احتمالية تعاقب سنوات الجفاف مع سنوات الأمطار الغزيرة، وهو ما ينعكس سلباً على إدارة الموارد المائية والإنتاج الزراعي. كما تتوافق هذه النتائج مع ما ورد في تحليل القيم القصوى (جدول 2)، إذ إن زيادة التباين تعكس ارتفاع شدة الهطول في بعض السنوات مقابل انخفاضها في سنوات أخرى، مما يؤكد أن النظام المطري في المنطقة يتجه نحو مزيد من التطرف وعدم الاستقرار تحت تأثير التغير المناخي.

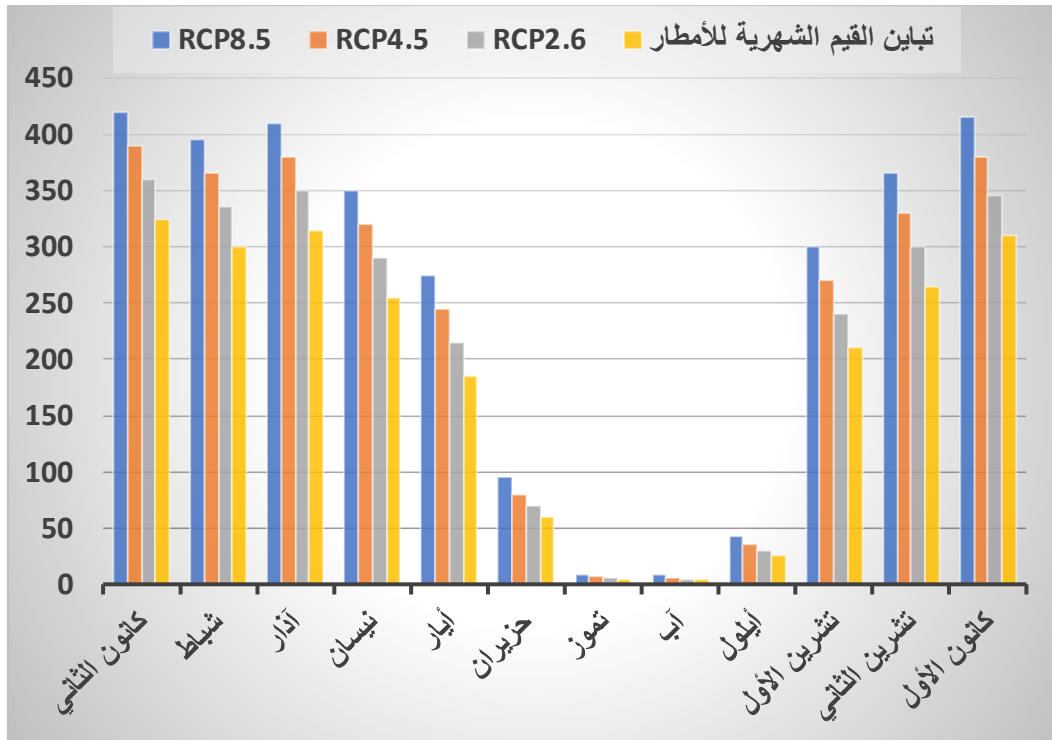
جدول (3)

مقياس التباين لكميات الأمطار

الشهر	تباين القيم الشهرية للأمطار	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
كانون الثاني	325	360	390	420
شباط	300	335	365	395
آذار	315	350	380	410
نيسان	255	290	320	350
أيار	185	215	245	275
حزيران	60	70	80	95
تموز	5	6	7	9
آب	4	5	6	8
أيلول	25	30	35	42
تشرين الأول	210	240	270	300
تشرين الثاني	265	300	330	365
كانون الأول	310	345	380	415

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للأمناء الجوية والرصد الزلزالي (غير منشورة) و NASA POWER، باستخدام الأساليب الإحصائية (التباين)

شكل (3)
مقياس التباين لكميات الأمطار



المصدر: جدول (3)

رابعاً: التغير في مجموع الأمطار السنوية

يتضح من جدول (4) والاشكال (4-5-6) وجود اتجاه تنازلي واضح في المعدلات السنوية لكميات الأمطار في محطة الموصل في المدة (2025-2050) على وفق جميع سيناريوهات التغير المناخي، وذلك عند تحليل البيانات ضمن اوقات زمنية خماسية. ففي المدة الأولى (2025-2029) سجلت كميات الأمطار أعلى القيم، إذ بلغت (398 ملم) في سيناريو RCP8.5 ، و(412 ملم) في RCP4.5 ، و(425 ملم) في RCP2.6 ، ثم بدأت بالانخفاض التدريجي في الاوقات اللاحقة.

اما في المدة (2030-2034) فقد انخفضت القيم إلى (382، 402، 418 ملم) على التوالي، واستمر هذا التراجع في الفترة (2035-2039) لتصل إلى (368، 392، 408 ملم)، مما يعكس بداية تسارع تأثير التغير المناخي على كميات الأمطار.

أما في الفترات اللاحقة، فقد أصبح الانخفاض أكثر وضوحاً، إذ سجلت المدة (2040-2044) قيماً بلغت (350، 380، 398 ملم)، وصولاً إلى أدنى القيم في المدة (2045-2050) فقد انخفضت إلى (325، 362، 382 ملم) على التوالي.

ويلاحظ أن مقدار التغير يزداد تدريجياً مع تقدم الزمن، مما يشير إلى أن تأثير التغير المناخي يتسم بطابع تراكمي ومتسارع، وتظهر النتائج اتساع الفجوة بين السيناريوهات مع مرور الوقت، إذ يسجل سيناريو RCP8.5 أعلى معدلات الانخفاض مقارنة بسائر السيناريوهات.

وتعكس هذه النتائج اتجاهًا واضحًا نحو تزايد الجفاف، خاصة عند ربطها بارتفاع التباين وزيادة شدة الأمطار في بعض المراحل، مما يدل على انتقال النظام المطري في المنطقة نحو نمط أكثر تطرفاً وعدم انتظام.

جدول (4)

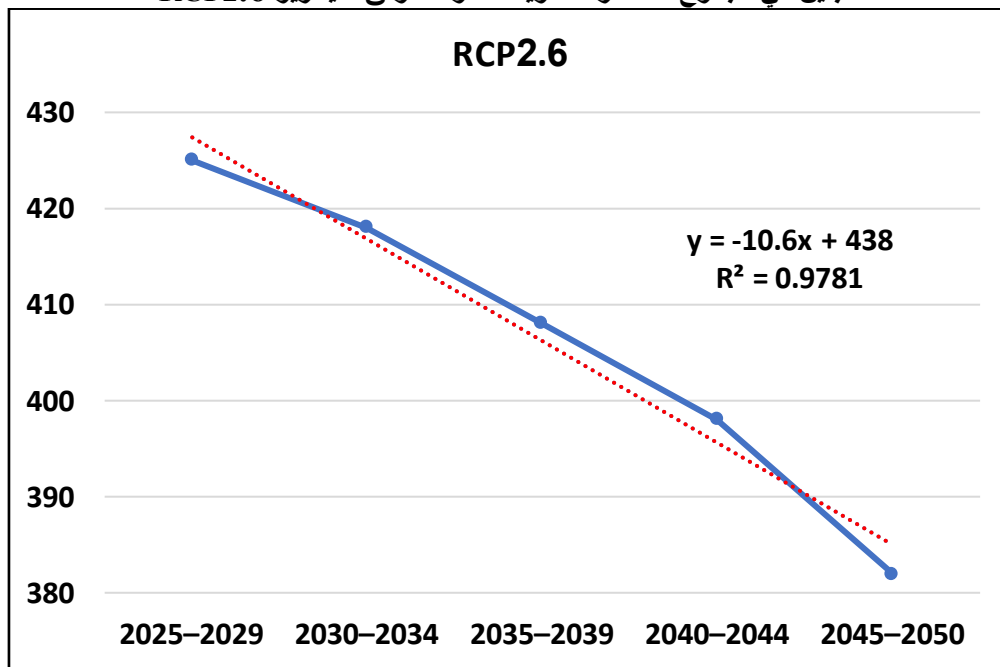
التغير في مجموع الأمطار السنوية (ملم) وفق الفترات الزمنية الخماسية للمدة (2025–2050)

المدة الزمنية	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
2025–2029	425	412	398
2030–2034	418	402	382
2035–2039	408	392	368
2040–2044	398	380	350
2045–2050	382	362	325

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للأرصاد الجوية والرصد الزلزالي (غير منشورة) و NASA
POWER، باستخدام نموذج SDSM

شكل (4)

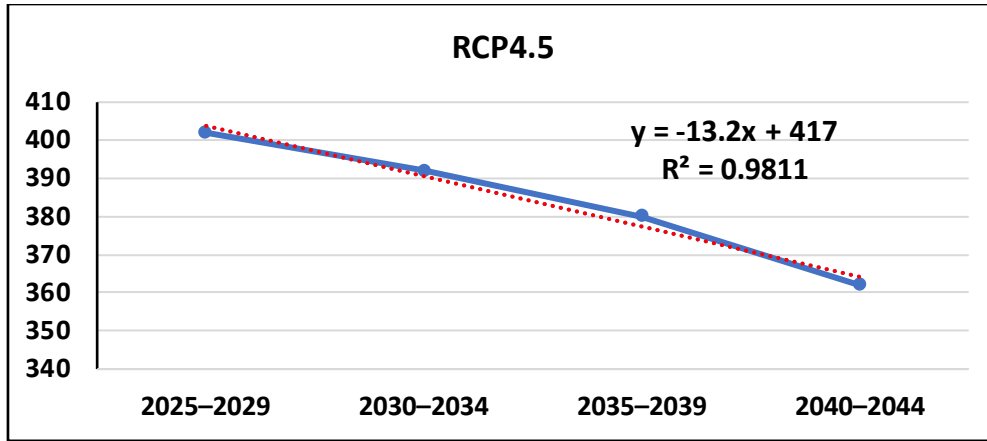
التباين في مجموع الأمطار السنوية المتوقعة وفق سيناريو RCP2.6



المصدر: جدول (4).

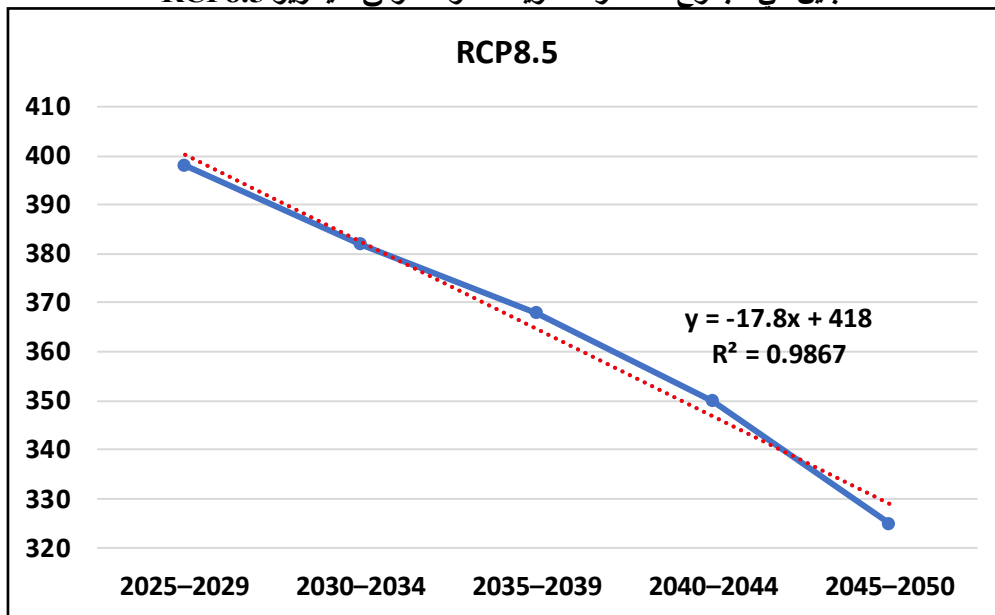
شكل (5)

التباين في مجموع الأمطار السنوية المتوقعة وفق سيناريو RCP4.5



المصدر: جدول (4).

شكل (6)
التباين في مجموع الأمطار السنوية المتوقعة وفق سيناريو RCP8.5



المصدر: جدول (4).

خامساً: تحليل مؤشر المطر القياسي (SPI) لمحطة الموصل

يُعد مؤشر المطر القياسي (Standardized Precipitation Index - SPI) من أهم المؤشرات المستخدمة عالمياً لتقييم حالات الجفاف كما في جدول (5) (McKee et al., 1993, p. 180)، إذ يعتمد على تحويل كميات الأمطار إلى قيم معيارية تعكس الانحراف عن المعدل الطبيعي. يمكن استخراجه وفق المعادلة الآتية (UN-SPIDER, 2020) :

$$SPI = (X - \mu) / \sigma$$

حيث:

$$X = \text{كمية الأمطار}$$

$$\mu = \text{المعدل العام}$$

$$\sigma = \text{الانحراف المعياري}$$

جدول (5)

تصنيف مؤشر SPI

التصنيف	القيمة
رطب جدًا	$2.0 \geq$
رطب	$1.99 _ 1.5$
رطب معتدل	$1.49 _ 1.0$
طبيعي	$0.99 _ -0.99$
جفاف معتدل	$1.49 _ -1.0$
جفاف شديد	$1.99 _ -1.5$
جفاف شديد جدًا	≤ -2.0

المصدر: McKee et al., 1993, p. 180

يتضح من جدول (6) وشكل (5) اتجاه متزايد نحو حدة الجفاف (العبيدي، 2018، ص 92) في محطة الموصل في المدة (2050-2025)، مع تباين في شدته تبعاً للسيناريوهات المناخية. إذ تبدأ قيم مؤشر المطر القياسي (SPI) ضمن نطاق قريب من الحالة الطبيعية إلى الجفاف الخفيف في بداية المدة، إذ تتراوح بين (-0.2) و (-0.4) في عام 2025، إلا أنها تتجه نحو الانخفاض التدريجي مع مرور الزمن. ففي سيناريو RCP8.5، تنخفض قيم SPI من (-0.4) في عام 2025 إلى (-2.0) في عام 2050، أي بانخفاض قدره (-1.6) درجة معيارية، مما يعني التحول من جفاف خفيف إلى جفاف شديد جدًا وفق تصنيف SPI. أما في سيناريو RCP4.5، فقد انخفضت القيم من (-0.3) إلى (-1.8)، أي (-1.5)، مما يدل على جفاف شديد، في حين سجل سيناريو RCP2.6 انخفاضاً أقل نسبياً من (-0.2) إلى (-1.3)، أي (-1.1)، وهو ما يقع ضمن نطاق الجفاف المعتدل إلى الشديد.

يتسارع التدهور في قيم SPI بشكل واضح بعد عام 2035، إذ تنتقل القيم في جميع السيناريوهات إلى ما دون (-1.0)، وهي عتبة الجفاف المعتدل، مما يشير إلى أن النصف الثاني من المدة المستقبلية سيشهد ظروفًا مناخية أكثر جفافاً واستمرارية. و يظهر اتساع الفجوة بين السيناريوهات مع تقدم الزمن، إذ يبلغ الفرق بين سيناريو RCP8.5 و RCP2.6 نحو (0.7) وحدة بحلول عام 2050، مما يعكس التأثير المباشر لزيادة الانبعاثات على تصاعد حدة الجفاف. وتتوافق نتائج مؤشر SPI مع نتائج التغير السنوي لكميات الأمطار، إذ يعكس الانخفاض في كميات الأمطار السنوية تدهوراً مباشراً في قيم المؤشر، مما يدل على وجود علاقة وثيقة بين التغير الكمي في الهطول والتغير النوعي في خصائص الجفاف. كما يتكامل ذلك مع نتائج التباين والقيم القصوى، إذ يشير التزامن بين انخفاض المعدلات، وارتفاع التباين، وزيادة شدة الهطول إلى أن النظام المطري في محطة الموصل يتجه نحو نمط أكثر تطرفاً، يتميز بتعاقب مراحل جفاف طويلة مع هطولات مطرية قصيرة وشديدة.

جدول (6)

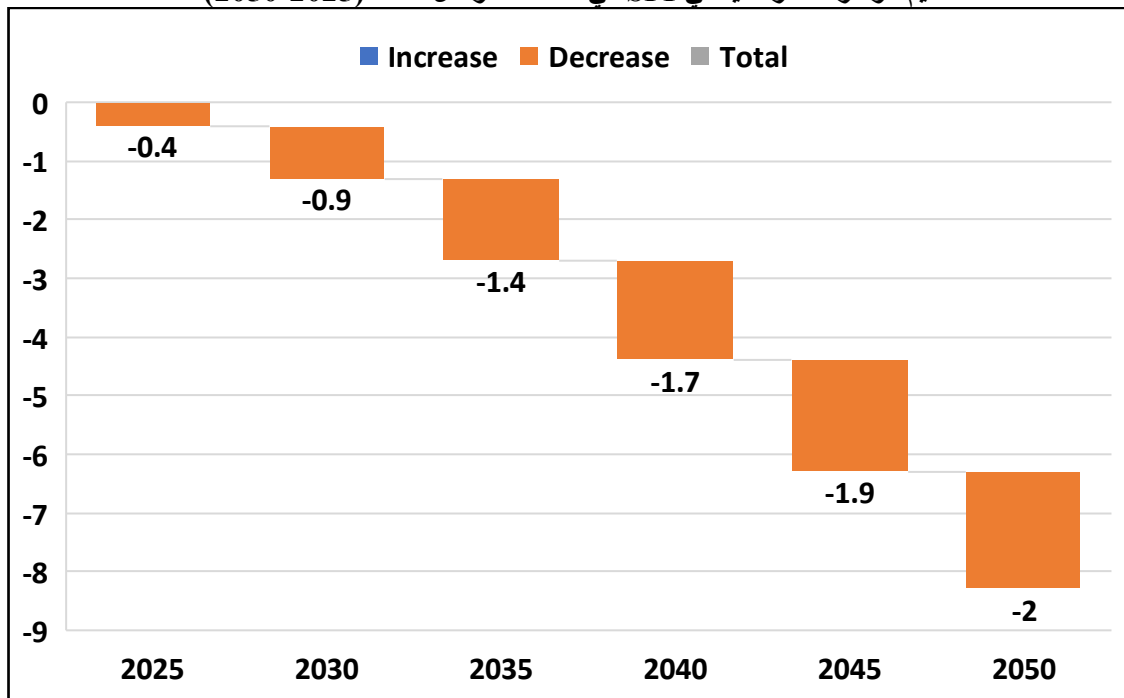
مؤشر المطر القياسي SPI في محطة الموصل للمدة (2050-2025)

السنة	(RCP2.6) SPI	(RCP4.5) SPI	(RCP8.5) SPI
2025	-0.2	-0.3	-0.4
2030	-0.5	-0.7	-0.9
2035	-0.8	-1.1	-1.4
2040	-1	-1.4	-1.7
2045	-1.2	-1.6	-1.9

2-	1.8-	1.3-	2050
----	------	------	------

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للأرصاد الجوية والرصد الزلزالي (غير منشورة) و NASA POWER، باستخدام نموذج SDSM ومعادلة مؤشر SPI وفق (McKee et al., 1993).

شكل (5)
قيم مؤشر المطر القياسي SPI في محطة الموصل للمدة (2050-2025)



المصدر: جدول (6).

الاستنتاجات:

1. انخفضت كميات الأمطار السنوية من نحو 430 ملم إلى 315 ملم في سيناريو RCP8.5 ، أي بنسبة 26.7%.
2. ارتفعت القيم القصوى للأمطار بنسبة تصل إلى 27% في بعض الأشهر .
3. ازداد التباين بأكثر من 30%، مما يدل على تزايد عدم الاستقرار المناخي .
4. تراجع أمطار أشهر الذروة بنسبة تتراوح بين 18-24% مع تقلص الموسم المطري .
5. سجل سيناريو RCP8.5 أعلى تأثير، مع وصول مؤشر SPI إلى (-2.0) (جفاف شديد جدًا).

التوصيات والمقترحات:

1. تطوير استراتيجيات إدارة الموارد المائية .
2. اعتماد تقنيات حصاد المياه .

3. دعم الزراعة المقاومة للجفاف .
4. تعزيز أنظمة الإنذار المبكر .
5. توسيع الدراسات المناخية في العراق.

References

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Cambridge University Press.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
2. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales.
<https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>
3. O’Gorman, P. A. (2015). Precipitation extremes under climate change. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 6(4), 363–374 <https://doi.org/10.1002/wcc.333>
4. Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. Bulletin of the American Meteorological Society, 93(4), 485–498.
<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
5. United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA). (2020). Recommended practice: Drought monitoring using the standardized precipitation index (SPI).
<https://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-drought-monitoring-spi/in-detail>
6. Wilby, R. L., Dawson, C. W., & Barrow, E. M. (2002). SDSM: A decision support tool for climate change impact studies. Environmental Modelling & Software, 17(2), 145–157.
[https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00060-3)
7. World Meteorological Organization (WMO). (2020). State of the global climate 2020.
<https://public.wmo.int>
8. عبد، قصي فاضل. (2019). التغير المناخي في درجة حرارة وأمطار العراق. مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية، (45)، 339 – 367.
9. العبيدي، محمد جاسم. (2018). التغير المناخي والتصحر في العراق. عمان: دار صفاء للنشر والتوزيع.
10. Abd, Qusay Fadhil. (2019). Climate Change in Temperature and Rainfall in Iraq. Journal of the College of Basic Education for Educational and Human Sciences, (45), 339–367.
11. Al-Ubaidi, Muhammad Jassim. (2018). Climate Change and Desertification in Iraq. Amman: Safaa Publishing and Distribution House.