

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي

لبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

Rainfall Forecasting through Statistical Modeling and AI in Arid and Semi-Arid Regions of Northwestern Iraq: An Applied Case Study

أ.م.د. بلسم شاكر شنيشل

الجامعة العراقية /كلية الاداب /العراق

balsam_shneshil@aliraqia.edu.iq

تاريخ قبول البحث: 2025 / 6 / 3

تاريخ استلام البحث: 2025 / 4 / 12

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى التنبؤ بكميات التساقط المطري في منطقة شمال غرب العراق حتى عام 2035، باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والنمذجة الإحصائية، مع التركيز على نموذج *RFR* Random Forest Regressor، والمنطقة المدروسة تصنف ضمن البيئات الجافة وشبه الجافة، وهي تعاني من تذبذب شديد في معدلات التساقط المطري.

اعتمدت الدراسة على بيانات مناخية شهرية من (10) محطات موزعة في محافظات نينوى، الأنبار، وصلاح الدين، للمدة (1990-2024)، وتم تقسيم البيانات إلى مرحلتين: الأولى (1990-2020) لتدريب النموذج، والثانية (2021-2024) لاختبار دقته، قبل استخدامه في التنبؤ للمدة المستقبلية (2025-2035)، كما شملت المتغيرات المدخلة في النموذج (درجة الحرارة العظمى والصغرى، الرطوبة النسبية، الضغط الجوي، سرعة الرياح، وصفاء السماء).

وقد أظهرت النتائج تبايناً مكانياً وزمانياً واضحاً في كميات التساقط بين المحطات، إذ تم تصنيف المدد إلى رطبة وجافة بناءً على متوسطات التساقط، وأظهرت مؤشرات الدقة مثل معامل التحديد (R^2) ومتوسط مربع الخطأ (MSE) أداءً تنبؤياً جيداً، وحققت النموذج دقة بلغت 98% بعد التحسين، إذ أسهمت تحليل الأوزان النسبية للمتغيرات المناخية في تحديد أهم العوامل المؤثرة على التساقط، وجاء التساقط المطري ودرجات الحرارة في مقدمتها، توفر هذه الدراسة أداة تنبؤية فعالة في البيئات الهشة مناخياً، وتسهم في تعزيز الاستعداد لمواجهة مخاطر الجفاف والفيضانات، وتدعم رسم السياسات المستدامة في الزراعة وإدارة المياه في العراق.

الكلمات المفتاحية: التنبؤ المطري، الذكاء الاصطناعي، *RFR*، التغير المناخي، شمال غرب العراق.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

Abstract:

This study aims to forecast rainfall amounts in northwestern Iraq through 2035 using artificial intelligence and statistical modeling, with a focus on the Random Forest Regressor RFR. The study area, classified as arid and semi-arid, experiences significant variability in precipitation.

Monthly climate data from 10 meteorological stations across Nineveh, Al-Anbar, and Salah Al-Din were analyzed for the period 1990–2024. The dataset was divided into a training phase (1990–2020) and a testing phase (2021–2024), with future predictions extending from 2025 to 2035. Input variables included maximum and minimum temperatures, relative humidity, atmospheric pressure, wind speed, and sky clarity.

Results revealed clear spatial and temporal variations, with years classified as wet or dry based on average precipitation. Accuracy metrics such as R^2 and MSE indicated strong predictive performance, with the model achieving 98% accuracy after optimization. Variable importance analysis highlighted rainfall and temperature as the most influential factors.

The study offers a robust predictive tool for climate-vulnerable regions, supporting early preparedness for droughts and floods and contributing to sustainable agricultural and water management planning in Iraq.

Key words : *Rainfall prediction, Artificial Intelligence, RFR, Climate Change, Northwest Iraq.*

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

أولاً: المقدمة

تُعد منطقة شمال غرب العراق من أكثر المناطق تأثراً بالتغيرات المناخية نظراً لوقوعها ضمن النطاق الجاف وشبه الجاف، إذ تتسم الأمطار فيها بعدم الانتظام والتباين الكبير بين المواسم والسنوات، هذا التذبذب يُلقي بظلاله على قطاعات الزراعة وإدارة المياه، ويزيد من التحديات المرتبطة بندرة الموارد وتكرار موجات الجفاف⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾.

في ظل هذه الظروف، تبرز أهمية تطوير أدوات تنبؤية دقيقة قادرة على استشراف سلوك التساقط المطري في السنوات القادمة، بما يسهم في دعم القرارات المتعلقة بالإدارة البيئية والتخطيط الزراعي، وانطلاقاً من هذا الواقع استندت الدراسة إلى تقنيات الذكاء الاصطناعي، وتحديدًا نموذج RFR، لتقدير كميات الأمطار المستقبلية بالاعتماد على بيانات مناخية طويلة الأمد، وتحليل تأثير العوامل الجوية المختلفة مثل الحرارة والرطوبة والضغط وسرعة الرياح، وهذه الدراسة تسعى إلى بناء فهم علمي أعمق لنمط التساقط المطري المتوقع حتى عام 2035، بما يدعم جهود التكيف مع المناخ وتوجيه الموارد المتاحة نحو الاستخدام الأمثل، خاصة في البيئات الهشة التي تعاني من شح المياه وتقلب الظروف المناخية⁴.

هدف البحث: يهدف البحث إلى تطوير نموذج ذكاء اصطناعي باستخدام RFR للتنبؤ بكميات التساقط المطري في شمال غرب العراق للمدة 2025-2035، وتحليل تأثير العوامل المناخية (درجة الحرارة، الرطوبة، الضغط الجوي، سرعة الرياح، وشفاء الجو)، مع تحديد التباينات الزمانية والمكانية للتساقط المطري في زيادة تعزيز قرار إدارة الموارد المائية والتخطيط البيئي.

¹. Beck, C., Grieser, J., Kottek, M., Rubel, F., & Rudolf, B. (2006). Characterizing global climate change by means of Köppen climate classification.

². Milovanović, B. (2017). Climate regionalization of Serbia according to Köppen climate classification. *Зборник радова Географског института "Јован Цвијић" САНУ*, 67(2), 103-114.

³. da Cunha, A. R., & Schöffel, E. R. (2011). The evapotranspiration in climate classification. In *Evapotranspiration-from measurements to agricultural and environmental applications*. IntechOpen.

⁴ خميس دحام مصلح السبهاني(2022) المناخ والحضارة: بلاد الرافدين نموذجًا. المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات.

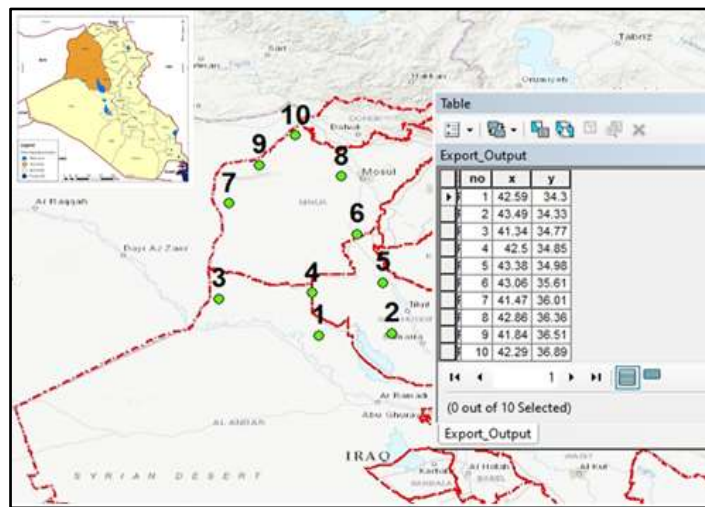
التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

مشكلة البحث: تكمن مشكلة البحث في غياب نماذج دقيقة للتنبؤ بالتساقط المطري للمناطق الجافة وشبه الجافة، بسبب الاعتماد على طرائق تقليدية غير كافية، ونقص البيانات المناخية الموثوقة، فضلاً عن تداخل المتغيرات المناخية المؤثرة على التساقط.

فرضيات البحث: يمكن التنبؤ بدقة عالية بكميات التساقط المطري في شمال غرب العراق باستخدام نموذج RFR والبيانات المناخية للمدة 1990-2024، مع دمج العوامل المناخية بما يحقق دقة عالية مع تقليل نسبة الخطأ.

موقع منطقة الدراسة: تقع منطقة الدراسة في شمال غرب العراق، وهي تمتد عبر محافظات نينوى، الأنبار، وصلاح الدين، تتباين طبوغرافياً لتشمل سهولاً واسعة ومناطق مرتفعة تؤثر على توزيع التساقط المطري، أما فلكياً فهي تمتد بين دائرتي العرض (34° - 37° شمالاً)، مما يجعلها ضمن المناطق القريبة من تأثيرات البحر الأبيض المتوسط من الشمال، لكنها تتأثر أيضاً بالكتل الهوائية الصحراوية من الجنوب، وتقع بين خطوط الطول (41° - 44° شرقاً)، مما يعكس تأثير التضاريس والبعد عن المسطحات المائية في تحديد أنماط التساقط المطري، ينظر الشكل (1) والجدول (1).

الشكل (1) موقع منطقة الدراسة من العراق



المصدر: اعتماداً على ، وزارة الموارد المائية ، المساحة العامة ، شعبة نظم المعلومات الجغرافية ،

<https://www.google.com>

2020.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

الجدول (1) الاحداثيات الجغرافية للمحطات المنتخبة لمنطقة الدراسة

رقم المحطة	خط العرض (N°)	خط الطول (E°)
1	34.3	42.5
2	34.33	43.49
3	34.77	41.34
4	34.85	42.5
5	34.98	43.38
6	35.61	43.06
7	36.01	41.47
8	36.36	42.86
9	36.51	41.84
10	36.89	42.29

المصدر: بالاعتماد على بيانات الموقع الجغرافي للمحطات المناخية المعتمدة في الدراسة،

<https://cds.climate.copernicus.eu>، <https://power.larc.nasa.gov>

ثانياً: الأدوات والوسائل المستخدمة في البحث:

يعتمد هذا البحث على مجموعة من الأدوات والوسائل التقنية والإحصائية لتحليل البيانات المناخية والتنبؤ بكميات التساقط المطري بدقة عالية. وتشمل هذه الأدوات:

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

1. **البيانات المناخية:** بيانات التساقط المطري المسجلة من 1990-2024 في 10 محطات مناخية¹ موزعة في شمال غرب العراق، والبيانات المناخية المرافقة مثل درجة الحرارة، الرطوبة، الضغط الجوي، سرعة الرياح، وشفاء الجو²، الجدول (2).

الجدول (2) الإحصائيات الوصفية للبيانات المناخية للمدة 1990 – 2024

الانحراف المعياري	الحد الأقصى	المتوسط	الحد الأدنى	المتغير
7.8	54.2	5.3	0.0	التساقط المطري (مم)
6.9	48.3	31.7	12.5	الحرارة العظمى (°C)
5.4	32.1	18.4	1.2	الحرارة الصغرى (°C)
8.2	1034.2	1012.4	985.6	الضغط الجوي (hPa)
2.5	15.7	4.3	0.5	سرعة الرياح (م/ث)
18.4	100	57	10	شفاء السماء (%)

المصدر: الهيئة العامة للأمناء الجوية والرصد الزلزالي – العراق ،

<https://cds.climate.copernicus.eu>، <https://power.larc.nasa.gov>

2. **أدوات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي:** ومنها لغة البرمجة Python لاستخدام مكتبات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات.

¹ National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2023). *Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) Project Data Archive*. NASA Langley Research Center. Retrieved from <https://power.larc.nasa.gov>

² محمد عبد الله داؤد محمد. (2023). كشف التغير في الغطاء الأرضي في ولاية غرب دارفور بين عامي 2017م و2021م. مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية. 101-111، 4(12) ،

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

أ- مكتبات تحليل البيانات: Pandas لمعالجة البيانات المناخية وتنظيمها، و NumPy لإجراء العمليات الحسابية الإحصائية.

ب- مكتبات التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي: Scikit-learn¹ لاستخدام نموذج RFR² وتقييم الأداء، فضلا عن Matplotlib و Seaborn³ لرسم المخططات البيانية وتحليل الأنماط المناخية.

ثالثا: المنهجية والإجراءات البحثية:

أ. معالجة البيانات واستكشافها:

تمثلت الخطوة الأولى في التحقق من جودة البيانات المناخية من خلال تنظيفها من القيم المتطرفة أو المفقودة، وإزالة السجلات غير المنطقية مثل القيم السالبة أو الشاذة للتساقط المطري، ونظراً لطبيعة مناخ المنطقة، تم استبعاد أشهر الصيف (حزيران، تموز، آب) من التحليل، بعد ذلك، جرى تحويل البيانات اليومية إلى بيانات شهرية عبر تجميع القيم وحساب المتوسطات أو النطاقات الشهرية للمتغيرات المناخية الأساسية، والتي تشمل: درجة الحرارة العظمى، درجة الحرارة الصغرى، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح، وصفاء الجو، كما أضيفت أعمدة زمنية جديدة (مثل السنة، الشهر) لتسهيل تحليل الاتجاهات الموسمية واستخلاص الأنماط المناخية، يلي ذلك مرحلة تحليل البيانات الاستكشافية (EDA)⁴، وفيها تُحلل العلاقات بين المتغيرات المستقلة مثل درجات الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح والضغط الجوي ووصفاء الجو من جهة، وبين كميات الأمطار من جهة أخرى، في هذه المرحلة يتم فحص توزيع البيانات وتحليل الارتباطات

¹ Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830. <https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>

² Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95 . <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>

³ Waskom, M. L. (2021). Seaborn: Statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, 6(60), 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>

⁴ Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

(Correlation) لتحديد المتغيرات الأكثر تأثيراً في كمية الأمطار²، مما يسهم في تحسين أداء النموذج المستخدم.

ب. اختيار النماذج الإحصائية والتنبؤية:

سعيًا لبناء نموذج تنبؤي دقيق لكميات التساقط المطري في البيئات الجافة وشبه الجافة، تم اختبار مجموعة من النماذج الإحصائية والتقنيات الحديثة في تعلم الآلة، إذ بدأت العملية بالنماذج الإحصائية التقليدية، مثل نموذج ARIMA الملائم لتحليل السلاسل الزمنية، ونموذج SARIMA الذي يُستخدم عند وجود نمط موسمي في البيانات، فضلاً عن نماذج الانحدار مثل الانحدار الخطي المتعدد³ (Multiple Linear Regression)، التي تساعد في تفسير العلاقة بين المتغيرات المناخية وكميات التساقط المطري. بعد ذلك تم توسيع التحليل باستخدام نماذج تعلم الآلة المتقدمة، شمل ذلك تطبيق نموذج RFR، الذي يمتاز بقدرته على التعامل مع العلاقات غير الخطية وتحديد المتغيرات الأكثر تأثيراً، ونموذج XGBoost⁴ الذي يركز على تحسين دقة التوقعات وتقليل الخطأ باستخدام تقنية التعزيز⁵ (Boosting)، كما تم إدراج نموذج LSTM Long Short-Term Memory⁶، وهو أحد نماذج الشبكات العصبية المتخصصة في تحليل البيانات الزمنية المعقدة، ينظر، الجدول (3).

¹ Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

² أحمد البديري. (2024). تحليل تطرفات الامطار اليومية في العراق. *Al-Adab Journal*, (150), 491-518.

³ James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning: With Applications in R*. Springer. <https://www.statlearning.com/>

⁴ Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

⁵ Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785–794). ACM. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>

⁶ Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

الجدول (3) مقارنة دقة النماذج قبل وبعد التحسينات

النموذج	الدقة قبل التحسين (%)	الدقة بعد التحسين (%)
Random Forest	94%	98%
XGBoost	88%	94%
Stacking Ensemble	89%	95-97%
LSTM Neural Network	90%	96%

المصدر: بالاعتماد على نتائج النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي باستخدام بيانات المناخ لمحطات شمال غرب العراق (2024).

فضلا عن ذلك تم استخدام نموذج Stacking Ensemble الذي يجمع بين نتائج عدة نماذج في طبقات متعددة (Meta-Learners) للحصول على نتائج أكثر استقراراً ودقة، من خلال دمج التوقعات بآلية جماعية تعتمد على نقاط القوة في كل نموذج، وقد أظهرت النتائج أن أفضل أداء تحقق بواسطة نموذج Random Forest بعد تحسين المعايير، إذ بلغ مستوى الدقة 98%. ويبين الجدول مقارنة بين دقة النماذج المختلفة قبل وبعد التحسين، تؤكد هذه النتائج أن استخدام خوارزميات تعلم الآلة، وخصوصاً النماذج مثل Random Forest وStacking، يوفر أدوات قوية لتفسير التباين المناخي والتنبؤ بكميات التساقط المطري بدقة¹.

ج. تقييم دقة التنبؤات

يجدر الإشارة إلى أن متوسط مربع الخطأ MSE تشير إلى أنه كلما انخفضت القيمة أي (القيم الأقرب إلى الصفر أفضل) يعكس دقة عالية للنماذج، ومعامل التحديد R^2 يبين القيم كلما اقتربت من 1 فإنها الأفضل،

¹ أ. د. سالار علي خضر. (2024). الدورات المناخية في امطار العراق: الدورات المناخية في امطار العراق مد/ الأداب. 14(37), 1693-1724.

² Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice* (2nd ed.). OTexts. Retrieved from <https://otexts.com/fpp2/>

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

وتظهر القيم إنها أكبر من 0.7، مما يشير إلى قدرة جيدة جداً للنماذج في تفسير تغيرات الأمطار، ويظهر الجدول (4) أكثر وضوحاً وتميزاً الآن والذي منه يمكن تحليل بشكل دقيق ومفصل، مع تقديم تقييم شامل للنتائج، فمن خلال تصنيف وترتيب المحطات تأتي المحطتان (2، 8) متميزة بدقة عالية في تفسيرها، يليها محطات (1، 4، 5، 6، 7، 9، 10) وجميعها تمتاز بتوازن عالي الدقة في التنبؤ، وهي مناسبة تماماً للاعتماد العملي، مع بعض التباين الطفيف في مستوى الأخطاء والتفسير، ثم المحطة (3) تحتاج إلى تحسين طفيف في دقتها، ويمكن القول ان قدرة النموذج على تفسير التغيرات متوسطة.

الجدول (4) يبين متوسط الخطأ ومعامل R^2 وتقييم للنتائج لكل محطة

المحطة	MSE	R^2	تقييم الأداء العام
1	0.312	0.744	أداء جيد جداً، أخطاء محدودة مع تفسير ممتاز للتغيرات.
2	0.328	0.884	أداء ممتاز، أفضل محطة على الإطلاق.
3	0.113	0.615	أخطاء منخفضة جداً لكن التفسير متوسط، إجمالاً جيد جداً.
4	0.388	0.791	أداء جيد جداً، توازن ممتاز بين الخطأ والتفسير.
5	1.001	0.802	أداء جيد، قد يحتاج بعض التحسين في تفسير التغيرات.
6	1.402	0.742	أداء جيد جداً، توازن مقبول بين الخطأ والتفسير.
7	1.461	0.792	أداء جيد جداً، خطأ أعلى قليلاً لكن تفسير ممتاز للتغير.
8	0.304	0.841	ممتاز جداً؛ خطأ قليل وتفسير قوي للغاية.
9	1.102	0.722	أداء جيد جداً، توازن معقول وقادر على تفسير التغيرات بشكل جيد.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

المحطة	MSE	R ²	تقييم الأداء العام
10	1.002	0.743	أداء جيد جداً، توازن ممتاز بين الخطأ والتفسير.

المصدر: بالاعتماد على نتائج نموذج RFR وتقييم أدائه باستخدام مؤشري MSE و R² لكل محطة للمدة (2025-2035).

تشير قيم MSE المنخفضة ومعاملات R² المرتفعة إلى كفاءة نموذج Random Forest في التنبؤ بكميات التساقط المطري في شمال غرب العراق، والذي يُعد عالي الدقة¹.

د. تحليل وزن المتغيرات المناخية:

استخدام Feature Importance Analysis² لتحديد تأثير كل عامل مناخي على التنبؤ وحساب الأوزان النسبية لكل متغير باستخدام تحليل الانحدار أو تقنية SHAP (Shapley Additive Explanations).

الجدول (5) يوضح الوزن النسبي لكل العناصر المناخية ضمن النموذج النهائي

الوزن النسبي (%)	المتغير
35%	التساقط المطري (مم)
20%	الحرارة العظمى (°C)
15%	الحرارة الصغرى (°C)

¹ م. د بلسم شاكر شنيشل & أ. د. رقية احمد محمد امين. (2020). مخاطر الشدات المطرية على سير العمليات الجيومورفية لمحافظة دهوك شمال غرب العراق باستعمال التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية مجلة ديالى للبحوث الانسانية. 1(85), 186-209.

² Olden, J. D., Joy, M. K., & Death, R. G. (2004). An accurate comparison of methods for quantifying variable importance in ecological models. *Ecological Modelling*, 178(3-4), 389-397. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.03.013>

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

المتغير	الوزن النسبي (%)
الضغط الجوي (hPa)	12%
سرعة الرياح (م/ث)	10%
صفاء السماء (%)	8%

المصدر:، استنادًا إلى مخرجات نموذج Random Forest للمدة (2024–1990) في شمال غرب العراق.

تم وضع النسب وفقاً للأهمية المتوقعة لكل متغير من الناحية النظرية والتطبيقية في نماذج التنبؤ بالتساقط المطري¹ للبيئات الجافة وشبه الجافة في شمال غرب العراق، لذلك فإن الجدول (5)، يوضح أن التساقط المطري هو المتغير الأبرز بـ (وزن 35%)، وهذا يعكس الهدف في توقع الأمطار، يلي ذلك أهمية درجات الحرارة العظمى والصغرى (35% مجتمعة)، والتي تؤثر مباشرة في عمليات التبخر وتكون السحب، أما المتغيرات الأخرى مثل الضغط الجوي (12%) وسرعة الرياح (10%) وشفاء السماء (8%) فهي أقل تأثيراً، ولكنها مهمة في تحسين دقة التوقعات، وأظهر تحليل أهمية المتغيرات أن التساقط المطري ودرجات الحرارة يمثلان العوامل الأهم في تفسير سلوك التساقط، وهو ما ينسجم مع الخصائص المناخية للمنطقة.

هـ- التحليل الإحصائي:

اعتمدت الدراسة على مجموعة من المؤشرات الإحصائية الكمية لتقييم دقة النموذج التنبؤي المستخدم (RFR) في تقدير كميات التساقط المطري، وتم استخدام مؤشرات تقييم أداء شائعة في علم الإحصاء والنمذجة المناخية، شملت:

¹ Biau, G. (2012). Analysis of a random forests model. *Journal of Machine Learning Research*, 13, 1063–1095. <https://www.jmlr.org/papers/volume13/biau12a/biau12a.pdf>

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

- متوسط مربع الخطأ: (MSE) والذي يقيس مقدار التباين بين القيم الحقيقية والمتوقعة، وكلما اقتربت القيمة من الصفر دلّ ذلك على ارتفاع دقة النموذج.
 - الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ: (RMSE) لقياس متوسط الانحراف بين التقديرات والواقع بوحدة المليمتر، ما يوفر قراءة واقعية للخطأ.
 - نسبة الخطأ المطلق المتوسط: (MAPE) لقياس نسبة الخطأ بالنسبة للقيم الفعلية، وتحديد مدى الانحراف بالنسبة المئوية.
 - معامل التحديد: (R^2) الذي يعبر عن نسبة التباين في البيانات المفسرة بواسطة النموذج؛ كلما اقتربت قيمته من (1) دلّ على دقة تفسير عالية.
- تم تقسيم البيانات إلى مجموعتي تدريب واختبار، وذلك لضمان اختبار النموذج على بيانات مستقلة عن التدريب، ثم مقارنة القيم المتوقعة الناتجة عن النموذج مع القيم المناخية المسجلة فعلياً في محطات الدراسة، بهدف قياس فعالية النموذج في التنبؤ¹.

فضلاً عن استخدام التحليل المكاني عبر مكتبة GeoPandas في بيئة Python لإسقاط القيم المطرية المتوقعة مكانياً، مما أسهم في توضيح الفروقات الجغرافية بين المحطات، وتم تمثيل الاتجاهات الزمنية للتساقط المطري باستخدام الرسوم البيانية والخطوط الزمنية لتحديد النمط العام للتساقط للمدة المتوقعة 2025-2035.

تشير نتائج التحليل إلى أن قيم MSE كانت منخفضة، ومعاملات R^2 تجاوزت في معظم المحطات 0.74، مما يدل على كفاءة عالية للنموذج في التنبؤ، وقدرته على تفسير التباين الزمني والمكاني للتساقط المطري بدقة، بما يخدم أهداف الدراسة في تقديم أداة تنبؤية فعالة للتخطيط المناخي والمائي في البيئات الجافة وشبه الجافة، واعتمدت معادلة نموذج RFR بشكل عام كما يلي⁽²⁾:

¹ Kuhn, M., & Johnson, K. (2013). *Applied Predictive Modeling*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6849-3>

² Segal, M. R. (2004). Machine learning benchmarks and random forest regression.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

$$f_i(X) \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} = \hat{y}$$

حيث:

- \hat{y} = القيمة المتنبأ بها (كمية الأمطار المتوقعة).
- N = عدد الأشجار في الغابة العشوائية.
- $f_i(X)$ = النتيجة المتنبأ بها من الشجرة i بناءً على المدخلات X (وهي المتغيرات المناخية مثل درجة الحرارة، الرطوبة، الضغط، الرياح، وشفاء الجو).
- X = المتجه الذي يمثل قيم المتغيرات المناخية.

رابعاً: خطوات التطبيق العملي.

النتائج المتوقعة في الجدول (6) ، تم تقسيم البيانات إلى مجموعتين رئيسيتين: مجموعة التدريب التي تتضمن بيانات المدة التاريخية من 1990 إلى 2020، ومجموعة الاختبار أو التحقق التي تشمل بيانات المدة 2021 إلى 2024، هذا التقسيم يساعد في التحقق من دقة النموذج لاحقاً، وفي مرحلة بناء النموذج، يتم اختيار نموذج تنبؤ ملائم مثل RFR ، الذي يتمتع بقوة في التعامل مع العلاقات غير الخطية بين المتغيرات وتحديد الميزات الأكثر أهمية بشكل آلي، بدلاً من ذلك يمكن استخدام نماذج ARIMA أو SARIMA في حالة ظهور أنماط زمنية موسمية واضحة في البيانات، وبعد اختيار النموذج باستخدام بيانات المدة التاريخية من 1990 إلى 2020، وتحديد الأنماط والعلاقات بين المتغيرات المستقلة والمتغير المستهدف .

تلي مرحلة التدريب مرحلة التنبؤ وإظهار النتائج، إذ تُدخل بيانات المتغيرات المستقلة للسنوات المستقبلية (2025-2035) في النموذج المدرب، ليتم بعدها استخراج التوقعات الشهرية لكميات الأمطار خلال هذه

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

المدة، وأخيراً تُجمَع النتائج اليومية المتوقعة لإنتاج مجاميع شهرية متوقعة للأمطار، ويتم تنظيم هذه النتائج في جدول النتائج المستخرجة من عملية التنبؤ¹.

الجدول (6) يبين القيم الإحصائية الخاصة بالمنطقة كالمتوسط والانحراف المعياري للأمطار الشهرية والسنوية.

المتغيرات	الإحصائيات الشهرية الشاملة	الإحصائيات السنوية الشاملة
عدد القيم	12 لكل شهر	11 من 2025 إلى 2035
المتوسط	1.3 ملم	16.58 ملم
الانحراف المعياري	0.36 ملم	2.01 ملم
القيمة الدنيا	0.82 ملم	13.46 ملم
القيمة القصوى	2.00 ملم	19.64 ملم

المصدر:، استناداً إلى نتائج نموذج التنبؤ المطري للمدة (2025-2035) في شمال غرب العراق.

¹ أ.م. د. بلسم شاكر شنيشل & الباحث فراس فاضل لعمود. (2022). الكشف عن انماط الجفاف باستخدام الاستشعار عن بعد والقرائن الطيفية في محافظة ذي قار للمدة (1987-2020) *مداد الآداب*. 12(29), 1951-1981.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

خامسا: عرض النتائج .

1. النتائج الإحصائية العامة للتساقط المطري (2025-2035)

الجدول (7) مجاميع الأمطار الشهرية للمدة (2025-2035)

الشهر	مجموع الأمطار للمدة (مم)
كانون الثاني	18.414
شباط	21.989
آذار	17.666
نيسان	18.942
آيار	13.937
أيلول	11.088
تشرين الأول	8.987
تشرين الثاني	14.091
كانون الأول	18.799

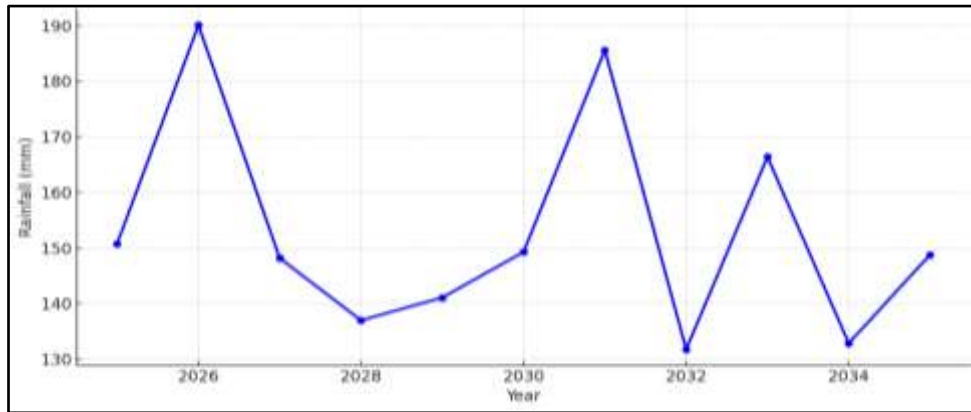
المصدر:، استنادًا إلى نتائج نموذج RFR للمدة (2025-2035) لبيانات عشر محطات في شمال غرب العراق.

يوضح الجدول (7) المتوسطات الشهرية لتساقط الأمطار للمدة المتوقعة (2025-2035) في منطقة شمال غرب العراق، فضلا عن المتوسطات السنوية لكل محطات الدراسة، يُظهر الجدول أن كميات التساقط

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

تتوزع بشكل غير منتظم على مدار أشهر السنة، إذ تُسجّل أعلى القيم في أشهر الشتاء، ولا سيما في كانون الثاني (1.674 ملم)، وشباط (1.999 ملم)، وآذار (1.606 ملم)، مما يعكس الطبيعة الموسمية للأمطار في المنطقة، أما انعدام التساقط المطري في أشهر الصيف، وخاصة في حزيران وتموز وآب، مما يعكس جفاف الموسم الحار، من جهة أخرى تشير المتوسطات السنوية إلى وجود تباين مكاني واضح بين المحطات، وقد سُجّل أعلى متوسط في محطة (3) بواقع 1.907 ملم، وأدناه في محطة (2) بواقع 0.877 ملم، ما يعكس اختلاف توزيع الأمطار نتيجة لعوامل طبوغرافية وموقعية تؤثر على كل محطة على حدة، ويُعد هذا التفاوت مؤشراً مهماً في فهم الفروقات المناخية الدقيقة داخل المنطقة¹.

رسم بياني (2) يوضح التغير السنوي العام في الأمطار للمدة المتوقعة.



المصدر: استناداً إلى نتائج التنبؤ السنوي للهطول المطري باستخدام نموذج Random Forest للمدة (2025–2035).

يؤكد الشكل البياني (2) أن كميات التساقط المطري المستقبلية في شمال غرب العراق ستبقى متذبذبة ومرتبطة بنمط موسمي غير منتظم، ما يستوجب التخطيط الاستباقي لإدارة المياه ومواجهة تقلبات المناخ، خاصة في السنوات ذات القيم المنخفضة، ان التغير السنوي في كميات الأمطار المتوقعة في منطقة شمال

¹ أ. د رقية احمد محمد أمين, الباحث & حسين علي عبدالله. (2024). استعمال المؤشرات الطيفية في نمذجة التعرية الريحية لمنطقة العظيم غرب محافظة ديالى. *مداد الآداب*, 14(35), 1423-1450.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

غرب العراق خلال المدة 2025-2035، وهو يوضح نمطاً متذبذباً من سنة لأخرى، دون ثبات أو استقرار تام، بما يعكس طبيعة المناخ شبه الجاف للمنطقة.

القمم المطرية تظهر بوضوح في عامي 2026 (190.1) ملم و2031 (185.6) ملم، ما يشير إلى احتمال تأثير أنظمة جوية رطبة استثنائية خلال هاتين السنتين، في المقابل تُسجّل أدنى كميات مطرية في عامي 2032 (131.8) ملم و2034 (132.9) ملم، مما يعكس تعرض المنطقة لحالة من الجفاف النسبي في تلك المدد، ورغم هذا التذبذب، يمكن ملاحظة وجود ميل عام نحو الاستقرار في نهاية المدة، مع اتجاه طفيف نحو الصعود، ما قد يشير إلى احتمال تحسّن نسبي في كميات الأمطار مستقبلاً، إلا أن هذا التحسن لا يزال محدوداً ولا يخرج المنطقة من نطاق "شديد الجفاف" وفق التصنيفات العالمية¹.

3. المقارنة بين المحطات المناخية

يوضح الجدول (8) والشكل البياني (3) التباين المكاني الواضح في المتوسط السنوي للتساقط المطري بين محطات الدراسة العشر، إذ تنصدر المحطة 10 جميع المحطات بمتوسط سنوي بلغ 345.85 ملم، ما يعكس وقوعها في منطقة ذات تعرض مباشر للكتل الهوائية الرطبة أو في موقع طوبوغرافي مرتفع يعزز من عمليات التكاثف والأمطار، تليها المحطة 8 بمتوسط 291.86 ملم، والمحطة 9 بـ 248.48 ملم، ما يشير إلى مناخ أكثر رطوبة نسبياً في هذه المواقع، في المقابل سجلت المحطة 1 أدنى كمية تساقط سنوي بلغت 93.34 ملم، مما يدل على موقعها في منطقة ذات خصائص شبه جافة إلى جافة، وربما تكون محمية طوبوغرافياً من التأثير المباشر للأنظمة المطرية، كما أن المحطة 3 والمحطة 4 تسجلان قيماً منخفضة نسبياً، بحدود 105.09 ملم و 111.79 ملم على التوالي.

¹ أ. د. رقية أحمد محمد أمين العاني &، إسماعيل جمعة كريم المشهداني. (2020). التعرية المحتملة للتربة وفق التنبؤ بتكرار العاصفة المطرية في حوض وادي زراوة-السليمانية باستخدام احتمالية التحليل المكاني، *Journal of Arts, Literature, Humanities and Social Sciences*, (55), 322-337.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

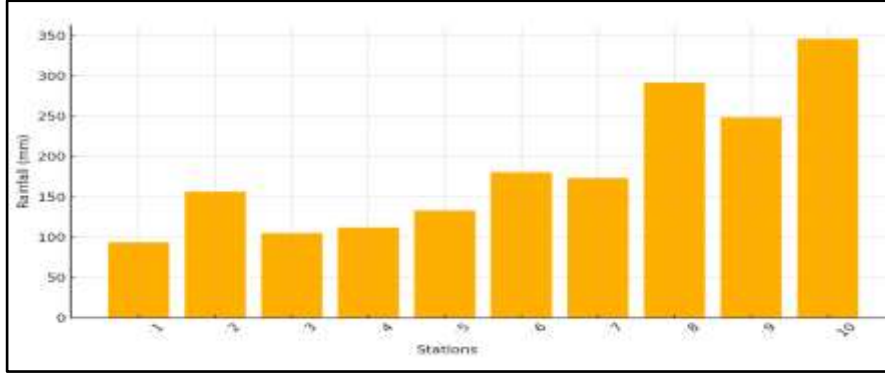
الجدول (8) يمثل متوسط التساقط المطري السنوي لمحطات منطقة الدراسة

المتوسط السنوي لتساقط الأمطار	
التساقط ملم	المحطات
93.34	المحطة 1
156.36	المحطة 2
105.09	المحطة 3
111.79	المحطة 4
133.30	المحطة 5
180.79	المحطة 6
173.54	المحطة 7
291.86	المحطة 8
248.48	المحطة 9
345.85	المحطة 10

المصدر: ، استناداً إلى نتائج التنبؤ السنوي لنموذج RFR للمدة (2025-2035).

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

الشكل البياني (3) مقارنة متوسط التساقط المطري السنوي لمحطات منطقة الدراسة



المصدر: جدول (8)

تتوزع بقية المحطات، مثل المحطة 2 (156.36 ملم)، والمحطة 5 (133.30 ملم)، والمحطة 6 (180.79 ملم)، والمحطة 7 (173.54 ملم) في النطاق المتوسط، مما يعكس ظروفًا مناخية انتقالية بين الرطوبة والجفاف، هذا التفاوت في كميات التساقط، رغم تقارب المواقع الجغرافية نسبيًا، يبرز التأثير الكبير للعوامل المحلية مثل التضاريس والارتفاع عن مستوى سطح البحر، واتجاهات الرياح السائدة، وقرب أو بعد المحطات عن المسطحات المائية، وتأثير الظل المطري والتكوينات الجبلية، تؤكد هذه النتائج أن منطقة الدراسة تتصف بتباين مطري مكاني دقيق يمكن أن يؤثر بشكل مباشر على الموارد المائية، والتخطيط الزراعي، والاستدامة البيئية في المناطق المختلفة¹.

¹ بلسم شاكر شنيشل. (2019). أثر الغطاء الغيمي في درجات الحرارة في العراق. *Al-Adab/Al-ādāb*, (129).

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

الجدول (9) معدل التغير السنوي (Trend) لتساقط الأمطار لكل محطة، مع معامل التحديد (R^2) والقيمة الاحتمالية (P-value)

المحطة	معدل التغير السنوي (مم/سنة)	R^2 نسبة التباين	P-value القيمة الاحتمالية
محطة 1	+1.75	0.34	0.048
محطة 2	-0.95	0.22	0.121
محطة 3	+0.62	0.15	0.308
محطة 4	+2.10	0.41	0.017
محطة 5	+1.35	0.25	0.089
محطة 6	+3.40	0.52	0.006
محطة 7	+2.89	0.47	0.013
محطة 8	+4.85	0.59	0.002
محطة 9	+3.92	0.54	0.004
محطة 10	+5.11	0.61	0.001

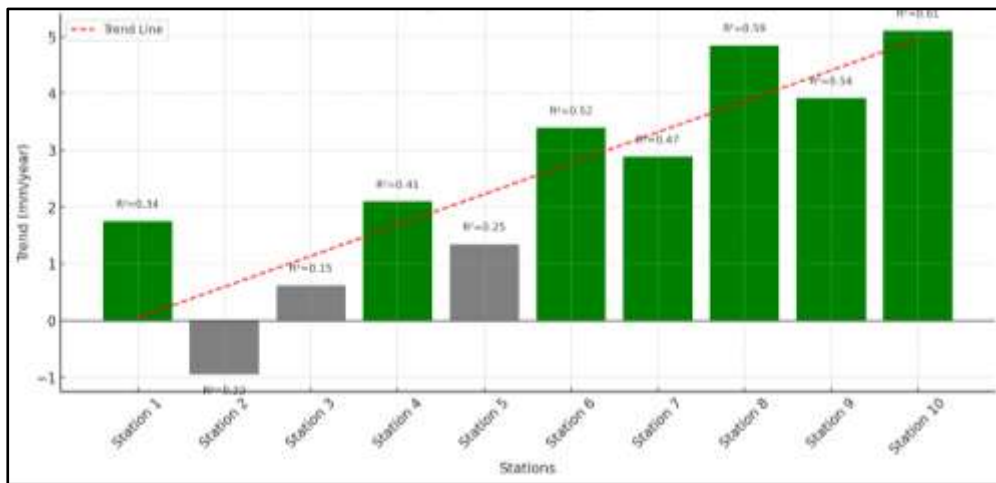
المصدر:، استنادًا إلى تحليل الاتجاه الزمني لهطول الأمطار السنوي باستخدام الانحدار الخطي البسيط في Python للمدة (2025–2035)

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

يُظهر الجدول (9) أن اتجاه التغير السنوي في كميات التساقط المطري بين محطات الدراسة يتفاوت بشكل ملحوظ، إذ سجلت جميع المحطات تقريباً قيماً موجبة لمعدل التغير السنوي، مما يشير إلى وجود نزعة عامة نحو زيادة كمية الأمطار عبر الزمن، باستثناء محطة واحدة (المحطة 2) التي أظهرت اتجاهًا سالبًا مقداره -0.95 ملم/سنة، وهو ما قد يشير إلى انخفاض مطري تدريجي في تلك المنطقة، وإن لم يكن ذا دلالة إحصائية واضحة نظرًا لأن القيمة الاحتمالية ($P\text{-value} = 0.121$) تتجاوز مستوى الدلالة المقبول (0.05). في المقابل، سجلت المحطة 10 أعلى معدل تغير إيجابي بلغ $+5.11$ ملم/سنة، تلتها المحطة 8 ($+4.85$ ملم/سنة) والمحطة 9 ($+3.92$ ملم/سنة)، وجميعها ارتبطت بمعاملات تحديد مرتفعة ($R^2 \geq 0.54$) وقيم احتمالية منخفضة جدًا ($P < 0.005$)، ما يعزز الثقة في دلالة هذه الاتجاهات، أما المحطات التي أظهرت اتجاهات معتدلة مثل المحطات 4، 6، و7، فقد سجلت معدلات تغير تراوحت بين 2.1 و3.4 ملم/سنة، وكانت معنوية إحصائيًا بدرجات متفاوتة.

بالمجمل، يعكس الجدول وجود تغيرات مناخية محلية واضحة، بعضها يُظهر تحسنًا مطريًا تدريجيًا في حين أن البعض الآخر لم يسجل تغيرات معنوية يُعتد بها.

الشكل البياني (4) معدل التغير السنوي (Trend) لتساقط الأمطار مع معامل التحديد (R^2) والقيمة الاحتمالية (P-value)



المصدر: الجدول (9)

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

يعزز الشكل البياني (4) نتائج الجدول من خلال التمثيل البصري لاتجاهات التغير السنوي في التساقط المطري، إذ تظهر المحطات ذات الاتجاهات المعنوية ($P < 0.05$) بأعمدة خضراء واضحة تعلو محور الزمن، مما يسهل تمييزها عن الأعمدة الرمادية التي تمثل الاتجاهات غير المعنوية¹، ويتضح من الرسم أن المحطة 10 تتصدر بقيمة مرتفعة، تليها المحطات 8 و9، مما يشير إلى تسارع في معدلات التساقط بتلك المواقع، كما أن الرسم يبين قيم معامل التحديد (R^2) فوق كل عمود، مما يتيح فهم قوة الترابط بين السنوات وكمية التساقط بشكل بصري مباشر، ومن الجدير بالذكر أن المحطة 2 الوحيدة التي أظهرت عمودًا سلبيًا، مما يبرزها كموقع يعاني من اتجاه مطري تنازلي محتمل، وإن لم يكن موثوقًا إحصائيًا، يُظهر الشكل إذن صورة مكانية دقيقة لحالة التغير المناخي في المنطقة، ويوفر أداة قوية لدعم قرارات إدارة الموارد المائية والتخطيط البيئي.

3. المدد الرطبة والجافة (2025-2035)

يعكس الجدول (10) والخاص بتوقعات كمية الأمطار للمدة (2025-2035) تباينًا محدودًا في التساقط المطري السنوي، حيث تتراوح القيم بين 131.8 ملم كأدنى قيمة في سنة 2032 و190.1 ملم كأعلى قيمة في سنة 2026. ووفقًا للتصنيف الإحصائي المحلي، تم تصنيف سنتين فقط على أنها شبه رطبة وهما 2026 و2031، في حين اعتُبرت بقية السنوات جافة، مما يدل على محدودية الفترات الرطبة ضمن السياق الزمني المستقبلي، وعلى الرغم من هذه الفروقات الطفيفة، فإن جميع السنوات صنفت ضمن نطاق شديد الجفاف (Hyper-arid) حسب تصنيف UNEP/FAO² نظرًا لانخفاض كميات الأمطار عن الحد الأدنى

¹ الساعدي، ع. ح.، وعبد الله، س. أ. (2019). تحليل الاتجاهات المناخية للتساقط المطري ودرجة الحرارة في

العراق باستخدام اختبار مان-كيندل ومنحدر سين. مجلة البحوث الجغرافية (34)، 81.66-

² United Nations Environment Programme (UNEP), & Food and Agriculture Organization (FAO). (1993). *The digital soil map of the world and derived soil properties*. United Nations.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

المعتمد عالمياً (200 ملم سنوياً)، ويُظهر الجدول بذلك استمرار نمط المناخ الجاف للمنطقة، مع بروز فترات طفيفة من التحسن النسبي غير الكافي لتغيير التصنيف العالمي.

الجدول (10) تصنيف السنوات إلى رطوبة وجافة للمدة (2025-2035)

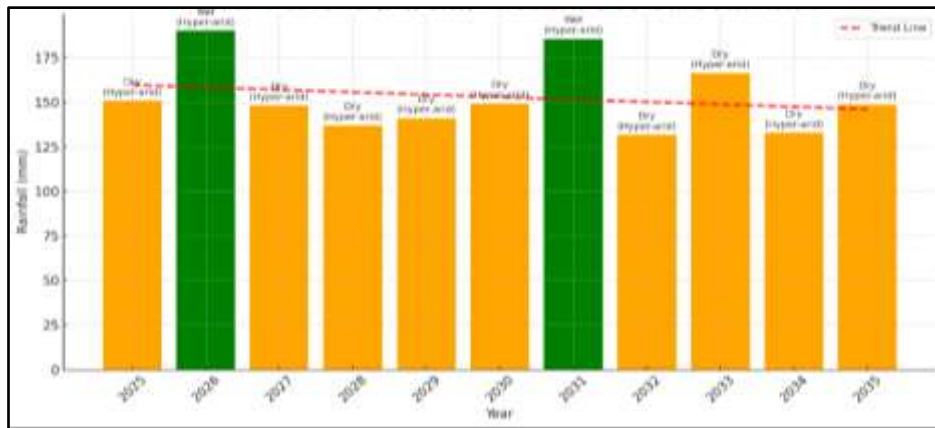
السنة	كمية الأمطار المتوقعة (ملم)	التصنيف المعدل إحصائياً	التصنيف العالمي (UNEP/FAO)
2025	150.8	جافة (Dry)	شديد الجفاف (Hyper-arid)
2026	190.1	شبه رطبة (Wet)	شديد الجفاف (Hyper-arid)
2027	148.2	جافة (Dry)	شديد الجفاف (Hyper-arid)
2028	137	جافة (Dry)	شديد الجفاف (Hyper-arid)
2029	141.1	جافة (Dry)	شديد الجفاف (Hyper-arid)
2030	149.3	جافة (Dry)	شديد الجفاف (Hyper-arid)
2031	185.6	شبه رطبة (Wet)	شديد الجفاف (Hyper-arid)
2032	131.8	جافة (Dry)	شديد الجفاف (Hyper-arid)
2033	166.4	جافة (Dry)	شديد الجفاف (Hyper-arid)
2034	132.9	جافة (Dry)	شديد الجفاف (Hyper-arid)
2035	148.8	جافة (Dry)	شديد الجفاف (Hyper-arid)

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

المصدر :، استنادًا إلى نتائج نموذج Random Forest للمدة (2025–2035) ومقارنة القيم مع المتوسط السنوي العام، والتصنيف العالمي .

والشكل البياني (5) يوضح التغيرات المتوقعة في كميات الأمطار المستقبلية بشكل بصري واضح، حيث يُظهر التفاوت بين السنوات من خلال أطوال الأعمدة، ويُرمز للتصنيف الإحصائي المحلي باستخدام ألوان مختلفة (الأخضر للفترات شبه الرطبة والبرتقالي للفترات الجافة). كما تم إضافة تصنيف UNEP/FAO شديد الجفاف أسفل كل تصنيف إحصائي، لتأكيد هشاشة الوضع المناخي العام، الخط الأحمر المتقطع في الرسم يمثل الاتجاه العام للتغير المطري (Trend Line)، والذي يبدو مستقرًا إلى حد ما مع ميل طفيف نحو الانخفاض أو التذبذب، ما يعزز فرضية استمرار النمط الجاف في السنوات القادمة. يعكس الشكل بذلك بُعدًا بصريًا يدعم القراءة الرقمية للجدول، ويوضح بجلاء أن التغيرات المطرية المستقبلية لا تتجه نحو تحسن ملحوظ.

الرسم البياني(5) كميات التساقط السنوي المتوقعة للمدة 2025–2035



المصدر: الجدول (10) .

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

4. التحليل الموسمي للتساقط المطري

الجدول (11) متوسط التساقط المطري الفصلي (شتاء، ربيع، صيف، خريف)¹ في كل محطة للمدة (2025-2035)

المحطة	الشتاء	الربيع	الخريف
المحطة 1	75.4	63.34	42.22
المحطة 2	95.05	79.84	53.23
المحطة 3	74.1	62.24	41.5
المحطة 4	68.5	57.54	38.36
المحطة 5	70.55	59.26	39.51
المحطة 6	74.65	62.71	41.8
المحطة 7	92.8	77.95	51.97
المحطة 8	65.9	55.36	36.9
المحطة 9	83.2	69.89	46.59
المحطة 10	66.45	55.82	37.21

المصدر:، استنادًا إلى نتائج نموذج Random Forest وتحليل البيانات الفصلية للمدة (2025-2035).

¹ الحسن، ع. م. (2018). التحليل المكاني والزمني للتساقط المطري في العراق باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة بغداد، كلية التربية للعلوم الإنسانية.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

يعكس الجدول (11) تبايناً واضحاً في كميات التساقط المطري بين المحطات من جهة، وبين الفصول الثلاثة (الشتاء، الربيع، الخريف) من جهة أخرى. يُظهر فصل الشتاء تفوقاً واضحاً في معظم المحطات من حيث كمية الأمطار، وهو ما ينسجم مع النمط المناخي السائد في المنطقة، حيث تهيمن المنخفضات الجوية الشتوية على الدورة المطرية، أعلى قيمة سُجِلت في محطة 2 (95.05 ملم)، تليها محطة 7 (92.8 ملم)، وهما محطتان يبدو أنهما أكثر تعرضاً للكتل الهوائية الرطبة، أو تقعان في مناطق طبوغرافية تساعد على تكاثف الرطوبة¹.

أما فصل الربيع فقد احتل المرتبة الثانية في التساقط، مع ملاحظة اقترابه في بعض المحطات من القيم الشتوية، مثل محطة 2 (79.84 ملم) ومحطة 7 (77.95 ملم)، ما يشير إلى إمكانية تأثر هذه المحطات بأطراف أنظمة جوية انتقالية خلال الربيع، وإن باقى المحطات سجلت قيماً تتراوح بين 55-70 ملم في الربيع، ما يعكس نمطاً انتقالياً بامتياز.

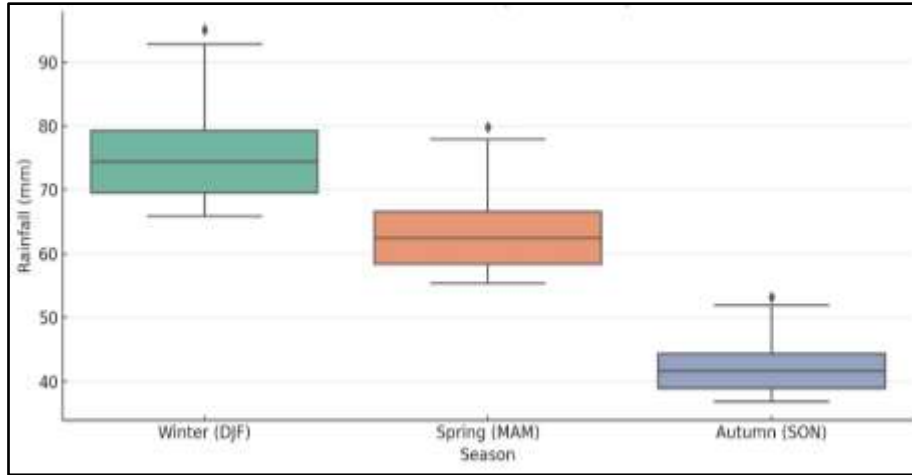
في المقابل جاء فصل الخريف كأقل الفصول مطراً، إذ تراوحت القيم بين 36.9 ملم في محطة 8 و53.23 ملم في محطة 2، ما يعزز فرضية تأخر النشاط الجوي الفعال إلى الشتاء.

اللافت في الأمر أن الترتيب العام للمحطات من حيث كمية الأمطار يكاد يكون متقارباً بين الفصول الثلاثة، إذ تتصدر نفس المحطات (مثل 2، 7، و9) في كل فصل تقريباً، مما يعكس ثباتاً مكانياً عاماً لتوزيع التساقط عبر الزمن والفصول.

¹ الشمري، ر. خ. (2020). التحليل الموسمي والاتجاهي للتساقط المطري في شمال العراق. مجلة البحوث الجغرافية (2) 39، 120-138.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

الرسم البياني (6) التوزيع الموسمي لتساقط الأمطار عبر جميع المحطات للمدة (2025– 2035) باستخدام مخطط Boxplot



المصدر: الجدول (11) .

ويُظهر الجدول أن المحطات الأكثر رطوبة نسبياً (2، 7، 9) تحتفظ بتفوقها في جميع الفصول، بينما تسجل المحطات الأخرى معدلات أدنى ولكنها متقاربة، ويُعزز هذا التوزيع ضرورة مراعاة الفروق المكانية والفصلية عند وضع خطط إدارة الموارد المائية، إذ إن الاعتماد الكامل على فصل الشتاء قد لا يكون كافياً دون استغلال الكميات الموزعة في الربيع والخريف.

الرسم البياني (6) يؤكد بوضوح أن التوزيع الموسمي للأمطار في منطقة الدراسة ويتسم بسيادة الشتاء كمصدر رئيسي للتساقط المطري، يليه الربيع، ثم الخريف، كما أن التباين بين المحطات أكبر في الشتاء، مما يشير إلى أثر التضاريس والموقع المكاني على كميات الأمطار، بخلاف الخريف الذي يظهر أكثر تجانساً، هذا النمط يؤكد الطابع الموسمي الحاد والجاف صيفاً في المنطقة، ويعطي أساساً متيناً للتخطيط الموسمي في إدارة المياه والزراعة.

خلال فصل الشتاء يظهر أعلى متوسط تساقط مطري مقارنة ببقية الفصول، إذ يقع الوسيط عند مستوى مرتفع (حوالي 75 ملم)، مع امتداد علوي ملحوظ يشير إلى وجود محطات تسجل كميات مرتفعة (مثل

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

المحطة 2 والمحطة 7)، كذلك نلاحظ وجود قيم متطرفة في الأعلى، ما يدل على احتمال تعرض بعض المحطات لحالات مطرية شديدة. هذا يرسخ مكانة الشتاء كالفصل المطري الرئيسي في الإقليم المدروس. اما فصل الربيع فإنه يأتي في المرتبة الثانية من حيث كمية الأمطار، مع وجود تشتت معتدل حول الوسيط (حوالي 62-65 ملم)، كما تُظهر العلب الصندوقية اتساقاً بين المحطات، باستثناء بعض القيم المتطرفة. هذا يشير إلى أن الربيع يُسهم بنسبة جيدة من الأمطار، خصوصاً في المحطات الأكثر تعرضاً للتأثيرات الانتقالية المناخية.

وفصل الخريف يُظهر الرسم أن الخريف يمتلك أقل معدل مطري بين الفصول الثلاثة، والوسيط يقع في حدود 40 ملم تقريباً، التباين بين المحطات ضئيل نسبياً، مع بعض القيم المتطرفة السفلية، ما يدل على استقرار نسبي في تدني كميات الأمطار في هذا الفصل، ويعكس ذلك قلة الفعاليات المطرية المؤثرة في المنطقة خلال الخريف.

5. التباين والانحرافات الزمانية والمكانية

أ. الانحرافات المعيارية بين المحطات

يعرض الجدول (12) الانحرافات المعيارية المتقاربة بين المحطات توضح أن التوقعات المطرية المستقبلية تُظهر نمطاً عاماً من الاستقرار المعتدل مع تذبذب موسمي محدود، مما يعزز موثوقية النتائج ويؤكد أن منطقة الدراسة لا تتعرض لفروقات مطرية حادة خلال المدة المتوقعة، وهو ما يُعد مؤشراً مهماً في تخطيط استخدام الموارد المائية وتنظيم الزراعة الموسمية¹.

وتُعد هذه القيم مؤشراً مباشراً لقياس درجة التذبذب الزمني داخل كل محطة، بحيث تُظهر المحطات ذات الانحراف العالي تقلبات مطرية أكبر، بينما تعكس القيم المنخفضة استقراراً نسبياً في كميات الأمطار من

¹ الجميلي، ف. ج. م. (2019). التباين المكاني والزمني للأمطار في العراق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

سنة لأخرى، سجلت المحطة 4 أعلى قيمة للانحراف المعياري بـ 19.73 ملم، تليها المحطة 2 بـ 19.5 ملم، ما يشير إلى وجود تذبذب سنوي واضح في التساقط المطري في هاتين المحطتين، قد يكون مرتبطاً بعوامل محلية مثل التغيرات الطبوغرافية أو تعرضها المتفاوت للأنظمة الجوية¹، أما أقل انحراف فسُجّل في المحطة 3 بـ 17.79 ملم، ما يدل على استقرار نسبي في كمية الأمطار السنوية بهذه المحطة.

الجدول (12) الانحراف المعياري (SD) لتساقط الأمطار في كل محطة للمدة

(2025–2035)

المحطة	الانحراف المعياري (SD)
المحطة 1	18.86
المحطة 2	19.5
المحطة 3	17.79
المحطة 4	19.73
المحطة 5	18.51
المحطة 6	18.2
المحطة 7	18.5
المحطة 8	18.8

1 العزوي، أ. ع. (2017). تحليل التباين الزمني والمكاني للأمطار في العراق باستخدام تقنيات GIS و RS (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة الموصل، كلية التربية.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

المحطة الانحراف المعياري (SD)

19.33

المحطة 9

18.22

المحطة 10

المصدر:، استنادًا إلى نتائج نموذج Random Forest للمدة (2025-2035) وتحليل الانحراف المعياري لكل محطة.

بالمجمل تتراوح القيم بين 17.8 و19.7 ملم، وهي فروقات محدودة نسبيًا، ما يشير إلى أن معظم المحطات تشترك في نمط مطري زمني متقارب، مع وجود فروق طفيفة تعكس تأثيرات مكانية دقيقة، مثل الاتجاه الجغرافي والانحدار والارتفاع.

ب. الانحرافات المعيارية بين السنوات:

الانحراف المعياري السنوي يوفر صورة دقيقة عن مدى اتساق أو تشتت التوزيع المطري بين محطات الدراسة. القيم المرتفعة تدل على تباينات محلية في الهطول، بينما تعكس القيم المنخفضة حالات مطرية عامة وشاملة¹. هذا النوع من التحليل مهم في تقييم العدالة المناخية في توزيع الموارد المائية، وتحديد أولويات الدعم في المناطق الأضعف هطولًا خلال السنوات ذات التباين العالي. يعرض الجدول (13) القيم السنوية للانحراف المعياري (SD) في كميات الأمطار المتوقعة عبر المحطات العشر لكل سنة من سنوات المدة 2025-2035، وهو يمثل درجة التباين المكاني بين المحطات في نفس السنة، أعلى تباين مكاني سُجّل في سنة 2032 2.91 ملم، تليها سنة 2030 2.72 ملم، ما يدل على وجود فروقات مكانية واضحة في كميات التساقط بين المحطات خلال هاتين السنتين، ربما نتيجة تعرض بعض المواقع لفعالية مطرية استثنائية أو موضعية دون غيرها.

¹ الشمري، ع. ح.، وعبد الجبار، ف. ن. (2021). تحليل التباين السنوي للأمطار في العراق باستخدام الانحراف المعياري ومؤشر التذبذب. مجلة العلوم الجغرافية (1) 14، 95.77-

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

الجدول (13) الانحراف المعياري السنوي لتساقط الأمطار للمدة (2025-2035)

السنة	الانحراف المعياري السنوي (SD)
2025	1.74
2026	2.2
2027	2.23
2028	2.35
2029	2.18
2030	2.72
2031	1.58
2032	2.91
2033	2.21
2034	1.46
2035	1.46

المصدر: اعتماداً على نتائج التنبؤ السنوي للتساقط المطري (2025-2035) باستخدام نموذج RFR لعشر محطات في شمال غرب العراق، مع حساب الانحراف المعياري السنوي لقياس التباين المكاني بين المحطات.

اما أدنى تباين لوحظ في سنتي 2034 و2035 (1.46 ملم)، ما يشير إلى تجانس نسبي في كمية الأمطار بين جميع المحطات في هاتين السنتين، ويعني أن التوزيع كان متقارباً مكانياً ولم يكن هناك تأثيرات محلية شاذة، وان معظم السنوات تراوحت فيها قيمة SD بين 2.1 إلى 2.3 ملم، وهو تذبذب معتدل يُظهر أن النمط المطري المتوقع يشهد استقراراً نسبياً بين المواقع مع وجود بعض الاستثناءات السنوية المحدودة.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

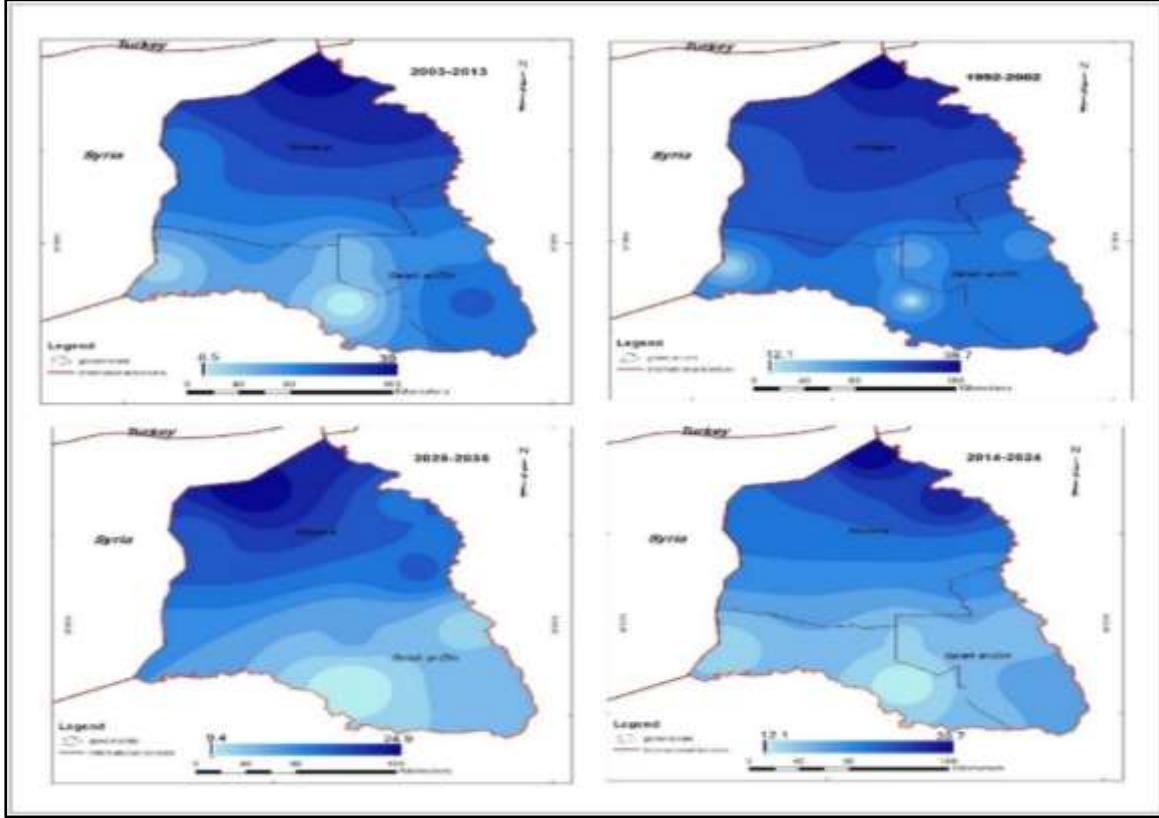
6. خرائط التوزيع المكاني للتساقط المطري

من الشكل (7) والذي يوضح الخرائط المكانية الأربع التي تبين التوزيع الجغرافي للتساقط المطري في شمال غرب العراق خلال المدد (1992-2002)، (2003-2013)، (2014-2024)، و(2025-2035)، إذ يمكن ملاحظة وجود تغير تدريجي وملاموس في نمط الأمطار من حيث الشدة والموقع، وتُظهر خريطة المدة الأولى 1992-2002 تمركزاً واضحاً للأمطار الغزيرة في شمال محافظة نينوى وشمال شرق صلاح الدين، مع سيطرة الألوان الزرقاء الداكنة التي تعكس غزارة نسبية كانت سائدة في تلك المدة¹، ثم هذا يبدأ التركيز المطري بالتراجع قليلاً في خريطة المدة الثانية 2003-2013، ويليه تراجعاً تدريجياً للمناطق ذات الغزارة العالية باتجاه الجنوب الغربي، مع بدء تزايد المناطق ذات الأمطار المتوسطة، أما في المدة 2014-2024 فتظهر بوضوح مؤشرات التذبذب المطري.

1 أ. م. عبير عدنان خليفة الخزاعي، أ. د رقية أحمد محمد امين & أ. م. د خالد مرزوك الخليفاوي (أستاذ مساعد دكتور). (2025). الخريطة الجيومورفية لمنطقة أم رحل تحليل خرائطي مقارنة للنظام الهولندي ITC ونظام التصنيف المحلي بالاعتماد على تقنيات الذكاء الاصطناعي. مداد الآداب. 2188-2141، 15(39) ،

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

الشكل (7) التوزيع الجغرافي لتساقط الأمطار في شمال غرب العراق



المصدر: ، استنادًا إلى بيانات التساقط المطري للفترة (1992-2035) وتحليلها مكانيًا باستخدام GIS ونموذج Random Forest لرصد التغيرات المناخية في شمال غرب العراق.

ونلاحظ ان المراكز باللون الازرق تراجعت إلى نطاقات محدودة لتحل محلها مساحات أوسع بدرجات لونية فاتحة، مما يعكس انخفاضًا عامًا في كميات الأمطار واستقرار الغزارة في نطاقات ضيقة، وتبلغ هذه الظاهرة ذروتها في خريطة التنبؤ للمدة 2025-2035، إذ تسود الألوان الفاتحة على الخريطة بشكل كامل، ما يدل على تراجع كبير في النطاقات الغزيرة وامتداد واضح للبيئات الجافة وشبه الجافة¹، ويؤشر هذا

1 اثر حبيب هادي، ا. د. صباح حمود غفار & ا. د. رقية احمد محمد أمين. (2022). النمذجة الكارتوغرافية لعناصر مناخية مختارة (درجة الحرارة والرطوبة النسبية) في قضاء سامراء للمدة 2011-2021 باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. المجلة الدولية للعلوم الإنسانية والاجتماعية. 113-124, (37),

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

النمط إلى وجود تحول مناخي تدريجي نحو الجفاف وزيادة عدم الانتظام في توزيع التساقط، وهو ما يعكس تأثير التغيرات المناخية على الإقليم.

كما وتبين الأشكال (8) (9) أن مناطق التركيز المطري تتركز بوضوح في محطات مثل (3-4-8) ، إذ تتكرر القيم العالية للهطول المطري خلال الأشهر الشتوية والربيعية.

الشكل (8) التغيرات السنوية لمعامل الانحراف المعياري لتساقط الأمطار في كل محطات الدراسة للمدة

من 2025 إلى 2035



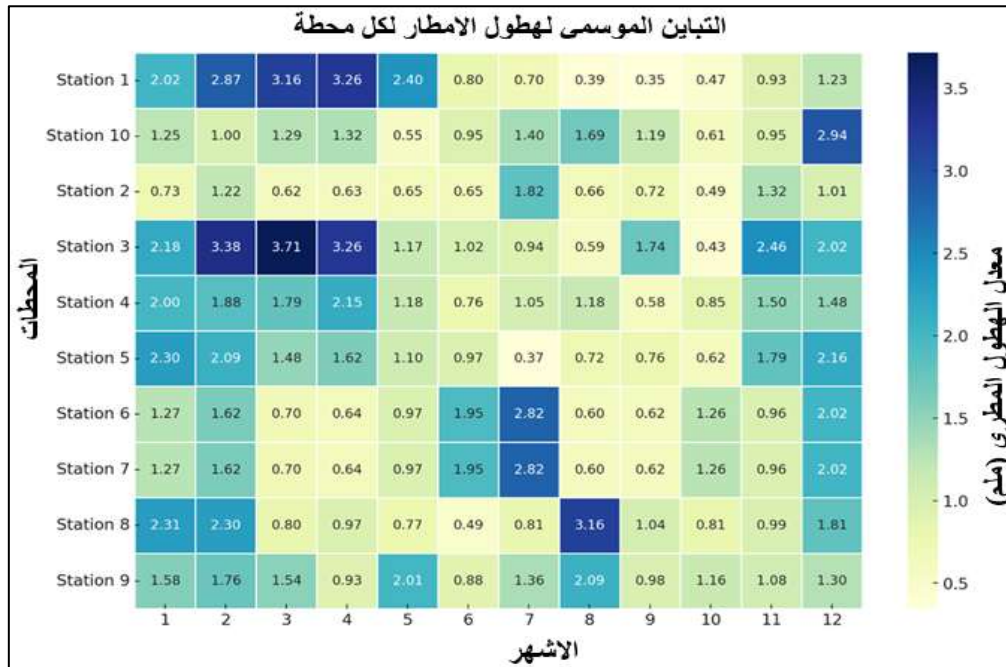
المصدر: بالاعتماد على نتائج نموذج RFR وتحليل الانحراف المعياري السنوي لتساقط الأمطار بين المحطات للمدة (2025-2035)، وتمثيلها بخريطة حرارية في بيئة Python لتوضيح أنماط التباين المكاني والزمني.

لا سيما في الأشهر من كانون الثاني حتى نيسان، وتتميز هذه المحطات بتسجيلها معدلات هطول تتجاوز 3.0 ملم في بعض الأشهر، مما يدل على تعرضها المستمر للكتل الهوائية الرطبة، وغالبًا ما تقع هذه المحطات في مواقع طبوغرافية مكشوفة أو مرتفعة تستقبل تأثير الرياح الغربية الرطبة القادمة من البحر

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

المتوسط، في المقابل تُعد محطات (10-2) من مناطق شحة الامطار، وتظهر فيها القيم المنخفضة على مدار العام وبخاصة في فصل الصيف، ما يعكس موقعها المحتمل في مناطق محمية أو منخفضة أو بعيدة عن مسارات الكتل الرطبة، كما أن استمرار هذا النمط عبر السنوات يعطي دلالة على ثبات التوزيع المكاني للأمطار الموسمية في منطقة شمال غرب العراق.

الشكل (9) يوضح التباين الموسمي لتساقط الأمطار الشهري لكل محطات الدراسة



المصدر: بالاعتماد على نتائج نموذج RFR وتحليل الانحراف المعياري السنوي لتساقط الأمطار بين المحطات للمدة (2025-2035)، وتمثيلها بخريطة حرارية في بيئة Python لتوضيح أنماط التباين المكاني والزمني.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

تحليل النتائج:

أظهرت نتائج الدراسة كفاءة عالية لنموذج Random Forest Regressor (RFR) في التنبؤ بكميات التساقط المطري في البيئات الجافة وشبه الجافة في شمال غرب العراق للمدة (2025-2035)، وبيّنت النمذجة الإحصائية والذكاء أن النمط المطري المتوقع يتسم بتذبذب زمني ومكاني واضح، مع سيادة فصل الشتاء كمصدر رئيسي للتساقط، يليه الربيع ثم الخريف.

سجّلت المحطات الواقعة في النطاقات المرتفعة أو المنفتحة على التأثيرات المتوسطة (مثل المحطات 8، 9، و10) أعلى المعدلات السنوية، مقابل معدلات أقل في المحطات الجنوبية أو المحمية طبوغرافياً (مثل المحطة 1 والمحطة 2)، كما كشفت التحليلات الإحصائية عن فروقات مكانية سنوية تراوحت فيها الانحرافات المعيارية بين 1.46 و2.91 ملم، وهو ما يعكس تبايناً محدوداً نسبياً في سلوك الأمطار بين المحطات عبر الزمن، وعلى مستوى دقة النموذج، تجاوز معامل التحديد (R^2) في معظم المحطات حاجز 0.74، مع انخفاض ملحوظ في قيم MSE، مما يعزز من موثوقية النتائج التنبؤية، كذلك أكدت الدراسة أن أكثر العوامل تأثيراً على التساقط المطري كانت الأمطار السابقة، ودرجات الحرارة العظمى والصغرى، يليها الضغط الجوي وسرعة الرياح، وقد تم تمثيل نتائج النموذج مكانياً وزمانياً باستخدام أدوات Python وخرائط حرارية تبرز التغيرات في التوزيع الشهري والفصلي، مشيرة إلى تقلص المناطق الغزيرة واتساع نطاق البيئات الجافة، ما يعكس تأثيراً ملموساً للتغير المناخي، توصلت الدراسة إلى أن استخدام الذكاء الاصطناعي، خصوصاً نموذج RFR، يوفر أداة تنبؤية قوية تدعم متخذي القرار في مجالات إدارة المياه والتخطيط الزراعي وتوجيه السياسات البيئية في المناطق الهشة مناخياً.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

النتائج:

1. كفاءة نموذج RFR: حقق النموذج دقة تنبؤية عالية بلغت 98%، مع أداء إحصائي قوي ($R^2 > 0.74$) في معظم المحطات.
2. تباين مكاني وزماني: لوحظ تباين واضح في كميات الأمطار بين المحطات، حيث تفوقت المحطات 10 و 8 و 9، بينما سجلت المحطات 1 و 2 و 3 أقل المعدلات.
3. نمط موسمي واضح: تركز التساقط المطري في فصل الشتاء، يليه الربيع ثم الخريف، مع شبه غياب للأمطار في الصيف، مما يعكس النمط المناخي الجاف.
4. تصنيف السنوات: صُنِّفت أغلب السنوات (2025-2035) على أنها جافة، باستثناء 2026 و 2031، بينما بقي التصنيف العالمي لجميع السنوات ضمن "شديد الجفاف" (Hyper-arid).
5. أهمية المتغيرات: احتلت الأمطار السابقة ودرجات الحرارة المرتبة الأولى في التأثير على التنبؤ، تليها الضغط الجوي وسرعة الرياح.
6. استقرار التوزيع: أظهرت الانحرافات المعيارية بين المحطات والسنوات تذبذبًا محدودًا، ما يشير إلى موثوقية النموذج واستقرار سلوك الأمطار المستقبلي.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

المصادر :

- البديري، أحمد. (2024). تحليل تطرفات الامطار اليومية في العراق, (150), *Al-Adab Journal*, 491-518.
- الجميلي، ف. ج. م. (2019). التباين المكاني والزمني للأمطار في العراق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية مجلة جامعة الأنبار للعلوم الإنسانية(2)3، ، 67.45-
- الحسن، ع. م. (2018). التحليل المكاني والزمني للتساقط المطري في العراق باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة بغداد، كلية التربية للعلوم الإنسانية.
- الخزاعي، عبير عدنان خلفه، أ. د رقية أحمد محمد امين & ، أ. م. د خالد مرزوك الخليفاوي (أستاذ مساعد دكتور). (2025). الخريطة الجيومورفية لمنطقة أم رحل تحليل خرائطي مقارنة للنظام الهولندي ITC ونظام التصنيف المحلي بالاعتماد على تقنيات الذكاء الاصطناعي. مداد الآداب-2141, (39)15 , 2188.
- خضر. سالار علي. (2024). الدورات المناخية في امطار العراق: الدورات المناخية في امطار العراق مداد الآداب. 1693-1724, (37)14 ,
- الساعدي، ع. ح.، و عبد الله، س. أ. (2019). تحليل الاتجاهات المناخية للتساقط المطري ودرجة الحرارة في العراق باستخدام اختبار مان-كيندل ومنحدر سين مجلة البحوث الجغرافية(34) ، ، 81.66-
- السبهاني، خميس دحام مصلح (2022)المناخ والحضارة: بلاد الرافدين نموذجًا. المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات.
- الشمري، ر. خ. (2020). التحليل الموسمي والاتجاهي للتساقط المطري في شمال العراق مجلة البحوث الجغرافية(2)39 ، ، 138.120-
- الشمري، ع. ح.، و عبد الجبار، ف. ن. (2021). تحليل التباين السنوي للأمطار في العراق باستخدام الانحراف المعياري ومؤشر التذبذب مجلة العلوم الجغرافية(1)14 ، ، 95.77-
- شنيشل، بلسم شاكر & ، أ. د. رقية احمد محمد امين. (2020). مخاطر الشدات المطرية على سير العمليات الجيومورفية لمحافظة دهوك شمال غرب العراق باستعمال التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية مجلة ديالى للبحوث الانسانية. 186-209, (85)1 ,
- شنيشل، د بلسم شاكر & ، الباحث فراس فاضل لهمود. (2022). الكشف عن انماط الجفاف باستخدام الاستشعار عن بعد والقرائن الطيفية في محافظة ذي قار للمدة (1987-2020) مداد الآداب , (29)12 , 1951-1981.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

- شنيشل ،بلسم شاكر. (2019). أثر الغطاء الغيمي في درجات الحرارة في العراق, *Al-Adab/Al-ādāb*, (129).
- العزاوي، أ. ع. (2017). تحليل التباين الزمني والمكاني للأمطار في العراق باستخدام تقنيات GIS و RS (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة الموصل، كلية التربية.
- العاني، رقية أحمد محمد أمين & إسماعيل جمعة كريم المشهداني. (2020). التعرية المحتملة للتربة وفق التنبؤ بتكرار العاصفة المطرية في حوض وادي زراوة-السليمانية باستخدام احتمالية التحليل المكاني. *Journal of Arts, Literature, Humanities and Social Sciences*, (55), 322-337.
- محمد أمين، رقية احمد, الباحث & حسين علي عبدالله. (2024). استعمال المؤشرات الطيفية في نمذجة التعرية الريحية لمنطقة العظيم غرب محافظة ديالى مدد *الأداب*. 14(35), 1423-1450.
- محمد، محمد عبد الله داؤد. (2023). كشف التغير في الغطاء الأرضي في ولاية غرب دارفور بين عامي 2017م و2021م *مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية*. 4(12), 101-111.
- هادي، اثير حبيب, ا. د. صباح حمود غفار & ا. د. رقية احمد محمد أمين. (2022). النمذجة الكارتوغرافية لعناصر مناخية مختارة (درجة الحرارة والرطوبة النسبية) في قضاء سامراء للمدة 2011-2021 باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. *المجلة الدولية للعلوم الإنسانية والاجتماعية*-113, (37), 124.

التنبؤ بالتساقط المطري باستخدام النمذجة الإحصائية والذكاء الاصطناعي للبيئات الجافة وشبه الجافة شمال غرب العراق حالة تطبيقية

- Beck, C., Grieser, J., Kottek, M., Rubel, F., & Rudolf, B. (2006). Characterizing global
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Biau, G. (2012). Analysis of a random forests model. *Journal of Machine Learning Research*, 13, 1063–1095. <https://www.jmlr.org/papers/volume13/biau12a/biau12a.pdf>
- climate change by means of Köppen climate classification.
- .Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785–794). ACM. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- da Cunha, A. R., & Schöffel, E. R. (2011). The evapotranspiration in climate classification. In *Evapotranspiration-from measurements to agricultural and environmental applications*. IntechOpen.
- Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95 . <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and Practice* (2nd ed.). OTexts. Retrieved from <https://otexts.com/fpp2/>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning: With Applications in R*. Springer. <https://www.statlearning.com/>
- Kuhn, M., & Johnson, K. (2013). *Applied Predictive Modeling*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6849-3>
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied Linear Statistical Models* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Milovanović, B. (2017). Climate regionalization of Serbia according to Köppen climate classification. *Зборник радова Географског института "Јован Цвијић" САНУ*, 67(2), 103-114.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2023). *Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) Project Data Archive*. NASA Langley Research Center. Retrieved from <https://power.larc.nasa.gov>
- Olden, J. D., Joy, M. K., & Death, R. G. (2004). An accurate comparison of methods for quantifying variable importance in ecological models. *Ecological Modelling*, 178(3–4), 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.03.013>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830 .<https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>
- Segal, M. R. (2004). Machine learning benchmarks and random forest regression.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- United Nations Environment Programme (UNEP), & Food and Agriculture Organization (FAO). (1993). *The digital soil map of the world and derived soil properties*. United Nations.
- Waskom, M. L. (2021). Seaborn: Statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, 6(60), 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>