Diyala Journal
for Human Research
Website:
djhr.uodiyala.edu.iq

مجلة ديالى
للبحوث الإنسانية

p ISSN: 2663-7405
e ISSN: 2789-6838

مجلة ديالى للبحوث الإنسانية
العدد (109) المجلد (2) ايلول 2026

التحليل التكراري للأمطار في العراق باستخدام النماذج الإحصائية دراسة تطبيقية على محطات الموصل وبغداد والبصرة

م.م أحمد طلال أكرم
جامعة ديالى / كلية التربية للعلوم الإنسانية / قسم الجغرافية

Abstract

The study aims to analyze the temporal and spatial variability of annual rainfall totals in Iraq and to identify the most appropriate probability models for estimating precipitation amounts at different return periods. The study relied on rainfall data for the 30-year period from 1994 to 2024. Descriptive statistics and the Chi-square goodness-of-fit test were employed to evaluate the suitability of the Normal, Log-Normal, and Gumbel distributions. Rainfall amounts were subsequently estimated for return periods of 5, 10, 25, 50, and 100 years, and the results were spatially represented using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method in ArcGIS 10.8.1.

The results showed that Mosul recorded the highest annual mean rainfall, reaching 328.76 mm, with a standard deviation of 143.16 mm, whereas the mean annual rainfall amounted to 121.17 mm in Baghdad and 119.30 mm in Basra. Baghdad recorded the highest relative variability, with a coefficient of variation of 57.30%, compared with 43.55% in Mosul and 42.08% in Basra. The goodness-of-fit test indicated that the Gumbel distribution was the most suitable for Baghdad, the Normal distribution for Basra, and the Log-Normal distribution for Mosul. The Exponential distribution was not adopted in the final estimations.

The estimated rainfall amounts for the 100-year return period reached 338.95 mm in Baghdad, 236.07 mm in Basra, and 794.63 mm in Mosul, compared with 171.12, 161.54, and 428.04 mm, respectively, for the 5-year return period. The spatial maps revealed a clear rainfall gradient from northern Iraq toward the central and southern regions. The study concludes that adopting a single probability distribution for all stations does not adequately reflect the local characteristics of rainfall within the study area.

Email:
ahmed.ge.hum@uodiyala.edu.iq

Published: 1- 9 -2026

Keywords: الأمطار السنوية، التحليل التكراري، فترة الرجوع، كاي تربيع، غامبل، التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي، العراق.

هذه مقالة وصول مفتوح بموجب ترخيص
CC BY 4.0
(http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

الملخص

هدف البحث إلى تحليل التباين الزماني والمكاني للمجاميع السنوية للأمطار في العراق، وتحديد النماذج الاحتمالية الأكثر ملاءمة لتقدير كميات التهاطل عند فترات رجوع مختلفة. اعتمدت الدراسة على تحليل بيانات الامطار 1994-2024 أي المدة 30 سنة، واستُخدمت الإحصاءات الوصفية واختبار كاي تربيع لمقارنة ملاءمة التوزيعات الطبيعي واللوغاريتمي الطبيعي وغامبل ، ثم قُدرت كميات الأمطار لفترات رجوع 5 و10 و25 و50 و100 سنة، ومُثلت النتائج مكانياً بطريقة المسافة العكسية الموزونة (IDW) في برنامج ArcGIS 10.8.1. أظهرت النتائج أن الموصل سجلت أعلى متوسط سنوي بلغ 328.76 ملم وانحرافاً معيارياً قدره 143.16 ملم، في حين بلغ المتوسط 121.17 ملم في بغداد و119.30 ملم في البصرة. وسجلت بغداد أعلى تباين نسبي بمعامل اختلاف بلغ 57.30%، مقابل 43.55% في الموصل و42.08% في البصرة. بيّن اختبار حسن المطابقة أن توزيع غامبل هو الأنسب لبغداد، والتوزيع الطبيعي للبصرة، والتوزيع اللوغاريتمي الطبيعي للموصل، بينما لم يُعتمد التوزيع الأسي في التقديرات النهائية. بلغت كميات المطر المقدرة لفترة رجوع 100 سنة 338.95 ملم في بغداد، و236.07 ملم في البصرة، و794.63 ملم في الموصل، مقابل 171.12 و161.54 و428.04 ملم على التوالي لفترة رجوع 5 سنوات. وأظهرت الخرائط تدرجاً مطرياً واضحاً من الشمال نحو الوسط والجنوب. وتوصل البحث إلى أن اعتماد توزيع احتمالي موحد لجميع المحطات لا يعكس الخصائص المحلية للأمطار في منطقة الدراسة .

المقدمة

تعد الأمطار من أكثر عناصر المناخ تذبذباً في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، إذ لا تتحدد أهميتها بمتوسطها السنوي فقط، بل بتباينها بين السنوات واحتمال ظهور المواسم الرطبة النادرة. وينعكس هذا التذبذب مباشرة على الموارد المائية والزراعة والخزن السطحي والتصريف الحضري، لذلك أصبحت دراسة التكرار الاحتمالي للأمطار أداة أساسية لفهم وتقدير كميات المطر المقابلة لفترات رجوع محددة.

تتسم الامطار في العراق بتباين مكاني وزماني مرتفع؛ فقد أظهرت دراسة شملت 39 محطة أن الأمطار العراقية ديناميكية وغير دورية، وأن كمياتها تنخفض بوجه عام من الشمال نحو الجنوب، مع وجود علاقة ملحوظة بين المطر والارتفاع. كما أكدت دراسات محطات الموصل وبغداد والبصرة استمرار الفارق الكبير بين شمال البلاد ووسطها وجنوبها في المتوسطات المطرية طويلة الأمد

لا يكفي استخدام المتوسط والانحراف المعياري وحدهما لتقدير السلوك المستقبلي للأمطار، لأن القيم العليا تتأثر بشكل متطرف في التوزيع الاحتمالي. ولذلك تستخدم في التحليل الهيدرولوجي والمناخي عدة نماذج، منها الطبيعي واللوغاريتمي الطبيعي وغامبل، ثم تُختبر ملاءمتها للبيانات المرصودة قبل تقدير قيم فترات الرجوع. ويعد اختيار النموذج المناسب لكل محطة خطوة حاسمة، لأن اختلاف النموذج يؤدي إلى اختلاف واضح في القيم المقدرة عند الفترات الطويلة .

ومن هذا المنطلق، يتناول البحث المجاميع السنوية للأمطار في ثلاث محطات تمثل التدرج الجغرافي الرئيس في العراق: الموصل في الشمال، وبغداد في الوسط، والبصرة في الجنوب. ويجمع بين التحليل الوصفي واختبارات حسن المطابقة وتقدير فترات الرجوع والتمثيل المكاني، بهدف الوصول إلى نتائج قابلة للاستخدام في المقارنة المناخية والتخطيط المائي مع بيان حدود الدقة وعدم اليقين.

مشكلة البحث

تتلخص المشكلة الرئيسية للبحث بما يأتي.

هل يمكن تحديد نموذج احتمالي أكثر تمثيلاً لكل محطة، وقياس مقدار التغير في كميات المطر المقدرة مع زيادة فترة الرجوع، وتوضيح النمط المكاني لهذه التقديرات وحدود استخدامها؟

وتتفرع من المشكلة الأسئلة الآتية:

1- ما مقدار التباين في المجاميع السنوية للأمطار بين محطات الموصل وبغداد والبصرة؟

2- أي من التوزيعات الطبيعي واللوغاريتمي الطبيعي وغامبل يحقق أفضل ملاءمة لكل محطة؟

3- ما كميات المطر المقدرة عند فترات رجوع 5 و10 و25 و50 و100 سنة؟

فرضية البحث

يفترض البحث أن المجاميع السنوية للأمطار تختلف في خصائصها الإحصائية وشكل توزيعها الاحتمالي بين محطات الموصل وبغداد والبصرة نتيجة اختلاف الموقع الجغرافي والخصائص المناخية، وأنه لا يوجد توزيع احتمالي واحد يحقق أفضل ملاءمة في المحطات الثلاث. كما يفترض أن كميات المطر المقدرة تزداد بزيادة فترة الرجوع، وأن الموصل تسجل القيم الأعلى في جميع الفترات، في حين يظهر التمثيل المكاني تدرجاً عاماً من الشمال نحو الوسط والجنوب.

الحدود الزمانية والمكانية

تتحدد منطقة الدراسة زمانيا على بيانات الامطار للمدة 1994-2024 لمحطات الموصل وبغداد والبصرة التي تمثل الأقاليم المناخية الرئيسية في العراق .

جدول (**1**): محطات منطقة الدراسة

المحطة	خط العرض	خط الطول	المتوسط (ملم)	الانحراف المعياري	معامل الاختلاف (%)
الموصل	36.34°N	43.12°E	328.76	143.16	43.55
بغداد	33.32°N	44.37°E	121.17	69.43	57.30
البصرة	30.51°N	47.78°E	119.30	50.20	42.08

المصدر / الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

خريطة (1) منطقة الدراسة

:المصدر / وزارة الموارد المائية ، المديرية العامة للمساحة ،خارطة العراق الإدارية بمقياس 1000000.2007

منهجية وأسلوب البحث

اعتمد البحث منهجية الكمي الاحصائي لتحليل المجاميع السنوية للأمطار في محطات الموصل وبغداد والبصرة، بهدف تحديد خصائصها الوصفية، واختبار التوزيعات الاحتمالية الملائمة، وتقدير كميات المطر المقابلة لفترات الرجوع المختلفة، ثم تمثيل النتائج مكانياً

الدراسات السابقة

اولا - تحليل فترة الرجوع واحتمالات تكرار الأمطار

جدول (2) المجاميع السنوية للأمطار في محطات الموصل وبغداد والبصرة

السنة	بغداد) ملم(	الموصل) ملم(	البصرة) ملم(
1994	89.3	441.1	72.2
1995	156.3	402.9	169.3
1996	110.1	419.6	259.6
1997	36.6	342.3	173.1
1998	173.1	366.0	143.5
1999	55.8	127.5	139.0
2000	62.4	176.7	166.8
2001	106.9	342.9	109.3
2002	84.2	339.0	143.6
2003	91.4	299.4	88.0
2004	83.0	399.9	66.2
2005	110.4	353.8	123.8
2006	141.4	459.6	138.8

السنة	بغداد) ملم(	الموصل) ملم(	البصرة) ملم(
2007	125.9	300.0	173.2
2008	37.6	97.2	76.4
2009	52.2	214.1	43.9
2010	94.7	321.6	92.0
2011	121.1	306.6	50.0
2012	29.3	175.4	53.2
2013	263.6	451.8	128.7
2014	278.1	293.5	133.0
2015	73.2	309.4	130.1
2016	219.4	354.3	102.7
2017	100.5	220.1	100.3
2018	183.2	291.0	75.8
2019	218.1	884.3	157.5
2020	100.0	438.0	71.5
2021	110.2	171.3	86.0
2022	24.3	202.1	72.1
2023	246.4	258.3	215.5
2024	177.4	431.9	143.1
المتوسط	**121.17**	**328.76**	**119.30**
الانحراف المعياري	**69.43**	**143.16**	**50.20**

المصدر :من عمل الباحث اعتمادًا على بيانات هيئة الأنواء الجوية والرصد الزلزالي.

يعتمد التحليل التكراري في هذه الدراسة على ترتيب المجاميع السنوية للأمطار ترتيباً تنازلياً من أعلى قيمة إلى أدنى قيمة في محطات بغداد والموصل والبصرة، ثم إعطاء كل قيمة رتبة (m). وبما أن عدد سنوات السجل بلغ 31 سنة، فقد استُخدمت معادلة وايبل لتحديد فترة الرجوع التجريبية لكل قيمة مطرية، ثم حُسبت احتمالية التجاوز السنوية واحتمالية تكرار القيمة أو تجاوزها مرة واحدة على الأقل خلال مدد مستقبلية مقدارها 5 و10 و25 و50 و100 سنة.

1- حُسبت فترة الرجوع (**T**) لكل قيمة مطرية باستخدام المعادلة الآتية:

$$T = (n+1)/m \quad (1)$$

إذ إن: T تمثل فترة الرجوع بالسنوات، وn تمثل عدد سنوات السجل المطري وتساوي 31 سنة، أما m فتمثل رتبة القيمة بعد ترتيب البيانات تنازلياً. وبذلك تبلغ فترة رجوع أعلى قيمة مسجلة 32 سنة، بينما تقل فترة الرجوع تدريجياً مع الانتقال نحو القيم الأقل.

2- حُسبت احتمالية التجاوز السنوية (**P**) بوصفها مقلوب فترة الرجوع:

$$P(X \geq X_t) = 1/T \quad (2)$$

وتعبر P عن احتمال مساواة كمية المطر للقيمة المحددة أو تجاوزها في سنة واحدة. فعندما تكون فترة الرجوع 32 سنة تبلغ احتمالية التجاوز السنوية 0.03125، أي 3.125%، وعندما تكون فترة الرجوع 16 سنة تبلغ الاحتمالية 6.25%.

3- حُسب احتمال وقوع القيمة المطرية أو تجاوزها مرة واحدة على الأقل خلال عدد من السنوات المستقبلية (**N**) بالمعادلة الآتية:

$$q = 1-(1-P)^N = 1-(1-1/T)^N \quad (3)$$

إذ يمثل q الاحتمال التراكمي لحدوث القيمة أو تجاوزها مرة واحدة على الأقل خلال المدة المستقبلية، ويمثل N عدد السنوات المستقبلية. ويزداد هذا الاحتمال كلما طالت المدة، حتى لو كانت احتمالية التجاوز السنوية منخفضة.[1]

جدول (3) فترة الرجوع واحتمالية التجاوز وتكرار المجاميع السنوية للأمطار في محطات الدراسة.

الرتبة	بغداد (ملم)	الموصل (ملم)	البصرة (ملم)	فترة الرجوع T	احتمالية التجاوز P	خلال 5 سنوات	خلال 10 سنوات	خلال 25 سنة	خلال 50 سنة	خلال 100 سنة
1	278.101	884.300	259.601	32.00	3.12%	14.68%	27.20%	54.78%	79.56%	95.82%
2	263.602	459.600	215.500	16.00	6.25%	27.58%	47.55%	80.08%	96.03%	99.84%
3	246.400	451.800	173.200	10.67	9.38%	38.87%	62.63%	91.47%	99.27%	99.99%
4	219.400	441.100	173.101	8.00	12.50%	48.71%	73.69%	96.45%	99.87%	100.00%
5	218.100	438.000	169.301	6.40	15.62%	57.24%	81.71%	98.57%	99.98%	100.00%
6	183.201	431.900	166.802	5.33	18.75%	64.59%	87.46%	99.44%	100.00%	100.00%
7	177.400	419.600	157.500	4.57	21.88%	70.90%	91.53%	99.79%	100.00%	100.00%
8	173.100	402.900	143.601	4.00	25.00%	76.27%	94.37%	99.92%	100.00%	100.00%
9	156.300	399.900	143.500	3.56	28.12%	80.82%	96.32%	99.97%	100.00%	100.00%
10	141.403	366.000	143.100	3.20	31.25%	84.64%	97.64%	99.99%	100.00%	100.00%
11	125.900	354.300	139.001	2.91	34.38%	87.83%	98.52%	100.00%	100.00%	100.00%
12	121.101	353.800	138.801	2.67	37.50%	90.46%	99.09%	100.00%	100.00%	100.00%
13	110.400	342.900	133.000	2.46	40.62%	92.62%	99.46%	100.00%	100.00%	100.00%
14	110.200	342.300	130.101	2.29	43.75%	94.37%	99.68%	100.00%	100.00%	100.00%
15	110.102	339.000	128.701	2.13	46.88%	95.77%	99.82%	100.00%	100.00%	100.00%
16	106.900	321.600	123.801	2.00	50.00%	96.88%	99.90%	100.00%	100.00%	100.00%
17	100.502	309.400	109.301	1.88	53.12%	97.74%	99.95%	100.00%	100.00%	100.00%
18	100.000	306.600	102.700	1.78	56.25%	98.40%	99.97%	100.00%	100.00%	100.00%
19	94.700	300.000	100.301	1.68	59.38%	98.89%	99.99%	100.00%	100.00%	100.00%
20	91.400	299.400	92.000	1.60	62.50%	99.26%	99.99%	100.00%	100.00%	100.00%
21	89.300	293.501	88.000	1.52	65.62%	99.52%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
22	84.201	291.000	86.000	1.45	68.75%	99.70%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
23	83.000	258.300	76.401	1.39	71.88%	99.82%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
24	73.200	220.100	75.801	1.33	75.00%	99.90%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
25	62.401	214.102	72.200	1.28	78.12%	99.95%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
26	55.801	202.100	72.100	1.23	81.25%	99.98%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
27	52.201	176.700	71.500	1.19	84.38%	99.99%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
28	37.603	175.400	66.200	1.14	87.50%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
29	36.601	171.300	53.201	1.10	90.62%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
30	29.301	127.502	50.000	1.07	93.75%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
31	24.300	97.201	43.901	1.03	96.88%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

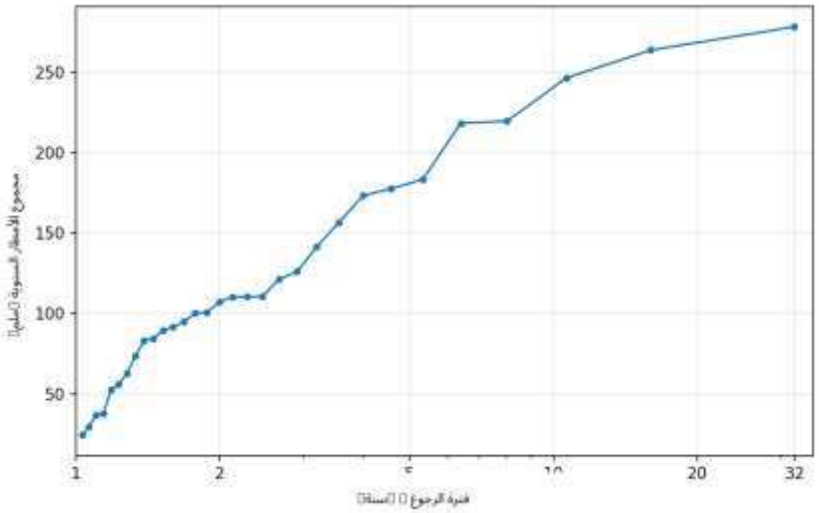
يتضح من الجدول (3) أن فترة الرجوع واحتمالات التكرار ترتبط بالرتبة وليس باسم المحطة، لأن القيم في المحطات الثلاث رُتبت تنازلياً ضمن سجل موحد يبلغ 31 سنة. ولذلك تمتلك القيم ذات الرتبة الواحدة فترة الرجوع واحتمالية التجاوز نفسيهما، بينما تختلف كمية المطر المقابلة لتلك الرتبة من محطة إلى أخرى. وتظهر الفروق المكانية بوضوح في ارتفاع قيم الموصل مقارنة ببغداد والبصرة في معظم الرتب.

أ- محطة بغداد

بلغت أعلى كمية مطر سنوية مسجلة في محطة بغداد 278.101 ملم، وجاءت بالرتبة الأولى وفترة رجوع مقدارها 32 سنة، أي إن احتمال مساواتها أو تجاوزها في سنة واحدة يبلغ 3.125%. وعلى الرغم من انخفاض الاحتمال السنوي، فإن احتمال تكرارها أو تجاوزها مرة واحدة على الأقل يرتفع إلى 14.68% خلال 5 سنوات، و27.20% خلال 10 سنوات، و54.78% خلال 25 سنة، و79.56% خلال 50 سنة، و95.82% خلال 100 سنة. وهذا يوضح أن الحدث النادر سنوياً يصبح ذا احتمال تراكمي مرتفع عندما تطول مدة التعرض المستقبلية

جاءت القيمة الثانية في بغداد بمقدار 263.602 ملم وفترة رجوع 16 سنة واحتمالية تجاوز سنوية 6.25%. ويبلغ احتمال تكرارها خلال 10 سنوات نحو 47.55%، ويرتفع إلى 80.08% خلال 25 سنة. أما القيمة الثالثة البالغة 246.400 ملم فبلغت فترة رجوعها 10.67 سنة واحتمالية تجاوزها السنوية 9.38%، ولذلك يصل احتمال تكرارها خلال عشر سنوات إلى 62.63%. وتبين هذه النتائج أن المجاميع المطرية الكبيرة في بغداد، رغم ندرتها، ليست مستبعدة خلال مدد التخطيط المتوسطة والطويلة.

شكل (**1**): العلاقة بين كمية المطر السنوية وفترة الرجوع في محطة بغداد



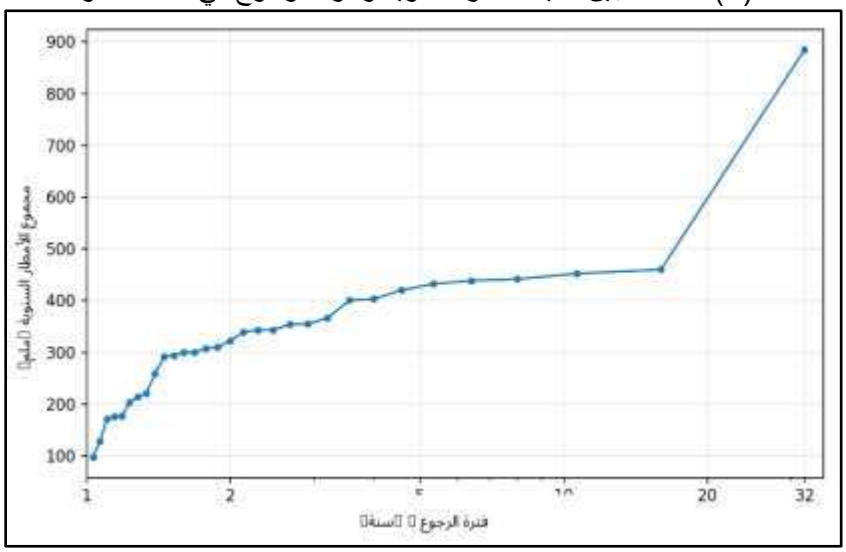
المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

ب- محطة الموصل

سجلت محطة الموصل أعلى كمية مطرية في الدراسة بلغت 884.300 ملم، وهي أعلى بكثير من القيم القصوى في بغداد والبصرة. وبلغت فترة رجوع هذه القيمة 32 سنة واحتمالية تجاوزها السنوية 3.125%. ويبلغ احتمال حدوثها خلال 25 سنة 54.78%، ويصل إلى 79.56% خلال 50 سنة. ويشير ذلك إلى أن الحدث، على الرغم من كونه الأعلى في السجل، قد يظهر مرة أخرى خلال عمر مشروع أو منشأة طويلة الأمد باحتمال لا يمكن إهماله.

بلغت القيمة الثانية في الموصل 459.600 ملم بفترة رجوع 16 سنة، في حين بلغت القيمة الثالثة 451.800 ملم بفترة رجوع 10.67 سنة. ويلاحظ تقارب القيمتين الثانية والثالثة مع اختلاف فترة الرجوع الناتج من اختلاف الرتبة، وهو ما يدل على تركز عدد من المواسم الرطبة حول مستويات متقاربة. كما أن بقاء قيم الموصل أعلى من المحطتين الأخريين عند معظم الرتب يعكس الخصائص المطرية لشمال العراق وتأثره الأكبر بالمنخفضات الجوية الشتوية والعوامل التضاريسية.

شكل (**2**): العلاقة بين كمية المطر السنوية وفترة الرجوع في محطة الموصل



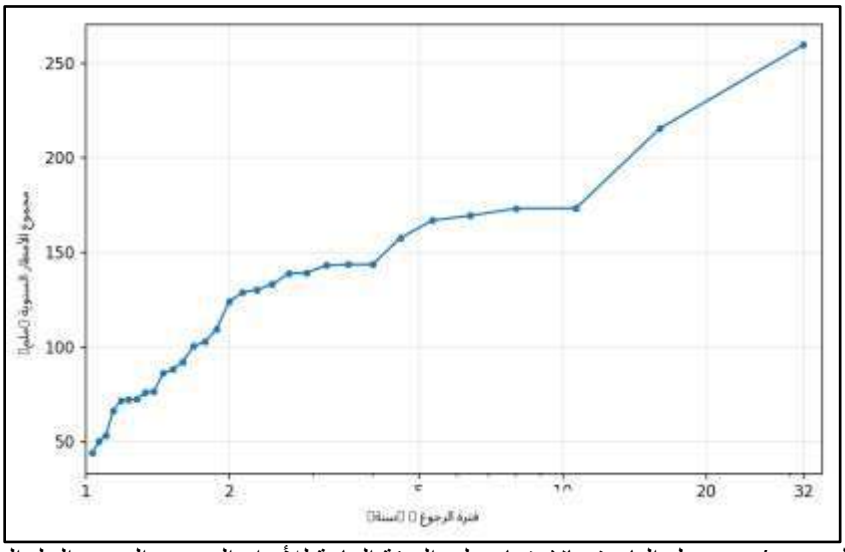
المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

ت- محطة البصرة

بلغت أعلى كمية مطر سنوية في محطة البصرة 259.601 ملم، بفترة رجوع 32 سنة واحتمالية تجاوز سنوية 3.125%. ويرتفع احتمال تكرارها من 14.68% خلال خمس سنوات إلى 54.78% خلال 25 سنة و95.82% خلال 100 سنة. أما القيمة الثانية البالغة 215.500 ملم فبلغت فترة رجوعها 16 سنة، ويصل احتمال تكرارها خلال 10 سنوات إلى 47.55% وخلال 50 سنة إلى 96.03%.

تظهر بيانات البصرة انخفاضاً عاماً في المجاميع المطرية مقارنة بالموصل، مع تقارب نسبي مع بغداد في عدد من الرتب. غير أن الفروق بين القيم العليا في البصرة واضحة؛ إذ تنخفض الكمية من 259.601 ملم في الرتبة الأولى إلى 215.500 ملم في الرتبة الثانية ثم إلى 173.200 ملم في الرتبة الثالثة. ويعني ذلك أن أعلى موسم مطري في البصرة يمثل حدثاً بارزاً داخل السلسلة، في حين تتجمع بقية المواسم الرطبة عند مستويات أقل.

شكل (**3**): العلاقة بين كمية المطر السنوية وفترة الرجوع في محطة البصرة



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

تؤكد المقارنة أن الموصل تحتفظ بأعلى كميات مطر عند الرتب وفترات الرجوع المختلفة، بينما تتقارب بغداد والبصرة في الجزء الأوسط والأدنى من السلسلة مع اختلاف في القيم العليا. وتبلغ كمية المطر المقابلة لفترة رجوع 32 سنة 884.300 ملم في الموصل، مقابل 278.101 ملم في بغداد و259.601 ملم في البصرة. وهذا الفارق الكبير يعني أن اعتماد قيمة مطرية واحدة للتخطيط في جميع مناطق العراق لا يعبر عن التباين المكاني الحقيقي.

كما تبين النتائج ضرورة عدم تفسير فترة الرجوع على أنها موعد زمني ثابت. فالحدث ذو فترة رجوع 32 سنة قد يقع في سنتين متقاربتين أو قد لا يقع خلال 32 سنة كاملة؛ لأن فترة الرجوع تمثل متوسطاً احتمالياً طويل الأمد. ويكون الاستخدام الأدق لهذه النتائج في تقدير مستوى المخاطر، ومقارنة ندرة المواسم الرطبة، وتحديد احتمالات التعرض خلال العمر التشغيلي للمشروعات.

ويجب التنبيه إلى أن احتمالات هذه المرحلة تجريبية، لأنها مشتقة مباشرة من ترتيب 31 قيمة مرصودة، وليست تقديرات نهائية لقيم مطر عند فترات رجوع محددة من نموذج احتمالي نظري. ويأتي دور التوزيعات الاحتمالية واختبارات حسن المطابقة في المرحلة اللاحقة لتقدير كميات الأمطار عند فترات مثل 5 و10 و25 و50 و100 سنة.

ثانيا- التوزيع الطبيعي واختبار حسن المطابقة

يمثل التوزيع الطبيعي أحد أكثر التوزيعات الإحصائية استعمالاً في تحليل المتغيرات المناخية، ويتميز بمنحنى جرسي متماثل حول المتوسط الحسابي. ولاختبار مدى ملاءمته للمجاميع السنوية للأمطار في محطات بغداد والبصرة والموصل، قُسمت البيانات إلى ست فئات، ثم قورنت التكرارات المشاهدة بالتكرارات المتوقعة وفق التوزيع الطبيعي باستعمال اختبار كاي تربيع.

1- دالة الكثافة الاحتمالية للتوزيع الطبيعي:

$$f(x) = [1 / (\sigma\sqrt{(2\pi)})] \exp[-(x-\mu)^2 / (2\sigma^2)] \quad (1)$$

إذ تمثل μ المتوسط الحسابي للمجاميع السنوية للأمطار، وتمثل σ الانحراف المعياري، بينما يمثل x مقدار المطر السنوي.

2- تحويل حدود الفئات إلى المتغير الطبيعي المعياري Z:

$$Z = (x-\mu) / \sigma \quad (2)$$

استُخدم المتغير المعياري لتحديد الاحتمال التراكمي لكل حد من حدود الفئات بالرجوع إلى دالة التوزيع الطبيعي المعياري.

3- حساب الاحتمال النظري المتوقع لكل فئة:

$$p_i = \Phi(Z_u) - \Phi(Z_l) \quad (3)$$

إذ تمثل Φ الاحتمال التراكمي للتوزيع الطبيعي، وZ_u الحد الأعلى المعياري للفئة، وZ_l الحد الأدنى المعياري لها.

4- حساب التكرار المتوقع لكل فئة:

$$E_i = n \times p_i \quad (4)$$

يمثل n عدد سنوات السجل، وقد بلغ 31 سنة في المحطات الثلاث، بينما يمثل E_i عدد القيم المتوقع وقوعها داخل الفئة وفق التوزيع الطبيعي.

5- حساب قيمة كاي تربيع المحسوبة:

$$\chi^2 = \Sigma [(O_i - E_i)^2 / E_i] \quad (5)$$

تمثل O_i التكرارات الفعلية المشاهدة، وتمثل E_i التكرارات النظرية المتوقعة. وكلما انخفضت قيمة كاي تربيع دل ذلك على تقارب أكبر بين التوزيع الفعلي والتوزيع النظري.

6- حساب درجة الحرية:

$$df = k - r - 1 = 6 - 2 - 1 = 3 \quad (6)$$

إذ يمثل k عدد الفئات ويساوي 6، وتمثل r عدد معلمات التوزيع المقدرة من العينة، وهما المتوسط والانحراف المعياري. وبذلك بلغت درجة الحرية 3، وكانت القيمة الجدولية عند مستوى معنوية 0.05 مساوية لـ7.8147. يُقبل التوزيع عندما تكون χ^2 المحسوبة أقل من القيمة الجدولية. [2]

أ- محطة بغداد

بلغ المتوسط الحسابي للأمطار السنوية في محطة بغداد 121.165 ملم، والانحراف المعياري 69.431 ملم. ويبين الجدول الآتي التكرارات الفعلية والمتوقعة ومساهمة كل فئة في قيمة كاي تربيع.

جدول(4) اختبار حسن المطابقة للتوزيع الطبيعي في محطة بغداد

الفئة	الحد الأدنى	الحد الأعلى	التكرار المشاهد O	الاحتمال المتوقع p	التكرار المتوقع E	مساهمة χ^2
1	∞-	66.600	7	0.2160	6.695	0.0139
2	66.600	108.900	9	0.2139	6.632	0.8458
3	108.900	151.201	6	0.2375	7.361	0.2516
4	151.201	193.501	4	0.1839	5.701	0.5076
5	193.501	235.801	2	0.0994	3.081	0.3792
6	235.801	∞+	3	0.0494	1.530	1.4117

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

الاستنتاج الإحصائي لمحطة بغداد

عدد الفئات m	χ^2 المحسوبة	df	χ^2 0.025	χ^2 0.050	χ^2 0.100	القرار
6	3.4098	3	9.3484	7.8147	6.2514	مقبول

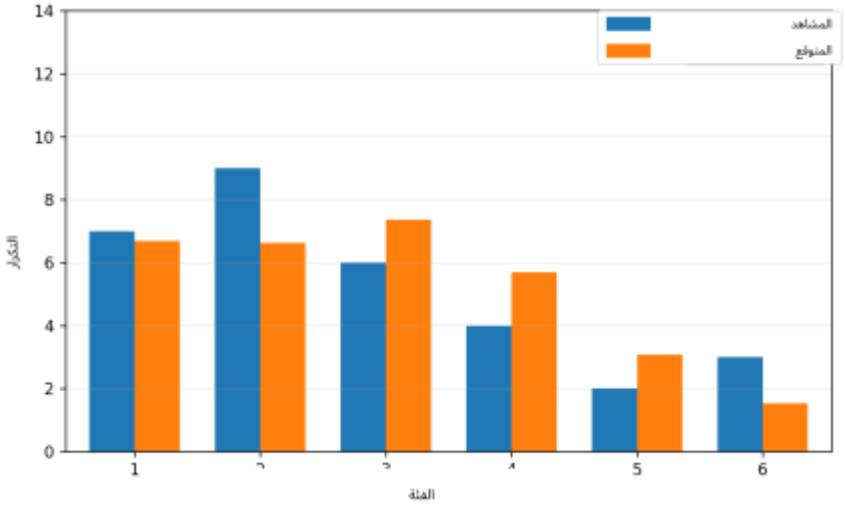
المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد اختبار حسن المطابقة للتوزيع الطبيعي في محطة بغداد

بلغت قيمة كاي تربيع المحسوبة في بغداد 3.4098، وهي أقل من القيمة الجدولية البالغة 7.8147 عند مستوى معنوية 0.05 ودرجة حرية 3؛ لذلك يُقبل فرض ملاءمة التوزيع الطبيعي لبيانات بغداد. ويظهر تقارب

عام بين التكرارات المشاهدة والمتوقعة، إذ بلغ التكرار الفعلي في الفئة الأولى 7 حالات مقابل 6.695 حالة متوقعة، وفي الفئة الثالثة 6 حالات مقابل 7.361 حالة متوقعة.

تركز أكبر اختلاف نسبي في الفئة العليا المفتوحة التي تزيد على 235.801 ملم؛ فقد بلغ التكرار المشاهد 3 مقابل تكرار متوقع قدره 1.530، وأسهمت هذه الفئة بمقدار 1.4117 من مجموع كاي تربيع. ويشير ذلك إلى أن بغداد تضم عدداً من المواسم الرطبة العالية يفوق ما يتوقعه التوزيع الطبيعي قليلاً، إلا أن هذا الاختلاف لم يكن كافياً لرفض التوزيع.

شكل (4): مقارنة التكرارات المشاهدة والمتوقعة وفق التوزيع الطبيعي في محطة بغداد



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

ت: محطة البصرة

بلغ المتوسط الحسابي للأمطار السنوية في محطة البصرة 119.297 ملم، والانحراف المعياري 50.196 ملم. وتعرض النتائج الآتية درجة تقارب السلسلة المطرية مع التوزيع الطبيعي.

جدول(5) اختبار حسن المطابقة للتوزيع الطبيعي في محطة البصرة

الفئة	الحد الأدنى	الحد الأعلى	التكرار المشاهد O	الاحتمال المتوقع p	التكرار المتوقع E	مساهمة χ^2
1	∞-	79.851	9	0.2160	6.695	0.7933
2	79.851	115.801	6	0.2563	7.944	0.4757
3	115.801	151.751	9	0.2688	8.333	0.0534
4	151.751	187.701	5	0.1725	5.347	0.0225
5	187.701	223.651	1	0.0677	2.098	0.5745
6	223.651	∞+	1	0.0188	0.583	0.2979

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

الاستنتاج الإحصائي لمحطة البصرة

عدد الفئات m	χ^2 المحسوبة	df	χ^2 0.025	χ^2 0.050	χ^2 0.100	القرار
6	2.2174	3	9.3484	7.8147	6.2514	مقبول

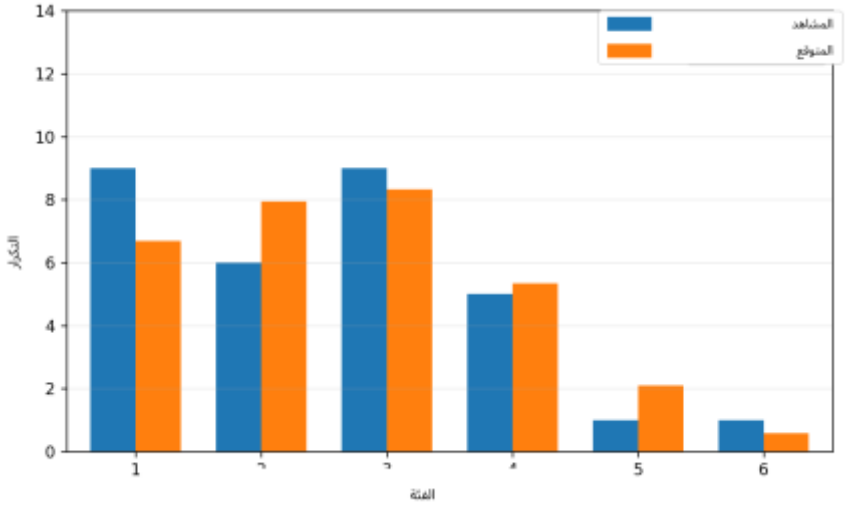
المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد اختبار حسن المطابقة للتوزيع الطبيعي في محطة البصرة

سجلت البصرة أقل قيمة لكاي تربيع بين المحطات الثلاث، إذ بلغت 2.2174، وهي أقل بكثير من القيمة الجدولية 7.8147، ولذلك يُقبل التوزيع الطبيعي بدرجة ملاءمة جيدة. وقد كان الفرق محدوداً في معظم الفئات، ولا سيما الفئة الرابعة التي سجلت 5 حالات مشاهدة مقابل 5.347 حالات متوقعة، وكانت مساهمتها في كاي تربيع 0.0225 فقط.

جاءت أكبر مساهمة في الفئة الأولى الأقل من 79.851 ملم، حيث بلغ التكرار الفعلي 9 مقابل 6.695 متوقعاً، وأسهمت الفئة بمقدار 0.7933. ومع ذلك فأن الفروق الإجمالية صغيرة، ويؤكد ذلك أن توزيع المجاميع

السنوية في البصرة أكثر اقتراباً من التماثل حول المتوسط مقارنة بالموصل، وهو ما يفسر تفوق التوزيع الطبيعي في هذه المحطة.

شكل (5): مقارنة التكرارات المشاهدة والمتوقعة وفق التوزيع الطبيعي في محطة البصرة



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

ت: محطة الموصل

بلغ المتوسط الحسابي للأمطار السنوية في محطة الموصل 328.761 ملم، والانحراف المعياري 143.159 ملم. وقد أظهرت نتائج الاختبار اختلافاً واضحاً عن محطتي بغداد والبصرة.

جدول(6)نتائج اختبار حسن المطابقة للتوزيع الطبيعي في محطة الموصل

الفئة	الحد الأدنى	الحد الأعلى	التكرار المشاهد O	الاحتمال المتوقع p	التكرار المتوقع E	مساهمة χ^2
1	∞-	228.384	8	0.2416	7.490	0.0348
2	228.384	359.567	13	0.3436	10.651	0.5179
3	359.567	490.750	9	0.2859	8.863	0.0021
4	490.750	621.934	0	0.1086	3.368	3.3675
5	621.934	753.117	0	0.0188	0.582	0.5818
6	753.117	∞+	1	0.0015	0.047	19.3083

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

الاستنتاج الإحصائي لمحطة الموصل

عدد الفئات m	χ^2 المحسوبة	df	χ^2 0.025	χ^2 0.050	χ^2 0.100	القرار
6	23.8125	3	9.3484	7.8147	6.2514	**مرفوض**

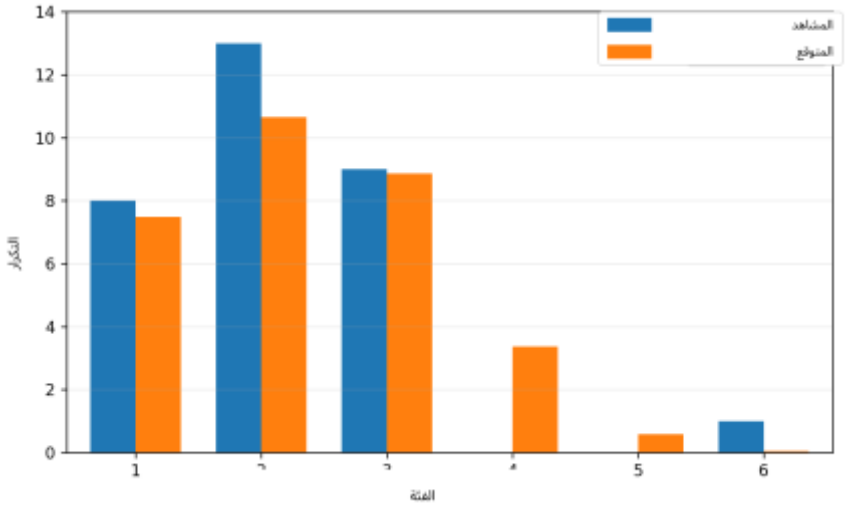
المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد اختبار حسن المطابقة للتوزيع الطبيعي في محطة البصرة

بلغت قيمة كاي تربيع المحسوبة في الموصل 23.8125، وهي أكبر من القيمة الجدولية 7.8147 عند مستوى 0.05، بل تجاوزت أيضاً القيمة الجدولية عند مستوى 0.025 والبالغة 9.3484؛ لذلك يُرفض فرض ملاءمة التوزيع الطبيعي لبيانات الموصل.

يرتبط الرفض أساساً بالفئة العليا التي تزيد على 753.117 ملم؛ إذ سجلت حالة واحدة مشاهدة، بينما بلغ التكرار المتوقع وفق التوزيع الطبيعي 0.047 حالة فقط، فأسهمت هذه الفئة وحدها بمقدار 19.3083 في كاي تربيع، أي أكثر من أربعة أخماس القيمة الكلية. وتمثل هذه النتيجة أثر الموسم المطري المتطرف البالغ 884.3 ملم، الذي أحدث ذيلاً موجباً طويلاً لا يستطيع التوزيع الطبيعي المتماثل تمثيله بصورة مناسبة.

كما سجلت الفئة الممتدة من 490.751 إلى 621.934 ملم صفراً من الحالات المشاهدة مقابل 3.368 حالات متوقعة، وأسهمت بالمقدار نفسه في كاي تربيع. ويكشف اجتماع الفئات الفارغة مع القيمة القصوى العالية عن عدم تماثل السلسلة المطرية في الموصل، مما يستدعي استخدام توزيع احتمالي اكثر قدرة على تمثيل هذه القيم ، مثل التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي أو غامبل.

شكل (6): مقارنة التكرارات المشاهدة والمتوقعة وفق التوزيع الطبيعي في محطة الموصل



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

يستنتج مما سبق أن التوزيع الطبيعي مقبول إحصائياً في بغداد والبصرة، في حين رُفض في الموصل. وكانت البصرة الأفضل ملاءمة بقيمة كاي تربيع 2.2174، تلتها بغداد بقيمة 3.4098، بينما سجلت الموصل 23.8125. ويرجع اختلاف النتائج إلى طبيعة توزيع القيم العليا؛ فمحطتا بغداد والبصرة أظهرتا تقارباً أكبر بين الفئات الفعلية والمتوقعة، في حين تأثرت الموصل بقيمة مطرية قصوى شديدة الارتفاع وبفراغ بعض الفئات العليا.

وعليه يمكن استعمال التوزيع الطبيعي ضمن المقارنة الاحتمالية لمحطتي بغداد والبصرة، بينما لا يُوصى باعتماده لتقدير القيم النادرة في الموصل. ويجب أن يُستكمل القرار بمقارنة نتائج التوزيع الطبيعي بنتائج التوزيعات الأخرى واختيار النموذج الذي يحقق أقل قيمة لاختبار حسن المطابقة ويقدم تمثيلاً منطقياً لمحطة الموصل.

ثالثا - التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي واختبار حسن المطابقة

يُستخدم التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي لتمثيل المتغيرات الموجبة التي يكون توزيعها غير متماثل وتظهر فيها بعض القيم المرتفعة مقارنة بمعظم القيم الاخرى. وتفترض هذه الطريقة أن اللوغاريتم الطبيعي للمجاميع السنوية للأمطار يتبع توزيعاً طبيعياً. وقد طُبق الاختبار على محطات بغداد والبصرة والموصل باستخدام ست فئات، ثم قورنت التكرارات المشاهدة بالتكرارات المتوقعة بواسطة اختبار كاي تربيع.

1- تحويل قيم الأمطار إلى اللوغاريتم الطبيعي:

$$Y = \ln(X) \quad (1)$$

إذ تمثل X كمية المطر السنوية بوحدة المليمتر، بينما تمثل Y اللوغاريتم الطبيعي لهذه الكمية. ولا يُطبق هذا التوزيع إلا على القيم الموجبة.

2- دالة الكثافة الاحتمالية للتوزيع اللوغاريتمي الطبيعي:

$$f(x) = [1 / (x\, b\sqrt{(2\pi)})] \exp[-(\ln(x) - a)^2 / (2b^2)], \quad x > 0 \quad (2)$$

يمثل a متوسط اللوغاريتمات الطبيعية للقيم المطرية، ويمثل b الانحراف المعياري للوغاريتمات. وقد بلغت قيمتا a وb في بغداد 4.65518 و0.53287، وفي البصرة 4.70012 و0.40374، وفي الموصل 5.70852 و0.41669.

3- حساب المتغير الطبيعي المعياري لحدود الفئات:

$$Z = [\ln(x) - a] / b \quad (3)$$

حُولت حدود الفئات إلى قيم معيارية Z، ثم استُخدمت دالة التوزيع الطبيعي التراكمية لحساب الاحتمال النظري لكل فئة.

4- حساب احتمال كل فئة والتكرار المتوقع:

$$p_i = \Phi(Z_u) - \Phi(Z_l) \quad (4)$$

$$E_i = n \times p_i \quad (5)$$

يمثل p_i الاحتمال النظري لوقوع القيمة داخل الفئة، ويمثل E_i التكرار المتوقع، بينما بلغ عدد سنوات السجل $n = 31$ سنة.

5- حساب اختبار كاي تربيع:

$$\chi^2 = \Sigma\,[(O_i - E_i)^2 / E_i] \quad (6)$$

تقارن المعادلة بين التكرارات المشاهدة O_i والتكرارات المتوقعة E_i.وكلما كانت القيمة المحسوبة أقل دل ذلك على تقارب أكبر بين البيانات الفعلية والتوزيع اللوغاريتمي الطبيعي.

6- حساب درجة الحرية واتخاذ القرار:

$$df = k - r - 1 = 6 - 2 - 1 = 3 \quad (7)$$

بلغت درجة الحرية 3، لأن عدد الفئات ست فئات، وعدد معلمات التوزيع المقدرة معلمتان هما a وb. وكانت القيمة الجدولية لكاي تربيع عند مستوى معنوية 0.05 مساوية لـ7.8147، ولذلك يُقبل التوزيع عندما تكون القيمة المحسوبة أقل منها. (3)

أ: محطة بغداد

بلغ متوسط الأمطار السنوية في بغداد 121.165 ملم والانحراف المعياري 69.431 ملم، بينما بلغ متوسط اللوغاريتمات $a = 4.65518$ والانحراف المعياري اللوغاريتمي $b = 0.53287$.

جدول(7) اختبار حسن المطابقة للتوزيع اللوغاريتمي الطبيعي في محطة بغداد

الفئة	الحد الأدنى	الحد الأعلى	التكرار المشاهد O	الاحتمال المتوقع p	التكرار المتوقع E	مساهمة χ^2
1	∞-	66.600	7	0.1958	6.071	0.1423
2	66.600	108.900	9	0.3306	10.247	0.1518
3	108.900	151.201	6	0.2260	7.006	0.1446
4	151.201	193.501	4	0.1215	3.766	0.0145
5	193.501	235.801	2	0.0614	1.902	0.0051
6	235.801	∞+	3	0.0648	2.008	0.4904

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

الاستنتاج الإحصائي لمحطة بغداد

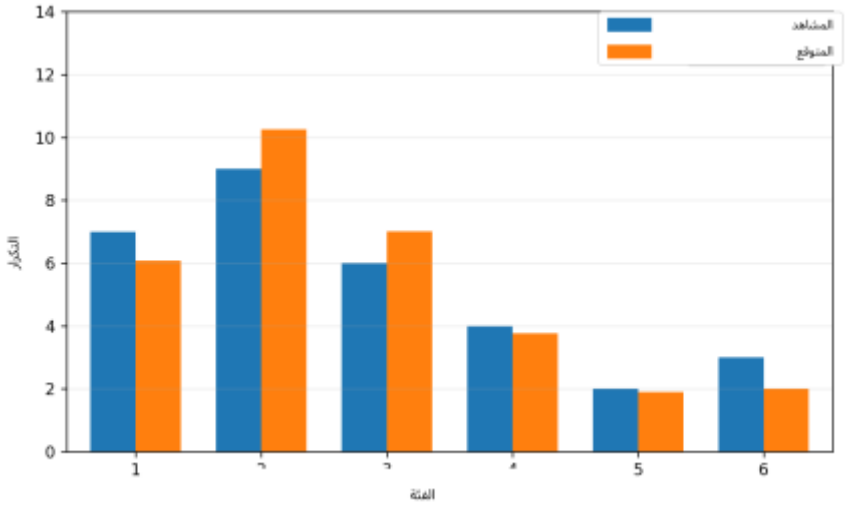
عدد الفئات m	χ^2 المحسوبة	df	χ^2 0.025	χ^2 0.050	χ^2 0.100	القرار
6	0.9486	3	9.3484	7.8147	6.2514	مقبول

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد اختبار حسن المطابقة للتوزيع اللوغاريتمي في محطة بغداد

بلغت قيمة كاي تربيع المحسوبة في بغداد 0.9486، وهي أقل بكثير من القيمة الجدولية البالغة 7.8147، ولذلك يُقبل التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي بدرجة ملاءمة مرتفعة. كما كانت هذه القيمة أقل من قيمة التوزيع الطبيعي في بغداد البالغة 3.4098،مما يعكس قدرة التوزيع اللوغارتمي الطبيعي على تمثيل تباين قيم الامطار في بغداد بصورة افضل ، ولاسيما مع وجود بعض القيم المرتفعة التي تجعل السلسلة غير متكاملة تماما.

أظهرت الفئات الست تقارباً واضحاً بين التكرارات المشاهدة والمتوقعة؛ فقد سجلت الفئة الأولى 7 حالات فعلية مقابل 6.071 متوقعة، وسجلت الفئة الثانية 9 حالات مقابل 10.247 متوقعة. وكانت أكبر مساهمة في قيمة كاي تربيع للفئة العليا المفتوحة التي تزيد على 235.801 ملم، إذ بلغت 0.4904 فقط، وهي مساهمة محدودة لا تؤثر في قبول النموذج.

شكل (7): مقارنة التكرارات المشاهدة والمتوقعة وفق التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي في محطة بغداد



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

ب: محطة البصرة

بلغ متوسط الأمطار السنوية في البصرة 119.297 ملم والانحراف المعياري 50.196 ملم، وبلغت معلمتا التوزيع اللوغاريتمي a = 4.70012 و b = 0.40374.

جدول(8) اختبار حسن المطابقة للتوزيع اللوغاريتمي الطبيعي في محطة البصرة

الفئة	الحد الأدنى	الحد الأعلى	التكرار المشاهد O	الاحتمال المتوقع p	التكرار المتوقع E	مساهمة χ^2
1	∞-	79.851	9	0.2140	6.635	0.8428
2	79.851	115.801	6	0.3370	10.446	1.8922
3	115.801	151.751	9	0.2365	7.332	0.3794
4	151.751	187.701	5	0.1198	3.714	0.4454
5	187.701	223.651	1	0.0533	1.654	0.2584
6	223.651	∞+	1	0.0393	1.219	0.0394

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

الاستنتاج الإحصائي لمحطة البصرة

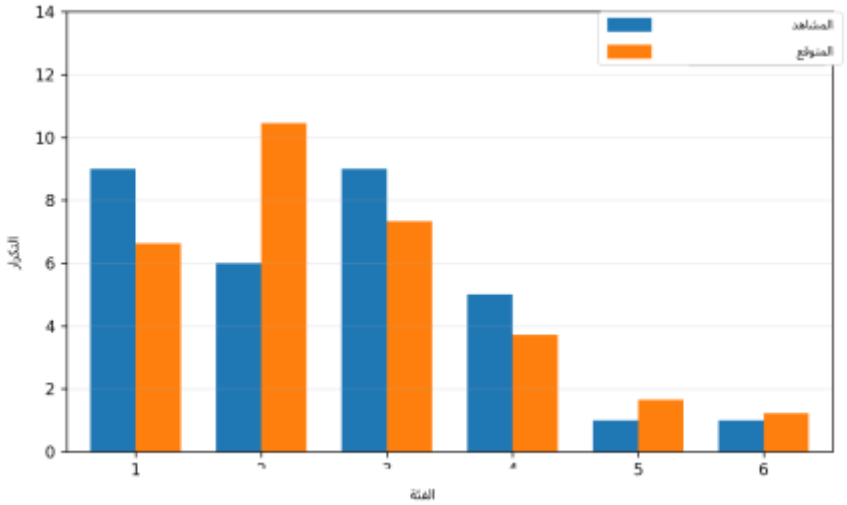
عدد الفئات m	χ^2 المحسوبة	df	χ^2 0.025	χ^2 0.050	χ^2 0.100	القرار
6	3.8576	3	9.3484	7.8147	6.2514	**مقبول**

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد اختبار حسن المطابقة للتوزيع اللوغاريتمي في محطة البصرة

بلغت قيمة كاي تربيع المحسوبة في البصرة 3.8576، وهي أقل من القيمة المحسوبة 7.8147، ولذلك يُقبل التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي إحصائياً. إلا أن قيمة كاي تربيع كانت أعلى من قيمة التوزيع الطبيعي في البصرة البالغة 2.2174، مما يعني أن التوزيع الطبيعي يقدم ملاءمة أفضل لهذه المحطة عند المقارنة بين النموذجين.

تركز أكبر اختلاف في الفئة الثانية الممتدة من 79.851 إلى 115.801 ملم، إذ بلغ التكرار المشاهد 6 حالات مقابل 10.446 حالات متوقعة، وأسهمت هذه الفئة بمقدار 1.8922 في قيمة كاي تربيع. كما سجلت الفئة الأولى 9 حالات فعلية مقابل 6.635 متوقعة. وعلى الرغم من هذه الفروق، ظل مجموع كاي تربيع ضمن حدود القبول.

شكل (8) مقارنة التكرارات المشاهدة والمتوقعة وفق التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي في محطة البصرة



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

ت: محطة الموصل

بلغ متوسط الأمطار السنوية في الموصل 328.761 ملم والانحراف المعياري 143.159 ملم، وبلغت معلمتا التوزيع اللوغاريتمي a = 5.70852 وb = 0.41669.

جدول(9) ختبار حسن المطابقة للتوزيع اللوغاريتمي الطبيعي في محطة الموصل

الفئة	الحد الأدنى	الحد الأعلى	التكرار المشاهد O	الاحتمال المتوقع p	التكرار المتوقع E	مساهمة χ^2
1	∞-	228.384	8	0.2527	7.835	0.0035
2	228.384	359.567	13	0.4112	12.748	0.0050
3	359.567	490.750	9	0.2150	6.665	0.8184
4	490.750	621.934	0	0.0800	2.479	2.4791
5	621.934	753.117	0	0.0271	0.840	0.8399
6	753.117	∞+	1	0.0140	0.434	0.7395

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

القرار الإحصائي لمحطة الموصل

عدد الفئات m	χ^2 المحسوبة	df	χ^2 0.025	χ^2 0.050	χ^2 0.100	القرار
6	4.8853	3	9.3484	7.8147	6.2514	**مقبول**

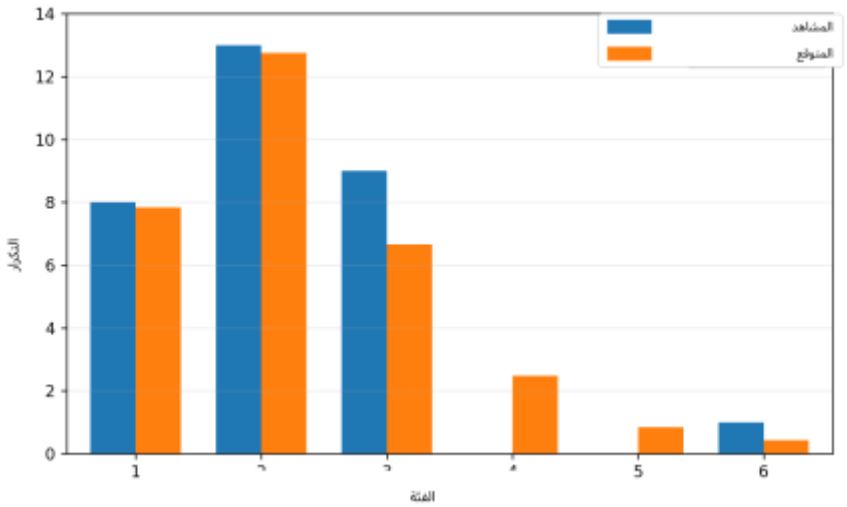
المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد اختبار حسن المطابقة للتوزيع اللوغاريتمي في محطة الموصل

بلغت قيمة كاي تربيع المحسوبة في الموصل 4.8853، وهي أقل من القيمة المحسوبة 7.8147؛ لذلك يُقبل التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي. وتمثل هذه النتيجة تحسناً كبيراً مقارنة بالتوزيع الطبيعي الذي بلغت قيمته 23.8125 ورُفض إحصائياً.

يرجع تحسن الملاءمة إلى قدرة التحويل اللوغاريتمي على تقليل أثر القيمة القصوى المرتفعة وتخفيف عدم التماثل في السلسلة. فقد بلغ التكرار المتوقع في الفئة العليا التي تزيد على 753.117 ملم 0.434 حالة مقابل حالة واحدة مشاهدة، وأسهمت الفئة بمقدار 0.7395 فقط، مقارنة بمساهمة بلغت 19.3083 عند تطبيق التوزيع الطبيعي. وكانت أكبر مساهمة في النموذج اللوغاريتمي للفئة الرابعة، حيث بلغ التكرار المشاهد صفراً مقابل 2.479 حالة متوقعة.

وتوضح النتيجة أن بيانات الامطار في محطة الموصل تتضمن بعض القيم المرتفعة مقارنة ببقية السلسلة توزيع ،وأن اللوغاريتمي الطبيعي أكثر قدرة من الطبيعي على تمثيل المواسم شديدة الرطوبة لذا عد التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي الافضل لمحطة الموصل لكونه حقق اقل قيمة لكاي تربيع بين التوزيعات المختبرة .

شكل (9): مقارنة التكرارات المشاهدة والمتوقعة وفق التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي في محطة الموصل



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

اظهرت النتائج ان التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي مقبول في المحطات الثلاث، إلا أن درجة ملاءمته اختلفت بينها. سجلت بغداد أقل قيمة لكاي تربيع بلغت 0.9486، تلتها البصرة بقيمة 3.8576، ثم الموصل بقيمة 4.8853. ويُعد التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي أفضل من الطبيعي في بغداد والموصل، في حين ظل التوزيع الطبيعي أفضل في البصرة.

وتؤكد النتائج ضرورة مقارنة أكثر من توزيع وعدم اعتماد نموذج واحد لجميع المحطات؛ فشكل السلسلة، ، ووجود القيم القصوى، كلها عوامل تتحكم في قدرة النموذج على تمثيل التكرارات الفعلية، ولا سيما في الفئات العليا التي تعتمد عليها تقديرات فترات الرجوع الطويلة.

رابعا-توزيع غامبل واختبار حسن المطابقة

يُعد توزيع غامبل أحد توزيعات القيم المتطرفة الأكثر استعمالاً في التحليل التكراري للهطولات والسيول، لأنه يركز على تمثيل القيم العليا النادرة. وقد طُبق على المجاميع السنوية للأمطار في محطات بغداد والبصرة والموصل باستخدام ست فئات، ثم قورنت التكرارات المشاهدة بالتكرارات المتوقعة عن طريق اختبار كاي تربيع.

1- حساب معلمة القياس (α):

$$\alpha = (\sigma\sqrt{6}) / \pi \quad (1)$$

تمثل σ الانحراف المعياري للمجاميع السنوية، بينما تمثل α معلمة القياس التي تتحكم في مقدار تشتت توزيع غامبل. وقد بلغت α في بغداد 54.13542، وفي البصرة 39.13749، وفي الموصل 111.62049.

2- حساب معلمة الموقع (u):

$$u = \mu - \gamma\alpha \quad (2)$$

تمثل μ المتوسط الحسابي، وتمثل γ ثابت أويلر-ماسكيروني وقيمته التقريبية 0.5772. وتعبر u عن موقع مركز التوزيع. وقد بلغت 89.91738 في بغداد، و96.70655 في البصرة، و264.33239 في الموصل.

3- دالة التوزيع التراكمي لِغامبل:

$$F(x) = \exp\{-\exp[-(x-u)/\alpha]\} \quad (3)$$

تعطي هذه الدالة احتمال أن تكون كمية المطر أقل من أو تساوي القيمة x. وتتميز بعدم التماثل وامتداد الذيل نحو القيم العالية، ولذلك تكون ملائمة في كثير من تطبيقات القيم المتطرفة.

4- حساب الاحتمال النظري لكل فئة والتكرار المتوقع:

$$p_i = F(x_u) - F(x_l) \quad (4)$$

$$E_i = n \times p_i \quad (5)$$

يمثل x_u الحد الأعلى للفئة، وx_l الحد الأدنى، ويمثل n عدد سنوات السجل وقد بلغ 31 سنة. أما E_i فهو عدد القيم المتوقع وقوعها داخل الفئة وفق توزيع غامبل.

5- حساب اختبار كاي تربيع:

$$\chi^2 = \Sigma\,[(O_i - E_i)^2 / E_i] \quad (6)$$

تقارن المعادلة التكرار المشاهد O_i بالتكرار المتوقع E_i. وكلما كانت القيمة المحسوبة أقل دل ذلك على تقارب أكبر بين البيانات الفعلية وتوزيع غامبل.

6- حساب درجة الحرية واتخاذ القرار:

$$df = k - r - 1 = 6 - 2 - 1 = 3 \quad (7)$$

بلغت درجة الحرية 3 لأن عدد الفئات ست فئات وعدد المعلمات المقدرة معلمتان هما u وα. وكانت القيمة الجدولية عند مستوى معنوية 0.05 مساوية لـ7.8147، ولذلك يُقبل التوزيع عندما تكون χ^2 المحسوبة أقل من هذه القيمة. (4)

أ: محطة بغداد

بلغ متوسط الأمطار السنوية في بغداد 121.165 ملم والانحراف المعياري 69.431 ملم، وبلغت قيمتا غامبل u = 89.91738 وα = 54.13542.

جدول(10) اختبار حسن المطابقة لتوزيع غامبل في محطة بغداد

الفئة	الحد الأدنى	الحد الأعلى	التكرار المشاهد O	الاحتمال المتوقع p	التكرار المتوقع E	مساهمة χ^2
1	∞-	66.600	7	0.2147	6.657	0.0177
2	66.600	108.900	9	0.2798	8.673	0.0124
3	108.900	151.201	6	0.2299	7.128	0.1785
4	151.201	193.501	4	0.1384	4.290	0.0195
5	193.501	235.801	2	0.0719	2.228	0.0234
6	235.801	∞+	3	0.0653	2.025	0.4693

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

الاستنتاج الإحصائي لمحطة بغداد

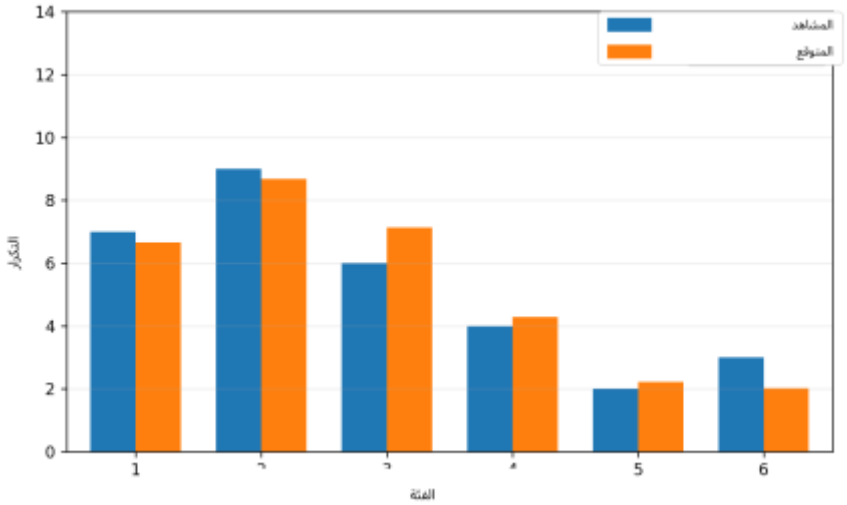
عدد الفئات m	χ^2 المحسوبة	df	χ^2 0.025	χ^2 0.050	χ^2 0.100	القرار
6	0.7208	3	9.3484	7.8147	6.2514	**مقبول**

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد اختبار حسن المطابقة للتوزيع غامبل في محطة بغداد

بلغت قيمة كاي تربيع المحسوبة في بغداد 0.7208، وهي أقل بكثير من القيمة المحسوبة 7.8147 لذلك يُقبل توزيع غامبل بدرجة ملاءمة مرتفعة. كما سجل غامبل أقل قيمة كاي تربيع بين التوزيعات المختبرة في بغداد، متقدماً على اللوغاريتمي الطبيعي الذي بلغت قيمته 0.9486 والطبيعي الذي بلغت قيمته 3.4098، ولذلك عُدَّ التوزيع الأفضل لهذه المحطة.

كان التقارب بين التكرارات المشاهدة والمتوقعة واضحاً في الفئات جميعها؛ إذ سجلت الفئة الأولى 7 حالات مشاهدة مقابل 6.657 حالات متوقعة، والفئة الثانية 9 حالات مقابل 8.673 حالات متوقعة. وكانت أكبر مساهمة في كاي تربيع للفئة العليا التي تزيد على 235.801 ملم، إذ بلغت 0.4693 فقط، ما يدل على قدرة جيدة لتوزيع غامبل على تمثيل المواسم الرطبة النادرة في بغداد.

شكل (10): مقارنة التكرارات المشاهدة والمتوقعة وفق توزيع غامبل في محطة بغداد



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

ب: محطة البصرة

بلغ متوسط الأمطار السنوية في البصرة 119.297 ملم والانحراف المعياري 50.196 ملم، وبلغت قيمتا غامبل u = 96.70655 و α = 39.13749.

جدول(11) اختبار حسن المطابقة لتوزيع غامبل في محطة البصرة

الفئة	الحد الأدنى	الحد الأعلى	التكرار المشاهد O	الاحتمال المتوقع p	التكرار المتوقع E	مساهمة χ^2
1	-∞	79.851	9	0.2147	6.657	0.8245
2	79.851	115.801	6	0.3265	10.121	1.6778
3	115.801	151.751	9	0.2415	7.486	0.3064
4	151.751	187.701	5	0.1242	3.849	0.3444
5	187.701	223.651	1	0.0549	1.701	0.2891
6	223.651	+∞	1	0.0383	1.186	0.0293

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

الاستنتاج الإحصائي لمحطة البصرة

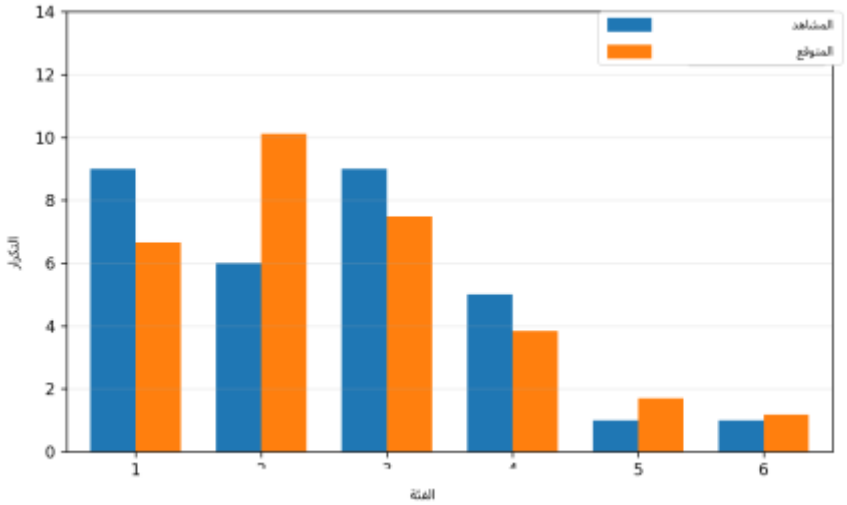
عدد الفئات m	χ^2 المحسوبة	df	χ^2 0.025	χ^2 0.050	χ^2 0.100	القرار
6	3.4715	3	9.3484	7.8147	6.2514	**مقبول**

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد اختبار حسن المطابقة للتوزيع غامبل في محطة البصرة

بلغت قيمة كاي تربيع المحسوبة في البصرة 3.4715، وهي أقل من القيمة الجدولية 7.8147، ولذلك يُقبل توزيع غامبل إحصائياً. إلا أن قيمة كاي تربيع كانت أعلى من قيمة التوزيع الطبيعي البالغة 2.2174، مما يعني أن الطبيعي ظل أفضل ملاءمة لمحطة البصرة، في حين جاء غامبل بالمرتبة الثانية.

تركز أكبر اختلاف في الفئة الثانية الممتدة من 79.851 إلى 115.801 ملم، حيث بلغ التكرار المشاهد 6 حالات مقابل 10.121 حالات متوقعة، وأسهمت هذه الفئة بمقدار 1.6778 في قيمة كاي تربيع. كما سجلت الفئة الأولى 9 حالات فعلية مقابل 6.657 متوقعة. ومع ذلك بقي مجموع الفروق ضمن حدود القبول، وأظهر التوزيع قدرة معقولة على تمثيل القيم العليا في البصرة.

شكل (11): مقارنة التكرارات المشاهدة والمتوقعة وفق توزيع غامبل في محطة البصرة



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

ت: محطة الموصل

بلغ متوسط الأمطار السنوية في الموصل 328.761 ملم والانحراف المعياري 143.159 ملم، وبلغت قيمتا غامبل u = 264.33239 و α = 111.62049.

جدول(12) اختبار حسن المطابقة لتوزيع غامبل في محطة الموصل

الفئة	الحد الأدنى	الحد الأعلى	التكرار المشاهد O	الاحتمال المتوقع p	التكرار المتوقع E	مساهمة χ^2
1	-∞	228.384	8	0.2516	7.799	0.0052
2	228.384	359.567	13	0.4015	12.446	0.0246
3	359.567	490.750	9	0.2237	6.934	0.6159
4	490.750	621.934	0	0.0835	2.587	2.5871
5	621.934	753.117	0	0.0273	0.847	0.8475
6	753.117	+∞	1	0.0125	0.386	0.9752

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

الاستنتاج الإحصائي لمحطة الموصل

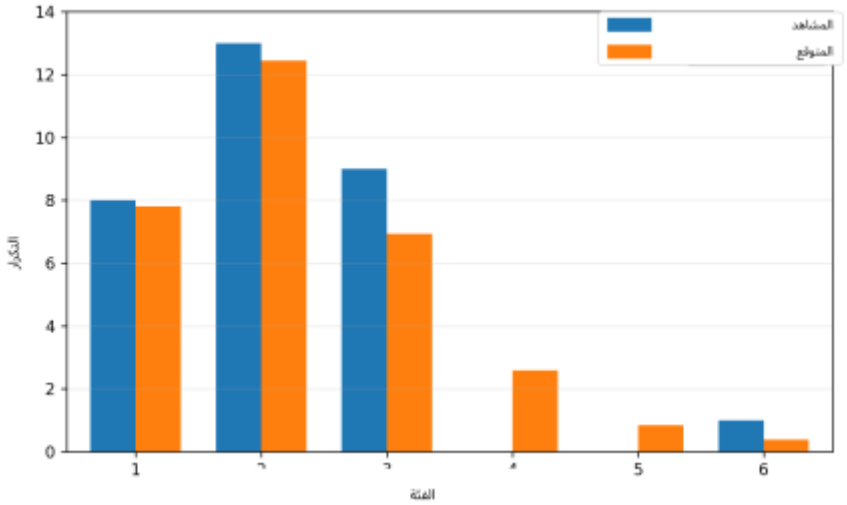
عدد الفئات m	χ^2 المحسوبة	df	χ^2 0.025	χ^2 0.050	χ^2 0.100	القرار
6	5.0555	3	9.3484	7.8147	6.2514	**مقبول**

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد اختبار حسن المطابقة للتوزيع غامبل في محطة الموصل

بلغت قيمة كاي تربيع المحسوبة في الموصل 5.0555، وهي أقل من القيمة الجدولية 7.8147؛ لذلك يُقبل توزيع غامبل. وتمثل هذه النتيجة تحسناً كبيراً مقارنة بالتوزيع الطبيعي الذي بلغت قيمته 23.8125 ورُفض، إلا أنها جاءت أعلى بقليل من قيمة اللوغاريتمي الطبيعي البالغة 4.8853، ولذلك كان اللوغاريتمي الطبيعي الأفضل وفق معيار كاي تربيع، وجاء غامبل في المرتبة الثانية.[5]

أكبر مساهمة في قيمة كاي تربيع ظهرت في الفئة الرابعة الممتدة من 490.751 إلى 621.934 ملم، التي لم تسجل أي حالة مشاهدة مقابل 2.587 حالة متوقعة، فبلغت مساهمتها 2.5871. كما أسهمت الفئة العليا التي تزيد على 753.117 ملم بمقدار 0.9752. وعلى الرغم من هذه الفروق،اظهر توزيع غامبل قدرة افضل بكثير من التوزيع الطبيعي على تمثيل القيمة المطرية القصوى لكونه اكثر ملائمة للتعامل مع القيم المرتفعة والنادرة ضمن السلسلة المطرية .

شكل (12): مقارنة التكرارات المشاهدة والمتوقعة وفق توزيع غامبل في محطة الموصل



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

يعتبر توزيع غامبل مقبول في المحطات الثلاث، إلا أن درجة ملاءمته اختلفت بينها. سجلت بغداد أقل قيمة كاي تربيع بلغت 0.7208، تلتها البصرة بقيمة 3.4715، ثم الموصل بقيمة 5.0555. وكان غامبل أفضل توزيع لمحطة بغداد، وجاء ثانياً في كل من البصرة والموصل.

تؤكد النتائج أن قوة توزيع غامبل تظهر بصورة خاصة عند القيمة المطرية العليا والمتطرفة. فشكل السلسلة المطرية ودرجة الالتواء وتوزيع القيم داخل الفئات تحدد التوزيع الأفضل، ولذلك يتبين بعد المقارنة بين جميع النماذج واختبارات حسن المطابقة.

خامسا - تقدير كميات التهاطلات المناسبة لفترات الرجوع

تهدف هذه المرحلة إلى تقدير كميات التهاطلات المطرية السنوية المقابلة لفترات رجوع مقدارها 5 و10 و25 و50 و100 سنة في محطات بغداد والبصرة والموصل. ولم يُفرض توزيع احتمالي واحد على جميع المحطات، بل اعتمد التوزيع الأفضل لكل محطة وفق أقل قيمة لاختبار كاي تربيع؛ فاختير توزيع غامبل لبغداد، والتوزيع الطبيعي للبصرة، والتوزيع اللوغاريتمي الطبيعي للموصل. وبذلك تعكس التقديرات الخصائص الإحصائية المختلفة لكل سلسلة مطرية.

جدول (13): التوزيع الاحتمالي المعتمد لتقدير كميات الأمطار في كل محطة

المحطة	التوزيع المعتمد	χ^2 المحسوبة	أساس الاختيار
بغداد	غامبل	0.7208	أقل قيمة بين التوزيعات المختبرة
البصرة	طبيعي	2.2174	أقل قيمة بين التوزيعات المختبرة
الموصل	لوغاريتمي طبيعي	4.8853	أقل قيمة بين التوزيعات المختبرة

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

يبين الجدول (15) أن اختلاف الخصائص الاحصائية للسلاسل المطرية ادت الى اختلاف التوزيع الاحتمالي الاكثر ملائمة لكل محطة، فقد اظهر توزيع غامبل قدرة افضل على تمثيل القيم المطرية المرتفعة في محطة بغداد في حين كانت بينات محطة البصرة اكثر تقاربا مع خصائص التوزيع الطبيعي، في حين احتاجت الموصل إلى التحويل اللوغاريتمي بسبب امتداد السلسلة نحو القيم المطرية العالية.

1- تحديد احتمالية عدم التجاوز المقابلة لفترة الرجوع:

$$F_T = 1 - (1 / T) \quad (1)$$

إذ تمثل T فترة الرجوع بالسنوات، وتمثل F_T احتمال أن تكون كمية المطر السنوية أقل من القيمة المقدرة أو مساوية لها. أما احتمال التجاوز السنوي فيساوي 1/T؛ لذلك تكون احتمالات التجاوز لفترات 5 و10 و25 و50 و100 سنة مساوية لـ20% و10% و4% و2% و1% على الترتيب. [6]

2- معادلة معامل التكرار العامة:

$$X_T = \mu + K_T\,\sigma \quad (2)$$

تمثل X_T كمية التهاطلات المقدرة لفترة الرجوع T، وμ المتوسط الحسابي للسلسلة، وσ الانحراف المعياري، وK_T معامل التكرار الذي تتغير طريقة حسابه بحسب التوزيع الاحتمالي المعتمد.

3- التوزيع الطبيعي المعتمد لمحطة البصرة:

$$K_T = Z_T = \Phi^{-1}(1 - 1/T) \quad (3)$$

$$X_T = \mu + Z_T\,\sigma \quad (4)$$

تمثل Φ^{-1} الدالة العكسية للتوزيع الطبيعي المعياري. وقد بلغت معاملات التكرار الطبيعية 0.84162 و1.28155 و1.75069 و2.05375 و2.32635 للفترات 5 و10 و25 و50 و100 سنة على الترتيب.

4- التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي المعتمد لمحطة الموصل:

$$b = \sqrt{[\ln(1 + (\sigma/\mu)^2)]} \quad (5)$$

$$a = \ln(\mu) - (b^2 / 2) \quad (6)$$

$$X_T = \exp[a + Z_T\,b] \quad (7)$$

حُسبت قيمة التوزيع اللوغاريتمي، فبلغ a = 5.70852 وb = 0.41669 في محطة الموصل. ثم استُخدمت معاملات التكرار الطبيعية نفسها، لكن على لوغاريتم القيم قبل إعادة تحويلها إلى المليمتر باستعمال الدالة الأسية.

5- توزيع غامبل المعتمد لمحطة بغداد:

$$y_T = -\ln[-\ln(1 - 1/T)] \quad (8)$$

$$K_T = (\sqrt{6} / \pi)\,(y_T - 0.5772) \quad (9)$$

$$X_T = \mu + K_T\,\sigma \quad (10)$$

يمثل y_T المتغير المختزل لتوزيع غامبل، وتمثل 0.5772 ثابت أويلر. وقد بلغت معاملات غامبل 0.71945 و1.30455 و2.04383 و2.59228 و3.13667 لفترات الرجوع المعتمدة وكانت اعلى من معاملات التوزيع الطبيعي عند فترات الطويلة مما يدل على قدرة توزيع غامبل على تقديرات القيم المطرية المرتفعة بثورة اكبر عند زيادة فترة الرجوع. [7]

جدول (14): معاملات التكرار وكميات التهاطلات المطرية المقدرة للمحطات الثلاث

المحطة	أفضل توزيع	المتوسط	الانحراف المعياري	K5	K10	K25	K50	K100	XT5	XT10	XT25	XT50	XT100
بغداد	**غامبل**	121.165	69.431	0.71945	1.30455	2.04383	2.59228	3.13667	171.117	211.742	263.071	301.150	338.948
البصرة	**طبيعي**	119.297	50.196	0.84162	1.28155	1.75069	2.05375	2.32635	161.543	183.626	207.174	222.387	236.070
الموصل	**لوغاريتمي طبيعي**	328.761	143.159	0.84162	1.28155	1.75069	2.05375	2.32635	428.038	514.156	625.162	709.311	794.635

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد اختبارات حسن المطابقة ومعادلات معامل التكرار

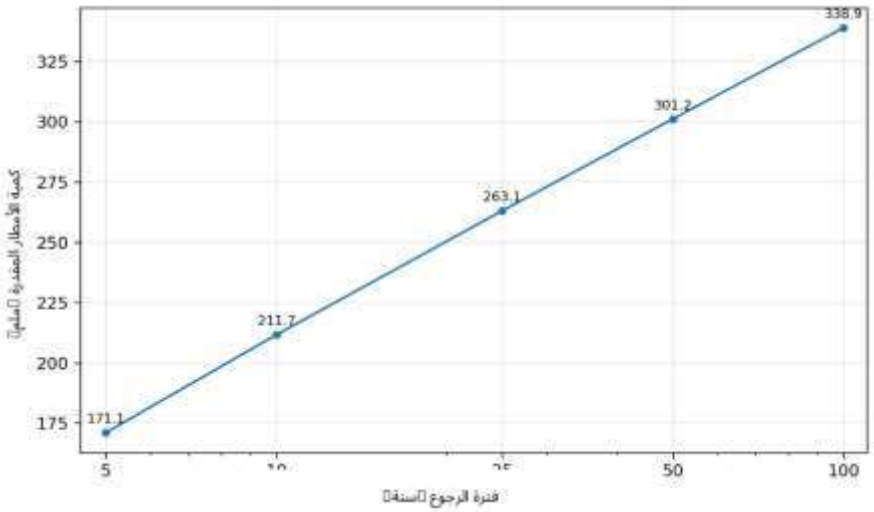
أ: تحليل نتائج محطة بغداد

اعتمد توزيع غامبل في محطة بغداد لأنه حقق أقل قيمة لكاي تربيع بلغت 0.7208. ووفقاً لهذا التوزيع قُدرت كمية المطر السنوية لفترة رجوع 5 سنوات بنحو 171.117 ملم، أي ما يعادل 1.41 مرة من المتوسط السنوي للمحطة البالغ 121.165 ملم. وترتفع الكمية إلى 211.742 ملم عند فترة 10 سنوات، ثم إلى 263.071 ملم عند 25 سنة.

عند فترات الرجوع الطويلة بلغت الكمية المقدرة 301.150 ملم لفترة 50 سنة و338.948 ملم لفترة 100 سنة. وبذلك ازدادت القيمة بين فترتي 5 و100 سنة بمقدار 167.831 ملم، أي بنسبة 98.08% من تقدير الخمس سنوات. ويعكس الارتفاع الواضح في المنحنى مع زيادة فترة الرجوع ،قدرة توزيع غامبل على تقدير القيم المطرية المرتفعة والنادرة بصورة تتناسب مع زيادة فتراه الرجوع.[8]

تجاوز تقدير المئة سنة أعلى قيمة في بغداد، والبالغة 278.101 ملم، بمقدار 60.847 ملم. ولا يعني ذلك وجود خطأ، بل إن النموذج الاحتمالي يستقرئ قيمة نادرة تتجاوز نطاق السجل المرصود. غير أن هذا الاستقراء يزداد عدم يقينه لأن طول السلسلة 31 سنة فقط، وهو أقل كثيراً من فترة الرجوع المقدرة.

شكل (16): كميات التهاطلات المطرية المقدرة لفترات الرجوع في محطة بغداد



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

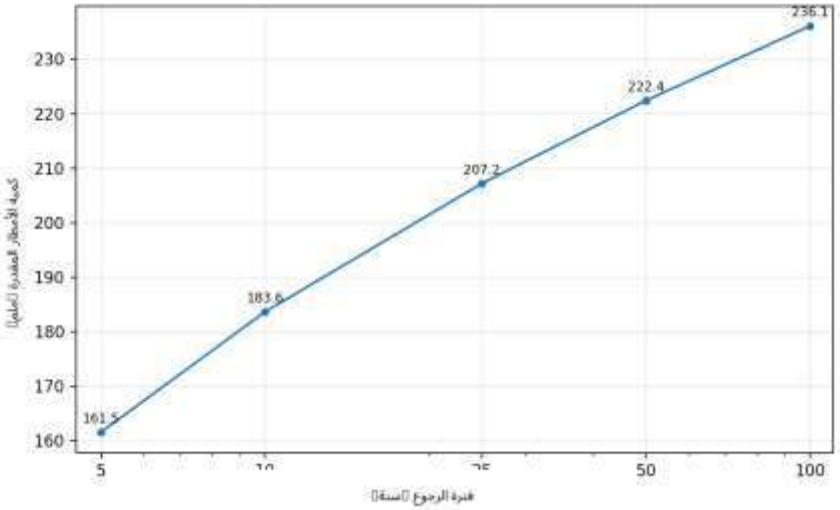
ب: تحليل نتائج محطة البصرة

اعتمد التوزيع الطبيعي في البصرة لكونه الأفضل ملاءمة بقيمة كاي تربيع 2.2174. بلغت كمية المطر المقدرة لفترة 5 سنوات 161.543 ملم، وارتفعت إلى 183.626 ملم عند 10 سنوات و207.174 ملم عند 25 سنة. وتمثل هذه القيم 1.35 و1.54 و1.74 مرة من المتوسط السنوي للمحطة على الترتيب.

بلغ تقدير فترة 50 سنة 222.387 ملم، بينما بلغ تقدير 100 سنة 236.070 ملم. وتعد البصرة أقل المحطات زيادة بين الفترتين 5 و100 سنة؛ إذ بلغت الزيادة 74.527 ملم، أي 46.14%. ويعود ذلك إلى انخفاض الانحراف المعياري نسبياً واعتماد التوزيع الطبيعي الذي يرتفع معامله بصورة أبطأ من معامل غامبل مع امتداد فترة الرجوع.

بقي تقدير المئة سنة أقل من أعلى قيمة مرصودة في البصرة والبالغة 259.601 ملم. وتشير هذه النتيجة إلى أن أعلى موسم مرصود كان واضحاً ً قياساً بالنمط العام للسلسلة، وأن التوزيع الطبيعي، الذي يعتمد المتوسط والانحراف المعياري وتماثل السلسلة، لم يرفع تقدير المئة سنة إلى مستوى تلك القيمة القصوى.[9]

شكل (17): كميات التهاطلات المطرية المقدرة لفترات الرجوع في محطة البصرة



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

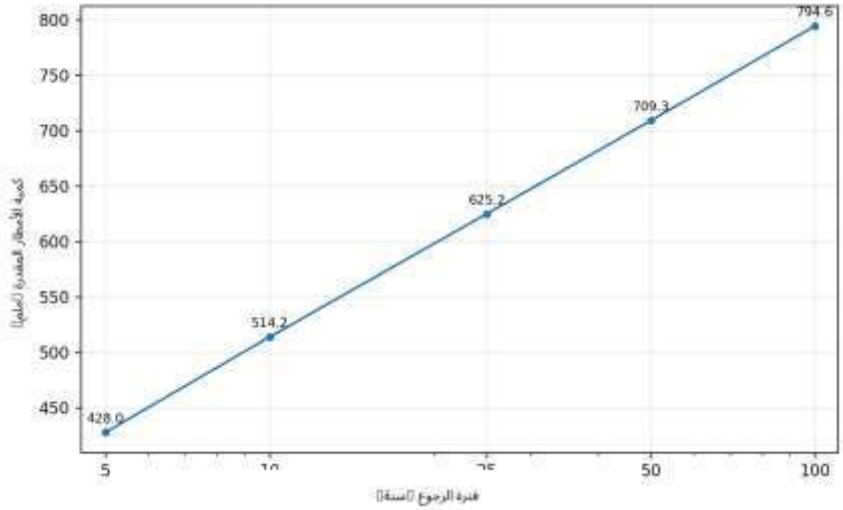
ت: تحليل نتائج محطة الموصل

اعتمد التوزيع اللوغاريتمي الطبيعي في الموصل لكونه حقق أقل قيمة لكاي تربيع بلغت 4.8853، ولقدرته على تمثيل القيم المطرية المرتفعة المتطرفة في السلسلة بصورة افضل. بلغت كمية المطر المقدرة لفترة **5** سنوات 428.038 ملم، ثم ارتفعت إلى 514.156 ملم عند 10 سنوات **و**625.162 ملم عند 25 سنة.

بلغت التقديرات 709.311 ملم لفترة **50** سنة **و**794.635 ملم لفترة 100 سنة. وازدادت الكمية بين فترتي 5 **و**100 سنة بمقدار 366.597 ملم، أي بنسبة 85.65**%.** كما بلغ تقدير المئة سنة نحو 2.42 مرة من المتوسط السنوي للموصل البالغ 328.761 ملم، وهو ما يوضح وجود قيم مطرية مرتفعة ضمن السلسلة وارتفاع مستوى التباين في المجاميع السنوية للأمطار.

على الرغم من ارتفاع تقدير المئة سنة، فإنه بقي أقل من أعلى قيمة مرصودة في الموصل والبالغة 884.300 ملم. ويمكن تفسير ذلك بأن القيمة القصوى حدث شديد الارتفاع داخل سجل قصير، بينما يوازن التوزيع اللوغاريتمي بين جميع القيم ولا يساوي بالضرورة أعلى قيمة بفترة رجوع 100 سنة.[10]

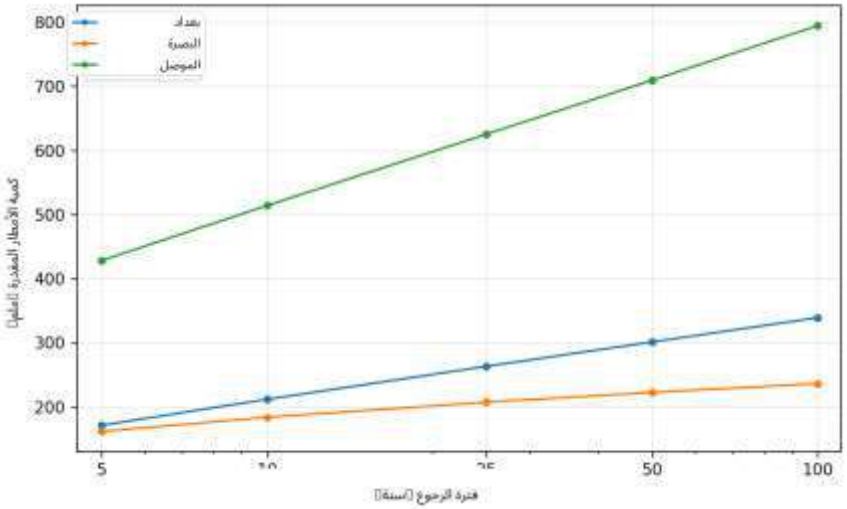
شكل (18): كميات التهاطلات المطرية المقدرة لفترات الرجوع في محطة الموصل



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

ثً: المقارنة بين المحطات

شكل (19): المقارنة بين كميات التهاطلات المقدرة لفترات الرجوع في محطات الدراسة



المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

جدول (15): مقدار الزيادة بين فترات الرجوع والمؤشرات المقارنة

المحطة	5-10	10-25	25-50	50-100	الزيادة 5-100	نسبة الزيادة %	XT100/المتوسط
بغداد	40.625	51.329	38.079	37.798	167.831	98.08	2.80
البصرة	22.083	23.549	15.212	13.683	74.527	46.13	1.98
الموصل	86.118	111.006	84.149	85.324	366.597	85.65	2.42

المصدر / من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للأنواء الجوي والرصد الزلزالي

يتضح من الشكل (19) والجدول (15) أن الموصل سجلت أعلى القيم في جميع فترات الرجوع، تلتها بغداد ثم البصرة. فعند فترة 5 سنوات بلغ تقدير الموصل 428.038 ملم، أي نحو 2.50 مرة من بغداد و2.65 مرة من البصرة. وعند فترة 100 سنة ارتفعت النسبة إلى نحو 2.34 مرة من بغداد و3.37 مرة من البصرة.

سجلت الموصل أكبر زيادة مطلقة بين 5 و100 سنة بلغت 366.597 ملم، بينما سجلت بغداد أعلى زيادة نسبية بلغت 98.08%. أما البصرة فكان منحناها الأقل انحداراً، إذ بلغت الزيادة النسبية

46.14% فقط. وتدل هذه الاختلافات على أن متوسط المطر وحده لا يحدد القيم النادرة، بل يتداخل معه الانحراف المعياري وشكل التوزيع واحتمال ظهور القيم المتطرفة.

كما يتبين أن أكبر زيادة بين فترتين متعاقبتين حدثت في الموصل بين 10 و25 سنة، وبلغت 111.006 ملم، مقابل 51.329 ملم في بغداد و23.549 ملم في البصرة. وتعكس هذه الفروق ضرورة اختيار قيم تصميمية محلية لكل منطقة وعدم تعميم قيمة واحدة على العراق كله.

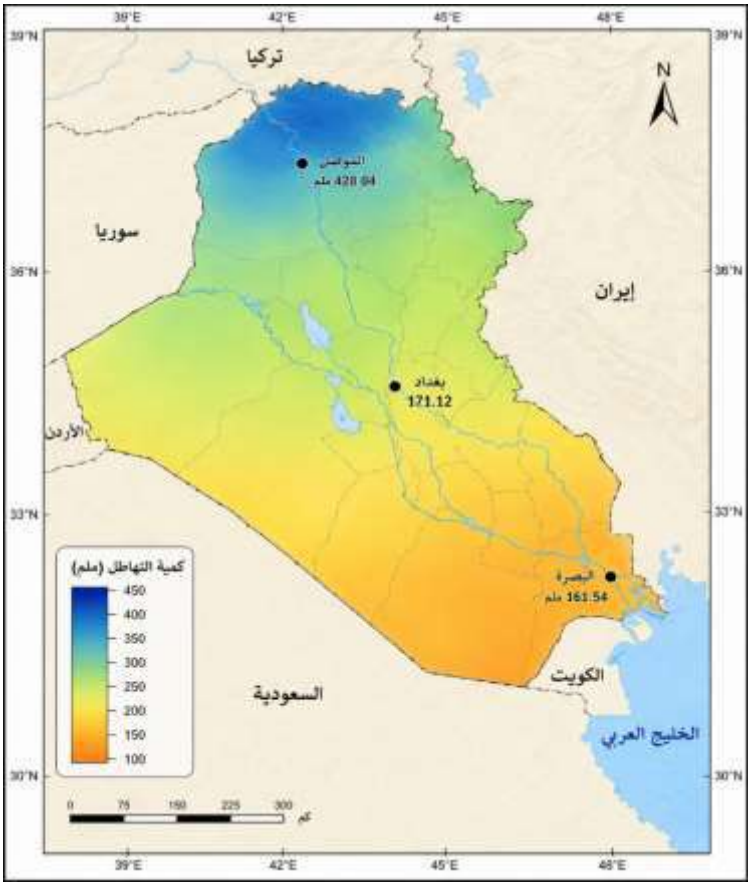
لا تعني فترة الرجوع أن القيمة المطرية ستقع مرة واحدة بصورة منتظمة كل 5 أو 100 سنة؛ بل تعني أن احتمال تجاوزها في سنة واحدة يساوي T/1. وقد يقع الحدث في سنتين متقاربتين أو لا يقع خلال مدة تساوي فترة الرجوع. وتفيد التقديرات في مقارنة مستويات الندرة وتحديد حدود أولية للمخاطر خلال العمر التشغيلي للمشروعات.

تتطلب تقديرات 50 و100 سنة حذراً أكبر، لأنها ناتجة عن استقراء خارج طول السجل البالغ 31 سنة. ويُنصح عند استخدامها في التطبيقات بإضافة فترات ثقة، وتحديث التحليل عند توفر سنوات جديدة، ومقارنة النتائج مع توزيعات بديلة أو طرائق إقليمية تعتمد عدداً أكبر من المحطات.

سادسا - التحليل المكاني لتقدير كميات التهاطل لفترتي الرجوع **5** و**10** سنوات

اعتمد التمثيل المكاني على القيم المقدرة من أفضل توزيع احتمالي لكل محطة، وهي غامبل لبغداد، والطبيعي للبصرة، واللوغاريتمي الطبيعي للموصل. واستُخدمت طريقة المسافة العكسية الموزونة (IDW) في برنامج ArcGIS 10.4.1 لإنشاء سطح مكاني من قيم المحطات الثلاث. وتتأثر نتائج طريقة IDW بعدد المحطات وتوزيعها المكاني كما انها لا تظهر بصوره مباشرة في القيم المقدرة في المحطات لذ لم تستخدم لإظهار الاتجاه العام للأمطار.

خريطة (2): تقدير كميات التهاطل لفترة رجوع 5 سنوات

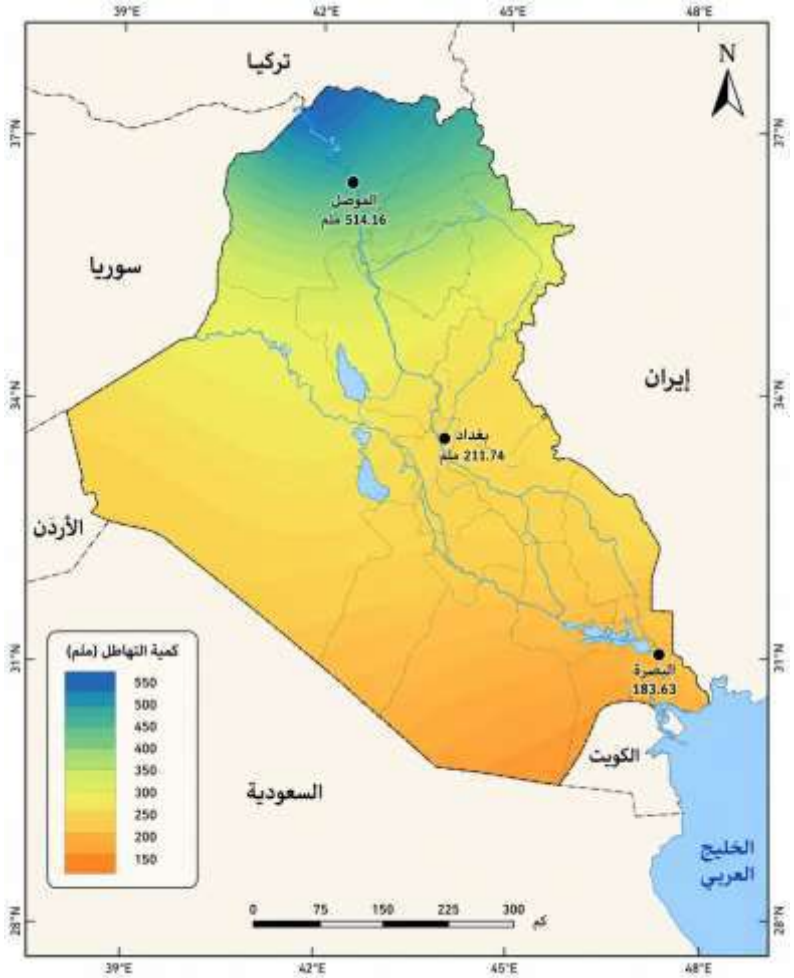


المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برنامج ArcGIS 10.4 1 وبيانات ملف Excel لمحطات بغداد والموصل والبصرة.

توضح خريطة (2) تدرجاً مكانياً واضحاً في كميات التهاطل المقدرة لفترة رجوع 5 سنوات؛ إذ سجلت الموصل أعلى قيمة بلغت 428.04 ملم، ثم بغداد 171.12 ملم، فالبصرة 161.54 ملم. ويظهر النطاق الأعلى في شمال العراق، ثم تتناقص القيم تدريجياً باتجاه الوسط والجنوب. ويتفق هذا الاتجاه مع الدراسات المناخية للعراق؛ أن الأمطار السنوية تتدرج من قيم تقل عن 100 ملم في الجنوب إلى قيم مرتفعة في الشمال والشمال الشرقي، حيث يسود تأثير مناخي متوسطي أكبر، كما أن متوسط الأمطار يرتفع تدريجياً من جنوب العراق نحو شماله وأن الموصل، لقربها من المرتفعات الشمالية، تتلقى أمطاراً أعلى من بغداد والبصرة [11]

ويُلاحظ أن الفرق بين بغداد والبصرة محدود في فترة الرجوع القصيرة، في حين يظهر انفصال واضح بينهما وبين الموصل. وتعكس الخريطة القيم الإحصائية أكثر مما تعكس تفاصيل التضرس المحلي؛ إذ لا تحتوي الدراسة إلا على ثلاث نقاط رصد.

خريطة (3): تقدير كميات التهاطل لفترة رجوع 10 سنوات



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برنامج ArcGIS 10.4.1 وبيانات ملف Excel لمحطات بغداد والموصل والبصرة.

تبين خريطة (3) استمرار النمط المكاني نفسه عند فترة رجوع 10 سنوات مع ارتفاع القيم في المحطات الثلاث؛ إذ بلغت الكمية المقدرة 514.16 ملم في الموصل، و211.74 ملم في بغداد، و183.63 ملم في البصرة. ويؤكد استمرار التدرج من الشمال إلى الجنوب أن الاختلاف المكاني لا يرتبط بفترة الرجوع وحدها، بينما في الخصائص المناخية العامة للعراق واختلاف مستوى الهطول بين الشمال والوسط والجنوب. وقد توصلت دراسة زيري وآخرين، التي تناولت بغداد والموصل والبصرة،

إلى أن الموصل تتميز بمستوى مطري أعلى من المدينتين الأخريين، كما أكدت أهمية تقديرات فترات الرجوع في تخطيط منشآت تصريف مياه الأمطار [12]

وبالمقارنة مع فترة 5 سنوات، زادت قيمة الموصل بمقدار 86.12 ملم، وارتفعت بغداد بمقدار 40.62 ملم، والبصرة بمقدار 22.08 ملم. ويعكس اختلاف مقدار الزيادة أثر التوزيع الاحتمالي المختار لكل محطة وشكل الذيل العلوي للسلسلة المطرية. وبسبب محدودية شبكة النقاط، لا ينبغي استخدام اللون في موقع بعيد عن المحطات بوصفه قيمة تصميمية نهائية، بل بوصفه مؤشراً مكانياً يحتاج إلى تدعيم بمحطات إضافية أو بيانات شبكية موثوقة والتحقق المتقاطع من دقة الاستيفاء [12]

وتؤكد الخريطتان أن استعمال قيمة تصميمية واحدة لجميع مناطق العراق غير ملائم، لأن الفرق بين شمال البلاد وجنوبها كبير.

الاستنتاجات

1- أظهرت السلاسل المطرية خلال 31 موسماً تبايناً مكانياً واضحاً؛ إذ بلغ متوسط الموصل 328.76 ملم، مقابل 121.17 ملم في بغداد و119.30 ملم في البصرة، وسجلت الموصل أكبر تشتت مطلق، بينما سجلت بغداد أعلى معامل اختلاف بلغ 57.30٪.

2- أكدت القيم القصوى المرصودة، ولا سيما 884.30 ملم في الموصل، أن المتوسط الحسابي وحده لا يكفي لتمثيل خطر المواسم الرطبة النادرة، وأن فترة الرجوع تعبر عن متوسط احتمالي لا عن موعد زمني ثابت.

3- أظهر اختبار حسن المطابقة اختلاف النموذج الأفضل بين المحطات؛ فكان غامبل الأفضل لبغداد بقيمة كاي تربيع 0.7208، والطبيعي للبصرة بقيمة 2.2174، واللوغاريتمي الطبيعي للموصل بقيمة 4.8853.

4- رُفض التوزيع الطبيعي في الموصل بسبب القيمة الموجب والقيمة المتطرفة، مما يؤكد أن فرض توزيع احتمالي واحد على جميع المحطات قد يؤدي إلى تقديرات غير دقيقة.

5- ازدادت كميات المطر المقدرة بزيادة فترة الرجوع؛ فارتفعت بين فترتي 5 و100 سنة من 171.12 إلى 338.95 ملم في بغداد، ومن 161.54 إلى 236.07 ملم في البصرة، ومن 428.04 إلى 794.63 ملم في الموصل.

6- احتفظت الموصل بأعلى القيم في جميع فترات الرجوع، وسجلت بغداد أعلى زيادة نسبية بين 5 و100 سنة، بينما أظهرت البصرة أقل معدل نمو في القيم المقدرة.

7- أظهرت خرائط فترتي 5 و10 سنوات تدرجاً مطرياً عاماً من الشمال نحو الوسط والجنوب.

8- تزداد درجة عدم اليقين في تقديرات 50 و100 سنة بسبب قصر السجل البالغ 31 موسماً؛ لذلك ينبغي التعامل معها بوصفها استقراءً إحصائياً وتحديثها عند توفر بيانات جديدة.

االمصادر

1- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill.

2- Muter, S. A., Al-Jiboori, M. H., & Al-Timimi, Y. K. (2025). Assessment of spatial and temporal monthly rainfall trend over Iraq. Baghdad Science Journal, 22(3), 910–922. https://doi.org/10.21123/bsj.2024.10367

3- Wilks, D. S. (2020). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences (4th ed.). Elsevier.

4- Al-Karbouli, K. A. A. (2020). Climate change of rainfall in Mosul, Baghdad, Basra stations for the period (1938–2014). Uruk Journal of Human Sciences, 13(1), Article 30.

5- Stedinger, J. R., Vogel, R. M., & Foufoula-Georgiou, E. (1993). Frequency Analysis of Extreme Events. In D. R. Maidment (Ed.), Handbook of Hydrology, Chapter 18. McGraw-Hill.

6- World Meteorological Organization. (2009). Guide to Hydrological Practices, Volume II: Management of Water Resources and Applications of Hydrological Practices (WMO-No. 168).

7- Johnson, N. L., Kotz, S., & Balakrishnan, N. (1994). Continuous Univariate Distributions, Volume 1 (2nd ed.). Wiley.
8- Aitchison, J., & Brown, J. A. C. (1957). The Lognormal Distribution. Cambridge University Press.
9- Gumbel, E. J. (1958). Statistics of Extremes. Columbia University Press
10- Abbas, S. A., Xuan, Y., Al-Rammahi, A. H., & Addab, H. F. (2022). A Comparison Study of Observed and the CMIP5 Modelled Precipitation over Iraq 1941–2005. Atmosphere, 13(11), 1869. https://doi.org/10.3390/atmos13111869
11- Zeri, S. J., Hamed, M. M., Wang, X., & Shahid, S. (2023). Utilizing Satellite Data to Establish Rainfall Intensity–Duration–Frequency Curves for Major Cities in Iraq. Water, 15(5), 852. https://doi.org/10.3390/w15050852
12- Esri. (n.d.). How inverse distance weighted interpolation works. ArcGIS Pro Documentation. Accessed 20 July 2026.