

# اشتقاق كثافة الأمطار وتصميم منحنياتها باستخدام الأمطار اليومية القصوى بمنطقة حائل بالمملكة العربية السعودية

صالح عبد المحسن الشمري<sup>(١)</sup>

## الملخص:

يتم عادة تصميم منحنيات كثافة الأمطار بواسطة البيانات الفعلية لكثافة الأمطار المسجلة بالمحطات المناخية والمطرية، وتحتوي سجلات هذه البيانات على كمية الأمطار المتساقطة وعلى المدة الزمنية للعاصفة المطرية، ويتم التحليل التكراري لكثافة الأمطار للتعرف على فترة الرجوع لها باستخدام مخرجات نماذج التوزيعات الاحتمالية، ومن أكثر نماذج التوزيعات الاحتمالية المستخدمة في اشتقاق كثافة الأمطار هو نموذج التوزيع الطبيعي Normal probability distribution ونموذج التوزيع الطبيعي اللوغاريتمي Log Normal probability distribution ونموذج توزيع القيم القصوى -نوع ١- Exponential -probability distribution Extreme Value -type 1 ونموذج التوزيع الأسّي Exponential probability distribution.

وفي غياب البيانات الفعلية لكثافة الأمطار بالمحطات المطرية بمنطقة حائل، تسعى هذه الدراسة إلى اشتقاق المعاملات الرياضية لنموذج حساب كثافة الأمطار من بيانات الأمطار اليومية القصوى المتاحة لفترة ٤٢ سنة متواصلة (١٩٧٦-٢٠١٧) لتصميم منحنيات الكثافة-المدة- التكرار للأمطار من خلال تطبيق التوزيعات الاحتمالية المذكورة للاستفادة منها في تصميم وتحليل منحنيات الكثافة-المدة- التكرار للمدد الزمنية (١٠، ٢٠، ٣٠ دقيقة) و(١، ٢، ٣، ٦، ١٢ ساعة) لأقصى كثافة الأمطار المناسبة لفترات الرجوع (٥، ١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ سنة) بمحطات النقرة وحائل وعقلة بن جبرين والغزالة والعظيم بمنطقة حائل ثم اشتقاق المعاملات الرياضية المناسبة لكل توزيع واقترح نموذج خاص بكل محطة لتقدير كثافة الأمطار في غياب القياسات الفعلية.

ولقد أظهرت نتائج فحص حُسن المطابقة للتوزيعات الاحتمالية المدروسة بأن أفضل توزيع احتمالي لاشتقاق كثافة الأمطار من بيانات الأمطار اليومية القصوى هو نموذج التوزيع الاحتمالي الأسّي، بحيث بلغت قيمة مربع كاي للفحص عند درجة الحرية ٢ ما يعادل (٧,١٨٩) بمحطة عقلة بن

<sup>(١)</sup> أستاذ مساعد، شركة البعد المطور لتقنيات المعلومات. ([sshamar@hotmail.com](mailto:sshamar@hotmail.com))

جبرين و(٧,٩٨٥) بمحطة الغزالة و(٨,٤٢٦) بمحطة حائل وعند درجة الحرية ٣ بما يعادل (١١,٩٦٥) بمحطة النقرة و(١٣,٢٦٧) بمحطة العظيم، ولقد تمت معايرة كفاءة تقدير هذا النموذج بتطبيق أربعة فحوص احصائية هي (NSE, R2, PBias and RSR)، ولقد أظهرت نتائج المعايرة الجودة العالية لتقدير كثافة الأمطار المناسبة لمختلف فترات الرجوع بواسطة نموذج التوزيع الاحتمالي الآسي.

وعليه فقد توصلت نتائج هذه الدراسة إلى صياغة معادلات نموذج التوزيع الاحتمالي الآسي لتقدير كثافة الأمطار (IT) من جهة والمدة الزمنية (td) وفترة الرجوع (Tr) من جهة ثانية بواسطة قيم المعالم الإحصائية (a, b, and c)، وتتجلى أهمية هذه الدراسة في كونها تتناول الخطوات المنهجية والعملية لاشتقاق كثافة الأمطار من كميات الأمطار اليومية القصوى في غياب البيانات الفعلية لكثافة الأمطار بالمحطات المطرية كما هو الحال بالعديد منها بالمملكة العربية السعودية.

**الكلمات الأساسية:** كثافة الأمطار، منحنى كثافة الأمطار، نموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي، نموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١ - Gumbel method) - EVI، النموذج الاحتمالي الطبيعي اللوغاريتمي، النموذج الاحتمالي الآسي، حائل، المملكة العربية السعودية.

(المجلة الجغرافية العربية، المجلد (٥٤)، العدد (٨١)، يونيو ٢٠٢٣، ص ٢٧٥ - ٣٠٦)

## المقدمة:

تلعب بيانات كثافة الأمطار دوراً هاماً في تقدير كميات الموارد المائية وتخطيط وإدارة مشاريع تصميم أنظمة الصرف السطحي وأنظمة صرف مياه الأمطار والسيول، وتتزايد أهمية دراسة وتحليل كثافة الأمطار في تقدير المخاطر السيلية المصاحبة لهطولها من أجل الوقاية من تأثيراتها وأخطارها المحتملة على الأرواح والممتلكات.

يُعبّر منحني كثافة الأمطار عن كمية الأمطار المتساقطة على مساحة معينة خلال فترة زمنية محدود (Dupont and Allen, 2000)، وهو ينشأ من العلاقات الموجودة بين كثافة الأمطار (Intensity) والمدة الزمنية للتساقط (Duration) وفترة الرجوع (Return period) (Koutsoyiannis et al., 1998; ) (Koutsoyiannis, 2003).

وفي هذا المجال ظهرت بعض الدراسات المحلية كدراسة السبيل AI-Sobayel الخاصة بالتوزيع التكراري لأمطار منطقة الرياض ودراسة السالم AI-Salem الخاصة بالتوزيع التكراري لأمطار مناطق الزلفي والرياض وشقراء (AI-Sobayel, 1983; AI-Salem, 1985).

كما قدم آل الشيخ AI-Shaikh دراسة لتكرارية الأمطار بالمملكة العربية السعودية توصل فيها إلى اشتقاق العلاقات القائمة بين العمق - المدة - التكرار (DDF Depth-Duration-Frequency) للعديد من المناطق بالمملكة العربية السعودية اعتماداً على بيانات الأمطار المسجلة بمحطات الأرصاد الجوية، وقد انتهى الباحث من خلال هذه الدراسة إلى تحديد ستة مناطق مطرية هي: منطقة الجنوب الغربي (المنطقة الأولى) والمنطقة الجبلية على طول ساحل البحر الأحمر (المنطقة الثانية) والمنطقة الشمالية (المنطقة الثالثة) والمنطقة الوسطى والشرقية (المنطقة الرابعة) والمنطقة الجنوبية (المنطقة الخامسة) ومنطقة الربع الخالي (المنطقة السادسة)، وقد أوصى الباحث بتعديل تقديرات كميات الأمطار التي تم حسابها بالمحطات المدروسة بواسطة ما يتوفر من بيانات وقياسات جديدة للأمطار (AI-Shaikh, 1985).

وقد أنجز الدخيل AI-Dokhayel دراسة أخرى تتعلق بتقدير العلاقات بين عمق ومدة وتكرار كميات الأمطار خلال فترات الرجوع المختلفة بمنطقة القصيم نموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى - نوع ١- المعروف بنموذج جامبل (EV1 of Gumbel) ونموذج التوزيع الاحتمالي اللوغاريتمي لبيرسون - نوع ٣- المعروف بنموذج Log Pearson Type 3 (LPT 3)، وقد أشار الباحث إلى أن هذا الأخير

يعطي تقديرات لكميات الأمطار تفوق مثيلاتها المحسوبة بنموذج جامبل وبأخطاء معيارية قليلة (AI-) (Dokhayel, 1986).

وأنجز الخلف AI-Khalaf دراسة لتقدير كثافة الأمطار المرتفعة والمناسبة لمدة زمنية قصيرة بالمملكة العربية السعودية توصل من خلالها إلى أن العلاقات المتحصل عليها بين كثافة الأمطار المرتفعة والمدة القصيرة بمختلف مناطق المملكة تختلف عن مثيلاتها التي تم الحصول عليها بمناطق أخرى، ولكنها تبقى علاقات مفيدة لتقدير كثافة الأمطار المناسبة لمدد زمنية وفترات رجوع تتراوح بين سنتين و مائة سنة (AI-Khalaf, 1997).

وفي سنة ٢٠١١ اقترح AI-Hassoun معادلة تجريبية لتقدير كثافة الأمطار بمنطقة الرياض، وقد أوضح الباحث بأنه لا توجد فوارق جوهرية بين نتائج تحليل وتقدير كثافة الأمطار بنموذجي التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى -نوع ١- والتوزيع الاحتمالي اللوغاريتمي لبيرسون -نوع ٣-، وقد فسر ذلك بتميز منطقة الرياض بأنها لا تتسم بتباينات كبيرة في التوزيع الجغرافي لكميات الأمطار من جهة وبموقع المنطقة ضمن نطاق مداري شبه جاف (AI-Hassoun, 2011).

ومن جهته اقترح AI-Sobaie معادلتين لتطوير منحنيات كثافة الأمطار بمنطقتي حفر الباطن ونجران لمدد (١٠، ٢٠، ٣٠ دقيقة) و(١، ٢، ٣، ٦، ١٢ ساعة) ولفترات الرجوع (٢، ٥، ١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ سنة)، ولقد أعطت معايرة حسن مطابقة المعادلتين المقترحتين بطريقة مربع كاي Chi-Square نتائج جيدة لتقديرات كثافة الأمطار المناسبة لمختلف المدد الزمنية ولمختلف فترات الرجوع عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ ودرجة الحرية ١، عدا كثافة الأمطار المحسوبة بنموذج بيرسون اللوغاريتمي لفترتي ٢٠ دقيقة و ٢٤ ساعة عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ ودرجة الحرية ١ بمحطة نجران وفترتي ٢ و ١٢ ساعة عند مستوى الدلالة ٠,٠١ ودرجة الحرية ١ بمحطة حفر الباطن (AI-Sobaie, 2012).

وفي عام ٢٠١٤ قدم بوروبه بحثاً تم من خلاله اشتقاق معادلات أسية Power-functions خاصة بنموذج جامبل Gumbel method وبالنموذج اللوغاريتمي لبيرسون - نوع ٣- Log Pearson type 3 method لتصميم المعادلات التجريبية لتقدير كثافة الأمطار المناسبة لأي مدة زمنية (td) ولأي فترة رجوع (Tr) محتملة من واقع بيانات كثافة الأمطار المسجلة لفواصل زمنية تمتد من عشر دقائق إلى اثني عشرة ساعة خلال فترة تمتد إلى أربع وثلاثين سنة بمحطة أبها وإحدى وثلاثين سنة بمحطة بيشة وخمس وعشرين سنة بمحطة المدينة المنورة وأربع وعشرين سنة بمحطة سكاكا.

وفي مجال هندسة وإدارة الموارد المائية، تشكل منحنيات الكثافة والمدة والتردد (IDF) واحدة من أكثر الأدوات شيوعاً لتخطيط وتصميم وتشغيل المشاريع الكبرى للموارد المائية (Kourtis et al., 2020)، ويعتمد تطوير منحنيات (IDF) على تحليل القيمة القصوى للسلاسل الزمنية للأمطار المرصودة (Mimikou et al., 2016) أو باستخدام البيانات التاريخية لهطول الأمطار (Agilan & Umamahesh, 2016)، وعليه فقد ظهرت العديد من الدراسات التي توصي بتحديث بيانات كثافة الأمطار بشكل متواصل للمساهمة في فهم وتخلييل تأثيرات التغير المناخي ووضع المزيد من الإجراءات الوقائية لتفادي المزيد من التأثيرات البيئية والطبيعية على الدورة الهيدرولوجية مستقبلاً (Ombadi et al. 2018; Kourtis & Tsihrintzis, 2021).

وعليه يعتمد الجيل الجديد من النماذج المناخية (CPMS) على نماذج التنبؤ بالأرصاد الجوي قادرة بشكل أفضل على محاكاة قصور هطول الأمطار أو غياب عملية الرصد الأرضي لها بالمحطات المناخية والمطرية حتى لفواصل زمنية أقل من ساعة على مساحات تصل إلى  $4 \text{ كم} \times 4 \text{ كم}$  (Vergara-Temprado et al. 2021).

وتتجلى أهمية هذه الدراسة في جانبين هما:

- كونها تقدم الخطوات المنهجية والعملية لاشتقاق كثافة الأمطار من كميات الأمطار اليومية القصوى كبديل في غياب البيانات الفعلية لكثافة الأمطار بالمحطات المطرية، كما هو الحال بالعديد منها بالمملكة العربية السعودية.

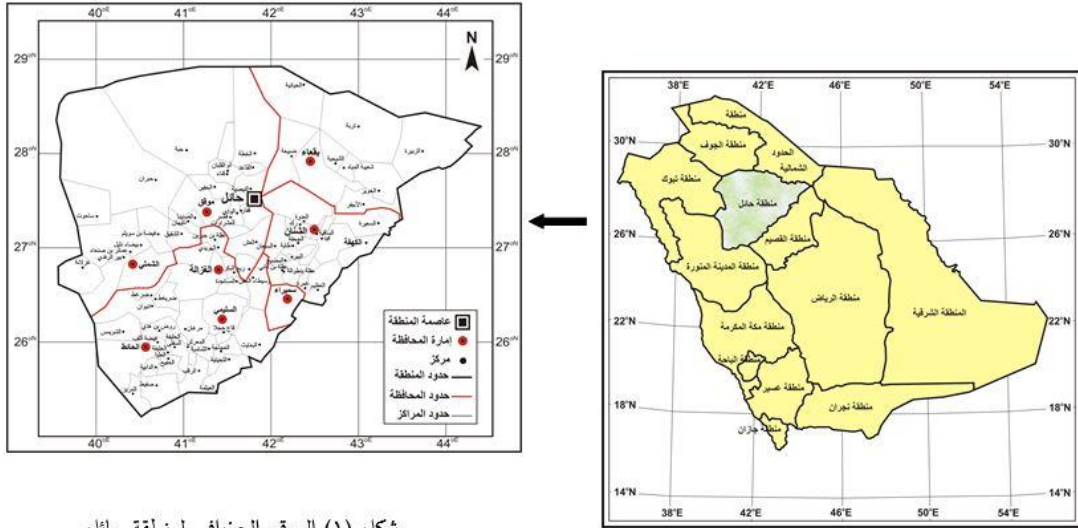
- إمكانية الاعتماد على المعادلات التجريبية المشتقة لتقدير كثافة الأمطار لأي فاصل زمني ولأي فترة رجوع خاصة الطويلة منها وللفواصل الزمنية القصيرة أو تلك التي تتخلل الفواصل الزمنية وفترات الرجوع المدروسة عند غياب بيانات رصد كثافة الأمطار بمحطات الأمطار بمختلف مناطق المملكة.

وبالإضافة إلى ما تم ذكره، تبرز كذلك أهمية هذه الدراسة في كونها تقدم منهجية يمكن تطبيقها على البيانات المطرية المتوفرة بباقي محطات الأمطار أو المحطات المناخية التي تتوفر على قياسات كثافة الأمطار على مستوى المملكة العربية السعودية، ولذا توصي هذه الدراسة بتحديث النتائج المقدمة بانتظام بواسطة ما يتوفر من بيانات مطرية مستجدة بكل محطة لتحسين كفاءة أداء نماذج التقدير المقترحة، وستكون هذه الدراسة إضافة علمية لما سبق ذكره من دراسات كونها تهدف إلى تصميم منحنيات كثافة الأمطار بالمحطات المطرية لمنطقة حائل اعتماداً على الكميات المطرية اليومية القصوى

وعلى النسب المشتقة لكثافة الأمطار المناسبة لمدد زمنية مقاسة خلال فترات سابقة قبل توقف هذه المحطات عن التسجيل.

### ١. منطقة الدراسة:

تقع منطقة حائل شمال المنطقة الوسطى بالمملكة العربية السعودية بين خطي الطول (٣٠° و ٣٩° ، ٤٣° ١٣٠°) شرقاً وبين خطي دوائر العرض (٢٥° ١٠' ، ٢٨° ١٢٠') شمالاً ويحدها من الشرق المنطقة الشرقية ومن الغرب منطقة تبوك والمدينة المنورة ومن الجنوب منطقة القصيم والمدينة المنورة ومن الشمال منطقة الحدود الشمالية والجوف، شكل (١).



شكل (١) الموقع الجغرافي لمنطقة حائل

وتقع محطات الأمطار محل الدراسة بمنطقة حائل جنوب المدينة بين خطي الطول (٢٠° ٤١° ، ٣٠° ٤٢°) شرقاً وبين دائرتي العرض (٣٠° ٢٦° ، ٣٠° ٢٧°) شمالاً، جدول (١) وشكل (٢).

جدول (١) إحداثيات مواقع المحطات المدروسة

الارتفاع (متر)	دائرة العرض (شمالاً)	خط الطول (شرقاً)	الرقم الوطني للمحطة	رقم الحاسب	اسم المحطة
1215	27° 06'	41° 17'	H 208	885	عقلة بن جبرين
1008	27° 27'	41° 40'	U 212	809	النقرة
980	26° 47'	41° 21'	H 215	812	الغزالة
940	26° 35'	42° 28'	H 205	202	العظيم
990	27° 32'	41° 42'	H 001	191	حائل



إلى ١٠٠ سنة بتطبيق نموذج شو Chow (1954) Chow التالي:  $X_T = X' + \sigma X_i$ ، وفيه  $X_T$  كمية الأمطار لفترة الرجوع  $T$  و  $X'$  وهما على التوالي  $\sigma X_i$  المتوسط والانحراف المعياري لكميات الأمطار لفترة المسجلة بالمحطة

جدول (٣) كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة  
١٩٧٠-٢٠١٧ بمحطة النقرة

السنة	الأمطار (مم)	السنة	الأمطار (مم)
١٩٧٦	١٩	١٩٩٧	١١,٨
١٩٧٧	٢٦	١٩٩٨	١٩,٥
١٩٧٨	٢٥,٢	١٩٩٩	٢
١٩٧٩	١٣,٨	٢٠٠٠	٧,٢
١٩٨٠	٦,٤	٢٠٠١	٦
١٩٨١	٤,٦	٢٠٠٢	٢١,٦
١٩٨٢	٤١,٦	٢٠٠٣	١٣,٢
١٩٨٣	٤,٢	٢٠٠٤	١٠,٨
١٩٨٤	٣١,٤	٢٠٠٥	١٨
١٩٨٥	٣٧,٤	٢٠٠٦	١٨
١٩٨٦	١٦	٢٠٠٧	٧,٢
١٩٨٧	٢٣,٦	٢٠٠٨	٤٠,٨
١٩٨٨	١١,٨	٢٠٠٩	١٨
١٩٨٩	٩,٦	٢٠١٠	٤,٨
١٩٩٠	١٨,٦	٢٠١١	٤,٨
١٩٩١	٣٢,١	٢٠١٢	٦
١٩٩٢	٢٨,٢	٢٠١٣	٢٦,٤
١٩٩٣	١٣,٨	٢٠١٤	٨,٤
١٩٩٤	٩,٢	٢٠١٥	١٦,٨
١٩٩٥	٣٢,٤	٢٠١٦	٦
١٩٩٦	١٦,٥	٢٠١٧	١١,٨
المتوسط $X'$			١٦,٧
الانحراف المعياري $\sigma X_i$			١٠,٥

جدول (٢) كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة  
١٩٧٠-٢٠١٧ بمحطة حائل

السنة	الأمطار (مم)	السنة	الأمطار (مم)
١٩٧٦	٦٣	١٩٩٧	٤,٧
١٩٧٧	١٨,٥	١٩٩٨	٦
١٩٧٨	١٤,٥	١٩٩٩	٣,٣
١٩٧٩	٢٥,٦	٢٠٠٠	٦
١٩٨٠	٦,٦	٢٠٠١	٥
١٩٨١	١٥	٢٠٠٢	١٨
١٩٨٢	١١,٥	٢٠٠٣	١١
١٩٨٣	١٢,٦	٢٠٠٤	٩
١٩٨٤	١٧,٨	٢٠٠٥	١٥
١٩٨٥	١٦,٥	٢٠٠٦	١٥
١٩٨٦	٢١,٨	٢٠٠٧	٦
١٩٨٧	٨,٤	٢٠٠٨	٣٤
١٩٨٨	٣,٧	٢٠٠٩	١٥
١٩٨٩	١٣,٨	٢٠١٠	٤
١٩٩٠	٦,٨	٢٠١١	٤
١٩٩١	٢٨,٤	٢٠١٢	٥
١٩٩٢	١٠,٢	٢٠١٣	٢٢
١٩٩٣	١٤,٨	٢٠١٤	٧
١٩٩٤	٧	٢٠١٥	١٤
١٩٩٥	٤,٧	٢٠١٦	٥
١٩٩٦	٣,١	٢٠١٧	٦
المتوسط $X'$			١٢,٨
الانحراف المعياري $\sigma X_i$			١٠,٨



جدول (٦) كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة ١٩٧٠-٢٠١٧ بمحطة الغزالة

السنة	الأمطار (ملم)	السنة	الأمطار (ملم)
١٩٧٦	٣٠	١٩٩٧	١٢
١٩٧٧	٢٤,٦	١٩٩٨	١٥,٤
١٩٧٨	٨,٤	١٩٩٩	٨,٥
١٩٧٩	٢٤,٢	٢٠٠٠	٤٧
١٩٨٠	١٧	٢٠٠١	٢٢
١٩٨١	٣٨,٤	٢٠٠٢	١٥
١٩٨٢	٢٩,٤	٢٠٠٣	٨,٥
١٩٨٣	٣٢,٤	٢٠٠٤	١٢
١٩٨٤	٤٥,٦	٢٠٠٥	١٥
١٩٨٥	٤٢,٢	٢٠٠٦	٦,٥
١٩٨٦	٥٦	٢٠٠٧	٨
١٩٨٧	٢١,٦	٢٠٠٨	١٤
١٩٨٨	٩,٦	٢٠٠٩	١٢,٥
١٩٨٩	٣٥,٤	٢٠١٠	١٣
١٩٩٠	١٧,٤	٢٠١١	٧
١٩٩١	٣٢,٢	٢٠١٢	٧,٢
١٩٩٢	١٠,٨	٢٠١٣	٣١,٧
١٩٩٣	٣٨	٢٠١٤	١٠,١
١٩٩٤	١٨	٢٠١٥	٢٠,٢
١٩٩٥	١٢	٢٠١٦	٧,٢
١٩٩٦	٨	٢٠١٧	١٢
المتوسط $\bar{X}$			٢٠,٤
الانحراف المعياري $\sigma_{Xi}$			١٣

جدول (٥) كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة ١٩٧٠-٢٠١٧ بمحطة العظيم

السنة	الأمطار (ملم)	السنة	الأمطار (ملم)
١٩٧٦	٢٩,٢	١٩٩٧	٢٤,٨
١٩٧٧	١٦	١٩٩٨	١٩,٨
١٩٧٨	١٠	١٩٩٩	٣٤,٧
١٩٧٩	٤٢,٦	٢٠٠٠	٢٥,٧
١٩٨٠	١٦,٤	٢٠٠١	٣٤,٧
١٩٨١	١٧	٢٠٠٢	٢٥
١٩٨٢	١٦,٨	٢٠٠٣	٣
١٩٨٣	٣٣,٤	٢٠٠٤	٢٠
١٩٨٤	١٣,٤	٢٠٠٥	٤٠
١٩٨٥	٢٠	٢٠٠٦	١٦
١٩٨٦	٣٤,٢	٢٠٠٧	٠
١٩٨٧	٢١,٤	٢٠٠٨	٢٢
١٩٨٨	١١	٢٠٠٩	٤٦
١٩٨٩	١٠,٤	٢٠١٠	٨
١٩٩٠	٤,٢	٢٠١١	٧
١٩٩١	١٧,٣	٢٠١٢	٤,٤
١٩٩٢	٤٨	٢٠١٣	١٢,٢
١٩٩٣	٢٠	٢٠١٤	٣,٩
١٩٩٤	٢٤,٨	٢٠١٥	٧,٨
١٩٩٥	٣٧,١	٢٠١٦	٤,٤
١٩٩٦	١١,٩	٢٠١٧	٢٤,٨
المتوسط $\bar{X}$			٢٠
الانحراف المعياري $\sigma_{Xi}$			١٢,٤

جدول (٤) كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة ١٩٧٠-٢٠١٧ بمحطة عقلة بن جبرين

السنة	الأمطار (ملم)	السنة	الأمطار (ملم)
١٩٧٦	٣٣,٢	١٩٩٧	٥,٢
١٩٧٧	٥	١٩٩٨	٢٣
١٩٧٨	١٥,٨	١٩٩٩	١٩
١٩٧٩	١٦,٦	٢٠٠٠	١٧,٤
١٩٨٠	٢٢	٢٠٠١	٢١,٨
١٩٨١	٣٦,٤	٢٠٠٢	٣٠
١٩٨٢	١٥,٨	٢٠٠٣	٨,٤
١٩٨٣	٣٥	٢٠٠٤	٢٥
١٩٨٤	٦١,٦	٢٠٠٥	٢٥
١٩٨٥	٤٨,٨	٢٠٠٦	٣٠
١٩٨٦	٥٢,٤	٢٠٠٧	١٠
١٩٨٧	١٢,٨	٢٠٠٨	٣٠
١٩٨٨	٤١	٢٠٠٩	٣١
١٩٨٩	٤٩,٨	٢٠١٠	٢٨
١٩٩٠	٢٥,٢	٢٠١١	٤
١٩٩١	٢١,٩	٢٠١٢	٧,١
١٩٩٢	٧,٨	٢٠١٣	٣١,٤
١٩٩٣	١٢,٢	٢٠١٤	١٠
١٩٩٤	١٨,٢	٢٠١٥	٢٠
١٩٩٥	١٤,٨	٢٠١٦	٧,١
١٩٩٦	١١,٤	٢٠١٧	٥,٢
المتوسط $\bar{X}$			٢٢,٥
الانحراف المعياري $\sigma_{Xi}$			١٤

ومن بيانات (الجدول ٢ إلى ٦) نجد أن هناك تباين بين متوسطات الأمطار اليومية القصوى بمحطتي حائل والنقرة من جهة (١٢,٨ ملم ، ١٦,٧ ملم) ومحطات عقلة بن جبرين والعظيم والغزالة من جهة أخرى (٢٢,٥ ملم ، ٢٠ ملم ، ٢٠,٤ ملم)، ويتطلب فحص التباين بين متوسطات الأمطار فحص حسن مطابقة الأمطار اليومية القصوى للتوزيع الطبيعي التي تمثلها بيانات (الجدول ٢ إلى ٦)، وقد تم فحص توزيع كمياتها بتطبيق اختبار كولموغوروف/سميرنوف (Kolmogorov\Smirnov) المناسب

لعدد القراءات (N42) والمتاح بأدوات التحليل Analyze في برنامج الحزمة الإحصائية SPSS20، ويلخص الجدول رقم (٧) نتائج هذا الفحص.

جدول (٧) فحص مطابقة بيانات الأمطار اليومية القصوى للتوزيع الطبيعي

المحطة	قيمة الاختبار (Statistic)	درجة الحرية (df)	مستوى الدلالة (.Sig)
حائل	٠,١٨٣	٤٢	٠,٠٠١
النقرة	٠,١٠٩	٤٢	٠,٢
عقلة بن جبرين	٠,٠٩٣	٤٢	٠,٢
العظيم	٠,٠٩٥	٤٢	٠,٢
الغزالة	٠,١٧٣	٤٢	٠,٠٠٣

ويتضح من بيانات هذا الجدول أن قيمة مستوى الدلالة الإحصائية هي أصغر من القيمة الحرجة لها (٠,٠٥) بمحطتي حائل والغزالة وأكبر منها بمحطات النقرة وعقلة بن جبرين والعظيم عند درجة الحرية (٤٢)، وعليه فإن توزيع كميات الأمطار اليومية القصوى يختلف عن التوزيع الطبيعي بمحطتي حائل والغزالة، بينما يتبع توزيع كميات الأمطار اليومية القصوى التوزيع الطبيعي بمحطات النقرة وعقلة بن جبرين والعظيم، وللتأكد من هذه التباينات، تم فحص التباين بتطبيق اختبار ليفن Levene المتاح أيضاً بأدوات Analyze في برنامج الحزمة الإحصائية SPSS20، ويلخص جدول (٨) نتائج هذا الفحص، ولقد بلغت قيمة هذا الاختبار (١,٩٢٦) عند مستوى الدلالة (٠,١٠٧) ودرجة الحرية ٤ بالنسبة لعدد المحطات و(٢٠٥) بالنسبة لعدد القراءات، وهي أكبر من القيمة الحرجة (٠,٠٥)، وتدل نتيجة هذا الاختبار على تجانس تباين توزيع كميات الأمطار اليومية القصوى بإجمالي المحطات المدروسة، وعليه فقد فحص الأهمية الإحصائية لتباين كميات الأمطار اليومية القصوى على مستوى إجمالي المحطات المدروسة بتطبيق اختبار التباين الأحادي ANOVA المناسب لأكثر من ٣ عينات، وقد بلغت قيمة اختبار ("F" 4.030) وقيمة مستوى الدلالة لها (٠,٠٠٤) عند درجة الحرية ٤ وهي أقل من القيمة الحرجة (٠,٠٥) وعليه فإن قيمة مستوى الدلالة لهذا الاختبار تدل على وجود اختلاف حقيقي بين كميات الأمطار اليومية القصوى ومتوسطاتها على مستوى منطقة حائل.

٢/٣. فحص حسن المطابقة للتوزيع الاحتمالي لكميات الأمطار اليومية القصوى:

تم تطبيق مربع كاي Chi-square لفحص حسن المطابقة لأربعة توزيعات احتمالية لكميات الأمطار اليومية القصوى وهي التوزيع الطبيعي Normal Distribution والتوزيع اللوغاريتمي الطبيعي Log Normal Distribution وتوزيع القيم القصوى Extreme Value type 1 والتوزيع الأسّي Exponential Distribution.

ويتطلب تطبيق فحص حسن المطابقة بواسطة مربع كاي ترتيب كميات الأمطار ترتيباً تصاعدياً لتحديد فئات الأمطار المتجانسة التي يعتمد عليها تطبيق هذا الفحص، بحيث يجب تقسيم كميات الأمطار إلى فئات يتعدى عددها (n) 3 فئات لتتناسب مع درجة الحرية التي تساوي ما يلي:

$$\alpha = [n - k - 1]$$

وفيها يمثل k عدد المعالم الاحصائية المستخدمة وهي ٢ (المتوسط والانحراف المعياري).

٢/٤. اشتقاق نموذج تقدير كثافة الأمطار:

يعتمد اشتقاق نموذج تقدير كثافة الأمطار على حساب ٣ معالم احصائية هي (a) و (b) و (c) لمعادلة التقدير التالية:

$$I(\text{mm}/\text{min}) = \frac{a * T^b}{t^c}$$

ويتم حساب قيمة المعاملين (a) و (b) بواسطة علاقة القوة Power للارتباط بين فترة الرجوع (Tr) كمتغير مستقل (X) وثابت الانحدار الخطي (d) المحسوب بواسطة علاقة القوة للارتباط بين المدة الزمنية (Td) كمتغير مستقل وكثافة الأمطار (IT) المناسبة لفترة الرجوع.

٢/٥. تقييم كفاءة نموذج تقدير كثافة الأمطار:

تم تقييم كفاءة نموذج تقدير كثافة الأمطار بتطبيق ٤ نماذج إحصائية يلخصها جدول (٨).

جدول (٨) نماذج تقييم كفاءة نموذج التوزيع الاحتمالي لكثافة الأمطار بمنطقة حائل

النموذج	معادلة التقدير	مستوى الدلالة	المصدر
NSE	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - X')^2}$	$0.80 \leq NSE < 1$	ممتاز
		$0.65 \leq NSE < 0.80$	جيد
		$0.50 \leq NSE < 0.65$	متوسط
		$NSE < 0.50$	ضعيف
PBias	$\%PBias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{X_i - Y_i}{X_i} \times 100$	$PBias < \pm 10$	ممتاز
		$\pm 10 \leq PBias < \pm 15$	جيد
		$\pm 15 \leq PBias < \pm 25$	متوسط
		$PBias \geq \pm 25$	ضعيف
R <sup>2</sup>	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - X')^2}$	$0.80 \leq R^2 < 1$	ممتاز
		$0.65 \leq R^2 < 0.80$	جيد
		$0.50 \leq R^2 < 0.65$	متوسط
		$R^2 < 0.50$	ضعيف
		$0.20 \leq r < 0.39$	متوسط
		$r < 0.20$	ضعيف
RSR	$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X')^2}}$	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	ممتاز
		$0.50 < RSR \leq 0.60$	متوسط
		$0.60 < RSR \leq 0.70$	متوسط
		$RSR > 0.70$	ضعيف

NSE: Nash-Sutcliffe model, PBias: Percent Bias model, R<sup>2</sup>: Coefficient of determination, RSR: Ratio of root mean square error (RMSE) to the standard deviation of the measured data.

### ٣. النتائج والمناقشة:

تتلخص نتائج هذه الدراسة فيما يلي:

#### ٣/١. تحليل الخصائص الإحصائية لتوزيع الأمطار اليومية القصوى:

لقد تم تحديد الخصائص الإحصائية لتوزيع كميات الأمطار اليومية القصوى بواسطة الخطأ المعياري للمتوسط وللانحراف المعياري، (الجدول ١٠ والأشكال من ٨ إلى ١٢)، وكذلك فحص مدى مطابقة توزيع كميات الأمطار للتوزيع الطبيعي Test of Normality بتطبيق اختبار Kolmogorov وفحص تجانس التباين Homogeneity test of variance بواسطة اختبار Levene وفحص التباين الأحادي ANOVA، وعليه فقد أعطت هذه الفحوص الإحصائية النتائج التالية:

- الخطأ المعياري للمتوسط وللانحراف المعياري:

يمثل جدول (٩) الخطأ المعياري للمتوسط وللانحراف المعياري لبيانات الأمطار اليومية القصوى المرصودة خلال الفترة (١٩٧٦-٢٠١٦) بمختلف المحطات المدروسة، ويتضح من بيانات هذا الجدول أن متوسط الأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة يتراوح بين (١٢,٨ ملم/يوم) بمحطة حائل

و(١٢,٨ ملم/يوم) بمحطة عقلة بن جبرين بانحراف معياري يتراوح بين (١٠,٥ ملم/يوم) بمحطة النقرة و(١٤ ملم/يوم) بمحطة عقلة بن جبرين، كما أن الخطأ المعياري لمتوسط كميات الأمطار اليومية القصوى يتراوح بين (٢ ملم/يوم) بمحطة حائل و(٣,٥ ملم/يوم) بمحطة عقلة بن جبرين، أي ما يعادل نسبة قدرها (١٥,٦%) من المتوسط، في حين يتراوح الخطأ المعياري للانحراف المعياري بين (١,٤ ملم/يوم) بمحطة حائل و(٢,٥ ملم/يوم) بمحطة عقلة بن جبرين، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي (١٠,٩%) و(١١,١%) من المتوسط.

جدول (٩) الخطأ المعياري للمتوسط وللانحراف المعياري للأمطار اليومية القصوى خلال الفترة (١٩٧٦-٢٠١٦)

SE S <sub>d</sub>	SE X'	S <sub>d</sub>	X'	المحطة
١,٨	٢,٦	١٠,٥	١٦,٧	النقرة
٢,٥	٣,٥	١٤	٢٢,٥	عقلة بن جبرين
٢,٢	٣,١	١٣	٢٠,٤	الغزالة
١,٤	٢	١٠,٨	١٢,٨	حائل
٢,٢	٣,١	١٢,٤	٢٠	العظيم

X': المتوسط ، S<sub>d</sub>: الانحراف المعياري.

بالإضافة إلى ذلك، يتباين متوسط الأمطار اليومية القصوى بين المحطات المدروسة، بحيث يقل هذا المتوسط بمحطة حائل عن نظيره بجميع المحطات بنسبة تتراوح بين (٢٣%) و(٤٣%)، في حين يفوق هذا المتوسط بمحطة عقلة بن جبرين نظيره بجميع المحطات بنسبة تتراوح بين (١٠%) و(٧٣%)، ويقل متوسط الأمطار اليومية القصوى لمحطة النقرة عن نظيره بجميع المحطات عدا محطة حائل بنسبة تتراوح بين (١٧%) و(٢٦%)، بينما يفوق هذا المتوسط بمحطة الغزالة نظيره بجميع المحطات عدا محطة عقلة بن جبرين بنسبة تتراوح بين (٢%) و(٥٩%)، كما يفوق هذا المتوسط بمحطة العظيم نظيره بمحطتي النقرة وحائل بنسبة تتراوح بين (٢٠%) و(٥٦%) ويقل عن نظيره بمحطتي عقلة بن جبرين والغزالة بنسبة تتراوح بين (٢%) و(١١%).

٣/٢. فحص حسن المطابقة للتوزيع الاحتمالي لكميات الأمطار اليومية القصوى:

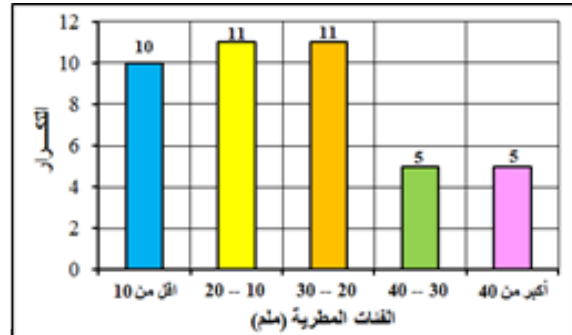
يتطلب فحص إجراء حسن المطابقة لمختلف التوزيعات الاحتمالية لكميات الأمطار اليومية القصوى تصنيف البيانات المطرية في فئات متجانسة لا يقل عددها عن (٤)، ويتطلب تصنيف البيانات المطرية في فئات ترتيب كميات الأمطار ترتيباً تصاعدياً، وعليه فقد تم تصنيف كميات الأمطار القصوى

لمحطتي عقلة بن جبرين والغزالة في ٥ فئات عشرية وفي ٦ فئات خماسية بمحطات حائل والنقرة والعظيم، ويمثل جدول (١٠) التوزيع التكراري للفئات المطرية بكل محطة (الأشكال ٣، ٤، ٥، ٦، ٧).

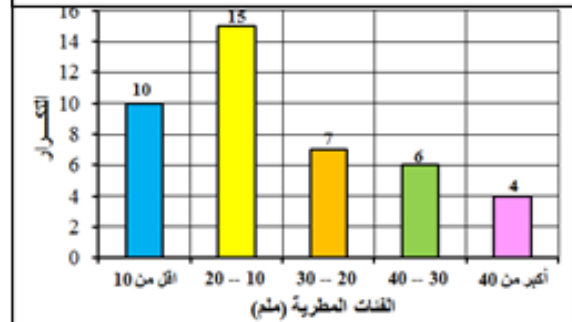
جدول (١٠) التوزيع التكراري لكميات الأمطار اليومية القصوى للفترة (١٩٧٦-٢٠١٧)

الفئة	التكرار	حائل	النقرة	العظيم	الفئة	التكرار	عقلة بن جبرين	الغزالة
٥ - ٠	القيمة	١٠	٥	٦	١٠ - ٠	القيمة	١٠	١٠
	%	٢٣,٨	١١,٩	١٤,٣		%	٢٣,٨	٢٣,٨
١٠ - ٥	القيمة	١٠	٩	٤	٢٠ - ١٠	القيمة	١١	١٥
	%	٢٣,٨	٢١,٤	٩,٥		%	٢٦,٢	٣٥,٧
١٥ - ١٠	القيمة	١٢	٧	٥	٣٠ - ٢٠	القيمة	١١	٧
	%	٢٨,٦	١٦,٧	١١,٩		%	٢٦,٢	١٦,٧
٢٠ - ١٥	القيمة	٤	٩	١٠	٤٠ - ٣٠	القيمة	٥	٦
	%	٩,٥	٢١,٤	٢٣,٨		%	١١,٩	١٤,٣
٢٥ - ٢٠	القيمة	٦	٢	٦	أكبر من ٤٠	القيمة	٥	٤
	%	١٤,٣	٤,٨	١٤,٣		%	١١,٩	٩,٥
أكبر من ٢٥	التكرار	٠	١٠	١١	المجموع	٤٢	٤٢	٤٢
	%	٠,٠	٢٣,٨	٢٦,٢				
		٤٢	٤٢	٤٢	المجموع			

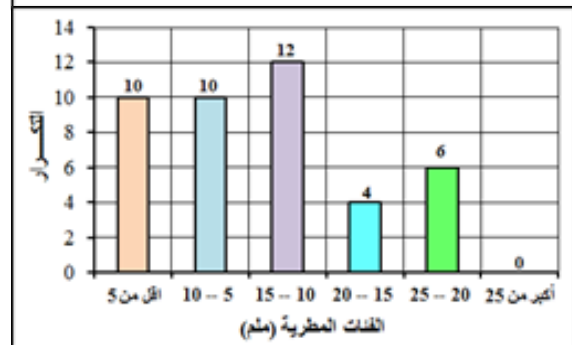
شكل (٣) التوزيع التكراري لفئات الأمطار اليومية القصوى خلال الفترة (١٩٧٦-٢٠١٧) بمحطة عقلة بن جبرين



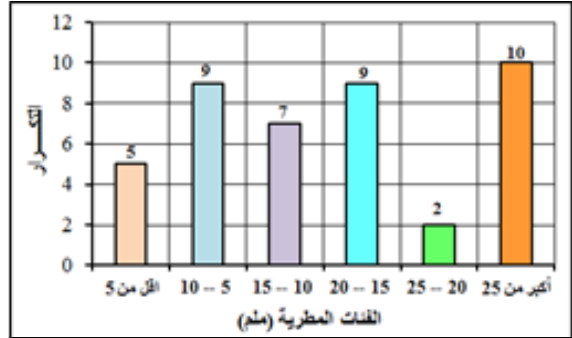
شكل (٤) التوزيع التكراري لفئات الأمطار اليومية القصوى خلال الفترة (١٩٧٦-٢٠١٧) بمحطة الغزالة



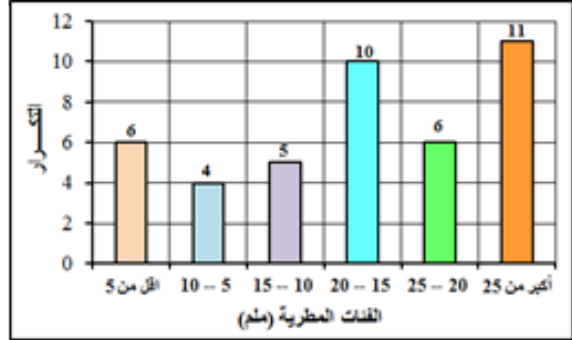
شكل (٥) التوزيع التكراري لفئات الأمطار اليومية القصوى خلال الفترة (١٩٧٦-٢٠١٧) بمحطة حائل



شكل (٦) التوزيع التكراري لفئات الأمطار اليومية القصوى خلال الفترة (١٩٧٦-٢٠١٧) بمحطة النقرة



شكل (٧) التوزيع التكراري لفئات الأمطار اليومية القصوى خلال الفترة ١٩٧٦-٢٠١٧ بمحطة العظيم



ويتضح من بيانات جدول (١٠) أن هناك تجانس تام بين تكرار كميات أمطار الفئة التي تقل عن (١٥ ملم/يوم) بمحطة حائل وبين كميات الأمطار الفئة (٥-١٠ ملم/يوم) وأمطار الفئة (١٥-٢٠ ملم/يوم) بمحطة النقرة وبين كميات الأمطار الفئة التي تقل عن (٥ ملم/يوم) والفئة (٢٠-٢٥ ملم/يوم) بمحطة العظيم وبين كميات الأمطار الفئة (١٠-٢٠ ملم/يوم) والفئة (٢٠-٣٠ ملم/يوم) بمحطة عقلة بين جبرين، في حين يتسم التوزيع التكراري لأمطار محطة الغزالة بتجانس نسبي بين كميات أمطار الفئة (١٠-١٥ ملم/يوم) والفئة (١٥-٢٠ ملم/يوم).

ويعتمد فحص حسن المطابقة Goodness of Fit لاختبار مربع كاي Chi Square على التوزيع التكراري لهذه الفئات لاختيار أنسب التوزيعات الاحتمالية المناسبة لتوزيع الأمطار اليومية القصوى بكل محطة مطرية، ومن خلال بيانات جدول (٨) نجد أن درجات الحرية المناسبة للتوزيع التكراري للأمطار اليومية القصوى هو (٣) بالنسبة لمحطتي العظيم والنقرة و(٢) بالنسبة لمحطات حائل وعقلة بن جبرين والغزالة، وعليه تبلغ القيمة الحرجة لمربع كاي عند مستوى الدلالة (٠,٠٥) ودرجتي المذكورتين (٧,٨١٥) و(٥,٩٩١) على التوالي، ولقد أعطى تطبيق فحص مربع كاي النتائج التي يمثلها جدول (١١).

جدول (١١) نتائج فحص حسن المطابقة لتوزيع كميات الأمطار اليومية القصوى بواسطة مربع كاي

المحطة	درجة الحرية	قيمة مربع كاي الحرجة	قيمة مربع كاي لفحص نوع التوزيع الاحتمالي			
			Expon.	EVI	Log ND	ND
النفرة	٣	٧,٨١٥	١١,٩٦٥	٤,٥٩٤	٧,٤٠٥	٦,٣٣٦
عقلة بن جبرين	٢	٥,٩٩١	٧,١٨٩	٢,٦٥٤	٣,٢٧١	٢,٥٤
الغزالة	٢	٥,٩٩١	٧,٩٨٥	١,٨٨٤	٣,٣٣٧	٣,٨٨٨
حائل	٢	٥,٩٩١	٨,٤٢٦	٧,٣٦٨	٤,٠٠٣	٧,٣١٠
العظيم	٣	٧,٨١٥	١٣,٢٦٧	٣,٨٣٨	١٠,٦٢٧	٢,٩٣٢

ND: التوزيع الاحتمالي الطبيعي، Log ND: التوزيع الاحتمالي اللوغاريتمي الطبيعي، EVI: التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع Expon.، (١): التوزيع الاحتمالي الأسي.

ويتبين من نتائج فحص مربع كاي أن التوزيع الاحتمالي المناسب لتوزيع الأمطار اليومية القصوى عند مستوى الدلالة (٠,٠٥) ودرجتي الحرية (٣) بمحطتي النفرة والعظيم من جهة ودرجة الحرية (٢) بمحطات حائل وعقلة بن جبرين والغزالة هو التوزيع الاحتمالي الأسي، وعليه فقد تم تطبيق هذا النموذج في تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى لفترات الرجوع الممتدة من (٥ - ١٠٠ سنة) بالمحطات المذكورة، جدول (١٢).

٣/٣. تقدير كميات الأمطار اليومية المناسبة لفترات الرجوع:

تم تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع من ٥ إلى ١٠٠ سنة بتطبيق نموذج التوزيع الاحتمالي الأسي. وعليه فقد أعطى تطبيق نموذج Chow لتقدير كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لهذا التوزيع لفترات الرجوع (٥، ١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ سنة) التقديرات التالية بالمحطات المدروسة، جدول (١٢).

جدول (١٢) تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى بواسطة نموذج التوزيع الاحتمالي الأسي

المحطة	المتوسط (مم)	الانحراف المعياري (مم)	معامل التكرار لفترات الرجوع $K_T$				
			$P_T100 y$	$P_T50 y$	$P_T25 y$	$P_T10 y$	$P_T5 y$
النفرة	١٦,٧	١٠,٥	٣,٢١٣١	٢,٦٦٠٢	٢,١٠٧٣	١,٣٧٦٣	٠,٨٢٣٤
عقلة بن جبرين	٢٢,٥	١٤	٦٧,٥	٥٩,٧	٥٢	٤١,٨	٣٤
الغزالة	٢٠,٤	١٣	٦٢,٢	٥٥	٤٧,٨	٣٨,٣	٣١,١
حائل	١٢,٨	١٠,٨	٤٧,٥	٤١,٥	٣٥,٦	٢٧,٧	٢١,٧
العظيم	٢٠	١٢,٤	٥٩,٨	٥٣	٤٦,١	٣٧,١	٣٠,٢



٣/٤. حساب كثافة الأمطار:

أظهرت نتائج التحليل الاحتمالي الذي أجراه Weiss بآلاف المحطات المطرية أن القيم الفعلية للحد الأقصى من كميات الأمطار تجاوزت التقديرات المحسوبة بنسبة ١٣٪ (Weiss, 1964)، ولذلك فقد تم تعديل كميات الأمطار اليومية القصوى في كل محطة باستخدام هذه النسبة قبل حساب كثافة الأمطار المناسبة لها باستخدام نسبة كثافة الأمطار للمدة الزمنية (Td)، ويُلخص جدول (١٣) كميات الأمطار المحسوبة.

جدول (١٣) تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي الأسّي Exponential

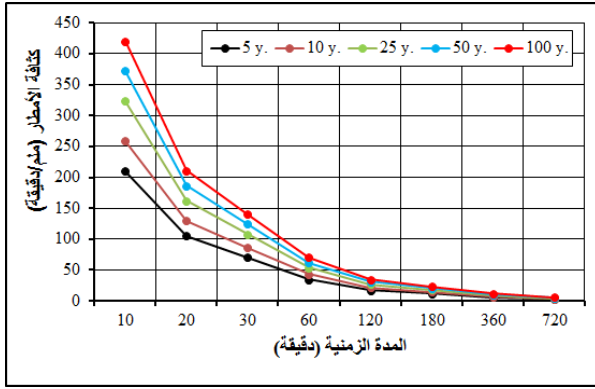
معامل التكرار $K_T$					Sd	Aver	الأمطار (ملم)	المحطة
$P_{T100 y}$	$P_{T50 y}$	$P_{T25 y}$	$P_{T10 y}$	$P_{T5 y}$				
٣,٢١٣١	٢,٦٦٠٢	٢,١٠٧٣	١,٣٧٦٣	٠,٨٢٣٤	١٠,٥	١٦,٧	P' (mm)	النفرة
٥٠,٤	٤٤,٦	٣٨,٨	٣١,٢	٢٥,٣	١١,٩	١٨,٩	P' المعدل	
٥٧	٥٠,٤	٤٣,٩	٣٥,٢	٢٨,٦	١٤	٢٢,٥	P' (mm)	عقلة بن جبرين
٦٧,٥	٥٩,٧	٥٢	٤١,٨	٣٤	١٥,٨	٢٥,٤	P' المعدل	
٧٦,٣	٦٧,٥	٥٨,٨	٤٧,٢	٣٨,٥	١٣	٢٠,٤	P' (mm)	الغزالة
٦٢,٢	٥٥	٤٧,٨	٣٨,٣	٣١,١	١٤,٧	٢٣,١	P' المعدل	
٧٠,٣	٦٢,١	٥٤	٤٣,٣	٣٥,١	١٠,٨	١٢,٨	P' (mm)	حائل
٤٧,٥	٤١,٥	٣٥,٦	٢٧,٧	٢١,٧	١٢,٢	١٤,٥	P' المعدل	
٥٣,٧	٤٦,٩	٤٠,٢	٣١,٣	٢٤,٥	١٢,٤	٢٠	P' (mm)	العظيم

ولقد تم تقدير كثافة الأمطار المناسبة لمختلف فترات الرجوع ولمختلف الفواصل الزمنية من العلاقة النسبية بين كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع من جهة والمدة الزمنية من جهة ثانية، وتمثيلها بجدول (١٤) والأشكال (٨ إلى ١٢).

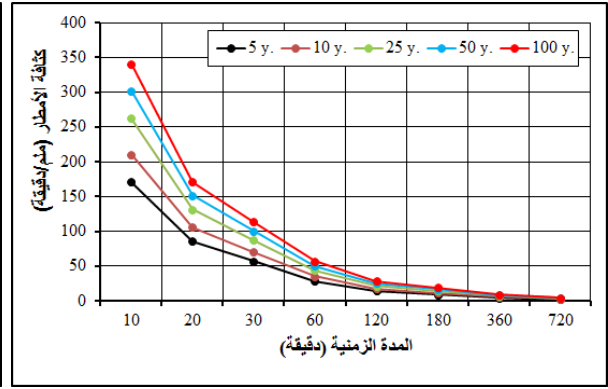
جدول (١٤) اشتقاق كثافة الأمطار من كميات الأمطار اليومية القصوى المعدلة

كميات الأمطار (ملم)						المحطة
١٠٠	٥٠	٢٥	١٠	٥	فترات الرجوع (سنة)	
٥٧	٥٠,٤	٤٣,٩	٣٥,٢	٢٨,٦	النسبة (Td)	النفرة
٣٤١,٣	٣٠٢	٢٦٢,٧	٢١٠,٨	١٧١,٥	٠,١٦٧	10 min.
١٧١,٢	١٥١,٥	١٣١,٨	١٠٥,٧	٨٦	٠,٣٣٣	20 min.
١١٤	١٠٠,٩	٨٧,٧	٧٠,٤	٥٧,٣	٠,٥٠	30 min.
٥٧	٥٠,٤	٤٣,٩	٣٥,٢	٢٨,٦	١	60 min.
٢٨,٥	٢٥,٢	٢١,٩	١٧,٦	١٤,٣	٢	120 min.
١٩	١٦,٨	١٤,٦	١١,٧	٩,٥	٣	180 min.
٩,٥	٨,٤	٧,٣	٥,٩	٤,٨	٦	360 min.
٤,٧	٤,٢	٣,٧	٢,٩	٢,٤	١٢	720 min.

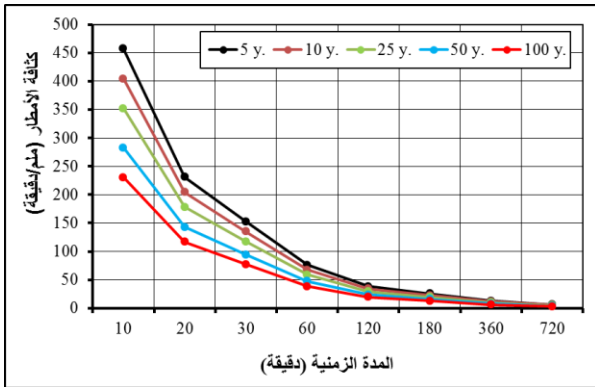
تقدير كثافة الأمطار المشتقة من كميات الأمطار اليومية القصوى لفترات الرجوع						
كميات الأمطار (ملم)						المحطة
١٠٠	٥٠	٢٥	١٠	٥	فترات الرجوع (سنة)	
٧٦,٣	٦٧,٥	٥٨,٨	٤٧,٢	٣٨,٥	النسبة (T <sub>d</sub> )	عقلة بن جبرين
٤٥٦,٦	٤٠٤,٢	٣٥١,٩	٢٨٢,٦	٢٣٠,٢	٠,١٦٧	10 min.
٢٢٩	٢٠٢,٧	١٧٦,٥	١٤١,٧	١١٥,٥	٠,٣٣٣	20 min.
١٥٢,٥	١٣٥	١١٧,٥	٩٤,٤	٧٦,٩	٠,٥	30 min.
٧٦,٣	٦٧,٥	٥٨,٨	٤٧,٢	٣٨,٥	١	60 min.
٣٨,١	٣٣,٨	٢٩,٤	٢٣,٦	١٩,٢	٢	120 min.
٢٥,٤	٢٢,٥	١٩,٦	١٥,٧	١٢,٨	٣	180 min.
١٢,٧	١١,٣	٩,٨	٧,٩	٦,٤	٦	360 min.
٦,٤	٥,٦	٤,٩	٣,٩	٣,٢	١٢	720 min.
كميات الأمطار (ملم)						المحطة
١٠٠	٥٠	٢٥	١٠	٥	فترات الرجوع (سنة)	
٧٠,٣	٦٢,١	٥٤	٤٣,٣	٣٥,١	النسبة (T <sub>d</sub> )	الغزالة
٤٢٠,٧	٣٧٢	٣٢٣,٤	٢٥٩,١	٢١٠,٥	٠,١٦٧	10 min.
٢١١	١٨٦,٦	١٦٢,٢	١٢٩,٩	١٠٥,٥	٠,٣٣٣	20 min.
١٤٠,٥	١٢٤,٣	١٠٨	٨٦,٥	٧٠,٣	٠,٥	30 min.
٧٠,٣	٦٢,١	٥٤	٤٣,٣	٣٥,١	١	60 min.
٣٥,١	٣١,١	٢٧	٢١,٦	١٧,٦	٢	120 min.
٢٣,٤	٢٠,٧	١٨	١٤,٤	١١,٧	٣	180 min.
١١,٧	١٠,٤	٩	٧,٢	٥,٩	٦	360 min.
٥,٩	٥,٢	٤,٥	٣,٦	٢,٩	١٢	720 min.
كميات الأمطار (ملم)						المحطة
١٠٠	٥٠	٢٥	١٠	٥	فترات الرجوع (سنة)	
٥٣,٧	٤٦,٩	٤٠,٢	٣١,٣	٢٤,٥	النسبة (T <sub>d</sub> )	حائل
٣٢١	٢٨١	٢٤١	١٨٧	١٤٧	٠,١٦٧	10 min.
١٦١	١٤١	١٢١	٩٣,٩	٧٣,٦	٠,٣٣٣	20 min.
١٠٧	٩٣,٩	٨٠,٤	٦٢,٥	٤٩	٠,٥	30 min.
٥٣,٧	٤٦,٩	٤٠,٢	٣١,٣	٢٤,٥	١	60 min.
٢٦,٨	٢٣,٥	٢٠,١	١٥,٦	١٢,٣	٢	120 min.
١٧,٩	١٥,٦	١٣,٤	١٠,٤	٨,٢	٣	180 min.
٨,٩	٧,٨	٦,٧	٥,٢	٤,١	٦	360 min.
٤,٥	٣,٩	٣,٣	٢,٦	٢	١٢	720 min.
كميات الأمطار (ملم)						المحطة
١٠٠	٥٠	٢٥	١٠	٥	فترات الرجوع (سنة)	
٦٧,٦	٥٩,٩	٥٢,١	٤١,٩	٣٤,١	النسبة (T <sub>d</sub> )	العظيم
٤٠٥	٣٥٩	٣١٢	٢٥١	٢٠٤	٠,١٦٧	10 min.
٢٠٣	١٨٠	١٥٧	١٢٦	١٠٣	٠,٣٣٣	20 min.
١٣٥	١٢٠	١٠٤	٨٣,٨	٦٨,٣	٠,٥	30 min.
٦٧,٦	٥٩,٩	٥٢,١	٤١,٩	٣٤,١	١	60 min.
٣٣,٨	٢٩,٩	٢٦,١	٢٠,٩	١٧,١	٢	120 min.
٢٢,٥	٢٠	١٧,٤	١٤	١١,٤	٣	180 min.
١١,٣	١٠	٨,٧	٧	٥,٧	٦	360 min.
٥,٦	٥	٤,٣	٣,٥	٢,٨	١٢	720 min.



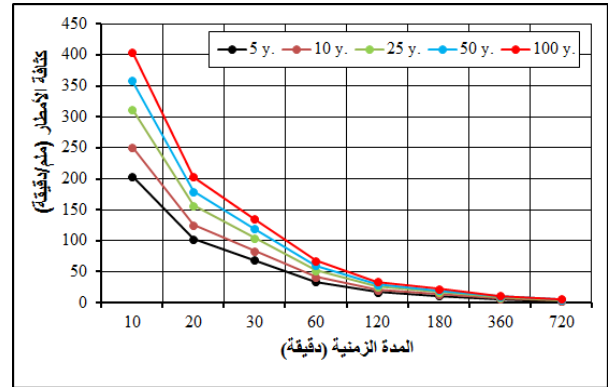
شكل (٩) منحى كثافة الأمطار المشتقة من كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة ١٩٧٦-٢٠١٧ بمحطة الغزالة



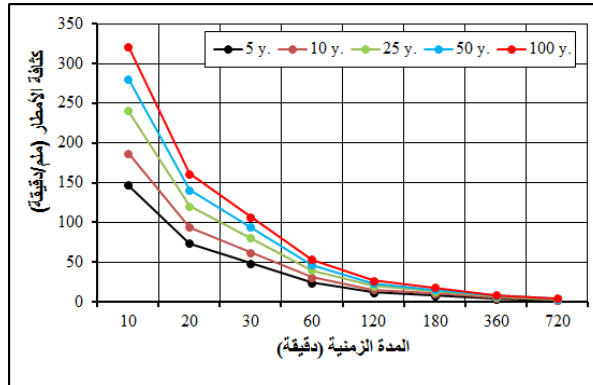
شكل (٨) منحى كثافة الأمطار المشتقة من كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة ١٩٧٦-٢٠١٧ بمحطة النقرة



شكل (١١) منحى كثافة الأمطار المشتقة من كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة ١٩٧٦-٢٠١٧ بمحطة عقلة بن جبرين



شكل (١٠) منحى كثافة الأمطار المشتقة من كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة ١٩٧٦-٢٠١٧ بمحطة العظيمة



شكل (١٢) منحى كثافة الأمطار المشتقة من كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة ١٩٧٦-٢٠١٧ بمحطة

٣/٥. اشتقاق نموذج تقدير كثافة الأمطار:

يعتمد اشتقاق نموذج التقدير لكثافة الأمطار على حساب ٣ معاملات احصائية هي A, B, and C ويتم حساب المعاملين (A) و (C) بواسطة علاقة الارتباط Power بين معكوس المدة (Td) وكثافة الأمطار (Imm/min) لكل فترة رجوع (Tr)، في حين يتم حساب قيمة المعلم (b) بواسطة علاقة

الارتباط Power بين ثابت الانحدار Regression لعلاقة الارتباط بين بين معكوس المدة (Td) وكثافة الأمطار (Imm/min) لكل فترة رجوع (Tr) من جهة وفترة الرجوع من جهة ثانية. ويلخص الجدول (١٥) قيم المعلمات الثلاثة ونموذج التقدير الأسّي المناسب لها بالمحطات المدروسة.

بعد تحديد نموذج التقدير لكل محطة، تم تقدير كثافة الأمطار المناسبة للفواصل الزمنية ١٠، ٢٠، ٣٠، ٦٠، ١٢٠، ١٨٠، ٣٦٠، ٧٢٠ دقيقة ولفترات الرجوع ٥، ١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ سنة بكل محطة (جدول ١٦ والأشكال ١٣ من إلى ١٧).

جدول (١٥) معلمات نماذج تقدير كثافة الأمطار بالمحطات المدروسة

المحطة	فترة الرجوع (سنة)	D	C	Model
النفقة	٥	١٧٠٩,٦	٩٩٩ .٠	$I_{T(mm)} = \frac{1216.3 T^{0.2308}}{t^{0.999}}$ a = 1216.3; b = 0.2308 c = 0.999
	١٠	٢١١٩,٣	١,٠٠١	
	٢٥	٢٦١٦	٠,٩٩٨	
	٥٠	٣٠٢٥,٥	١	
	١٠٠	٣٤٣٥,٣	١,٠٠١	
عقلة بن جبرين	٥	٢٣٠٨,٣	١	$I_{T(mm)} = \frac{1662.4 T^{0.1707}}{t^{0.946}}$ a = 1662.4; b = 0.1707 c = 0.946
	١٠	٢٣٠٢,٦	٠,٩٣٤	
	٢٥	٢٨٥١,٦	٠,٩٣٢	
	٥٠	٣٢٨٤,٣	٠,٩٣٣	
	١٠٠	٣٦٨٩,٩	٠,٩٣١	
الغزالة	٥	٢١١٢,٤	١,٠٠١	$I_{T(mm)} = \frac{1622.6 T^{0.1968}}{t^{0.999}}$ a = 1622.6; b = 0.1968 c = 0.999
	١٠	٢٥٩٧	١	
	٢٥	٣٢٣٧,٧	١	
	٥٠	٣٧١١,٦	٠,٩٩٩	
	١٠٠	٣٧١١,٦	٠,٩٩٩	
حائل	٥	١٤٨٢,٦	١,٠٠٢	$I_{T(mm)} = \frac{1016.3 T^{0.2578}}{t^{1.001}}$ a = 1016.3; b = 0.2578 c = 1.001
	١٠	١٨٧٧,٧	١	
	٢٥	٢٤٢٧	١,٠٠٢	
	٥٠	٢٨٢٠	١,٠٠١	
	١٠٠	٣٢١٣,٥	١	

تابع جدول (١٥) معاملات نماذج تقدير كثافة الأمطار بالمحطات المدروسة

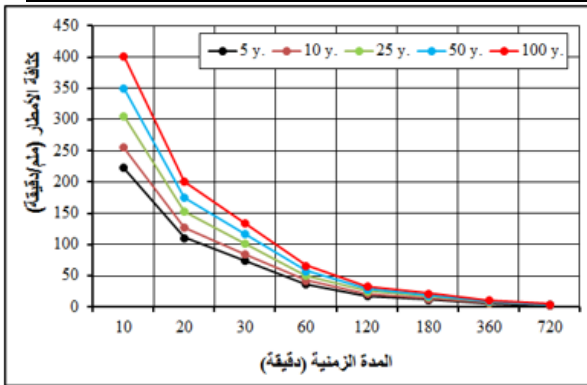
Model	C	d	فترة الرجوع (سنة)	الخطيم
$a = 1469.2; b = 0.2262$ $c = 1.001$ $I_T(\text{mm}) = \frac{1469.2 T^{0.2262}}{t^{1.001}}$	١,٠٠٢	٢٠٦٠,٩	٥	
	٠,٩٩٩	٢٥٠٥,١	١٠	
	١,٠٠١	٣١٣٨,٦	٢٥	
	٠,٩٩٩	٣٥٨١,٧	٥٠	
	١,٠٠١	٤٠٦٣,٢	١٠٠	

جدول (١٦) كثافة الأمطار المحسوبة بالنموذج الاحتمالي الأسّي المشتق من كميات الأمطار اليومية القصوى

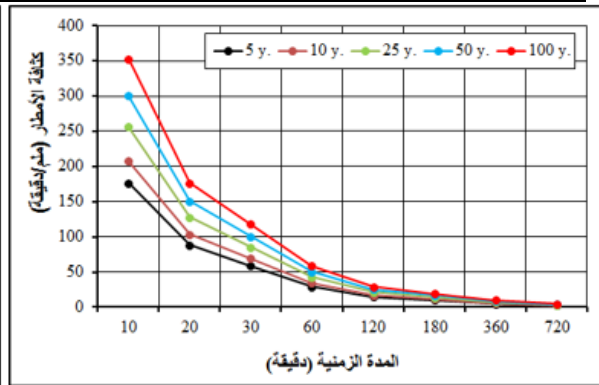
فترة الرجوع (سنة) Tr					المدة الزمنية (دقيقة) T <sub>d</sub>	المحطة
١٠٠	٥٠	٢٥	١٠	٥		الغزاة
٣٥٢,٩	٣٠٠,٧	٢٥٦,٣	٢٠٧,٤	١٧٦,٨	١٠	
١٧٦,٦	١٥٠,٥	١٢٨,٢	١٠٣,٨	٨٨,٤	٢٠	
١١٧,٨	١٠٠,٤	٨٥,٥	٦٩,٢	٥٩	٣٠	
٥٨,٩	٥٠,٢	٤٢,٨	٣٤,٦	٢٩,٥	٦٠	
٢٩,٥	٢٥,١	٢١,٤	١٧,٣	١٤,٨	١٢٠	
١٩,٧	١٦,٨	١٤,٣	١١,٦	٩,٨	١٨٠	
٩,٨	٨,٤	٧,١	٥,٨	٤,٩	٣٦٠	
٤,٩	٤,٢	٣,٦	٢,٩	٢,٤	٧٢٠	
٤١٣,٢	٣٦٧,١	٣٢٦,١	٢٧٨,٩	٢٤٧,٨	١٠	
٢١٤,٥	١٩٠,٥	١٦٩,٣	١٤٤,٨	١٢٨,٦	٢٠	
١٤٦,١	١٢٩,٨	١١٥,٣	٩٨,٦	٨٧,٦	٣٠	
٧٥,٩	٦٧,٤	٥٩,٩	٥١,٢	٤٥,٥	٦٠	
٣٩,٤	٣٥	٣١,١	٢٦,٦	٢٣,٦	١٢٠	
٢٦,٨	٢٣,٨	٢١,٢	١٨,١	١٦,١	١٨٠	
١٣,٩	١٢,٤	١١	٩,٤	٨,٤	٣٦٠	
٧,٢	٦,٤	٥,٧	٤,٩	٤,٣	٧٢٠	
٥٤٤,٨	٤٩٥,٣	٤٥٠,٣	٣٩٧,١	٣٦١	١٠	الغزاة
٤٠٢,٥	٣٥١,٢	٣٠٦,٤	٢٥٥,٩	٢٢٣,٢	٢٠	
٢٠١,٤	١٧٥,٧	١٥٣,٣	١٢٨	١١١,٧	٣٠	
١٣٤,٣	١١٧,٢	١٠٢,٣	٨٥,٤	٧٤,٥	٦٠	
٦٧,٢	٥٨,٦	٥١,٢	٤٢,٧	٣٧,٣	١٢٠	
٣٣,٦	٢٩,٣	٢٥,٦	٢١,٤	١٨,٦	١٨٠	
٢٢,٤	١٩,٦	١٧,١	١٤,٣	١٢,٤	٣٦٠	
١١,٢	٩,٨	٨,٥	٧,١	٦,٢	٧٢٠	

تابع جدول (١٦) كثافة الأمطار المحسوبة بالنموذج الاحتمالي الأسّي المشتق من كميات الأمطار اليومية القصوى

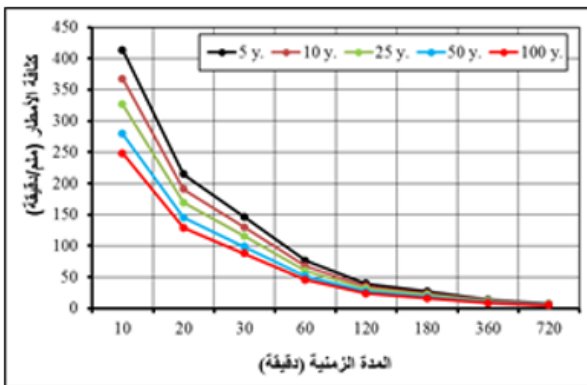
٣٣٢,٤	٢٧٨	٢٣٢,٥	١٨٣,٦	١٥٣,٥	١٠	حائل
١٦٦,١	١٣٨,٩	١١٦,٢	٩١,٧	٧٦,٧	٢٠	
١١٠,٧	٩٢,٦	٧٧,٤	٦١,١	٥١,١	٣٠	
٥٥,٣	٤٦,٢	٣٨,٧	٣٠,٥	٢٥,٥	٦٠	
٢٧,٦	٢٣,١	١٩,٣	١٥,٣	١٢,٨	١٢٠	
١٨,٤	١٥,٤	١٢,٩	١٠,٢	٨,٥	١٨٠	
٩,٢	٧,٧	٦,٤	٥,١	٤,٢	٣٦٠	
٤,٦	٣,٨	٣,٢	٢,٥	٢,١	٧٢٠	
٤١٥,٤	٣٥٥,١	٣٠٣,٦	٢٤٦,٨	٢١١	١٠	
٢٠٧,٦	١٧٧,٤	١٥١,٧	١٢٣,٣	١٠٥,٤	٢٠	
١٣٨,٣	١١٨,٢	١٠١,١	٨٢,٢	٧٠,٢	٣٠	
٦٩,١	٥٩,١	٥٠,٥	٤١,١	٣٥,١	٦٠	
٣٤,٥	٢٩,٥	٢٥,٢	٢٠,٥	١٧,٥	١٢٠	
٢٣	١٩,٧	١٦,٨	١٣,٧	١١,٧	١٨٠	
١١,٥	٩,٨	٨,٤	٦,٨	٥,٨	٣٦٠	
٥,٧	٤,٩	٤,٢	٣,٤	٢,٩	٧٢٠	



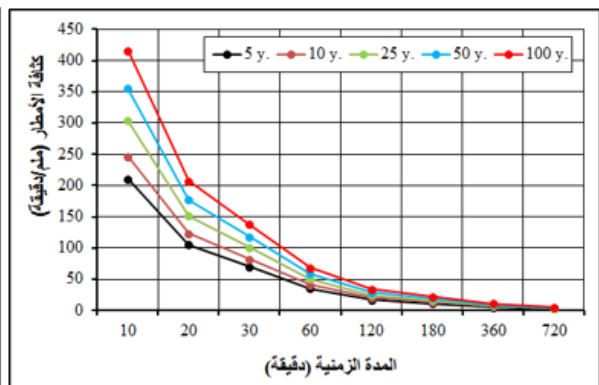
شكل (١٤) منحنى كثافة الأمطار المحسوب بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسّي بمحطة الغزالة



شكل (١٣) منحنى كثافة الأمطار المحسوب بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسّي بمحطة النقرة حائل

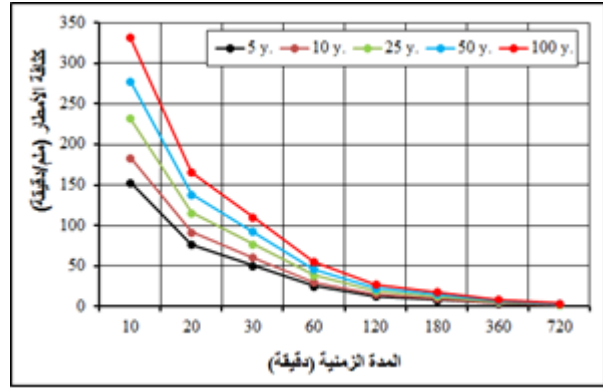


شكل (١٦) منحنى كثافة الأمطار المحسوب بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسّي بمحطة عقلة بن جبرين



شكل (١٥) منحنى كثافة الأمطار المحسوب بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسّي بمحطة العظيم

شكل (١٧) منحنى كثافة الأمطار المحسوب بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسي بمحطة حائل



ولفحص كفاءة نموذج التوزيع الاحتمالي الأسي في تقدير كثافة الأمطار بالمحطات المدروسة، تم مقارنة كثافة الأمطار الفعلية بكثافة الأمطار المحسوبة أو المتوقعة لفترات الرجوع من ٥ إلى ١٠٠ سنة بتطبيق طريقة الخطأ النسبي الذي يعتمد على المعادلة التالية (Abramowitz, 1972):

$$RE = \frac{O_i - E_i}{O_i} \times 100$$

وفيها يمثل RE الخطأ النسبي و  $O_i$  القيمة الفعلية و  $E_i$  القيمة المحسوبة أو المتوقعة.

ولقد أعطى تطبيق الخطأ النسبي النتائج التالية (الجدول ١٧ والأشكال من ١٨ إلى ٢٢).

أظهرت نتائج تقدير نموذج التوزيع الاحتمالي الأسي لكثافة الأمطار وجود تباين نسبي بين المحطات، بحيث بلغ مجموع تكرار قيم كثافة الأمطار الفعلية التي تفوق نظيرتها المحسوبة ١٢٠ تكرار، أي ما يعادل نسبة قدرها ٦٠٪ من إجمالي التقديرات على مستوى جميع المحطات، في حين بلغت قيم كثافة الأمطار المحسوبة التي تفوق نظيرتها الفعلية ٨٠ تكرار، أي ما يعادل نسبة قدرها ٤٠٪ من إجمالي التقديرات لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة.

أما على مستوى كل محطة فنجد أن كثافة الأمطار الفعلية تفوق نظيرتها المحسوبة بمجموع ١٦ تكرار بمحطة عقلة بن جبرين و ٣٢ تكرار بمحطة الغزالة و ٢٤ تكرار بمحطات النقرة وحائل والعظيم، أي ما يعادل على التوالي ٤٠٪ و ٨٠٪ و ٦٠٪ من إجمالي التقديرات. ويتراوح الخطأ النسبي بين كثافة الأمطار الفعلية التي تفوق نظيرتها المحسوبة بين ٢,٢٪ و ٤٢,٥٪ بمحطة عقلة بن جبرين وبين ٠,٢٪ و ٢,٧٪ بمحطة النقرة وبين ٠,٩٪ و ٥,٩٪ بمحطة الغزالة وبين ١,١٪ و ٤٪ بمحطة حائل وبين ٠,٩٪ و ٣,٤٪ بمحطة العظيم، ومن جهة أخرى تفوق كثافة الأمطار المحسوبة نظيرتها الفعلية بمجموع ٢٤ تكرار بمحطة عقلة بن جبرين و ٨ تكرار بمحطة الغزالة و ١٦ تكرار بمحطات النقرة وحائل والعظيم، أي

ما يعادل على التوالي ٦٠٪ و ٢٠٪ و ٤٠٪ من إجمالي التقديرات. ويتراوح الخطأ النسبي بين كثافة الأمطار المحسوبة التي تفوق نظيرتها الفعلية بين ١,٨٪ و ٣٥,٥٪ بمحطة عقلة بن جبرين وبين ٢,٨٪ و ٣,٦٪ بمحطة النقرة وبين ٥,٥٪ و ٧,٤٪ بمحطة الغزالة وبين ٢,١٪ و ٦,٢٪ بمحطة حائل وبين ١,٨٪ و ٤,٢٪ بمحطة العظيم، وتجدر الإشارة إلى تفرد محطة عقلة بن جبرين بأعلى قيم الخطأ النسبي بين كثافة الأمطار المحسوبة تفوق نظيرتها الفعلية المناسبة للفواصل الزمنية التي تفوق ١٢٠ دقيقة.

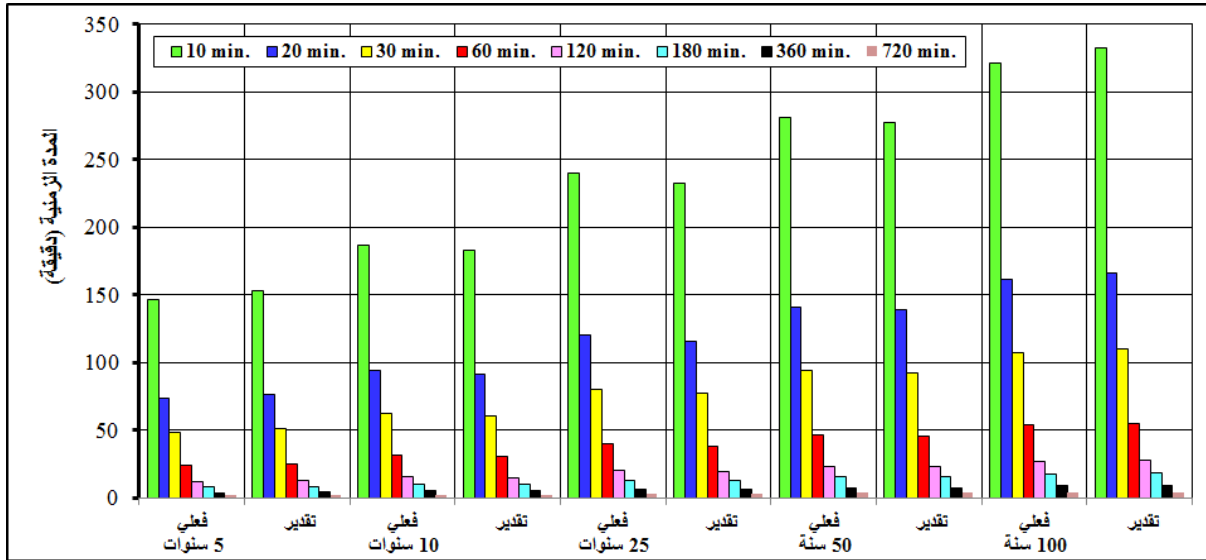
جدول (١٧) الخطأ النسبي بين كثافة الأمطار المحسوبة والفعلية

فترة الرجوع (سنة) Tr					المدة الزمنية (دقيقة) T <sub>d</sub>	المحطة
١٠٠	٥٠	٢٥	١٠	٥	١٠	النقرة
٣,٤-	٠,٤	٢,٥	١,٦	٣,١-	٢٠	
٣,٢-	٠,٧	٢,٧	١,٨	٢,٨-	٣٠	
٣,٣-	٠,٥	٢,٥	١,٧	٣-	٦٠	
٣,٤-	٠,٤	٢,٥	١,٦	٣-	١٢٠	
٣,٥-	٠,٤	٢,٤	١,٥	٣,١-	١٨٠	
٣,٥-	٠,٣	٢,٤	١,٥	٣,٢-	٣٦٠	
٣,٦-	٠,٣	٢,٣	١,٤	٣,٢-	٧٢٠	
٩,٤	٩	٧,٢	١,١	٧,٨-	١٠	
٦,٣	٥,٩	٤	٢,٣-	١١,٥-	٢٠	
٤,١	٣,٧	١,٧	٤,٧-	١٤,١-	٣٠	
٠,٤	٠	٢-	٨,٧-	١٨,٥-	٦٠	
٣,٣-	٣,٨-	٥,٩-	١٢,٩-	٢٣-	١٢٠	
٥,٦-	٦,١-	٨,٢-	١٥,٤-	٢٥,٧-	١٨٠	
٩,٧-	١٠,١-	١٢,٤-	١٩,٨-	٣٠,٥-	٣٦٠	
١٣,٨-	١٤,٣-	١٦,٦-	٢٤,٣-	٣٥,٥-	٧٢٠	الغزالة
٤,٣	٥,٦	٥,٢	١,٢	٦,١-	١٠	
٤,٥	٥,٨	٥,٥	١,٤	٥,٩-	٢٠	
٤,٤	٥,٧	٥,٣	١,٣	٦-	٣٠	
٤,٤	٥,٦	٥,٣	١,٣	٦,٢-	٦٠	
٤,٢	٥,٧	٥,٢	١	٦-	١٢٠	
٤,٢	٥,٥	٥,٢	١	٦,٣-	١٨٠	
٤,١	٥,٩	٥,١	٠,٩	٥,٥-	٣٦٠	
٤,٨	٥,٨	٥	٠,٩	٧,٤-	٧٢٠	

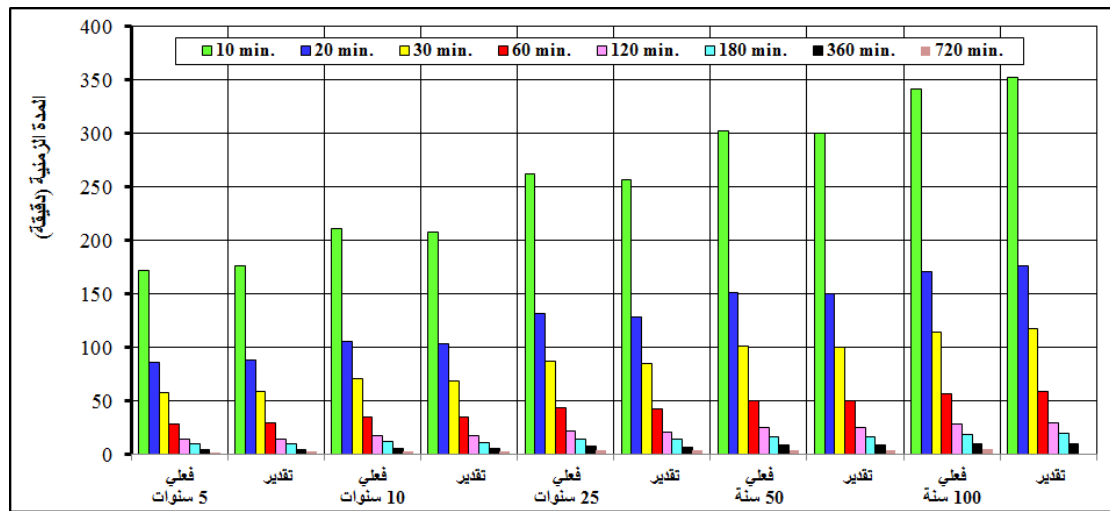


تابع جدول (١٧) الخطأ النسبي بين كثافة الأمطار المحسوبة والفعلية

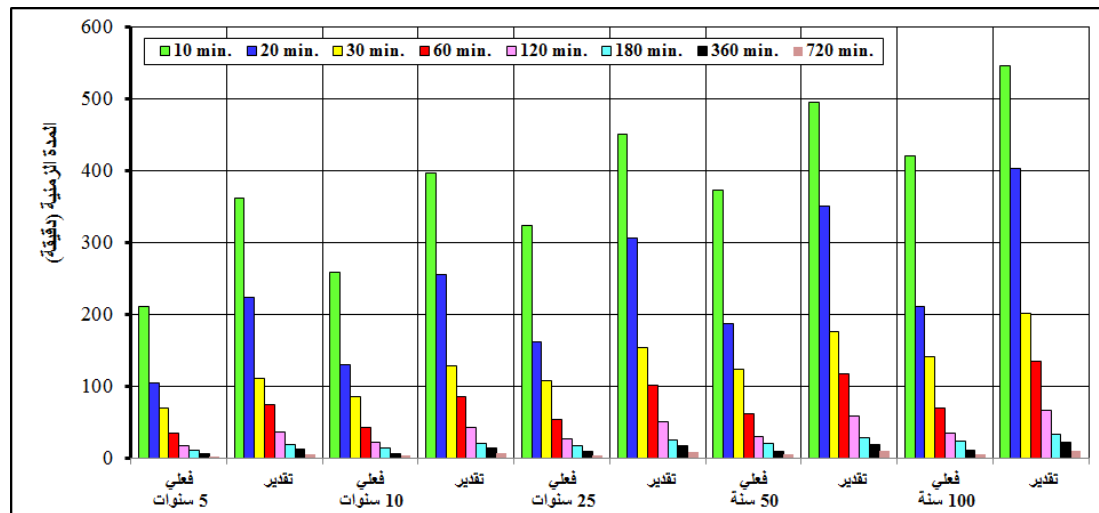
٣,٤-	١,١	٣,٤	١,٩	٤,٦-	١٠	حائل
٣-	١,٤	٣,٨	٢,٣	٤,٢-	٢٠	
٣-	١,٤	٣,٧	٢,٢	٤,٣-	٣٠	
٣-	١,٤	٣,٨	٢,٤	٤,٣-	٦٠	
٣,١-	١,٧	٣,٨	٢,٢	٣,٨-	١٢٠	
٢,٩-	١,٣	٣,٩	٢,٢	٣,٧-	١٨٠	
٣,٤-	١,٤	٤	٢,٣	٣,٧-	٣٦٠	
٢,١-	١,٤	٢,٦	٢,٤	٦,٢-	٧٢٠	
٢,٦-	٠,٩	٢,٧	١,٦	٣,٢-	١٠	
٢,٢-	١,٣	٣,١	٢	٢,٨-	٢٠	
٢,٣-	١,٢	٣,١	٢	٢,٨-	٣٠	
٢,٢-	١,٤	٣,١	٢	٢,٩-	٦٠	
٢,٢-	١,٣	٣,٣	١,٩	٢,٥-	١٢٠	
٢,٣-	١,٦	٣,٣	٢,٤	٢,٥-	١٨٠	
١,٨-	١,٧	٣,٤	٢,٤	٢,٤-	٣٦٠	
٢,٦-	١,٨	٢,٤	٢,٥	٤,٢-	٧٢٠	



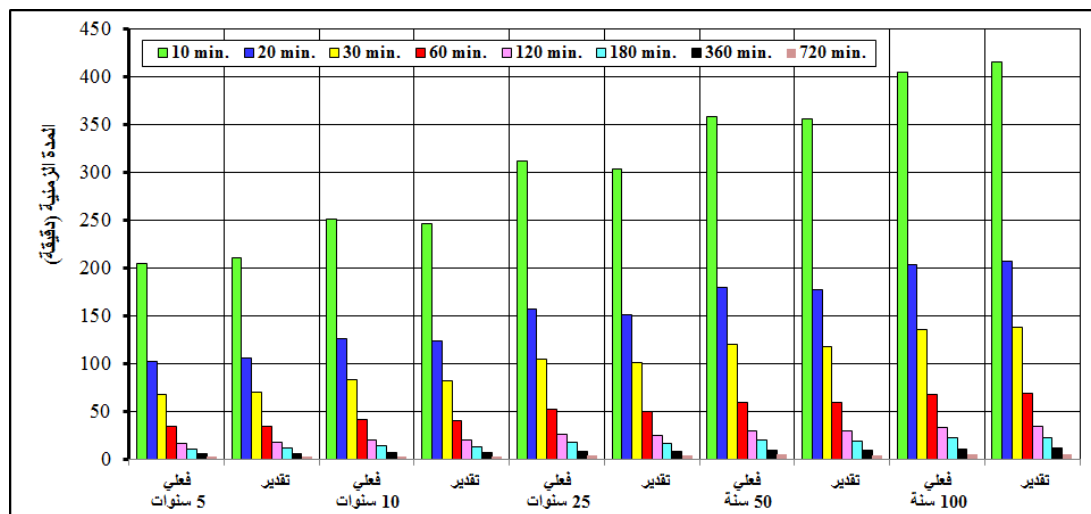
شكل (٢١) كثافة الأمطار الفعلية والمحسوبة بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسّي Exponential بمحطة حائل



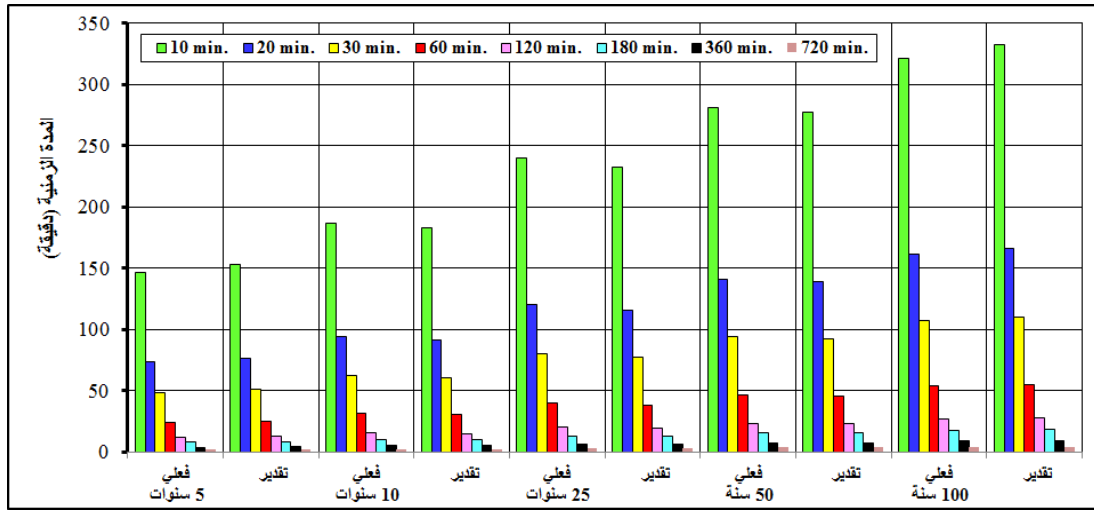
شكل (١٨) كثافة الأمطار الفعلية والمحسوبة بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسي Exponential بمحطة النقرة



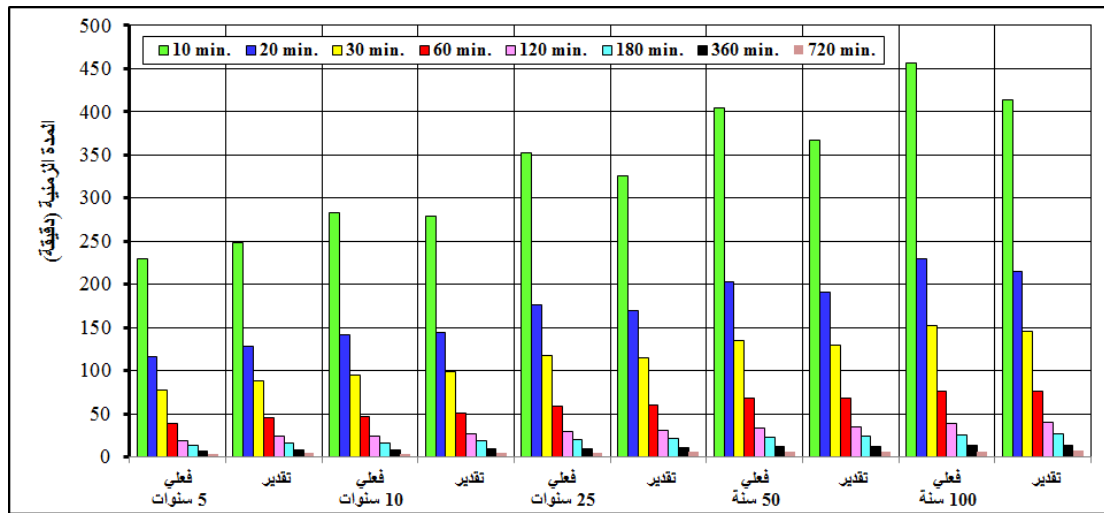
شكل (١٩) كثافة الأمطار الفعلية والمحسوبة بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسي Exponential بمحطة الغزالة



شكل (٢٠) كثافة الأمطار الفعلية والمحسوبة بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسي Exponential بمحطة العظيم



شكل (٢١) كثافة الأمطار الفعلية والمحسوبة بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسّي Exponential بمحطة حائل



شكل (٢٢) كثافة الأمطار الفعلية والمحسوبة بنموذج التوزيع الاحتمالي الأسّي Exponential بمحطة عقلة بن جبرين

ولتحليل الأهمية الإحصائية لتباين كثافة الأمطار المشتقة من كميات الأمطار اليومية القصوى، تم فحص حُسن مطابقة توزيعها للتوزيع الطبيعي بتطبيق اختبار شابيرو-ويلك (Shapiro-Wilk) المناسب لحجم عينة لا تتعدى ٣٠ قراءة ( $N < 30$ ) والمتاح بأدوات التحليل Analyze لبرنامج الحزمة الإحصائية SPSS، وقد أظهرت نتائج هذا الاختبار أن قيمة مستوى الدلالة الإحصائية المناسبة لكثافة الأمطار لجميع الفواصل الزمنية (من ١٠ إلى ٧٢٠ دقيقة) تتراوح بين ٠,٦٥٥ بمحطة النقرة و٠,٩٤٧ بمحطة الغزالة عند درجة الحرية ٥، وعليه فإن جميع قيم مستوى الدلالة لهذا الاختبار هي أكبر من القيمة الحرجة ٠,٠٥، وهي تدل على عدم اختلاف توزيع بيانات كثافة الأمطار عن التوزيع الطبيعي

بجميع المحطات المدروسة، وتدل هذه النتيجة على أن هناك تجانس واضح في شكل توزيع كثافة الأمطار بمنطقة حائل وعلى خلوها من قيم متطرفة خلال الفترة المدروسة (١٩٧٦-٢٠١٧).

وللتأكد من كفاءة تقدير نموذج التوزيع الاحتمالي الأسي لكثافة الأمطار خلال مختلف فترات الرجوع، تم تطبيق ٤ نماذج معايرة هي  $(NSE, R^2, RSR, PBias)$  K ويلخص جدول (١٨) نتائج هذه المعايرة.

جدول (١٨) نتائج معايير كفاءة تقدير نموذج التوزيع الاحتمالي الأسي

فترة الرجوع					نموذج المعايرة
١٠٠ سنة	٥٠ سنة	٢٥ سنة	١٠ سنوات	٥ سنوات	
٠,٩	٠,٩	٠,٨٨	٠,٨٣	٠,٧٥	NSE
٠,٩٣	٠,٩٢	٠,٩٢	٠,٩	٠,٢٤	$R^2$
٠,٣٢	٠,٣٢	٠,٣٤	٠,٤١	٠,٥١	RSR
١١,٩ -	١٠ -	١٠ -	١٤,٥ -	٢٣ -	PBias (%)

ويتضح من بيانات الجدول ١٨ أن هناك تجانس كبير في نتائج المعايرة الإحصائية، بحيث كانت قيمة الفحص الاحصائي تتراوح بين ٠,٩٠ (جيد جداً) خلال مختلف فترات الرجوع بالنسبة لفحص النموذج (NSE) خلال جميع فترات الرجوع وبالنسبة لفحص نموذجي  $(R^2)$  و  $(RSR)$ ، كما تراوحت قيمة كفاءة التقدير بين (٢٣ - مقبول، و ١٠ - جيد جداً) بالنسبة لفحص النموذج (PBias).

### الخاتمة

أظهرت نتائج تحليل الأمطار اليومية القصوى ما يلي:

- يتراوح المتوسط للفترة المدروسة بين ١٢,٨ ملم/يوم بمحطة حائل و ١٢,٨ ملم/يوم بمحطة عقلة بن جبرين بانحراف معياري يتراوح بين ١٠,٥ ملم/يوم بمحطة النقرة و ١٤ ملم/يوم بمحطة عقلة بن جبرين، كما أن الخطأ المعياري لمتوسط كميات الأمطار اليومية القصوى يتراوح بين ٢ ملم/يوم بمحطة حائل و ٣,٥ ملم/يوم بمحطة عقلة بن جبرين، أي ما يعادل نسبة قدرها ١٥,٦٪ من المتوسط، في حين يتراوح الخطأ المعياري للانحراف المعياري بين ١,٤ ملم/يوم بمحطة حائل و ٢,٥ ملم/يوم بمحطة عقلة بن جبرين، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي ١٠,٩٪ و ١١,١٪ من المتوسط.
- إن توزيع كميات الأمطار اليومية القصوى يختلف عن التوزيع الطبيعي بمحطتي: حائل والغزالة، بينما يتبع توزيع كميات الأمطار اليومية القصوى التوزيع الطبيعي بمحطات: النقرة وعقلة بن جبرين والعظيم.
- دلت نتيجة اختبار Levene على تجانس تباين توزيع كميّار الأمطار اليومية القصوى بإجمالي المحطات المدروسة.
- دلت قيمة مستوى الدلالة لاختبار التباين الأحادي ANOVA على وجود اختلاف حقيقي بين كميات الأمطار اليومية القصوى ومتوسطاتها على مستوى منطقة حائل.
- تبين من نتائج فحص مربع كاي أن التوزيع الاحتمالي المناسب لتوزيع الأمطار اليومية القصوى عند مستوى الدلالة ٠,٠٥ ودرجتي الحرية ٣ بمحطتي النقرة والعظيم من جهة ودرجة الحرية ٢ بمحطات حائل وعقلة بن جبرين والغزالة هو التوزيع الاحتمالي الأسّي، وعليه فقد تمت صياغة معادلات التقدير لهذا النموذج على شكل معادلات أسية للعلاقة بين كثافة الأمطار ( $I_T$ ) من جهة والمدة الزمنية ( $t_d$ ) وفترة الرجوع ( $T_r$ ) من جهة ثانية بواسطة قيم المعالم الإحصائية  $a, b, c$ .
- دلت نتائج معايرة كفاءة تقدير نموذج التوزيع الاحتمالي الأسّي ( $NSE, R^2, RSR, PBias$ ) على جودة أدائه حيث كانت قيمة الفحص الإحصائي تتراوح بين ٠,٩٠ (جيد جداً) خلال مختلف فترات الرجوع بالنسبة لفحص النموذج ( $NSE$ ) خلال جميع فترات الرجوع وبالنسبة لفحص نموذجي ( $R^2$ ) و( $RSR$ )، كما تراوحت قيمة كفاءة التقدير بين (٢٣ - مقبول، و ١٠ - جيد جداً) بالنسبة لفحص النموذج ( $PBias$ ).

## المراجع

- محمد فضيل بوروية (٢٠١٤): اشتقاق المعادلات التجريبية لتصميم منحنيات كثافة الأمطار بمناطق المملكة العربية السعودية، سلسلة بحوث جغرافية، العدد ١٠٣، الجمعية الجغرافية السعودية.
- Al-Dokhayel, A.A. (1986): Regional rainfall frequency analysis for Qasim, B.S. Project, Civil Engineering Department, King Saud University, Riaydh (K.S.A), April, 1986.
- Agilan, V. & Umamahesh, N. V. (2016): Is the covariate based non-stationary rainfall IDF curve capable of encompassing future rainfall changes?, J. Hydrol. 541: 1441-1455. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.052>.
- Al-Hassoun, S.A., (2011): Developing an empirical formulae to estimate rainfall intensity in Riyadh region, Journal of King Saud University- Engineering Sciences, Vol 23, 81-88.
- Al-Khalaf, H.A. (1997): Predicting short-duration, high-intensity rainfall in Saudi Arabia, M.S. Thesis, Faculty of the College of Graduate Studies; King Fahad University of Petroleum and Minerals, Dahrhan (K.S.A), 1997.
- Al-Salem, H.S., (1985): Rainfall Frequency Distribution in Shaqra and Al-Zilfi Areas, B.S. Project, Civil Engineering Department, King Saud University, Riaydh, KSA, Jan. 1985.
- Al-Shaikh, A.A. (1985): Rainfall frequency studies for Saudi Arabia, M.S. Thesis, Civil Engineering Department, King Saud University, Riaydh (K.S.A).
- Al-Sebaie, I.H., (2012): Developing rainfall intensity-duration-frequency relationship for two regions in Saudi Arabia, Journal of King Saud University- Engineering Sciences, Vol. 24, 131-140.
- Al-Sobayel, A.E. (1983): Rainfall Frequency Distribution for Riyadh, B.S. Project, Civil Engineering Department, King Saud University, Riyadh (K.S.A), Jan. 1983.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988). Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York.
- Dupont, B.S., Allen, D.L., (2000): Revision of the Rainfall Intensity Duration Curves for the Commonwealth of Kentucky, Kentucky Transportation Center, College of Engineering, University of Kentucky, USA.
- Dupont, B.S., Allen, D.L. (2006): Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam, Kentucky Transportation Center, College of Engineer, University of Kentucky in corporation with US Department of Transportation.

- Kourtis, I. M.; Tsihrintzis, V. A. & Baltas, E. (2020): A robust approach for comparing conventional and sustainable flood mitigation measures in urban basins. *J. Environ. Manage.* 269. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110822>.
- Kourtis, I. M.; Bellos, V.; Kopsiaftis, G.; Psiloglou, B. & Tsihrintzis, V. A. (2021): Methodology for holistic assessment of grey-green flood mitigation measures for climate change adaptation in urban basins. *J. Hydrol.* 603, 126885. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126885>.
- Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., Manetas, A. (1998): A mathematical framework for studying rainfall intensity–duration–frequency relationships, *Journal of Hydrology*, 206 (1/2), 118–135.
- Koutsoyiannis, D. (2003): On the appropriateness of the Gumbel distribution for modelling extreme rainfall, in: *Proceedings of the ESF LESC Exploratory Workshop, Hydrological Risk: Recent advances in peak river flow modeling, prediction and real-time forecasting, Assessment of the impacts of land-use and climate changes*, European Science Foundation, National Research Council of Italy, University of Bologna, Bologna, October 2003.
- Legates, D.R and McCabe, G.J. (1999): Evaluating the use of goodness-of-fit measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Researches* 35: 233-241.
- Mimikou, M. A.; Baltas, E. A. & Tsihrintzis, V. A. (2016): *Hydrology and Water Resource Systems Analysis*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315374246>.
- Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L. and Harmel, R.D. (2007): Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans ASABE* 50: 885-900.
- Ombadi, M.; Nguyen, P.; Sorooshian, S. & Hsu, K. I. (2018): Developing intensity-duration-frequency (IDF) curves from satellite-based precipitation: methodology and evaluation. *Water Resour. Res.* 54: 7752-7766. <https://doi.org/10.1029/2018WR022929>.
- Tejada, Jr. A.T.; Ella, V.B.; Lampayan, R.M. and Consorcia E. Reaño, C.E. (2022): Modeling Reference Crop Evapotranspiration Using Support Vector Machine (SVM) and Extreme Learning Machine (ELM) in Region IV-A, Philippines, *Water* 14, 754. <https://doi.org/10.3390/w14050754>.
- Vergara-Temprado, J., Ban, N. & Schär, C. (2021): Extreme sub-hourly precipitation intensities scale close to the Clausius-Clapeyron rate over Europe. *Geophys. Res. Lett.* 48. <https://doi.org/10.1029/2020GL089506>.

## Deriving the rainfall intensity and designing its curves using the daily maximum rainfall in the Hail region, Saudi Arabia

Saleh Abdul Mohsen Al-Shammari

Assistant Professor, Developed Dimension Company for Information Technology

([sshamar@hotmail.com](mailto:sshamar@hotmail.com))

### Abstract:

Intensity-Duration-Frequency curves are usually designed from actual rain intensity data recorded in the weather and rain stations. The records of this data contain the rainfall amounts and the duration of the rainstorm. The frequency analysis of the rain intensity is carried out to identify their return periods by using the outputs of the probability distribution models. The most common probability distribution models used in deriving rainfall intensity are the Normal probability distribution, the Log Normal probability distribution, the Extreme Value probability distribution - type 1- and the Exponential probability distribution.

So, in the lack or the absence the actual rain intensity in the rain stations of Hail area, this study seeks to derive the mathematical coefficients of the rain intensity model using the maximum daily rainfall data for a period of 42 years (1976-2017). In the studied rain stations of An Nuqrah, Ha'il, Uqlat Bin Jibrin, Al Ghazalah, and Al Uzaym, the intensity-duration-frequency curves are designed by the application of the mentioned probability distributions for the durations of 10, 20, 30 minutes and 1, 2, 3, 6, 12 hours and the return periods of 5, 10, 25, 50 and 100 years.

The results of the goodness of Fit of the studied probability distributions showed that the best probability distribution for deriving rain intensity from the maximum daily rainfall data is the exponential probability distribution model. The Chi-square values were equivalent to 7.189 at Uqlat Binn Jibrin, 7.985 at Al-Ghazalah and 8.426 At Ha'il stations at the degree of freedom 2. At the degree of freedom 3, the Chi-square values were equivalent to 11.965 at An-Nuqrah and 13.267 at Al-Uzaym stations. The exponential model efficiency has been calibrated by applying four statistical tests (NSE, R2, PBias, RSR). The results of the calibration showed the good estimation of the rain intensity for the different return.

The results of this study reached to formulate the exponential probability distribution model using the values of the statistical parameters a, b and c, required to estimate the rain intensity (IT) available to the duration (td) and the return period (Tr) in every rain station. The major benefit of this study is the methodological steps presented to derive the intensity of rain from the maximum daily of rain in the absence of actual data for the rain intensity, such as in many rain stations of Saudi Arabia.

### Key-Words:

Rain intensity, Intensity-Duration-Frequency curves, Normal probability distribution model, EV1 probability distribution model, Log Normal probability distribution model, Exponential probability distribution model, Hail, Saudi Arabia.