

تحليل الأمطار اليومية القصوى وكثافة الأمطار لمنطقة حائل بالمملكة العربية السعودية (*)

د. مطيرة بنت خويتم المطيري

أستاذ الجغرافيا المناخية والبيئية

المشارك

كلية الآداب - جامعة الأميرة نورة بنت

عبدالرحمن - الرياض

الملخص

تتجلى أهمية هذه الدراسة في كونها تعطي تقديرات لكثافة الأمطار المناسبة للعواصف المطرية ولفترات الرجوع من ٥ إلى ١٠٠ سنة اعتمادًا على بيانات الأمطار اليومية القصوى التي تمثل أعلى كميات للأمطار سقطت خلال يوم واحد والمسجلة خلال الفترة بين عامي ١٩٧٠-٢٠١١ بمحطة عقلة بن جبرين وبين عامي ١٩٧١-١٩٩٩ بمحطة النقرة وبين عامي ١٩٧٦-٢٠١١ بمحطة الغزالة و بين عامي ١٩٦٠-٢٠١٦ بمحطة حائل. وتعرض هذه الدراسة أيضًا تحليلًا لتباين الأمطار اليومية القصوى وكثافة الأمطار المشتقة منها خلال الفترة المدروسة بكل محطة. ولقد أظهر معامل التباين أن كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة حائل هي أكثر انتظامًا وأن كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة النقرة هي الأكثر تذبذبًا. ولقد تم تطبيق نموذجين من نماذج التوزيعات الاحتمالية هما نموذج التوزيع الطبيعي Normal probability distribution ونموذج توزيع القيم القصوى نوع ١- probability distribution Extreme Value -type 1- في تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع من ٥ إلى ١٠٠ سنة. ولقد أظهرت تقديرات كميات الأمطار اليومية القصوى أن الفرق بين تقدير النموذجين المدروسين يتراوح بين ١٠٪ خلال ١٠ سنوات من جهة

(*) مجلة كلية الآداب جامعة القاهرة المجلد (٧٨) العدد (٣) أبريل ٢٠١٨.

و٢٩.٣٪ بمحطة النقرة و٣٩.٨٪ بمحطة عقلة بين جبرين و٤١.٤٪ بمحطة حائل و٣٨.٩٪ بمحطة الغزالة.

Abstract

The importance of this study is reflected in estimates of rainfall intensity suitable for rainstorms for the return periods from 5 to 100 years, based on the daily maximum rainfall data recorded during 1970-2011 at Uqlat Ben Jabrin station (H208), 1971-1999 at the Nuqra station (U212) , 1976-2011 at Al-Ghazala station (H215) and 1960-2016 at Hail station (H001).

This study presents an analysis of the daily maximum rainfall variation and the intensity of precipitation derived from it during the studied period at each station. The coefficient of variation showed that the maximum daily rainfall of Hail station is more regular and that similar of Nuqra station is the most volatile.

Two probability distribution models, (Normal probability distribution and the Extreme value -type 1- probability distribution, have been applied in estimating the maximum daily rainfall amounts for periods of return from 5 to 100 years.

The estimates of daily maximum rainfall showed that the difference between the estimates of the two models ranged from 1.0% in 10 years return period to 29.3% in the Nuqra station, 39.8% in Uqlat ben Jabrin station, 41.4% in Hail station and 38.9% in Al-Ghazala station.

المقدمة:

يعتمد تصميم منحنيات (الكثافة-المدة-التكرار) للأمطار Intensity-Duration-Frequency (IDF) على توفر قياسات كثافة الأمطار بالمحطات المطرية والمحطات المناخية. ويعتبر تصميم هذه المنحنيات من أهم التقنيات العلمية المستخدمة في هندسة الموارد المائية وفي تخطيط وتصميم وتنفيذ المنشآت الهيدرولوجية كشبكات تصريف مياه الأمطار ومياه السيول داخل المدن والسدود المائية ومشاريع الحماية والوقاية من مخاطر السيول. ولقد بدأ

استخدام منحنيات كثافة الأمطار منذ ١٩٣١م من طرف المهندس برنارد Bernard (Minh Nhat & Takara, 2006: 93).

ولقد توسع مجال استخدام هذه المنحنيات في كثير من مناطق العالم وفي مجالات متعددة للاستفادة منها في استغلال الموارد المائية السطحية وفي تخطيط مشاريعها. ولقد تزايد استخدام منحنيات كثافة الأمطار مع التوسع العمراني الذي شهدته كثير من بلدان العالم بعد الحرب العالمية الثانية. كما تزايد الاهتمام بتصميم وتحليل منحنيات كثافة الأمطار في الدراسات الهيدرولوجية بمختلف أقاليم العالم (Wayal & Menan, 2014) و (Bara et al., 2009) و (Henderson, 2015) و (Holm, 2009) و (Dar et al., 2016) و (Mirhosseini et al., 2015) و (Palaka et al., 2016). ومن جهة أخرى أصبحت منحنيات كثافة الأمطار إحدى الوسائل المستخدمة في كشف التغير المناخي بالعديد من مناطق العالم كما أوردته دراسات (Simonovic and Peck, 2009) و (Ewea et al., 2016).

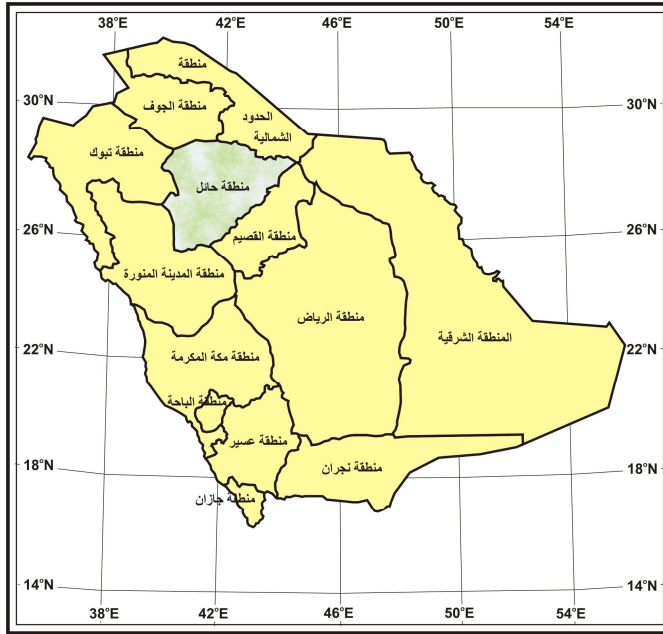
وهناك العديد من الأبحاث العلمية التي تم إنجازها عن منحنيات كثافة الأمطار بالمملكة العربية السعودية كدراسات (Al Shaikh, 1985) و (Al Dokhayel, 1986) و (Al Hassoun, 2011) و (بوروبه، ٢٠١٤). ولا زالت دراسة وتحليل منحنيات كثافة الأمطار تحتاج إلى المزيد من الاهتمام مع تطور الخطط التنموية بالمملكة العربية السعودية ومع التوسع العمراني الذي تعرفه مدنها، خاصة تلك التي تقع داخل مساحات التصريف لكثير من الأحواض المائية.

وفي هذا الصدد تقدم هذه الدراسة إمكانية الاستفادة من قياسات كميات الأمطار اليومية القصوى في تقدير كثافة الأمطار المعتمدة في تصميم منحنيات الكثافة-المدة-التكرار للأمطار بمحطات النقرة والغزالة وعقلة بن جبرين وحائل. ويمكن تطبيق الخطوات لهذه الدراسة على بيانات الأمطار

اليومية القصوى بباقي المحطات المطرية في مختلف مناطق المملكة العربية السعودية.

١ - منطقة الدراسة:

تقع منطقة حائل شمال وسط المملكة العربية السعودية بين دائرتي العرض $39^{\circ}30'$ و $43^{\circ}30'$ شرقاً و بين خطي الطول $25^{\circ}10'$ و $28^{\circ}20'$ شمالاً ويحدها من الشرق المنطقة الشرقية ومن الغرب منطقتا تبوك والمدينة المنورة ومن الجنوب منطقتا القصيم والمدينة المنورة ومن الشمال منطقتا الحدود الشمالية والجوف.



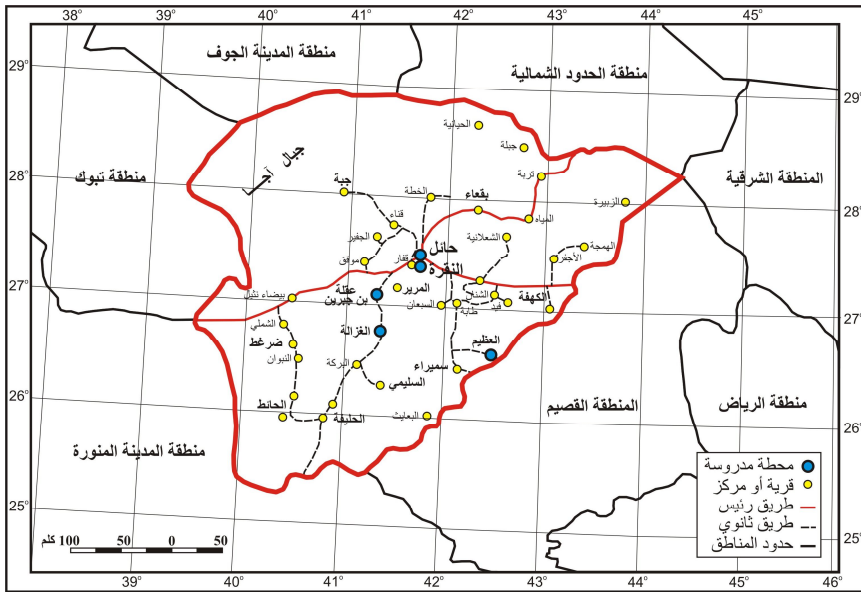
شكل (١) الموقع الجغرافي لمنطقة حائل

د. مطيرة بنت خويتم المطيري: تحليل الأمطار اليومية القصوى ٢٥٧

وتقع محطات الأمطار المدروسة بمنطقة حائل بين دائرتي العرض $41^{\circ}20'$ و $42^{\circ}30'$ شرقاً و بين خطي الطول $26^{\circ}30'$ و $27^{\circ}30'$ شمالاً الجدول رقم (١) و الشكل رقم شكل رقم (٢).

جدول رقم (١) إحدائيات مواقع المحطات المناخية بمنطقة الدراسة

اسم المحطة	رقم الكود	الرقم المحطة	دائرة العرض (شمالاً)	خط الطول (شرقاً)	الارتفاع (متر)
عقلة بن جبرين (العقلة)	885	H 208	$41^{\circ}17'$	$27^{\circ}06'$	1215
النقرة	809	U 212	$41^{\circ}40'$	$27^{\circ}27'$	1008
الغزالة	812	H 215	$41^{\circ}21'$	$26^{\circ}47'$	980
حائل	191	H 001	$41^{\circ}42'$	$27^{\circ}32'$	990



شكل (٢) الموقع الجغرافي للمحطات المطرية بمنطقة الدراسة

٢- الدراسات السابقة:

تلعب بيانات كثافة الأمطار دورًا هامًا 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 السيولية المصاحبة لهطولها من أجل الوقاية من تأثيراتها وأخطارها المحتملة على الأرواح والممتلكات.

يعبر منحني كثافة الأمطار عن كمية الأمطار المتساقطة على مساحة معينة خلال فترة زمنية محدودة (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).

ومن الدراسات التي تمت في هذا المجال بالمملكة العربية السعودية دراسة السُّبيل Al-Sobayel الخاصة بالتوزيع التكراري للأمطار منطقة الرياض ودراسة السالم Al-Salem الخاصة بالتوزيع التكراري للأمطار مناطق الزلفي والرياض وشقراء (Al-Salem, 1985 ; Al-Sobayel, 1983).

كما درس آل الشيخ Al-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 اعتمادًا على بيانات الأمطار المسجلة بمحطات الأرصاد الجوية. وقد انتهى الباحث من خلال هذه الدراسة إلى تحديد ٦ مناطق مطرية هي منطقة الجنوب الغربي (المنطقة رقم ١) والمنطقة الجبلية على طول ساحل البحر الأحمر (المنطقة رقم ٢) والمنطقة الشمالية (المنطقة رقم ٣) والمنطقة الوسطى والشرقية (المنطقة رقم ٤) والمنطقة الجنوبية (المنطقة رقم ٥) و منطقة الربع الخالي (المنطقة رقم ٦). وقد أوصى الباحث

بتعديل تقديرات كميات الأمطار التي تم حسابها بالمحطات المدروسة بواسطة ما يتوفر من بيانات وقياسات جديدة للأمطار (Al-Shaikh, 1985).

ودراسة الدُخيل Al-Dokhayel التي تتعلق بتقدير العلاقات بين عمق ومدة وتكرار كميات الأمطار خلال فترات الرجوع المختلفة بمنطقة القصيم نموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى -نوع ١- المعروف بنموذج قامبل (EV1 of Gumbel) ونموذج التوزيع الاحتمالي اللوغاريتمي لبيرسون -نوع ٣- المعروف بنموذج (LPT 3) Log Pearson Type 3). وقد أشار الباحث إلى أن هذا الأخير يعطي تقديرات لكميات الأمطار تفوق مثيلاتها المحسوبة بنموذج قامبل وبأخطاء معيارية قليلة (Al-Dokhayel, 1986).

ودراسة الخلف Al-Khalaf 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 ومائة سنة (Al-Khalaf, 1997).

واقترح الحسون Al-Hassoun في سنة ٢٠١١م معادلة تجريبية لتقدير كثافة الأمطار بمنطقة الرياض. وقد أوضح 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 بتضاريس طبوغرافية مستوية لا تتسم بتباينات كبيرة في التوزيع الجغرافي لكميات الأمطار من جهة وبموقع المنطقة ضمن نطاق مداري شبه جاف (Al-Hassoun, 2011).

كما اقترح السبيع Al-Sobaie معادلتين لتطوير منحنيات كثافة الأمطار بمنطقتي حفر الباطن ونجران لمدد ١٠ و ٢٠ و ٣٠ دقيقة و ١ و ٢ و ٣

٦ و ١٢ ساعة ولفترات الرجوع ٢ و ٥ و ١٠ و ٢٥ و ٥٠ و 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 (Al-Sobaie, 2012).

وقدم بوروبه في سنة ٢٠١٤م بحثًا صاغ معادلات أسية Power-functions خاصة بنموذج قامبل Gumbel method وبالنموذج اللوغاريتمي لبيرسون - نوع ٣- Log Pearson type 3 method لاشتقاق المعادلات التجريبية لتقدير كثافة الأمطار المناسبة لأي مدة زمنية (t_d) ولأي فترة رجوع (T_r) محتملة من واقع بيانات كثافة الأمطار المسجلة لفواصل زمنية تمتد من عشر دقائق إلى اثنتي عشرة ساعة خلال فترة تمتد إلى أربع وثلاثين سنة بمحطة أبها واحد وثلاثين سنة بمحطة بيشة وخمس وعشرين سنة بمحطة المدينة المنورة وأربع وعشرين سنة بمحطة سكاكا.

وستكون دراستي الحالية عن حائل إضافة علمية لما سبق كونها تهدف إلى تصميم منحنيات كثافة الأمطار بالمحطات المطرية لمنطقة حائل اعتمادًا على الكميات المطرية اليومية القصوى وعلى النسب المشتقة لكثافة الأمطار المناسبة لمدد زمنية مقاسة خلال فترات سابقة قبل توقف هذه المحطات عن التسجيل.

٣- أهمية موضوع البحث:

تكمن أهمية موضوع البحث في كونه يساعد في توفير تقديرات لكثافة الأمطار التي يمكن استخدامها في تصميم منحنيات كثافة الأمطار

اعتمادًا على بيانات الأمطار اليومية القصوى في غياب وجود قياسات فعلية لكثافة الأمطار بأربع محطات مطرية تقع بمنطقة حائل هي الغزالة والنقرة وعقلة بن جبرين (العقلة) وحائل. ويمكن الحصول على منحنيات كثافة الأمطار بواسطة تحليل بيانات كثافة الأمطار الفعلية بالمحطات المطرية أو المناخية أو بواسطة المعادلات المشتقة لحساب كثافة الأمطار لأي فترة رجوع معلومة (Return Period) ولأي مدة زمنية محددة (Duration).

وتوفر هذه المنحنيات الكثير من المعلومات الإحصائية عن الأمطار المستخدمة في التطبيقات الهيدرولوجية مثل كثافة الأمطار وحجم العاصفة المطرية المناسب لمختلف فترات الرجوع والمدة الزمنية لتركيز الأمطار. ولذا فهي تستخدم أيضًا في العديد من التطبيقات الهيدرولوجية والمناخية خاصة المتعلقة بتحديد حجم قنوات وشبكات تصريف مياه العواصف المطرية لأي مساحة تصريف مائي.

كما أن هذه الدراسة تقدم تقديرات لكثافة الأمطار تم اشتقاقها من القياسات الفعلية للأمطار اليومية القصوى للعواصف المطرية التي تتراوح مدتها الزمنية بين نصف الساعة وأربع ساعات ونصف. ولذا فإن أهمية موضوع الدراسة تتمثل من جهة أخرى في كونه يقدم بديلاً لتقدير كثافة الأمطار من بيانات الأمطار اليومية القصوى بالمحطات المطرية التي لا تحتوي على قياسات فعلية لكثافة الأمطار.

٤- أهداف البحث:

تهدف الدراسة إلى تحقيق مايلي:

- ١- تحليل تباين كميات الأمطار اليومية القصوى بالمحطات المدروسة.
- ٢- تحليل تباين كثافة الأمطار بالمحطات المدروسة.
- ٣- تقدير كثافة الأمطار بالمحطات منطقة الدراسة بواسطة نموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي Normal Probability distribution، ونموذج التوزيع

الاحتمالي للقيم القصوى - نوع ١- (EV1)، أو ما يعرف بنموذج غامبل Gumbel باستخدام تقديرات كثافة الأمطار المشتقة من بيانات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة ١٩٧٦-٢٠١١ بمحطات النقرة والغزالة وعقلة بن جبرين وحائل.

٤-تصميم منحنيات (الكثافة-المدة-التكرار) للأمطار المحطات المدروسة بواسطة نموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي Normal Probability distribution، ونموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى - نوع ١- (EV1)، أو ما يعرف بنموذج غامبل Gumbel.

٥-منهجية البحث:

تتلخص الخطوات المنهجية لهذا البحث في ما يلي:

٥-١- جمع البيانات:

تم جمع بيانات الأمطار اليومية القصوى المتوفرة خلال الفترة ١٩٧١-١٩٩٩م بمحطة النقرة، وخلال الفترة ١٩٧٠-٢٠١١م بمحطة العقلة، وخلال الفترة ١٩٦٠-٢٠١٦م بمحطة حائل وخلال الفترة ١٩٧٦-٢٠١١م بمحطة الغزالة الجداول (٢، ٣، ٤، ٥).

جدول رقم (٣) كميات الأمطار اليومية
القصوى للفترة ١٩٧٦-٢٠١١م بمحطة
الغزالة

السنة	الأمطار (ملم)	السنة	الأمطار (ملم)
1976	30.0	1995	12.0
1977	24.6	1996	8.0
1978	8.4	1997	12.0
1979	24.2	1998	15.4
1980	17.0	1999	8.5
1981	38.4	2000	47.0
1982	29.4	2001	22.0
1983	32.4	2002	15.0
1984	45.6	2003	8.5
1985	42.2	2004	12.0
1986	56.0	2005	15.0
1987	21.6	2006	6.5
1988	9.6	2007	8.0
1989	35.4	2008	14.0
1990	17.4	2009	12.5
1991	32.2	2010	13.0
1992	10.8	2011	7.0
1993	38.0	X'	21.3
1994	18.0	σ Xi	13.3

جدول رقم (٢) كميات الأمطار اليومية
القصوى للفترة ١٩٧٠-٢٠١١م بمحطة
عقلة بن جبرين

السنة	الأمطار (ملم)	السنة	الأمطار (ملم)
1970	31.4	1992	7.8
1971	13.8	1993	12.2
1972	16.6	1994	18.2
1973	10.8	1995	14.8
1974	30.4	1996	11.4
1975	35.4	1997	5.2
1976	33.2	1998	23.0
1977	5.0	1999	19.0
1978	15.8	2000	17.4
1979	16.6	2001	7.1
1980	22.0	2002	30.0
1981	36.4	2003	15.5
1982	15.8	2004	25.0
1983	35.0	2005	25.0
1984	61.6	2006	30.0
1985	48.8	2007	10.0
1986	52.4	2008	30.0
1987	12.8	2009	31.0
1988	41.0	2010	28.0
1989	49.8	2011	4.0
1990	25.2	X'	23.7
1991	21.9	σ Xi	13.6

جدول رقم (٥) كميات الأمطار اليومية
القصوى للفترة ١٩٧١-١٩٩٩م

جدول رقم (٤) كميات الأمطار اليومية
القصوى للفترة ١٩٦٠-٢٠١٦م

الأمطار (مم)	السنة	الأمطار (مم)	السنة
16.0	1986	17.2	1971
23.6	1987	24.8	1972
11.8	1988	29.0	1973
9.6	1989	17.4	1974
18.6	1990	22.8	1975
27.2	1991	19.0	1976
28.2	1992	26.0	1977
13.8	1993	25.2	1978
7.0	1994	13.8	1979
32.4	1995	6.4	1980
16.5	1996	7.2	1981
12.8	1997	41.6	1982
19.5	1998	4.2	1983
2.0	1999	31.4	1984
19.4	X'	37.4	1985
10.0	σ Xi	37.4	1985

الأمطار (مم)	السنة	الأمطار (مم)	السنة
10.2	1991	20.0	1960
5.7	1992	4.0	1961
8.6	1993	80.0	1965
7.0	1994	4.0	1966
5.4	1995	30.5	1967
2.4	1996	15.0	1968
10.8	1997	14.0	1969
8.9	1998	18.0	1970
10.2	1999	14.5	1971
6.0	2000	26.0	1972
5.0	2001	20.0	1973
18.0	2002	28.2	1974
11.0	2003	44.5	1975
9.0	2004	63.0	1976
15.0	2005	18.5	1977
15.0	2006	14.5	1978
6.0	2007	25.6	1979
34.0	2008	10.3	1980
15.0	2009	17.1	1981
4.0	2010	7.4	1982
4.0	2011	16.5	1983
5.0	2012	29.0	1984
22.0	2013	22.9	1985
7.0	2014	24.6	1986
14.0	2015	6.0	1987
5.0	2016	19.3	1988
16.9	X'	23.4	1989
14.2	σ Xi	11.8	1990

٥-٢- تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى لفترات الرجوع:

تم حساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لكميات الأمطار اليومية القصوى بالمحطات المدروسة لاستخدامهما في تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة بتطبيق نموذج شو Chow التالي: (Chow, 1954)

$$X_T = X' + \sigma K_T$$

وفيه X_T كمية الأمطار لفترة الرجوع T و X' وهما على التوالي σ الانحراف المعياري و K_T معامل التكرار لكميات الأمطار للفترة المسجلة بالمحطة. ويحسب هذا المعامل من جداول خاصة أو بتطبيق معادلات خاصة، وهو يساوي: (الجدول رقم رقم ٦).

جدول (٦) معامل التكرار لنموذجي التوزيع الاحتمالي الطبيعي والقيم القصوى (نوع ١)

معامل التكرار K_T		فترة الرجوع
التوزيع EV 1	التوزيع الطبيعي	
0.7195	0.8415	٥ سنوات
1.3046	1.2817	١٠ سنوات
2.0439	1.7511	٢٥ سنة
2.5923	2.0542	٥٠ سنة
3.1367	2.3268	١٠٠ سنة

ويحسب معامل التكرار K_T في التوزيع الاحتمالي الطبيعي باستخدام متغير وسيط W من علاقة المعادلة التالية:

$$K_T = Z = W - \frac{2.516 + 0.803 W + 0.01033W^2}{1 + 1.433W + 0.189W^2 + 0.00131W^3}$$

$$W = \left[\ln \left(\frac{1}{(1-P)^2} \right) \right]^{0.5} \quad \text{بحيث يمثل:}$$

وفيه

$$P = \frac{1}{T}$$

بحيث تمثل P احتمالية أن تتجاوز كمية الأمطار القيمة القصوى خلال فترة الرجوع.

كما يتم حساب قيمة معامل التكرار بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) بتطبيق المعادلة التالية:

$$K_T = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0.5772 + \ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

بحيث يمثل T فترة الرجوع (سنة) و K_T معامل التكرار و π العدد الثابت 3.1416.

وقد تم تقدير كميات المطر اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع من ٥ إلى ١٠٠ سنة ولنموذجي التوزيع الاحتمالي الطبيعي وغامبل (القيم القصوى نوع ١) في كل محطة باستخدام معامل التكرار (الجدول رقم رقم ٧).

جدول رقم (٧) تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع

فترة الرجوع (سنة)					الانحراف المعياري (ملم)	المتوسط (ملم)	المحطة	التوزيع الاحتمالي
100	50	25	10	5				
معامل التكرار K_T					SD	X'		
٢.٣٢٦٨	٢.٠٥٤٢	١.٧٥١١	١.٢٨١٧	٠.٨٤١٥				
٤٩.٩	٤٦.١	٤١.٨	٣٥.١	٢٨.٨	١٤.٢	١٦.٩	حائل	الطبيعي
٤٢.٧	٣٩.٩	٣٦.٩	٣٢.٢	٢٧.٨	١٠.٠	١٩.٤	النقرة	
٥٢.٢	٤٨.٦	٤٤.٦	٣٨.٣	٣٢.٥	١٣.٣	٢١.٣	الغزالة	
٥٥.٣	٥١.٦	٤٧.٥	٤١.١	٣٥.١	١٣.٦	٢٣.٧	عقلة بن جبرين	
فترة الرجوع (سنة)					الانحراف المعياري (ملم)	المتوسط (ملم)	المحطة	التوزيع الاحتمالي
100	50	25	10	5				
معامل التكرار K_T					SD	X'		
٣.١٣٦٧	٢.٥٩٢٣	٢.٠٤٣٩	١.٣٠٤٦	٠.٧١٩٥				
٦١.٤	٥٣.٧	٤٥.٩	٣٥.٤	٢٧.١	١٤.٢	١٦.٩	حائل	القيم القصوى (نوع ١)
٥٠.٨	٤٥.٣	٣٩.٨	٣٢.٤	٢٦.٦	١٠.٠	١٩.٤	النقرة	
٦٣.٠	٥٥.٨	٤٨.٥	٣٨.٧	٣٠.٩	١٣.٣	٢١.٣	الغزالة	
٦٦.٤	٥٩.٠	٥١.٥	٤١.٤	٣٣.٥	١٣.٦	٢٣.٧	عقلة بن جبرين	

٥-٣- حساب نسب كثافة الأمطار حسب الفاصل الزمني:

بعد ذلك تم حساب نسب كثافة الأمطار التي تمثل حاصل قسمة كمية الأمطار للفاصل الزمني على مجموع الأمطار اليومية للفاصل الزمنية ١٠، ٢٠، ٣٠، ٦٠، ١٢٠، ١٨٠، ٣٦٠، ٧٢٠، ١٤٤٠ دقيقة من بيانات كثافة الأمطار المسجلة بكل محطة قبل توقفها لاعتمادها في اشتقاق كثافة الأمطار من كميات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة المدروسة بكل محطة

(الجدول رقم رقم ٨).

جدول رقم (٨) كثافة الأمطار المسجلة بالمحطات المدروسة بمنطقة الدراسة

المحطة	الفاصل الزمني	د ١٠	د ٢٠	د ٣٠	سا ١	سا ٢	سا ٣	سا ٦	سا ١٢	سا ٢٤
عقلة بن جبرين	الأمطار (مم)	9.0	12.2	14.4	17.0	21.4	31.6	39.6	52.4	52.4
١٩٨٥- ١٩٩٢م	النسبة	0.17	0.23	0.27	0.32	0.41	0.60	0.76	1.00	1.00
حائل	الأمطار (مم)	5.4	6.2	8.2	10.2	12.8	14.2	21.6	29.6	55.8
١٩٨٥- ١٩٩١م	النسبة	0.10	0.11	0.15	0.18	0.23	0.25	0.39	0.53	1.00
النقرة	الأمطار (مم)	5.8	15.8	16.2	16.4	16.7	18	21.6	28	37.4
١٩٨٤- ١٩٩٠م	النسبة	0.16	0.42	0.43	0.44	0.45	0.48	0.58	0.75	1.00
الغزالة	الأمطار (مم)	7.6	13.0	15.0	15.4	22.8	23.8	37.8	39.0	45.6
١٩٨٤- ١٩٩٢م	النسبة	0.17	0.29	0.33	0.34	0.50	0.52	0.83	0.86	1.00

٦- النتائج والمناقشة

تتلخص نتائج هذه الدراسة فيما يلي:

٦-١- تحليل التباين الزمني والمكاني للأمطار اليومية القصوى:

نظراً لعدم تجانس السلاسل الزمنية للسجلات المطرية بالمحطات المدروسة، فإنه سيتم تحليل تباين كميات الأمطار اليومية القصوى على مستوى كل محطة.

١- محطة حائل:

تحتوي محطة حائل على سلسلة زمنية منتظمة ومتواصلة لسجلات الأمطار اليومية القصوى تمتد لفترة ٥٤ سنة من عام ١٩٦٠ إلى ٢٠١٦ (الجدول رقم رقم ٤). ويتسم توزيع الأمطار اليومية القصوى لهذه الفترة بمتوسط بلغ ١٦.٩ ملم/يوم وبانحراف معياري بلغ ١٤.٢ ملم/يوم. وقد بلغت كميات الأمطار خلال هذه الفترة أقصاها بما يعادل ٨٠٠.٠ ملم خلال يوم ٢٩ أكتوبر ١٩٦٥، في حين لم تتعد كمياتها ٢.٤ ملم خلال يوم ٢٤ يناير ١٩٩٧. وعليه فإن المدى لكميات الأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة يصل إلى ٧٧.٦ ملم/يوم بينما بلغ معامل التباين (الاختلاف) ٨٧.٨٪. ولتحليل تباين الأمطار اليومية القصوى تم ترتيب كمياتها ترتيباً تصاعدياً ثم تقسيمها إلى ٧ فئات متجانسة بمدى ٥ ملم الجدول رقم (٩) والشكل رقم (٣).

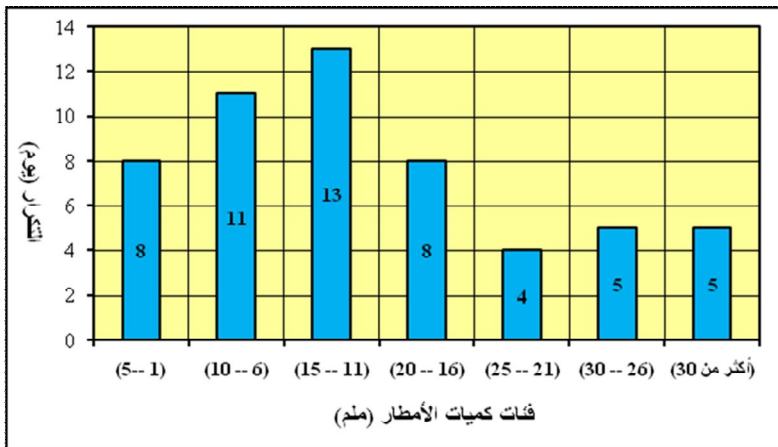
جدول رقم (٩) فئات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة ١٩٦٠-٢٠١٦ م بمحطة حائل

الفئة (ملم)	التكرار	%	المجموع التراكمي (ملم)	%
٥ - ١	8	14.8	33.4	3.7
١٠ - ٦	11	20.4	77.0	8.4
١٥ - ١١	13	24.1	171.2	18.8
٢٠ - ١٦	8	14.8	147.3	16.2
٢٥ - ٢١	4	7.4	93.0	10.2
٣٠ - ٢٦	5	9.3	137.2	15.1
أكثر من ٣٠	5	9.3	252.0	27.7
المجموع	54	100	911,1	100

ويتضح من بيانات الجدول رقم (٩) والشكل رقم رقم (٣) أن هناك تباينات واضحة يتسم بها توزيع كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة حائل تتلخص فيما يلي:

١- بلغ تكرار الفئات المطرية من ١ إلى ٢٠ ملم/يوم ٤٠ يوماً مطيراً، أي ما يعادل نسبة قدرها ٧٢.١ ٪ من مجموع الأيام المطيرة، في حين بلغ المجموع التراكمي للأمطار هذه الفئات ٤٢٨.٩ ملم، أي ما يعادل ٤٧.١ ٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة.

٢- بلغ تكرار الفئتين المطريتين من ٢١ إلى ٣٠ ملم/يوم ٩ أيام مطيرة، بينما بلغ تكرار الفئة المطرية أكثر من ٣٠ ملم/يوم ٥ أيام مطيرة؛ أي ما يعادل على التوالي نسبة قدرها ١٦.٧ ٪ و ٩.٣ ٪ من مجموع الأيام المطيرة، في حين بلغ المجموع التراكمي للأمطار الفئتين المطريتين من ٢١ إلى ٣٠ ملم/يوم ٢٣٠.٢ ملم، بينما بلغ المجموع التراكمي للأمطار الفئة أكثر من ٣٠ ملم/يوم ٢٥٢.٠ ملم، أي ما يعادل على التوالي نسبة قدرها ٢٥.٧ و ٢٧.٧ ٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة. وعليه نجد أن ٥٣.٤ ٪ من كميات الأمطار اليومية القصوى هطلت خلال ١٤ يوماً مطيراً فقط بمحطة حائل، وهو ما يعكس تركيز الأمطار في الزمن بهذه المحطة.



شكل (٣) فئات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة ١٩٦٠-٢٠١٦ م بمحطة حائل

٢- محطة الغزالة:

تحتوي محطة الغزالة على سلسلة زمنية منتظمة ومتواصلة لسجلات الأمطار اليومية القصوى تمتد لفترة ٣٦ سنة من عام ١٩٧٦ إلى ٢٠١٦ (الجدول رقم رقم ٣). ويتسم توزيع الأمطار اليومية القصوى لهذه الفترة بمتوسط بلغ ٢١.٣ ملم/يوم وبانحراف معياري بلغ ١٣.٣ ملم/يوم. وقد بلغت كميات الأمطار خلال هذه الفترة أقصاها بما يعادل ٥٦.٠ ملم خلال يوم ٢١ أبريل ١٩٨٦، في حين لم تتعد كمياتها ٦.٥ ملم خلال يوم ٣١ أكتوبر ٢٠٠٦. وعليه فإن المدى لكميات الأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة يصل إلى ٤٩.٥ ملم/يوم بينما بلغ معامل التباين (الاختلاف) ٦٢.٥٪. ولتحليل تباين الأمطار اليومية القصوى تم ترتيب كمياتها ترتيباً تصاعدياً ثم تقسيمها إلى ٥ فئات متجانسة بمدى ١٠ ملم، الجدول رقم (١٠) والشكل رقم (٤)

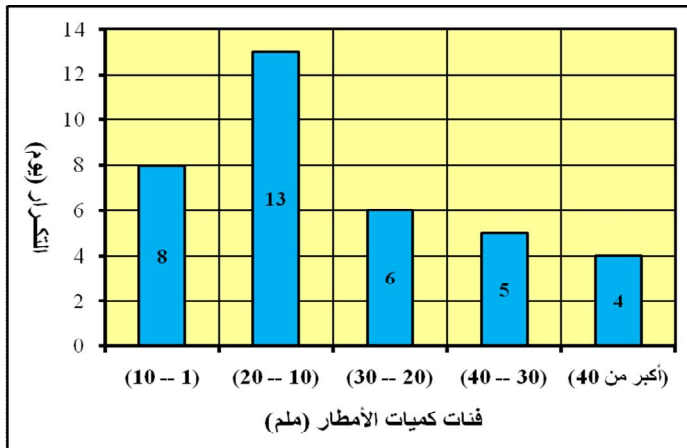
جدول رقم (١٠) فئات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة ١٩٧٦-٢٠١١ م بمحطة الغزالة

الفئة (ملم)	التكرار	%	المجموع التراكمي (ملم)	%
١٠ - ١	8	22.2	64.5	8.4
٢٠ - ١١	13	36.1	184.1	24.0
٣٠ - ٢١	6	16.7	151.8	19.8
٤٠ - ٣١	5	13.9	176.4	23.0
أكثر من ٤٠	4	11.1	190.8	24.9
المجموع	364	100	767.6	100

ويتضح من بيانات الجدول رقم (١٠) والشكل رقم (٤) وجود

تباينات واضحة يتسم بها توزيع كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة الغزالة تتلخص فيما يلي:

١- بلغ تكرار الفئتين المطريتين من ١ إلى ٢٠ ملم/يوم ٢١ يوماً مطيراً، أي ما يعادل نسبة قدرها ٥٨.٧ ٪ من مجموع الأيام المطيرة، في حين بلغ المجموع التراكمي للأمطار هاتين الفئتين ٢٤٨.٦ ملم، أي ما يعادل ٣٢.٤ ٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة.



شكل رقم ٤ : فئات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة ١٩٧٦-٢٠١١ بمحطة الغزالة

- بلغ تكرار الفئتين المطريتين من ٢١ إلى ٤٠ ملم/يوم ١١ يوماً مطيراً، بينما بلغ تكرار الفئة المطرية أكثر من ٤٠ ملم/يوم ٤ أيام مطيرة؛ أي ما يعادل على التوالي نسبة قدرها ٣٠.٦ ٪ و ١١.١ ٪ من مجموع الأيام المطيرة، في حين بلغ المجموع التراكمي للأمطار الفئتين المطريتين من ٢١ إلى ٤٠ ملم/يوم ٣٢٨.٢ ملم، بينما بلغ المجموع التراكمي للأمطار الفئة أكثر من ٤٠ ملم/يوم ١٩٠.٨ ملم؛ أي ما يعادل على التوالي نسبة قدرها ٢٣.٠

د. مطيرة بنت خويتم المطيري: تحليل الأمطار اليومية القصوى _____ ٢٧٣

و ٢٤.٩٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة. وعليه نجد أن ٦٧.٧٪ من كميات الأمطار اليومية القصوى هطلت خلال ١٥ يوماً مطيراً فقط بمحطة الغزالة، وهو ما يعكس زيادة تركيز الأمطار في الزمن بهذه المحطة مقارنة مع محطة حائل.

٣- محطة النقرة:

تحتوي محطة النقرة على سلسلة زمنية منتظمة ومتواصلة لسجلات الأمطار اليومية القصوى تمتد لفترة ٢٩ سنة من عام ١٩٧١ إلى ١٩٩٩ (الجدول رقم رقم ٥). ويتسم توزيع الأمطار اليومية القصوى لهذه الفترة بمتوسط بلغ ١٩.٤ ملم/يوم وبانحراف معياري بلغ ١٠.٠ ملم/يوم. وقد بلغت كميات الأمطار خلال هذه الفترة أقصاها بما يعادل ٤١.٦ ملم خلال يوم ١٠ مايو ١٩٨٢، في حين لم تتعد كمياتها ٢.٠ ملم خلال يوم ١٤ مارس ١٩٩٩. وعليه فإن المدى لكميات الأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة يصل إلى ٣٩.٦ ملم/يوم بينما بلغ معامل التباين (الاختلاف) ٥١.٥٪. وتبدو الأمطار اليومية القصوى لمحطة النقرة أكثر تذبذباً من مثيلاتها بمحطتي الغزالة وحائل. وقد يرجع تذبذب أمطار هذه المحطة إلى قصر السلسلة الزمنية المدروسة مقارنة مع السلسلة الزمنية لمحطة حائل (٤١ سنة) ومحطة الغزالة (٣٦ سنة). ولتحليل تباين الأمطار اليومية القصوى تم ترتيب كمياتها ترتيباً تصاعدياً ثم تقسيمها إلى ٤ فئات متجانسة بمدى ١٠ ملم الجدول رقم (١١) والشكل رقم رقم (٥).

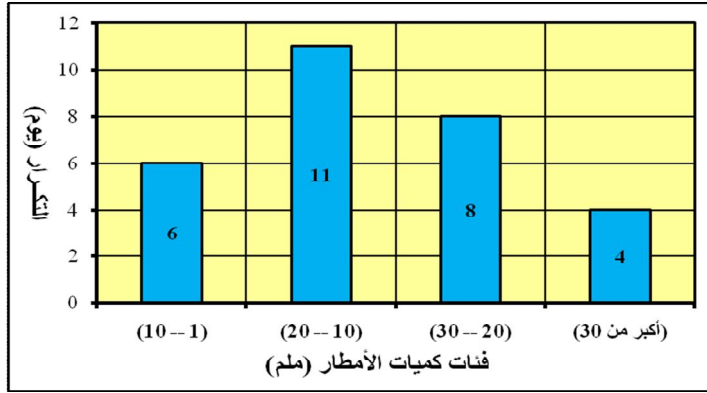
جدول رقم (١١) فئات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة ١٩٧١-١٩٩٩ م بمحطة النقرة

الفئة (ملم)	التكرار	%	المجموع التراكمي (ملم)	%
١٠ - ١	6	6.5	36.4	20.7
٢٠ - ١١	11	31.4	176.4	37.9

27.6	206.8	36.7	8	٢١ - ٣٠
13.8	142.8	25.4	4	أكثر من ٣٠
100	562.4	100	29	المجموع

ويتضح من بيانات الجدول رقم (١١) والشكل رقم رقم (٥) أن هناك تباينات واضحة يتسم بها توزيع كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة النقرة تتلخص فيما يلي:

١- بلغ تكرار الفئتين المطرية من ١ إلى ٢٠ ملم/يوم ١٧ يوماً مطيرًا، أي ما يعادل نسبة قدرها ٣٧.٩٪ من مجموع الأيام المطيرة، في حين بلغ المجموع التراكمي للأمطار هذه الفئات ٢١٢.٨ ملم؛ أي ما يعادل ٥٨.٦٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة.



شكل (٥) فئات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة ١٩٧١-١٩٩٩ بمحطة النقرة

٢- بلغ تكرار الفئتين المطريتين من ٢١ إلى أكثر من ٣٠ ملم/يوم ١٢ يوماً مطيرًا؛ أي ما يعادل نسبة قدرها ٦٢.١٪ من مجموع الأيام المطيرة، في حين بلغ المجموع التراكمي للأمطارهما ٣٤٩.٦ ملم؛ أي ما يعادل على التوالي نسبة قدرها ٣١.٤٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية

القصوى للفترة المدروسة.

٣- محطة عقلة بن جبرين:

تحتوي محطة عقلة بن جبرين على سلسلة زمنية منتظمة ومتواصلة لسجلات الأمطار اليومية القصوى تمتد لفترة ٤٢ سنة من عام ١٩٧٠ إلى ٢٠١١م الجدول رقم (٢). ويتسم توزيع الأمطار اليومية القصوى لهذه الفترة بمتوسط بلغ ٢٣.٧ ملم/يوم وبانحراف معياري بلغ ١٣.٦ ملم/يوم. وقد بلغت كميات الأمطار خلال هذه الفترة أقصاها بما يعادل ٦١.٦ ملم خلال يوم ٢٧ نوفمبر ١٩٨٤، في حين لم تتعد كمياتها ٤.٠ ملم خلال يوم ١٨ يناير ٢٠١١. وعليه فإن المدى لكميات الأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة يصل إلى ٥٧.٦ ملم/يوم؛ بينما بلغ معامل التباين (الاختلاف) ٥٧.٤٪. وبالنظر لطول السلسلة الزمنية لمحطة عقلة بن جبرين فإن أمطارها تبدو أكثر تذبذباً من مثيلاتها بمحطات الغزالة وحائل والنقرة. ولتحليل تباين الأمطار اليومية القصوى لهذه المحطة تم ترتيب كمياتها ترتيباً تصاعدياً ثم تقسيمها إلى ٥ فئات متجانسة بمدى ١٠ ملم الجدول رقم (١٢) والشكل رقم (٦).

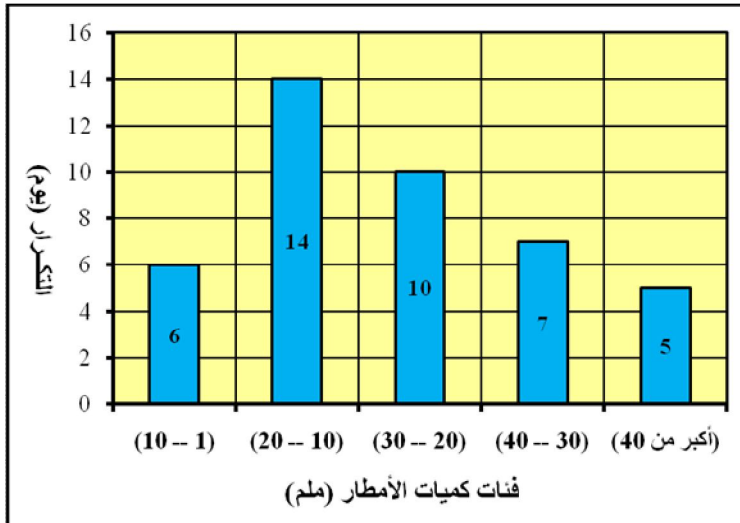
جدول (١٢) فئات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة ١٩٧٠-٢٠١١م

الفئة (ملم)	التكرار	%	المجموع التراكمي (ملم)	%
١ - ١٠	6	14.3	39.1	3.9
١١ - ٢٠	14	33.3	210.7	21.1
٢١ - ٣٠	10	23.8	260.1	26.1
٣١ - ٤٠	7	16.7	232.8	23.4
أكثر من ٤٠	5	11.9	253.6	25.5
المجموع	42	100	996.3	100

ويتضح من بيانات الجدول رقم (١٢) و(لشكل رقم رقم (٦) أن هناك تباينات واضحة يتسم بها توزيع كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة عقلة بن جبرين تتلخص فيما يلي:

١- بلغ تكرار الفئتين المطرية من ١ إلى ٢٠ ملم/يوم ٢٠ يوماً مطيراً؛ أي ما يعادل نسبة قدرها ٤٧.٦ ٪ من مجموع الأيام المطيرة، في حين بلغ المجموع التراكمي للأمطار هذه الفئات ٢٤٩.٨ ملم؛ أي ما يعادل ٢٥.٠ ٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة.

٢- بلغ تكرار الفئتين المطريتين من ٢١ إلى ٣٠ ملم/يوم ١٧ يوماً مطيراً، أي ما يعادل نسبة قدرها ٤٠.٥ ٪ من مجموع الأيام المطيرة، في حين بلغ المجموع التراكمي للأمطارهما ٤٩٢.٩ ملم، أي ما يعادل على التوالي نسبة قدرها ٤٩.٥ ٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة.



شكل (٦) فئات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة ١٩٧٠-٢٠١١ م بمحطة عقلة بن جبرين

٣- بلغ تكرار الفئة المطرية أكثر من ٤٠ ملم/يوم ٥ أيام مطيرة؛ أي ما يعادل نسبة قدرها ١١.٩ ٪ من مجموع الأيام المطيرة، في حين بلغ المجموع التراكمي للأمطارهما ٢٥٣.٦ ملم؛ أي ما يعادل على نسبة قدرها ٢٥.٥ ٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة. وعليه نجد أن ٧٥.٠ ٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى تساقطت خلال ٢٢ يوماً مطيراً؛ أي ما يعادل ٥٢.٤ ٪ من مجموع الأيام المطيرة بمحطة عقلة بن جبرين. وتعكس هذه التباينات شدة تركيز تساقط الأمطار في الزمن بهذه المحطة.

٦-٢- تقدير كميات الأمطار اليومية المناسبة لفترات الرجوع:

تم تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع من ٥ إلى ١٠٠ سنة بتطبيق نماذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي واللوغاريتمي الطبيعي ونموذج القيم القصوى - نوع ١- والنموذج الآسي الجدول رقم (١٣)

جدول (١٣) تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع بالمحطات بمنطقة الدراسة

المحطة	فترة الرجوع (سنة)	التوزيع الاحتمالي	
		القيم القصوى (نوع ١)	الطبيعي
النقرة	5	30.1	31.4
	10	36.7	36.4
	25	45.0	41.7
	50	51.2	45.1
	100	57.4	48.2
عقلة بن جبرين	5	37.8	39.7
	10	46.8	46.5
	25	58.2	53.7
	50	66.6	58.3
	100	75.0	62.5
حائل	5	30.6	32.6
	10	40.0	39.7
	25	51.9	47.2
	50	60.7	52.1
	100	69.4	56.4
الغزالة	5	34.9	36.7
	10	43.7	43.3
	25	54.8	50.4
	50	63.0	54.9
	100	71.2	59.0

+

ومن خلال بيانات هذا الجدول رقم يتضح أن كميات الأمطار اليومية القصوى المتوقع هطولها بمحطة النقرة بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي تتراوح بين ٣١.٤ ملم/يوم خلال ٥ سنوات و ٤٨.١ ملم/يوم خلال ١٠٠ سنة، في حين تتراوح هذه الكميات بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) بين ٣٠.١ ملم/يوم خلال ٥ سنوات و ٥٧.٤ ملم/يوم خلال ١٠٠ سنة. كما تتراوح كميات الأمطار اليومية القصوى المتوقع هطولها بمحطة حائل بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي بين ٣٢.٦ ملم/يوم خلال ٥ سنوات و ٥٦.٤ ملم/يوم خلال ١٠٠ سنة، في حين تتراوح هذه الكميات بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) بين ٣٠.٦ ملم/يوم خلال ٥ سنوات و ٦٩.٤ ملم/يوم خلال ١٠٠ سنة. أما في محطة عقلة بن جبرين فإن كميات الأمطار اليومية القصوى المتوقع هطولها بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي تتراوح بين ٣٩.٧ ملم/يوم خلال ٥ سنوات و ٦٢.٥ ملم/يوم خلال ١٠٠ سنة، في حين تتراوح هذه الكميات بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) بين ٣٧.٨ ملم/يوم خلال ٥ سنوات و ٧٥.٠ ملم/يوم خلال ١٠٠ سنة، بينما نجد أن كميات الأمطار اليومية القصوى المتوقع هطولها بمحطة الغزالة بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي تتراوح بين ٣٦.٧ ملم/يوم خلال ٥ سنوات و ٥٩.٠ ملم/يوم خلال ١٠٠ سنة، في حين تتراوح هذه الكميات بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) بين ٣٤.٩ ملم/يوم خلال ٥ سنوات و ٧١.٢ ملم/يوم خلال ١٠٠ سنة.

٦-٣- حساب كثافة الأمطار وتحليل تبايناتها:

وفقاً لدراسة بيانات هطول الأمطار للآلاف من المحطات المطرية

تبين أن القيم الحقيقية لكميات الأمطار اليومية القصوى تفوق التقديرات التي تمت لمختلف فترات الرجوع بنسبة ١.١٣ (Weiss, 1964). وعليه فقد تم تصحيح القيم التقديرية للأمطار اليومية القصوى لفترات الرجوع بنسبة ١.١٣ للحصول على قيم تماثل القيم الحقيقية للأمطار قبل استخدامها في حساب كثافة الأمطار بكل محطة الجدول رقم (١٤).

جدول رقم (١٤) تصحيح كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطات منطقة الدراسة

المحطة	التوزيع الاحتمالي	كمية الأمطار (مم)	فترة الرجوع (سنة)				
			100	50	25	10	5
النفرة	التوزيع الطبيعي	القيمة التقديرية (مم)	42.7	39.9	36.9	32.2	27.8
		القيمة المصححة (مم)	48.2	45.1	41.7	36.4	31.4
	توزيع القيم القصوى نوع ١	القيمة التقديرية (مم)	50.8	45.3	39.8	32.4	26.6
		القيمة المصححة (مم)	57.4	51.2	45.0	36.7	30.1
عقلة بن جبرين	التوزيع الطبيعي	القيمة التقديرية (مم)	55.3	51.6	47.5	41.1	35.1
		القيمة المصححة (مم)	62.5	58.3	53.7	46.5	39.7
	توزيع القيم القصوى نوع ١	القيمة التقديرية (مم)	66.4	59.0	51.5	41.4	33.5
		القيمة المصححة (مم)	75.0	66.6	58.2	46.8	37.8
حائل	التوزيع الطبيعي	القيمة التقديرية (مم)	49.9	46.1	41.8	35.1	28.8
		القيمة المصححة (مم)	56.4	52.1	47.2	39.7	32.6
	توزيع القيم القصوى نوع ١	القيمة التقديرية (مم)	61.4	53.7	45.9	35.4	27.1
		القيمة المصححة (مم)	69.4	60.7	51.9	40.0	30.6
الغزالة	التوزيع الطبيعي	القيمة التقديرية (مم)	52.2	48.6	44.6	38.3	32.5
	القيمة المصححة (مم)	59.0	54.9	50.4	43.3	36.7	

					القيمة التقديرية (ملم)	توزيع القيم القصوى نوع ١	
63.0	55.8	48.5	38.7	30.9	القيمة المصححة (ملم)		
71.2	63.0	54.8	43.7	34.9			

ولقد تم حساب كثافة الأمطار بكل محطة لتسع عواصف مطرية تتراوح مدتها بين نصف ساعة و ٤ ساعات ونصف. وتتخلص النتائج فيما يلي:

١- محطة النقرة:

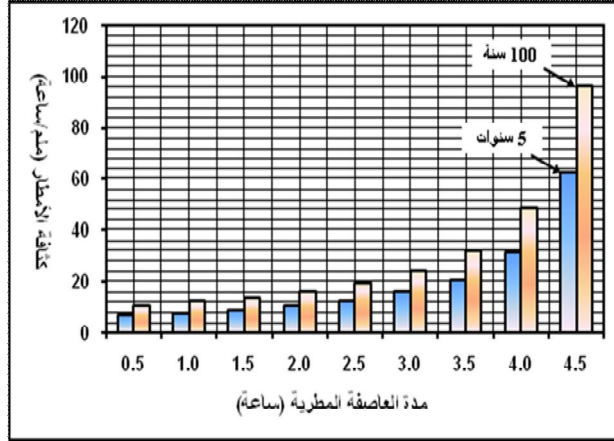
يتضح من بيانات الجدول رقم (١٥) أن كثافة الأمطار المتوقعة لعاصفة مطرية لا تتعدى مدتها نصف ساعة تبلغ ٦٢.٨ ملم خلال ٥ سنوات و ٩٦.٤ ملم خلال ١٠٠ سنة بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي، في حين تتناقص كثافة الأمطار مع طول مدة العاصفة المطرية حتى تبلغ أذناها بما يعادل ٧.٠ ملم خلال ٥ سنوات و ١٠.٧ ملم خلال ١٠٠ سنة خلال عاصفة مطرية تمتد مدتها إلى ٤ ساعات ونصف الشكل رقم (٧).

أما بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) فإن كثافة الأمطار المتوقعة لعاصفة مطرية مدتها لا تتعدى نصف ساعة تبلغ ٦٠.٢ ملم خلال ٥ سنوات و ١١٤.٨ ملم خلال ١٠٠ سنة، في حين تتناقص كثافة الأمطار كذلك مع طول مدة العاصفة المطرية حتى تبلغ أذناها بما يعادل ٦.٧ ملم خلال ٥ سنوات و ١٢.٨ ملم خلال ١٠٠ سنة خلال عاصفة مطرية تمتد مدتها إلى ٤ ساعات ونصف الشكل رقم (٨).

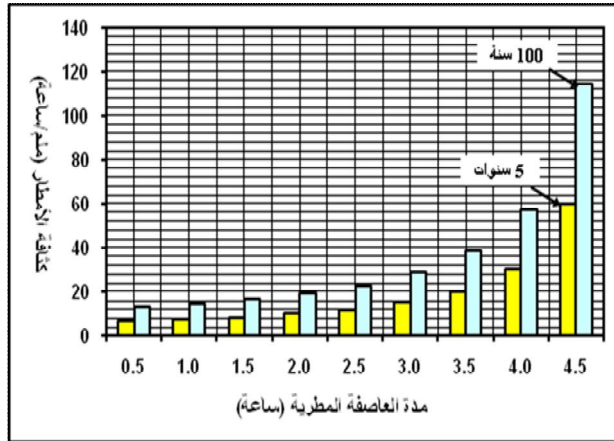
د. مطيرة بنت خويتم المطيري: تحليل الأمطار اليومية القصوى _____ ٢٨١

جدول رقم (١٥) تقدير كثافة الأمطار من كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة النقرة

فترة الرجوع (سنة)					الفاصل الزمني (ساعة)	التوزيع الاحتمالي الطبيعي
100	50	25	10	5		
كمية الأمطار المصححة (ملم)						
48.2	45.1	41.7	36.4	31.4		
كثافة الأمطار (ملم/ساعة)						
96.4	90.2	83.4	72.8	62.8	0.50	
48.2	45.1	41.7	36.4	31.4	1.00	
32.1	30.1	27.8	24.3	20.9	1.50	
24.1	22.6	20.9	18.2	15.7	2.00	
19.3	18.0	16.7	14.6	12.6	2.50	
16.1	15.0	13.9	12.1	10.5	3.00	
13.8	12.9	11.9	10.4	9.0	3.50	
12.1	11.3	10.4	9.1	7.9	4.00	
10.7	10.0	9.3	8.1	7.0	4.50	
فترة الرجوع (سنة)					الفاصل الزمني (ساعة)	توزيع القيم القصوى (نوع ١)
100	50	25	10	5		
كمية الأمطار المصححة (ملم)						
57.4	51.2	45.0	36.7	30.1		
كثافة الأمطار (ملم/ساعة)						
114.8	102.4	90.0	73.4	60.2	0.50	
57.4	51.2	45.0	36.7	30.1	1.00	
38.3	34.1	30.0	24.5	20.1	1.50	
28.7	25.6	22.5	18.4	15.1	2.00	
23.0	20.5	18.0	14.7	12.0	2.50	
19.1	17.1	15.0	12.2	10.0	3.00	
16.4	14.6	12.9	10.5	8.6	3.50	
14.4	12.8	11.3	9.2	7.5	4.00	
12.8	11.4	10.0	8.2	6.7	4.50	



شكل رقم (٧) كثافة الأمطار للعواصف المطرية خلال فترتي الرجوع ٥ و ١٠٠ سنة بمحطة النقرة بنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي



شكل رقم (٨) كثافة الأمطار للعواصف المطرية خلال فترتي الرجوع ٥ و ١٠٠ سنة بمحطة النقرة بنموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١)

يتضح كذلك من بيانات الجدول رقم (١٦) أن كثافة الأمطار المتوقعة لعاصفة مطرية لا تتعدى مدتها نصف ساعة تبلغ ٧٩.٤ ملم خلال ٥ سنوات و ١٢٥.٠ ملم خلال ١٠٠ سنة بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي، في حين تتناقص كثافة الأمطار مع طول مدة العاصفة المطرية حتى تبلغ أداها بما يعادل ٨.٨ ملم خلال ٥ سنوات و ١٣.٩ ملم خلال ١٠٠ سنة خلال عاصفة مطرية تمتد مدتها إلى ٤ ساعات ونصف الشكل رقم (٩).

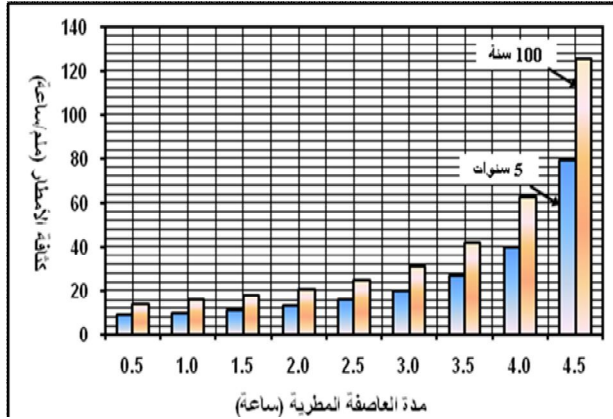
أما بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) فإن كثافة الأمطار المتوقعة لعاصفة مطرية مدتها لا تتعدى نصف ساعة تبلغ ٧٥.٦ ملم خلال ٥ سنوات و ١٥٠.٠ ملم خلال ١٠٠ سنة، في حين تتناقص كثافة الأمطار كذلك مع طول مدة العاصفة المطرية حتى تبلغ أداها بما يعادل ٨.٤ ملم خلال ٥ سنوات و ١٦.٧ ملم خلال ١٠٠ سنة خلال عاصفة مطرية تمتد مدتها إلى ٤ ساعات ونصف (الشكل رقم رقم ١٠).

جدول رقم (١٦) تقدير كثافة الأمطار من كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة عقلة بن

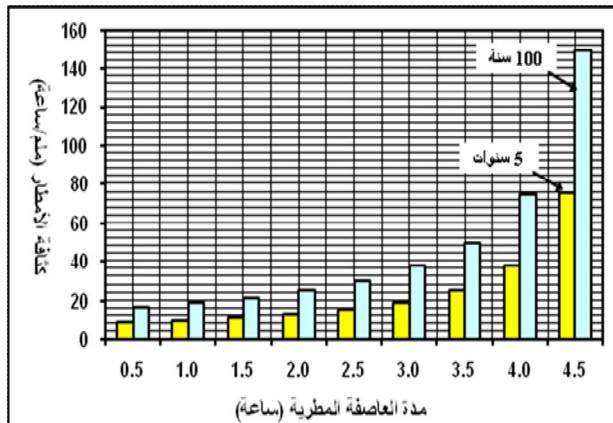
جبرين

فترة الرجوع (سنة)					الفاصل الزمني (ساعة)	التوزيع الاحتمالي الطبيعي	
100	50	25	10	5			
كمية الأمطار المصححة (ملم)							
62.5	58.3	53.7	46.5	39.7			
كثافة الأمطار (ملم/ساعة)							
125.0	116.6	107.4	93.0	79.4	0.50		
62.5	58.3	53.7	46.5	39.7	1.00		
41.7	38.9	35.8	31.0	26.5	1.50		
31.3	29.2	26.9	23.3	19.9	2.00		
25.0	23.3	21.5	18.6	15.9	2.50		
20.8	19.4	17.9	15.5	13.2	3.00		
17.9	16.7	15.3	13.3	11.3	3.50		
15.6	14.6	13.4	11.6	9.9	4.00		
13.9	13.0	11.9	10.3	8.8	4.50		
فترة الرجوع (سنة)					الفاصل الزمني (ساعة)	توزيع القيم القصوى (نوع ١)	
100	50	25	10	5			
كمية الأمطار المصححة (ملم)							
75.0	66.6	58.2	46.8	37.8			

كثافة الأمطار (مم/ساعة)					
150.0	133.2	116.4	93.6	75.6	0.50
75.0	66.6	58.2	46.8	37.8	1.00
50.0	44.4	38.8	31.2	25.2	1.50
37.5	33.3	29.1	23.4	18.9	2.00
30.0	26.6	23.3	18.7	15.1	2.50
25.0	22.2	19.4	15.6	12.6	3.00
21.4	19.0	16.6	13.4	10.8	3.50
18.8	16.7	14.6	11.7	9.5	4.00
16.7	14.8	12.9	10.4	8.4	4.50



شكل (٩) كثافة الأمطار للعواصف المطرية خلال فترتي الرجوع ٥ و ١٠٠ سنة بمحطة عقلة بن جبرين بنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي



شكل (١٠) كثافة الأمطار للعواصف المطرية خلال فترتي الرجوع ٥ و ١٠٠ سنة بمحطة عقلة بن جبرين بنموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١)

٣- محطة حائل:

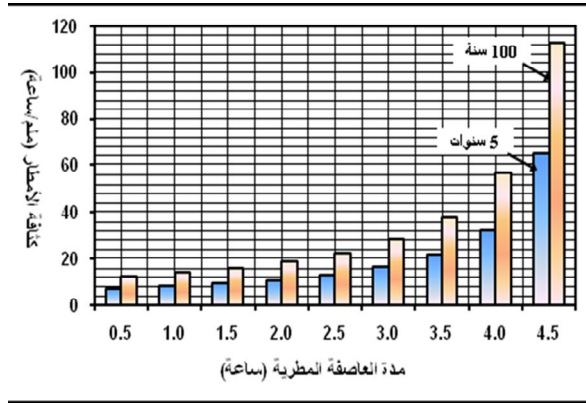
تبلغ كثافة الأمطار المتوقعة لعاصفة مطرية لا تتعدى مدتها نصف ساعة ٦٥.٢ ملم خلال ٥ سنوات و ١١٢.٨ ملم خلال ١٠٠ سنة بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي، في حين تتناقص كثافة الأمطار مع طول مدة العاصفة المطرية حتى تبلغ أذناها بما يعادل ٧.٢ ملم خلال ٥ سنوات و ١٢.٥ ملم خلال ١٠٠ سنة خلال عاصفة مطرية تمتد مدتها إلى ٤ ساعات ونصف، الجدول رقم (١٧) والشكل رقم (١١).

جدول رقم (١٧) تقدير كثافة الأمطار من كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة حائل

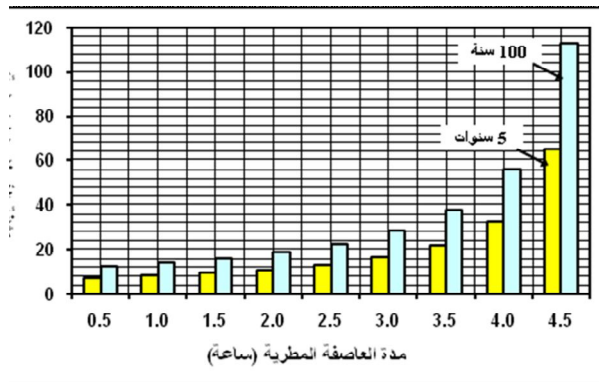
فترة الرجوع (سنة)					الفاصل الزمني (ساعة)	التوزيع الاحتمالي الطبيعي
100	50	25	10	5		
كمية الأمطار المصححة (ملم)						
56.4	52.1	47.2	39.7	32.6		
كثافة الأمطار (ملم/ساعة)						
112.8	104.2	94.4	79.4	65.2	0.50	
56.4	52.1	47.2	39.7	32.6	1.00	
37.6	34.7	31.5	26.5	21.7	1.50	
28.2	26.1	23.6	19.9	16.3	2.00	
22.6	20.8	18.9	15.9	13.0	2.50	
18.8	17.4	15.7	13.2	10.9	3.00	
16.1	14.9	13.5	11.3	9.3	3.50	
14.1	13.0	11.8	9.9	8.2	4.00	
12.5	11.6	10.5	8.8	7.2	4.50	
فترة الرجوع (سنة)					الفاصل الزمني (ساعة)	توزيع القيم القصوى (نوع ١)
100	50	25	10	5		
كمية الأمطار المصححة (ملم)						
69.4	60.7	51.9	40.0	30.6		
كثافة الأمطار (ملم/ساعة)						
138.8	121.4	103.8	80.0	61.2	0.50	
69.4	60.7	51.9	40.0	30.6	1.00	
46.3	40.5	34.6	26.7	20.4	1.50	
34.7	30.4	26.0	20.0	15.3	2.00	
27.8	24.3	20.8	16.0	12.2	2.50	
23.1	20.2	17.3	13.3	10.2	3.00	
19.8	17.3	14.8	11.4	8.7	3.50	
17.4	15.2	13.0	10.0	7.7	4.00	
15.4	13.5	11.5	8.9	6.8	4.50	

أما بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) فإن

كثافة الأمطار المتوقعة لعاصفة مطرية مدتها لا تتعدى نصف ساعة تبلغ ٦١.٢ ملم خلال ٥ سنوات و ١٣٨.٨ ملم خلال ١٠٠ سنة، في حين تتناقص كثافة الأمطار كذلك مع طول مدة العاصفة المطرية حتى تبلغ أذناها بما يعادل ١٣.٥ ملم خلال ٥ سنوات و ١٥.٤ ملم خلال ١٠٠ سنة خلال عاصفة مطرية تمتد مدتها إلى ٤ ساعات ونصف، الشكل رقم (١٢).



شكل رقم (١١) كثافة الأمطار للعواصف المطرية خلال فترتي الرجوع ٥ و ١٠٠ سنة بمحطة حائل بنموذج التوزيع الاحتمالي



شكل رقم (١٢) كثافة الأمطار للعواصف المطرية خلال فترتي الرجوع ٥ و ١٠٠ سنة بمحطة حائل بنموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١)

٤- محطة الغزالة:

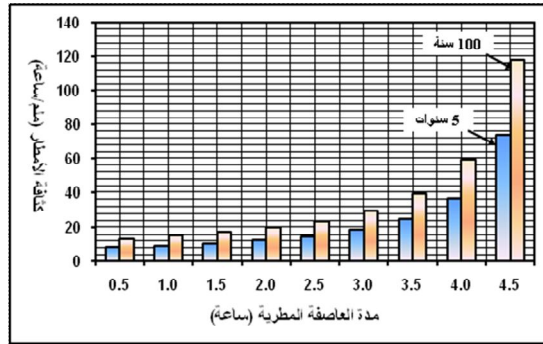
تبلغ كثافة الأمطار المتوقعة لعاصفة مطرية لا تتعدى مدتها نصف ساعة ٧٣.٤ ملم خلال ٥ سنوات و ١١٨.٠ ملم خلال ١٠٠ سنة بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي، في حين تتناقص كثافة الأمطار مع طول مدة العاصفة المطرية حتى تبلغ أداها بما يعادل ٨.٢ ملم خلال ٥ سنوات و ١٣.١ ملم خلال ١٠٠ سنة خلال عاصفة مطرية تمتد مدتها إلى ٤ ساعات ونصف، الجدول رقم (١٨) والشكل رقم (١٣).

أما بالنسبة لنموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) فإن كثافة الأمطار المتوقعة لعاصفة مطرية مدتها لا تتعدى نصف ساعة تبلغ ٦٩.٨ ملم خلال ٥ سنوات و ١٤٢.٤ ملم خلال ١٠٠ سنة، في حين تتناقص كثافة الأمطار كذلك مع طول مدة العاصفة المطرية حتى تبلغ أداها بما يعادل ٧.٨ ملم خلال ٥ سنوات و ١٥.٨ ملم خلال ١٠٠ سنة خلال عاصفة مطرية تمتد مدتها إلى ٤ ساعات ونصف، الشكل رقم (١٤).

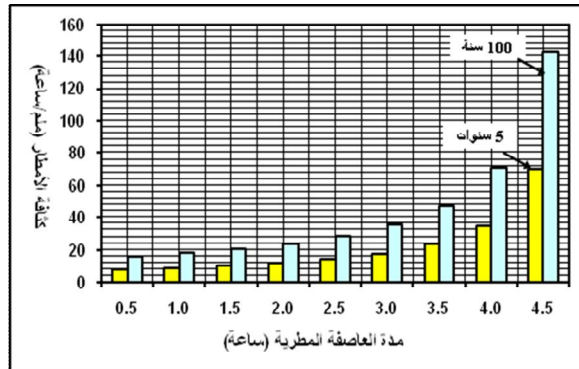
جدول رقم (١٨) تقدير كثافة الأمطار من كميات الأمطار اليومية القصوى بمحطة الغزالة

فترة الرجوع (سنة)					الفاصل الزمني (ساعة)	التوزيع الاحتمالي الطبيعي
100	50	25	10	5		
كمية الأمطار المصححة (ملم)						
59.0	٥٤.٩	50.4	43.3	36.7		
كثافة الأمطار (ملم/ساعة)						
118.0	109.8	100.8	86.6	73.4	0.50	
59.0	54.9	50.4	43.3	36.7	1.00	
39.3	36.6	33.6	28.9	24.5	1.50	
29.5	27.5	25.2	21.7	18.4	2.00	
23.6	22.0	20.2	17.3	14.7	2.50	
19.7	18.3	16.8	14.4	12.2	3.00	
16.9	15.7	14.4	12.4	10.5	3.50	
14.8	13.7	12.6	10.8	9.2	4.00	
13.1	12.2	11.2	9.6	8.2	4.50	
فترة الرجوع (سنة)					الفاصل الزمني (ساعة)	توزيع القيم القصوى (نوع ١)
100	50	25	10	5		
كمية الأمطار المصححة (ملم)						
71.2	63.0	54.8	43.7	34.9		

كثافة الأمطار (ملم/ساعة)					
142.4	126.0	109.6	87.4	69.8	0.50
71.2	63.0	54.8	43.7	34.9	1.00
47.5	42.0	36.5	29.1	23.3	1.50
35.6	31.5	27.4	21.9	17.5	2.00
28.5	25.2	21.9	17.5	14.0	2.50
23.7	21.0	18.3	14.6	11.6	3.00
20.3	18.0	15.7	12.5	10.0	3.50
17.8	15.8	13.7	10.9	8.7	4.00
15.8	14.0	12.2	9.7	7.8	4.50



شكل رقم (١٣) كثافة الأمطار للعواصف المطرية خلال فترتي الرجوع ٥ و ١٠٠ سنة بمحطة الغزالة بنموذج التوزيع الاحتمالي الطبيعي



الشكل رقم (١٤) كثافة الأمطار للعواصف المطرية خلال فترتي الرجوع ٥ و ١٠٠ سنة بمحطة الغزالة بنموذج التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١)

الخاتمة

النتائج:

توصلت الدراسة إلى إظهار خصائص التوزيع المكاني والزمني لكميات الأمطار اليومية القصوى بأربع محطات هي: النقرة وحائل وعقلة بن جبرين والغزالة الواقعة بمنطقة حائل. أظهرت نتائج تحليل كميات الأمطار اليومية القصوى أن التقديرات تتباين على النحو التالي:

١- بلغ متوسط الأمطار اليومية القصوى ٣١.٤ ملم/يوم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ٤٨.٢ ملم/يوم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي بمحطة النقرة من جهة و ٣٠.١ ملم/يوم بالنسبة لفترة الرجوع ٥ سنوات و ٥٧.٤ ملم/يوم بالنسبة لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) من جهة ثانية.

٢- بلغ متوسط الأمطار اليومية القصوى ٣٩.٧ ملم/يوم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ٦٢.٥ ملم/يوم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي بمحطة عقلة الصقور من جهة و ٣٧.٨ ملم/يوم بالنسبة لفترة الرجوع ٥ سنوات و ٧٥.٠ ملم/يوم بالنسبة لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) من جهة ثانية.

٣- بلغ متوسط الأمطار اليومية القصوى ٣٢.٦ ملم/يوم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ٥٦.٤ ملم/يوم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي بمحطة حائل من جهة و ٣٠.٦ ملم/يوم بالنسبة لفترة الرجوع ٥ سنوات و ٦٩.٤ ملم/يوم بالنسبة لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) من جهة ثانية.

٤- بلغ متوسط الأمطار اليومية القصوى ٣٦.٧ ملم/يوم لفترة الرجوع ٥

سنوات و ٥٩.٠ ملم/يوم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي بمحطة الغزالة من جهة و ٣٤.٩ ملم/يوم بالنسبة لفترة الرجوع ٥ سنوات و ٧١.٢ ملم/يوم بالنسبة لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١) من جهة ثانية.

وتبعًا لتباينات كميات الأمطار اليومية القصوى وأوضحت نتائج هذه الدراسة أن هناك أيضًا تباينات أخرى مماثلة في تقديرات كثافة الأمطار لمختلف العواصف المطرية ولمختلف فترات الرجوع على النحو التالي:

١- تتراوح كثافة الأمطار للعاصفة المطرية التي لا تتعدى نصف ساعة بين ٦٢.٨ ملم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ٩٦.٤ ملم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي بمحطة النقرة من جهة وبين ٦٠.٢ ملم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ١١٤.٨ ملم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١). أما بالنسبة للعاصفة المطرية التي تصل مدتها إلى ساعة واحدة فهي تتراوح على التوالي بين ٣١.٤ و ٤٨.٢ ملم بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي وبين ٣٠.١ ملم و ٥٧.٤ ملم بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١).

٢- تتراوح كثافة الأمطار للعاصفة المطرية التي لا تتعدى نصف ساعة بين ٧٩.٤ ملم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ١٢٥.٠ ملم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي بمحطة عفة الصقور من جهة وبين ٧٥.٦ ملم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ١٥٠.٠ ملم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١). أما بالنسبة للعاصفة المطرية التي تصل مدتها إلى ساعة واحدة فهي تتراوح على التوالي بين ٣٩.٧ و ٦٢.٥ ملم بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي وبين ٣٧.٨ ملم و ٧٥.٠ ملم بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١).

٣- تتراوح كثافة الأمطار للعاصفة المطرية التي لا تتعدى نصف ساعة بين ٦٥.٢ ملم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ١١٢.٨ ملم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي بمحطة حائل من جهة وبين ٦١.٢ ملم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ١٣٨.٨ ملم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١). أما بالنسبة للعاصفة المطرية التي تصل مدتها إلى ساعة واحدة، فهي تتراوح على التوالي بين ٣٢.٦ و ٥٦.٤ ملم بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي وبين ٣٠.٦ ملم و ٦٩.٤ ملم بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١).

٤- تتراوح كثافة الأمطار للعاصفة المطرية التي لا تتعدى نصف ساعة بين ٧٣.٤ ملم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ١١٨.٠ ملم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي بمحطة الغزالة من جهة وبين ٦٩.٨ ملم لفترة الرجوع ٥ سنوات و ١٤٢.٤ ملم لفترة الرجوع ١٠٠ سنة بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١). أما بالنسبة للعاصفة المطرية التي تصل مدتها إلى ساعة واحدة فهي تتراوح على التوالي بين ٣٦.٧ و ٥٩.٠ ملم بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي وبين ٣٤.٩ ملم و ٧١.٢ ملم بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى (نوع ١).

وتبلغ كثافة الأمطار أقصاها خلال العواصف المطرية بمحطة عقلة الصقور وأدناها بمحطة النقرة سواء بالنسبة لفترات الرجوع أو بالنسبة لمدة العواصف المطرية.

مراجع عربية:

- الصغير، ابراهيم صالح، (١٤٠٥)، منطقة حائل دراسة إقليمية، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة الامام، الرياض.
- الأحيدب، إبراهيم سليمان، (١٩٩٢م)، توزيع الأمطار في جنوب غرب المملكة العربية السعودية، سلسلة الدراسات الخاصة، معهد البحوث والدراسات الإسلامية، ط١، جامعة الدول العربية، القاهرة.
- الصالح، محمد عبد الله. (١٩٩٤م)، التحليل التكراري لكميات الأمطار في منطقة القويعة بالمملكة العربية السعودية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، الرياض.
- عزيز، خديجة، (١٩٩٣م)، السمات التوزيعية لكميات الامطار ومدى تغيراتها في المنطقة الوسطى، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض.
- الكليب، عبد الملك علي، (١٩٨٢م)، الامطار في شبة الجزيرة العربية، الندوة الاولى لمستقبل الموارد المائية بمنطقة الخليج وشبة الجزيرة العربية، الكويت، المجلد الثاني.
- موسى، فواز، (٢٠١٥م)، الخصائص المناخية والإحصائية لكميات الهطل السنوية في دمشق، مجلة بحوث حلب سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية والتربوية، العدد ٩٥.

مراجع أجنبية:

- Al-Dokhayel, A.A., 1986. **Regional rainfall frequency analysis for Qasim** , B.S. Project, Civil Engineering Department, King Saud University, Riyadh (K.S.A), April, 1986.
- 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, Dahrn (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, Riyadh, KSA, Jan. 1985.
- Al-Shaikh, A.A., 1985. **Rainfall frequency studies for Saudi Arabia** , M.S. Thesis, Civil Engineering Department, King Saud University, Riyadh (K.S.A) .
- Al-Sobaie, 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.
- Bara, M. ; Kohriova, S. ; Gaa'l, L. Szolgay, J. and Halvčová, K. 2009. **Estimation of IDF curves of extreme rainfall by simple scalling in Slovakia**, *Contribution to Geophysics and Geodesy* , Vol. (39), Issue 3, pp. 187-206.

- Bernard, M. M. 1932. **Formulas for rainfall intensities of Long duration**, Transactions , ASCE, 96 (Paper No. 1801), pp. 592-624.
- Dar, A. Q. ; Moqbool, H. and Raazia, S. 2016. **An Empirical formulas to estimate rainfall intensity in Kupwara region of Kashmir valley, J and K, India**, MATEC Web Conferences, 57.
- Dupont, B.S. and 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.
- Ewea, H. A. ; El Feki, A.M. and Al Amri, N. S. 2016. **Development of IDF curves for Kingdom of Saudi Arabia**, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, , <http://dx.doi.org/> 10.1080/19475705.201601250113.
- Henderson, J. 2015. **A comparaison of Future IDF curves for Southern Ontario**, Laternel Conservation Symposium (18 november, 2015) , 26 pages.
- Holm, K. 2009. **Regional IDF curves , Metro Vancouver climate station : Phase 1 (Final)**, Project No. 0431-007, BGC Engineering Inc. An Applied Earth Sciences Company, Vancouver, Canada.
- 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.
- Minh Nhat, L. ; Tachikawa, Y. and Takara, K. 2006. **Establishment of IDF curves for precipitation in the Monsoon area of Vietnam**, *Annals of Desis, Prev. Res. Inst.* , , Kyoto University, No. 298.