Journal of Nature, Life and Applied Sciences
Volume (5), Issue (2) : 30 Jun 2021
P: 20 - 47

ISSN: 2522-3356

مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية
المجلد (5)، العدد (2) : 30 يونيو 2021م
ص: 20 - 47

Spatial variance analysis of the actual daily mean rainfall in Riyadh for the period 1970 - 2017

Anoud Radhi Thamer Alanazi

Ministry of Education || KSA

Abstract: This study aims to compute the actual mean daily rainfall and analyze its statistical characteristics at the stations of Al Majma'ah (R101-460), Riyadh factories (R001-452), Duruma (R112-470), Jubaylah (R106-464), Sudus (R102-461), Rumah (HU103-954, Shaqra'a (R006-457), Hawtat Sudayr (R005-456), Al Hariq (R104-453), and Huraymilah (R103-462). To achieve the objectives, this study relied on the inductive approach with analyzing the statistical characteristics of rainfall distribution by applying dispersion measures (mean, standard deviation, standard error of the mean, standard error of standard deviation) and on calculating the ratio between annual rainfall amounts and the total number of rainy days per year. The spatial analysis also uses the homogeneous classes of the annual rainfall, the number of rainy days, and the actual mean daily rainfall.

This study reached an analysis of the statistical characteristics of the annual rainfall and the number of rainy days recorded during the period 1970-2017 in a total of 10 rain stations. This data is used in calculating the mean actual daily rainfall and in analyzing the variation of its spatial and temporal distribution. The best model for the correlation (cubic model) between annual rainfall amounts and the number of rainy days was also identified.

So, this study presents some recommendations to expand this study method in the various regions of the Kingdom of Saudi Arabia and compare its results with the results of similar studies in various dry and semi-arid regions. These study results can be used in inferring the effects of climate change and employ the actual mean daily of rain in estimating the water balance in Riyadh area and surface water resources during rainy days to benefit from them in various fields and in designing a climatic and hydrological database in the various regions of Saudi Arabia. The implementation of irrigation projects to prevent flood risks can be used these water resources.

Keywords: Annual rainfall, rainy days, the actual mean rainfall, statistical analysis, Riyadh area, Saudi Arabia.

تحليل التباين المكاني للمتوسط اليومي الفعلي للأمطار بمنطقة الرياض للفترة بين عامي 1970 و2017

عنود راضي ثامر العنزي

وزارة التعليم || المملكة العربية السعودية

المستخلص: هدفت هذه الدراسة إلى حساب المتوسط الفعلي اليومي للأمطار بمنطقة الرياض وتحليل خصائصه الإحصائية بمحطات المجمعة (R101-460) الرياض المصانع (R001-452) وضرماء (R112-470) والجبيلة (R106-464) وسدوس (R102-461) ورماح (HU103-954) وشقراء (R006-457) وحوطة سدير (R005-456) والحريق (R104-453) وحريملاء (R103-462) بتطبيق العلاقة لنسبية بين كميات الأمطار السنوية ومجموع عدد الأيام الممطرة بالسنة.

ولتحقيق أهداف الدراسة اعتمدت هذه الدراسة على المنهج الاستقرائي الذي يتناول تحليل الخصائص الإحصائية لتوزيع الأمطار بتطبيق مقاييس التشتت (المتوسط، الانحراف المعياري، الخطأ المعياري للمتوسط، الخطأ المعياري للانحراف المعياري) من جهة وعلى حساب النسبة بين بين كميات الأمطار السنوية ومجموع عدد الأيام الممطرة بالسنة. كما يعتمد تحليل التوزيع المكاني على استخدام الفئات المتجانسة لكميات الأمطار السنوية ولعدد الأيام الممطرة ولمتوسط الأمطار الفعلي اليومي.

وتوصلت هذه الدراسة إلى تحليل الخصائص الإحصائية للأمطار السنوية ولعدد الأيام الممطرة للفترة 1970-2017 بمجموع 10 محطات مطرية واستخدامها في حساب المتوسط الأمطار اليومي الفعلي وتحليل تباين توزيعه المكاني والزماني. كما تم تحديد أفضل نموذج لعلاقة الارتباط (النموذج التكعيبي) بين كميات الأمطار السنوية وعدد الأيام الممطرة.

وعلى ضوء النتائج المذكورة قدمت هذه الدراسة مجموعة من التوصيات لتوسيع مجال هذه الدراسة على مختلف مناطق المملكة العربية السعودية ومقارنة نتائجها بنتائج دراسات مماثلة بمختلف المناطق الجافة وشبه الجافة وتوظيفها في الاستدلال على تأثيرات التغير المناخي وتوظيف المتوسط الفعلي اليومي للأمطار في تقدير الميزانية المائية بمنطقة الرياض وفي تقدير الموارد المائية السطحية خلال الأيام الممطرة من السنة للاستفادة منها في مختلف المجالات وفي تصميم قاعدة بيانات مناخية وهيدرولوجية لمختلف مناطق المملكة العربية لتوظيفها في تنفيذ مشاريع الري ودرء مخاطر السيول.

الكلمات المفتاحية: الأمطار السنوية، عدد الأيام الممطرة، المتوسط الفعلي اليومي للأمطار، التحليل الإحصائي، منطقة الرياض، المملكة العربية السعودية.

1- المقدمة.

تشكل دراسة وتحليل نظام التساقط أهمية كبيرة لدى الباحثين والمتخصصين في مجالي المناخ والهيدرولوجيا، نظراً لارتباط دراسة الموارد المائية السطحية بتوفر الأمطار مع تنامي تأثيرات التغير المناخي في مناطق مختلفة من العالم. ويعتبر نظام الهطول المطري عنصر المناخ الأكثر تأثراً بظاهرة التغير المناخي Climate change، وهو أهم العوامل الطبيعية تأثيراً على البيئة والإنسان على سطح الأرض خاصة بالمناطق الجافة وشبه الجافة. وتتجلى تأثيرات نظام تساقط الأمطار من خلال زيادة تواتر ظاهرة السيول وتكرار حدوث الفيضانات بالمناطق العمرانية والسكنية من جهة وتذبذب وتدني المعدلات المطرية التي زادت من اتساع المساحات القاحلة والمناطق التي تتعرض إلى تأثيرات ظاهرتي الجفاف والتصحر. وفي هذا الصدد يحظى نظام تساقط الأمطار بأهمية بالغة لدى سكان المناطق الجافة وشبه الجافة على غرار المنطقة العربية بشكل عام وشبه الجزيرة العربية بشكل خاص.

وقد نالت دراسة الأمطار اهتمام العديد من الباحثين في البلدان العربية التي تقع معظم أراضيها على أراضي صحراوية جافة في النطاق المداري الجاف نظراً لتأثيراتها البيئية التي تنحصر في المخاطر السيلية الناتجة عن طبيعة تساقط الأمطار الفجائي والمركز. ولقد اعتمدت الدراسات الهيدرولوجية التفصيلية لإدارة مياه الأمطار والسيول وحماية المنشآت من التأثيرات السلبية لها على تحليل بيانات الأمطار والسيول خصائص توزيعها الزماني والمكاني. ولذا تتمثل مشكلة هذه الدراسة في كيفية الوصول إلى تقدير المتوسط اليومي الفعلي للأمطار بواسطة العلاقة النسبية بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية باستخدام البيانات المطرية اليومية للفترة 1970-2017 بمنطقة الرياض بسبب غياب منهجية علمية تم اعتمادها في دراسات مماثلة بالمملكة العربية السعودية. وتعتمد هذه الدراسة على تحليل خصائص المتوسط اليومي الفعلي الإحصائية خلال الفترة 1970-2017 (48 سنة) مشتركة بمجموع 10 محطات لقياس الأمطار بمنطقة الرياض.

ويتزايد الاهتمام في الوقت الراهن بالموارد المائية السطحية في المملكة العربية السعودية ضمن أهداف استراتيجية المملكة للمياه 2030 مع زيادة الاستهلاك اليومي والطلب المتعدد المتنامي في مختلف المجالات. ويتضاعف هذا الاهتمام بمرور الوقت مع مظاهر التغير المناخي الحاصل بالعالم.

ويعتبر نظام تساقط الأمطار وتوزيعها الزماني والمكاني من أهم العناصر المؤثرة على التغير المناخي وعلى الموارد المائية السطحية وحجم الطلب على الموارد المائية بمصادرها ونظمها البيئية بالبلدان الواقعة ضمن النطاقات المناخية الجافة وشبه الجافة كما هو الحال بالنسبة للمملكة العربية السعودية. وعليه فإن حجم الموارد المائية السطحية يرتبط بشكل مباشر بنظام تساقط الأمطار وبفترات هطولها. ويوفر نظام تساقط الأمطار بمختلف مناطق المملكة العربية السعودية موارد مائية سطحية هائلة صارت مصدر خطر على المناطق العمرانية بما تتسبب فيه من جريان سيلي غزير ومركز في الزمان والمكان يتطلب التعرف على متوسطها الفعلي المرتبط بعدد الأيام الممطرة بدلاً من المتوسط الحسابي. ويساعد تقدير المتوسط اليومي الفعلي للأمطار في تحديد كميات الأمطار التي لها القدرة على توليد جريان سطحي سيلي بإمكانه أن يحدث تأثيرات بيئية خاصة على المناطق السكنية والعمرانية من جهة. كما يساعد تقدير المتوسط اليومي الفعلي للأمطار على تحديد الفائض المائي الذي يوفر حجما كبيراً من الموارد المائية السطحية التي يمكن الاستفادة منها في مختلف مجالات النشاط البشري اليومي والزراعي.

وتقدم هذه الدراسة نموذجاً تطبيقياً لحساب المتوسط اليومي الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 (48 سنة) مشتركة بمجموع 10 محطات لقياس الأمطار بمنطقة الرياض يمكن تطبيقها على إجمالي المحطات المطرية والمناخية خاصة بالمناطق التي تتسم بمعدلات مطرية تكفي لتوفير موارد مائية سطحية خلال فترات الجريان السطحي العادي أو السطحي السيلي. ويمكن الاستفادة من هذه الموارد السطحية في مختلف المجالات مع زيادة الطلب على المياه بسبب الزيادة السكانية من جهة ومع تنوع المشاريع التنموية التي تشهدها منطقة الجوف حالياً وتسعى لتحقيقها ضمن استراتيجية المملكة للمياه 2030.

ومن خلال ما تقدم يمكننا صياغة التساؤلات التي تطرحها هذه الدراسة في ما يلي:

1- ما هي الخصائص الإحصائية لتوزيع الأمطار السنوية بمنطقة الرياض؟
2- ما هي الخصائص الإحصائية لتوزيع عدد الأيام الممطرة بمنطقة الرياض؟
3- ما هي الخصائص الإحصائية لتوزيع المتوسط الفعلي اليومي للأمطار السنوية بمنطقة الرياض؟
4- ما هي العلاقة بين كميات الأمطار السنوية وعدد الأيام المطيرة بمنطقة الرياض؟

ونظراً لارتباط نظام الهطول المطري بتكرار عدد الأيام الممطرة وبتوزيعها المكاني فإن هذه الدراسة تهدف إلى تحليل:

1- الخصائص الإحصائية لتوزيع الأمطار السنوية بمنطقة الرياض؟
2- الخصائص الإحصائية لتوزيع عدد الأيام الممطرة بمنطقة الرياض؟
3- الخصائص الإحصائية لتوزيع المتوسط الفعلي اليومي للأمطار السنوية بمنطقة الرياض؟
4- العلاقة بين كميات الأمطار السنوية وعدد الأيام المطيرة بمنطقة الرياض؟

2- أهمية موضوع الدراسة

من ما تقدم تتمثل أهمية موضوع هذه الدراسة في كونها تعتمد من جهة على حساب وتحليل المتوسط السنوي الفعلي للأمطار بواسطة العلاقة النسبية بين المجموع السنوي لها وبعدد الأيام الممطرة في السنة. ومن جهة أخرى تكمن أهمية هذه الدراسة في إمكانية وصولها إلى تحديد المتوسط الفعلي للأمطار السنوية لأنه يمثل بدقة خصائص التوزيع المكاني والزماني للأمطار ولمدى ارتباط تكرار تساقطها بالعوامل المحلية والمناخية المؤثرة على الاتجاه العام لهذا المتوسط باستخدام بيانات الأمطار ولعدد الأيام الممطرة للفترة الممتدة من يناير 1970 إلى ديسمبر 2017 بمجموع 10 محطات مطرية تقع بمنطقة الرياض في وسط المملكة العربية السعودية.

3- فرضيات الدراسة

بالنظر إلى التساؤلات والأهداف المذكورة، تفترض هذه الدراسة:

1. وجود تباينات حقيقية بين الخصائص الإحصائية لتوزيع الأمطار السنوية بمنطقة الرياض.
2. وجود تباينات حقيقية بين الخصائص الإحصائية لتوزيع عدد الأيام الممطرة بمنطقة الرياض.
3. وجود تباينات حقيقية بين الخصائص الإحصائية لتوزيع المتوسط الفعلي اليومي للأمطار السنوية بمنطقة الرياض.
4. وجود تباينات حقيقية بين العلاقة بين كميات الأمطار السنوية وعدد الأيام المطيرة بمنطقة الرياض.

4- منهجية الدراسة

تعتمد منهجية هذه الدراسة على ثلاثة محاور هي:

أ- منهجية التحليل

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الاستقرائي التحليلي في حساب المتوسط الفعلي اليومي للأمطار وتحليل خصائصه الإحصائية وفي معالجة وتحليل بيانات الأمطار اليومية المرصودة خلال الفترة 1970-2017 (48 سنة) مشتركة بمجموع 10 محطات لقياس الأمطار بمنطقة الرياض. وتحقيقاً لأهداف البحث تم ترتيب كميات الأمطار السنوية ترتيباً تصاعدياً وتقسيمها إلى فئات متجانسة بطول فئة 50 ملم لتحديد خصائص التوزيع المكاني والزماني لكميات الأمطار وعدد الأيام الممطرة والمتوسط الفعلي للأمطار. وقد تم حساب المتوسط اليومي الفعلي للأمطار باستخدام العلاقة النسبية بين مجموع الأمطار السنوية ومجموع عدد الأيام الممطرة بالسنة. كما تم تطبيق عدة مؤشرات إحصائية هي المتوسط الحسابي (X′) والانحراف المعياري (Sd) ومعامل التباين (CV) والخطأ المعياري للمتوسط (S_E X′) والانحراف المعياري (S_E Sd) والمجموع التراكمي للأمطار Σ(P) والنسبة المئوية (%) في تحليل الخصائص الإحصائية للأمطار.

بالإضافة إلى ذلك تم فحص ثماني علاقات ارتباط بين كميات الأمطار وعدد الأيام الممطرة باستخدام عملية Curve Estimation من صندوق Regression في أدوات التحليل Analyze-Regression المتاحة في بيئة SPSS23. ولتطبيق هذا الفحص تم استخدام الفئات المطرية وتعريف كل فئة بمعامل Factor كمتغير مستقل وتحديد الفئة المطرية كمعامل تابع.

ب- مصادر البيانات

تستخدم هذه الدراسة بيانات الأمطار اليومية وعدد الأيام الممطرة المرصودة خلال الفترة 1970-2017 (48 سنة) مشتركة بمجموع 10 محطات لقياس الأمطار تقع بمنطقة الرياض وتابعة لوزارة الزراعة والمياه والبيئة وهي: (الجدول 1)

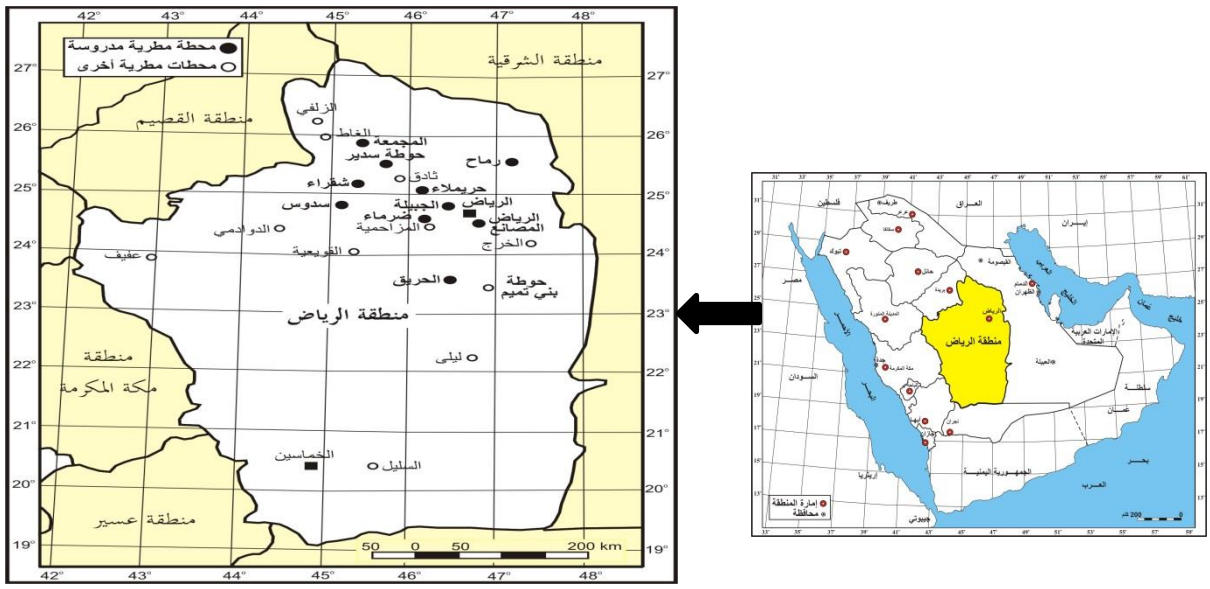
ج- حدود الدراسة

تتمثل حدود الدراسة في ما يلي:

أ- الحدود المكانية

تقع المحطات المطرية المدروسة داخل الحدود الإدارية لمنطقة الرياض وتمتد بين دائرتي العرض ′21o30 و′26o30 شمالاً وبين خطي الطول ′42o30 و′47o30 شرقاً (الجدول 1) و(الشكل 1)

وتمتد هذه المحطات بوسط هضبة نجد على ارتفاعات تتراوح بين 568 م و841 م وداخل مساحات التصريف للعديد من الأحواض المائية التي تتغذى أوديتها من مياه الأمطار خلال فترات تساقطها على هذه منطقة الرياض ووسط المملكة العربية السعودية (الشكل 1).



الجدول (1) بيانات مواقع المحطات المدروسة

		رقم المحطة	دائرة العرض (شمالا)	خط الطول (شرقا)	الارتفاع (متر)
		460	″05.37′4°552	″88.47′21°45	771
المحطة	كود المحطة	452	″12.55′33°42	″02.38′44°46	602
المجمعة	R101	470	24°36′14.24″	″56.45′07°46	671
الجبيلة	R106	464	24°53′57.32″	″17.52′26°46	737
سدوس	R102	461	24°59′40.77″	″82.06′13°46	808
رماح	HU103	954	″000.6′33°52	″00.60′08°47	568
شقراء	R006	457	″000.6′13°52	″00.00′15°45	733
حوطة سدير	R005	456	″32.26′35°52	″09.30′37°45	680
الحريق	R104	453	23°37′04.41″	6°31′21.16″4	675
حريملاء	R103	462	25°07′32.66″	″50.43′07°46	841

ب- الحدود الزمانية

تنحصر الحدود الزمنية في السلسة الزمنية لبيانات الأمطار اليومية ولعدد الأيام الممطرة المدروسة من 1 يناير 1970 إلى 31 ديسمبر 2017 (48 سنة) بمجموع 10 محطات مطرية تقع بمنطقة الرياض في وسط المملكة العربية السعودية (الملحق 1 والملحق 2).

5- الإطار النظري

يتشكل الإطار النظري لهذه الدراسة من قسمين هما:

5-1- المصطلحات والمفاهيم

تحتوي المفاهيم والمصطلحات التي ترتكز هذه الدراسة على ما يلي:

- المحطة المطرية Rain Gauge

هي المحطة التي تقيس عمق (سمك) الأمطار اليومية بواسطة جهاز قياس الأمطار العادي Pluviometer خلال فترة زمنية محددة. ويتسم هذا النوع من المحطات بمواصفات عالمية وضعتها المنظمة العالمية للأرصاد World Meteorology Organization (WMO) (Strangeways, 2011).

- الأمطار اليومية Daily rainfall

هي كمية الأمطار التي لا تقل عن 0.1 ملم/يوم والمتساقطة خلال الفترة الممتدة من التاسعة صباحاً لليوم السابق حتى التاسعة صباحاً لليوم الموالي له مباشرة (وزارة البيئة والمياه والزراعة، 2020).

- المجموع السنوي للأمطار Annual rainfall

هو عبارة عن المجموع التراكمي لكميات الأمطار اليومية المتساقطة خلال نفس السنة بنفس المحطة.

- عدد الأيام الممطرة Rainy days

هو عبارة عن المجموع التراكمي للأيام التي تساقطت خلالها كميات الأمطار التي تفوق 0.1 ملم/يوم التي تم رصدها بنفس المحطة المطرية خلال نفس السنة.

- المتوسط البومي الفعلي للأمطار Effective mean rainfall

هو عبارة عن النسبة بين المجموع السنوي للأمطار وعدد الأيام الممطرة لنفس السنة.

- التباين Variaton

هو عبارة عن النسبة بين المجموع التراكمي لفروقات كميات الأمطار اليومية ومتوسطها الفعلي من جهة وعدد القراءات خلال الفترة 1970-2017 بنفس المحطة المطرية (Sharina, 2008).

- الانحراف المعياري Standard deviation

هو عبارة عن مقدار تشتت كميات الأمطار اليومية عن المتوسط الفعلي لها خلال الفترة 1970-2017. ويتم حساب الانحراف المعياري بواسطة الجذر التربيعي للتباين Variation. (Altman, et al., 2005)

- معامل التباين Coefficient of Variation

هو عبارة عن النسبة بين الانحراف المعياري والمتوسط الفعلي للأمطار اليومية خلال الفترة 1970-2017.

- الخطأ المعياري للمتوسط Standard Error of Mean

هو مدى احتمالية اختلاف أو تباين كمية الأمطار اليومية عن قيمة متوسطها الفعلي خلال الفترة المدروسة. ويتناسب الخطأ المعياري للمتوسط طردياً مع زيادة التباين بين كميات الأمطار اليومية ومتوسطها الفعلي بالمحطة المطرية.

- الخطأ المعياري للانحراف المعياري Standard Error of Standard deviation

هو مدى احتمالية اختلاف أو تباين انحراف كمية الأمطار اليومية عن قيمة الانحراف المعياري لها خلال الفترة المدروسة. ويتناسب الخطأ المعياري للانحراف المعياري كذلك طردياً مع زيادة التباين بين انحراف كميات الأمطار اليومية عن انحرافها المعياري بالمحطة المطرية.

2-5- الدراسات السابقة

لقد نالت دراسة القيمة الفعلية للأمطار اهتمام علماء المناخ منذ بداية القرن الماضي مع ظهور تصنيفات المناخ العالمي الذي أنجزه Köppen في عام 1900. وتنوعت بعد ذلك الدراسات التي تناولت تحليل الأمطار وتوظيفها في التعرف على خصائص نظام التساقط وتباين التوزيع المكاني لها من منطقة لأخرى باستخدام القياسات الفعلية بمختلف شبكات المحطات المطرية التي تم إنشاؤها بالعديد من الدول الأوروبية والولايات المتحدة الأمريكية. في حين اعتمدت دراسات عالمية أخرى في تقدير وتحليل القيمة الفعلية للأمطار على العلاقة بين كمية الأمطار المتساقطة وكمية التبخر المصاحب لها (Thornthwaite & Mattei, 1955) وأخرى على تغير الميزان الرطوبي اليومي للتربة (Tanner, 1967). كما ظهرت دراسات أخرى بالهند اهتمت بالقيمة الفعلية للأمطار لسد احتياجات المحاصيل الزراعية من الري خلال فترات العجز المائي وفترات الجفاف (FAO, 1974)، في حين تمكن Ramdas في عام من التوصل إلى قياس القيمة الفعلية للأمطار بواسطة القياس الحقلي المباشر.

وفي غياب قياسات الأمطار الفعلية ظهرت بمختلف مناطق العالم العديد من النماذج الرياضية كبديل علمي لتقدير كمياتها من أكثرها شيوعاً واستخداماً في الدراسات المناخية والزراعية والهيدرولوجية معادلة Renfro (Chow, 1964) وطريقة المكتب الأمريكي لاستصلاح التربة U.S. Bureau of Reclamation (Stamm, 1967) والنموذج الهندي للعلاقة بين التبخر- نتح والأمطار (FAO, 1974) ونموذج الهيئة الأمريكية لحماية التربة USDA-SCS (USDA- SCS, 1967b ; 1697c ; 1969).

وتعتبر الأمطار أكثر العناصر المناخية التي نالت اهتمام الدراسات المحلية منذ ثمانينات القرن الماضي نذكر منها كذلك على سبيل المثال لا الحصر دراسة (الجراش، 1981) التي تناولت فحص الافتراضات التقليدية المتعلقة بتحديد العوامل المؤثرة في كمية الأمطار بالتطبيق التحليلي على ظاهرة التساقط المطري في 60 محطة قياس منتشرة على مرتفعات البحر الأحمر وعلى ما يحف بها من سهول ساحلية في الغرب ومن سهول مرتفعة في الشرق. ولقد توصلت هذه الدراسة إلى بناء نموذجين إحصائيين لتفسير العوامل المؤثرة على البيانات المكانية في توزيع الأمطار. كما تطرق (السيد، 1981) في دراسة أخرى إلى تحليل بيانات الأمطار في محطتي خميس مشيط بمرتفعات عسير ومحطة جدة على ساحل البحر الأحمر لمعرفة فصلية الأمطار. وتناول كذلك (الكليب، 1982) تحليل تباين تساقط وتوزيع كميات الأمطار على شبه الجزيرة والمملكة العربية السعودية ومدى تأثرها بالمنخفضات الجوية الغربية التي تعبر شمال البلاد خلال الفصل البارد الممتد من نوفمبر إلى أبريل.

وتوصل (الجراش، 1983) إلى بناء 3 نماذج رياضية اعتمادية مقبولة لتقدير المتوسط السنوي لكميات الأمطار على غرب المملكة العربية السعودية المنحصرة بين ′16o30 و′29o07 شمالا وبين ′35o00 و′44o00 شرقا. ومن الدراسات المحلية التي اهتمت بتحليل وتفسير التباين الزمني والمكاني للأمطار دراسة (البليهد، 1985) التي تناولت تحليل خصائص كميات الأمطار الفصلية والسنوية في مرتفعات عسير ومدى تأثرها بالتيارات الهوائية والتضاريس الجبلية ودراسة (البليهد، 1986) التي تناولت توزيع الأمطار وتذبذبها على المستوى المكاني والزمني في المملكة العربية السعودية. بالاضافة إلى ذلك قدم (محمدين، 1989) نموذجاً يمكن تطبيقه على كثير من مناطق المملكة للتعرف على النمط الكمي والزماني للأمطار بهدف الوصول إلى بعض المعايير التي يمكن الاسترشاد بها للوصول إلى بعض التوقعات باحتمال حدوث الجفاف. كما قام (محمد، 1993) بتحليل تذبذب نظام تساقط الأمطار بالاعتماد على معامل التباين للأمطار الشهرية في 25 محطة بمختلف مناطق المملكة العربية السعودية. وقام كذلك (الصالح، 1997) بدراسة أخرى تناولت تحديد التباينات الزمنية والمكانية لبيانات الأمطار اليومية للفترة الممتدة من 1964 إلى 1993 بمحطة الرياض. كما اعتمدت (غزيز، 2002) على المنهج الاستقرائي والتحليل الإحصائي التفصيلي المبسط إلى جانب

الأساليب الإحصائية والتمثيل البياني والخرائطي في تحليل البيانات المطرية للفترة ما بين عامي 1970.1997م في 35 محطة لقياس الأمطار تابعة لوزارة الزراعة والمياه والرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة تقع على ارتفاعات تفوق 800 متر بمنطقة عسير. واستخدمت دراسة (الحربي، 2009) السجلات الشهرية لمجموع 72 محطة لقياس الأمطار ظهرت من خلالها أن المعدلات السنوية تتراوح بين 18 و518 ملم مع وجود محطات سجلت أمطارًا في كل الشهور، في حين أن محطات أخرى سجلت هطول الأمطار في بعض الشهور فقط. وكشفت هذه الدراسة عن وجود نظام تساقط متذبذب يتسم بمعامل تباين بلغ 60% في 52 محطة وتجاوز 100% في 6 محطات.

ومع بداية تسعينات القرن الماضي اتجهت بعض الدراسات إلى استخدام التحليل التكراري للأمطار لفهم تباين التوزيع المكاني والزماني لها وتقدير احتمالية حدوثها كدراسة (الصالح، 1994) لتكرار كميات الأمطار السنوية وأعلى كمية أمطار يومية في السنة بمنطقة القويعية ودراسة (السيد، 1995) التي هدفت إلى استعراض تحليل احتمالية حدوث الأمطار بكميات محددة فضلا عن تحديد كميات الأمطار التي يمكن الاعتماد عليها بنسبة 80% و90% أثناء السنة في أنحاء المملكة المختلفة.

ومن خلال ما تقدم فإن هذه الدراسة تختلف عن مثيلاتها من حيث أنها تستخدم المتوسط الفعلي للأمطار اليومية المحسوب من العلاقة النسبية بين مجموع الأمطار للسنة وعدد الأيام الممطرة المصاحبة له بكل محطة مطرية. ويعتبر الماوسط الفعلي المحسوب بواسطة كميات الأمطار اليومية من أفضل المقاييس المناخية للاستدلال وتحليل التباينات المكانية والزمانية للأمطار بالمناطق الجافة.

7- مناقشة النتائج

تتلخص نتائج هذه الدراسة في ما يلي:

7-1- الخصائص الإحصائية لتوزيع الأمطار السنوية

يتسم توزيع الأمطار السنوية بتباينات مكانية وزمانية يمكننا استخلاصها من التوزيع التكراري لكمياتها بالمحطات المدروسة (الجدول 2). فمن خلال بيانات الجدول 2 نجد أن أمطار الفئتين (0-50 ملم) و(50-100 ملم) تشكل أكبر تكرارات الأمطار خلال الفترة المدروسة بمجموع يتراوح بين 28 تكرار بمحطة المجمعة و44 تكرار بمحطة الحريق، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي 58.3% و91.7% من إجمالي تكرار الأمطار السنوية للفترة 1970-2017 بالمحطات المدروسة (الأشكال من 2 إلى 11).

كما يتراوح تكرار أمطار الفئة (100-150 ملم) بين 3 بمحطتي الحريق وحوطة سدير و11 بمحطة حريملاء، أي ما يعادل نسبة من إجمالي تكرارات الأمطار السنوية تتراوح على التوالي 6.3% و22.9% بالمحطتين. وعليه فإن إجمالي الفئات المطرية الثلاث يتراوح بين 38 بمحطة المجمعة و47 بمحطة الحريق، وهو يعادل نسبة تتراوح على التوالي بين 79.2% و97.9% من إجمالي تكرارات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بالمحطات المدروسة.

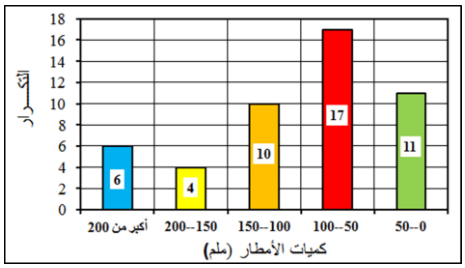
ولتحليل خصائص توزيع الأمطار السنوية تم حساب عدة مؤشرات إحصائية يلخصها الجدول 3، بحيث يتبين أن متوسط الأمطار السنوية يتراوح بين 48.8 ملم بمحطة ضرماء و115.1 ملم بمحطة حوطة سدير، أي ما يعادل فارقاً قدره 71.6 ملم ونسبة قدرها 62.2% بين المتوسطين. ويعكس هذا الفارق بوضوح تذبذب تساقط الأمطار وتباين توزيعها المكاني بمنطقة الرياض، لأن المحطتين تتواجدان على مسافة لا تزيد عن 150 كلم جواً. ويتراوح الانحراف المعياري للأمطار بين 48.6 ملم بمحطة ضرماء و78.8 ملم بمحطة المجمعة، وهي قيم تعكس مدى تباين كميات الأمطار عن متوسطاتها بالمحطة الواحدة من جهة وبين المحطتين من جهة ثانية. ويتسم توزيع الأمطار

بخطأ معياري للمتوسط وللانحراف المعياري يتراوح على التوالي بين 7.0 و11.4 ملم/سنة وبين 5.0 و8.0 ملم/سنة بمحطتي ضرما الأقل تساقطاً والمجمعة الأكثر مطراً.

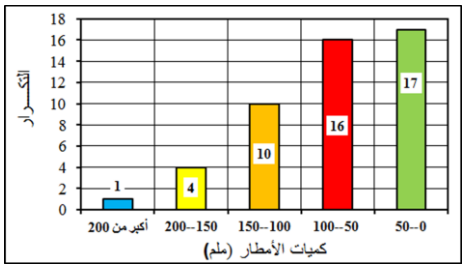
ويؤكد معامل التباين هذه الفروق بقيم تتراوح بين 65% بمحطة سدوس و121% بمحطة حوطة سدير، أي أن توزيع الأمطار السنوية بمحطة سدوس يعتبر أقل تذبذباً في توزيعه وتباينه مقارنة مع نظيره بجميع المحطات المدروسة وأن توزيع الأمطار بمحطة حوطة سدير هو الأكثر تذبذباً وتبايناً. وقد انعكست التباينات الزمانية والمكانية للأمطار السنوية بوضوح على توزيع الكميات القصوى والدنيا منها وعلى مجموعها التراكمي وعلى تكرار السنوات التي تتسم بكميات مطرية تفوق المتوسط وعلى تراكم كمياتها من الأمطار ونسبتها من إجمالي الهطول للفترة 1970-2017 (48 سنة).

الجدول(2) فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بالمحطات المدروسة

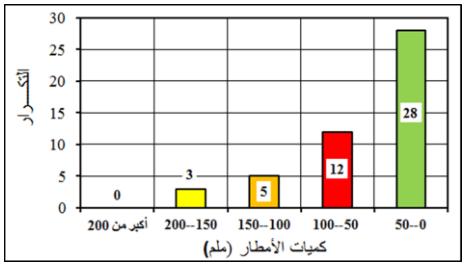
المحطة		0 -50	50 -100	100 -150	150 -200	أكبر من 200	المجموع
المجمعة	التكرار	11	17	10	4	6	48
	%	22.9	35.4	20.8	8.3	12.5	100
الرياض المصانع	التكرار	17	16	10	4	1	48
	%	35.4	33.3	20.8	8.3	2.1	100
ضرماء	التكرار	28	12	5	3		48
	%	58.3	25.0	10.4	6.3	0.0	100
الجبيلة	التكرار	21	13	8	3	3	48
	%	43.8	27.1	16.7	6.3	6.3	100
سدوس	التكرار	18	17	7	5	1	48
	%	37.5	35.4	14.6	10.4	2.1	100
رماح	التكرار	21	15	8	2	2	48
	%	43.8	31.3	16.7	4.2	4.2	100
شقراء	التكرار	12	20	10	4	2	48
	%	25.0	41.7	20.8	8.3	4.2	100
حوطة سدير	التكرار	34	9	3	1	1	48
	%	70.8	18.8	6.3	2.1	2.1	100
الحريق	التكرار	35	9	3	1		48
	%	72.9	18.8	6.3	2.1	0.0	100
حريملاء	التكرار	13	17	11	5	2	48
	%	27.1	35.4	22.9	10.4	4.2	100
المجموع	التكرار	210	145	75	32	18	480
	%	43.8	30.2	15.6	6.7	3.8	100



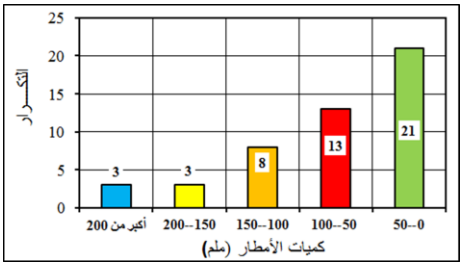
الشكل 2 : فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة المجمعة



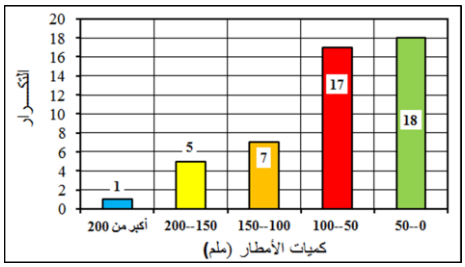
الشكل 3 : فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الرياض المصانع



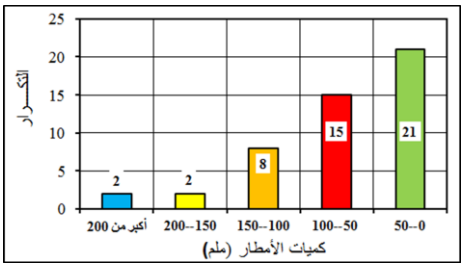
الشكل 4 : فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة ضرماء



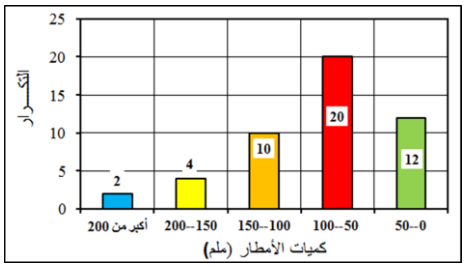
الشكل 5 : فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الجبيلة



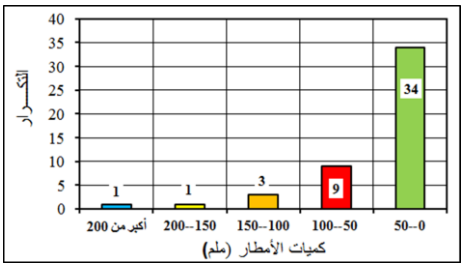
الشكل 6 : فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة سدوس



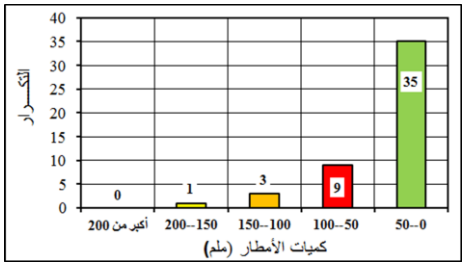
الشكل 7 : فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة رماح



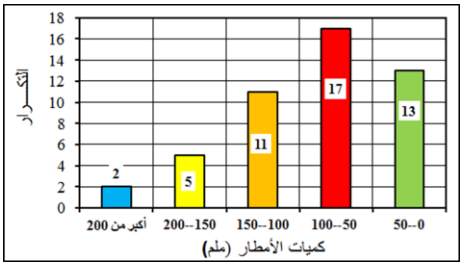
الشكل 8 : فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة شقراء



الشكل 9 : فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة حوطة سدير



الشكل 10: فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الحريق



الشكل 11: فئات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة حريملاء

وعليه نجد أن الكميات القصوى من الأمطار السنوية تتراوح بين 182.5 ملم (1976) بمحطة ضرما و386.4 ملم (1997) بمحطة حوطة سدير، وأن الكميات الدنيا منها تتراوح بين 2.0 ملم بمحطات الحريق وحوطة سدير وسدوس و16.1 ملم بمحطة شقراء. ويتراوح المجموع التراكمي لإجمالي الأمطار للفترة المدروسة بين 2341.6 ملم بمحطة ضرما و5526.8 ملم حوطة سدير. في حين يتراوح المجموع التراكمي لأمطار السنوات التي تتسم بكميات تفوق المتوسط بين 1925.3 ملم و3501.3 ملم بالمحطتين المذكورتين على التوالي. وبالرغم من تجانس توزيع تكرار هذه السنوات إلا أن نسبة المجموع التراكمي لأمطارها من إجمالي الهطول المطري للفترة المدروسة تتباين من محطة لأخرى، وهي تتراوح بين 68.7% بمحطة المصانع و82.2% بمحطة ضرما.

2-7- الخصائص الإحصائية لتوزيع عدد الأيام الممطرة

يتبين من التوزيع التكراري لعدد الأيام الممطرة أن هناك نوع من التجانس في توزيع عدد الأيام الممطرة بالفئات بمحطة المجمعة، بحيث نجد أن تكرار الفئات (0-5 يوم/سنة) و(10-15 يوم/سنة) و(15-20 يوم/سنة) يبلغ على التوالي 10 و11 و10 تكرار/سنة، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي 20.8% و22.9% و20.8% من إجمالي تكرارات الأيام الممطرة بالمحطة (الجدول 4 والأشكال من 12 إلى 21). في حين تشكل فئات التكرار الذي يفوق 10 تكرار/سنة مجموع 37 تكرار، أي ما يعادل 77.1% من إجمالي تكرار الأيام الممطرة بمحطة الرياض المصانع. كما تشكل الفئتان (0-5 يوم/سنة) و(5-10 يوم/سنة) أهم ففئات تكرار الأيام الممطرة بما يعادل 35 تكرار بمحطة ضرماء و33 تكرار بمحطة الجبيلة و25 تكرار بمحطة سدوس و38 تكرار بمحطة رماح و35 تكرار بمحطة الحريق، أي ما يمثل نسبة من إجمالي تكرار الأيام الممطرة قدرها 77.1% بمحطة ضرماء و68.8% بمحطة الجبيلة و72.9% بمحطات سدوس ورماح

الجدول (3) الخصائص الإحصائية لبيانات الأمطار السنوية للفترة 1970-2017 بالمحطات المدروسة

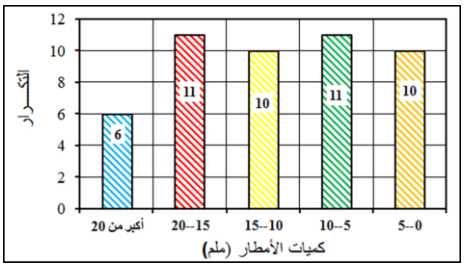
المتغيرات	المجمعة	المصانع	ضرماء	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
X'	103.8	79.5	48.8	73.9	79.2	68.6	85.7	115.1	47.7	85.8
Sd	78.8	53.0	48.6	63.3	51.3	62.0	58.1	77.6	54.7	59.5
CV	0.76	0.67	1.00	0.86	0.65	0.90	0.68	0.67	1.15	0.69
SE X'	11.4	7.7	7.0	9.1	7.4	8.9	8.4	11.2	7.9	8.6
SE Sd	8.0	5.4	5.0	6.5	5.2	6.3	5.9	7.9	5.6	6.1
Max.	342.2	233.3	182.5	272.0	207.8	261.4	234.5	386.4	291.5	237.8
Min.	2.5	11.6	3.0	9.0	2.0	8.4	16.1	8.0	2.0	13.0

المتغيرات	المجمعة	المصانع	ضرماء	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
Σ(P)تراكم	4984.0	3817.0	2341.6	3547.3	3641.8	3292.6	4114.5	5526.8	1907.0	4120.3
(P>X') تكرار	20	20	20	18	21	22	22	18	13	20
Σ(P>X') تراكم	3501.3	2623.2	1925.3	2504.9	2619.3	2676.6	2940.0	3435.8	1381.7	2885.7
Σ(P>X') تراكم%	70.3	68.7	82.2	70.6	71.9	81.3	71.5	62.2	72.5	70.0

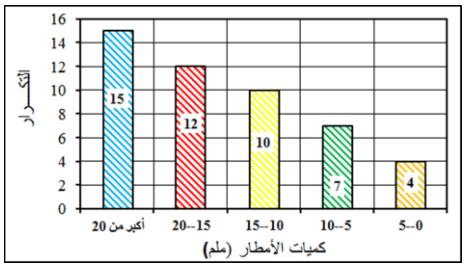
X': المتوسط، Sd: الانحراف المعياري، CV: معامل التباين، SE X': الخطأ المعياري للمتوسط، SE Sd: الخطأ المعياري للانحراف المعياري، .Max: القيمة القصوى للأمطار، .Min: القيمة الدنيا للأمطار، Σ(P): المجموع التراكمي لكميات لأمطار، تكرار :('P>X) تكرار كميات الأمطار الأكبر من المتوسط، Σ('P>X): المجموع التراكمي لكميات الأمطار التي تفوق المتوسط.

الجدول (4)فئات عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بالمحطات المدروسة

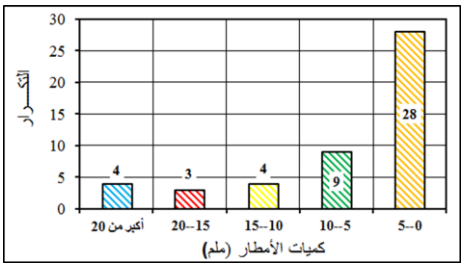
المحطة		0 -50	50 -100	100 -150	150 -200	أكبر من 200	المجموع
المجمعة	التكرار	10	11	10	11	6	48
	%	20.8	22.9	20.8	22.9	12.5	100
الرياض المصانع	التكرار	4	7	10	12	15	48
	%	8.3	14.6	20.8	25.0	31.3	100
ضرماء	التكرار	28	9	4	3	4	48
	%	58.3	18.8	8.3	6.3	8.3	100
الجبيلة	التكرار	15	18	5	5	5	48
	%	31.3	37.5	10.4	10.4	10.4	100
سدوس	التكرار	22	13	6	4	3	48
	%	45.8	27.1	12.5	8.3	6.3	100
رماح	التكرار	24	14	4	3	3	48
	%	50.0	29.2	8.3	6.3	6.3	100
شقراء	التكرار	11	12	12	6	7	48
	%	22.9	25.0	25.0	12.5	14.6	100
حوطة سدير	التكرار	5	3	2	9	29	48
	%	10.4	6.3	4.2	18.8	60.4	100
الحريق	التكرار	25	10	5	2	6	48
	%	52.1	20.8	10.4	4.2	12.5	100
حريملاء	التكرار	6	7	8	4	23	48
	%	12.5	14.6	16.7	8.3	47.9	100
المجموع	التكرار	150	104	66	59	101	480
	%	31.3	21.7	13.8	12.3	21.0	100



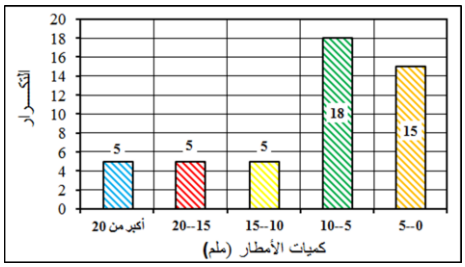
الشكل 12 : فئات عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بمحطة المجمعة



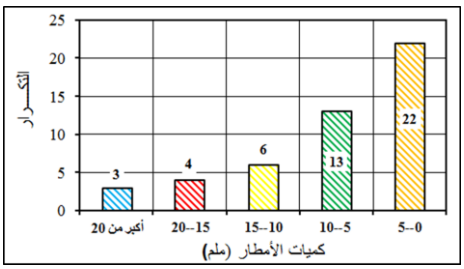
الشكل 13 : عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الرياض المصانع



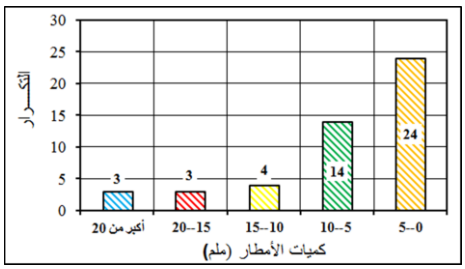
الشكل 14 : عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بمحطة ضرماء



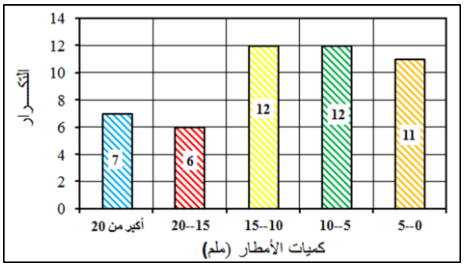
الشكل 15 : عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الجبيلة



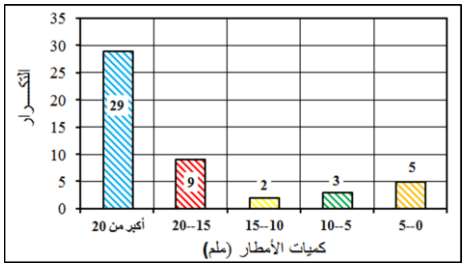
الشكل 16 : عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بمحطة سدوس



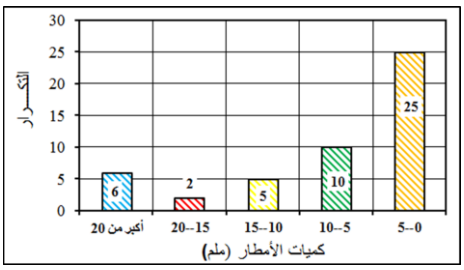
الشكل 17 : عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بمحطة رماح



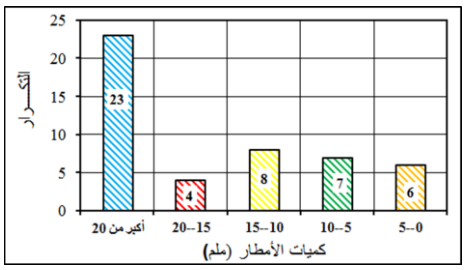
الشكل 18 : عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بمحطة شقراء



الشكل 19 : عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بمحطة حوطة سدير



الشكل 20 : عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الحريق



الشكل 21 : عدد الأيام الممطرة خلال الفترة 1970-2017 بمحطة حريملاء

والحريق. وعلى خلاف ذلك تشكل فئات الأيام الممطرة التي يقل تكرارها عن 15 يوم/سنة إجمالي تكرار قدره 35 بمحطة شقراء، أي ما يعادل 72.9% من إجمالي التكرارات بالمحطة المذكورة. ومن ناحية أخرى يبلغ تكرار فئات الأمطار التي يفوق تكرارها 10 تكرار/سنة 40 و35 تكرار/سنة بمحطتي حوطة سدير وحريملاء على التوالي، أي ما يمثل نسبة من إجمالي التكرارات قدرها 83.3% و72.9% بالمحطتين المذكورتين.

ولتحليل خصائص توزيع عدد الأيام الممطرة تم كذلك حساب عدة مؤشرات إحصائية يلخصها الجدول 5، بحيث يتبين أن متوسط عدد الأيام الممطرة يتراوح بين 7 يوم/سنة بمحطة ضرماء و23 يوم/سنة بمحطة حوطة سدير، أي ما يعادل فارقاً قدره 16 يوم/سنة ونسبة قدرها 59.6% بين المتوسطين. ويعكس هذا الفارق بوضوح عدم انتظام تساقط الأمطار وتباين تكرارها في الزمان والمكان بمنطقة الرياض، لأن المحطتين تتواجدان على مسافة لا تزيد عن 150 كلم جواً. ويتراوح الانحراف المعياري لعدد الأيام الممطرة بين 7 يوم/سنة بمحطات ضرماء والجبيلة وسدوس ورماح و15 يوم/سنة بمحطة حريملاء، وهي قيم تعكس مدى تباين التوزيع المكاني لعدد الأيام الممطرة عن متوسطاتها بالمحطة الواحدة من جهة وبين المحطتين من جهة ثانية. ويتسم توزيع عدد الأيام الممطرة بخطأ معياري للمتوسط يتراوح على التوالي بين 1 يوم/سنة بمحطات ضرماء والجبيلة وسدوس ورماح و2.2 يوم/سنة بمحطة حريملاء كما يتسم الانحراف المعياري بخطأ معياري يقل عن يوم واحد بالسنة بمحطات ضرماء والجبيلة وسدوس ورماح و2 يوم/سنة بمحطة حريملاء.

ويؤكد معامل التباين هذه الفروق بقيم تتراوح بين 54% بمحطة حوطة سدير و106% بمحطة ضرماء، أي أن عدد الأيام الممطرة بمحطة حوطة سدير يعتبر أقل تذبذباً في توزيعه وتباينه مقارنة مع نظيره بجميع المحطات المدروسة وأن توزيع عدد الأيام الممطرة بمحطة ضرماء هو الأكثر تذبذباً وتبايناً. وقد انعكست التباينات الزمانية والمكانية لعدد الأيام الممطرة بوضوح على توزيع التكرار الأقصى والأدنى منها وعلى مجموعها التراكمي وعلى تكرار السنوات التي تتسم بعدد الأيام الممطرة التي تفوق المتوسط وعلى إجمالي تكرارها ونسبتها من إجمالي عدد أيام الهطول للفترة 1970-2017 (48 سنة).

وعليه نجد أن العدد الأقصى من الأيام الممطرة يتراوح بين 27 يوم/سنة (1976) بمحطة الجبيلة و59 يوم/سنة (1982) بمحطة حوطة سدير، وأن أدنى عدد من الأيام الممطرة منها يتراوح بين 1 يوم/سنة بمحطات الحريق وحوطة سدير وسدوس ورماح وضرماء والمجمعة و5 يوم/سنة بمحطة حريملاء. ويتراوح المجموع التراكمي لإجمالي عدد الأيام الممطرة للفترة المدروسة

الجدول (5) الخصائص الإحصائية لعدد الأيام الممطرة للفترة 1970-2017 بالمحطات المدروسة

المتغيرات	المجمعة	المصانع	ضرماء	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
X'	13	19	7	10	9	7	11	23	9	22
Sd	9	11	7	7	7	7	8	12	9	15
CV	0.68	0.59	1.06	0.75	0.83	0.96	0.68	0.54	0.93	0.67
SE X'	1.2	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.8	1.2	2.2
SE Sd	0.9	1.1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	1.3	0.9	1.5
Max	44	52	32	27	32	29	31	59	36	53
Min	1	4	1	2	1	1	2	1	1	5
Σ(D)تراكم	610	897	328	457	399	335	545	1116	369	1051
تكرار(D>X')	449	503	242	287	250	251	406	811	297	826
Σ(D>X') تراكم	23	16	16	16	15	19	23	25	18	24
Σ(D>X') تراكم%	47.9	33.3	33.3	33.3	31.3	39.6	47.9	52.1	37.5	50.0

X': المتوسط، Sd: الانحراف المعياري، CV: معامل التباين، SE X': الخطأ المعياري للمتوسط، SE Sd: الخطأ المعياري للانحراف المعياري، .Max: أكبر عدد من الأيام، .Min: أدنى عدد من الأيام، Σ(D): المجموع التراكمي لعدد الأيام، تكرار:(D>X') تكرار عدد الأيام الأكبر من المتوسط، Σ(P>X'): المجموع التراكمي لعدد الأيام التي تفوق المتوسط.

بين 328 يوم بمحطة ضرما و1116 يوم بمحطة حوطة سدير، في حين يتراوح المجموع التراكمي لعدد الأيام الممطرة للسنوات التي تتسم بكميات تفوق المتوسط بين 242 يوم بمحطة ضرماء و826 يوم بمحطة حريملاء. ويتسم توزيع تكرار الأيام الممطرة خلال هذه السنوات بعدم تجانس واضح كما توضحه نسبة المجموع التراكمي من إجمالي الهطول المطري للفترة المدروسة المتباين من محطة لأخرى، وهي تتراوح بين 31.3% بمحطة سدوس و52.1% بمحطة حوطة سدير.

3-7- الخصائص الإحصائية لتوزيع المتوسط الفعلي اليومي للأمطار

المتوسط الفعلي اليومي للأمطار هو متوسط كمية الأمطار التي بإمكانها أن تتساقط خلال اليوم الواحد، وهو يستخرج من العلاقة النسبية بين المجموع المطري السنوي وعدد الأيام الممطرة في السنة (الجدول 6).

ويتسم التوزيع التكراري للمتوسط الفعلي اليومي للأمطار بفئات مطرية تتشكل بالأساس من الفئتين (5-10 ملم/سنة) و(10-15 ملم/سنة) بمجموع 34 تكرار بمحطة المجمعة و36 تكرار بمحطة الجبيلة و29 تكرار بمحطة سدوس، أي ما يمثل نسبة من إجمالي تكرار المتوسط الفعلي للأمطار اليومية قدرها على التوالي 70.8% و75.0% و60.4% بالمحطات المذكورة (الجدول 7 والأشكال من 22 إلى 31). وتعتبر كذلك الفئتان (0-5 ملم/يوم) و(5-10 ملم/يوم) أهم الفئات المطرية للمتوسط اليومي الفعلي للأمطار بمجموع 46 تكرار بمحطة الرياض المصانع و32 تكرار بمحطة ضرماء و40 تكرار بمحطة حوطة سدير و38 تكرار بمحطة الحريق و44 تكرار بمحطة حريملاء. وتمثل هذه التكرارات نسبة من إجمالي تكرار المتوسط الفعلي اليومي للأمطار قدرها على التوالي 95.8% و66.7% و83.3% و79.2% و91.7% بالمحطات المذكورة. وفي المقابل نجد أن الفئات (0-5 ملم/يوم) و(5-10 ملم/يوم) و(10-15

ملم/يوم) هي أهم فئات المتوسط الفعلي اليومي لأمطار محطتي رماح وشقراء بمجموع تكرار بلغ 33 و41 على التوالي، أي ما يعادل نسبة قدرها أيضاً على التوالي 68.8% و85.4% من إجمالي التكرارات بالمحطتين المذكورتين.

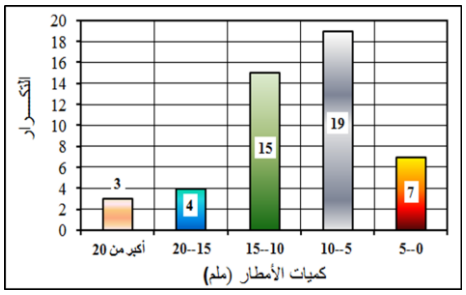
الجدول (6) المتوسط اليومي الفعلي بالمحطات المدروسة

السنة	المجمعة	المصانع	ضرماء	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
1970	18.0	1.6	0.0	2.2	3.1	0.0	5.8	4.9	3.8	0.5
1971	16.0	4.9	0.0	10.4	7.8	9.5	8.2	6.1	13.5	5.2
1972	16.9	3.6	6.7	6.0	5.5	4.4	5.6	4.2	5.4	3.0
1973	25.0	4.1	0.0	7.4	---	6.6	5.4	4.3	8.0	1.5
1974	6.5	2.4	0.0	5.2	9.9	4.9	11.3	8.4	4.9	4.6
1975	8.0	3.8	4.4	8.2	6.4	4.3	0.0	3.6	23.0	4.0
1976	9.8	4.5	5.7	5.5	6.9	9.0	0.0	6.0	0.0	3.5
1977	0.0	2.4	13.5	3.6	2.9	5.6	0.0	3.2	---	2.0
1978	3.1	4.5	11.3	7.6	7.0	0.0	0.0	3.5	4.7	3.3
1979	0.0	3.0	4.0	4.5	4.8	0.0	12.0	3.5	8.5	4.8
1980	0.0	2.9	26.1	6.4	4.8	0.0	2.8	3.5	1.7	9.5
1981	2.5	1.7	3.4	5.5	6.3	13.3	3.7	3.6	2.7	3.2
1982	7.1	2.8	5.8	6.6	6.9	8.2	5.5	3.1	3.9	6.9
1983	4.7	3.6	0.0	0.0	7.7	14.3	6.3	3.4	6.6	3.3
1984	6.0	3.9	4.0	9.6	11.6	8.6	5.4	5.1	4.0	5.6
1985	4.4	4.4	4.2	5.9	6.8	24.9	3.0	4.1	1.4	4.9
1986	8.1	5.3	5.0	10.7	12.3	1.3	4.5	4.8	7.1	6.9
1987	5.5	5.0	5.7	7.7	8.8	52.9	3.7	3.2	3.8	2.7
1988	5.3	4.7	5.5	10.1	9.8	2.3	4.2	5.1	3.4	3.8
1989	5.7	3.5	5.7	3.6	6.6	5.1	7.1	3.0	3.4	1.7
1990	7.3	2.8	4.6	5.4	7.5	81.7	3.7	3.0	1.5	5.5
1991	9.8	2.1	3.4	6.0	6.2	31.1	9.7	2.9	3.6	4.2
1992	8.1	2.5	0.0	7.3	5.6	15.0	11.4	5.5	3.5	2.9
1993	9.3	4.5	6.8	7.9	9.7	1.1	18.2	5.2	4.0	4.3
1994	5.2	2.4	3.2	3.2	3.0	44.7	5.9	3.8	2.6	1.2
1995	10.7	6.5	7.0	9.5	14.6	13.6	18.0	9.7	10.1	5.3
1996	8.2	6.2	12.1	22.4	19.1	24.4	11.0	7.1	6.9	5.3
1997	12.2	3.9	9.3	10.9	11.7	1.8	13.2	9.2	4.5	5.4
1998	8.6	4.5	8.8	0.0	6.0	32.2	10.5	5.5	12.8	3.0
1999	7.2	1.2	0.0	0.0	---	6.7	6.8	4.6	---	1.2
2000	2.1	3.9	0.0	11.2	9.2	0.0	7.7	9.6	1.6	0.0
2001	6.8	4.4	18.0	14.3	2.0	0.0	10.8	4.3	1.8	4.8
2002	5.8	1.3	5.5	8.3	17.0	0.0	0.0	4.1	---	9.0
2003	8.5	6.0	9.5	9.0	14.0	34.4	0.0	5.4	---	4.3
2004	7.6	0.0	16.0	0.0	28.0	9.7	5.0	3.9	---	8.6

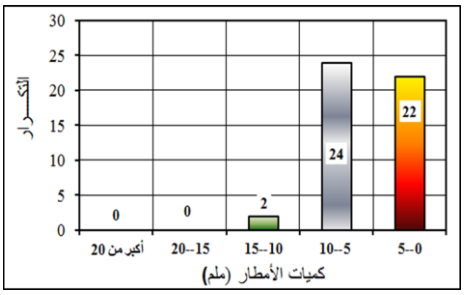
السنة	المجمعة	المصانع	ضرماء	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
2005	8.3	2.5	4.0	11.3	11.4	0.0	9.8	6.3	---	0.0
2006	6.6	6.1	4.0	9.1	9.5	0.0	7.2	3.9	21.3	0.0
2007	6.2	7.6	4.0	11.6	9.0	0.0	8.1	4.4	---	0.0
2008	15.5	5.8	3.0	4.5	28.3	13.9	12.3	9.4	4.8	0.0
2009	5.4	5.0	4.6	8.9	11.0	11.0	9.3	6.6	1.0	7.4
2010	4.3	6.8	17.5	0.0	11.7	8.3	10.1	0.0	13.0	2.9
2011	12.6	9.4	10.9	11.6	15.3	11.2	10.4	0.0	5.9	5.8
2012	3.9	4.7	3.8	10.3	18.4	5.1	6.8	8.0	0.8	3.7
2013	9.6	6.2	9.9	10.0	13.3	21.3	13.5	12.5	13.1	4.0
2014	9.1	7.6	12.8	9.4	15.3	9.3	8.2	0.5	14.6	3.5
2015	10.6	11.0	12.1	11.1	22.6	11.2	13.1	19.7	9.4	8.4
2016	11.7	5.8	17.1	12.9	20.0	11.1	13.6	9.5	---	5.5
2017	5.5	6.2	17.5	6.7	11.2	19.0	5.0	4.3	1.0	2.6

الجدول (7): فئات المتوسط الفعل اليومي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بالمحطات المدروسة

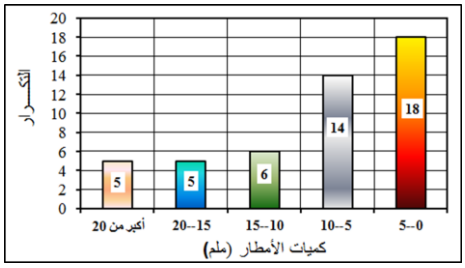
المحطة		0 -50	50 -100	100 -150	150 -200	أكبر من 200	المجموع
المجمعة	التكرار	7	19	15	4	3	48
	%	14.6	39.6	31.3	8.3	6.3	100
الرياض المصانع	التكرار	22	24	2	0	0	48
	%	45.8	50.0	4.2	0.0	0.0	100
ضرماء	التكرار	18	14	6	5	5	48
	%	37.5	29.2	12.5	10.4	10.4	100
الجبيلة	التكرار	9	17	19	2	1	48
	%	18.8	35.4	39.6	4.2	2.1	100
سدوس	التكرار	6	16	13	6	7	48
	%	12.5	33.3	27.1	12.5	14.6	100
رماح	التكرار	14	8	11	5	10	48
	%	29.2	16.7	22.9	10.4	20.8	100
شقراء	التكرار	11	16	14	5	2	48
	%	22.9	33.3	29.2	10.4	4.2	100
حوطة سدير	التكرار	18	22	6	2	0	48
	%	37.5	45.8	12.5	4.2	0.0	100
الحريق	التكرار	28	10	3	5	2	48
	%	58.3	20.8	6.3	10.4	4.2	100
حريملاء	التكرار	24	20	4	0	0	48
	%	50.0	41.7	8.3	0.0	0.0	100
المجموع	التكرار	157	166	93	34	30	480
	%	32.7	34.6	19.4	7.1	6.3	100



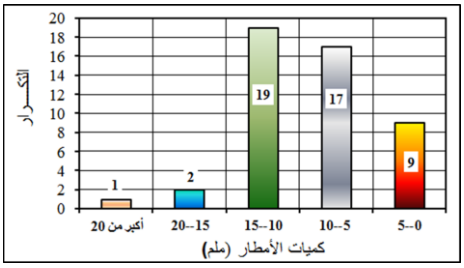
الشكل 22 : فئات المتوسط الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بمحطة المجمعة



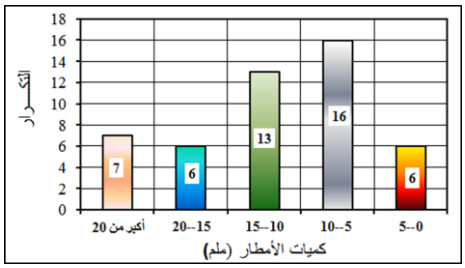
الشكل 23 : فئات المتوسط الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الرياض المصانع



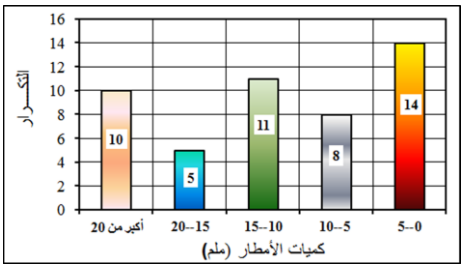
الشكل 24 : فئات المتوسط الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بمحطة ضرماء



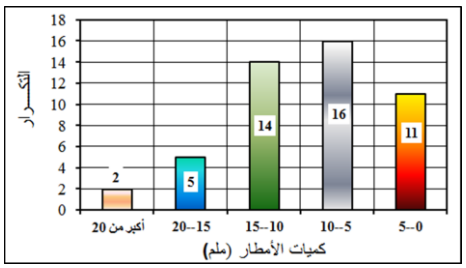
الشكل 25 : فئات المتوسط الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الجبيلة



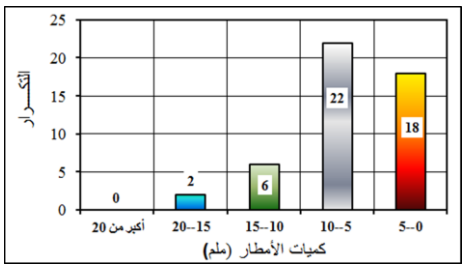
الشكل 26 : فئات المتوسط الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بمحطة سدوس



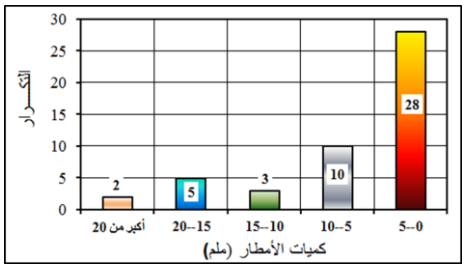
الشكل 27 : فئات المتوسط الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بمحطة رماح



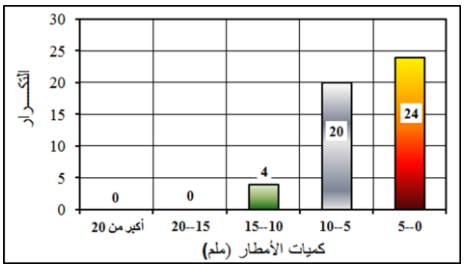
الشكل 28 : فئات المتوسط الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بمحطة شقراء



الشكل 29 : فئات المتوسط الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بمحطة حوطة سدير



الشكل 30 : فئات المتوسط الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الحريق



الشكل 31 : فئات المتوسط الفعلي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بمحطة حريملاء

ولتحليل خصائص توزيع المتوسط الفعلي للأمطار تم حساب عدة مؤشرات إحصائية يلخصها الجدول 8، بحيث يتبين من بيانات هذا الجدول أن المتوسط الفعلي للأمطار يتراوح بين 3.9 ملم/يوم بمحطة حريملاء و12.3 ملم/يوم بمحطة رماح، أي ما يعادل فارقاً قدره 8.4 ملم/يوم

الجدول (8) الخصائص الإحصائية للمتوسط الفعلي اليومي للأمطار خلال الفترة 1970-2017 بالمحطات المدروسة

المتغيرات	المجمعة	المصانع	ضرماء	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
X'	7.9	4.4	7.0	7.5	10.6	12.3	7.4	5.3	6.2	3.9
Sd	4.8	2.1	5.9	4.2	6.1	15.7	4.6	3.3	5.4	2.4
CV	0.60	0.49	0.84	0.57	0.57	1.27	0.62	0.62	0.87	0.62
SE X'	0.7	0.3	0.8	0.6	0.9	2.3	0.7	0.5	0.8	0.4
SE Sd	0.5	0.2	0.6	0.4	0.6	1.6	0.5	0.3	0.5	0.2
Max.	25.0	11.0	26.1	22.4	28.3	81.7	18.2	19.7	23.0	9.5
Min.	2.1	1.2	3.0	2.2	2.0	1.1	2.8	0.1	0.8	0.5
تكرار(P>X')	22	23	16	25	19	15	22	12	16	24
%تكرار(P>X')	45.8	47.9	33.3	52.1	39.6	31.3	45.8	25.0	33.3	50.0

X': المتوسط، Sd: الانحراف المعياري، CV: معامل التباين، SE X': الخطأ المعياري للمتوسط، SE Sd: الخطأ المعياري للانحراف المعياري، Max.: أكبر عدد من الأيام، Min.: أدنى عدد من الأيام، تكرار (P>X'): تكرار المتوسط الفعلي الأكبر من متوسط المحطة، % تكرار(P>X'): نسبة تكرار المتوسط الفعلي للأمطار الذي يفوق متوسط المحطة.

ونسبة قدرها 68.3% بين المتوسطين. ويعكس هذا الفارق بوضوح تذبذب المتوسط الفعلي الأمطار وتباين توزيعه المكاني بمنطقة الرياض، لأن المحطتين تتواجدان على مسافة لا تزيد عن 110 كلم جواً. ويتراوح الانحراف المعياري للمتوسط الفعلي للأمطار بين 2.1 ملم/يوم بمحطة الرياض المصانع و15.7 ملم/يوم بمحطة رماح، وهي قيم تعكس مدى تباين توزيع المتوسط الفعلي عن متوسط المحطة من جهة وبين تباين المتوسط الفعلي بين المحطتين من جهة ثانية. ويتسم توزيع المتوسط الفعلي للأمطار بخطأ معياري للمتوسط وللانحراف المعياري يتراوح على التوالي بين 0.3 و2.3 ملم/يوم وبين 0.2 و1.6 ملم/يوم بمحطتي الرياض المصانع ورماح.

ويؤكد معامل التباين هذه الفروق بقيم تتراوح بين 0.49% بمحطة الرياض المصانع و127% بمحطة رماح، أي أن توزيع المتوسط الفعلي للأمطار بمحطة الرياض المصانع يعتبر أقل تذبذباً في توزيعه وتباينه مقارنة مع نظيره بجميع المحطات المدروسة وأن توزيع الأمطار بمحطة رماح هو الأكثر تذبذباً وتبايناً. وقد انعكست التباينات الزمانية

والمكانية لتكرار السنوات التي تتسم بمتوسط فعلي للأمطار يفوق متوسط المحطة ونسبته من إجمالي تكرار المتوسط الفعلي لأمطار الفترة 1970-2017 (48 سنة) على توزيع أعلى وأدنى قيمة له وعلى نسبته من إجمالي تكرار المتوسط الفعلي لأمطار الفترة المدروسة.

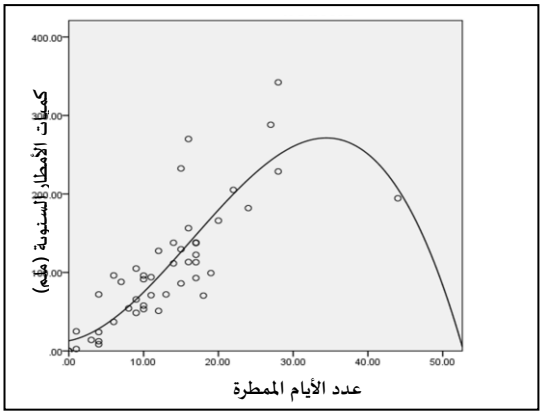
وعليه نجد أن أعلى متوسط فعلي للأمطار يتراوح بين 9.5 ملم/يوم (1980) بمحطة حريملاء و81.7 ملم/يوم (1990) بمحطة رماح، وأن أدنى متوسط لا يتعدى 0.1 ملم/يوم بمحطة حوطة سدير و3.0 ملم/يوم بمحطة ضرماء. ويتراوح تكرار السنوات التي تتسم بمتوسط فعلي للأمطار يفوق متوسط المحطة بين 12 بمحطة حوطة سدير و25 بمحطة الجبيلة، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي 25.0% و52.1% من إجمالي سنوات الفترة المدروسة.

4-7- تحليل العلاقة بين كميات الأمطار السنوية وعدد الأيام المطيرة

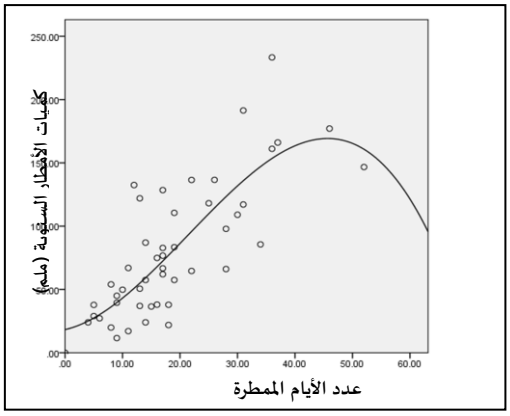
أظهرت نتائج تحليل الارتباط بين كميات الأمطار السنوية وعدد الأيام الممطرة أن أفضل نموذج لعلاقة الارتباط بين المتغيرين المذكورين هو النموذج التكعيبي Cubic بجميع المحطات. وتتراوح قيمة علاقة الارتباط المذكور بين 0.687 بمحطة رماح و0.880 بمحطة ضرماء، أن تغيرات كميات الأمطار السنوية ترتبط بتغيرات عدد الأيام الممطرة وتبايناتها بنسبة تتراوح بين 47.2% و77.4% عند مستوى الدلالة 0.000 ودرجتي الحرية 3 بالنسبة لعدد المتغيرات و44 بالنسبة لعدد القياسات بالمحطتين المذكورتين على التوالي (الجدول 9 والأشكال من 32 إلى 41). ولم يتعد معامل الارتباط على مستوى إجمالي المحطات 0.856، أي أن أن تغيرات كميات الأمطار السنوية ترتبط بتغيرات عدد الأيام الممطرة وتبايناتها على مستوى منطقة الرياض بنسبة لا تتعدى بين 52.4%.

الجدول (9) نتائج النموذج التكعيبي لعلاقات الارتباط بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017

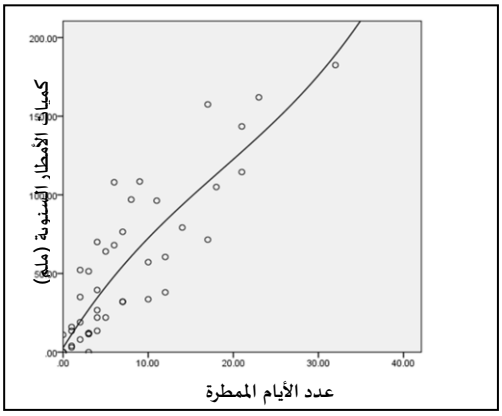
المحطة	R^2	r	Sig.	df_1	df_2
المجمعة	0.732	0.856	0.000	3	44
الرياض المصانع	0.627	0.792	0.000	3	44
ضرماء	0.774	0.880	0.000	3	44
الجبيلة	0.661	0.813	0.000	3	44
سدوس	0.659	0.812	0.000	3	44
رماح	0.472	0.687	0.000	3	44
شقراء	0.549	0.741	0.000	3	44
حوطة سدير	0.575	0.758	0.000	3	44
الحريق	0.701	0.837	0.000	3	44
حريملاء	0.566	0.752	0.000	3	44
إجمالي المحطات	0.524	0.856	0.000	3	476



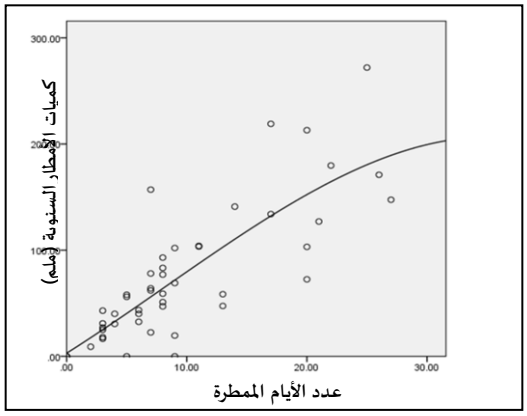
الشكل 32 : علاقة الارتباط للنموذج التكعيبي بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة المجمعة



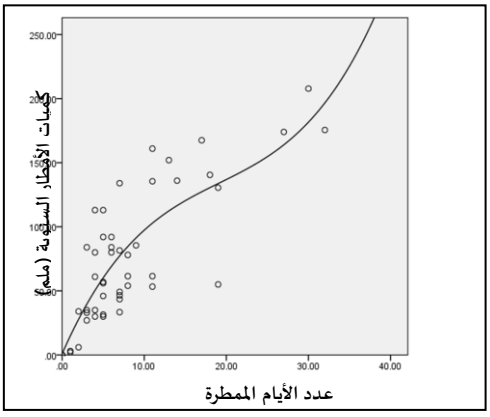
الشكل 33 : علاقة الارتباط للنموذج التكعيبي بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الرياض المصانع



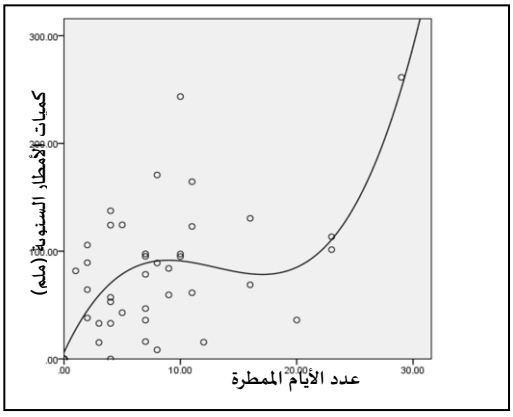
الشكل 34 : علاقة الارتباط للنموذج التكعيبي بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة ضرماء



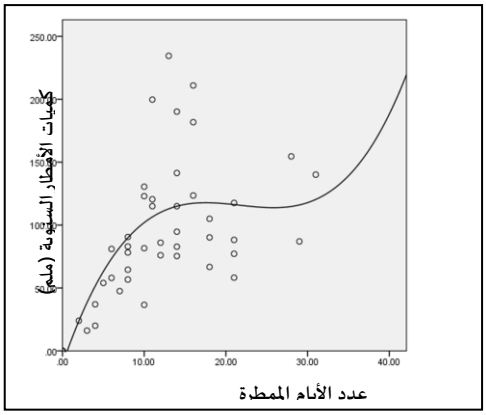
الشكل 35 : علاقة الارتباط للنموذج التكعيبي بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الجبيلة



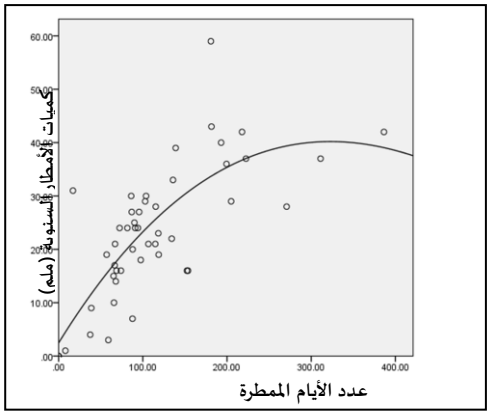
الشكل 36 : علاقة الارتباط للنموذج التكعيبي بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة سدوس



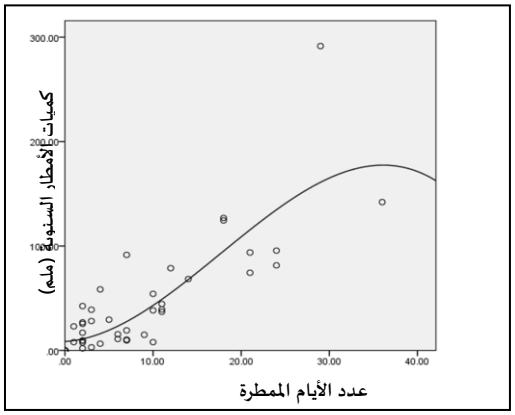
الشكل 37 : علاقة الارتباط للنموذج التكعيبي بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة رماح



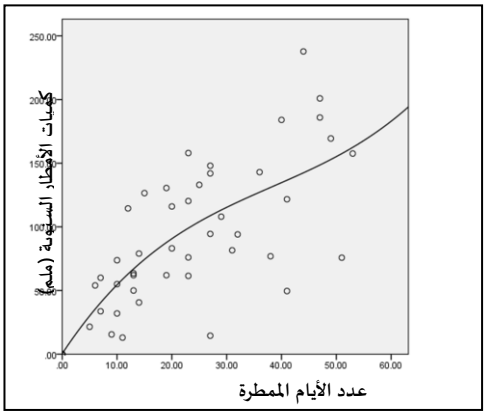
الشكل 38 : علاقة الارتباط للنموذج التكعيبي بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة شقراء



الشكل 39 : علاقة الارتباط للنموذج التكعيبي بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة حوطة سدير



الشكل 40 : علاقة الارتباط للنموذج التكعيبي بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة الحريق



الشكل 41 : علاقة الارتباط للنموذج التكعيبي بين عدد الأيام الممطرة وكميات الأمطار السنوية خلال الفترة 1970-2017 بمحطة حريملاء

ولقد تم تلخيص معادلات التقدير لنموذج علاقة الارتباط التكعيبي بالجدول 10.

الجدول (10) نماذج تقدير المتوسط اليومي الفعلي للأمطار بالمحطات المدروسة

المحطة	معادلة نموذج التقدير
المجمعة	$P' = 1.812\ n + 0.549\ n^2 - 0.011\ n^3 + 12.98$
الرياض المصانع	$P' = 1.04\ n + 0.172\ n^2 - 0.003\ n^3 + 18.294$
ضرماء	$P' = 8.712\ n - 0.212\ n^2 + 0.004\ n^3 + 2.765$
الجبيلة	$P' = 7.131\ n + 0.090\ n^2 - 0.004\ n^3 + 2.934$
سدوس	$P' = 14.558\ n - 0.595\ n^2 + 0.011\ n^3 + 0.944$
رماح	$P' = 23.075\ n - 1.962\ n^2 - 0.050\ n^3 + 6.147$
شقراء	$P' = 18.919\ n - 0.905\ n^2 - 0.014\ n^3 - 10.614$

المحطة	معادلة نموذج التقدير
حوطة سدير	$P' = -0.574\ n + 0.247\ n^2 - 0.003\ n^3 + 31.525$
الحريق	$P' = 0.546\ n + 0.359\ n^2 - 0.007\ n^3 + 8.557$
حريملاء	$P' = 6.503\ n - 0.121\ n^2 - 0.001\ n^3 + 0.456$
P': المتوسط اليومي الفعلي المحسوب للأمطار (ملم)، n: عدد الأيام الممطرة الفعلية.	

8- الخلاصة وأهم النتائج

لقد ساعد توفر البيانات المطرية اليومية بمحطات قياس الأمطار التابعة لوزارة الزراعة المياه والبيئة على حساب المتوسط الفعلي اليومي للأمطار خلال الفترة 1070-2017 (48 سنة) بمجموع 10 محطات تقع بمنطقة الرياض وسط المملكة العربية السعودية. ولقد أظهرت نتائج هذه الدراسة أن المتوسط السنوي للأمطار تراوح بين 48.8 ملم بمحطة ضرماء و115.1 ملم بمحطة حوطة سدير، بانحراف معياري تراوح بين 48.6 ملم بمحطة ضرماء و78.8 ملم بمحطة المجمعة وبمعامل تباين تراوح بين 0.65 بمحطة سدوس و1.15 بمحطة الحريق. كما اتسمت الفترة بهطول مطري سنوي تراوح أقصاه بين 182.5 ملم (1976) بمحطة ضرماء و386.4 ملم (1997) بمحطة حوطة سدير.

كما اتسمت الفترة 1970-2017 بمتوسط لعدد الأيام الممطرة تراوح بين 7 أيام/سنة بمحطتي ضرماء ورماح و23 يوم/سنة بمحطة حوطة سدير. كما بلغ الانحراف المعياري لعدد الأيام الممطرة أقصاه بما يعادل 15 يوم/سنة بمحطة حريملاء في حين لم يتعد 7 أيام/سنة بمحطات ضرماء والجبيلة وسدوس ورماح، في حين تراوح معامل التباين بين 0.54 بمحطة حوطة سدير و1.06 بمحطة ضرماء. كما تراوح أكبر عدد للأيام الممطرة بين 27 يوم (1976) بمحطة الجبيلة و59 يوم (1982) بمحطة حوطة سدير.

وكنتيجة للتباينات الزمانية والمكانية لتوزيع كميات الأمطار السنوية ولعدد الأيام الممطرة اتسم المتوسط الفعلي اليومي للأمطار بتباينات كشفت عنها المؤثرات الإحصائية المستخدمة في هذه الدراسة، بحيث تراوح متوسط الأمطار اليومية الفعلي بين 3.9 ملم/يوم/سنة بمحطة حريملاء و12.3 ملم/يوم/سنة بمحطة رماح. في حين اتسم توزيع المتوسط الفعلي اليومي للأمطار بتشتت واضح حول المتوسط أظهرته قيم الانحراف المعياري الذي تراوح بين 2.1 ملم/يوم/سنة بمحطة الرياض المصانع و15.7 ملم/يوم/سنة بمحطة رماح. وتتوافق قيم معامل التباين الذي تراوح بين 0.49 بمحطة الرياض المصانع و1.27 بمحطة رماح مع اتجاهات الانحراف المعياري. ولقد بلغ المتوسط اليومي الفعلي للأمطار أقصاه بكميات مطرية تراوحت بين 9.5 ملم (1980) بمحطة حريملاء و81.7 ملم (1990) بمحطة رماح.

ولقد فحص علاقة الارتباط بين كميات الأمطار السنوية وعدد الأيام الممطرة على أفضل نموذج لهذه العلاقة هو النموذج التكعيبي Cubic ب قيم لمعامل الارتباط تراوحت بين 0.687 بمحطة رماح و0.880 بمحطة ضرماء عند مستوى الدلالة 0.000 ودرجتي الحرية 3 بالنسبة لعدد الفئات المطرية و44 بالنسبة لعدد القياسات.

9- التوصيات والمقترحات.

بناءً على النتائج التي تم التوصل إليها، توصي هذه الدراسة بالتالي:

1- تأكيد نتائج هذه الدراسة من خلال تطبيق نفس الخطوات المنهجية في تحليل خصائص توزيع الأمطار السنوية وعدد الأيام الممطرة والمتوسط الفعلي اليومي للأمطار بمختلف المحطات المطرية لمملكة العربية.

2- مقارنة نتائج هذه الدراسة بنتائج دراسات مماثلة بالمناطق الجافة وشبه الجافة وتوظيفها في الاستدلال على تأثيرات التغير المناخي.
3- توظيف المتوسط الفعلي اليومي للأمطار في تقدير الميزانية المائية بمنطقة الرياض.
4- توظيف المتوسط الفعلي اليومي للأمطار في تقدير الموارد المائية السطحية خلال الأيام الممطرة من السنة للاستفادة منها في مختلف المجالات.
5- توظيف المتوسط الفعلي اليومي للأمطار في تصميم قاعدة بيانات مناخية وهيدرولوجية لمختلف مناطق المملكة العربية لتوظيفها في تنفيذ مشاريع الري ودرء مخاطر السيول.

10- قائمة المراجع

10-1- المراجع بالعربية

- الجراش، محمد عبد الله، (1981)، العوامل المؤثرة في كمية الأمطار على غرب وجنوب غربي المملكة العربية السعودية، مجلة كلية الآداب، جامعة الملك سعود، المجلد 8، ص ص 239-266، الرياض.
- الجراش، محمد عبد الله، (1983)، نماذج تقدير المتوسط السنوي لكمية الأمطار على غرب المملكة العربية السعودية، مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة الملك عبد العزيز، المجلد 3، ص ص 107-150، جدة.
- الحربي، سعيد بن عبد العالي، (2009)، خصائص الأمطار على غربي المملكة العربية السعودية، رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير غير منشورة، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية.
- السيد، حسن محمد، (1981)، هطول الأمطار في جنوب غرب المملكة العربية السعودية، الجمعية السعودية لعلوم الحياة، جامعة الملك سعود، الرياض.
- السيد، عبد الملك قاسم، (1995)، احتمالات هطول الأمطار ودرجة الاعتماد عليها في المملكة العربية السعودية، سلسلة بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، الرياض، العدد 21.
- الصالح، محمد عبد الله، (1994)، التحليل التكراري لكميات الأمطار في منطقة القويعية بالمملكة العربية السعودية، سلسلة بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، الرياض، العدد 17.
- الصالح، محمد عبد الله، (1997)، االتوزيع الزماني والمكاني للأمطار في مدينة الرياض، سلسلة رسائل جغرافية، الجمعية الجغرافية الكويتية، وحدة البحث والترجمة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الكويت، العدد 203.
- غزيز، خديجة بنت أحمد بن أمين (2002)، أثر الخصائص المطرية في توزيع الغطاء النباتي للأراضي الجبلية في منطقة عسير بالمملكة العربية السعودية، رسالة غير منشورة مقدمة لنيل درجة دكتوراه الفلسفة في الجغرافيا، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.
- الكليب، عبد الملك علي، (1982)، الأمطار في شبه الجزيرة العربية، في كتاب: الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية بمنطقة الخليج وشبه الجزيرة العربية – الموارد المائية الطبيعية، مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، جامعة الكويت، الكويت، المجلد الثاني، ص ص 108-131.
- محمد، أحمد بدر الدين يوسف (1993)، مناخ المملكة العربية السعودية، سلسلة رسائل جغرافية، الجمعية الجغرافية الكويتية، وحدة البحث والترجمة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الكويت، العدد 157.

- محمدين، محمد محمود (1989)، النمط الكمي والزماني لأمطار الرياض، في كتاب: حلقة الدراسات الصحراوية في المملكة العربية السعودية – مجالاتها والمهتمون بها، ص ص 229-238.
- مصلحة الأرصاد وحماية البيئة، (1970-2017م)، البيانات اليومية للأمطار، جدة، المملكة العربية السعودية.
- المعموري، بدر جدوع أحمد؛ أحمد، ضياء صائب (2016)، تحديد مؤشرات التغير المناخي من خلال تحليل كمية الأمطار في العراق، مجلة كلية التربية للبنات، العراق، المجلد (27)، العدد 1: 1-12.
- هيئة المساحة الجيولوجية، (2017) كتاب المملكة العربية السعودية: أرقام وحقائق، الطبعة الثانية، جدة.
- وزارة البيئة والمياه والزراعة، (2020) نشرة الأمطار اليومية، الإدارة العامة لموارد المياه، الرياض.

2- المراجع الأجنبية

- Al Belehed, S.A (1985), Some characteristics of Precipitations in the High Lands of Assir , Journal of College of Arts , King Saud University , Vol. (12) , pp. 125-140.
- Al Belehed, S.A (1986), Rainfall Distribution and Variability in Saudi Arabia, Journal of College of Arts, King Saud University , Vol. (13) , pp. 17-39.
- Altman, Douglas G; Bland, J Martin (2005-10-15). Standard deviations and standard errors". BMJ: British Medical Journal. 331 (7521): 903. ISSN 0959-8138. PMC 1255808. PMID 16223828.
- Chow, V.T (1964), Handbook of applied hydrology, New York, McGraw Hill Book Co.
- Köppen, W (1900), Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. – Geogr. Zeitschr. 6, 593–611, 657–679.
- Ramdas, L.A (1960), Crops and weather in India. New Delhi, Indian Council of Agriculture Research Publications.
- Sharma, R (2008), Some more inequalities for arithmetic mean, harmonic mean and variance, J. Math. Inequalities, 2 (1): 109–114. doi:10.7153/jmi-02-11.
- Stamm, G.G (1967), Problems and procedures in determining water supply requirements for irrigation projects, Chap. 40 in Irrigation of agricultural lands by Hagan et al. Wisconsin, American Society of Agronomy, Agronomy II.
- Strangeways, I (2011), Precipitation: Theory, Measurement and Distribution. Cambridge University Press, p. 140. ISBN 978-0521172929.
- Tanner, C.B (1967), Measurement of evapotranspiration, Chapter 29 in irrigation of agricultural lands, Wisconsin, American Society of Agronomy, Agronomy II.
- Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R (1955), The water balance, Drexel Inst. Tech. Publ. in Climatol, 8: 1-104.
- U.S. Department of Agriculture (Soil Conservation Service) (1967b), Irrigation water requirements. T.P.21.
- U.S. Department of Agriculture (Soil Conservation Service) (1967c), National Engineering Handbook, Section 4: hydrology, Suppl. A, Part 3- 18.

- U.S. Department of Agriculture (Soil Conservation Service) (1969), Engineering Field Manual for Conservation practices.

الجدول الملحق 1: السلسة الزمنية لكميات الأمطار السنوية

السنة	المجمعة	المصانع	ضرما	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
1970	72.0	17.1	0.0	19.5	3.1	0.0	105.0	67.9	7.5	14.5
1971	96.2	82.8	0.0	83.2	140.5	95.0	81.6	134.3	26.9	120.3
1972	270.0	109.0	26.7	127.0	175.5	101.4	117.6	181.5	54.2	157.6
1973	25.0	57.5	0.0	59.0	---	59.4	16.1	68.7	8.0	75.8
1974	71.0	66.1	0.0	103.1	167.5	113.4	90.5	311.1	68.4	184.0
1975	111.5	117.1	22.0	179.7	174.0	68.8	0.0	139.0	23.0	185.9
1976	137.8	161.1	182.5	147.5	207.8	261.4	0.0	222.5	0.0	169.4
1977	0.0	36.5	13.5	47.4	55.0	61.4	0.0	67.0	---	76.9
1978	12.3	27.2	68.0	30.5	49.2	0.0	0.0	102.8	9.3	62.0
1979	0.0	57.5	12.0	58.5	53.3	0.0	24.0	95.6	17.0	62.0
1980	0.0	64.6	52.2	51.0	33.4	0.0	58.2	103.8	15.0	114.5
1981	2.5	24.0	13.5	16.5	31.5	53.0	66.7	90.0	19.2	32.0
1982	113.3	146.7	105.0	171.0	130.5	130.5	154.6	180.8	142.1	130.5
1983	14.0	62.0	0.0	0.0	61.5	57.1	76.0	81.6	78.8	76.0
1984	24.0	66.7	12.0	77.0	81.5	42.9	75.4	118.4	44.5	79.0
1985	194.5	83.4	71.5	47.0	54.0	124.4	87.0	135.8	9.6	63.5
1986	137.5	136.6	60.5	213.0	135.5	15.5	140.1	193.0	126.9	158.0
1987	92.9	49.8	57.2	69.0	35.0	105.7	77.2	86.8	38.4	61.5
1988	53.3	74.9	114.5	141.0	78.0	16.0	88.2	106.6	81.5	50.0
1989	86.0	97.9	79.2	72.5	46.5	15.2	56.7	72.4	37.0	15.5
1990	65.6	37.0	32.1	32.5	30.0	81.7	36.6	57.0	10.4	55.0
1991	156.4	37.9	33.6	18.0	43.5	124.2	58.0	86.2	39.3	83.1
1992	138.0	85.6	0.0	43.5	61.5	164.5	181.8	199.4	74.4	94.1
1993	205.2	166.1	143.5	134.0	136.0	8.4	199.7	217.8	95.6	200.9
1994	99.2	38.0	38.0	22.5	6.0	89.3	82.8	90.9	15.5	49.6
1995	288.2	233.3	162.0	104.0	161.0	95.2	234.5	270.8	291.5	142.0
1996	228.7	191.4	108.5	157.0	134.0	243.5	120.5	204.9	124.5	133.0
1997	342.2	177.1	157.5	272.0	152.0	36.1	211.0	386.4	93.8	237.8
1998	129.5	76.7	96.3	0.0	30.0	64.3	115.0	114.8	25.5	121.7
1999	122.5	21.9	11.0	0.0	---	46.7	94.7	74.0	---	13.0
2000	8.5	50.6	0.0	56.0	46.0	0.0	123.5	153.7	6.5	0.0
2001	54.2	39.5	108.0	43.0	2.0	0.0	54.0	65.2	11.0	33.7
2002	57.7	11.6	22.0	25.0	34.0	0.0	0.0	115.3	---	54.0
2003	94.0	24.0	19.0	27.0	84.0	137.5	0.0	97.5	---	21.5

تابع الجدول الملحق 1: السلسة الزمنية لكميات الأمطار السنوية

السنة	المجمعة	المصانع	ضرما	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء

السنة	المجمعة	المصانع	ضرما	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
2004	182.0	0.0	16.0	0.0	84.0	97.4	20.0	66.5	---	60.0
2005	166.0	19.9	12.0	102.0	57.0	0.0	78.2	118.8	---	0.0
2006	113.0	67.0	8.0	64.0	85.5	0.0	86.0	94.1	42.5	0.0
2007	37.0	37.8	4.0	58.0	27.0	0.0	64.5	87.9	---	0.0
2008	232.5	29.0	3.0	9.0	113.0	97.5	123.0	37.5	9.5	0.0
2009	48.5	45.0	32.0	62.0	33.0	33.0	37.0	65.7	3.0	73.8
2010	51.0	54.0	35.0	0.0	35.0	33.0	141.4	---	39.0	40.6
2011	88.0	122.0	76.5	93.0	92.0	78.5	83.0	---	29.5	116.0
2012	70.5	118.1	11.4	31.0	92.0	36.0	47.5	8.0	8.0	108.0
2013	96.0	136.5	39.5	40.0	80.0	170.7	81.0	87.7	91.5	143.0
2014	91.3	128.5	64.0	103.4	61.0	84.0	115.0	17.0	58.5	94.5
2015	127.5	132.5	97.0	78.0	113.0	123.0	130.5	59.0	28.2	126.5
2016	105.0	110.5	51.4	219.0	80.0	89.0	190.2	152.3	---	148.0
2017	72.0	87.0	70.0	40.0	56.0	38.0	90.2	38.8	2.0	81.6

الجدول الملحق 2: السلسة الزمنية لعدد الأيام الممطرة

السنة	المجمعة	المصانع	ضرما	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
1970	4	11	0	9	1	0	18	14	2	27
1971	6	17	0	8	18	10	10	22	2	23
1972	16	30	4	21	32	23	21	43	10	53
1973	1	14	0	8	---	9	3	16	1	51
1974	11	28	0	20	17	23	8	37	14	40
1975	14	31	5	22	27	16	0	39	1	47
1976	14	36	32	27	30	29	0	37	0	49
1977	0	15	1	13	19	11	0	21	----	38
1978	4	6	6	4	7	0	0	29	2	19
1979	0	19	3	13	11	0	2	27	2	13
1980	0	22	2	8	7	0	21	30	9	12
1981	1	14	4	3	5	4	18	25	7	10
1982	16	52	18	26	19	16	28	59	36	19
1983	3	17	0	9	8	4	12	24	12	23
1984	4	17	3	8	7	5	14	23	11	14
1985	44	19	17	8	8	5	29	33	7	13
1986	17	26	12	20	11	12	31	40	18	23
1987	17	10	10	9	4	2	21	27	10	23
1988	10	16	21	14	8	7	21	21	24	13
1989	15	28	14	20	7	3	8	24	11	9
1990	9	13	7	6	4	1	10	19	7	10
1991	16	18	10	3	7	4	6	30	11	20
1992	17	34	0	6	11	11	16	36	21	32

السنة	المجمعة	المصانع	ضرما	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
1993	22	37	21	17	14	8	11	42	24	47
1994	19	16	12	7	2	2	14	24	6	41
1995	27	36	23	11	11	7	13	28	29	27
1996	28	31	9	7	7	10	11	29	18	25
1997	28	46	17	25	13	20	16	42	21	44
1998	15	17	11	5	5	2	11	21	2	41
1999	17	18	0	0	---	7	14	16	---	11
2000	4	13	3	5	5	4	16	16	4	
2001	8	9	6	3	1	0	5	15	6	7
2002	10	9	4	3	2	0	0	28	---	6
2003	11	4	2	3	6	4	0	18	---	5

تابع الجدول الملحق 2: السلسة الزمنية لعدد الأيام الممطرة

السنة	المجمعة	المصانع	ضرما	الجبيلة	سدوس	رماح	شقراء	حوطة سدير	الحريق	حريملاء
2004	24	0	1	0	3	10	4	17	---	7
2005	20	8	3	9	5	0	8	19	---	0
2006	17	11	2	7	9	0	12	24	2	0
2007	6	5	1	5	3	0	8	20	---	0
2008	15	5	1	2	4	7	10	4	2	0
2009	9	9	7	7	3	3	4	10	3	10
2010	12	8	2	0	3	4	14	---	3	14
2011	7	13	7	8	6	7	8	---	5	20
2012	18	25	3	3	5	7	7	1	10	29
2013	10	22	4	4	6	8	6	7	7	36
2014	10	17	5	11	4	9	14	31	4	27
2015	12	12	8	7	5	11	10	3	3	15
2016	9	19	3	17	4	8	14	16	---	27
2017	13	14	4	6	5	2	18	9	2	31