مجلة العلوم العربية والإنسانية
Journal of Arabic Sciences & Humanities
مجلة دورية علمية محكمة ربع سنوية
مركز النشر العلمي والترجمة
جامعة القصيم
Center of Scientific Publishing and Translation
Qassim University
E-ISSN: 1658-9602
www.jahs.qu.edu.sa

18، (1)، محرّم، 1446
July, 2024

التحليل المكاني لتقلبات هطول الأمطار في منطقة مكة المكرمة باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

Spatial Analysis of Rainfall Variability in the Mecca Region using Remote Sensing Data and Geographic Information Systems

أمل بنت حسين آل مشيط

قسم الجغرافيا، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة الملك خالد، أبها، المملكة العربية السعودية

الملخص

تسعى الدراسة لتحليل توزيع الأمطار بمنطقة مكة المكرمة، وتغير توزيع الأمطار بين عامي 2000 و2022م؛ ولتحقيق ذلك اتبعت الدراسة منهج التحليل المكاني الذي تدرج من جمع بيانات الأمطار للقمر (**GPM**) بدقة مكانية (10.9) كم، ومعالجة البيانات واستخدام خوارزمية (**IDW**) لاشتقاق خرائط توزيع الأمطار. وتوصلت نتائج الدراسة إلى تركز الأمطار في المنطقة المرتفعة جنوب ميسان وشمال غرب الطائف، وبرز أعلى متوسط للأمطار 148.4 ملم بين عامي 2018 و 2019، وأكدت نتائج تحليل أشد عواصف الأمطار تباينًا مكانيًا لتركزاتها ومخاطرها، وبرز أعلى متوسط يومي للأمطار 31.65 ملم/يوم في عاصفة (24 / 11/ 2022) التي غطت مساحة واسعة من الأحواض الساكبة بمديني مكة المكرمة وجدة، وشهدت المنطقة تذبذبًا لاتجاه تغير الأمطار بين زيادة وانخفاض. ومع ذلك بلغ متوسط تغير الأمطار السنوية كل 11 سنة 15.4 ملم؛ مما يعني تعرض المنطقة لتغير إيجابي في كمية الأمطار، وبالتالي كان الاتجاه العام لتغير أمطار المنطقة نحو زيادتها وتراجع حدة الجفاف.

الكلمات المفتاحية:

الأمطار، العواصف، منطقة مكة المكرمة، الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية.

Abstract

The study analyzes the distribution of precipitation in Mecca Region, and the change in precipitation distribution from 2000 to 2022. The study employed a spatial analysis method including collecting precipitation data form satellite image (i.e., GPM) with a spatial resolution of 10.9 km, processing the data and using IDW equation to derive precipitation distribution maps. The results showed that the precipitation concentrated in the mountainous areas in the south of Maysan and northwest of Taif with the highest average precipitation of 148.4 mm between 2018 and 2019. The results of the analysis of the most severe rainstorms confirmed the spatial variation in their concentrations and risks, and highest average daily rainfall of 31.65 mm/day (11/24/2022) that covered a large area of drainage basins in Mecca and Jeddah. The region witnessed a fluctuation in precipitation change between increases and decreases. However, the average change in annual precipitation every 11 years reached 15.4 mm, resulting in a positive change in the amount of precipitation, and reducing severity of drought in the region.

Keywords: Rain, Storms, Mecca Region, Remote Sensing, Geographic Information Systems.

الإحالة APA Citation:

آل مشيط، أمل. (2024). التحليل المكاني لتقلبات هطول الأمطار في منطقة مكة المكرمة باستخدام بيانات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية. *مجلة العلوم العربية والإنسانية*، *18*، (1)، 140-176.

اسـتُلم في: 17-06-1445/ قُبل في 16-10-1445/نُشر في 21-01-1446

Received on: 03-01-2024/**Accepted on:** 25-04-2024/**Published on:** 28-07-2024

1. المقدمة

كان لزيادة انبعاث غازات الاحتباس الحراري تأثيرٌ شديدٌ على تغير مناخ العالم، حيث أثرت بدورها على أنماط الطقس. وتعد تأثيرات تغير المناخ من بين أهم التأثيرات المستقبلية؛ إذ تؤدي إلى زيادة كمية هطول الأمطار مع حدوث الفيضانات المفاجئة في بعض المناطق، وفترات جفاف طويلة في مناطق أخرى، خاصة تلك المناطق الجافة (Subyani & Hajjar, 2016). فقد شهد وسط شرق آسيا تغير أمطار الموسم الدافئ من الانخفاض بداية القرن العشرين إلى الزيادة في النصف الثاني من القرن العشرين، وزادت الأمطار بمناطق الأحواض والسلاسل الجبلية بين عامي 1961و1998؛ بسبب تقارب تدفق الرطوبة المرتبط بتغيرات الدورة الهيدرولوجية على نطاق واسع، وزيادة محتوى الرطوبة في الغلاف الجوي (Dong et al., 2018).

وتعدّ الفيضانات المفاجئة واحدة من أهم الكوارث الطبيعية في المناطق الجافة وشديدة الجفاف، وتسبب أضراراً جسيمة في الممتلكات وعدد كبير من الوفيات (Alarifi et al., 2022)، وخسائرَ في الأرواح وأضراراً بالمليارات في كل أنحاء العالم، كما تؤدي إلى قطع الطرق، وإتلاف المركبات العائمة على طول السهول الفيضية، واضطراب حركة المرور وانقطاع الأعمال (Khalil, 2022).

وأظهرت نتائج تحليل علاقة أحداث هطول الأمطار الشديدة وأنماط الطقس في جدة، اتباع متوسط الأمطار اتجاهًا تصاعديًا مع زيادة الأيام الممطرة. ومن المثير للاهتمام أن الأمطار الغزيرة أصبحت أقل تواتراً، ولكنها تظهر زيادة في الكثافة، وتميزت الأحداث المتطرفة بين عامي 1999و2018 بتأثير أقوى خارج النطاق المداري، وكميات أعلى من الأمطار الشديدة أواخر هذه الفترة؛ مما يشير إلى تحول الآلية التي تسببت في هطول الأمطار الغزيرة بمدينة جدة نحو نظام طقس له تأثير أقوى خارج النطاق المداري (Luong, et al, 2020). ويشير التحليل، من بيانات المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى، إلى أن أنظمة الحمل الحراري المرتبطة بتقارب الرطوبة القوي كانت هي السمات الأولية الرئيسة لأحداث المطر الشديدة في مدينة جدة غرب المملكة العربية السعودية (Deng, et al, 2015).

ولا يمكن المبالغة في أهمية دراسة تقلب هطول الأمطار لفهم ديناميكيات تغير المناخ في أي منطقة، ويعدّ تحليل خصائص توزيع الأمطار أمراً ضرورياً؛ لما لمنطقة مكة المكرمة من أهمية كبرى (Bahrawi, 2018). ويعد تحليل خصائص توزيع الأمطار مفتاحًا لعدة تطبيقات هندسية كتصميم الطرق والتخفيف من أضرار الفيضانات، وتخطيط وإدارة الموارد المائية، حيث تشير سجلات الرصد إلى زيادة الأضرار الاقتصادية للفيضانات المفاجئة في مناطق مختلفة بالمملكة في الفترة الأخيرة، وتداعيات خطيرة على القطاعات الاجتماعية والاقتصادية نتيجة أحداث هطول الأمطار الشديدة. ويزداد تواتر أحداث هطول الأمطار الغزيرة بغالبية محطات المملكة، ويتناقص تواتر

الأحداث الضعيفة، ويقع المزيد من أحداث هطول الأمطار الشديدة شمالَ غرب المملكة وشمالَ شرقها وجنوبَ غربها (Almazroui, 2020). وتعد منطقة مكة المكرمة من أكثر مناطق المملكة عرضة لمخاطر الفيضانات، بسبب خصائص التضاريس، والظروف التي تؤدي إلى التكاثف من خلال التفاعل مع التضاريس المحلية؛ مما يؤدي إلى ارتفاع معدل الأمطار بمدة قصيرة، وتستمر معظم هذه الأحداث لمدة تقل عن ساعتين (Al-Areeq et al., 2022).

2. أهمية الدراسة

تنبع أهمية تحليل تباينات الأمطار وكشف تغيراتها في منطقة مكة المكرمة من كونها الأكثر أهمية في النظام المناخي المؤثر في المخاطر الطبيعية التي تعرضت لها المنطقة، فضلاً عن أهميتها في تحقيق التوازن بين الموارد المائية والاستهلاك بما يحد من تدهورها بمنطقة تقع ضمن البيئة الجافة وشبة الجافة. وتكمن أهمية الدراسة في فهم الخصائص الزمانية والمكانية لهطول أمطار المنطقة، وهو أمر أساسي لتخطيط الموارد المائية وإدارتها، لاسيما عند النظر إلى أدلة تغير الأمطار وتقلباتها بمنطقة مكة المكرمة خلال السنوات الأخيرة. وتعدّ هذه المعلومات مهمة في النمذجة الهيدرولوجية، وتقييم الموارد المائية، وتحليل تواتر حوادث فيضانات المدن المفاجئة، ورسم خرائط مخاطرها، والتقليل من آثارها على سكان المدن الكبرى، وتحديد مستويات رطوبة التربة وجفافها وتوصيف حالاتها خلال موسم النمو؛ مما يساعد المخطط الزراعي على تخفيف آثار الجفاف على المحاصيل. وتعد مهمة أيضًا من منظور الجغرافيا المكانية؛ لأنها تساعد على التكيف وتخفيف آثار تغير هطول الأمطار بين مدة وأخرى.

3. الدراسات السابقة

تناول Pingale et al. (2014) الاتجاهات المكانية والزمانية للأمطار الشديدة في ولاية راجاستان الجافة وشبة الجافة في الهند بين عامي 1971و2005، واستخدمت الدراسة اختبار (Man–Kendall) والانحدار لفحص اتجاهات الأمطار، وتوصلت النتائج إلى تباينات مكانية إيجابية وسلبية لاتجاه هطول الأمطار. ودرس Ayugi et al (2016) الأنماط المكانية والزمانية لتغير هطول الأمطار في كينيا بين عامي 1971 و2010، فأظهرت النتائج أن بيانات أبحاث المناخ تعد أفضل من بيانات المركز العالمي للتساقط عند إخضاعها للتقييم والمقارنة مع بيانات محطات الرصد، وسجلت أعلى هطولٍ للأمطار عام 1997 (بواقع 1309.1.2 ملم)، وأدنى هطول عام 2000 (بواقع 609.4 ملم) على التوالي، وأظهرت النتائج تراجع هطول الأمطار. أما Kumara et al. (2017) فقد نمذَج اتجاهات هطول الأمطار باستخدام بيانات الأقمار الصناعية ونظم المعلومات الجغرافية، لمعرفة قدرة نظم المعلومات الجغرافية على تنفيذ إجراءات ثلاث اختبارات اتجاه، اختبار ارتباط سبيرمان، وارتباط رتبة كيندال، واختبار مان–كيندال، فكشفت نتائج تقييم الاختبارات الثلاثة على اتفاق عادل النتائجَ قبل هطول الأمطار الموسمية وغير الموسمية وبعدها. وقام Ideki & Weli (2019) بتحليل تقلبات الأمطار باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية وسط شمال نيجيريا، مستخدمًا بيانات الأقمار الصناعية (MODIS) ووزن المسافة المعكوسة (IDW)

لإنشاء خرائط مكانية لهطول الأمطار بين عامي 2000و2017، فتوصلت نتائج الدراسة لحدوث تباين زمني عالٍ في هطول الأمطار خاصة في ولايات النيجر والهضبة وبينوي.

وقارن Almazroui (2011) بيانات هطول أمطار المحطات الأرضية مع بيانات القمر (TRMM) بالمملكة العربية السعودية خلال فترة تراوحت بين 1998و2009، فأظهرت نتائج المقارنة تشابه اتجاه هطول الأمطار، حيث بلغ معامل الارتباط 0.9، مع مستوى أهمية بنسبة 99 ٪ على المقياس الشهري، وأكدت الدراسة على أهمية بيانات (TRMM) في قياس هطول الأمطار. وقام Mashat & Abdel Basset (2011) بتحليل هطول الأمطار في المملكة العربية السعودية، وتوصلا إلى أن أعلى كمية أمطار في الربيع جنوب غرب المملكة ووسطها وشرقها، وأن ثاني أعلى كمية أمطار في الشتاء كانت شرق المملكة وشمال شرقها، ويعد الصيف أقل مطراً عدا المنطقة الجبلية الجنوبية الغربية، ويتشابه نمط توزيع أمطار الخريف مع الربيع. وتطرق (Salma et al (2012 لاتجاهات هطول الأمطار في باكستان بين عامي 1976 و2005، وتم تحليل البيانات بواسطة معامل (ANOVA)، وتوصلت النتائج إلى أن هناك اتجاهًا تنازليًا بنحو $^{-}1.18$ ملم/ عقد. وقام Deng et al (2015) بمحاكاة فيضانات العواصف الخاطفة بالمملكة العربية السعودية بواسطة نموذج أبحاث الطقس والتنبؤ (WRF) وبيانات الأقمار الصناعية، وأعاد إنتاج أحداث الفيضانات الناتجة عن هطول الأمطار بمدينة جدة، وتوصلت النتائج إلى قدرة النموذج على محاكاة هطول الأمطار الغزيرة.

وتوقع Yesubabu et al (2015) أحداث هطول الأمطار الشديدة على مدينة جدة، وتمت دراسة البيانات المتغيرة للتنبؤ بحدثي هطول أمطار غزيرة تسببا في فيضانات مدمرة في المدينة باستخدام نموذج أبحاث الطقس والتنبؤ (WRF) لمحاكاة نتيجتي هطول الأمطار في 25 نوفمبر 2009، و26 يناير 2011، حيث غمرت المدينة بأكثر من ضعف كمية الأمطار السنوية الناجمة عن العواصف الحملية، وتم استخدام صور الرادار وصور الأقمار الصناعية من الرئاسة العامة للأرصاد والبيئة (PME) لتقييم نتائج التنبؤ. وقام Subyani & Hajjar (2016) بتحليل هطول الأمطار في منطقة جدة غرب المملكة، وكان هدف الدراسة إبراز خصائص الجفاف والرطوبة وشدة هطول الأمطار بين عامي 1971و2012، وتوصلت النتائج إلى تغير اتجاه السلاسل الزمنية اليومية والشهرية والسنوية لكمية الأمطار، وميل الأمطار إلى الكثافة في مواسم، والجفاف في أخرى. واستخدم (Al-Husban 2017) وزن المسافة العكسي لتقدير تباين الأمطار في حوض الأزرق بين عامي 1980 و1916 بهدف إنتاج خرائط توزيع الأمطار، وجاءت أبرز نتائج الدراسة لتؤكد التباين للأمطار على المستويين الشهري والسنوي، والسنوات الأكثر والأقل رطوبة. ونمذج Ewea et al (2018) منحنيات كثافة الأمطار لتصميم الجريان السطحي في منطقة مكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية، وتم اشتقاق منحنيات هطول الأمطار ونماذج عمقها ومدة وتواترها بعدة طرق، وأظهرت النتائج أن طريقة (Gumbel Type I) هي الأفضل، وبالتالي تم استخدامها لاستنتاج منحنيات وعلاقات كثافة هطول الأمطار لكل محطة وللمنطقة ككل، وتم الحصول على معامل ارتباط عالٍ أكثر من 0.95. وتطرق Bahrawi (2018) لتوزيع أمطار منطقة مكة المكرمة وخصائصها، وأظهرت

النتائج أفضل التوزيعات الاحتمالية، وتوقعات هطول الأمطار في فترات العودة، أن نمط أمطار 36٪ من محطات الرصد تتبع توزيع لوغاريتمي العادي، وأن 41 ٪ تتبع توزيع لوغاريتم بيرسون، وأن 9٪ تتبع توزيع جيف، وأن 9% تتبع توزيعًا طبيعيًا، وأن 5٪ تتبع توزيع جيومبل. وتطرق Almazroui (2020) لاتجاهات هطول الأمطار في المملكة العربية السعودية في العقود الأخيرة، وكشفت نتائج التحليل عن أن هطول الأمطار السنوية آخذٌ في التناقص بمقدار 5.89 ملم/عقد، على مستوى المملكة طيلة فترة التحليل، بينما زاد المعدل الشهري في العقد الأخير بنحو 5.44 ملم/عقد في نوفمبر، وبلغ أعلى انخفاض 1.20 ملم/عقد في يناير. وحاولت دراسة Luong et al (2020) تحليل العلاقة بين أحداث هطول الأمطار الشديدة في جدة، وأنماط الطقس في شبه الجزيرة العربية، وتم استخدام الخرائط ذاتية التنظيم (SOMs) لتحديد أنماط الطقس في أكثر الأيام الممطرة كثافة والأنظمة السينوبتيكية التي تسبب هطول الأمطار الغزيرة في جدة، وحددت الدراسة ثلاثة أنماط جوية رئيسة تتسبب في هطول أمطار غزيرة في جدة خلال الأشهر الأكثر برودة (نوفمبر – أبريل)، تعكس جميعها التفاعلات المدارية. وقيم Al-Areeq et al (2022) أداء الأقمار الصناعية في أحواض مياه مكة باستخدام نموذج هيدرولوجي فيزيائي، في دراسة هدفت إلى تقييم أداء خمسة نواتج للأقمار الصناعية على مساحة 1725 كم^2، وشمل التقييم المخططات الهيدروغرافية، وخرائط الجريان السطحي، وتم قياس أخطاء هطول الأمطار السائلية في تنبؤات الجريان السطحي، وتوصلت النتائج إلى اختلاف متباينة لتقدير هطول الأمطار مقارنة بقياسات الأمطار من المحطات الأرضية. وقام Elfeki et al (2022) بالتحليل الزماني المكاني للأمطار في المملكة العربية السعودية، وركزت هذه الدراسة على استخراج السمات الإحصائية زمانياً ومكانياً لهطول الأمطار الشهري، وكشف عن علاقتها بالتقلبات الجوية واسعة النطاق بغرض إجراء تنبؤات مستقبلية، وتوصلت النتائج لوجود علاقة قوية بين الموسم الرطب (نوفمبر – أبريل) مع ظاهرة النينو للتذبذب الجنوبي. ورسم Alarifi et al (2022) خرائط مخاطر فيضانات في وادي حلي جنوب غرب المملكة العربية السعودية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، ودمجت الدراسة نتائج نموذج ارتفاع رقمي ومرئيات لاندسات وبيانات قياس هطول الأمطار المدارية بواسطة (GIS)، واستخدمت تقنية صنع القرار متعددة المعايير لتحديد المناطق المعرضة للفيضان، وتوصلت النتائج إلى أن مناطق الخطر الشديد تشكل 13٪ من مساحة الحوض.

4. منطقة الدراسة

تقع منطقة مكة المكرمة شكل (1) غرب المملكة العربية السعودية، يحدها من الشمال منطقة المدينة المنورة، ومن الجنوب منطقتي عسير والباحة، ومن الشرق منطقة الرياض، ومن الغرب البحر الأحمر، بمساحة 140063.2 كم^2، وتقع فلكياً بين دائرتي عرض 50": 33': 18° – 20": 36': 23° شمالا، وخطي طول 30": 42': 38° – 00":51': 43° شرقا، وتتدرج تضاريس المنطقة من صفر عند مستوى سطح البحر غربًا حتى 2664 م وسط منطقة الدراسة، وتعود التضاريس للانخفاض التدريجي البطيء نحو الشرق مكونة منطقة شبه هضبية تقع في منطقة ظل الرياح الموسمية الجنوبية الغربية القادمة.

شكل 1 موقع منطقة مكة المكرمة

5. تساؤلات الدراسة

- ما مدى التباين المكاني لتوزيع أمطار منطقة مكة المكرمة بين مدة وأخرى من 2000 – 2022؟
- أين تقع مراكز العواصف المطرية الخطيرة على منطقة مكة المكرمة بين عامي 2000 – 2022؟
- ما شكل التغير في كمية الأمطار بمنطقة مكة المكرمة بين عامي 2000 – 2022؟

6. أهداف الدراسة

- التحليل المكاني لتوزيع الأمطار في منطقة مكة المكرمة بين عامي 2000 - 2022.
- التحليل المكاني لتوزيع العواصف المطرية الخطيرة بمنطقة مكة المكرمة بين عامي 2000 - 2022.
- كشف التغيرات المكانية لتوزيع الأمطار في منطقة مكة المكرمة بين عامي 2000 - 2022.

7. منهجية الدراسة

لفحص التباينات المكانية والزمانية لهطول الأمطار في منطقة مكة المكرمة باستخدام بيانات الأقمار الصناعية المناخية وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية، قامت الدراسة أولاً بجمع طبقات معلوماتية بصيغة (Raster) خاصة بالبيانات الشهرية للأمطار في المنطقة، بهدف تحليل توزيع الأمطار السنوية وتغيراتها في المنطقة لكل عامين منذ 2000 إلى 2022 جدول رقم (1). كما تم الحصول على طبقات معلوماتية لبيانات الأمطار اليومية لتحليل العواصف المطرية الكثيفة التي تعرضت لها المنطقة خلال أربعٍ وعشرين ساعة، والتي كان لها مخاطر وتركت آثارًا على السكان وممتلكاتهم في مدينتي مكة وجدة كبرى مدن المنطقة جدول رقم (2). وتم جمع كل هذه البيانات من موقع وكالة ناسا للقمر

الصناعي (GPM) بدقة مكانية (0.1°) أو ما يعادل (10902) م، وتظهر تفاصيل بيانات الأمطار المستخدمة في الدراسة في الجدولين رقم (1، 2).

جدول 1 بيانات معدلات الأمطار الشهرية بمنطقة مكة المكرمة

القمر الصناعي	العنصر	الدقة المكانية	وحدة القياس	الوحدة الزمنية	بداية المدة	نهاية المدة
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2000/1/1	2001/12/31
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2002/1/1	2003/12/31
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2004/1/1	2005/12/31
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2006/1/1	2007/12/31
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2008/1/1	2009/12/31
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2010/1/1	2011/12/31
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2012/1/1	2013/12/31
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2014/1/1	2015/12/31
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2016/1/1	2017/12/31
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2018/1/1	2019/12/31
GPM	الأمطار	0.1°	MM	شهرية	2020/1/1	2022/12/31

المصدر: موقع وكالة ناسا (https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovnni).

جدول 2 *بيانات العواصف المطرية اليومية الكثيفة على منطقة مكة المكرمة*

القمر الصناعي	العنصر	الدقة المكانية	وحدة القياس	الوحدة الزمنية	بداية المدة	نهاية المدة
GPM	الأمطار	0.1°	Mm	يومية	2000/11/17	2000/11/17
GPM	الأمطار	0.1°	Mm	يومية	2009/11/25	2009/11/25
GPM	الأمطار	0.1°	Mm	يومية	2018/11/3	2018/11/3
GPM	الأمطار	0.1°	Mm	يومية	2022/11/24	2022/11/24

المصدر: موقع وكالة ناسا (https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovnni).

وبعد القيام بجمع الطبقات المعلوماتية للأمطار في المنطقة اتجهت الدراسة لمعالجة هذه الطبقات من خلال إعادة إرجاع كل منها من النظام الجغرافي إلى نظام الاحداثيات المترية (UTM 37)، وبعد الانتهاء من عملية إعادة إرجاع الطبقات حولت باستخدام أداة (Rater To Points) في برنامج (GIS) من طبقات خلوية إلى نقاط بلغ عددها ضمن حدود منطقة الدراسة (1175) نقطة بين كل نقطة وأخرى مسافة 10.9 كم فقط، وكل نقطة تمثل محطة لرصد الأمطار في المنطقة.

وتمثلت الخطوة التالية باستخدام تقنية الاستيفاء المرجحة للمسافة العكسية (IDW) ضمن البرنامج السابق نفسه لعمل استكمال أو تنبؤ بكمية الأمطار في المناطق الخالية من نقاط الرصد أو تلك التي لا تتوفر عنها بيانات، وتساعد نتائج (IDW) في تحديد اتجاهات متوسط هطول الأمطار وتباينها في المكان والزمان لمواقع الدراسة حيث لا تتوفر بيانات. وقد تم استخدام بيانات الأمطار الشهرية في مناطق نقاط الرصد لحساب المعدلات السنوية لمجموع هطول الأمطار، وبالتالي تم إنشاء خرائط مكانية لكمية الأمطار وفئات تصنيف توزيعها على فترات سنتين عدا آخر فترة امتدت لثلاث سنوات بين عامي 2020 و2022. كما قامت الدراسة باستخدام بيانات الأمطار اليومية لإنتاج خرائط مكانية لأشد عواصف الأمطار كثافة في منطقة الدراسة بين عامي 2000 إلى 2022.

أما فيما يتعلق بمنهجية كشف التغيرات المكانية للأمطار التي شهدتها المنطقة، فقد قسمت الدراسة المدة بين عامي 2000 و2022 إلى مرحلتين تتضمن كل منهما أحد عشر عامًا وتمتد الأولى بين عامي 2000 و2011 والثانية بين عامي 2012 و2022. وبعد تجهيز الطبقتين للمرحلتين بصيغة (Raster) تم تحديد التغيرات المكانية لاتجاه الأمطار بين المرحلتين باستخدام إيقونة (Zonal Change) ضمن برنامج (Erdas Imaging)، وباستخدام خوارزمية (Image Difference) وتم تحديد اتجاه تغير الأمطار بين المرحلتين. وبواسطة دالة (Highlight Change)، حددت أنماط التغيرات التي طرأت على توزيع الأمطار في المنطقة. ويمكن الاستفادة من هذه الخرائط المكانية لتوزيع وتغير هطول الأمطار من قبل المخططين ومسؤولي الموارد المائية والمخاطر الطبيعية في فهم المخاطر، وتحديد نقاط الضعف المتعلقة بتغير الأمطار، لاسيما فيما يتعلق بظواهر الأمطار المتطرفة في المنطقة.

8. مناقشة نتائج الدراسة

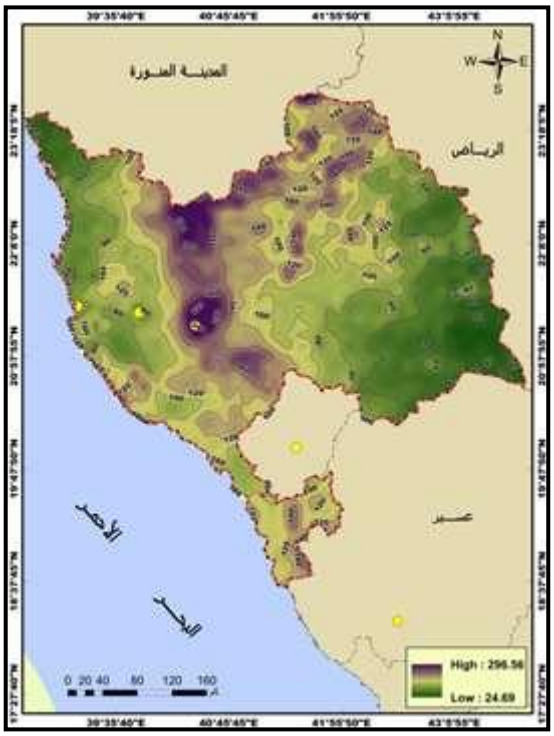
1.8. التحليل المكاني لتوزيع الأمطار

تظهر نتائج اشتقاق طبقة توزيع كمية الأمطار في منطقة مكة المكرمة شكل رقم (2) تراوح المعدل السنوي لعامي 2000 - 2001 بين 24.7 ملم إلى 296.6 ملم سنوياً، بمتوسط مكاني على مستوى منطقة مكة المكرمة بلغ 99.3 ملم سنوياً، وبلغ الانحراف المعياري لتوزيع الأمطار 37.5 ملم سنوياً؛ مما يعني تركز توزيع الأمطار خلال هذه المدة.

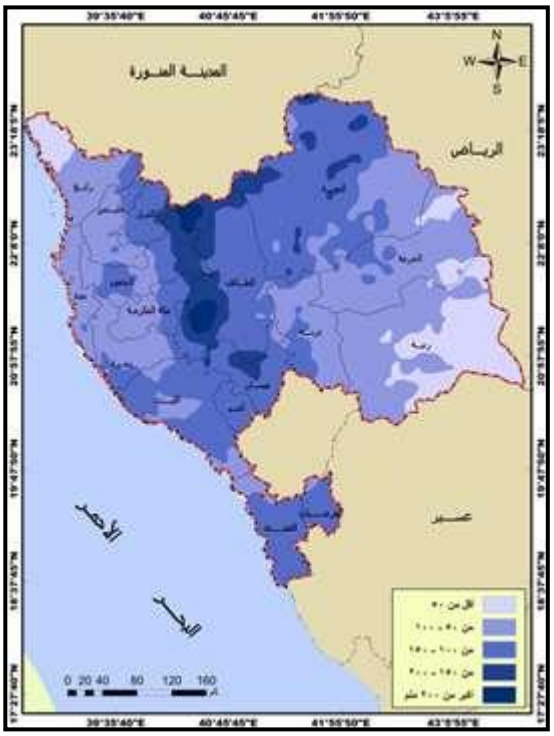
ويؤكد ذلك شكل رقم (3) الذي يظهر تركز نطاقات المطر الأكثر غزارة بالمطر ضمن السلسلة الجبلية العالية وسط منطقة مكة المكرمة الممتدة من محافظة أضم جنوباً حتى محافظة المويه شمالاً، وعليه يتركز النطاق الذي يتجاوز فيه معدل الأمطار 200 ملم سنوياً وسط وشمال مدينة الطائف وسط منطقة مكة المكرمة بمساحة بلغت 1606.88 كم^2، بنسبة 1.14% من إجمالي مساحة المنطقة. وتقع المنطقة التي يتراوح فيها معدل الأمطار بين ١٠٠ و٢٠٠ ملم في عدة محافظات وسط المنطقة كمحافظات ميسان ووسط الطائف وشمالها وشرق الجموم وفي مناطق متفرقة بمحافظة المويه شمال المنطقة بمساحة بلغت 10123.25 كم^2، بنسبة 7.22% من إجمالي مساحة المنطقة. وتغطي المنطقة –

التي يتراوح فيها معدل الأمطار بين 100 و150 ملم- المناطق ذات التضاريس المعتدلة بعدة محافظات شمال ووسط وجنوب المنطقة كمحافظات العريضات والقنفذة والليث وأضم وجنوب غرب بحرة وشرق الطائف وشرق ووسط الجموم وشمال المويه وشمال وسط الخرمة وشرق محافظات مكة المكرمة والكامل وخليص ورابغ، بمساحة بلغت 58176.7 كم^2، بنسبة 41.53% من إجمالي مساحة المنطقة. وتظهر المنطقة التي تراوح فيها معدل الأمطار بين 50 و100 ملم المناطق المنخفضة الارتفاع غرب المنطقة بمحافظات الليث والقنفذة ومكة وبحرة وجدة وخليص ورابغ، وتلك المناطق الواقعة في ظل المطر شرق المنطقة كمحافظات المويه والخرمة ورانيه وتربة، بمساحة بلغت 56247.86 كم^2، بنسبة 40.16% من إجمالي مساحة المنطقة. ويبرز النطاق الأقل مطراً أقل من 50 ملم في المناطق الساحلية شمال غرب منطقة مكة المكرمة بمحافظة رابغ، وشرق وجنوب شرق المنطقة بمحافظتي رانيه والخرمة، بمساحة بلغت 13908.53 كم^2، بنسبة 9.93% من إجمالي مساحة المنطقة.

شكل 2. معدل الأمطار السنوية عامي 2000- 2001



شكل 3. فئات معدل توزيع الأمطار عامي 2000- 2001



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

وتبين نتائج تحليل توزيع المعدل السنوي للأمطار في منطقة مكة المكرمة شكل رقم (4) لعامي 2002 و2003 بين 32.2 ملم كحد أدنى بزيادة عن المدة السابقة بنحو 7.5 ملم سنوياً، إلى 358.8 ملم سنوياً كحد أعلى بزيادة عن

الفترة السابقة بنحو 62.2 ملم سنوياً. وبما أن الحدين الأعلى والأدنى لا يعكسان واقع التغير الحقيقي لأمطار المنطقة بين المدتين، فإن حساب المتوسط المكاني للأمطار على مستوى منطقة مكة المكرمة بلغ 94.4 ملم سنوياً، ليتراجع عن المتوسط المكاني للمدة السابقة بنحو 4.9 ملم سنوياً؛ مما يعني تراجع كمية الأمطار بين المدتين رغم ما توصلت إليه نتائج الحدين الأعلى والأدنى للأمطار في المنطقة، وبلغ الانحراف المعياري لتوزيع الأمطار بهذه المدة 30.5 ملم سنوياً، وتعكس نتائج المتوسط والانحراف تركز الأمطار خلال هذه المدة.

وللتأكيد على تراجع الأمطار بين المدتين سيلاحظ تراجع مساحة الفئات الاكثر مطراً وزيادة مساحة الفئات الأقل مطراً في المنطقة، وبذلك يظهر شكل رقم (5) تركزَ أعلى النطاقات مطراً وذلك في المناطق التي تجاوزت كمية أمطارها متوسط المنطقة في المناطق الجبلية العالية وسط منطقة مكة المكرمة. ويتركز نطاق تجاوز معدل الأمطار 200 ملم سنوياً بمدينة الطائف والمنطقة المحاذية لها بمساحة بلغت 1147.14 كم^2، بنسبة 0.81% من إجمالي مساحة المنطقة، لتتراجع مساحة هذا النطاق بنحو 459.74 كم^2.

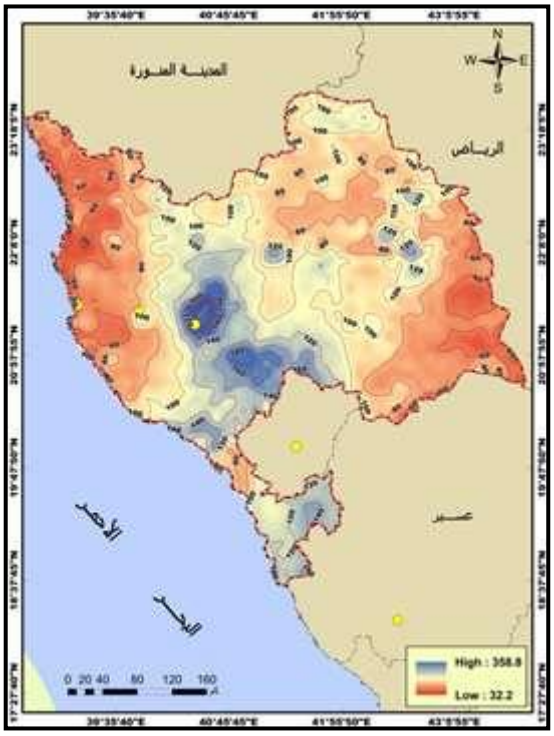
وتظهر المنطقة التي يتراوح فيها معدل الأمطار بين 150 و200 ملم بمحاذاة المنطقة السابقة حول مدينة الطائف وجنوب محافظة الطائف ووسط وشمال محافظة ميسان وجنوب غرب محافظة رانيه بمساحة بلغت 3797.762 كم^2، بنسبة 2.71% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي تراجعت مساحة هذا النطاق بنحو 6325.49 كم^2.

وتمتد المنطقة التي يتراوح فيها معدل الأمطار بين 100 و150 ملم من محافظات العريضات والقنفذة جنوباً عبر محافظات أضم والليث وجنوب وشمال الطائف وتربة وشرق محافظات مكة المكرمة والجموم والكامل شمال المنطقة كما يبرز في مناطق متفرقة بمحافظات المويه والخرمة وغرب رانيه بمساحة بلغت 47946.09 كم^2، بنسبة 34.23% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه فقد تراجعت مساحة هذا النطاق بنحو 10230.61 كم^2.

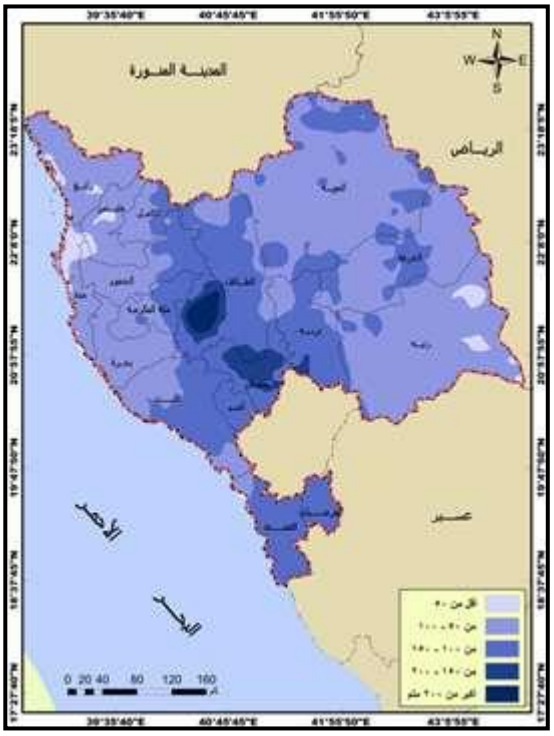
وتغطي المنطقة التي تراوح فيها معدل الأمطار بين 50 و100 ملم غالبية منطقة الدراسة وتمتد بمحاذاة المنطقة السابقة في المناطق المنخفضة الارتفاع غرباً بمحافظات الليث والقنفذة ومكة وبحرة وجدة وخليص ورابغ، وفي المناطق التي تقع في ظل المطر شرقاً منطقة مكة المكرمة بمحافظات رانيه والخرمة والمويه وشرق الطائف، بمساحة بلغت 84033.22 كم^2، بنسبة 60% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي زادت مساحة هذا النطاق 27785.36 كم^2.

ويبرز النطاق الذي تقل فيه كمية الأمطار السنوية عن 50 ملم في المناطق الساحلية بمحافظات جدة والجموم وخليص ورابغ، وشرقاً جنوب شرق محافظة رانيه، بمساحة بلغت 3138.998 كم^2، بنسبة 2.24% من إجمالي مساحة المنطقة، لتتراجع مساحة هذا النطاق بنحو 10769.53 كم^2.

شكل 4. معدل الأمطار السنوية عامي 2002- 2003



شكل 5. فئات معدل توزيع الأمطار عامي 2002- 2003



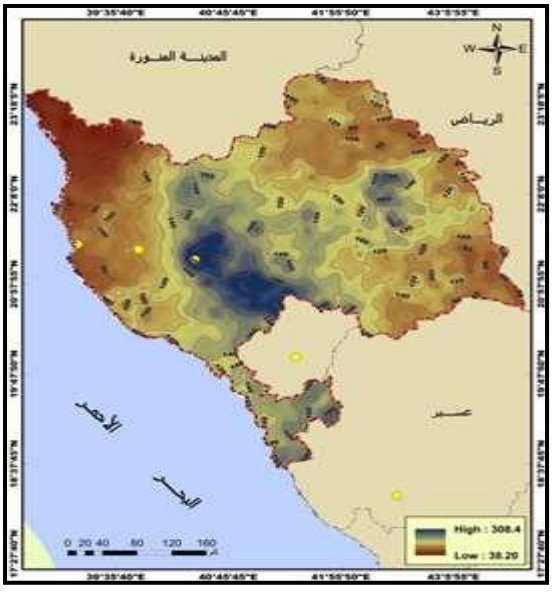
المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

وتوضح نتائج تحليل توزيع المعدل السنوي للأمطار في منطقة مكة المكرمة شكل رقم (6) لعامي 2004 و2005 بين 38.2 ملم كحد أدنى بزيادة عن المدة السابقة بنحو 6 ملم سنوياً، إلى 308.4 ملم سنوياً كحد أعلى ليتراجع الحد الأعلى عن الفترة السابقة بنحو 50.4 ملم سنوياً، في حين بلغ المتوسط المكاني لتوزيع الأمطار على مستوى منطقة الدراسة نحو 121.6 ملم سنوياً. ورغم تراجع الحد الأعلى إلا أن هناك زيادة في المتوسط المكاني للمنطقة بنحو 27.2 ملم سنوياً، وبلغت قيمة انحراف توزيع الأمطار خلال هذه المدة 37.2 ملم سنوياً؛ مما يعني تركز توزيع الأمطار وسط محافظة الطائف وجنوبها خلال هذه المدة. ومما يدعم زيادة المعدل السنوي للأمطار بين المدتين يلاحظ زيادة مساحة الفئات الأكثر مطراً، وتراجع مساحة الفئات الأقل مطراً في المنطقة. ويظهر شكل (7) تركز أعلى فئات المطر بمناطق تجاوزت كمية أمطارها متوسط المكاني للمنطقة في المناطق الأكثر ارتفاعًا وسط منطقة مكة المكرمة، إذ يتركز نطاق تجاوز معدل الأمطار 200 ملم سنوياً جنوب محافظة الطائف وجنوب غربها ووسط محافظة ميسان بمساحة بلغت 4630.465 كم^2، بنسبة 3.3% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه فقد زادت مساحة هذا النطاق بنحو 3483.33 كم^2. وتمتد المنطقة التي يتراوح فيها معدل الأمطار بين 150 و200 ملم من جنوب منطقة الدراسة بمحافظات القنفذة

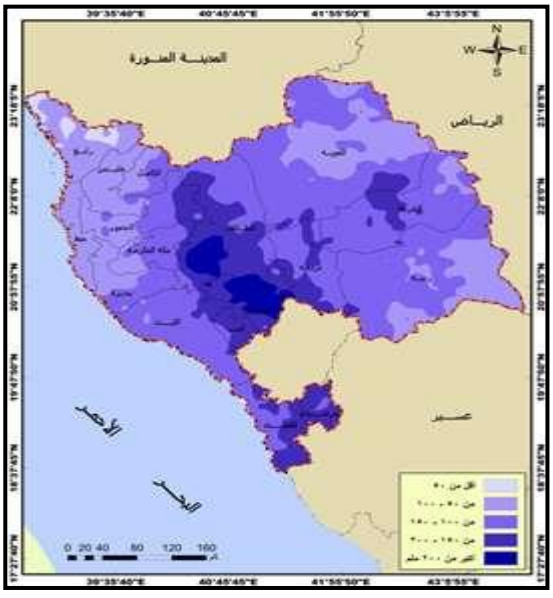
والعريضات وأضم وميسان والليث والطائف وتربة وشرق مكة والجموم وجنوب المويه ووسط الخرمة بمساحة بلغت 24367.99 كم^2، بنسبة 17.4% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي زادت مساحة هذا النطاق عن الفترة السابقة بنحو 20570.23 كم^2.

وتغطي المنطقة التي يتراوح معدل الأمطار فيها بين 100 و150 ملم سنوياً المناطقَ المحاذية للنطاق السابق حيث تمتد على نطاقين الأول يمتد من سواحل محافظات القنفذة والليث وبحرة ووسط مكة والجموم وشرق الكامل والثاني يغطي أجزاء واسعة من محافظات رانيه وتربة وشمال والخرمة والمويه وشرق الطائف بمساحة بلغت 71206.37 كم^2، بنسبة 50.83% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه زادت مساحة هذا النطاق بنحو 23260.28 كم^2. وتظهر المنطقة التي تراوح فيها معدل الأمطار بين 50 و100 ملم في جهات متفرقة من منطقة الدراسة حيث تبرز شمال غرب المنطقة بمحافظات مكة وبحرة وجدة والجموم وخليص والكامل ورابغ، وجنوب شرق المنطقة بمحافظة رانيه، وشرق وشمال شرق المنطقة بمحافظتي الخرمة والمويه، بمساحة بلغت 38218.71 كم^2، بنسبة 27.28% من إجمالي مساحة المنطقة، لتتراجع مساحة هذا النطاق عن الفترة السابقة بنحو 45814.51 كم^2. ويتركز النطاق الذي تقل فيه كمية الأمطار عن 50 ملم سنوياً بمحافظة رابغ شمال غرب منطقة مكة المكرمة، بمساحة بلغت 1639.67كم^2، بنسبة 1.17% من إجمالي مساحة المنطقة، لتتراجع مساحة هذا النطاق بنحو 1499.328 كم^2.

شكل 6. معدل الأمطار السنوية عامي 2004- 2005



شكل 7. فئات معدل توزيع الأمطار عامي 2004- 2005



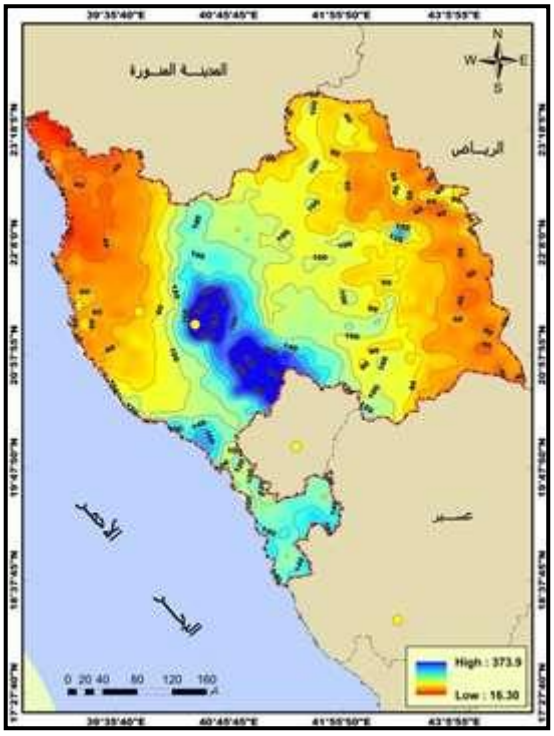
المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

وتبين نتائج تحليل توزيع المعدل السنوي للأمطار في منطقة مكة المكرمة -كما في شكل رقم (8)- لعامي 2006 - 2007 تراوحَ المعدل حول 16.3 ملم ليتراجع عن المدة السابقة بنحو 21.9 ملم سنوياً، إلى 373.9 ملم سنوياً بزيادة عن الفترة السابقة بنحو 65.5 ملم سنوياً، وبلغ المتوسط المكاني لتوزيع الأمطار على مستوى منطقة الدراسة نحو 91.8 ملم سنوياً، وبذلك تراجع المتوسط المكاني للمنطقة عن المدة السابقة بنحو 29.8 ملم سنوياً، وبلغت قيمة الانحراف في توزيع الأمطار عن المتوسط 47.55 ملم سنوياً، مما يعني تركز توزيع الأمطار وسط منطقة الدراسة.

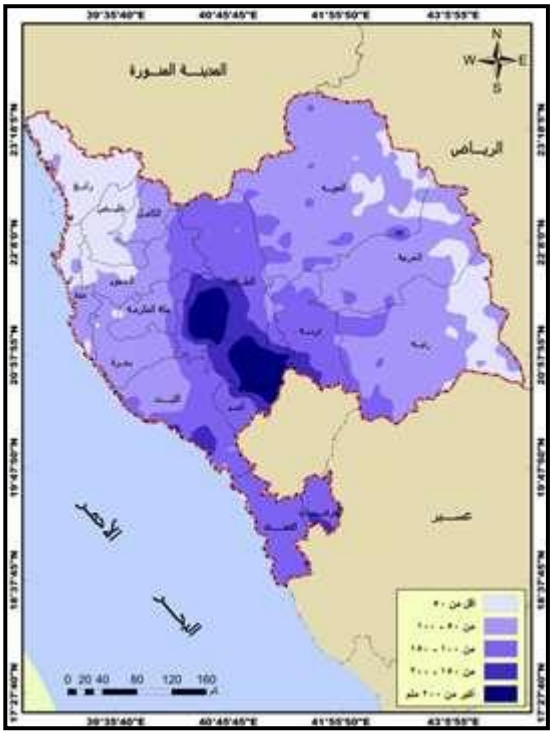
وبذلك يظهر شكل (7) تركز المناطق التي تجاوزت كمية أمطارها متوسط المنطقة في المناطق المرتفعة وسط منطقة مكة المكرمة، وعليه يتركز نطاق تجاوز الأمطار 200 ملم سنوياً بنفس مناطق تركزها جنوب وجنوب غرب محافظة الطائف ووسط محافظة ميسان بمساحة بلغت 5366.11 كم^2، بنسبة 3.83% من إجمالي مساحة المنطقة، لتزداد مساحة هذا النطاق بنحو 735.65 كم^2. وتبرز المنطقة التي تراوح معدل أمطارها بين 150 و200 ملم بمحاذاة النطاق السابق جنوب غرب محافظتي الطائف وتربة وميسان وشمال شرق محافظة مكة المكرمة وغرب الليث وجنوب غرب وجنوب شرق محافظة العريضات بمساحة بلغت 6786.978 كم^2، بنسبة 4.84% من إجمالي مساحة المنطقة، وتراجعت مساحة هذا النطاق بنحو 17581.02 كم^2.

ويقع النطاق الثالث حيث تراوح معدل الأمطار بين 100 و150 ملم سنوياً بمحيط النطاق السابق حيث يمتد من محافظات العريضات والقنفذة والليث وأضم وشرق بحرة ومكة والجموم وشمال وشرق الطائف وشرق ووسط تربة وجنوب غرب ووسط شمال محافظة رانيه ومناطق متفرقة من محافظات المويه وخرمة بمساحة بلغت 36826 كم^2، بنسبة 26.3% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه فقد تراجعت مساحة هذا النطاق عن الفترة السابقة بنحو 34380.37 كم^2. ويغطي النطاق الذي تراوح فيه معدل الأمطار بين 50 و100 ملم أجزاء واسعة بمنطقة ظل المطر بمحافظات رانيه والخرمة والمويه فضلا عن المناطق القليلة الارتفاع والساحلية بمحافظات الليث ومكة وبحرة وجدة وجنوب وشرق الجموم وشرق الكامل، بمساحة بلغت 68594.3 كم^2، بنسبة 48.98% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه، فقد زادت مساحة هذا النطاق نحو 30375.59 كم^2. ويظهر النطاق الذي تقل فيه كمية الأمطار عن 50 ملم سنوياً بمحافظات جدة والكامل وخليص والجموم ورابغ شمال غرب منطقة مكة المكرمة، وشرق ووسط محافظات رانيه والخرمة والمويه شرق منطقة الدراسة بمساحة بلغت 22489.82 كم^2، بنسبة 16.05% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي زادت مساحة هذا النطاق عن المدة السابقة بنحو 20850.15 كم^2.

شكل 8 معدل الأمطار السنوية عامي 2006- 2007



شكل 9 فئات معدل توزيع الأمطار عامي 2006- 2007



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

وتوضح نتائج تحليل توزيع المعدل السنوي للأمطار في منطقة مكة المكرمة -كما في شكل رقم (10)- لعامي 2008 و2009 تراوح معدل الأمطار في المنطقة بين 12.2 ملم؛ مما يشير إلى تراجعه عن المدة السابقة بنحو 4.1 ملم سنوياً، إلى 404.9 ملم سنوياً بزيادة بلغت 31 ملم سنوياً، وبلغ المتوسط المكاني لتوزيع الأمطار بمنطقة الدراسة نحو 92.9 ملم سنوياً، وعليه فقد زاد متوسط الأمطار على مستوى المنطقة بمقدار 1.1 ملم سنوياً، وبلغ انحراف توزيع الأمطار عن متوسطها المكاني 50 ملم سنوياً، مما يعكس تركز توزيع الأمطار وسط المنطقة.

وبذلك يبين شكل (11) توافقًا واضحًا بين توزيع المعدل السنوي للأمطار وطبوغرافية منطقة مكة المكرمة، وعليه يبرز النطاق الذي تجاوز معدل أمطاره 200 ملم سنوياً من شمال محافظة ميسان وجنوب ووسط محافظة الطائف إلى شمال شرق محافظة الجموم بمساحة بلغت 5609.587 كم^2، بنسبة 4% من إجمالي مساحة المنطقة، وزادت مساحة هذا النطاق عن المدة السابقة بنحو 243.48 كم^2.

ويقع النطاق الثاني الذي تراوح معدل أمطاره بين 150 و200 ملم بمحاذاة النطاق السابق إذ يمتد من وسط محافظة ميسان وجنوب غرب تربة شرق وغرب محافظة الطائف شرق محافظة مكة المكرمة وشرق الجموم حتى شمال محافظة

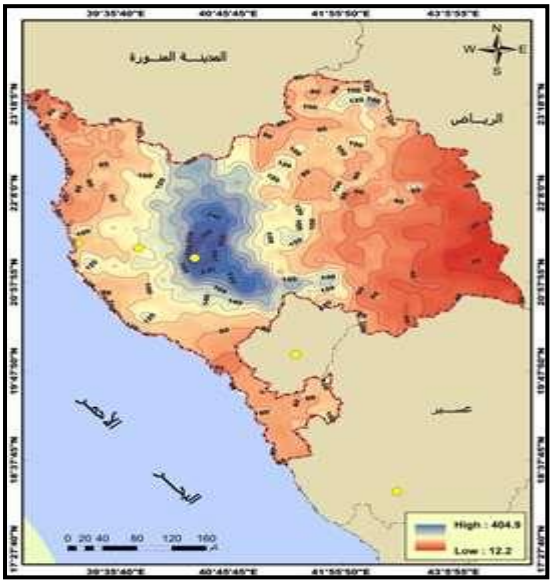
الطائف بمساحة بلغت 10319.17 كم^2، بنسبة 7.36% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي زادت مساحة هذا النطاق عن المدة السابقة بنحو 3532.192 كم^2.

ويمتد النطاق الثالث حيث تراوح معدل الأمطار بين 100 و150 ملم سنوياً غرب النطاق السابق من جنوب محافظة ميسان وشمال أضم والليف وبحرة وشرق جدة ووسط مكة وشرق ووسط الجموم وشرق الكامل، ويحاذي النطاق السابق من الشرق عبر محافظات تربة وشرق الطائف وغرب الخرمة وغرب وشمال شرق المويه بمساحة بلغت 33388.43 كم^2، بنسبة 23.84% من إجمالي مساحة المنطقة، لتتراجع مساحة هذا النطاق عن المدة السابقة بنحو 3437.57 كم^2.

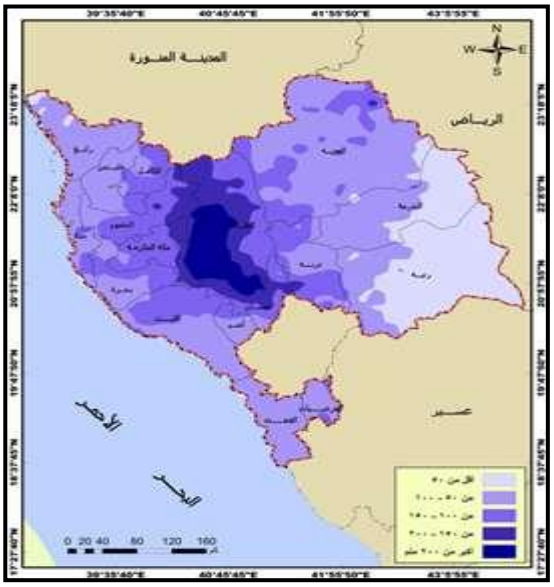
ويغطي النطاق الذي تراوحت أمطاره بين 50 و100 ملم أجزاء واسعة بمنطقة ظل المطر شرق منطقة مكة المكرمة بمحافظات تربة ورانيه والخرمة والمويه، كما يغطي المناطق قليلة الارتفاع والساحلية، إذ يمتد من محافظتي العريضات والقنفذة جنوباً عبر محافظات أضم والليث وبحرة ومكة وجدة وغرب الجموم والكامل وخليص ورابغ، بمساحة بلغت 66705.51 كم^2، بنسبة 47.63% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه فقد تراجعت مساحة هذا النطاق نحو 1888.79 كم^2.

ويبرز النطاق الذي تقل فيه أمطاره عن 50 ملم سنوياً جنوب شرق وشرق منطقة الدراسة بمحافظات رانيه والخرمة والمويه، ويبرز بمحافظة رابغ شمال غرب المنطقة، بمساحة 24040.51 كم^2، بنسبة 17.16% من إجمالي مساحة المنطقة، وزادت مساحة هذا النطاق بنحو 1550.69 كم^2.

شكل 10. معدل الأمطار السنوية عامي 2008- 2009



شكل 11. فئات معدل توزيع الأمطار عامي 2008- 2009



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

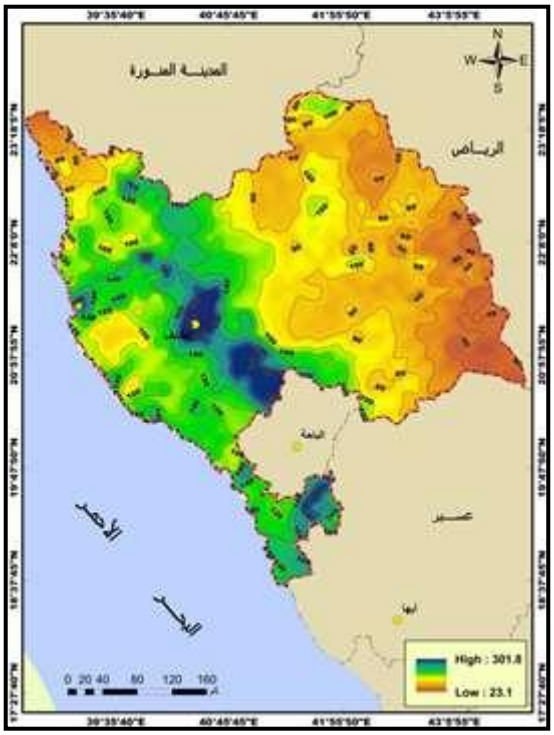
في المقابل توصلت نتائج تحليل توزيع المعدل السنوي لأمطار منطقة مكة المكرمة عامي 2010 و2011 – كما في شكل رقم (12) – تراوح معدل الأمطار في المنطقة بين 23.1 ملم؛ مما يشير إلى زيادة بنحو 10.9 ملم سنوياً عن المدة السابقة. وبلغ الحد الأعلى لمعدل الأمطار 301.8 ملم سنوياً، بتراجع بلغ 103.1 ملم سنوياً، وبلغ المتوسط المكاني لتوزيع الأمطار بمنطقة الدراسة نحو 100 ملم سنوياً، وبذلك زاد متوسط الأمطار على مستوى المنطقة بمقدار 7.1 ملم سنوياً، وبلغ انحراف توزيع الأمطار عن متوسطها المكاني بنحو 40.1 ملم سنوياً، وتعكس قيمتا المتوسط والانحراف تركزَ توزيع الأمطار وسط المنطقة.

وبذلك يبين شكل (13) توافقًا أقل بين توزيع المعدل السنوي للأمطار وارتفاع تضاريس منطقة مكة المكرمة، وعليه برز النطاق الذي تجاوزت أمطاره 200 ملم سنوياً جنوب ووسط محافظة الطائف ووسط محافظة ميسان، بمساحة بلغت 3066.78 كم^2، بنسبة 2.18% من إجمالي مساحة المنطقة، وهذا يعني أن مساحة هذا النطاق قد تراجعت عن المدة السابقة بنحو 2542.8 كم^2. ويبرز النطاق الذي تراوح معدل مطره بين 150 و200 ملم في عدة مناطق حيث يبرز جنوب المنطقة بمحافظات العريضات والجموم وجنوب الليث وفي مدينة جدة وشرق وغرب محافظتي ميسان والطائف وشرق وشمال شرق محافظة مكة وشمال شرق محافظة الجموم وشمال شرق محافظتي الكامل وخليص بمساحة بلغت 11479.79 كم^2، بنسبة 8.2% من إجمالي مساحة المنطقة، بزيادة في مساحة هذا النطاق مقدارها نحو 1160.62 كم^2.

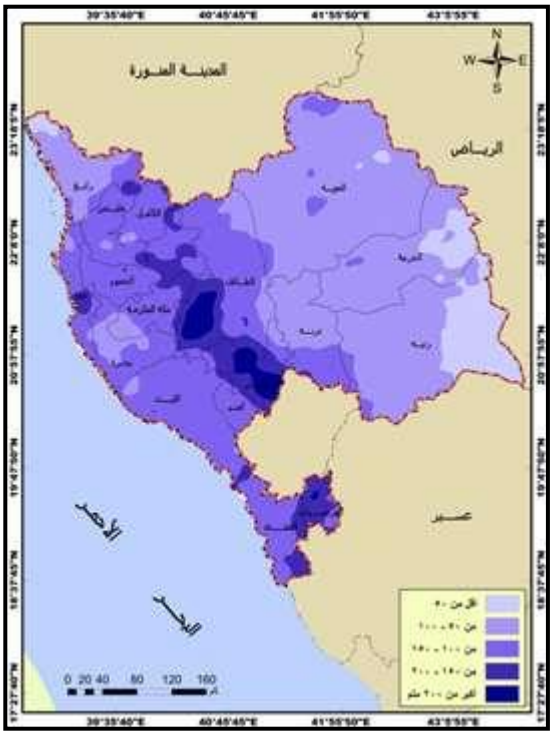
ويمتد النطاق الذي تراوح معدل الأمطار فيه بين 100 و150 ملم سنوياً شرق وغرب النطاق السابق ضمن محافظات تربة وميسان وشرق ووسط الطائف وأجزاء واسعة من محافظات خليص والكامل والجموم ومكة وجدة والليث وأضم والقنفذة وبحرة بمساحة بلغت 49166.37 كم^2، بنسبة 35.1% من إجمالي مساحة المنطقة، لتزيد مساحة هذا النطاق عن المدة السابقة بنحو 15777.94 كم^2.

ويغطي النطاق الذي تراوحت أمطاره بين 50 و100 ملم غالبية مساحة محافظات تربة ورانيه والخرمة والمويه بمنطقة ظل المطر شرق منطقة الدراسة وغالبية مساحة محافظة رابغ شمال غرب منطقة مكة المكرمة وفي أجزاء صغيرة من محافظات مكة وبحرة وجدة والليث والكامل وخليص، بمساحة بلغت 65713.03 كم^2، بنسبة 46.92% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه تراجعت مساحة هذا النطاق نحو 992.48 كم^2. ويظهر النطاق الذي تقل أمطاره عن 50 ملم سنوياً شرق وجنوب شرق منطقة مكة المكرمة بمحافظات رانيه والخرمة والمويه، وشمال غرب المنطقة بمحافظة رابغ، بمساحة 10637.24 كم^2، بنسبة 7.59% من إجمالي مساحة المنطقة، وانخفض مساحة هذا النطاق عن المدة السابقة بنحو 13403.27 كم^2.

شكل 12. معدل الأمطار السنوية عامي 2010- 2011



شكل 13. فئات معدل توزيع الأمطار عامي 2010- 2011



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

وتبين نتائج تحليل توزيع المعدل السنوي لأمطار منطقة الدراسة عامي 2012 و2013 -كما يتبين من شكل (14) - تراوح معدلها بين 21.5 ملم؛ مما يعني تراجع الحد الأدنى عن المدة السابقة بنحو 1.6 ملم سنوياً. وبلغ الحد الأعلى لمعدل الأمطار 304.9 ملم سنوياً، ليزداد الحد الأعلى بنحو 3.1 ملم سنوياً، وبلغ المتوسط المكاني لتوزيع أمطار منطقة مكة المكرمة خلال هذه المدة نحو 99.5 ملم سنوياً، وبذلك تراجع متوسط معدل الأمطار على مستوى المنطقة بمقدار 0.5 ملم سنوياً، وبلغ انحراف توزيع معدل أمطار المنطقة بنحو 36.6 ملم سنوياً، وتعكس قيمتا متوسط وانحراف توزيع الأمطار تركز وسط المنطقة.

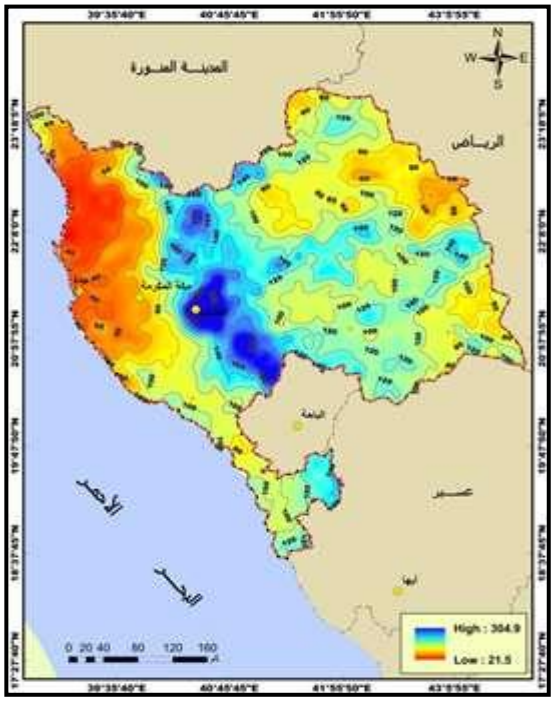
ويوضح شكل (15) توافقًا أعلى مما سبق بين توزيع الأمطار وارتفاع التضاريس في منطقة مكة المكرمة، وبالتالي برز نطاق تجاوز معدل الأمطار 200 ملم سنوياً جنوب مدينة الطائف وفي محيطها وشمال وجنوب محافظة ميسان، بمساحة بلغت 1725.46 كم^2، بنسبة 1.23% من إجمالي مساحة المنطقة، وهذا يعني تراجع مساحة هذا النطاق عن المدة السابقة بنحو 1341.33 كم^2. ويظهر نطاق تراوح الأمطار بين 150 و200 ملم في عدة مناطق حيث يمتد أكبرها من جنوب محافظة ميسان إلى المنطقة الوسطى من محافظة الطائف، وهناك عدة نطاقات تختلف في مساحتها أكبرها الواقع شمال غرب محافظة الطائف شمال شرق الجموم وهناك نطاقات صغيرة تبرز جنوب محافظة الجموم وشمال

الطائف والكامل وشمال غرب وجنوب غرب المويه، بمساحة بلغت 8609.902 كم^2، بنسبة 6.1% من إجمالي مساحة المنطقة، وتراجع عن مساحته في المدة السابقة بمقدار 2869.89 كم^2.

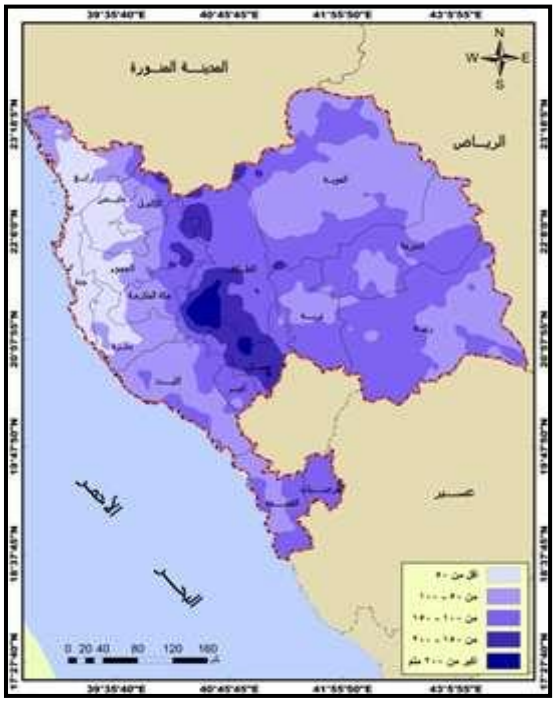
وينتشر نطاق تراوح الأمطار بين 100 و 150ملم سنوياً في مناطق جنوب غرب منطقة مكة المكرمة بمحافظات العريضات والقنفذة والليث وجنوب ووسط المنطقة بمحافظات أضم وغرب وشرق ميسان والطائف وشمال شرق محافظة مكة والجموم والكامل وخليص، ويمتد في مناطق واسعة بمحافظات تربة والمويه والخرمة، بمساحة إجمالية بلغت 60310.28 كم^2، بنسبة 43.05% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي زادت مساحة هذا النطاق بنحو 11143.91 كم^2.

ويغطي نطاق الأمطار بين 50 و100 ملم مساحة واسعة من محافظات تربة والمويه والخرمة ورانيه شرق منطقة الدراسة، ويمتد غربا من محافظات العريضات والقنفذة جنوبا عبر محافظات الليث وبحرة مكة والجموم والكامل وخليص حتى رابع شمالًا، بمساحة بلغت 55559.77 كم^2، بنسبة 39.37% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه فقد شهد هذا النطاق تراجعًا في مساحته بنحو 10153.26 كم^2. ويقع النطاق الذي تقل أمطاره عن 50 ملم سنوياً غرب وشمال غرب منطقة مكة المكرمة بمحافظات بحرة وجدة والجموم والكامل وخليص ورابغ، بمساحة 13857.8 كم^2، بنسبة 9.89% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي زادت مساحة هذا النطاق عن السابق بنحو 3220.56 كم^2.

شكل 14. معدل الأمطار السنوية عامي 2012- 2013



شكل 15. فئات معدل توزيع الأمطار عامي 2012- 2013



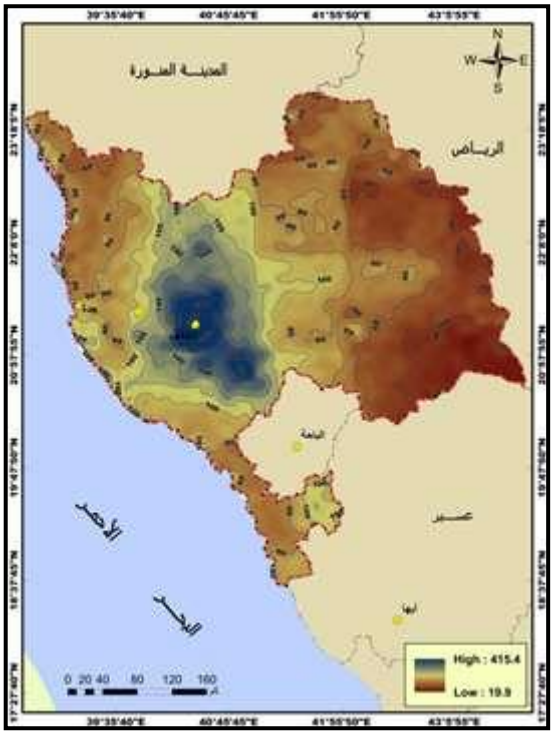
المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

وتظهر نتائج تحليل توزيع معدل الأمطار في منطقة مكة المكرمة عامي 2014 و2015 شكل (16) تراوح المعدل السنوي بين 19.9 ملم، ليتراجع عن الحد الأدنى للمدة السابقة بنحو 1.6 ملم سنوياً، وبلغ الحد الأعلى 415.4 ملم سنوياً، ليزداد الحد الأعلى لمعدل الأمطار بنحو 110.5 ملم سنوياً، بمتوسط مكاني على مستوى المنطقة بلغ 87.3 ملم سنوياً، وبذلك فقد تراجع المتوسط على مستوى المنطقة بمقدار 12.2 ملم سنوياً، وبلغ انحراف توزيع الأمطار 43.6 ملم سنوياً، مما يعني تركز توزيع الأمطار في منطقة الدراسة.

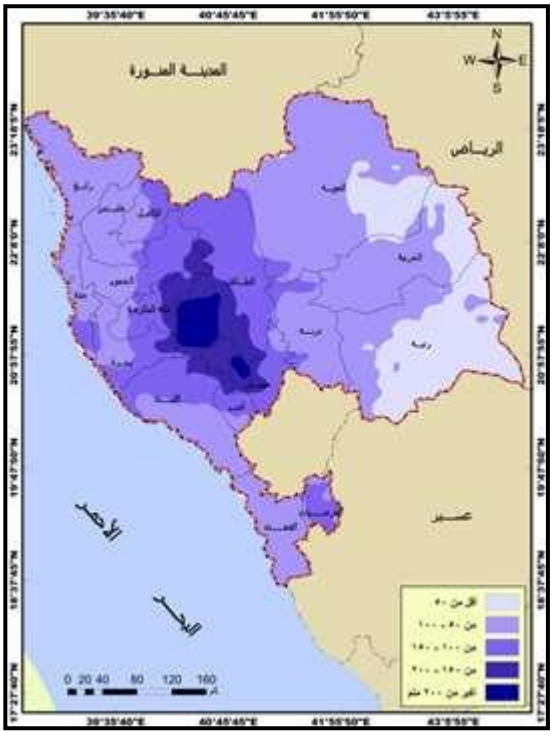
ويوضح شكل (17) توافقًا كبيرًا بين توزيع الأمطار وارتفاع تضاريس منطقة مكة المكرمة، وبالتالي يظهر نطاق تجاوز معدل الأمطار 200 ملم سنوياً جنوب غرب مدينة الطائف وشمال محافظة ميسان، بمساحة بلغت 2789.01كم^2، بنسبة 1.99% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه زادت مساحة هذا النطاق المطري بنحو 1063.56 كم^2. ويحاذي نطاق تراوح معدل الأمطار بين 100 و 200ملم النطاق السابق من جميع الجهات ضمن محافظات ميسان وأضم والليث وجنوب غرب ووسط محافظة الطائف وشرق محافظة مكة المكرمة وشرق الجموم وجنوب ووسط محافظة ميسان، بمساحة بلغت 8846.24كم^2، بنسبة 6.31% من إجمالي مساحة المنطقة، بزيادة عن مساحته السابقة بنحو 236.34 كم^2.

ويقع نطاق تراوح الأمطار بين 100 و 150ملم سنوياً جنوب غرب منطقة مكة ضمن محافظة العريضات وجنوب وغرب النطاق السابق بمحافظات ميسان وأضم وبحرة وجدة والطائف ومكة المكرمة والجموم والكامل وخليص، ويغطي شرق محافظة الطائف وجنوب غرب المويه وشمال غرب وجنوب غرب محافظة تربة، بمساحة إجمالية بلغت 28601.64 كم^2، بنسبة 20.42% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي تقلصت مساحة هذا النطاق بين المدتين بنحو 31708.64 كم^2. ويغطي نطاق الأمطار التي تراوحت بين 50 و 100ملم مساحة واسعة من محافظات تربة والمويه والخرمة ورانيه شرق منطقة مكة المكرمة، ويبرز غربا جنوب غرب منطقة الدراسة بمحافظات العريضات والقنفذة والليث، ويظهر غرب وشمال غرب المنطقة بمحافظات بحرة ومكة والجموم والكامل وخليص ورابغ، بمساحة بلغت 76217.95 كم^2، بنسبة 54.42% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه شهد هذا النطاق زيادة في مساحته بمقدار 20658.18 كم^2. ويظهر النطاق الذي تقل أمطاره عن 50 ملم سنوياً شرق وجنوب شرق منطقة مكة المكرمة بمحافظات رانيه والخرمة والمويه، بمساحة 23608.37 كم^2، بنسبة 16.86% من إجمالي مساحة المنطقة، وبذلك زادت مساحة هذا النطاق بنحو 9750.57 كم^2 بين المدتين.

شكل 16 معدل الأمطار السنوية عامي 2014- 2015



شكل 17 فئات معدل توزيع الأمطار عامي 2014- 2015



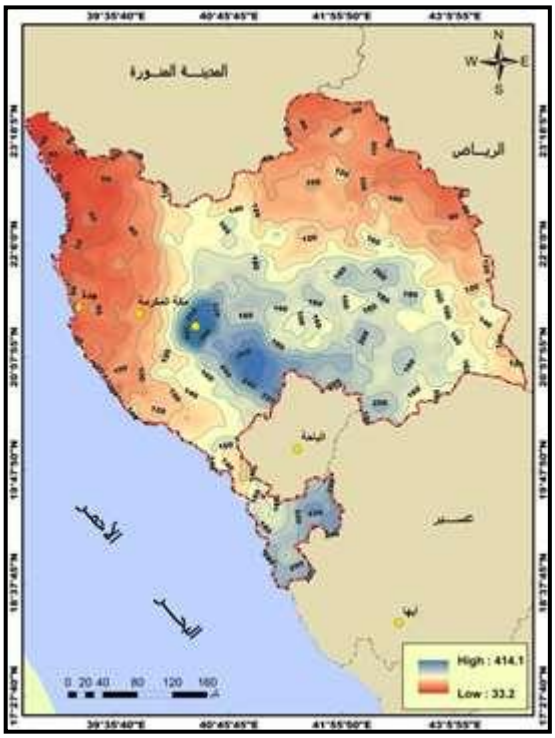
المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

وتؤكد نتائج تحليل توزيع الأمطار بمنطقة مكة المكرمة عامي 2016 - 2017 شكل (18) تراوح المعدل السنوي للأمطار في المنطقة بين 33.2 ملم، وعليه فقد زاد الحد الأدنى بنحو 13.3 ملم سنوياً، وبلغ الحد الأعلى 414.1 ملم سنوياً، وتراجع الحد الأعلى لمعدل الأمطار بنحو 1.3 ملم سنوياً، بمتوسط مكاني على مستوى المنطقة بلغ 134.1 ملم سنوياً، وبذلك زاد المتوسط المكاني لأمطار المنطقة بمقدار 46.8 ملم سنوياً، وبلغ انحراف توزيع الأمطار عن متوسطها 50 ملم سنوياً، وهذا يعكس تركز توزيع الأمطار في منطقة الدراسة.

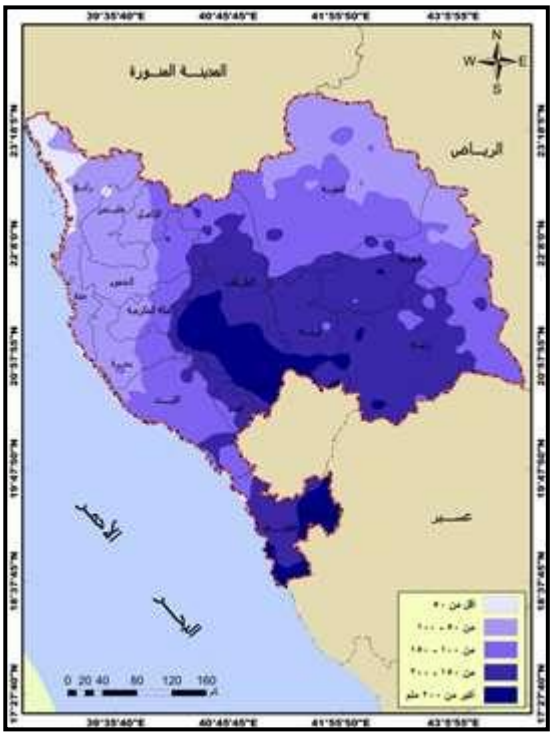
ويبين شكل (19) اتفاق نسبي بين توزيع الأمطار وارتفاع تضاريس منطقة الدراسة، حيث يظهر نطاق تجاوز الأمطار 200 ملم سنوياً جنوب غرب وجنوب شرق محافظة الطائف ووسط محافظة ميسان وجنوب غرب محافظة تربة وغالبية محافظة العريضات وجنوب القنفذة، بمساحة بلغت 12050.39 كم^2، بنسبة 8.6% من إجمالي مساحة المنطقة، وزادت مساحة هذا النطاق المطري بنحو 9261.38 كم^2. ويغطي النطاق الثاني حيث يتراوح معدل الأمطار بين 100 و 200ملم وسط وشمال القنفذة وشمال العريضات وجنوب الليث وشرق أضم وغرب ميسان وشرق محافظات أبحر ومكة المكرمة والجموم وغرب ووسط محافظة الطائف وشمال وجنوب محافظة تربة وغرب وجنوب غرب محافظات رانيه والخرمة والمويه، بمساحة 45113.73 كم^2، بنسبة 32.2% من إجمالي مساحة المنطقة، ليزداد عن مساحته

السابقة بحوالي 36267.49 كم^2. ويقع نطاق تراوح الأمطار بين 100 و 150ملم سنوياً جنوب غرب منطقة مكة ضمن محافظتي القنفذة والليث ووسط غرب منطقة الدراسة بمحافظات بحرة وشمال الطائف وشرق مكة المكرمة والجموم والكامل، ويغطي وجنوب غرب المويه ووسط الخرمة وشرق رانيه، بمساحة بلغت 43348.5كم^2، بنسبة 30.94% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه فقد زادت مساحة هذا النطاق بنحو 14746.86 كم^2 بين المدتين. ويبرز نطاق تراوح معدل الأمطار بين 50 و100 ملم شمال شرق محافظتي المويه والخرمة وغرب منطقة الدراسة ليضم أجزاء واسعة من محافظات بحرة ومكة والجموم والكامل وخليص ورابغ، بمساحة إجمالية 36862.92 كم^2، بنسبة 26.32% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي تراجعت مساحة هذا النطاق بحوالي 39355.03 كم^2. ويظهر النطاق الذي تقل أمطاره عن 50 ملم سنوياً بمحافظة رابغ شمال غرب منطقة مكة المكرمة، بمساحة 2687.66كم^2، بنسبة 1.91% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه فقد تقلصت مساحة هذا النطاق بنحو 20920.71 كم^2 بين المدتين.

شكل 18. *معدل الأمطار السنوية عامي 2016- 2017*



شكل *19. فئات توزيع الأمطار عامي 2016- 2017*



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

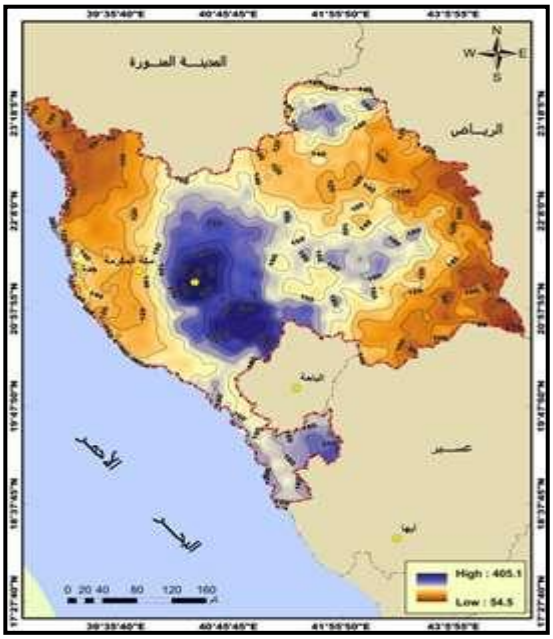
وتوصلت نتائج تحليل توزيع أمطار منطقة الدراسة عامي 2018 - 2019 شكل (20) تراوح المعدل السنوي للأمطار في منطقة مكة المكرمة بين 54.5 ملم، بزيادة عن الحد الأدنى بنحو 21.3 ملم سنوياً، وبلغ الحد الأعلى

405.1 ملم سنوياً، وتراجع الحد الأعلى لمعدل الأمطار بنحو 9 ملم سنوياً بين المدتين، بمتوسط مكاني على مستوى المنطقة بلغ 148.4 ملم سنوياً، ليزداد المتوسط المكاني للأمطار بالمنطقة بنحو 14.3 ملم سنوياً، وبلغ انحراف توزيع الأمطار عن متوسطها 46.5 ملم سنوياً، وتشير هذه النتائج لتركز توزيع الأمطار في المنطقة.

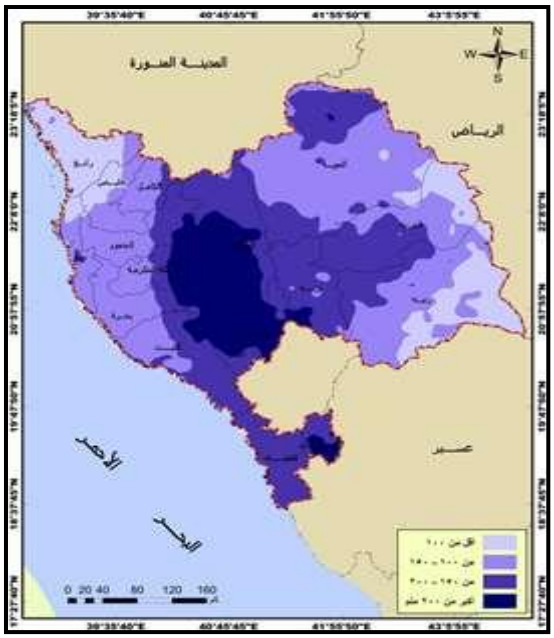
ويبين شكل (21) تغير كبير في توزيع الأمطار في منطقة الدراسة خلال هذه المدة مقارنة بالفترات السابقة، ومما يؤكد ذلك اختفاء نطاق الأمطار أقل من 50 ملم، وتغطية نطاق تجاوز الأمطار 200 ملم سنوياً مساحة أوسع وسط منطقة الدراسة ليغطي أجزاء كبيرة من محافظات الطائف وميسان وشمال أضم وشمال شرق الليث وشرق مكة المكرمة وبحرة والجموم وجنوب غرب محافظة تربة وشمال العريضات، بمساحة بلغت 17801.71 كم^2، بنسبة 12.7% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي زادت مساحة هذا النطاق المطري بنحو 5751.32 كم^2. ويغطي النطاق الثاني حيث يتراوح معدل الأمطار بين 100 **و** 200ملم محافظات القنفذة وجنوب الليث وأضم وشرق بحرة ووسط مكة وشرق الجموم والكامل وشمال وشرق محافظة الطائف وشرق ميسان وغالبية محافظة تربة وشمال غرب رانيه وجنوب غرب الخرمة وجنوب غرب وشمال غرب المويه، بمساحة 48805.93 كم^2، بنسبة 34.84% من إجمالي مساحة المنطقة، بزيادة عن مساحته السابقة بحوالي 3692.2 كم^2.

ويقع نطاق تراوح الأمطار بين 100 و 150ملم سنوياً غرب منطقة مكة المكرمة ضمن محافظات الليث وبحرة وجدة وغرب مكة والجموم وجنوب خليص وغرب الكامل وشمال شرق رابغ، ويغطي وسط كل من المويه والخرمة ورانيه، بمساحة بلغت 53625.46 كم^2، بنسبة 38.29% من إجمالي مساحة المنطقة، وبذلك زادت مساحة هذا النطاق بنحو 10276.96 كم^2 بين المدتين. ويبرز نطاق تراوح معدل الأمطار بين 50 و 100ملم شرق محافظتي المويه والخرمة وجنوب شرق محافظة رانيه، وشمال غرب منطقة مكة المكرمة بمحافظة رابغ وغرب خليص وشمال جدة، بمساحة بلغت 19830.11 كم^2، بنسبة 14.15% من إجمالي مساحة المنطقة، وتراجعت مساحة هذا النطاق بحوالي 17032.81كم^2.

شكل 20. معدل الأمطار السنوية عامي 2018- 2019



شكل 21. فئات توزيع الأمطار عامي 2018- 2019



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

وأظهرت نتائج تحليل توزيع الأمطار بين 2020 و 2022 شكل (22) تراوح المعدل السنوي بين 28.2 ملم، وعليه فقد زاد عن الحد الأدنى للفترة السابقة بنحو 8.3 ملم سنوياً، وبلغ الحد الأعلى 548.6 ملم سنوياً، ليزداد الحد الأعلى لمعدل الأمطار بنحو 133.2 ملم سنوياً، وبلغ متوسط توزيع الأمطار على المستوى المكاني للمنطقة بلغ 109 ملم سنوياً، وعليه زاد المتوسط على مستوى المنطقة بمقدار 21.7 ملم سنوياً، وبلغ انحراف توزيع الأمطار 55.1 ملم سنوياً، وهذا يعني تركز توزيع الأمطار بمنطقة الدراسة خلال هذه المدة.

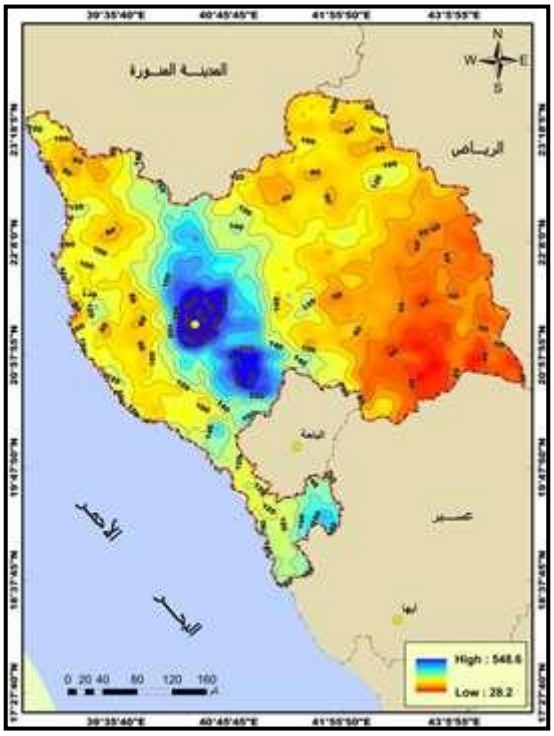
ويوضح شكل (23) توافقًا كبيرًا جدًا بين توزيع الأمطار وطبوغرافية منطقة الدراسة، وعليه يظهر نطاق تجاوز معدل الأمطار 200 ملم سنوياً جنوب وجنوب غرب ووسط محافظة الطائف ووسط وشمال وغرب محافظة ميسان وشمال شرق مكة المكرمة وجنوب شرق الجموم وشمال أضم وشمال شرق الليث، بمساحة بلغت 2789.01 كم^2، بنسبة 6.3% من إجمالي مساحة المنطقة، لتزيد مساحة هذا النطاق المطري بنحو 6029.59 كم^2.

ويظهر نطاق تراوح معدل الأمطار بين 100 و 200ملم النطاق المطري السابق من جميع الجهات ضمن محافظات الليث وميسان وأضم وجنوب غرب وشمال غرب ووسط محافظة الطائف وشرق ووسط محافظة مكة المكرمة ووسط وشمال شرق الجموم وشمال شرق الكامل وجنوب العريضات وشرق القنفذة، بمساحة بلغت 14077.9 كم^2، بنسبة 10.05% من إجمالي مساحة المنطقة، بزيادة بلغت 5231.66 كم^2.

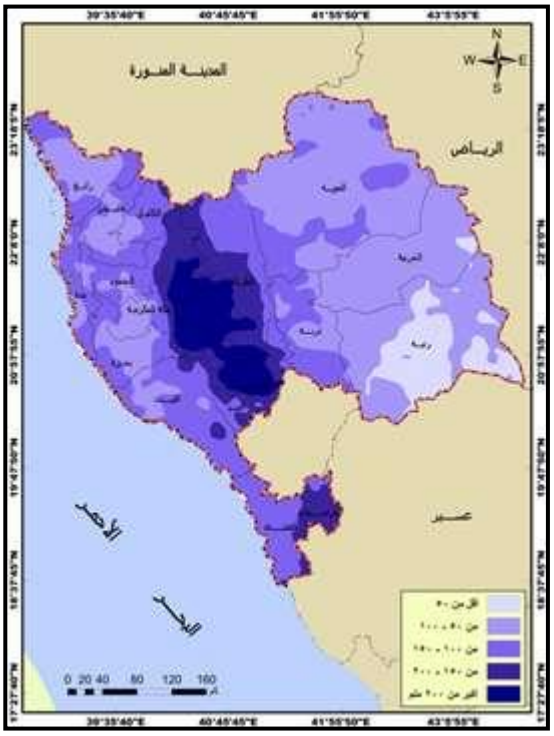
ويقع النطاق الذي تراوح معدل مطره بين 100 و150 ملم سنوياً جنوب غرب منطقة مكة ضمن محافظات العريضات والقنفذة والليث غرب النطاق المطري الثاني ضمن محافظات بحرة ومكة المكرمة وجدة والطائف والجموم والكامل وخليص، كما يغطي شرق وشمال شرق محافظة الطائف ووسط وجنوب وغرب محافظة المويه وغرب وشمال محافظة تربة، بمساحة إجمالية بلغت 44378.99 كم^2، بنسبة 31.68% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي زادت مساحة هذا النطاق بنحو 15777.35 كم^2 بين المدتين.

ويغطي نطاق تراوح معدل الأمطار بين 50 و100 ملم غالبية مساحة محافظات المويه والخرمة ورانيه وشرق محافظة تربة، كما يبرز غربا منطقة الدراسة بمحافظات الليث وبحرة ومكة المكرمة وجدة والجموم والكامل وخليص ورابغ، بمساحة بلغت 63351.07 كم^2، بنسبة 45.28% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه شهدت مساحة هذا النطاق المطري تراجع بحوالي 12866.88 كم^2. ويبرز النطاق الذي تقل أمطاره عن 50 ملم سنوياً جنوب شرق منطقة مكة المكرمة بمحافظتي رانيه والخرمة، بمساحة 9436.652 كم^2، بنسبة 6.73% من إجمالي مساحة المنطقة، وتراجعت مساحة هذا النطاق بحوالي 14171.71 كم^2 بين المدتين.

شكل 22. معدل الأمطار السنوية عامي 2020- 2022



شكل 23. فئات توزيع الأمطار عامي 2020- 2022



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

2.8. عواصف الأمطار الكثيفة في المنطقة

أكدت نتائج تحليل توزيع الأمطار في المنطقة سابقًا تباين توزيع معدلات الأمطار السنوية مع تركزها في المناطق الأكثر ارتفاعًا وسط المنطقة، وبالتحديد جنوب غرب محافظة الطائف ووسط وشمال محافظة ميسان الواقعة إلى الجنوب منها، ويقل معدل الأمطار كلما اتجهنا شرق وغرب هذه المنطقة. ويأتي خطر العواصف من موقع المنطقة ضمن المناطق الجافة وشبة الجافة التي تمتاز أمطارها بهطول كمية كبيرة من الأمطار خلال مدة قصيرة يوم أو أقل، وما يترتب عليها من مخاطر على السكان ومنشآتهم، وستحاول الدراسة تحليل أربعٍ من أخطر العواصف المطرية اليومية التي تعرضت لها منطقة الدراسة.

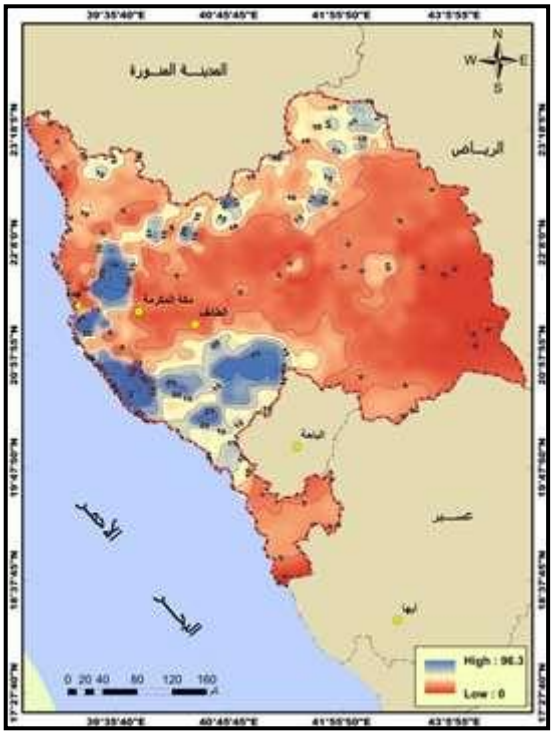
وبذلك فقد توصلت نتائج تحليل توزيع عاصفة أمطار (17 – 11 – 2000) التي شهدتها منطقة مكة المكرمة –كما في شكل (24) – تراوح المعدل اليومي لأمطار هذه العاصفة بين 0 ملم، إلى 96.3 ملم خلال أربعٍ وعشرين ساعة، بمتوسط مكاني لتوزيع أمطار هذه العاصفة على المستوى المنطقة بلغ 7.6 ملم، وبلغ انحراف توزيع أمطار هذه العاصفة 7.4 ملم يومياً، واقتراب قيمتي المتوسط والانحراف تعني أن العاصفة المطرية توزعت على أكثر من مركز على مستوى منطقة الدراسة، رغم أن مركزها الرئيس يقع شمال غرب محافظة الليث جنوب غرب محافظة بحرة.

ويوضح شكل (25) وجود عدة مراكز لعاصفة مطر (17 – 11 – 2000) غالبيتها وأشدها خطرا تقع بعيدًا عن أحواض التصريف التي تتجه مجاريها نحو التجمعات السكنية والعمرانية الكبرى في منطقة الدراسة، ووقوع كبرى مدن المنطقة مكة والطائف بعيدًا عن خطر سيول هذه العاصفة، بينما جاء خطر السيول على مدينة جدة من وقوع إحدى مراكز العاصفة جنوب المدينة لكن مخاطره محدودة لكونه بعيدًا عن الكتلة العمرانية للمدينة، وبالتالي جاءت مخاطر سيول عام 2000 على المدينة من وقوع مركز آخر للعاصفة جنوب غرب محافظة الجموم شرق المدينة، وتجرى مياه الأودية من هذه المنطقة باتجاه الكتلة السكنية في المدينة. وبذلك تقع المنطقة التي تتصف بخطورة عالية جدًا لأمطار هذه العاصفة حيث تجاوزت كمية الأمطار 80 ملم خلال أربعٍ وعشرين ساعة بمحاذاة خط الساحل في المنطقة الواقعة بين محافظتي الليث وبحرة، بمساحة بلغت 3.45 كم^2، بنسبة 0.002% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة.

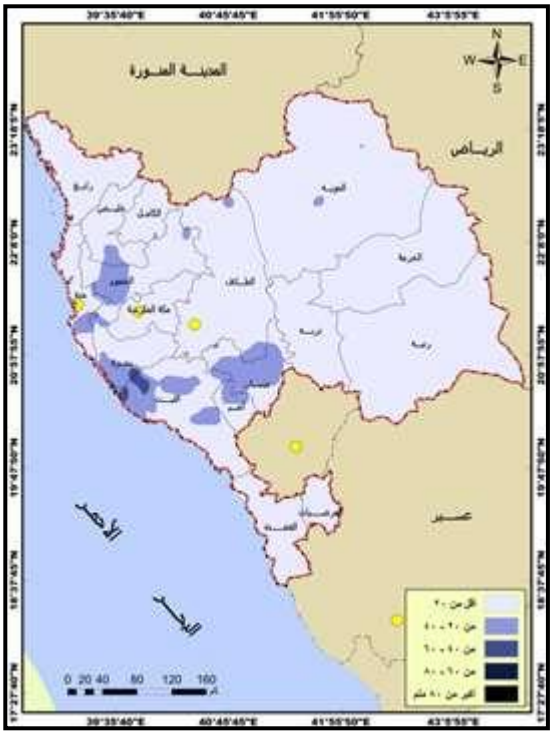
بينما تظهر المنطقة التي عانت من خطورة عالية لأمطار هذه العاصفة كمية مطرية تراوحت بين 60 و80 ملم خلال أربعٍ وعشرين ساعة بمحاذاة المنطقة السابقة من الشرق ضمن محافظتي الليث وبحرة، بمساحة بلغت 14.34 كم^2، بنسبة 0.01% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة. وتقع المنطقة التي واجهت مخاطر معتدلة لجريان هذه العاصفة بين 40 و60 ملم خلال أربعٍ وعشرين ساعة بمحاذاة خط الساحل بمحافظات الليث وبحرة حتى جنوب غرب محافظة جدة، وهناك نطاق اخر يقع شرق النطاق السابق بين محافظتي الليث وبحرة، بمساحة إجمالية بلغت 594.18 كم^2، بنسبة 0.42% من إجمالي مساحة المنطقة. وتبرز المنطقة التي اتسمت بضعف مخاطر الجريان السيلي الناتج عن هذه العاصفة حيث يتراوح معدل الأمطار بين 20 و 40ملم خلال أربع وعشرين ساعة جنوب غرب محافظة بحرة وشمال

ووسط وشمال غرب محافظة الليث شمال أضم وجنوب الطائف ووسط ميسان ووسط محافظة جدة جنوب مدينة جدة ووسط وجنوب محافظة الجموم وجنوب محافظة خليص وأجزاء محدود بمحافظات المويه وشمال الطائف، بمساحة بلغت 9918.51 كم^2، بنسبة 7.08% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة. وهي تغطي المنطقةَ التي اتسمت بضعف كبير لمخاطر سيول هذه العاصفة حيث يقل معدل الأمطار عن 20 ملم خلال أربع وعشرين ساعة، بمساحة 129532.7 كم^2، بنسبة 92.49% من إجمالي مساحة المنطقة.

شكل 24 .عاصفة أمطار يوم (17 – 11 – 2000)



شكل 25. فئات توزيع أمطار يوم (17 – 11 – 2000)



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

في المقابل تؤكد نتائج تحليل عاصفة أمطار (25 – 11 – 2009) التي شهدتها منطقة مكة المكرمة –كما في شكل (26) – وأثرت بصورة كبيرة على السكان وممتلكاتهم في مدينتي مكة المكرمة وجدة على تراوح المعدل اليومي لأمطار هذه العاصفة بين 0 ملم، إلى 128.6 ملم خلال أربع وعشرين ساعة، بزيادة للحد الأعلى الناتج عن عاصفة أمطار 2000 بحوالي 32.3 ملم، وبلغ متوسط توزيع الأمطار لهذه العاصفة على المستوى منطقة مكة المكرمة 16.02 ملم، بزيادة عن متوسط عاصفة عام 2000 بنحو 8.42 ملم، وبلغ انحراف توزيع الأمطار بهذه العاصفة 23.6 ملم يومياً، وزيادة قيمتي الانحراف عن المتوسط تعني تبعثر توزيع أمطار العاصفة المطرية على مساحة أوسع.

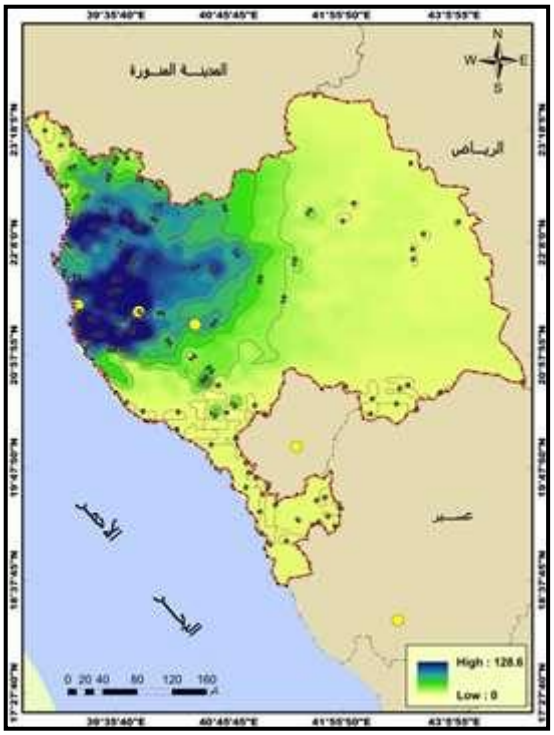
ويوضح شكل (27) وقوع مراكز عاصفة أمطار (25 - 11 - 2009) في المستجمعات المائية التي يقع ضمنها أكبر نطاق عمراني حضري بين مدينتي الطائف شرقاً وجدة غرباً، وبالتالي وقعت كبرى مدن المنطقة مكة والطائف وبالتحديد مدينة جدة التي تقع بمصب عدد من الأودية القادمة من الشرق ضمن مخاطر سيول هذه العاصفة، ومن هنا نتجت مخاطر السيول على مدينة جدة التي تقع في مصب عدد من الأودية القادمة من محافظات الطائف ومكة والجموم وخليص والكامل. وبذلك تقع المنطقة التي شهدت أمطار غزيرة جدًا وعانت من مخاطر عالية جدًا لأمطار عاصفة 2009 حيث تجاوزت كمية الأمطار 80 ملم خلال أربع وعشرين ساعة بمحافظات الجموم وبحرة ومكة المكرمة وجدة وخليص والكامل، ومن هنا تجمعت السيول في الأحواض المائية واتجهت نحو مدينة جدة، وبلغت مساحة هذه المنطقة 3492.18 كم^2، بنسبة 2.49% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة. وتبرز المنطقة التي شهدت أمطارًا غزيرة ومخاطر عالية لأمطار هذه العاصفة حيث تراوحت كمية الأمطار بين 60 و 80ملم خلال أربع وعشرين ساعة بمحاذاة المنطقة السابقة وبالمحافظات نفسها مضافة إليها محافظة الطائف. وتصرف غالبية الأحواض المائية الواقعة بهذه المناطق سيولها نحو مدينة جدة، وبلغت مساحة هذه المنطقة 7079.45 كم^2، بنسبة 5.05% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة.

وتقع المنطقة التي تعرضت لهبوط كمية متوسطة من مياه الأمطار وواجهت مخاطر معتدلة لجريان السيول الناتجة من هذه العاصفة حيث تراوحت كمية الأمطار بين 40 و 60ملم خلال أربع وعشرين ساعة بمحاذاة المنطقة السابقة ضمن محافظات الجموم وبحرة ومكة المكرمة وجدة وخليص والكامل والطائف ورابغ والليث. ومن أحواض تجميع المياه تأتي مخاطر السيول على مدينتي مكة والطائف بصورة عامة وجدة بصورة خاصة، بمساحة إجمالية لهذه المنطقة بلغت 14812.32كم^2، بنسبة 10.57% من إجمالي مساحة المنطقة.

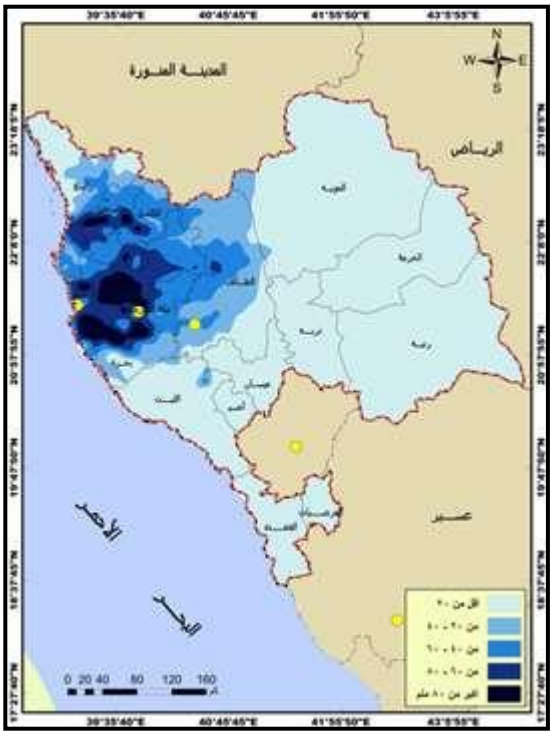
وتظهر المنطقة التي تعرضت لأمطار منخفضة نسبياً واتسمت بضعف مخاطر الجريان السيلي لهذه العاصفة حيث تراوح معدل الأمطار بين 20 و40 ملم خلال أربع وعشرين ساعة بمحاذاة المنطقة السابقة وفي نفس المحافظات مضافًا إليه جزء من محافظة المويه، وبذلك تضاف المياه التي تتجمع بهذه المناطق للمياه في المناطق السابقة وتعزز من مخاطر السيول بالذات على مدينتي جدة ومكة المكرمة، وبلغت مساحة هذه المنطقة 14137.83 كم^2، بنسبة 10.09% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة.

وتغطي المنطقة التي هطلت عليها كمية منخفضة من الأمطار واتسمت بضعف كبير لمخاطر سيولها على المنطقة بصورة ومراكز التجمعات السكانية الكبرى في المدن الثلاثة جدة ومكة المكرمة والطائف حيث تصرف غالبية مساحة هذه المناطق بعيدًا عن هذه المدن حيث قل معدل هطول الأمطار عن 20 ملم خلال أربع وعشرين ساعة، بمساحة 100541.4 كم^2، بنسبة 71.79% من إجمالي مساحة المنطقة.

شكل 26. عاصفة أمطار يوم (25 – 11 – 2009)



شكل 27. فئات توزيع أمطار يوم (25 – 11 – 2009)



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

ومن العواصف المطرية الخطرة على السكان وممتلكاتهم في مدينتي مكة المكرمة وجدة عاصفة (3 – 11 – 2018)، التي تراوح معدل أمطارها –كما يبين شكل (28) – بين 0 ملم، إلى 145.5 ملم خلال أربع وعشرين ساعة، بزيادة لحدها الأعلى عن عاصفة أمطار 2009 بحوالي 16.9 ملم، وبلغ متوسط أمطار هذه العاصفة على مستوى منطقة مكة المكرمة 12.96 ملم، وانخفض عن متوسط عاصفة عام 2009 بنحو 3.06 ملم، وبلغ انحراف توزيع أمطار هذه العاصفة 10.5 ملم يومياً، وتعكس قيمتي انحراف ومتوسط توزيع أمطار العاصفة تركزها على مساحة أقل.

ويوضح شكل (29) وقوع مراكز عاصفة أمطار (3 – 11 – 2018) بمحاذاة خط الساحل في إطار الحدود المكانية لمدينة جدة، وبالتالي فإن هذا الموقع لا يشير إلى مخاطر عالية جدًا للمياه الناتجة عن هذه العاصفة كون غالبية مياه الأمطار تصرف مباشرة باتجاه البحر الأحمر، فضلاً عن وقوع مساحات واسعة من أحواض الصرف التي تتجه مياهها نحو مدينة جدة خارج مراكز العاصفة أو ضمن المناطق التي تقل كمية أمطارها عن المتوسط المكاني لمنطقة الدراسة.

وبذلك تقع المنطقة التي شهدت أمطارًا غزيرة جدًا لأمطار عاصفة 2018 حيث تجاوزت كمية الأمطار 80 ملم خلال أربع وعشرين ساعة شمال غرب مدينة جدة، وتصرف مياه هذه المنطقة التي بلغت مساحتها 108.29 كم^2،

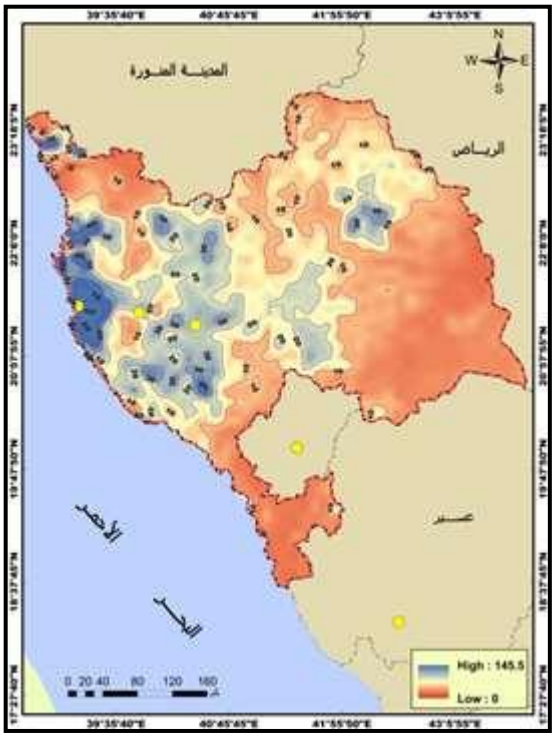
بنسبة 0.07% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة مباشرة إلى البحر الاحمر من دون أي مخاطر. وتظهر المنطقة التي شهدت أمطارًا غزيرة نتجت عنها مخاطر عالية لهذه العاصفة حيث تراوحت كمية الأمطار بين 60 و80 ملم خلال أربع وعشرين ساعة شمال غرب ووسط وجنوب غرب مدينة جدة، ورغم ارتفاع كمية الأمطار إلا أن مساحتها الصغيرة 445.63 كم^2، بنسبة 0.31% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة ومنطقة هطولها لا تعكس مخاطر السيول على المدينة.

وتغطي المنطقة التي تعرضت لهبوط كمية متوسطة من أمطار هذه العاصفة وواجهت مخاطر معتدلة لجريان السيول الناتجة عنها حيث تراوحت كمية الأمطار بين 60 – 40 ملم خلال أربع وعشرين ساعة بمنطقة الغطاء العمراني جنوب ووسط مدينة جدة وشمال محافظة جدة وجنوب غرب محافظة خليص، بمساحة إجمالية بلغت 2651.21 كم^2، بنسبة 1.89% من إجمالي مساحة المنطقة، وبالتالي فإن مؤشري مساحة المنطقة وموقعها لا يدلان على وجود مخاطر شديدة للسيول الناتجة عنها.

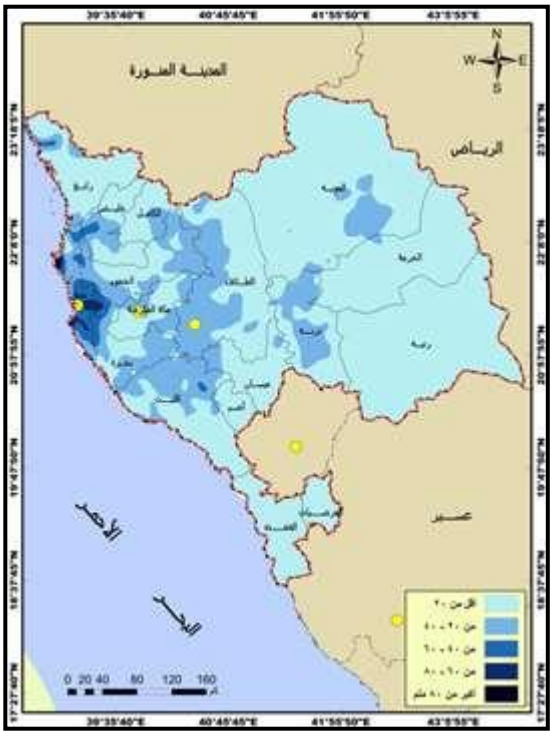
وتقع المنطقة التي تعرضت لأمطار منخفضة نسبياً واتسمت بمخاطر للجريان السطحي الناتج عن هذه العاصفة حيث تراوح معدل الأمطار بين 20 و40 ملم خلال أربع وعشرين ساعة بمحاذاة المنطقة السابقة في محافظات الجموم وبحرة وجدة ومكة وخليص والكامل ورابغ والطائف والليث وأضم وميسان وتربة والمويه، بمساحة بلغت 28586.43 كم^2، بنسبة 20.4% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة، ورغم قلة الأمطار مقارنة بالمناطق السابقة إلا أن مساحة تجميع المياه بغالبية هذه المنطقة تشكل مخاطر على السكان وممتلكاتهم في المدن الثلاث بالذات على مدينتي جدة ومكة، بسبب وقوع غالبية مساحة المنطقة ضمن أحواض الصرف لهذه المدن.

وتغطي المنطقة التي هطلت عليها أمطار تقل عن 20 ملم خلال أربع وعشرين ساعة غالبية منطقة مكة المكرمة، بمساحة 108271.6 كم^2، بنسبة 77.3% من إجمالي مساحة المنطقة، ورغم المساحة الكبيرة يقل مخاطر أمطار هذه المنطقة على تجمعات السكان الكبرى في جدة ومكة المكرمة والطائف لسببين هما: قلة كمية الأمطار، ووقوع أحواض تصريف مياه هذه المنطقة بعيدًا عن هذه المدن.

شكل 28. عاصفة أمطار يوم (3 – 11 – 2018)



شكل 29. فئات توزيع أمطار يوم (3 – 11 – 2018)



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

وتعد عاصفة أمطار (24 – 11 – 2022) التي شهدتها منطقة مكة المكرمة من أخطر العواصف التي تعرضت لها المنطقة وتركت أثار على ممتلكاتهم السكان في مدينتي مكة المكرمة وجدة، حيث تراوح معدل الأمطار الناتج عن هذه العاصفة – كما في شكل (30) – بين 0 ملم، إلى 225.5 ملم خلال أربع وعشرين ساعة، بزيادة لحدها الأعلى عن عاصفة أمطار 2018 بحوالي 80 ملم، وبلغ متوسط أمطار العاصفة على مستوى المنطقة 31.65 ملم، وزاد عن متوسط عاصفة عام 2018 بنحو 18.69 ملم، وبلغت قيمة انحراف توزيع أمطار العاصفة 45.2 ملم يومياً.

ويوضح شكل (31) أن عاصفة أمطار (24 – 11 – 2022) – سواء من حيث كمية أمطارها أو مواقع مراكزها أو مساحة ومناطق امتداد هذه المراكز– أن أكثر العواصف خطورة وتهديدًا للسكان ومنشآتهم في المنطقة الممتدة بين مدينة جدة غرباً والطائف شرقاً، وتتشابه هذه العاصفة لاسيما فيما يتعلق بموقعها وخصائصها المكانية وشدة مخاطرها مع عاصفة 2009، فالعاصفتان كلاهما تركزتا في مناطق تصريف المياه نحو هذه المدن وبالذات باتجاه مدينتي مكة المكرمة وجدة. بناء على ذلك، تقع المنطقة التي شهدت أمطارًا غزيرة جدًا لعاصفة 2022 حيث تجاوزت كمية الأمطار 80 ملم خلال أربع وعشرين ساعة، وتغطي هذه المنطقة غالبية المساحات الحوضية لأحواض التصريف المتجهة نحو مدينة جدة ومحافظات مكة المكرمة والطائف والجموم وخليص والكامل، ومن هنا – إلى جانب كمية المياه التي هطلت خلال

مدة قصيرة على المنطقة – جاءت مخاطر السيول الناتجة عنها بالذات على مدينة جدة، ومما يعزز من هذه المخاطر مساحة هذه المنطقة التي بلغت 20729.47 كم^2، بنسبة 14.8% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة.

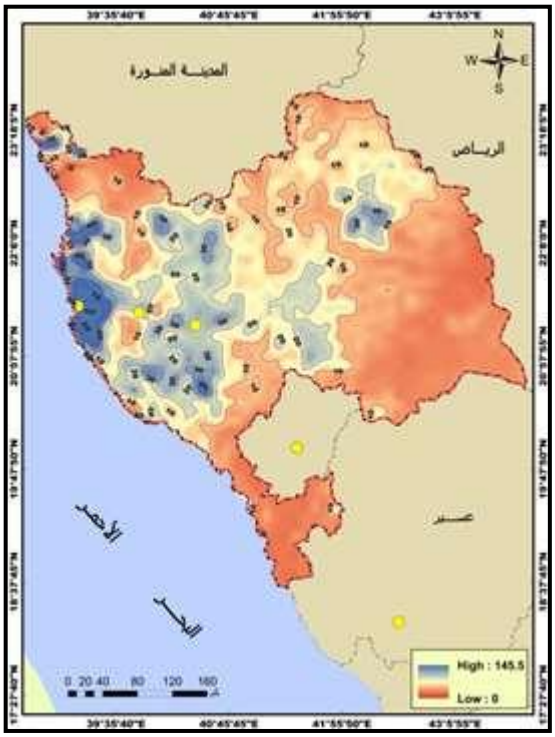
وتقع المنطقة التي شهدت أمطارًا غزيرة نتجت عنها مخاطر عالية من هذه العاصفة حيث تراوحت كمية الأمطار بين 60 و80 ملم خلال أربع وعشرين ساعة شرق وشمال وجنوب المنطقة السابقة في محافظات الطائف والكامل والجموم وخليص ورابغ ومكة المكرمة وبحرة وأضم والليث، وتصرف غالبية مياه هذه المنطقة عبر أحواض التصريف غربًا باتجاه مدينتي مكة وجدة؛ مما تشكل مخاطر على سكان المدينتين ومنشآتهم، وتبلغ مساحة هذه المنطقة 6531.89 كم^2، بنسبة 4.66% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة.

وتظهر المنطقة التي تعرضت لكمية متوسطة من أمطار عاصفة 2022 وتواجه مخاطر معتدلة لجريان السيول حيث تراوحت كمية الأمطار بين 40 و60 ملم خلال أربع وعشرين ساعة بمحاذاة المنطقة الثانية من الشرق والشمال والجنوب، بمساحة بلغت 10254.93 كم^2، بنسبة 7.32% من إجمالي مساحة المنطقة، ويصرف جزء محدود من مياه هذه المنطقة نحو مدينتي مكة المكرمة وجدة.

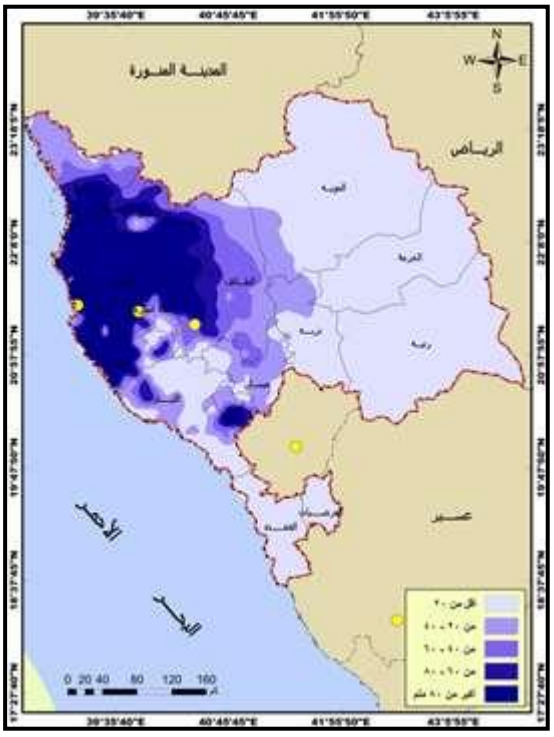
وتبرز المنطقة التي تعرضت لأمطار منخفضة نسبياً يرافقها مخاطر معتدلة للجريان الناتج عن العاصفة حيث تراوحت الأمطار بين 20 و40 ملم خلال أربع وعشرين ساعة بمحاذاة المنطقة السابقة في محافظات الطائف والكامل والجموم وخليص ورابغ ومكة المكرمة وبحرة وأضم والليث وميسان وتربة والمويه، بمساحة بلغت 19660.31 كم^2، بنسبة 14.03% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة، وغالبية المياه المنصرفة من هذه المنطقة لا تتجه نحو مناطق عمرانية.

وتغطي المنطقة التي تقل أمطارها عن 20 ملم خلال أربع وعشرين ساعة غالبية المنطقة الشرقية لمكة المكرمة ضمن محافظات المويه والخرمة ورانيه وتربة وجنوب منطقة الدراسة ضمن محافظات الليث والقنفذة والعريضات وأضم وميسان، بمساحة 82886.61 كم^2، بنسبة 59.18% من إجمالي مساحة المنطقة، ورغم كبر مساحة هذه المنطقة فإنها نقل مخاطر أمطارها على التجمعات السكانية الكبرى بمنطقة الدراسة.

شكل 30. عاصفة أمطار يوم (24 – 11 – 2022)



شكل 31. فئات توزيع أمطار يوم (24 – 11 – 2022)



المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

3.8. اتجاه تغير الأمطار في المنطقة

أكدت نتائج كشْف تغير الأمطار بخوارزمية (Image Difference) بين مرحلتين تمتد كل منها لإحدى عشرة سنة بين عامي (2000 – 2011) في الأولى وبين عامي (2012 – 2022) في الثانية كما في شكل (32) تراوحَ نسبة التغير حول 25.5 ملم في المناطق التي تراجع فيها معدل الأمطار، إلى 124.9 ملم، وبلغ متوسط التغير السنوي للأمطار على مستوى المنطقة 15.4 ملم؛ مما يعني أن غالبية منطقة مكة المكرمة شهدت زيادة أو تغيرًا إيجابيًا في كمية الأمطار، وهذا يعكس تراجع حدة الجفاف المناخي في المنطقة، وبلغ انحراف توزيع تغير الأمطار في المنطقة بين المرحلتين 14.7 ملم، وتعكس نتائج حساب قيمتي متوسط وانحراف تغير توزيع الأمطار إلى تركز نسبي لتغير الأمطار حول المتوسط.

وتوضح نتائج خوارزمية (Highlight Change) وجود أربعة أنماط لتغيرات الأمطار في منطقة مكة المكرمة بين المرحلتين – كما في شكل (33) –. الأول منها يمكن في المناطق التي شهدت نموًا سريعًا أو زيادة كبيرة للأمطار في المعدل السنوي للأمطار في المرحلة الثانية الممتدة بين عامي (2012 – 2022) مقارنة بالمدة الأولى بين عامي (2000 – 2011) بمعدل تغير للأمطار تجاوز 12 ملم سنوياً، وتغطي جنوب شرق وجنوب ووسط وجنوب غرب وشمال غرب

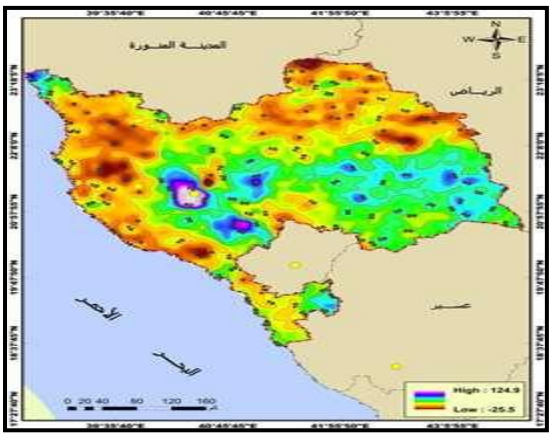
منطقة الدراسة ضمن محافظات رانيه وتربة وجنوب غرب الخرمة والمويه وأضم والعريضات والطائف وشرق محافظات مكة المكرمة والجموم وبحرة وجنوب وغرب القنفذة وشمال شرق وجنوب الليث وجنوب وغرب محافظة جدة وشمال غرب رابغ وشمال شرق الكامل وخليص، بمساحة بلغت 76928.6 كم^2، بنسبة 54.93% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة.

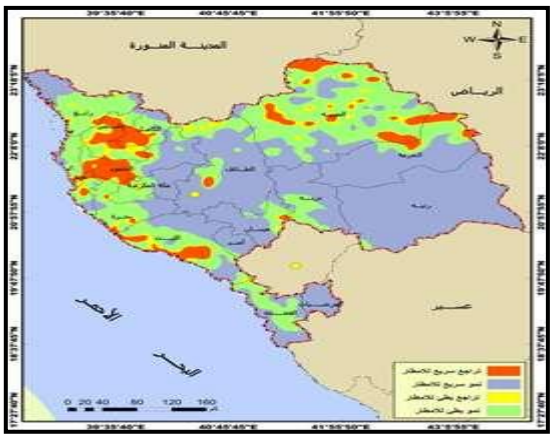
وتضم منطقة التغير الثانية كل المناطق التي شهدت نموًا خفيفًا للأمطار في المرحلة الثانية مقارنة بالمرحلة الأولى وذلك حيث تراوح معدل تغير الأمطار بين 0 و12 ملم سنويًا. وتظهر شمال وجنوب وغرب منطقة مكة المكرمة ضمن عدة محافظات كالخرمة والمويه والطائف والكامل وخليص وشمال وغرب وجنوب رابغ وجنوب غرب تربة وشمال شرق ميسان وغرب مكة المكرمة وغرب وشمال الجموم ووسط وغرب محافظات جدة وبحرة والليث والقنفذة، بمساحة بلغت 46114.2 كم^2، بنسبة 32.92% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة.

وتغطي المنطقةَ التي شهدت تراجعًا أو انخفاضًا خفيفًا للأمطار في المرحلة الثانية مقارنة بالمرحلة الأولى حيث تراوح معدل تغير الأمطار بين 0 و-3 ملم سنوياً، وتبرز على شكل بقع صغيرة شمال وجنوب وغرب منطقة مكة المكرمة ضمن محافظات المويه والخرمة والطائف وتربة وميسان ورابغ والجموم والكامل وخليص وجدة وبحرة والليث والقنفذة، بمساحة بلغت 6206.15 كم^2، بنسبة 4.43% من إجمالي مساحة المنطقة.

وتظهر المنطقة التي تعرضت لتراجع أو انخفاض سريع للأمطار في المرحلة الثانية مقارنة بالمرحلة الأولى حيث تراوح معدل تغير الأمطار بين 3 و25.5 ملم سنوياً شمال منطقة مكة المكرمة شمال ووسط وجنوب شرق المويه وشمال شرق الخرمة وشمال الطائف، وجنوب المنطقة بمحافظة ميسان، وغرب منطقة الدراسة حيث تبرز بعدة مناطق في محافظات الجموم والكامل وخليص ورابغ وجدة وبحرة والليث، بمساحة بلغت 10814.3 كم^2، بنسبة 7.72% من إجمالي مساحة منطقة مكة المكرمة.

شكل 32. تغير الأمطار بين (2000-2012/2011-2022) *شكل 33. أنماط تغير الأمطار (2000-2012/2011-2022)*





المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات القمر (GPM).

9. النتائج

توصلت نتائج التحليل المكاني لأمطار المنطقة إلى أن الحدين الأعلى والأدنى لكمية الأمطار لا يعكسان الواقع الحقيقي لكمية ما تتعرض له منطقة مكة المكرمة من أمطار سنوية أو يومية. ويعدّ المتوسط المكاني لكمية الأمطار السنوية واليومية مؤشرًا حاسمًا يعكس واقع حال الأمطار، ويكشف الاتجاه الحقيقي لتغيراتها المكانية والزمانية على مختلف المستويات. وأظهرت نتائج تحليل توزيع الأمطار السنوية تذبذبًا في اتجاه الحدين الأعلى والأدنى والمتوسط المكاني لكمية الأمطار بين زيادة تارة وانخفاض تارة أخرى. وبرزت أقل كمية أمطار في المنطقة للحد الأدنى 12.2 ملم للمدة بين عامي (2008 – 2009)، وأعلى قيمة للحد الأدنى لكمية الأمطار التي تعرضت لها المنطقة 54.4 ملم للمدة بين عامي (2018 – 2019). وظهرت أعلى قيمة للحد العلوي لكمية الأمطار التي تعرضت لها المنطقة 548.6 ملم للمدة بين (2020 – 2022)، وأدنى قيمة لأمطار الحد الأعلى التي تعرضت لها المنطقة 296.56 ملم بين عامي (2000 – 2001). وبرز أعلى متوسط مكاني سنوي لكمية الأمطار في المنطقة 148.4 ملم/عام للمدة بين (2018 – 2019)، وأدنى متوسط لكمية الأمطار التي تعرضت لها المنطقة 87.3 ملم سنوياً بين عامي (2014 – 2015).

وأكدت نتائج التحليل المكاني لتوزيع العواصف المطرية الخطيرة في منطقة مكة المكرمة تباين مواقع تركز كل منها؛ مما أدى إلى تباين المخاطر الناتجة عن كل عاصفة، وبذلك برز أعلى متوسط مكاني يومي لكمية الأمطار الناتجة عن هذه العواصف 31.65 ملم/يوم في عاصفة (24 / 11/ 2022) التي غطت مساحة أوسع ضمن الأحواض الساكبة بمديني مكة المكرمة وجدة. وأظهرت نتائج كشف تغير الأمطار في منطقة مكة المكرمة أن متوسط تغيرها السنوي على المستوى المكاني للمنطقة بلغ 15.4 ملم؛ مما يعني تعرض غالبية المنطقة لزيادة أو تغير إيجابي في كمية الأمطار. وأكدت نتائج كشف تغير المتوسط العام لاتجاه الأمطار في منطقة مكة المكرمة خلال فترتين تمتد كل فترة لمدة أحد عشرة عامًا تراجع حدة الجفاف في غالبية منطقة الدراسة. وخلصت الدراسة إلى احتمالية حدوث مزيد من عواصف الأمطار الشديدة في المستقبل على المنطقة، والتي من الممكن أن تتسبب في زيادة الفيضانات على المناطق المنخفضة التي تقع عند مخارج الأحواض الكبيرة في منطقة مكة المكرمة، وزيادة مخاطر التعرية المائية للتربة والانزلاقات الأرضية في السلسلة الجبلية الممتدة من جنوب محافظة ميسان حتى شمال محافظة الطائف.

10. التوصيات

وبذلك توصي الدراسة بتجنب الاقتراب من مجاري الأودية الرئيسة بالذات في المناطق الجبلية والمرتفعات، والاطلاع الدائم على التقارير الجوية حول احتمالية هطول أمطار غزيرة وما قد يترتب عليها من مخاطر، ورفع الوعي بمخاطر وكوارث السيول، وعدم إقامة المنشآت السكنية والطرق وغيرهما من الخدمات والبنى التحتية في مجاري السيول، وتطوير محطات قياس الفيضان، وتحسين تكنولوجيا حصاد مياه الفيضان كالمحافظة على الغطاء النباتي والحد من التوسعات العمرانية

بمناطق الرسوبيات لترشح الجزء الأكبر من مياه الأمطار وتنمية كمية ونوعية المياه الجوفية في المنطقة، وتأهيل المدرجات الزراعية والحصاد المائي للحد من سرعة السيول وتفادي مخاطرها ومعالجة الاعتداء على الأودية من قِبَل الجهات المختصة. وتوصي الدراسة بالمزيد من الدراسات لتقلبات الأمطار في منطقة مكة المكرمة التي شهدت عواصف مطرية خطيرة نتج عنها تدمير البنية التحية ووفاة بعض السكان وذلك على مستويات زمنية أقل ساعية أو يومية، حتى يتم قراءة وفهم تقلبات الأمطار التي تنتج عنها مخاطر الفيضانات بصورة دقيقة وتوقع توجهاته في المستقبل على المستويين الزماني والمكاني، بما يساعد الجهات المختصة على توجيه الإنذار المبكر بصورة دقيقة، وبما يساعد على حماية السكان ومنشآتهم من مخاطرها في منطقة مكة المكرمة. كما توصي الدراسة باستخدام النماذج العدية الدقيقة في محاكاة تقلبات الأمطار الساعية واليومية والتنبؤ بمدى مخاطرها وتحديدها على المستويات المكانية، وذلك بالاعتماد على بيانات الأقمار الصناعية التي تتوفر مجانًا، وهي بيانات ذات دقة عالية تصل إلى 10 كم، وذات دقة زمنية تتوفر على المستوى اليومي والساعي.

11. الخاتمة

من الملاحظ خلال دراسة وتحليل التباين المكاني لتقلب الأمطار السنوية وتغيراتها في منطقة مكة المكرمة خلال المدة بين عامي 2000 و2022 العلاقة الوطيدة بين متغيري الأمطار والتضاريس، ومما يؤكد ذلك تركز نطاقات الأمطار السنوية الأكثر غزارة ضمن السلسلة الجبلية العالية وسط منطقة مكة المكرمة بين محافظتي أضم جنوباً حتى المويه شمالاً، وتقل كمية الأمطار السنوية نحو المناطق الساحلية المنخفضة غرب المنطقة، كما تقل المعدلات السنوية للأمطار في المنطقة باتجاه المناطق الداخلية التي تقع شرق السلاسل الجبلية والتي تعرف (بمناطق ظل المطر) ولكن بدرجة أقل.

وتؤكد نتائج تحليل توزيع المتوسط السنوي للأمطار خلال هذه المدة عدم انتظامها وتذبذبها زمانياً، فتارة يزداد متوسط الأمطار وأخرى ينخفض من عام الى آخر. لذا يختلف مستوى الآثار والمخاطر المترتبة على ذلك كالجفاف والفيضانات، ولكن بصورة عامة تؤثر تقلبات المتوسط السنوي للأمطار بدرجة أكبر في مستويات الجفاف المناخي والهيدرولوجي والزراعي في المنطقة تأثيرًا أكبر في مخاطر السيول التي ترتبط بتقلبات الأمطار خلال فترات زمنية قصيرة ساعية أو يومية، حيث تتسم المنطقة بوقوعها ضمن المناطق الجافة وشبة الجافة التي تتصف أمطارها بعدم الانتظام، فقد تهطل الأمطار خلال عدة ساعات لتعادل ما يهطل خلال عام او عدة أعوام، وهو ما أظهرته نتائج تحليل توزيع بعض العواصف الخطرة التي تهطل أمطارها الكثيفة خلال مدة قصيرة لا تتجاوز في الغالب 24 ساعة؛ مما تترتب عليه مخاطر شديدة على السكان وممتلكاتهم بالذات جوانب مجاري الأودية وعند مصباتها.

مراجع البحث

Al-Areeq, A. M., Al-Zahrani. M. A., Sharif. H.O. (2022). Assessment of the performance of satellite rainfall products over Makkah watershed using a physically based hydrologic model. *Applied Water Science, 12,* 1-21.

Alarifi, S. S., Abdelkareem, M., Abdalla, F., Alotaibi, M. (2022). Flash Flood Hazard Mapping Using Remote Sensing and GIS Techniques in South-western Saudi Arabia. *Sustainability, 14*, 1-21.

Al-Husban, Y. (2017). Inverse Distance Weighting (IDW) for Estimating Spatial Variation of Monthly and Annually Rainfall in Azraq Basin during the monitor Period (1980-2016). *Journal of Al-Hussein Bin Talal University for Research, 3,* (2), 361-374.

Almazroui, M. (2011). Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998–2009. *Atmospheric Research, 99,* 400 –414.

Almazroui, M. (2020). Rainfall Trends and Extremes in Saudi Arabia in Recent Decades. *Atmosphere, 11* (964), 1-26.

Ayugi, B.O., Wen, W., Chepkemoi. D. (2016). Analysis of Spatial and Temporal Patterns of Rainfall Variations over Kenya. *Journal of Environment and Earth Science, 6* (11), 69-83.

Bahrawi, J. A. (2018). Rainfall distribution and its characteristics in Makkah Al-Mukarramah Region, Saudi Arabia. *Applied ecology and environmental research,16* (4), 4129-4144.

Deng, L., Mccabe, M. F., Stenchikov, G., Evans, J. P., Kucera, P. A. (2015). Simulation of Flash-Flood-Producing Storm Events in Saudi Arabia Using the Weather Research and Forecasting Model. *Journal of Hydrometeorology, 16,* 616-630.

Dong, W., Lin, Y., Wright, J. S., et al. (2018). Regional disparities in warm season rainfall changes over arid eastern– central Asia. *Scientific Reports, 8,* 1-11.

Elfeki, A., Bahrawi, J., Latif, M., Hannachi, A. (2022). Spatiotemporal analysis of monthly rainfall over Saudi Arabia and global teleconnections, Geometrics. *Natural Hazards and Risk, 13,* (1), 2618–2648.

Ewea, H. A, Elfeki, A. M., Bahrawi, J. A., Al-Amri, N. S. (2018). Modeling of IDF curves for stormwater design in Makkah Al Mukarramah region. *The Kingdom of Saudi Arabia Open Geosci, 10,* 954–969.

Ideki, O., Weli, V. E. (2019). Analysis of Rainfall Variability Using Remote Sensing and GIS in North Central Nigeria. *Atmospheric and Climate Sciences, 9,* 191-201.

Khalil, R. (2022). A new Approach to Determine the Flood Hazard Impact on Road Network using 3D City Model. *JES, 50* (5), 263- 275.

Kumara, S., Machiwalb, D., Dayalb. D. (2017). Spatial modelling of rainfall trends using satellite datasets and geographic information system. *Hydrological sciences journal, 62* (10), 1636–1653.

Luong, T. M., Dasari. H. P., Hoteit, I. (2020). Extreme precipitation events are becoming less frequent but more intense over Jeddah, Saudi Arabia Are shifting weather regimes the cause. *Atmos Sci Lett, 21,* 1-8.

Mashat, A., Abdel Basset, H. (2011). Analysis of Rainfall over Saudi Arabia, JKAU: Met. *Env. & Arid Land Agric. Sci, 22* (2), 59-78.

Pingale, S. M., Khare, D., Jat. M. K., Adamowski. B. J. (2014). Spatial and temporal trends of mean and extreme rainfall and temperature for the 33 urban centres of the arid and semi-arid state of Rajasthan, India. *Atmospheric Research, 138,* 73–90.

Salma, S., Rehman, S., Shah, M. A. (2012). Rainfall Trends in Different Climate Zones of Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology, 9* (17), 37-47.

Subyani, A. M., Hajjar, A. F. (2016). Rainfall analysis in the contest of climate change for Jeddah area, Western Saudi Arabia. *Arab J Geosci, 9*, 1-15.

Yesubabu, V., Srinivas, C. V., Langodan, S., Hoteit. I. (2015). "Predicting extreme rainfall events over Jeddah, Saudi Arabia: Impact of data assimilation with conventional and satellite observations." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 142* (694), 327-348.

معلومات عن الباحثة

د. أمل بنت حسين آل مشيط، أستاذ مشارك في (الجغرافيا المناخية) في (قسم الجغرافيا)، (كلية الآداب والعلوم الانسانية)، جامعة الملك خالد (المملكة العربية السعودية)، حاصلة على درجة الدكتوراه في الجغرافيا المناخية من جامعة الملك سعود عام 2016. تدور اهتماماتها البحثية حول المناخ التطبيقي

Biographical Statement

Dr. Amal Al-Mushayt is an Associate Professor of Climatic Geography in the Department of Geography, College of Arts and Humanities, King Khalid University, KSA. Dr. Al-Mushayt received her PhD degree in Climatic geography from King Saud University in (2016). Her research interests include applied climate.

Email: amushayt@kku.edu.sa