

نمذجة المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة بين عامي  
(٢٠٠٠ - ٢٠٢٥)

Environmental Risk Modeling for Heavy Rainfall Events in  
Jeddah City Between the years (2000-2025)

د/ أمينة عطاالله الرحيلي

أستاذ مشارك جغرافية المناخ

قسم الجغرافيا - كلية العلوم الاجتماعية - جامعة أم القرى

Dr. Amina Atallah Al-Rehaili

Department of Geography College of Social Sciences Umm Al-Qura University  
Associate Professor of Climate Geography

الإيميل ([aarohiliy@uqu.edu.sa](mailto:aarohiliy@uqu.edu.sa))

ORCID ID

0009-0008-6001-3598

**الملخص:** تهدف هذه الدراسة إلى نمذجة المخاطر البيئية المحتملة لحالات الأمطار الغزيرة التي تعرضت لها مدينة جدة خلال الفترة بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٥م، ولتحقيق هذه الهدف اتبعت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي القائم على نظم المعلومات الجغرافية، وبالتالي تدرجت منهجية الدراسة من مراجعة الأدبيات وجمع بيانات الأمطار اليومية، وتحديد اشد حالات الأمطار التي تعرضت لها المدينة، وأعقبها معالجة بيانات الأمطار واشتقاق طبقات تبين توزيع الأمطار ضمن كل حالة مطرية، وأخيرا قامت الدراسة ببناء نموذج يبين المخاطر البيئية المحتمل تعرض مدينة جدة لها بسبب حالات الأمطار الغزيرة.

وتبين نتائج الدراسة توافق توزيع حالات الأمطار الغزيرة ومخاطرها البيئية على السكان وممتلكاتهم في مدينة جدة، بنسبة ٧٠,٣٧٪ من إجمالي علاقات توزيع حالات الأمطار الغزيرة في المدينة. كما توصلت نتائج نمذجة المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة تراوح نسبها بين ٢٠٪ في المناطق التي اتسمت بمخاطر بيئية ضعيفة جدا، إلى ٩٣,٢٪ في المناطق التي واجهت مخاطر بيئية شديدا جدا، وتبين نتائج تصنيف المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة وقوع المنطقة التي اتسمت بمخاطر بيئية ضعيفة جدا أقل من ٣٥٪ شمال غرب وجنوب غرب مدينة جدة، بمساحة بلغت ٤٧٥,٥٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٠,١٣٪ من مساحة المدينة.

وتظهر المنطقة التي تتصف بمخاطر بيئية ضعيفة حيث تتراوح نسبة المخاطر البيئية لحالات الأمطار بين ٣٥ - ٥٠٪ شمال شرق وجنوب غرب مدينة جدة بمساحة بلغت ٣٦٣,٣٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٥,٣٨٪ من المساحة. وتبرز المنطقة التي تتسم بمخاطر بيئية معتدلة لحالات الأمطار الغزيرة حيث تتراوح نسبة المخاطر بين ٥٠ - ٦٥٪ وسط وجنوب شرق المدينة، بمساحة ٥٦٢,٤٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٣,٨٪ من مساحة المدينة.

وتقع المنطقة التي واجهت مخاطر بيئية شديدة وسط مدينة جدة، حيث نسبة المخاطر بين ٦٥ - ٨٠٪، بمساحة ٧٥١,٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣١,٨٣٪ من مساحة المدينة. وتظهر المنطقة التي تعرضت لمخاطر بيئية شديدة جدا من حالات الأمطار الغزيرة حيث تتجاوز نسبة المخاطر ٨٠٪ وسط شرق مدينة جدة، بمساحة ٤٧٥,٥٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٠,١٣٪ من إجمالي مساحة المدينة.

**الكلمات المفتاحية:** المخاطر البيئية، الأمطار الغزيرة، منطقة مكة المكرمة، مدينة جدة، نظم المعلومات الجغرافية.

## Abstract:

This study models the potential environmental risks associated with heavy rainfall events that affected Jeddah, Saudi Arabia, between 2000 and 2025. A descriptive-analytical approach based on Geographic Information Systems (GIS) was employed to analyze spatial patterns of rainfall and assess their environmental implications. The methodology included a literature review, collection of daily rainfall data, identification of extreme rainfall events, and spatial analysis of rainfall distribution across the city. A suitability model was then developed to determine areas most vulnerable to heavy rainfall hazards.

Results indicate that heavy rainfall events and their environmental impacts on residents and property correspond to 70.37% of the total distribution of such events in Jeddah. Environmental risk levels ranged from 20% in areas with very low vulnerability to 93.2% in those with extremely high vulnerability. Areas classified as having very low risks (less than 35%) are located in the northwest and southwest, covering 475.58 km<sup>2</sup> (20.13% of the city's area). Low- to moderate-risk areas (35–65%) are concentrated in the northeast, south, and southeast, covering 925.75 km<sup>2</sup> (39.18%). High-risk areas (65–80%) are mainly in central Jeddah, covering 751.9 km<sup>2</sup> (31.83%), while the eastern sector exhibits the most severe risk levels, exceeding 80% of the total risk exposure.

The study highlights the importance of GIS-based modeling in identifying spatial patterns of environmental risks and supporting urban planning and disaster management in Jeddah.

Keywords: Environmental hazards, heavy rainfall, Jeddah, Makkah Region, Geographic Information Systems (GIS).

**المقدمة:** تقع مدينة جدة في مصب عدد من الأودية على ساحلي البحر الأحمر، مما تسبب في تعاظم مخاطر حالات الأمطار الغزيرة، فضلاً عن شدة بعض حالات هطول الأمطار، والافتقار لأنظمة صرف مناسبة. وقد شهدت المدينة أحداثاً مطرية غزيرة أهمها: ما تعرضت له في الأعوام ١٩٦٨، ١٩٧٢، ١٩٧٩، ١٩٨٥، ٢٠٠٩، ٢٠١١ (Ameur, 2016, p.3). وتعرض مدينة جدة التي تعتبر ثاني أكبر مدن المملكة العربية السعودية سكاناً، حيث بلغ عدد سكانها حسب نتائج تعداد ٢٠٢٢م نحو ٣٧٥١٧٢٢ نسمة (الهيئة العامة للإحصاء، نتائج التعداد العام للسكان والمساكن، ٢٠٢٢م). للأمطار قليلة ومتفاوتة الشدة، ويصاحب أنظمة التحكم المناخي أنظمة خارج مدارية أكثر كثافة خلال الفترة بين شهري نوفمبر وأبريل، ينتج عنها حالات مطرية غزيرة. تغطي مساحة واسعة نسبياً ١٠٠ كم<sup>٢</sup> فأكثر، مصحوبة بأمطار غزيرة ورياح شديدة تستمر لنحو ٣٠ دقيقة،

تليها فترة طويلة لهطول أمطار لكنها خفيفة وأكثر استقرارا (Luong et al., 2020, p. 2). وتحدث على شكل ظواهر حمل حراري متقطعة ومعزولة (Dasari et al., 2018, p. 762). وتنشأ حالات هطول الأمطار الغزيرة في المنطقة عن أنظمة الحمل الحراري، وهي مخاطر كارثية هامة مرتبطة بالطقس (Devries et al., 2018, p. 863).

ويرافق حالات هطول الأمطار الغزيرة خلال مدة قصيرة جريان سطحي سريع، يمكن أن يتحول بسرعة إلى سيول تسبب فيضانات مفاجئة بسبب محدودية قدرة التربة الجافة على التسرب (Devries et al., 2016., p. 1864). وتسببت هذه الحالات المطرية خلال السنوات الأخيرة على مدينة جدة في مئات الوفيات وأضرار تُقدر بأكثر من مليار دولار أمريكي (Yesubabu et al., 2016, p. 328). ورغم التطور الكبير في المعرفة العلمية، والاتجاه المتزايد في دراسة حالات الأمطار الغزيرة وما تتركه من مخاطر بيئية مختلفة. تأتي الوفيات في مقدمتها، فضلا عن الاضرار بالمشاريع التقنية والبنية التحتية، ومن المتوقع زيادة هذه المخاطر مع تغير المناخ، وتغير أغطية الارض التي تتحول إلى استعمالات بشرية. ولرصد هذه الظاهرة وإدارة مخاطرها بنجاح من الضروري وضع خرائط للمخاطر لكل من البيئة الطبيعية والاصطناعية (Maantay & Maroko, 2009, p. 113).

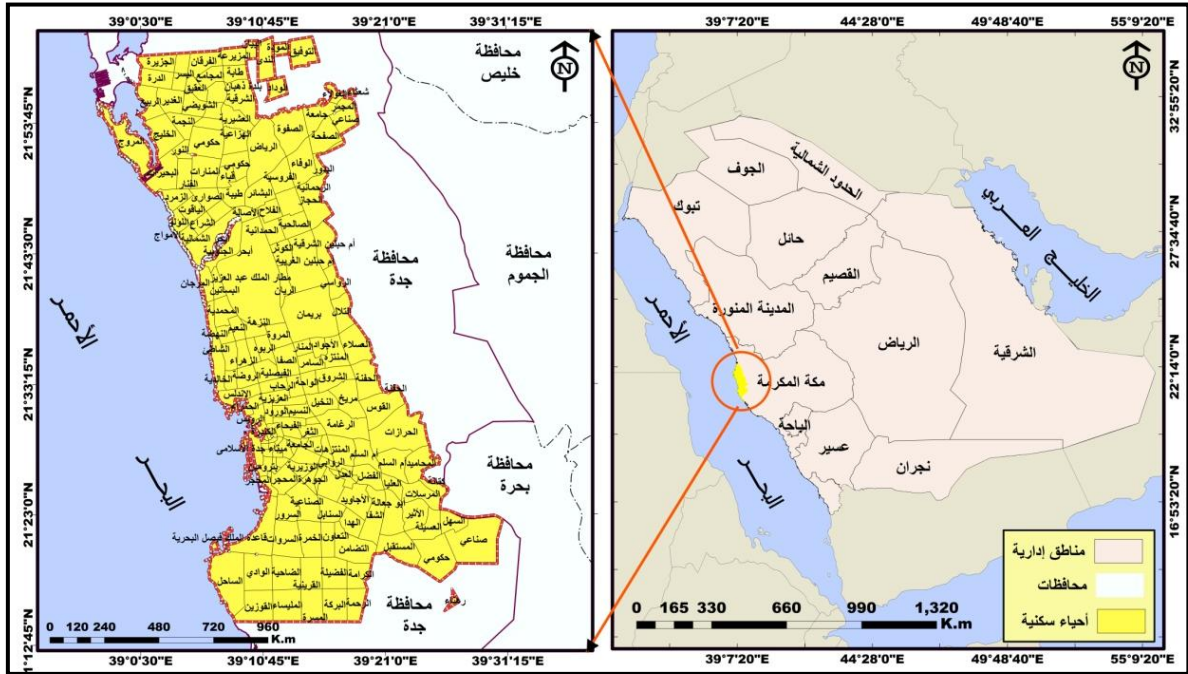
وحيث ان المدينة سبق وتعرضت لحالات أمطار شديدة. فمن المهم نمذجة هذه الحالات بما يساعد الجهات المختصة على. إدارة مخاطرها ومعرفة مناطق استخدامات الأرض التي تغطيها المياه بسرعة (Wang, 2004, p. 962). لذا سوف تعمل هذه الدراسة على تقييم مدى توافق توزيع حالات الأمطار الغزيرة، و نمذجة المخاطر التي تعرضت لها المدينة، وإنتاج خرائط تفيد الجهات المختصة في المراقبة والتنبؤ وحماية للسكان وممتلكاتهم في المدينة، وتحسين ومساعدة المناطق المتضررة على المدى البعيد والقصير اثناء وقوعها.

**مشكلة الدراسة:** شهدت مدينة جدة في السنوات الأخيرة هطول أمطار غزيرة استمرت لعدة ساعات، ورافقها فيضانات مفاجئة كارثية. ففي نوفمبر ٢٠٠٩م، هطلت أمطار غزيرة بلغت ٧٠ ملم خلال ثلاث ساعات، ونتج عنها فيضانات واسعة النطاق، وخسائر في الأرواح، وأضرار في البنية التحتية والممتلكات. وأسفرت هذه الفيضانات عن وفاة أكثر من ١١٣ شخص، وتضرر أكثر من ١٠٠٠٠ عقار سكني وتجاري. وفي عام ٢٠١١م، شهدت مدينة جدة حدث آخر، حيث بلغت كمية الأمطار ١١١ ملم خلال ثلاث ساعات، مما أدى إلى دمار هائل، بما في ذلك انهيار السدود. وشهدت المدينة حدث اخر في نوفمبر ٢٠٢٢م حيث بلغت متوسط كمية الأمطار المسجلة في مدينة جدة ١٨٢ ملم.

**أهمية الدراسة:** يعتبر تحليل خصائص حالات هطول الأمطار الغزيرة ونمذجة المخاطر البيئية المترتبة عليها خلال فترة زمنية طويلة، أمر بالغ الأهمية لمعرفة مدى توافق توزيعها زمانيا وتغيراتها مكانيا، بما يساعد على فهم مدى تركيز او تغير المخاطر البيئية المرتبطة بذلك، خاصة وان تحليل حالات هطول الأمطار الغزيرة في منطقة الدراسة ما يزال

محدود، واقتصر في الغالب على تحليل اتجاه توزيع متوسط هطول الأمطار المرصودة، وقليل من الأدبيات تناولت أحداث هطول الأمطار المتطرفة مؤخراً.

**منطقة الدراسة:** تقع مدينة جدة كما يوضح شكل (١) على الساحل الغربي للمملكة المطل على البحر الأحمر، وهي أكبر مدن منطقة مكة المكرمة التي تتبعها إدارياً، وثاني أكبر مدن المملكة سكاناً بعد مدينة الرياض، وتقع مدينة جدة فلكياً بين دائرتي عرض (٣٠، ١٥ ، ٢١ °) و(٥٨، ٠٠ ، ٢٢ °) شمالاً وخطي طول (٣٠، ٥٩ ، ٣٨ °) و(٣٥، ٣٣ ، ٣٩ °) شرقاً، وتبلغ مساحة المدينة ٢٣٦٢,٨٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٥٠,٠٩٪ من إجمالي مساحة محافظة جدة، وتتألف مدينة جدة من ٢١٥ حياً سكنياً، أكبرها حي مطار الملك عبد العزيز وسط شمال مدينة جدة بمساحة بلغت مساحته ٩٦,١٥ كم<sup>٢</sup>، وأصغرها حي الصحيفة الذي يقع وسط المدينة بمساحة بلغت ٠,٤٣ كم<sup>٢</sup>.



شكل رقم (١) موقع مدينة جدة

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات (Shapfiles)، الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية، (٢٠٢٤).

**الخلفية النظرية للدراسة:** دراسة المثلوثي (٢٠٠٥) التي تناولت الامطار الغزيرة في مدينة جدة بالمملكة العربية السعودية: أسبابها ونتائجها، وتظرفت الدراسة لثلاثة حالات تميزت بغزارة امطارها وعنف سيولها وما احدثته من اضطراب في حركة المرور بمدينة جدة وهي: حالة ١٩٩٥/١١/٢م، الحالة الثانية تمثلت في مجموعة من العواصف الرعدية القوية حدثت خلال الأسبوع الثالث من شهر نوفمبر ١٩٩٦م. الحالة الثالثة كانت في ٢٠٠٠/١١/١٦م.

وعملت دراسة (Nahiduzzaman et al. (2015) على تحليل هشاشة مدينة الرياض في عملية وضع الخطط الاستراتيجية بسبب الفيضانات، كان هدف الدراسة تقييم مصداقية الخطط الرئيسية، وأجرى التقييم من منظور الهشاشة الاجتماعية والمادية للفيضانات المفاجئة والمخاطر المرتبطة بها في الاستراتيجيات المقترحة لتنمية واستخدام أراضي الرياض حتى عام ٢٠٣٠م، ويشير التقييم إلى أن العديد من مناطق مدينة الرياض، معرضة للهشاشة الاجتماعية والمادية للفيضانات، ضمن نطاق يتراوح بين عالي - متوسط من حيث المخاطر الناجمة عن الهشاشة. واقترحت الدراسة إعادة تقييم استراتيجية التنمية الشاملة لمدينة الرياض.

وتوقعت دراسة (Yesubabu et al. (2015) أحداث هطول الأمطار الشديدة على مدينة جدة، وتم تحليل تغير بيانات الأمطار والتنبؤ بإمكانية هطول أمطار غزيرة تسبب فيضانات مدمرة باستخدام نماذج الطقس والتنبؤ (WRF)، واعتمدت الدراسة على صور رادارية للأقمار الصناعية من رئاسة الأرصاد والبيئة (PME) لتقييم نتائج محاكاة هطول الأمطار في ٢٥ نوفمبر ٢٠٠٩، ٢٦ يناير ٢٠١١، حيث تعرضت مدينة جدة لضعف كمية الأمطار السنوية الناجمة عن العواصف الحملية.

واكتشفت دراسة (Tekeli (2017) فيضانات جدة من خلال تحليل مهمة قياس الأمطار الاستوائية، واستخدمت الدراسة بيانات تحليل هطول الأمطار متعدد الأقمار الصناعية (TRMM)، لتقدير الفيضانات التي حدثت في مدينة جدة غرب المملكة العربية السعودية خلال الفترة بين ٢٠٠٠-٢٠١٤، حدثت خلالها ستة فيضانات في جدة استمرت لمدة ١٩ يوماً.

وتناولت دراسة (Atif (2018) تحليل مكاني زمني للحمل الحراري والأمطار الغزيرة المؤدية إلى فيضان مفاجئ: دراسة حالة فيضان جدة ٢٠٠٩، وتم استخدام بيانات قياس هطول الأمطار الاستوائية (TRMM) لتحديد كمية الأمطار، وأظهرت نتائج الدراسة ان درجات حرارة قمم السحب التي تقل عن ٢٢٠ كلفن يمكن أن تؤدي إلى هطول أمطار بكثافة ١٠ ملم/ساعة أو أكثر فوق منطقة جدة.

وقيمت دراسة (Ali & Ameer, (2018) أنظمة الحماية الهيدروليكية وإدارة الفيضانات في جدة، وكان الهدف من هذه الدراسة عمل التدابير اللازمة لحماية السكان وممتلكاتهم في المدينة من مخاطر الفيضانات، بالإضافة إلى اعتراض وتصريف مياه الفيضانات، ورغم أهمية هذه التدابير الوقائية وفعاليتها، إلا أنها لم تعد كافية أو فعالة لمواجهة تطور الكوارث الطبيعية التي تتعرض لها مدينة جدة باستمرار.

وتطرقت دراسة (Bahrawi (2018) لخصائص توزيع الأمطار في منطقة مكة المكرمة، وتمكنت هذه الدراسة من تحديد أفضل التوزيعات الاحتمالية للأمطار في المنطقة، وتوقعات هطولها خلال فترات العودة، وتوصلت نتائج هذه الدراسة الى أن نمط الأمطار لنحو ٣٦٪ من محطات الرصد تأخذ نمط توزيع لوغاريتمي عادي، وحوالي ٤١٪ منها تتسم بسيادة نمط توزيع لوغاريتم بيرسون، والباقي تأخذ أنماط مختلفة في توزيع امطارها.

وقامت دراسة (Luong et al. (2020) بتحليل العلاقة بين أحداث هطول الأمطار الشديدة في جدة، وأنماط الطقس في شبه الجزيرة العربية، باستخدام خرائط ذاتية التنظيم لتحديد أنماط الطقس في أكثر الأيام الممطرة كثافة والأنظمة السينوبتيكية التي تسبب هطول الأمطار الكثيفة في مدينة جدة، ووجدت الدراسة أن هناك ثلاثة أنماط جوية رئيسية تسبب هطول أمطار غزيرة في جدة خلال الأشهر الأكثر برودة (نوفمبر - أبريل)، وتحدث جميعها بسبب تفاعل الجبهات المدارية.

وتطرق (Luong et al. (2019) لظواهر هطول الأمطار في جدة، وقامت الدراسة بتحليل علاقة ظواهر هطول الأمطار الغزيرة، بأنماط الطقس السينوبتيكية في شبه الجزيرة العربية، وحددت أنماط الطقس لأكثر أيام الأمطار غزارة، وأنظمة هطول الأمطار الغزيرة في منطقة جدة، وحددت ثلاثة أنماط جوية رئيسية تُسبب هطول أمطار غزيرة على جدة خلال الأشهر الباردة (نوفمبر-أبريل)، وتعكس تفاعلات استوائية خارج مدارية، وتوصلت نتائج الدراسة إلى اتجاه متوسط الأمطار نحو التناقص، وزيادة عدد الأيام الممطرة، فضلاً عن قلة تواتر هطول الأمطار الغزيرة، وزيادة شدتها، وتحولت آلية هطول الأمطار نحو نظام طقس ذي تأثير خارجي مداري أقوى.

وركزت دراسة (Shah et al. (2023) على مخاطر الفيضانات والضعف من منظور تغير المناخ: نظرة عامة تركز على الفيضانات المفاجئة والمخاطر المرتبطة بها في جدة، وتناولت تصنيفات مناخ المملكة، ومخاطرها وهشاشتها، متبوعاً بتحليل لتأثير الفيضانات المفاجئة وما يصاحبها من وفيات وخسائر في الممتلكات.

واستعرضت دراسة العنزي (٢٠٢٣م) اتجاهات كميات الأمطار السنوية في محطتي جدة والوجه في المملكة العربية السعودية بين عامي ١٩٨٧ - ٢٠١٦ م، واعتمدت هذه الدراسة على عدد من الأساليب الإحصائية لبيان كافة المتوسطات النصفية ومعامل الارتباط والانحدار واختبار t ومعامل التفسير  $I^2$  والدلالة الإحصائية عند مستوى ٥٪، وأظهرت نتائج المتوسطات والانحدار أن كميات الأمطار تتجه نحو التناقص في محطتي جدة والوجه رغم الفرق الكبير في مقدار التناقص في المحطتين، وأظهرت نتائج الدلالة الإحصائية عدم أهمية هذه الاتجاهات سواء بالزيادة أو النقصان.

وتناولت دراسة آل مشيط (٢٠٢٤م) التحليل المكاني لتقلبات هطول الأمطار في منطقة مكة المكرمة واعتمدت الدراسة على بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، وتوصلت نتائج الدراسة الى تباين مخاطر عواصف الأمطار الشديدة مكانياً وزمانياً، وبرز أعلى متوسط يومي للأمطار ٣١,٦٥ ملم/يوم من عاصفة (٢٤/١١/٢٠٢٢م) التي غطت مساحة واسعة من الأحواض الساكنة بمديني مكة المكرمة وجدة، وشهدت المنطقة تذبذب في اتجاه تغير الأمطار بين زيادة وانخفاض، وبلغ متوسط تغير الأمطار كل ١١ عام نحو ١٥,٤ ملم؛ مما يعني تعرض المنطقة لتغير إيجابي في كمية الأمطار.

وتطرت دراسة (Zamreeg et al. (2025) لهطول الأمطار الغزيرة والشديدة في منطقة مكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية في ظل المناخ الحالي، واعتمدت الدراسة على بيانات ثلاث محطات رصد جوي جدة ومكة المكرمة والطائف، بين عامي ١٩٨٥ - ٢٠٢٣م، بالإضافة إلى بيانات ٢٤ محطة رصد جوي آلية، معظمها عملت منذ عام ٢٠١٤م، وصُنفت الأمطار إلى غزيرة، وغزيرة جدا، وغزيرة جدا جدا، بينما مثلت الحالات الشديدة أيام ممطرة جداً بنسبة ٩٥٪، وأيام ممطرة جدا بنسبة ٩٩٪، وتوصلت نتائج الدراسة الى ان مدينة جدة شهدت ٧٢ يوم من الأمطار الغزيرة إلى الغزيرة جدا، و ١٠ أيام من الأمطار الشديدة، مع تسجيل أعلى معدلات حدوثها في شهر نوفمبر.

دراسة (Alzahrani et al. (2025) استكشاف أنسب توزيع احتمالي لتحليل بيانات هطول الأمطار السنوية: دراسة حالة لمدينتي مكة المكرمة وجدة، كان هدف الدراسة تحديد أنسب توزيع احتمالي لرصد الخصائص الإحصائية لهطول الأمطار في المدينتين، من خلال مطابقة التوزيعات الاحتمالية مع بيانات هطول الأمطار السنوية للفترة بين عامي ١٩٧١ - ٢٠١٣م، المقدمة من رئاسة الأرصاد الجوية والبيئة، وتم اختبار ثلاثة توزيعات احتمالية باستخدام اختبار إحصائي لجودة المطابقة عند مستوى دلالة ٠,٠٥، بالنسبة لمحطة جدة، أكدت النتائج أن بيانات توزيع الأمطار لا تنحرف كبيراً عن التوزيع الطبيعي، بينما تنحرف بشكل كبير عن كلٍ من توزيعي جاما وويبول عند نفس مستوى الدلالة الإحصائية.

#### أهداف الدراسة:

- التحليل المكاني لتوزيع الحالات المطرية الغزيرة في مدينة جدة بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٥م.
- التحقق من مدى تجانس توزيع حالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة.
- نمذجة الملاءمة المكانية لمخاطر حالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة.

**منهجية الدراسة:** لتحقيق الأهداف السابقة اتبعت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي القائم على نظم المعلومات الجغرافية في تحليل توزيع حالات الأمطار التي تعرضت لها مدينة جدة بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٥م، والأسلوبين الكارتوغرافي في تمثيل توزيع حالات الأمطار الغزيرة في المدينة، والكمي ضمن برمجية (SPSS) في تحليل العلاقات والتحقق من مدى تجانس توزيع الأمطار ضمن هذه الحالات، وعليه فقد تدرجت منهجية البحث فيما يأتي:

(١) **جمع بيانات الأمطار:** حصلت الدراسة على بيانات الأمطار من مصدرين الاول: بيانات الأمطار المسجلة من قبل هيئة الارصاد لمحطة جدة الأرضية، والثاني بيانات الأمطار التي تتوفر على مستوى البيكسل بدقة مكانية تتراوح بين ١٠ كم للقمر (GPM)، إلى ٢٧ كم للقمر (TRMM)، ضمن حدود محافظة جدة، وتم الحصول عليها من موقع ناسا، بيانات مناخ الأرض (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

( ٢ ) **التحقق من دقة بيانات الاقمار الصناعية:** بما انه لا يمكن انتاج خرائط لتوزيع حالات الأمطار الغزيرة بالاعتماد على بيانات محطة واحدة للرصد الأرضي، فقد تم الاعتماد على بيانات قمر (GPM) قد وفرت بيانات الأمطار لنحو ٤٤ محطة رصد (بكسل)، ويوفر القمر (TRMM) بيانات الأمطار لنحو ١٥ (بكسل)، وقبل الاعتماد على بيانات الأمطار المسجلة من بيانات الاقمار الصناعية، قامت الدراسة بالتحقق من مدى دقة كل منها، وذلك من خلال حساب قيمة معامل الارتباط بينها وبين بيانات محطة الرصد الأرضية، ووجدت الدراسة أن قيمة معامل ارتباط كيندال بين بيانات محطة الرصد الأرضية والقمر (GPM) قد بلغت ٨٦,٩، وهي علاقة طردية شديدة جدا بينهما، وهذه العلاقة دلالة احصائية عند مستوى ٠,٠١، أي هناك موثوقية في العلاقة بنسبة ثقة ٩٩٪. وبلغت قيمة معامل ارتباط كيندال بين بيانات محطة الرصد الأرضية والقمر (TRMM) نحو ١٥,١، وهي علاقة طردية ضعيفة جدا بينهما، لكن لهذه العلاقة دلالة احصائية عند مستوى ٠,٠١، أي هناك موثوقية في علاقة بيانات الأمطار من المصدرين بنسبة ثقة ٩٩٪.

( ٣ ) **معالجة البيانات:** بعد التحقق من دقة بيانات الاقمار الصناعية، وبما أن قوة علاقة بيانات محطة الرصد الأرضية والقمر (GPM) كانت أعلى فقد اعتمدت الدراسة على هذان المصدران في تحليل توزيع حالات الأمطار، وتدرجت خطوات معالجة بيانات القمر (GPM) من تغيير نظام ارجاع البيانات من نظام الارجاع الجغرافي إلى النظام المترى، وتحويل هذه الطبقات الناتجة من (Raster To Points) ليتم الحصول على ٤٤ نقطة رصد دخل حدود محافظة جدة، ولكل محطة قيمة مختلفة من الأمطار.

( ٤ ) **اشتقاق طبقات توزيع الأمطار:** بعد الانتهاء من معالجة بيانات (GPM) اعتمدت الدراسة على طبقة (Points) لعمل (Interpolation) لكل حالة من حالات الأمطار الغزيرة التي تعرضت لها مدينة جدة واعتمدت الدراسة على خوارزمية (Spline) في نظم المعلومات الجغرافية، وبالتالي حصلت الدراسة على طبقات ذات اسطح مستمرة لتوزيع الأمطار ضمن كل حالة أمطار، ورافق هذه الخطوة توحيد الدقة المكانية لجميع الطبقات الناتجة عند ٢٥ م.

( ٥ ) **تصنيف المخاطر البيئية حسب توزيع الأمطار:** صنفت الدراسة طبقات توزيع حالات الأمطار الغزيرة الناتجة من الخطوة السابقة إلى خمسة فئات، وأعطيت كل فئة وزن يتراوح من ١ - ٥ درجات حسب احتمالية المخاطر البيئية الناتجة عن الأمطار، فالرقم ١ اعطى للمناطق الأقل مطراً ومخاطر بيئية، أما الرقم ٥ فيمثل المناطق الأكثر مطراً ومخاطر بيئية على السكان وممتلكاتهم في مدينة جدة.

( ٦ ) **تمذجة المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة:** في هذه الخطوة قامت الدراسة بإعطاء وزن لكل طبقة من طبقات حالات الأمطار الغزيرة التي تمثل أقوى ثمانية عواصف أمطار تعرضت لها مدينة جدة بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٥ م، واعتمدت الدراسة في تحديد أوزان هذه العواصف حسب المتوسط المكاني للأمطار الناتجة عن كل

حالة أمطار، وبالتالي استخدمت الدراسة حاسبة نظم المعلومات الجغرافية (Raster Calculator)، لدمج طبقات حالات الأمطار الغزيرة الثمانية الناتجة عن الخطوة السابقة حسب أوزانها، ليتم الحصول على طبقة ذات سطح مستمر تمثل نسب المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة.

### مناقشة نتائج البحث:

أولاً) تحليل توزيع أمطار الحالات الغزيرة: بعد القيام بدراسة بيانات الارصاد حددت الدراسة ٩ حالات مطرية تعرضت لها مدينة جدة بين عامي ٢٠٠٠ - ٢٠٢٥م، وتبسيط للدراسة تم تحليل هذه الحالات حسب التسلسل الزمني لحالات المطر الغزيرة، وليس وفق المتوسط المكاني لكمية الأمطار خلال اربعة وعشرين ساعة، او حسب مخاطرها البيئية على السكان ومنشآتهم في مدينة جدة.

وبذلك تظهر نتائج تحليل أولى الحالات المطرية المسجلة بتاريخ ٣١ / ١٠ / ٢٠٠٦م في الشكل رقم (٢) كثافة الأمطار جنوب شرق مدينة جدة وانخفاض كميتها جنوب وشمال غرب المدينة، وتراوحت كمية الأمطار الناتجة عن هذه العاصفة بين ٢,٤٨ ملم / ٢٤ ساعة شمال غرب مدينة جدة، إلى ٣٦,٣٧ ملم / ٢٤ ساعة جنوب شرق مدينة جدة، بمتوسط مكاني لارتفاع منسوب مياه الفيضان الناتج عنها على مستوى المدينة جدول رقم (١) نحو ٢١,٣١ ملم / ٢٤ ساعة، بانحراف مكاني لتوزيعها عن المتوسط المكاني حوالي ٧,٠٧ ملم / ٢٤ ساعة. وتعتبر السيول الناتجة عن هذه العاصفة خطيرة بسبب تركيزها وتحركها من جنوب شرق المدينة نحو الغرب مارة بعدة احياء سكنية ذات كثافة سكانية وعمرانية جنوب شرق وغرب مدينة جدة كأحياء كتانة والمرسلات والمحاميد وام السلم والأثير وأبو جعانة والرغامة والمنتزهات والروابي وجامعة الملك عبد العزيز وصولاً إلى حي غليل وميناء جدة وبترومين غرباً.

وتؤكد نتائج التحقق من توافق توزيع أمطار عاصفة ٢٠٠٦م مع توزيع بقية حالات الأمطار الغزيرة، بالاعتماد على ٤٤ محطة رصد واقعة ضمن منطقة الدراسة كما يبين جدول رقم (٢)، توافق توزيع أمطار الحالة الاولى من الأمطار الغزيرة عام ٢٠٠٦م في مدينة جدة مع توزيع أمطار الحالات الغزيرة للأعوام ٢٠٠٩م بنسبة ٦٢,٣٪، ومع أمطار عاصفة ٢٠١١م بنسبة ٤٥,٤٪، وبنسبة توافق بلغت ٤٠,٨٪ مع أمطار عاصفة ٢٠١٧م، ومع توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٢م بنسبة ٧٧٪، ومع توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٣م بنسبة توافق بلغت ٥٦,٩٪، ولهذا الحالات من نسب توافق توزيع العواصف المطرية مستوى دلالة ٠,٠١، وعليه يمكن القول أن هناك تطابق بين توزيع أمطار هذه العواصف بنسبة ثقة ٩٩٪. بينما هناك توافق في توزيع أمطار عاصفة ٢٠٠٦م مع توزيع أمطار عاصفتي ٢٠١٠، ٢٠١٥م بنسبتي ٢٥,٥٪ و ١٨,٥٪ لكل منها على التوالي، ولكن هذا التوافق ليس له دلالة احصائية.

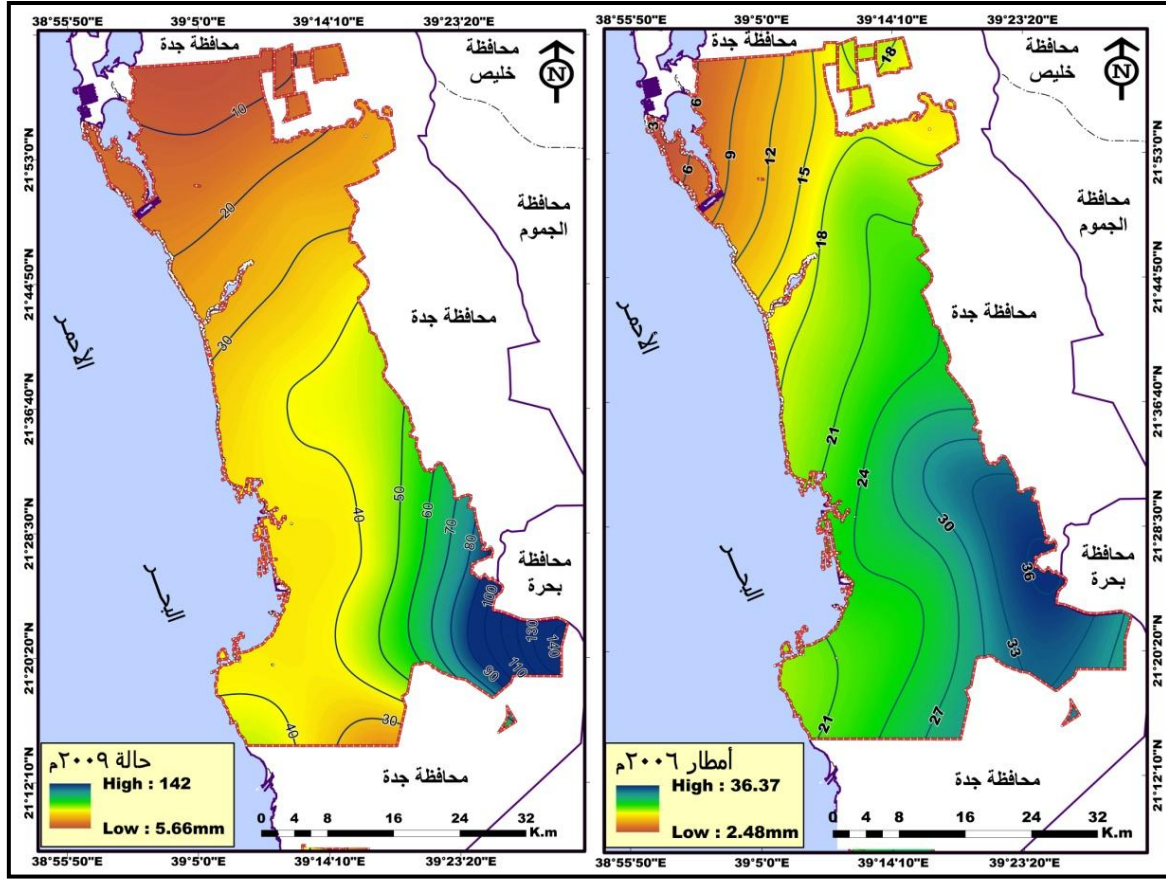
وتعتبر الحالة المطرية التي شهدتها مدينة جدة بتاريخ ٢٥ / ١١ / ٢٠٠٩م من اشد الحالات التي تركت مخاطر بيئية على السكان وممتلكاتهم في مدينة جدة. حيث تعرض ١٦١ شخص للوفاة ( Tammar et al., 2020, p. 2) بسبب الفيضانات الناتجة عن هذه الحالة المطرية. كما قدرت الخسائر المادية الناتجة عنها بحوالي مليار دولار أمريكي، وقدرت تعويضات المتضررين بحوالي ٢ مليار دولار أمريكي (Ameur, 2016, p.3). حيث غطت فيضانات هذه الحالة من الأمطار أكثر من ٨٠٪ من مساحة الطرق والشوارع والمباني في منطقة في المدينة (Azzam & Belhaj, 2019, p. 377).

وبذلك تظهر نتائج تحليل توزيع الأمطار الناتجة عن الحالة المطرية لعام ٢٠٠٩م شكل رقم (٢) وقوع مركز هذه العاصفة بنفس موقع مركز الحالة المطرية لعام ٢٠٠٦م، حيث تشتد كثافة الأمطار لتصل إلى ١٤٢ ملم / ٢٤ ساعة جنوب شرق مدينة جدة، وتقل إلى ادنى مستوياتها ٥,٦٦ ملم / ٢٤ ساعة جنوب وشمال غرب المدينة، وعلى الرغم من تباين توزيع الأمطار فقد بلغ متوسط ارتفاع منسوب مياه السيول الناتج عن هذه الحالة مكانياً على مستوى المدينة جدول رقم (١) نحو ٣٦,٨٨ ملم / ٢٤ ساعة، وينحرف توزيع منسوب مياه السيول عن المتوسط المكاني بنحو ٢١,٨٦ ملم / ٢٤ ساعة، مما يعني تركيز المياه والمخاطر الناتجة عنها في أحياء جنوب شرق المدينة وغيرها حيث تتركز مياه الأمطار وتتحرك لتصب في البحر الأحمر، وتتسم هذه الأحياء السكنية بكثافة سكانية وعمرانية عالية، الأمر الذي يعكس خطورة السيول الناتج عن هذه الحالة المطرية.

وتوصلت نتائج التحقق من مدى تجانس توزيع حالة الأمطار الغزيرة عام ٢٠٠٩م الى تجانس توزيعها بنسبة ٣٦,٢٪ مع أمطار عاصفة ٢٠١٠م، وبنسبة ٣٥,٤٪ مع عاصفة ٢٠١٥م، وبنسبة توافق بلغت ٣٢,٨٪ مع عاصفة ٢٠١٧م، وبنسبة ٦١,٥٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٢م، وبنسبة توافق ٤٨,٤٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٣م، ويتصف هذه التوافق في توزيع عاصفة ٢٠٠٩م مع عاصفتي ٢٠٢٢ و ٢٠٢٣م عند مستوى دلالة احصائية ٠,٠١، وبالتالي هناك تجانس في توزيع أمطار هذه العواصف بنسبة ثقة ٩٩٪؛ بينما يتصف توافق توزيع عاصفة ٢٠٠٩م مع عواصف ٢٠١٠، ٢٠١٥، ٢٠١٧م بمستوى دلالة احصائية ٠,٠٥، وعليه هناك توافق في توزيع أمطار هذه العواصف بنسبة ثقة ٩٥٪. كما يتوافق توزيع أمطار عاصفة ٢٠٠٩م مع توزيع أمطار عاصفتي ٢٠١١م، بنسبة ٢٥,٩٪، ولكن هذا التوافق غير ذو أهمية نظرا لعدم دلالة الاحصائية.

وتوضح نتائج التحليل المكاني لتوزيع حالة الأمطار الغزيرة التي سجلت في تاريخ ٣٠ / ١ / ٢٠١٠م شكل رقم (٣) تطابق كثافة الأمطار المرافقة لهذه الحالة مع الحالتين السابقتين لعامي ٢٠٠٦ و ٢٠٠٩م جنوب شرق مدينة جدة، وذلك حيث يقع الحد الأعلى للأمطار بنحو ٢٥,٥٦ ملم / ٢٤ ساعة، وتراجع كمية الأمطار وبالتالي مخاطرها بشكل واضح جنوب مدينة جدة، حيث يقل الحد الأدنى للأمطار هذه العاصفة بحوالي ١,٥٩ ملم / ٢٤ ساعة، ويبلغ متوسط ارتفاع السيول الناتج عن هذه الحالة من الأمطار مكانياً على مستوى المدينة كما يبين جدول رقم (١) نحو ١٤,٠٧ ملم / ٢٤ ساعة، بانحراف لتوزيعها عن متوسطها المكاني بلغ ٦ ملم / ٢٤ ساعة،

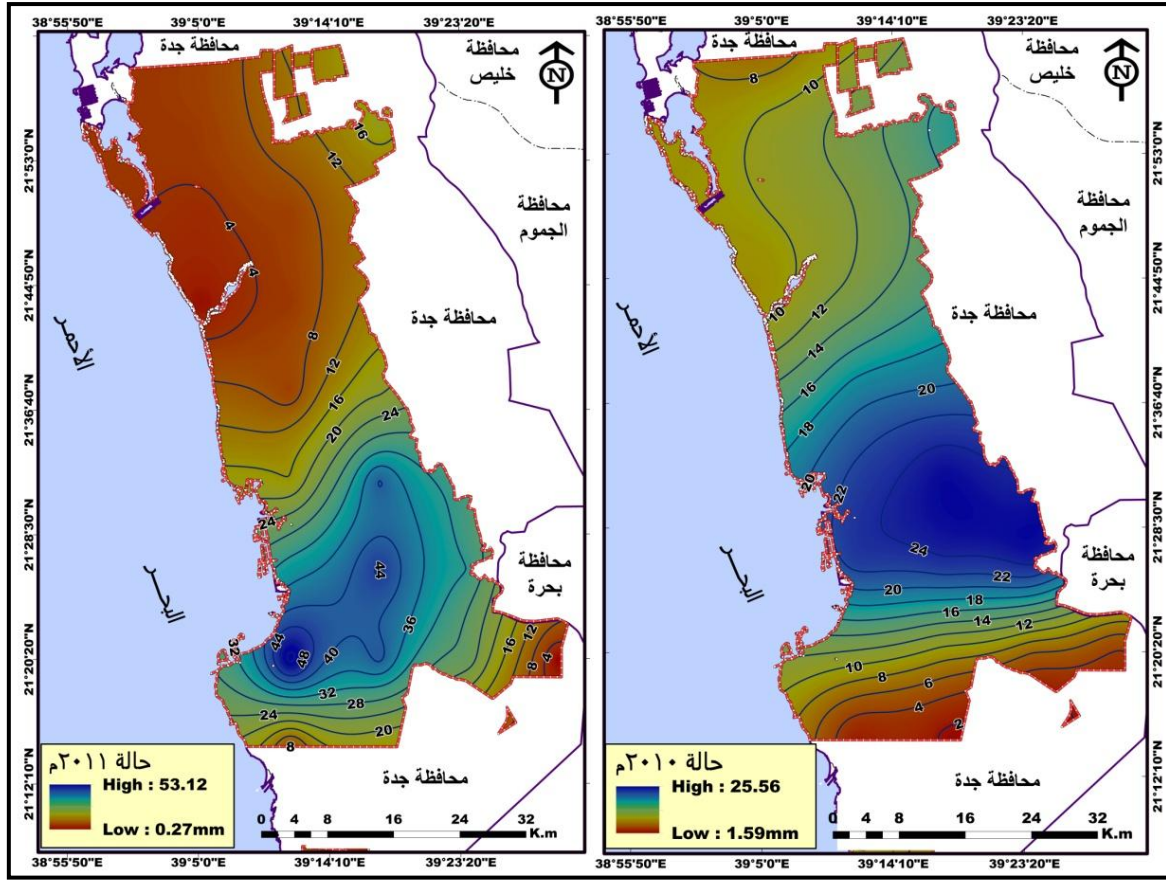
وبالتالي تعتبر الأحياء السكنية التي تقع شرق ووسط وغرب مدينة جدة الأكثر عرضة لمخاطر ومخاطر فيضان السيول المترتبة على هذه الحالة من الأمطار.



شكل رقم (٢) حالي الأمطار الغزيرة المسجلة في مدينة جدة عامي ٢٠٠٦ و ٢٠٠٩م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد، والقمر (GPM)، دقة مكانية ١٠ كم، ناسا، بيانات مناخ الأرض.

وتظهر نتائج التحليل المكاني لمدى توافق توزيع أمطار الحالة الثالثة للأمطار الغزيرة عام ٢٠١٠م بتجانس توزيعها بنسبة ٤٩,٤٪ مع أمطار عاصفة ٢٠١٠م، ونسبة ٣٤,٣٪ مع عاصفة ٢٠١٥م، ونسبة توافق بلغت ٦١,٨٪ مع عاصفة ٢٠١٧م، ونسبة ٣٤,٣٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٢م، ونسبة توافق بلغت ٦١,٥٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٣م، ويتصف توافق توزيع أمطار عاصفة ٢٠١٠م مع عاصفتي ٢٠١١ و ٢٠٢٣م بمستوى دلالة احصائية ٠,٠١، مما يعني أن هناك تطابق في توزيع أمطار هذه العواصف بنسبة ثقة ٩٩٪؛ بينما يتصف توافق توزيع عاصفة ٢٠١٠م مع عاصفتي ٢٠٠٩، ٢٠٢٢م بمستوى دلالة احصائية ٠,٠٥، وبالتالي يتوافق توزيع أمطار هذه العواصف بنسبة ثقة ٩٥٪. وتظهر النتائج توافق توزيع أمطار عاصفة ٢٠١٠م مع توزيع أمطار عواصف ٢٠٠٦، ٢٠١٥، ٢٠١٧م، بنسب ٢٥,٥٪، ٢٩٪، ٢,١٪، ولكن هذا التوافق ليس له أهمية نظرا لعدم وجود دلالة احصائية.



شكل رقم (٣) حالي الأمطار الغزيرة المسجلة في مدينة جدة عامي ٢٠١٠ و ٢٠١١م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات هيئة الارصاد، والقمر (GPM)، دقة مكانية ١٠ كم، ناسا، بيانات مناخ الأرض.

وصنفت الادييات السابقة حالة الأمطار الغزيرة التي تعرضت لها مدينة جدة بتاريخ ٢٦ / ١ / ٢٠١١م ضمن أهم العواصف التي تركت مخاطر بيئية مختلفة على سكان المدينة وممتلكاتهم، فقد ذكرت دراسة ( Nahiduzzaman et al. (2015 وفاة أحد عشر شخصاً في مدينة جدة بسبب هذه العاصفة المطرية ٢٠١١م. وعليه فقد توصلت نتائج تحليل توزيع أمطار حالة عام ٢٠١١م شكل رقم (٣) تركز الأمطار الناتجة عن هذه العاصفة بشدة غرب المراكز الناتجة عن حالات الاعوام ٢٠٠٦، ٢٠٠٩، ٢٠١٠م، وبالتالي يقع مركز أمطار هذه الحالة في الأحياء السكنية وسط وجنوب المدينة حيث وصل الحد الأعلى للأمطار إلى ٥٣,١٢ ملم / ٢٤ ساعة، وتراجع كمية الأمطار إلى ادنى مستوياتها مع الاتجاه نحو شمال وجنوب المدينة لتصل إلى ٠,٢٧ ملم/ ٢٤ ساعة شمال المدينة، وبلغ متوسط ارتفاع مياه السيول الناتجة عن حالة الأمطار هذه على مستوى مدينة جدة نحو ١٦,٦٢ ملم/ ٢٤ ساعة، وينحرف توزيعها مكانيا عن المتوسط بنحو ١٣,٣٢ ملم/ ٢٤ ساعة.

وتظهر نتائج التحليل المكاني مدى توافق توزيع أمطار الحالة الرابعة للأمطار الغزيرة عام ٢٠١١م بتجانس توزيعها بنسبة ٤٥,٤٪ مع أمطار عاصفة ٢٠٠٦م، وبنسبة توافق بلغت ٤٩,٤٪ مع عاصفة ٢٠٠٩م، وبنسبة توافق بلغت ٣٥,٧٪ مع عاصفة ٢٠٢٢م، وبنسبة ٧١,١٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٣م، ويتصف توافق

توزيع أمطار عاصفة ٢٠١١ م مع عواصف ٢٠٠٦، ٢٠١٠، ٢٠٢٣ م بمستوى دلالة احصائية ٠,٠١، أي أن هناك تطابق في توزيع أمطار هذه العواصف بنسبة ثقة ٩٩٪؛ بينما يتصف توافق توزيع عاصفة ٢٠١١ م مع عاصفة ٢٠٢٢ م بمستوى دلالة احصائية ٠,٠٥، وبالتالي يتوافق توزيع أمطار العاصفتين بنسبة ثقة ٩٥٪. بينما تظهر نتائج توافق توزيع أمطار عاصفة ٢٠١١ م مع توزيع أمطار عواصف ٢٠٠٩ م، بنسب ٢٥,٩٪، ولكن هذا التوافق أي دلالة احصائية. ولا يوجد أي توافق بين توزيع أمطار عاصفة ٢٠١١ م مع عاصفي ٢٠١٥، ٢٠١٧ م.

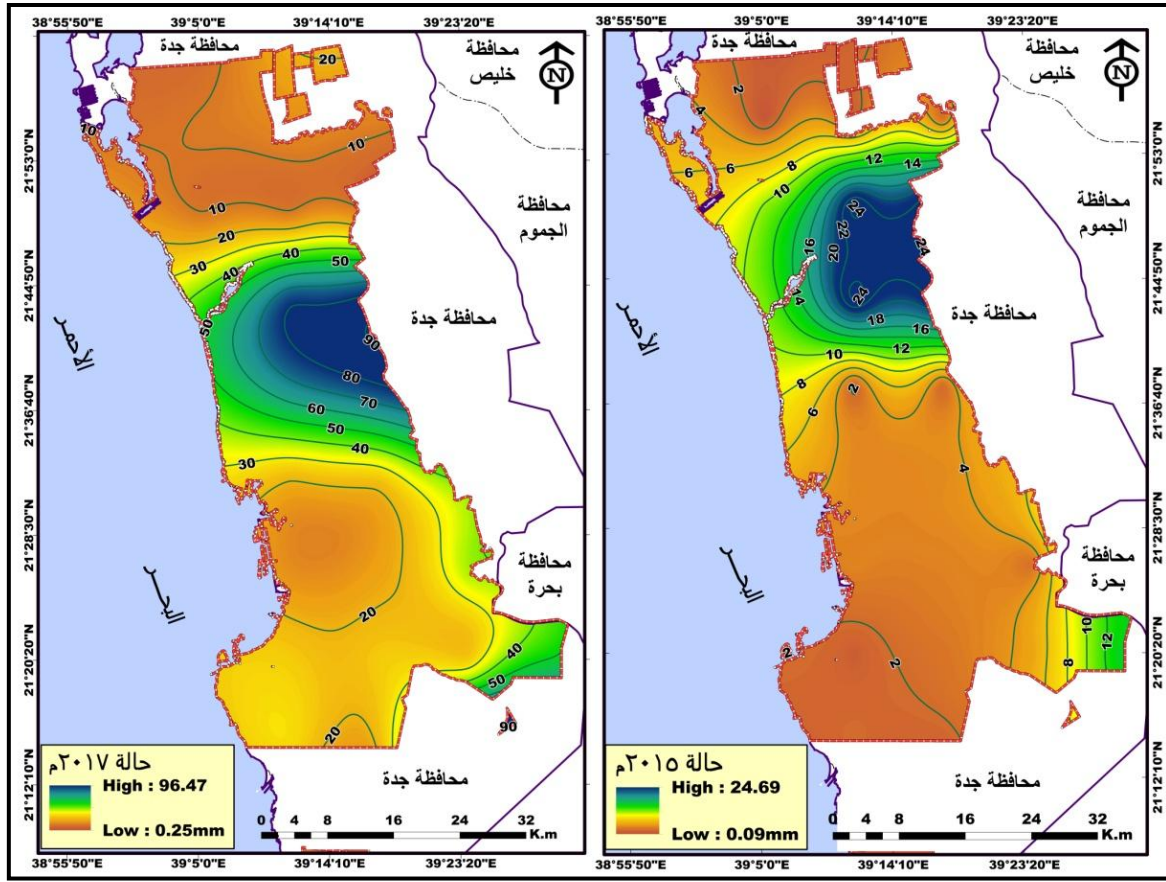
جدول رقم (١) الحدود العليا والدنيا ومتوسط وانحراف توزيع حالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة

اليوم	الشهر	العام	الحد الأدنى ملم	الحد الأعلى ملم	المتوسط المكاني	الانحراف المكاني
٣١	١٠	٢٠٠٦	٢,٤	٣٦,٣٧	٢١,٣٢	٧,٠٦
٢٥	١١	٢٠٠٩	٥,٦٦	١٤٢	٣٦,٨٨	٢١,٨٦
٣٠	١	٢٠١٠	١,٥٩	٢٥,٥٦	١٤,٠٧	٦
٢٦	١	٢٠١١	٠,٢٧	٥٣,١٢	١٦,٦٢	١٣,٣٢
١٧	١١	٢٠١٥	٠,٠٩	٢٤,٦٩	٦,١٥	٥,٩٨
٢١	١١	٢٠١٧	٠,٢٥	٩٦,٤٧	٢٧,٦٢	٢٠,٨٦
٢٤	١١	٢٠٢٢	٢١,٩٥	١٥٣,٩٧	٨٠,٥٥	٢٥,٧٨
١	١	٢٠٢٣	١,١٦	٢٧,٢٥	٩,٣	٦,١٢

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات هيئة الارصاد، والقمر (GPM)، دقة مكانية ١٠ كم، ناسا، بيانات مناخ الأرض.

من جانب آخر تبين نتائج تحليل توزيع الأمطار الغزيرة الناتجة عن حالة الأمطار المسجلة في مدينة جدة بتاريخ ١٧ / ١١ / ٢٠١٥ م في الشكل رقم (٤) تعدد مراكز الأمطار الناتجة عنها حيث تقع غالبيتها شمال شرق مدينة جدة، ويختلف موقع المركز الرئيس للأمطار المرتبطة بهذه الحالة عن مواقع مراكز الحالات المطرية السابقة، ومما يؤكد ذلك وقوع الحد الأعلى للمطر الناتج عن حالة الأمطار الغزيرة عام ٢٠١٥ م، شرق او خارج حدود المدينة، بمعدل بلغ نحو ٢٤,٦٩ ملم/ساعة، وتنخفض الأمطار وتقل مخاطرها جنوب وشمال المدينة، حيث يقل الحد الأدنى للأمطار هذه العاصفة إلى ٠,٠٩ ملم/ساعة، بمتوسط مكاني لارتفاع فيضان هذه الحالة من الأمطار على مستوى مدينة جدة جدول رقم (١) سابقا بلغ نحو ٦,١٥ ملم/ساعة، بانحراف مكاني لتوزيعها بلغ ٥,٩٨ ملم/ساعة، وبالتالي سوف تتركز مخاطر هذه الحالة من الأمطار حيث يتجاوز كمية الأمطار المتوسط المكاني في أحياء شمال شرق وشرق مدينة جدة.

وتوضح نتائج التحقق من توافق توزيع أمطار الحالة الخامسة عام ٢٠١٥ م تطابق توزيعها بنسبة ٥,٤٣٪ مع أمطار عاصفة ٢٠٠٩ م، وبنسبة توافق بلغت ٣٢,٦٪ مع عاصفتي ٢٠١٧، ٢٠٢٢ م، وبنسبة توافق ٣٥,٧٪ مع عاصفة ٢٠٢٢ م، وبنسبة ٧١,١٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٣ م، ويتصف توافق توزيع أمطار عاصفة ٢٠١٥ م مع عواصف ٢٠٠٩، ٢٠١٧، ٢٠٢٢ م، بمستوى دلالة احصائية ٠,٠٥، لكل منها، وبالتالي يمكن القول أن توزيع أمطار هذه العواصف يتطابق بنسبة ثقة ٩٥٪؛ وتظهر النتائج توافق توزيع عاصفة ٢٠١٥ م مع عواصف ٢٠٠٦، ٢٠١٠، ٢٠٢٣ م، ولكن هذا التوافق ليس له أي دلالة احصائية. ويتصف نمط توزيع أمطار عاصفة ٢٠١٥ م بعدم تطابقه مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠١١ م.



شكل رقم (٤) حالي الأمطار الغزيرة المسجلة في مدينة جدة عامي ٢٠١٧ و ٢٠١٥ م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات هيئة الارصاد، والقمر (GPM)، دقة مكانية ١٠ كم، ناسا، بيانات مناخ الأرض.

وتعتبر حالة الأمطار الغزيرة التي شهدتها مدينة جدة بتاريخ ٢١ / ١١ / ٢٠١٧ م ثالث أهم حالات الأمطار من حيث المخاطر التي ترتبت عليها، ومن المؤشرات التي تؤكد ذلك نتائج التحليل المكاني للأمطار الناتجة عن عاصفة أمطار عام ٢٠١٧ م كما يوضح شكل رقم (٤)، حيث بلغ الحد الأعلى لهذه الحالة من الأمطار والتي ظهر جنوب شرق مدينة جدة نحو ٩٦,٤٧ ملم/ ٢٤ ساعة، كما يبرز مركز آخر اقل حده في مخاطره البيئة وسط شرق المدينة، وبالتالي يختلف موقع المركز الرئيس لهذه العاصفة عن مواقع المراكز الناتجة عن حالات الأمطار الغزيرة

في الاعوام ٢٠٠٦، ٢٠٠٩، ٢٠١٠، ٢٠١١، ٢٠١٥م، وتتراجع كمية أمطار هذه الحالة إلى ادنى مستوياتها شمال وجنوب مدينة جدة، لتصل إلى ٠,٢٥ ملم/ ٢٤ ساعة شمال المدينة، بمتوسط مكاني لارتفاع منسوب مياه السيول الناتج عن هذه الحالة من الأمطار على مستوى مدينة جدة بلغ كما بين الجدول السابق رقم (١) نحو ٢٧,٦٢ ملم/ ٢٤ ساعة، بانحراف مكاني لتوزيعها بلغ نحو ٢٠,٨٦ ملم/ ٢٤ ساعة، وتعتبر المخاطر الناتجة عن هذه الحالة المطرية غير كبيرة لان مركزها يقع خارج المدينة بعيدا عن تركيز السكان ومنشآتهم في مدينة جدة.

وتوصلت نتائج التحقق من توافق توزيع أمطار الحالة السادسة للأمطار الغزيرة عام ٢٠١٧م تطابق توزيعها بنسبة ٤٠,٨٪ مع أمطار عاصفة ٢٠٠٦م، وبنسبة توافق بلغت ٣٢,٨٪ مع عاصفة أمطار ٢٠٠٩م، وبنسبة توافق بلغت ٣٢,٦٪ مع عاصفة ٢٠١٥م، وبنسبة ٤٩,٤٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٢م، ويتصف توافق توزيع أمطار عاصفة ٢٠١٧م مع توزيع أمطار عاصفتي ٢٠٠٦، ٢٠٢٢م بمستوى دلالة احصائية يبلغ ٠,٠١، وعليه يمكن القول أن توزيع أمطار هذه العواصف يتطابق بنسبة ثقة ٩٩٪؛ كما يتسم توافق توزيع أمطار عاصفة ٢٠١٧م مع توزيع أمطار عاصفتي ٢٠٠٩، ٢٠١٥م بمستوى دلالة احصائية ٠,٠٥، مما يعني أن توزيع أمطار هذه العواصف يتطابق بنسبة ثقة ٩٥٪؛ وتظهر النتائج توافق توزيع عاصفة ٢٠١٧م مع عواصف ٢٠١٠، ٢٠٢٣م، وليس لهذا التوافق أي دلالة احصائية. ويختلف نمط توزيع أمطار عاصفة ٢٠١٧م عن نمط توزيع أمطار عاصفة ٢٠١١م.

جدول رقم (٢) تحليل توافق توزيع حالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة

مصنوفة الارتباط									
عاصفة	عاصفة	عاصفة	عاصفة	عاصفة	عاصفة	عاصفة	عاصفة	عاصفة	
٢٠٢٣	٢٠٢٢	٢٠١٧	٢٠١٥	٢٠١١	٢٠١٠	٢٠٠٩	٢٠٠٦		
.569**	.770**	.408**	.185	.454**	.255	.623**	1	بيرسون	عاصفة
.000	.000	.006	.230	.002	.095	.000	-	د.الحرية	٢٠٠٦
.484**	.615**	.328*	.354*	.259	.362*	1	.623**	بيرسون	عاصفة
.001	.000	.030	.018	.090	.016	-	.000	د.الحرية	٢٠٠٩
.618**	.343*	.021	.290	.494**	1	.362*	.255	بيرسون	عاصفة
.000	.023	.892	.057	.001	-	.016	.095	د.الحرية	٢٠١٠
.711**	.357*	.035-	.123-	1	.494**	.259	.454**	بيرسون	عاصفة
.000	.017	.821	.427	-	.001	.090	.002	د.الحرية	٢٠١١
.085	.326*	.326*	1	.123-	.290	.354*	.185	بيرسون	عاصفة

٢٠١٥	د.الحرية	.230	.018	.057	.427	-	.031	.031	.583
عاصفة	بيرسون	.408**	.328*	.021	.035	.326*	1	.494**	.099
٢٠١٧	د.الحرية	.006	.030	.892	.821	.031	-	.001	.524
عاصفة	بيرسون	.770**	.615**	.343*	.357*	.326*	.494**	1	.584**
٢٠٢٢	د.الحرية	.000	.000	.023	.017	.031	.001	-	.000
عاصفة	بيرسون	.569**	.484**	.618**	.711**	.085	.099	.584**	1
٢٠٢٣	د.الحرية	.000	.001	.000	.000	.583	.524	.000	-
	المحطات	44	44	44	44	44	44	44	44
** الارتباط ذو دلالة إحصائية عند مستوى ٠,٠١ .									
* الارتباط ذو دلالة إحصائية عند مستوى ٠,٠٥ .									

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات هيئة الأرصاد، والقمر (GPM)، دقة مكانية ١٠ كم، ناسا، بيانات مناخ الأرض.

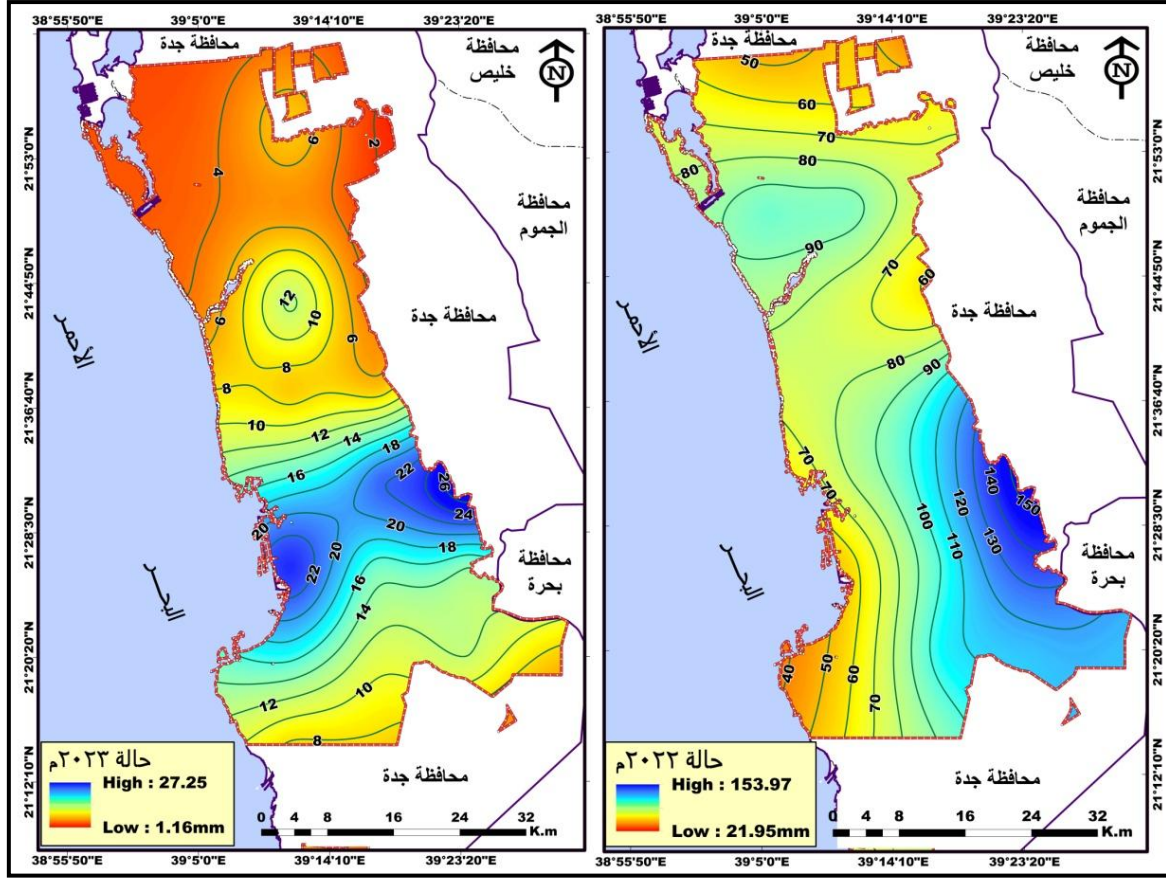
في المقابل تظهر نتائج تحليل توزيع حالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة وبالتحديد توزيع الأمطار الناتجة عن الحالة المسجلة في ٢٤ / ١١ / ٢٠٢٢ م، والتي تعتبر أخطر الحالات التي نتجت عنها مخاطر سلبية على سكان المدينة ومنشآتهم شكل رقم (٥) وجود مركز واحد للأمطار هذه العاصفة يقع شرق مدينة جدة، وعليه فقد تراوحت كمية الأمطار الناتجة عن حالة عام ٢٠٢٢ م بين ٢١,٩٥ ملم / ٢٤ ساعة كحد ادنى شمال مدينة جدة، إلى ١٥٣,٩٧ ملم / ٢٤ ساعة كحد أعلى لكمية الأمطار الناتجة عن هذه العاصفة المطرية، بمتوسط مكاني لكمية الأمطار المترتبة عن هذه الحالة من الأمطار على مستوى المدينة كما يوضح الجدول السابق رقم (١) بلغ نحو ٨٠,٥٥ ملم / ٢٤ ساعة، بانحراف لتوزيعها مكانياً على مستوى المدينة بلغ ٢٥,٧٩ ملم / ٢٤ ساعة، وتعكس قيم المتوسط والانحراف تركيز مكاني لمخاطر ومخاطر هذه الحالة من الأمطار، والتي تظهر بوضوح في الاحياء السكنية التي تتسم بكثافة سكانية وسكنية عالية شرق ووسط شرق ووسط وغرب مدينة جدة.

وتوصلت نتائج التحقق من توافق توزيع أمطار الحالة السابعة للأمطار الغزيرة عام ٢٠٢٢ م تطابق توزيعها بنسبة ٧٧٪ مع أمطار عاصفة ٢٠٠٦ م، وبنحو ٦١,٥٪ مع أمطار ٢٠٠٩ م، وبنسبة توافق ٣٤,٣٪ مع عاصفة ٢٠١٠ م، وبنسبة ٣٥,٧٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠١١ م، وبنسبة ٣٢,٦٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠١٥ م، وبحوالي ٤٩,٤٪ مع عاصفة ٢٠١٧ م، وبنسبة توافق ٥٨,٤٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٣ م، ويتسم توافق توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٢ م مع عواصف ٢٠٠٦، ٢٠٠٩، ٢٠١٧، ٢٠٢٣ م بدلالة احصائية ٠,٠١، وبذلك يتضح أن هناك تطابق في توزيع أمطار هذه العواصف بنسبة ثقة ٩٩٪؛ بينما يتسم توافق توزيع أمطار عاصفة

٢٠٢٢م مع عواصف ٢٠١٠، ٢٠١١، ٢٠١٥م بمستوى دلالة احصائية ٠,٠٥، مما يعني تطابق توزيع أمطار هذه العواصف بنسبة ثقة ٩٥٪.

وتعرضت مدينة جدة لحالة أمطار غزيرة سجلت بتاريخ ١ / ١ / ٢٠٢٣م، وبذلك تظهر نتائج تحليل توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٣م تباين توزيعها ومخاطرها على السكان والمنشآت في مدينة جدة، ومما يؤكد ذلك في الشكل رقم (٥)، تراوح كمية الأمطار الناتجة عن هذه العاصفة بين ٠,١٦ ملم / ٢٤ ساعة اقصى جنوب مدينة جدة، إلى ٢٨,٤٤ ملم / ٢٤ ساعة وسط شرق المدينة، وهذه الحالة المطرية مركزين الاول وسط شرق مدينة جدة، والآخر وسط غرب المدينة، بمتوسط مكاني لكمية الأمطار الناتجة عن هذه الحالة من الأمطار كما يبين الجدول السابق رقم (١) نحو ٩,٣ ملم / ٢٤ ساعة، ورغم انخفاض متوسط أمطار هذه العاصفة إلا ان المخاطر والمخاطر الناتجة عنها شديدة، بسبب وقوع مركزيتها بمناطق ذات كثافة سكانية وسكنية عالية، وينحرف توزيعها الأمطار المترتبة عن هذه العاصفة عن متوسطها المكاني بحوالي ٦,١٢ ملم / ٢٤ ساعة.

وتوصلت نتائج تحليل توزيع أمطار الحالة الثامنة للأمطار الغزيرة عام ٢٠٢٣م تطابق توزيعها بنسبة ٥٦,٩٪ مع أمطار عاصفة ٢٠٠٦م، وبنسبة ٤٨,٤٪ مع عاصفة أمطار ٢٠٠٩م، وبنسبة توافق بلغت ٦١,٦٪ مع عاصفة ٢٠١٠م، وبنسبة ٧١,١٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠١١م، وبنسبة توافق ٥٨,٤٪ مع توزيع أمطار عاصفة ٢٠١٧م، ويتصف توافق توزيع أمطار عاصفة ٢٠٢٣م مع توزيع أمطار عواصف ٢٠٠٦، ٢٠٠٩، ٢٠١٠، ٢٠١١، ٢٠٢٢م بمستوى دلالة احصائية ٠,٠١، وبذلك يتضح أن هناك تطابق في توزيع أمطار هذه العواصف بنسبة ثقة ٩٩٪؛ وتؤكد نتائج التحليل توافق توزيع عاصفة ٢٠٢٣م مع عاصفتي ٢٠١٥، ٢٠١٧م، وليس لهذا التوافق أي دلالة احصائية.



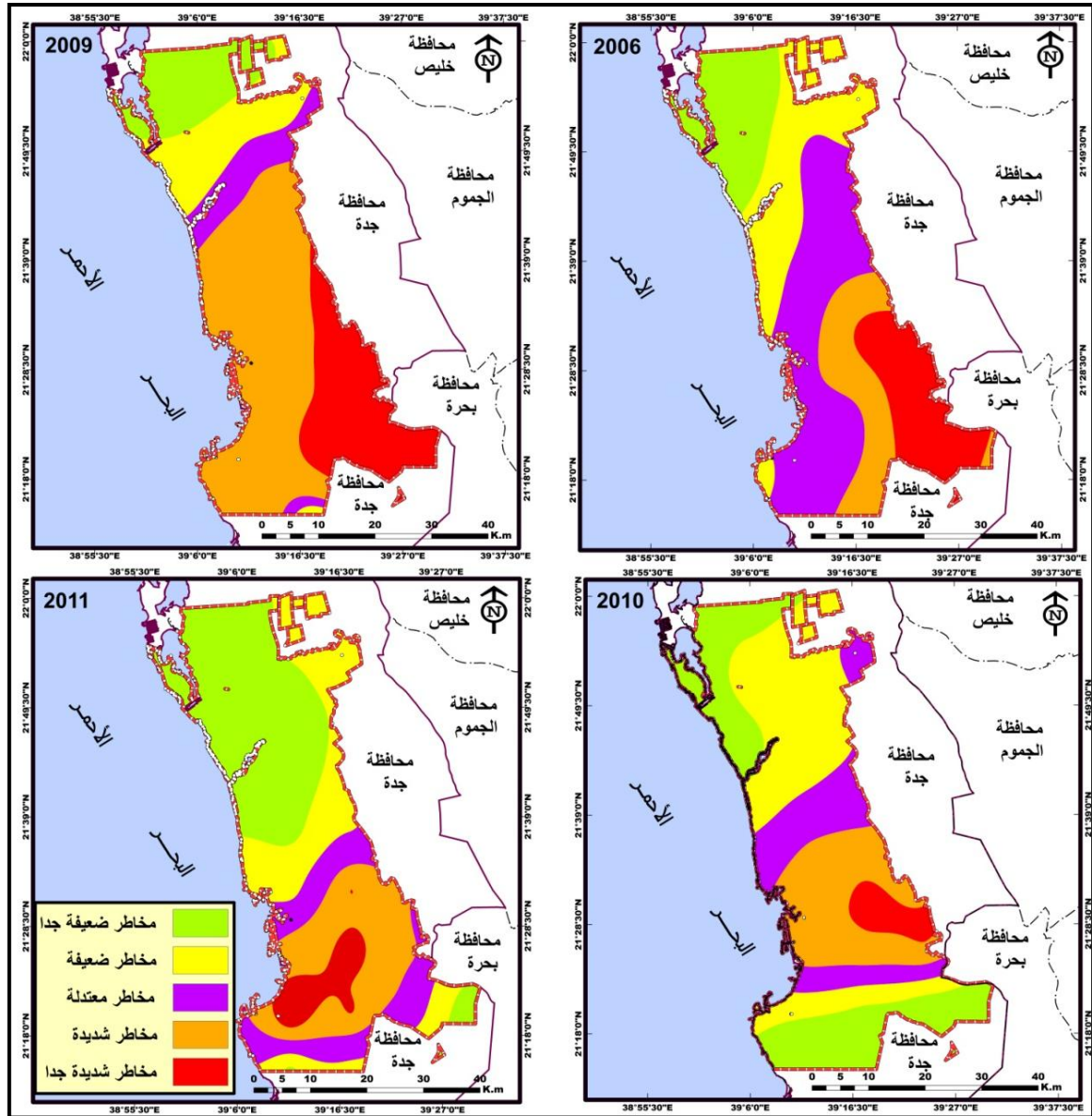
شكل رقم (٥) حالي الأمطار الغزيرة المسجلة في مدينة جدة عامي ٢٠٢٢ و ٢٠٢٣ م

المصدر: بالاعتماد على بيانات هيئة الارصاد، والقمر (GPM)، دقة مكانية ١٠ كم، ناسا، بيانات مناخ الأرض.

ثانياً) نمذجة المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة: قامت الدراسة ببناء نموذج ملائمة مكانية للمخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة التي من الممكن أن تنجم عن تكرار الحالات الغزيرة من الأمطار، وعليه فقد مر بناء النموذج بعدة خطوات بداية بتحديد مستويات المخاطر البيئية لكل حالة أمطار، وذلك من خلال تصنيف طبقات (Raster) حالات الأمطار إلى خمسة فئات، ويقابل كل فئة مستوى المخاطر المترتبة كما يوضح الشكلين (٦، ٧).

وبذلك تظهر نتائج تصنيف مخاطر حالة الأمطار الغزيرة عام ٢٠٠٦ م شكل رقم (٦)، تغطية المناطق التي من المحتمل تعرضها لمخاطر بيئية شديدة جدا جنوب شرق المدينة بمساحة ٣٢٧,٢٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٣,٨٥٪ من مساحة المدينة، فيما بلغت مساحة المنطقة التي تعرضت لمخاطر شديدة جنوب شرق وجنوب المدينة ٣٧٢,٤٧ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٥,٧٦٪ من مساحة المدينة، ومساحة المنطقة التي واجهت مخاطر معتدلة جنوب ووسط وشرق مدينة جدة ٦٩٥,١١ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٩,٤٪ من مساحة المدينة، واتسمت بقية المدينة بمخاطر تراوحت بين الضعيفة إلى الضعيفة جدا شمال وشرق المدينة، بمساحة بلغت ٩٦٨,٩٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٤١٪ من إجمالي مساحة المدينة.

ويوضح شكل (٦) تصنيف المخاطر البيئية الناتجة عن حالة الأمطار الغزيرة عام ٢٠٠٩م، حيث تغطي المنطقة التي تعرضت لمخاطر شديدة جدا جنوب شرق وشرق وشمال وجنوب غرب مدينة جدة، بمساحة ٤٣٥,٦٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٨,٤٤٪ من مساحة المدينة، وبلغت مساحة المنطقة التي عانت من مخاطر شديدة جنوب غرب وغرب ووسط وشرق المدينة ١٠٦١,٤٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٤٤,٩٪ من المساحة، وتقع المنطقة التي واجهت مخاطر بيئية معتدلة وسط وشرق وشمال مدينة جدة ٢٥٦,٤٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٠,٨٤٪ من مساحة المدينة، وتتسم بقية المدينة بمخاطر تتراوح بين ضعيفة إلى ضعيفة جدا شمال وجنوب المدينة، بمساحة ٦١٠,١٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٥,٨٢٪ من إجمالي مساحة المدينة.



شكل رقم (٦) المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة للأعوام ٢٠٠٦، ٢٠٠٩، ٢٠١٠، ٢٠١١م

المصدر: الباحثة بالاعتماد طبقات خرائط الشكلين (٢، ٣).

وتبين نتائج تصنيف مخاطر حالة أمطار عام ٢٠١٠م شكل (٦) السابق، وقوع المنطقة التي تعرضت لمخاطر بيئية شديدة جدا شرق ووسط مدينة جدة، بمساحة بلغت ٩٧,٣٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٤,١١٪ من المساحة، ومساحة المنطقة التي واجهت مخاطر شديدة وسط وشرق المدينة ٤٢١,٠٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٧,٨٢٪ من المساحة، وتظهر المنطقة التي اتسمت بمخاطر معتدلة وسط وشرق وسط وشمال شرق المدينة بمساحة بلغت ٣٧٦,٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٥,٩٣٪ من مساحة المدينة، وتقع بقية المدينة في نطاق المخاطر البيئية ضعيفة إلى ضعيفة جدا شمال وشمال غرب وجنوب المدينة، بمساحة بلغت ١٤٦٨,٩٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦٢,١٥٪ من إجمالي مساحة المدينة.

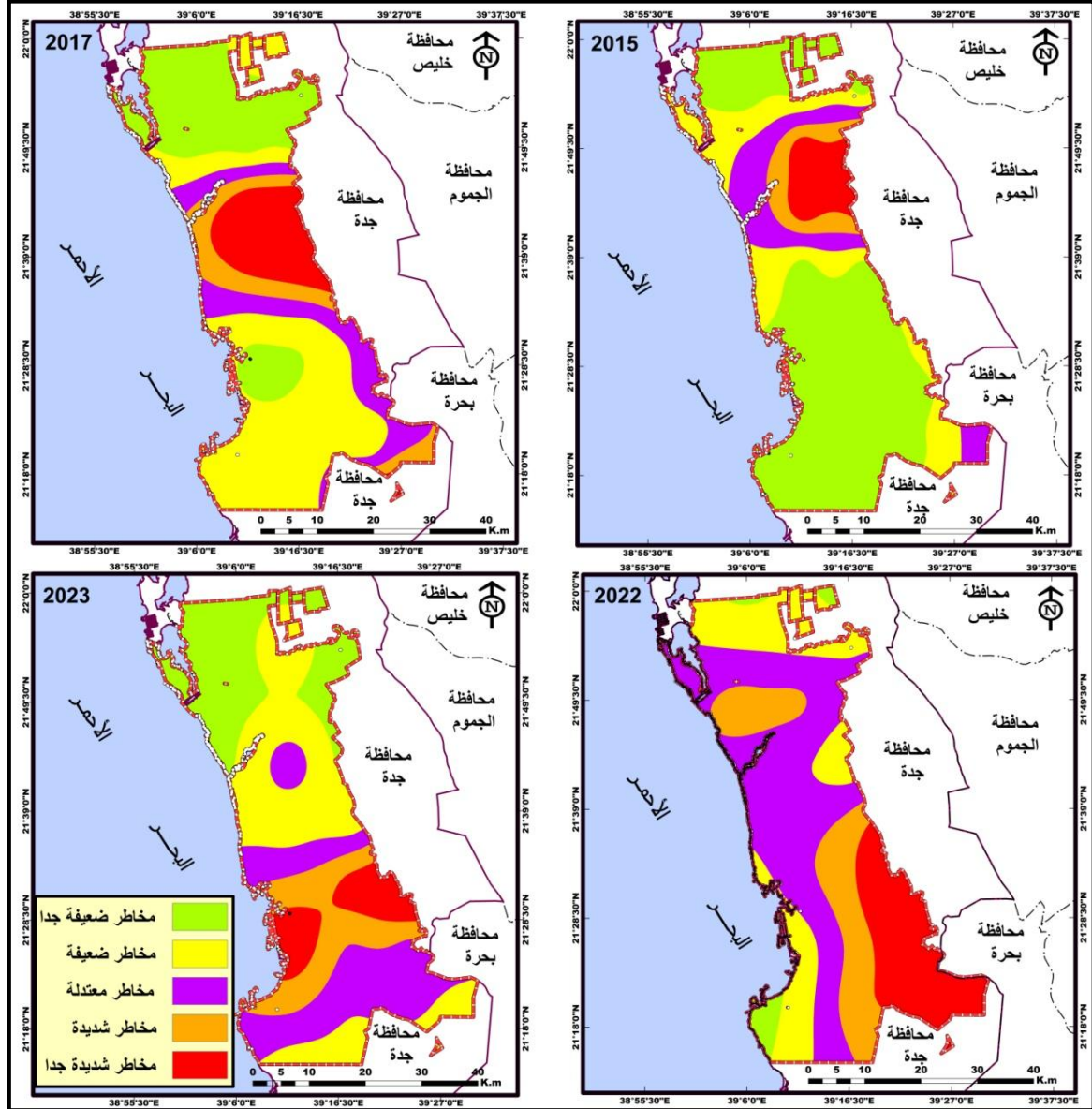
ويوضح شكل (٦) السابق فئات المخاطر البيئية لحالة أمطار عام ٢٠١١م، حيث تقع المنطقة التي تعرضت لمخاطر شديدة جدا غرب وجنوب غرب المدينة، بمساحة بلغت ٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٥,٦٣٪ من المساحة، والمنطقة التي اتسمت بمخاطر شديدة وسط وشرق وجنوب مدينة جدة بمساحة ٤٣٣,٧٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٨,٣٥٪ من المساحة، وتبرز المنطقة التي واجهت مخاطر بيئية معتدلة جنوب ووسط المدينة، بمساحة بلغت ٢٩٣,٥٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٢,٤١٪ من مساحة المدينة، وتقع بقية مساحة المدينة حيث المخاطر البيئية ضعيفة إلى ضعيفة جدا شمال وجنوب المدينة، بمساحة بلغت ١٥٠٣,٣٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦٣,٦٪ من إجمالي مساحة المدينة.

من جانب آخر تظهر فئات تصنيف المخاطر البيئية شكل رقم (٧) لحالة الأمطار الغزيرة عام ٢٠١٥م، ووقوع المنطقة التي تعرضت لمخاطر شديدة جدا شمال شرق مدينة جدة بمساحة بلغت ١٤٤,٦٥ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦,١١٪ من المساحة، وتبرز المنطقة التي تعرضت لمخاطر شديدة شمال وسط المدينة ١١٧,٣٧ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٤,٩٧٪ من مساحة المدينة، وتقع المنطقة التي تعرضت لمخاطر معتدلة وسط شمال ووسط وجنوب شرق المدينة بمساحة ٢٤٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٠,٤٪ من المساحة، وتظهر بقية المدينة بمنطقة مخاطر ضعيفة إلى ضعيفة جدا وسط وجنوب وشمال المدينة، بمساحة بلغت ١٨٥٥,٧ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٧٨,٥٪ من إجمالي مساحة المدينة.

وتبين نتائج تصنيف المخاطر الناتجة عن حالة أمطار عام ٢٠١٧م، وقوع المنطقة التي واجهت مخاطر شديدة جدا وسط شرق المدينة، بمساحة بلغت ٢٦٢,٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١١,١٪ من المساحة، وتظهر المنطقة التي عانت من مخاطر شديدة وسط وجنوب شرق المدينة ١٨٥,٨٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٧,٨٧٪ من المساحة، وتبرز المنطقة التي تعرضت لمخاطر معتدلة جنوب غرب ووسط وشمال مدينة جدة بمساحة ٢٨٠,٣٤ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١١,٨٦٪ من مساحة المدينة، وتقع بقية المدينة اينما توجد مخاطر ضعيفة إلى ضعيفة جدا شمال وجنوب غرب المدينة، بمساحة بلغت ١٦٣٤,٩٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٦٩,١٧٪ من إجمالي مساحة المدينة.

وتوصلت نتائج تصنيف المخاطر الناتجة عن الحالة المطرية عام ٢٠٢٢م شكل (٧) إلى أن المنطقة التي تعرضت لمخاطر شديدة جدا تقع جنوب شرق مدينة جدة، بمساحة بلغت ٣٧٤,١٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٥,٨٣٪ من مساحة المدينة، ومساحة المنطقة التي عانت من مخاطر شديدة وسط وشمال غرب المدينة ٣٨٥,٥٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة

١٦,٣٪ من المساحة، وتبرز المنطقة التي واجهت مخاطر معتدلة وسط وغرب وشمال شرق المدينة بمساحة بلغت ٨٧٣,٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣٦,٩٥٪ من مساحة المدينة، وتقع بقية مساحة المدينة التي بلغت ٧٣٠,٨٥ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣٠,٩٢٪ من إجمالي مساحة المدينة حيث تتسم بمخاطر ضعيفة إلى ضعيفة جدا شمال وجنوب وجنوب غرب المدينة.



شكل رقم (٧) المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة للأعوام ٢٠١٥، ٢٠١٧، ٢٠٢٢، ٢٠٢٣

المصدر: الباحثة بالاعتماد طبقات خرائط الشكلين (٤، ٥).

وتظهر نتائج شكل (٧) السابق كذلك فئات المخاطر البيئية لحالة أمطار عام ٢٠٢٣م، حيث تقع المنطقة التي شهدت مخاطر شديدة شرق وغرب المدينة، بمساحة بلغت ١٨٠,٠٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٧,٦٢٪ من المساحة، فيما تبرز المنطقة التي اتسمت بمخاطر شديدة وسط مدينة جدة بمساحة ٢٨٦,٥٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة

١٢,١٢٪ من المساحة، والمنطقة التي واجهت مخاطر معتدلة جنوب ووسط وجنوب شرق وجنوب غرب المدينة، بمساحة بلغت ٤٩٥,١٦ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٠,٩٥٪ من مساحة المدينة، وتظهر بقية المدينة حيث المخاطر ضعيفة وضعيفة جدا شمال وجنوب المدينة، بمساحة بلغت ١٤٠١,٨٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٥٩,٣٪ من إجمالي مساحة المدينة.

وتمثلت الخطوة الثانية بإعطاء الفئات أوزان بمقياس يتراوح من ١ مخاطر ضعيفة جداً، إلى ٥ مخاطر شديدة جداً على الانسان وممتلكاته في مدينة جدة، وتمثلت ثالث خطوات بناء نموذج الملاءمة المكانية لمخاطر هذه الحالات المطرية بإعطاء وزن لكل عاصفة مطرية بحسب المتوسط المكاني لكمية الأمطار والمخاطر الناتجة عنها كما يوضح جدول رقم (٣).

جدول رقم (٣) بنية نموذج الملاءمة المكانية للمخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة

عاصفة الأمطار	فئات الأمطار ملم	تصنيف المخاطر	وزن الفئة	وزن العاصفة
٢٠٠٦	أقل من ١٥	ضعيفة جداً	١	٠,١
	١٥ - ٢٠	ضعيفة	٢	
	٢٠ - ٢٥	معتدلة	٣	
	٢٥ - ٣٠	شديدة	٤	
	أكثر من ٣٠	شديدة جداً	٥	
٢٠٠٩	أقل من ١٥	ضعيفة جداً	١	٠,٢٥
	١٥ - ٢٥	ضعيفة	٢	
	٢٥ - ٣٥	معتدلة	٣	
	٣٥ - ٤٥	شديدة	٤	
	أكثر من ٤٥	شديدة جداً	٥	
٢٠١٠	أقل من ١٠	ضعيفة جداً	١	٠,٠٤
	١٠ - ١٥	ضعيفة	٢	
	١٥ - ٢٠	معتدلة	٣	
	٢٠ - ٢٥	شديدة	٤	
	أكثر من ٢٥	شديدة جداً	٥	
٢٠١١	أقل من ١٠	ضعيفة جداً	١	٠,٠٦
	١٠ - ٢٠	ضعيفة	٢	
	٢٠ - ٣٠	معتدلة	٣	
	٣٠ - ٤٠	شديدة	٤	
	أكثر من ٤٠	شديدة جداً	٥	
	أقل من ٥	ضعيفة جداً	١	
	٥ - ١٠	ضعيفة	٢	

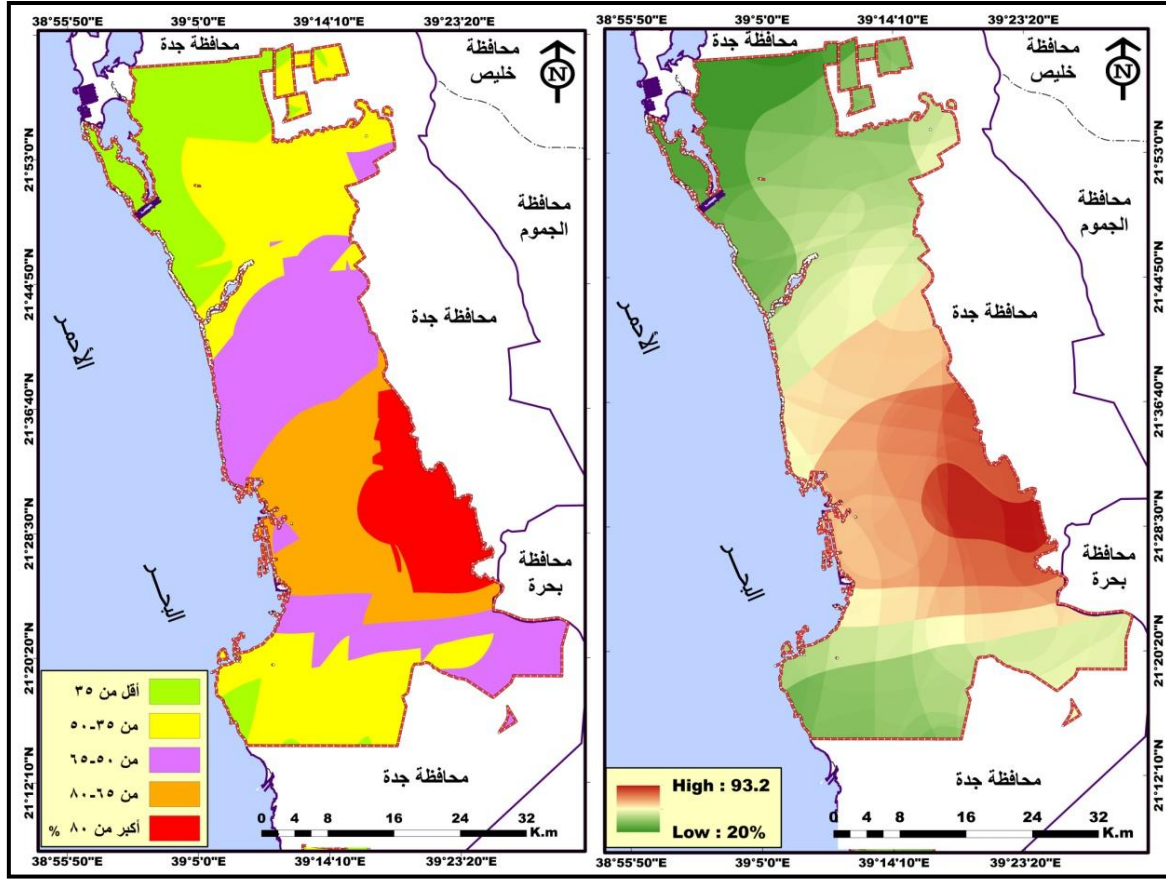
٠,٠٢	٣	معتدلة	١٥ - ١٠	٢٠١٥
	٤	شديدة	٢٠ - ١٥	
	٥	شديدة جدا	أكثر من ٢٠	
٠,٢	١	ضعيفة جدا	أقل من ١٥	٢٠١٧
	٢	ضعيفة	٣٠ - ١٥	
	٣	معتدلة	٤٥ - ٣٠	
	٤	شديدة	٦٠ - ٤٥	
	٥	شديدة جدا	أكثر من ٦٠	
٠,٣	١	ضعيفة جدا	أقل من ٥٠	٢٠٢٢
	٢	ضعيفة	٧٠ - ٥٠	
	٣	معتدلة	٩٠ - ٧٠	
	٤	شديدة	١١٠ - ٩٠	
	٥	شديدة جدا	أكثر من ١١٠	
٠,٠٣	١	ضعيفة جدا	أقل من ٥	٢٠٢٣
	٢	ضعيفة	١٠ - ٥	
	٣	معتدلة	١٥ - ١٠	
	٤	شديدة	٢٠ - ١٥	
	٥	شديدة جدا	أكثر من ٢٠	

المصدر: الباحثة بالاعتماد على بيانات هيئة الارصاد، والقمر (GPM)، دقة مكانية ١٠ كم، ناسا، بيانات مناخ الأرض.

وتمثلت آخر خطوات نمذجة المخاطر البيئية لجميع الحالات المطرية الغزيرة الثمانية، بدمج جميع طبقات حالات الأمطار حسب اوزانها المبينة في الجدول السابق بواسطة حاسبة (Raster Calculator in GIS) وتظهر نتائج هذه الخطوة في شكل (٨) تراوح نسب المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة التي تعرضت لها مدينة جدة بين ٢٠٪ كحد أدنى، إلى ٩٣,٢٪ كحد أقصى، وبالتالي لا توجد أي مساحة لم تتعرض لمخاطر حالات الأمطار الغزيرة، بدليل عدم بلوغ قيمة الحد الأدنى لنموذج الملاءمة إلى صفر، كما لا توجد أي منطقة واجهت مخاطر حالات الأمطار الغزيرة بنسبة ١٠٠٪.

ويوضح شكل (٨) خمسة مستويات من المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة يقع أولها: في مناطق المخاطر الضعيفة جدا، وذلك حيث تقل نسبة مخاطر حالات الأمطار عن ٣٥٪ شمال غرب وجنوب غرب مدينة جدة، بمساحة بلغت ٤٧٥,٥٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٠,١٣٪ من مساحة المدينة. وتبرز المنطقة التي اتسمت بمخاطر بيئية ضعيفة حيث تتراوح نسبة المخاطر البيئية لحالات الأمطار بين ٣٥ - ٥٠٪ شمال شرق وجنوب وجنوب غرب مدينة جدة بمساحة بلغت ٣٦٣,٣٢ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ١٥,٣٨٪ من مساحة المدينة الكلية. وتقع المنطقة التي تعرضت لمخاطر معتدلة من الأمطار الغزيرة حيث تتراوح نسبة المخاطر البيئية بين ٥٠ - ٦٥٪

وسط وجنوب وجنوب شرق مدينة جدة، بمساحة بلغت ٥٦٢,٤٣ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٣,٨٪ من إجمالي مساحة المدينة.



شكل رقم (٨) نموذج ومستويات ملائمة حالات الأمطار الغزيرة للمخاطر البيئية في مدينة جدة

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات حالات الأمطار الغزيرة المبينة في الشكلين (٦، ٧).

وتظهر المنطقة التي واجهت مخاطر بيئية شديدة لحالات الأمطار الغزيرة وسط مدينة جدة، بمساحة بلغت ٧٥١,٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣١,٨٣٪ من إجمالي مساحة المدينة، وذلك حيث تتراوح نسبة مخاطر البيئة لحالات الأمطار بين ٦٥ - ٨٠٪. بينما تقع المنطقة التي عانت من مخاطر بيئية شديدة جدا لحالات الأمطار الغزيرة وسط شرق مدينة جدة، بمساحة بلغت ٤٧٥,٥٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٠,١٣٪ من إجمالي مساحة المدينة، وذلك حيث تتجاوز نسبة مخاطر حالات الأمطار الغزيرة ٨٠٪.

جدول رقم (٤) نسبة وشدة المخاطر البيئية لحالات الأمطار الغزيرة في مدينة جدة

النسبة %	المساحة كم <sup>٢</sup>	توصيف المخاطر البيئية	نسبة مخاطر حالات الأمطار
----------	-------------------------	-----------------------	--------------------------

أقل من ٣٥	ضعيفة جدا	٢٠٩,٦٢	٨,٠٧
٣٥ - ٥٠	ضعيفة	٣٦٣,٣٢	١٥,٣٨
٥٠ - ٦٥	معتدلة	٥٦٢,٤٣	٢٣,٨
٦٥ - ٨٠	شديدة	٧٥١,٩	٣١,٨٣
أكبر من ٨٠٪	شديدة جدا	٤٧٥,٥٨	٢٠,١٢

المصدر: شكل رقم (٨).

### نتائج الدراسة:

- (١) موثوقية استخدام بيانات الأقمار الصناعية (GPM) في تحليل توزيع حالات الأمطار الغزيرة والمخاطر المترتبة عليها بنسبة ثقة تبلغ ٩٠٪.
- (٢) تركز ٥٠٪ من حالات الأمطار الغزيرة في شهر نوفمبر، ونحو ٣٧,٥٪ من حالات الأمطار الغزيرة في شهر يناير، وحوالي ١٢,٥٪ من إجمالي حالات الأمطار الغزيرة في شهر أكتوبر.
- (٣) هناك ٣٨ علاقة لتوزيع حالات الأمطار الغزيرة بنسبة ٧٠,٣٧٪ من إجمالي علاقات توزيع حالات الأمطار الغزيرة في المدينة اتسمت بالتوافق في توزيعها المكاني بنسبة دلالة تراوحت بين ٠,٠١ - ٠,٠٥، وهذا التوافق ينعكس في نفس الاتجاه على مخاطرها البيئية على سكان مدينة جدة وممتلكاتهم.
- (٤) توصلت نتائج تصنيف المخاطر البيئية بالاعتماد على كل حالة من حالات الامطار الغزيرة منفردة تكرر تركيزاتها المكانية في مناطق معينة من المدينة بالذات جنوب شرق وشرق ووسط المدينة.
- (٥) أكدت نتائج نمذجة المخاطر البيئية لجميع حالات الأمطار الغزيرة مجتمعة تراوح نسبها بين ٢٠٪ مخاطر بيئية ضعيفة جدا، إلى ٩٣,٢٪ مخاطر بيئية شديدا جدا، وتقع المنطقة التي واجهت مخاطر بيئية شديدة لحالات الامطار مجتمعة وسط مدينة جدة، حيث نسبة المخاطر الناتجة عنهن بين ٦٥ - ٨٠٪، بمساحة ٧٥١,٩ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٣١,٨٣٪ من مساحة المدينة.
- (٦) تقع المنطقة التي واجهت مخاطر بيئية شديدة جدا بفعل حالات الأمطار الغزيرة حيث تتجاوز نسبة المخاطر ٨٠٪ وسط شرق مدينة جدة، بمساحة ٤٧٥,٥٨ كم<sup>٢</sup>، بنسبة ٢٠,١٣٪ من إجمالي مساحة مدينة جدة، ويفسر ذلك بوقوع مراكز غالبية العواصف المطرية الشديدة التي ادخلت في نمذجة مخاطر الأمطار ضمن هذه المنطقة.

### المراجع العربية:

- المتلوثي، سمير محمد. (٢٠٠٥). "الامطار الغزيرة في مدينة جدة بالمملكة العربية السعودية: أسبابها ونتائجها". *مجلة البحوث والدراسات في الآداب والعلوم والتربية*. جامعة الملك عبد العزيز، ٢ (٣)، ٨٥ - ١١٤. [./https://search.mandumah.com](https://search.mandumah.com)
- آل مشيط، أمل حسين. (٢٠٢٤م). "التحليل المكاني لتقلبات هطول الأمطار في منطقة مكة المكرمة باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية". *مجلة العلوم العربية والإنسانية*، ٣ (١)، ١٤٠ - ١٧٦. [./https://jahs.qu.edu.sa/index.php](https://jahs.qu.edu.sa/index.php)
- العنزي، جميلة عواض. (٢٠٢٣م). "اتجاهات كميات الأمطار السنوية في محطتي جدة والوجه في المملكة العربية السعودية للسنوات ١٩٨٧ - ٢٠١٦ م". *مجلة الطبيعة والحياة والعلوم التطبيقية*، ٧ (١)، ٥٧ - ٦٩. <https://search.emarefa.net/detail/BIM-170846>
- المملكة العربية السعودية، الهيئة العامة للإحصاء. (٢٠٢٢م). نتائج تعداد السكان والمساكن. [./https://www.stats.gov.sa/en](https://www.stats.gov.sa/en)
- ناسا، (٥، ٥، ٢٥). *بيانات مناخ الأرض*. [./https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni](https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni)

### المراجع الأجنبية:

- Al-Anzi, Jamila Awad. (2023). "Trends in annual rainfall amounts at Jeddah and Al-Wajh stations in the Kingdom of Saudi Arabia for the years 1987-2016". *Nature, Life & Applied Sciences Journal*, 7 (1), 57-69. <https://journals.ajsrp.com/index.php/jnslas>.
- Ali, A. B., Ameer, F. (2018). "An Assessment of Jeddah's Hydraulic Protection and Management Systems of Flood". *Open Access Library Journal*, 5 (2), 1-16. doi: 10.4236/oalib.1104288. DOI: [10.4236/oalib.1104288](https://doi.org/10.4236/oalib.1104288).
- Al-Mathlouthi, Samir Muhammad. (2005). "Heavy Rainfall in Jeddah, Saudi Arabia: Causes and Consequences". *Journal of Research and Studies in Arts, Sciences and Education*. King Abdulaziz University, 2 (3), 85-114. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01036-9>.
- Al-Mashit, Amal. (2024). "Spatial analysis of rainfall variability in the Makkah region using remote sensing and geographic information systems data". *Journal of Arab and Human Sciences*, 3 (1). 140-176. [./https://jahs.qu.edu.sa/index.php](https://jahs.qu.edu.sa/index.php).
- Alzahrani, A. S., Abdelbaki, A. M., Mobarak, B. A. (2025). "Exploring the most suitable probability distribution for analyzing annual rainfall data: a case

study of Makkah and Jeddah cities". Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture, 16, 52–63. <https://doi.org/10.1007/s43995-024-00088-8>.

- Ameer, F. (2016). "Floods in Jeddah, Saudi Arabia: Unusual Phenomenon and Huge Losses. What Prognoses". E3S Web Conf, 7, 1–10. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160704019>.

- Atif, R. M., Siddiqui, M. H., Almazroui, M. (2018). "Near-real-time spatiotemporal analysis of convection and extreme rainfall leading to a flash flood using MSGSEVIRI and TRMM data: A case study of a flash flood in Jeddah, Saudi Arabia on the November 25, 2009". J Flood Risk Management, 13:e12611, 1-12. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12611>.

- Azzam, A., Belhaj, A. (2019). "Urban Sprawl in Wadi Goss Watershed (Jeddah City/Western Saudi Arabia) and Its Impact on Vulnerability and Flood Hazards". J. Geogr. Inf. Syst, 11, 371–388. DOI: 10.4236/jgis.2019.113023. [DOI: 10.4236/jgis.2019.113023](https://doi.org/10.4236/jgis.2019.113023).

- 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. [DOI:10.15666/AEER/1604\\_41294144](https://doi.org/10.15666/AEER/1604_41294144).

- Dasari, H.P., Langodan, S., Viswanadhapalli, Y., et al.(2018). "ENSO influence on the interannual variability of the Red Sea convergence zone and associated rainfall". International Journal of Climatology, 38, 761–775. <https://doi.org/10.1002/joc.5208>.

- De Vries, A.J., Feldstein, S.B., Riemer, M., et al.(2016). "Dynamics of tropical-extratropical interactions and extreme precipitation events in Saudi Arabia in autumn, winter and spring". Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 142, 1862–1880. <https://doi.org/10.1002/qj.2781>.

- De Vries, A.J., Ouwersloot, H.G., Feldstein, S.B., et al. (2018). "Identification of tropical-extratropical interactions and extreme precipitation events in the Middle East based on potential vorticity and moisture transport". Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 123, 861–881. <https://doi.org/10.1002/2017JD027587>.

- 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. <https://doi.org/10.1002/asl.981>.

- Maantay, J., Maroko, A. (2009). "Mapping urban risk: Flood hazards, race, and environmental justice in New York". *Appl. Geogr*, 29, 111–124. DOI: [10.1016/j.apgeog.2008.08.002](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.08.002).
- Nahiduzzaman, K.M., Aldosary, A.S. (2015). "Rahman, M.T. Flood induced vulnerability in strategic plan making process of Riyadh city". *Habitat Int*, 49, 375–385. DOI: [10.1016/j.habitatint.2015.05.034](https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.05.034).
- NASA. (5, May, 2025). Earth's Climate Data. <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.
- Shah, S. M. H., Yassin, M. M., Abba, S.I., et al. (2023). "Flood Risk and Vulnerability from a Changing Climate Perspective: An Overview Focusing on Flash Floods and Associated Hazards in Jeddah". *Water*, 15, 3641. <https://doi.org/10.3390/w15203641>.
- Saudi Arabia. (2022). General Authority for Statistics, Population and Housing Census Results. <https://www.stats.gov.sa/en/>.
- Tammar, A., Abosuliman, S. S., Rahaman, K. R. (2020). "Social Capital and Disaster Resilience Nexus: A Study of Flash Flood Recovery in Jeddah City". *Sustainability*, 12 (11), 4668. <https://doi.org/10.3390/su12114668>.
- Tekeli, A. E. (2017). "Exploring Jeddah Floods by Tropical Rainfall Measuring Mission Analysis". *Water*, 9, 612, 1-15. <https://doi.org/10.3390/w9080612>.
- Yesubabu, V., Srinivas, C.V., Langodan, S. and Hoteit, I. (2016). "Predicting extreme rainfall events over Jeddah, Saudi Arabia: impact of data assimilation with conventional and satellite observation"s. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 142, 327–348. <https://doi.org/10.1002/qj.2654>.
- Wang, Y. (2004). "Using Landsat 7 TM data acquired days after a flood event to delineate the maximum flood extent on a coastal floodplain". *Int. J. Remote Sens*, 25, 959–974. <https://doi.org/10.1080/0143116031000150022>.
- Zamreeg, A. O., Islam, M. N., Al-Azemi, M. A., Alboogmy, S. Z., et al. (2025). "Heavy and extreme rainfall in Makkah Region of Saudi Arabia at the present climate". *Discover Sustainability*, 6 (690). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01036-9>.