Dirasat: Human and Social Sciences, Volume 51, No. 6, 2024

Deanship of Scientific Research

Spatial Analysis of Climatic Changes in Northern Borders Region Using Geographic Information Systems

Huda Abdullah Alabbad *

Department of Geography, College of Arts, Princess Noura bint Abdul Rahman University, Riyadh, Saudi Arabia

Received: 23/3/2022
Revised: 15/1/2023
Accepted: 7/11/2023
Published online: 1/10/2024

* *Corresponding author:*
haalabbad@pnu.edu.sa

Citation: Alabbad , H. A. . (2024). Spatial Analysis of Climatic Changes in Northern Borders Region Using Geographic Information Systems . *Dirasat: Human and Social Sciences*, *51*(6), 157–206. https://doi.org/10.35516/hum.v51i6.565

© 2024 DSR Publishers/ The University of Jordan.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Abstract

Objectives: The study aims to analyze spatial distribution of temperature and precipitation and determining change rate that occurred in distribution of each of them between two periods: 1980 - 2000, and 2001 - 2021.

Methods: The study relies on climate satellite imagery from the Merra-2 (for temperature analysis), and (TRMM) imagery to analyze distribution and change of precipitation between 1980 - 2021 from NASA website. The imagery was processed using Geographic Information Systems (GIS) and the Spline algorithm in ArcGIS to derive variable layers. Percentage change analysis was conducted using the Percentage Change algorithm in Edrisi Selva software to determine the percentage changes in temperature and precipitation as means and standard deviations.

Results: The percentage change in temperature ranged between 3.22% in the east of the Northern Border Region and 5.85% in the west of the region, with a regional average and standard deviation of (4.35% - +0.72%). Precipitation changes varied between locations, ranging from -12.49% in the east and southeast of the region to 31.30% in the west and northwest of the Northern Border Region, with a regional average and standard deviation of (-27.4% - +24.54%).

Conclusion: The study concluded that the entire region experienced positive changes in temperature, with the western parts of the region undergoing faster changes compared to the eastern parts. The region witnessed spatial variations in precipitation changes between the two periods, but the general trend for precipitation in the region was towards a decrease with an average of -4.27%.

Keywords: Climate change, Northern borders, GIS, temperatures, precipitation, Kingdom of Saudi Arabias.

التحليل المكاني للتغيرات المناخية في منطقة الحدود الشمالية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

هدى بنت عبدالله العباد*

قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الأميرة نورة بنت عبدالرحمن، الرياض، السعودية

ملخّص

الاهداف: يهدف إلى التحليل المكاني لتوزيع درجات الحرارة والأمطار، وكشف نسبة التغيرات التي طرأت على توزيع كل منها بين مرحلتين: الأولى بين عامي 1980 – 2000م، والثانية بين عامي 2001 – 2021م.

المنهجية: اعتمدت الدراسة على المرئيات الفضائية المناخية لكل من: القمر (Merra-2)؛ لتحليل توزيع وتغير درجات الحرارة، والقمر (TRMM)؛ لتحليل توزيع وتغير الأمطار، وذلك بين عامي 1980 - 2021م من موقع وكالة ناسا. تمر معالجة المرئيات باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، ومع استخدام خوارزمية (Spline) في برنامج (Arc GIS)؛ لاشتقاق طبقات المتغيرين، وتلاه استخدام خوارزمية (Percentage Change) في برنامج (Edrisi Selva)؛ لتحديد نسبة التغيرات التي طرأت على متغيري: الحرارة والأمطار على شكل متوسطات وانحراف معياري.

النتائج: تراوحت نسب تغير درجات الحرارة بين المرحلتين بين 3.22% شرق منطقة الحدود الشمالية، بينما بلغت نسبة تغير درجات الحرارة 5.85% غرب المنطقة، بمتوسط وانحراف معياري بلغا (4.35 - $^{+}$0.72%) على مستوى المنطقة. وتباينت نسبة تغير الأمطار من مكان الى آخر بين المرحلتين، حيث تراوحت بين $^{-}$12. 49% شرق، وجنوب شرق المنطقة، إلى 31. 30% غرب، وشمال غرب منطقة الحدود الشمالية، بمتوسط وانحراف معياري بلغا ($^{-}$27. 4% - $^{+}$24.54) على مستوى المنطقة.

الخلاصة: خلصت الدراسة إلى تعرُّض كامل المنطقة لتغيرات إيجابية في درجات الحرارة، فضلًا عن أن الأجزاء الغربية للمنطقة تعرضت لتغيرات أسرع من الأجزاء الشرقية، وشهدت المنطقة تباينات مكانية في تغير الأمطار بين المرحلتين، ولكن الاتجاه العام لهطول أمطار المنطقة كان نحو التراجع بمتوسط بلغ $^{-}$4.27%.

الكلمات الدالة: التغيرات المناخية، الحدود الشمالية، نظم المعلومات الجغرافية، الحرارة، الأمطار، المملكة العربية السعودية.

مقدمة:

عرفت ناسا "التغير المناخي" بأنه: مجموعة واسعة من الظواهر العالمية الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري، الذي يضيف غازات احتباس الحرارة للغلاف الجوي للأرض، مما ينتج عنه اتجاه تزايد درجات الحرارة بين مدة وأخرى.

ويقصد بتغير المناخ: التغير طويل الأجل في أنماط الطقس، ويرتبط على نحو خاص بزيادة درجات الحرارة، والأمطار، ونشاط العواصف، ويرجع هذا التغير مباشرة؛ لزيادة مستمرة في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، الناتج على نحو رئيسي عن النشاطات البشرية، وانبعاث الوقود الأحفوري. (Eniolorunda، 2014، p. 41).

ويتجلى تغير عناصر المناخ في أبعاد مكانية ومقاييس زمانية مختلفة. وعليه: فإن تحديد النمط المكاني لتغير درجات حرارة الهواء السطحي (T) وهطول الأمطار (P) تعد ذات أهمية كبيرة في تحديد التغيرات المناخية. (Watterson، 2008 ، P. 2).

ومن هنا يظهر الاختلاف بين مفهومي: الاحترار الذي يشير إلى ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض، وبين تغير المناخ. بينما ينطوي الأول تحت مفهوم تغير المناخ وآثاره الجانبية: كذوبان الأنهار الجليدية، وعواصف الأمطار الشديدة، والجفاف، هذا، وتعد ظاهرة الاحتباس الحراري جانب من مشكلة أكبر بكثير من تغير المناخ، مما يعد مشكلة بيئية حرجة، وسائدة في العقود الثلاثة الماضية. (Scholz & Hasse، 2008، p. 381).

وعلى مدى العقد الماضي شهدت المملكة العربية السعودية تغيرات مناخية غير مسبوقة، نتج عنها آثار سلبية على قطاعات عدة من الناحيتين: الاجتماعية والاقتصادية، أدت بدورها إلى تغير استخدام الأراضي، وتفاقم الجفاف، وتعديل قدرة النظام البيئي على توفير السلع والخدمات. (Briner et al، 2012، p. 52).

بناءً على ذلك يشير مفهوم تغير المناخ في الدراسة، إلى التحولات المكانية لدرجات الحرارة وكمية الأمطار السنوية لمدة أربعين عامًا في المنطقة، وتحليل توزيعهما، وأسباب أنماط توزيعهما، والتغيرات التي طرأت على كل منهما، وما قد يترتب على ذلك من آثار على النظم البيئية.

ومما دعا إلى اختيار منطقة الدراسة، وجود عدد من المتغيرات المكانية التي أسهمت في سرعة التغيرات المناخية فيها: كالموقع الجغرافي والفلكي، والخصائص الطبوغرافية، ونطاقات الضغط الجوي وحركة الرياح.

وقد ساعدت التطورات الحديثة في تطبيقات الاستشعار عن بعد. الباحثين من تقدير درجات الحرارة، وهطول الأمطار بدقة مكانية وزمنية أعلى، يؤكد ذلك ما توصلت إليه نتائج التقييم المكاني والزماني لبيانات الاستشعار عن بعد للأمطار للقمر (TRMM)، مع بيانات محطات الرصد الأرضي بمختلف مناطق المملكة بين عامي (2008-2012م)؛ باستخدام معاملي الارتباط والانحدار، أظهرت وجود علاقات متينة بين بيانات الرصد بهذا القمر، وبيانات محطات الرصد الأرضي. (Hussain، et al، 2022، p. 1).

وبذلك ستحاول الدراسة توظيف نظم المعلومات الجغرافية في معالجة المرئيات الفضائية للقمرين (TRMM،Merra-2) لاشتقاق الطبقات المعلوماتية الخاصة بتحليل وكشف التغيرات المكانية التي طرأت على متغيري: الحرارة والأمطار في منطقة الحدود الشمالية في المملكة العربية السعودية على مرحلتين تمتد كل مرحلة لمدة عشرين عامًا، مع تحديد طبيعة هذه التغيرات، نظرًا إلى ما لذلك من أهمية كبيرة تساعد على تفادي كثير من المخاطر الحالية والمستقبلية على النظم البيئية الطبيعية والبشرية التي تواجه سكان المنطقة؛ كالجفاف، وإنتاج المحاصيل والعواصف المطرية والغبارية وغيرها من الظواهر الجوية، فضلا عن تفاقم ظاهرة الانزعاج الحراري، لذلك تعد هذه التغييرات خطيرة على حياة سكان المنطقة؛ لأن استمرار اتجاه درجات الحرارة نحو الزيادة، سيزيد من الطلب على الطاقة، وسيجعل بقاء الإنسان بالمنطقة اكثر صعوبة دون تكييف الهواء بصورة مستمرة.

دراسات سابقة:

تناولت العديد من الدراسات موضوع التغير المناخي وأثره على عناصر المناخ المختلفة، خاصة درجة الحرارة، وكميات الأمطار، منها: ما تناول مناخ منطقة الحدود الشمالية؛ ومن بينها دراسة (Almazroui، et al، 2012) التغيرات المناخية الأخيرة في شبه الجزيرة العربية: هطول الأمطار السنوي وتحليل درجة الحرارة في المملكة العربية السعودية للفترة 1978-2009م، حيث تم تحليل البيانات المناخية من 27 محطة أرضية للفترة بين عامي 1978-2009م، التي أظهرت نتائج تحليل هطول الأمطار السنوي؛ اتجاهًا تنازليًا في النصف الأخير من فترة التحليل بنحو (47. 8) ملم/عقد، في حين زادت درجات الحرارة القصوى بمعدل 0. 71° م، والمتوسطة بنحو 0. 60° م، والدنيا 0. 48° م لكل عقد على التوالي.

في حين تطرقت دراسة (زيتون، وشحادة، 2016م) لمؤشرات التغير المناخي في شمال الأردن وقد هدفت الدراسة إلى تحليل اتجاه تغير متوسطات الحرارة، وكميات الأمطار السنوية في الفترة بين عامي 1970-2009م، وتوصلت نتائج الدراسة إلى تزايد ملحوظ في الحرارة السنوية خاصة في الفترة من (1989-2009م)، فضلًا عن تراجع كمية الأمطار السنوية بمحطتي المفرق وإربد.

وتناولت دراسة (Almazroui، et al، 2014) اتجاهات درجات الحرارة القصوى في المملكة العربية السعودية، وتم حساب عدد من المؤشرات المتطرفة من بيانات درجة الحرارة القصوى والدنيا اليومية لنحو 27 محطة للفترة بين عامي 1981-2010م، وقد استخدمت طرق الانحدار البسيطة لتحليل الاتجاه،

وكشفت تحليلات درجات الحرارة القصوى، زيادة ملحوظة في غالبية المحطات، وتظهر النتائج أن 92 - 89٪ من إجمالي عدد محطات الرصد أظهرت زيادة ملحوظة في التكرار السنوي للأيام والليالي الدافئة، وتوصلت نتائج تحليل السلاسل الزمنية؛إلى ظهور تغيرات إيجابية مهمة لدرجات الحرارة.

وتناولت دراسة (عبد، 2019) كشفْ التغيرات المناخية ومدى خطورتها على البيئة العراقية وكيفية الوصول إلى الحلول التي من شأنها التخفيف من حده هذه التغيرات، وتوصلت الدراسة إلى وجود تغير مناخي واضح، لا سيما في أهم عنصرين: درجات الحرارة، وكمية الأمطار.

وركزت دراسة (Almazroui،2020) على اتجاهات تغير درجات الحرارة في المملكة العربية السعودية للفترة بين عامي 1978-2019م، وقد تطرقت الدراسة لتغير متوسط درجات الحرارة، ودرجات الحرارة القصوى؛ باستخدام بيانات يومية لدرجات الحرارة، وأظهرت النتائج تغير ايجابي بالزيادة لدرجات الحرارة، ومتوسط درجات الحرارة القصوى خلال الفترة الثانية (2000-2019) مقارنة بالفترة الأولى (1980-1999)، حيث زادت درجة الحرارة الدنيا خلال الفترة بين عامي 1978-2019م بنحو 0. 64° م/عقد، بمعدل أعلى من درجة الحرارة القصوى 0. 60° م/عقد، وبلغ معدل زيادة درجات الحرارة الدنيا والقصوى 0. 48° و وو0. 71° م/عقد، لكل منها على التوالي بين عامي 1978-2009م، وزادت درجة الحرارة الدنيا بمقدار 0. 81° م/عقد، في الفترة الثانية مقارنة بزيادة قدرها 0. 47° م/عقد، في الفترة الأولى.

وتطرق (Almazroui، et al، 2020) للتغيرات المستقبلية في مناخ شبه الجزيرة العربية بناءً على محاكاة النماذج المتعددة، وتعرض هذه الورقة تغيرات درجات الحرارة وهطول الأمطار المتوقعة على شبه الجزيرة العربية، وتم تحديد التغييرات المناخية من خلال تحليل مجموعة من النماذج المتعددة للفترات المستقبلية القريبة (2030 – 2059م)، والبعيدة (2070 – 2099م)، بالاعتماد على فترة أساس تمتد بين عامي 1981 - 2010، وتُظهر نتائج الدراسة أن درجات الحرارة السنوية آخذة في الارتفاع بمعدل 0. 63°/عقد بمستوى ثقة 99٪، بينما تتراجع كمية هطول الأمطار السنوية بمعدل 6. 3 ملم/عقد عند مستوى ثقة 90٪.

وتناولت دراسة (Odnoletkova and Patzek،2021) تغير المناخ في المملكة العربية السعودية، واتجاهات درجات الحرارة القصوى ومؤشرات راحة الإنسان، حيث تم تحليل اتجاهات درجات الحرارة على المدى الطويل بين عامي 1979 - 2019م، واعتمدت هذه الدراسة على تحليل بيانات (ERA5) من المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى (ECMWF)، وتم تقييم اتجاهات درجة الحرارة، ودرجة حرارة الندى، والراحة الحرارية، وتوصلت نتائج هذه الدراسة إلى أن المدة الممتدة بين عامي 2010 – 2019م كانت أكثر دفئًا، فيحين تشير النتائج إلى أنه على مدى العقود الأربعة الماضية ارتفعت درجة حرارة المملكة العربية السعودية بمعدل يزيد بنسبة 50٪ عن باقي مساحة اليابسة في نصف الكرة الشمالي، وارتفعت رطوبة الهواء على نحو كبير، مما أسفر عن زيادة الانزعاج الحراري في جميع أنحاء المملكة.

وتطرق (Rauf، et al، 2022) لتحليل اتجاهات الأرصاد الجوية لمنطقتي نجد والحجاز بالمملكة العربية السعودية، وقد تناولت هذه الدراسة اتجاه متوسط درجات الحرارة، وهطول الأمطار على أساس شهري؛ بالاعتماد على بيانات ثمان محطات مناخية للمدة الممتدة بين عامي 1985 - 2014م، وأظهرت نتائج التحليل، اتجاهات متزايدة في متوسط درجة الحرارة الشهرية في جميع المحطات الثمانية على مدار العام، وكان الاتجاه متباينًا في هطول الأمطار بين محطات الرصد، وتوصلت نتائج استخدام اختبار مان-كيندال لتحديد اتجاه وميل اتجاه المتغيرين، إلى وجود دلالة إحصائية عند مستوى 5٪، وهكذا قد يؤدي ارتفاع درجة الحرارة، وتغير نمط هطول الأمطار، إلى صعوبة تطوير استراتيجيات إدارة الموارد المائية.

وبذلك، تمتاز هذه الدراسة ـ عن الدراسات السابقة ـ بتركيزها على أهم المتغيرات المناخية التي لها انعكاسات على البيئة، لا سيما متغيري: الحرارة والأمطار. كما تمتاز هذه الدراسة ـ عن غيرها. بكونها تغلبت على مسألة نقص البيانات المناخية في المنطقة وعدم انتظامها؛ وذلك باستخدام نظم المعلومات الجغرافية في اشتقاق الطبقات المعلوماتية للمتغيرات المناخية من بيانات الاقمار الصناعية، وعليه: فقد تم تحليل أنماط توزيع المتغيرات المناخية باستخدام بيانات متصلة، أو مستمرة لمدة أربعين عامًا، ولم تكتفي الدراسة بتحليل أنماط التوزيع، وولكنها اتجهت الى استخدام الدوال الرياضية المتاحة في برامج نظم المعلوماتية الجغرافية؛ لكشف التغيرات الزمانية التي طرأت على المتغيرات المناخية، وذلك من خلال تقسيم مدة الدراسة إلى فترتين، كل فترة تمتد لعشرين عامًا.

مشكلة الدراسة:

أظهرت الدراسات السابقة أن درجات الحرارة تزداد عالميًا على نحو مطرد، منذ أواخر القرن التاسع عشر، ويعد النصف الشمالي ـ حيث تقع منطقة الدراسة ـ أسرع تغيرًا في درجات الحرارة منذ أواخر السبعينيات، إذ ارتفعت درجات الحرارة نحو 1. 5° م، وبذلك تحاول هذه الدراسة ببياناتها التحقق من نتائج دراسات سابقة اعتبرت المملكة ـ بما فيها منطقة الدراسة ـ من النقاط الساخنة عالميًا، حيث ارتفع متوسط درجة الحرارة فيها بمقدار 1. 2° م، أي ما يقرب ثلاثة أضعاف متوسطها عالميًا بين عامي 1979-2019م، وكشف تغير كمية الأمطار في المنطقة ـ حيث اكدت عدة دراسات سابقة ـ أنها ستكون أكثر جفافًا بين عامي 2016 -2050م، مع ما ترتب وسيترتب على هذه التغيرات المناخية من آثار على النظم البيئية والاقتصادية، التي تجعل سكان المنطقة عرضة لظروف مناخية قاسية.

أهمية الدراسة:

أشارت عدة دراسات سابقة إلى أن تغيرات درجات الحرارة الإيجابية بين مدة وأخرى في المملكة لن تقتصر على فصل معين، حيث أكد تقرير تقييم الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ توقع ارتفاع درجات حرارة في المملكة بين عامي (2081–2100م) لتتراوح بين 58 - 78°، أي ستكون الزيادة بمقدار 0. 58 - 0. 78° م/ عقد، فضلًا عن توقع تراجع كمية الأمطار، مما يؤثر بشدة في اقتصاد المملكة، إذ تشير التوقعات إلى انخفاض (الناتج المحلي الإجمالي) في القرن الواحد والعشرون بنحو 5. 4٪ بسبب ذلك.

وبذلك تتكمن هذه الدراسة من تحديد نطاقات توزيع درجات الحرارة والأمطار، والتحقق من توجهات كل منها مكانيًا في منطقة الحدود الشمالية للفترة بين عامي 1980 - 2021م، لا سيما أن هناك عدة متغيرات مكانية بمنطقة الدراسة تعزز من هذه التوجهات؛ كالموقع القاري الذي يعزز من حدوث توجهات ايجابية لمتغير الحرارة وسلبية لمتغير الأمطار، وبموجب هذه التغيرات يمكن القيام بعمل توقعات مستقبلية لتوجهات المتغيرين، بما يساعد المخطِط، وصانع القرار على اتخاذ التدابير الكافية ـ حاليًا ومستقبلًا ـ لحماية مكونات النظام البيئي، وفي مقدمتها الإنسان، من آثار هذه التغيرات.

فرضيات الدراسة:

- تتجه درجات الحرارة في المنطقة نحو الزيادة بين مدة وأخرى.
- تتغير كمية الأمطار في المنطقة نحو الانخفاض بين مدة وأخرى.

تساؤلات الدراسة:

- ما مقدار، وشكل تغيرات درجات الحرارة مكانيًا في المنطقة بين عامي 1980 – 2020م؟
- ما طبيعة حجم وشكل التغيرات المكانية لكمية الأمطار في المنطقة بين عامي 1980 - 2020م؟

أهداف البحث:

- التحليل المكاني لتغير توزيع الحرارة بين مدتين: الأولي بين عامي 1980 - 2000م، والثانية بين عامي 2001 - 2021م.
- تحليل تغير توزيع الأمطار بين مدتين: الأولي تمتد بين عامي 1980 – 2000م، والثانية بين عامي 2001 – 2021م، مع تحديد نسبة التغير التي طرأت عليها.

منطقة البحث:

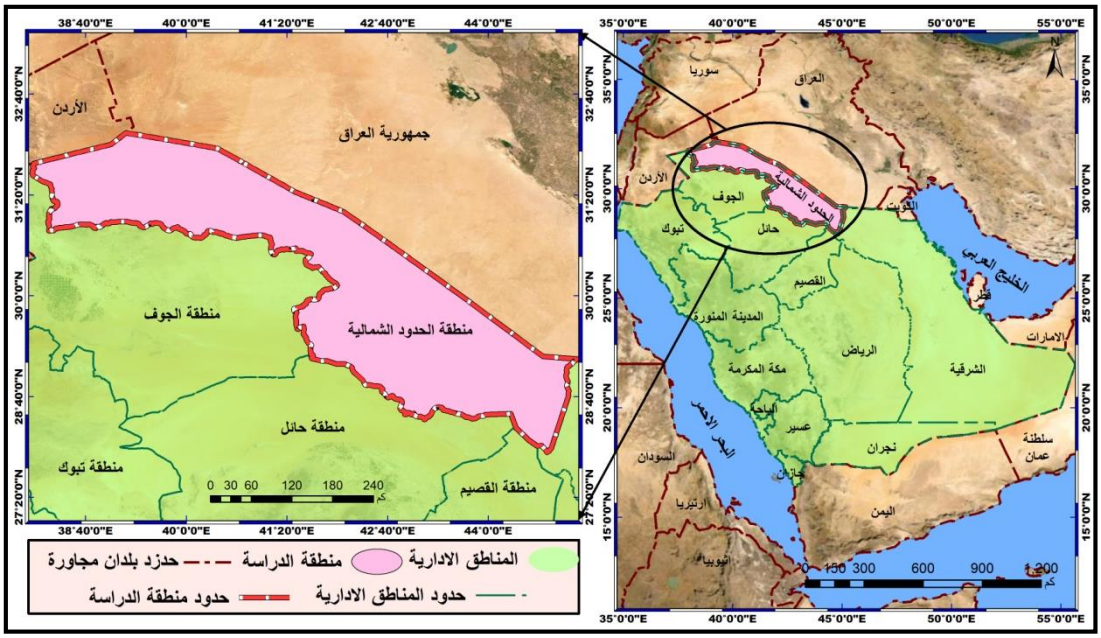
تقع منطقة الحدود الشمالية جغرافيًا شكل (1) شمال المملكة العربية السعودية، يحدها من الشمال العراق والأردن، ومن الشرق المنطقة الشرقية، ومن الجنوب والغرب مناطق القصيم وحائل والجوف، وتبلغ مساحة المنطقة 98426. 14 كم^2، بنسبة 5. 05% من إجمالي مساحة المملكة.

وبذلك أثَّر هذا الموقع على مناخ المنطقة بجعلها محاطة باليابس من أغلب الاتجاهات، وقلل من تأثير البحار المجاورة؛ مما جعل المنطقة في أغلب أيام السنة متأثرة بالمناخ القاري، وهكذا يعد الموقع الجغرافي القاري أحد أهم أسباب جفاف المنطقة أغلب أيام العام.

وتقع المنطقة فلكيًا بين دائرتي عرض 22": 55′: 27° - 33": 5′: 32° شمالًا، وخطي طول 18": 40′: 37° - 23": 52′: 45° شرقًا، ويؤثر هذا الموقع في مناخ المنطقة، حيث يجعلها أكثر استقرارًا في الشتاء؛ لكونها تقع بمنطقة هبوط التيارات الهوائية في نظام دورة الرياح في الكرة الأرضية، ويقل هذا التأثير في بداية فصل الربيع، ويتلاشى في الصيف؛ ويعود إلى التزحزح تبعًا لتغير مراكز الضغط شمالًا وجنوبًا، تبعًا لحركة الشمس الظاهرية، مما يؤدي إلى تقدم ما يعرف بمنطقة التقاء بين المدارين، التي يصاحبها ضغط جوي موسمي منخفض، ويصاحبه رياح جنوبية حارة.

ويؤثر الموقع الفلكي على مناخ المنطقة من خلال تأثرها في: الشتاء، والربيع، والخريف بامتداد المؤثرات المناخية فوق المدارية التي تؤثر على العروض الوسطى من الكرة الأرضية، وتتمثل هذه المؤثرات في امتداد الأخدود الهوائي الجوي العلوي، مما يسهم في تقدم المنخفضات الجوية من شرق المتوسط والأحمر، وتتسبب هذه المنخفضات في جذب رياح سطحية جنوبية غربية دافئة ورطبة، لتلتقي برياح شمالية باردة، مما يؤدي إلى نشوء جبهات هوائية وأعاصير نشطة، تتسبب في هطول بعض الأمطار الشتوية. وتتشكل طبوغرافية منطقة الدراسة من سهول صحراوية واسعة يتراوح ارتفاعها في الغالب بين 250 - 300 م فوق مستوى سطح البحر، وهكذا فإن تأثيراتها محدودة في عناصر المناخ وتغيراتها.

ويوجد في منطقة الدراسة الوديان والسهول مثل: وادي عرعر، والعويصي، ووادي بدنة، كذا التلال والجبال مثل: جبل كثيفة، كما تنتشر بالمنطقة الروضات التي تنمو فيها الأعشاب الطبيعية. (إمارة منطقة الحدود الشمالية www. moi. gov. sa).



شكل رقم (1) موقع منطقة الدراسة

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

منهجية البحث: لتحقيق الأهداف السابقة استخدمت الدراسة منهجين: المنهج التاريخي في تحليل بيانات مناخية تمتد تاريخياً لمدة أربعين عامًا بين عامي 1980 - 2020م، والمنهج التحليلي الوصفي المقارن لتحليل ووصف أنماط توزيع المتغيرات المناخية في المنطقة، وكشف التغيرات المكانية والزمانية التي طرأت على كل متغير، ومقارنتها بين مرحلتين تمد كل مرحلة لنحو عشرين عامًا، وبذلك تدرجت منهجية البحث على النحو الآتي:

أولًا) جمع البيانات: جمعت الباحثة المرئيات الفضائية لعنصري الحرارة والأمطار بين عامي 1980 – 2021م من موقع وكالة ناسا كما يبين الجدول (1).

الجدول (1) البيانات المناخية المستخدمة في البحث

العنصر	الوحدة	المصدر	الدقة الزمنية	الدقة المكانية	بداية المدة	نهاية المدة
الحرارة	C	Merra-2 Model	سنوية	0.5°	1-1-1980	31-12-2000
الحرارة	C	Merra-2 Model	سنوية	0.5°	1-1-2001	30-11-2021
الأمطار	MM	TRMM	سنوية	0.5°	1-1-1980	31-12-2000
الأمطار	MM	TRMM	سنوية	0.5°	1-1-1980	30-11-2021

المصدر: (https: //giovanni. gsfc. nasa. gov/).

ثانيًا) معالجة البيانات:

- معالجة الطبقات المعلوماتية للمرئيات الفضائية التي تم الحصول عليها بصورة طبقات (Raster) الخاصة بعنصري الحرارة، والأمطار للمرحلتين: الأولى بين عامي 1980 - 2000م، والثانية بين عامي 2001 - 2019م، وتمثلت أهم خطوات المعالجة بإعادة إرجاع الطبقات من النظام الإحداثي الجغرافي (GCS_WGS_1984) للنظام المتري (WGS_1984_UTM_ZONL_37N).

- بعد تغيير نظام الإحداثيات لطبقتي درجات الحرارة والأمطار، تم استخدام أداة (Raster to point) ضمن برنامج ARC GIS 10. 5 لتحويل هذه الطبقات من (Raster) الى (Shapfile Point).

ثالثًا) اشتقاق الطبقات المعلوماتية:

- استخدام خوارزمية (Spline) ضمن أدوات (interpolation) في البرنامج السابق نفسه، وذلك بالاعتماد على طبقات (Shapfile Point) الناتجة عن الخطوة السابقة، واشتقاق طبقات توزيع متغيري الحرارة والأمطار في المنطقة ضمن كل مرحلة بالمعادلة:

$$S(x ،y) = T(x ،y) + \sum_{j=1}^{N} \lambda j \, R\,(rj).\ (Franke، 1982، p.\ 276)$$

حيث

S(x، (y = خوارزمية (Spline).

j = 1، 2،...، N.

N: هو عدد النقاط

λj معاملات تم إيجادها بواسطة المعادلات الخطية

rj هي المسافة من النقطة (x، y) إلى النقطة j.

T (x، (R،y تعتمد على خيارين منتظم وغير منتظم.

- استخدام أداة (Reclassify) لإعادة تصنيف الطبقات الناتجة عن استخدام خوارزمية (spline) لمتغيري: الحرارة، والأمطار في الخطوة السابقة إلى خمسة فئات: تحديد مواقع نطاقات الحرارة والأمطار، تحليل التوزيع المكاني لكل منهما، حساب المساحة والنسبة لكل فئة ضمن كل متغير مناخي، وكشف التغيرات التي طرأت كل مساحة كل فئة بين مدتين تمتد كل منها لعشرين عامًا.

- استخدام خوارزمية (Percentage Change) في برنامج (Edrisi Selva)، لتحديد نسبة التغيرات المكانية التي طرأت على متغيري الحرارة والأمطار؛ بالاعتماد على الطبقات المستمرة (Raster) الناتجة من الخطوة قبل السابقة، وذلك بتطبيق الصيغة الرياضية.

$$PC = \frac{(T2 - T1)}{T2} * 100.\ (Change\ Time\ Series، Edrisi\ Selva\ program)$$

حيث

PC = نسبة التغير في معدل درجات الحرارة.

T1 = الطبقة المعلوماتية لتوزيع معدل درجات الحرارة بين عامي 1980 - 2000م.

T2 = الطبقة المعلوماتية لتوزيع معدل درجات الحرارة بين عامي 2001 - 2021م.

وعليه تم تحديد نسبة التغير التي طرأت على كمية الأمطار بين المرحلتين: الأولى بين عامي 1980 – 2000م، والثانية بين عامي 2001 – 2021م بالصيغة.

$$PC = \frac{(R2 - R1)}{R2} * 100.\ (Change\ Time\ Series، Edrisi\ Selva\ program).$$

حيث

PC = نسبة تغير كمية الأمطار.

R1 = الطبقة المعلوماتية لتوزيع كمية الأمطار بين عامي 1980 - 2000.

R2 = الطبقة المعلوماتية لتوزيع كمية الأمطار بين عامي 2001 - 2021.

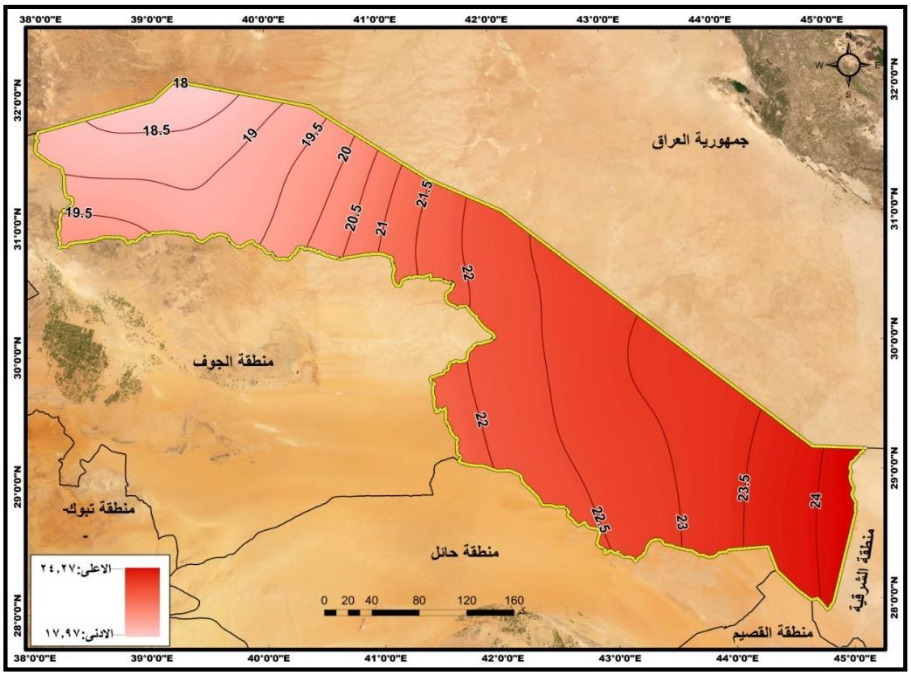
- اعادة تصنيف الطبقات الناتجة عن الخطوة السابقة لنسب تغير متغيري الحرارة والأمطار الى خمسة فئات لتحديد مواقع نطاقات التغير الحرارية والمطرية، وحساب مساحة ونسب مساحة كل فئة ضمن كل متغير.

رابعًا) مناقشة وتحليل النتائج:

أولًا: التحليل المكاني لتوزيع درجات الحرارة وتغيراتها بين عامي 1980 - 2021م.

أ) التحليل المكاني لتوزيع المعدل السنوي لدرجات الحرارة بين عامي 1980 - 2000م.

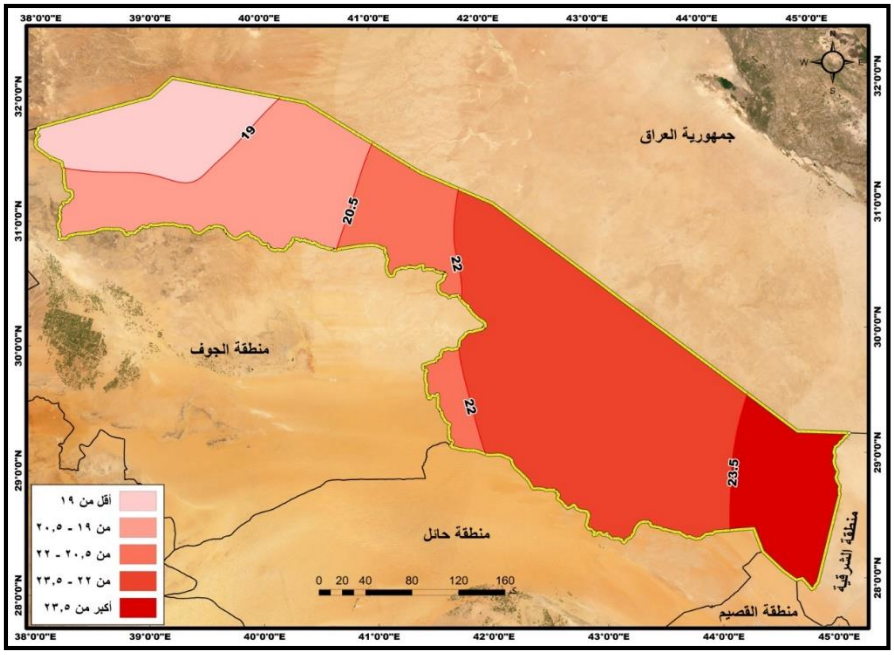
تظهر نتائج تحليل توزيع المعدل السنوي لدرجات الحرارة في منطقة الحدود الشمالية بين عامي 1980 – 2000م (شكل رقم 2) تدرج درجات الحرارة بالانخفاض كلما اتجهنا غربًا، نتيجة تدرج ارتفاع تضاريس المنطقة من الشرق إلى الغرب، نظرًا إلى وجود المرتفعات الجبلية. وبذلك يتراوح المعدل السنوي لدرجات الحرارة خلال هذه الفترة بين: 17. °97 م إلى 24. °27 م بمتوسط ـ على مستوى المنطقة ـ بلغ 21. °6 م وانحراف معياري بلغ 1. °8 م.



شكل رقم (2) درجات الحرارة بين عامي 1980 - 2000

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وبيانات القمر الصناعي (Merra-2 Model).

في المقابل تظهر نتائج تصنيف درجات الحرارة إلى فئات (الشكل رقم 3) وقوع الفئة التي يقل فيها المعدل السنوي لدرجات الحرارة عن 19° م بين عامي 1980 - 2000م غرب وشمال غرب المنطقة، بمساحة بلغت 11438. 69 كم^2، بنسبة 11. 63% من إجمالي مساحة المنطقة، وتقع الفئة الثانية ـ حيث تراوح معدل درجات الحرارة ـ بين 19 - 20. 5° م بمحاذاة الأولى جنوب وشمال غرب المنطقة، بمساحة بلغت 19374. 14 كم^2، بنسبة 19. 69% من إجمالي مساحة المنطقة، وتقع الفئة الثالثة ـ حيث يتراوح معدل درجات الحرارة ـ بين 20. 5 - 22° م وسط منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 10583. 26 كم^2، بنسبة 10. 75% من إجمالي مساحة المنطقة.



شكل رقم (3) فئات توزيع درجات الحرارة بين عامي 1980 - 2000

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والشكل السابق رقم (2).

وتظهر الفئة الرابعة ـ حيث يتراوح المعدل السنوي لدرجات الحرارة ـ بين 22 - 23. 5° م وسط وجنوب، وجنوب شرق منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 46111. 56 كم^2، بنسبة 46. 85% من إجمالي مساحة المنطقة، وتبرز الفئة الخامسة تجاوز درجات الحرارة 23. 5° م شرق وجنوب شرق منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 10918. 48 كم^2، بنسبة 11. 09% من إجمالي مساحة المنطقة.

الجدول (2) مساحة فئات درجات الحرارة بين عامي 1980 – 2000م

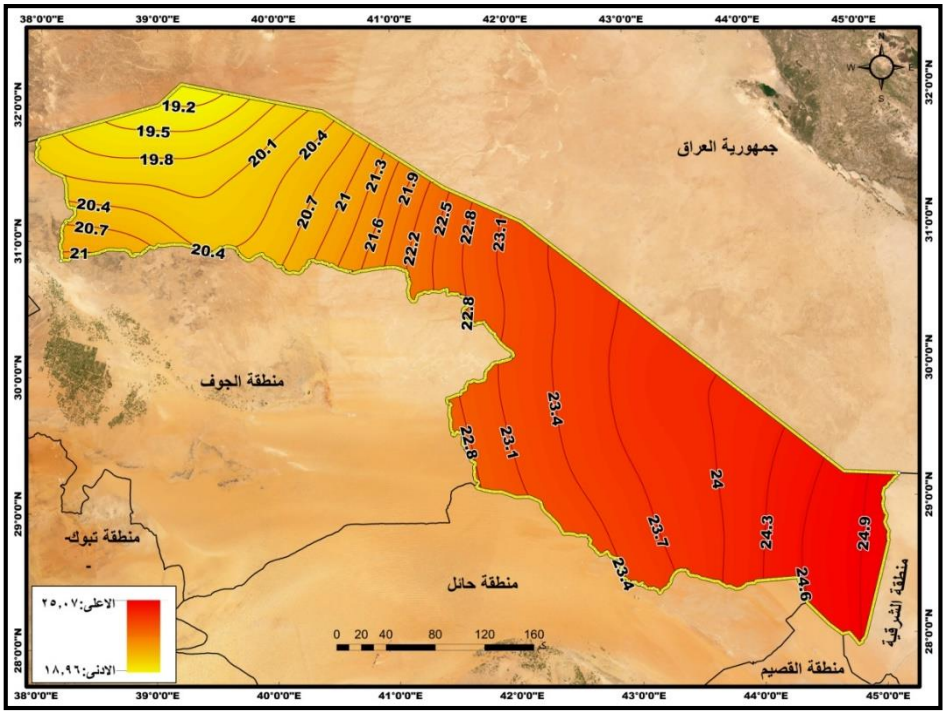
فئة درجات الحرارة (م)	المساحة كم^2	النسبة من إجمالي مساحة المنطقة (%)
أقل من 19	69 .11438	63 .11
19 - 20. 5	14 .19374	69 .19
20. 5 - 22	26 .10583	75 .10
22 - 23. 5	56 .46111	85 .46
أكبر من 23. 5	48 .10918	09 .11
الإجمالي	14 .98426	%100

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وشكل رقم (3).

ب) التحليل المكاني لتوزيع المعدل السنوي لدرجات الحرارة بين عامي 2001 - 2021:

تتمتع المملكة العربية السعودية بمناخ شديد الحرارة، وحسب دراسات سابقة هناك توقع أن تستمر السعودية في مواجهة اتجاهات احترار كبيرة في العقود المقبلة، ومن المرجح أن يصبح الطقس القاسي، الحدث الأكثر تكرارًا. (Odnoletkova and Patzek، 2021، p. 1055).

وبذلك تظهر نتائج تحليل التوزيع المكاني للمعدل السنوي لدرجات الحرارة في منطقة الحدود الشمالية بين عامي 2001 – 2021م، انخفاض درجات الحرارة كلما اتجهنا من الشرق نحو الغرب والشمال الغربي، ويعود ارتفاع درجة الحرارة في الشرق نتيجة كثرة مصادر التلوث بالمنطقة الشرقية، وهكذا تراوح المعدل السنوي لدرجات الحرارة خلال هذه الفترة (شكل رقم 4) بين 18. 96° م الى 25. 07° م، وبذلك ارتفعت القيمة الدنيا لدرجات الحرارة عن المدة الممتدة بين عامي 1980 - 2000 بنحو 1° م، وارتفعت القيمة العليا لدرجات الحرارة عن المدة السابقة بنحو 0. 8° م، وبلغ المتوسط على مستوى المنطقة 22. 56° م بانحراف معياري بلغ 1. 69° م.



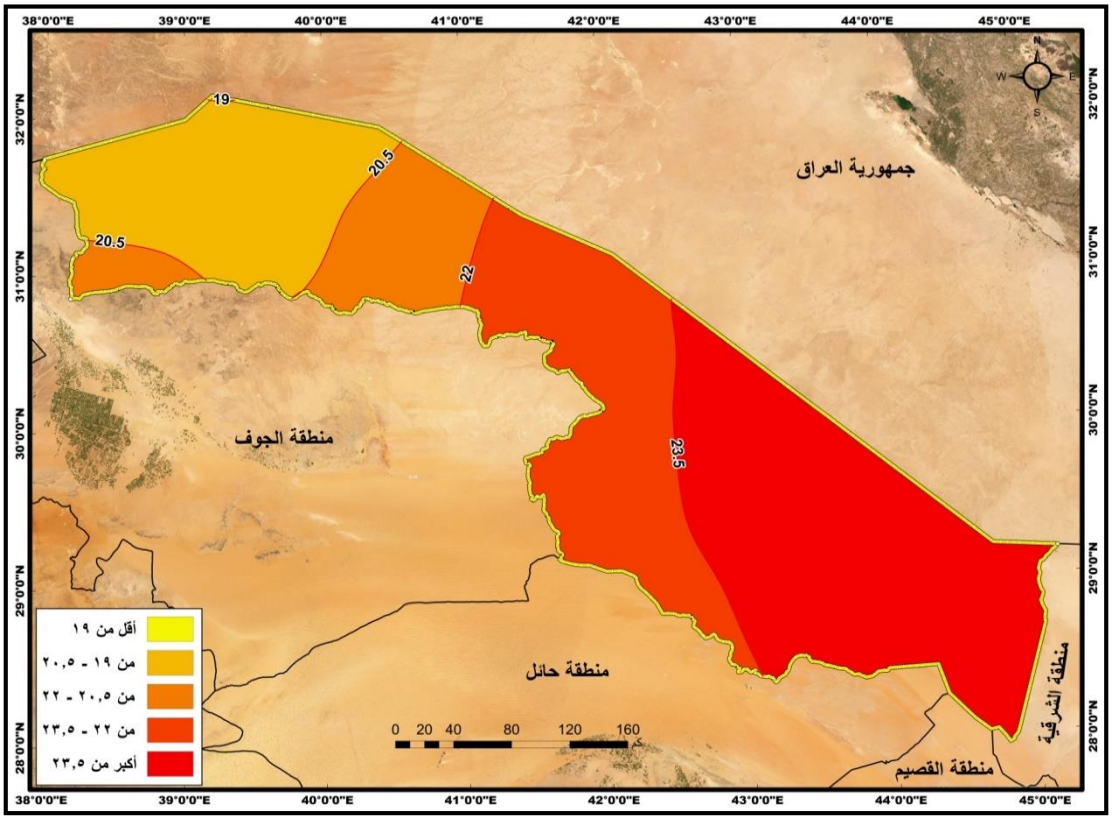
شكل رقم (4) درجات الحرارة بين عامي 2001 – 2021م

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وبيانات القمر الصناعي (Merra-2 Model).

من جانب آخر تظهر نتائج تصنيف درجات الحرارة (شكل رقم 5) وقوع الفئة التي يقل فيها المعدل السنوي لدرجات الحرارة عن 19° م بين عامي 2001 – 2021م على شكل نطاق ضيق شمال غرب منطقة الحدود الشمالية نتيجة قربها من مدار السرطان (23. 5) وبمساحة بلغت 37. 84 كم^2، بنسبة 0. 38% من إجمالي مساحة المنطقة، وعليه، تراجعت مساحة هذه المنطقة عن المدة السابقة بين عامي 1980 – 2000م، بنحو 11400. 85 كم^2.

وتقع الفئة الثانية ـ حيث يتراوح معدل درجات الحرارة ـ بين 19 - 20. 5° م جنوب المنطقة السابقة، بمساحة بلغت 20856. 83 كم^2، بنسبة 21. 19% من إجمالي مساحة المنطقة، وهكذا زادت مساحة هذه المنطقة عن المدة السابقة بين عامي 1980 - 2000 بنحو 1482. 69 كم^2.

وتمتد الفئة الثالثة ـ حيث يتراوح المعدل السنوي لدرجات الحرارة ـ بين 20. 5 - 22° م وسط منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 12158. 63 كم^2، بنسبة 12. 36% من إجمالي مساحة المنطقة، لتزداد مساحة هذه المنطقة عن المدة السابقة بين عامي 1980 – 2000م بنحو 1575. 37 كم^2.



شكل رقم (5) فئات توزيع درجات الحرارة بين عامي 2001 - 2021

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والشكل السابق رقم (4).

وتبرز الفئة الرابعة ـ حيث يتراوح معدل درجات الحرارة ـ بين 22 - 23. 5° م وسط وجنوب منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 25831. 11 كم^2، بنسبة 26. 24% من إجمالي مساحة المنطقة، لتتراجع مساحتها عن المدة السابقة بين عامي 1980 – 2000م بنحو 20280. 45 كم^2.

وتغطي الفئة الخامسة المنطقة التي تجاوز فيها معدل درجات الحرارة 23. 5° م شرق، وجنوب شرق منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 39541. 73 كم^2، بنسبة 40. 18% من إجمالي مساحة المنطقة، وبذلك زادت مساحة هذه المنطقة، حيث أعلى معدلات الحرارة عن المدة السابقة بين عامي 1980 – 2000م بنحو 28623. 25 كم^2.

الجدول (2) مساحة فئات درجات الحرارة بين عامي 2001 - 2021

فئة درجات الحرارة (م)	المساحة كم^2	النسبة من إجمالي مساحة المنطقة (%)
أقل من 19	8425 .37	038 .0
19 - 20 .5	83 .20856	19 .21
20 .5 - 22	63 .12158	36 .12

فئة درجات الحرارة (م)	المساحة كم^2	النسبة من إجمالي مساحة المنطقة (%)
22 - 23.5	11.25831	24.26
أكبر من 23.5	73.39541	18.40
الإجمالي	14.98426	%100

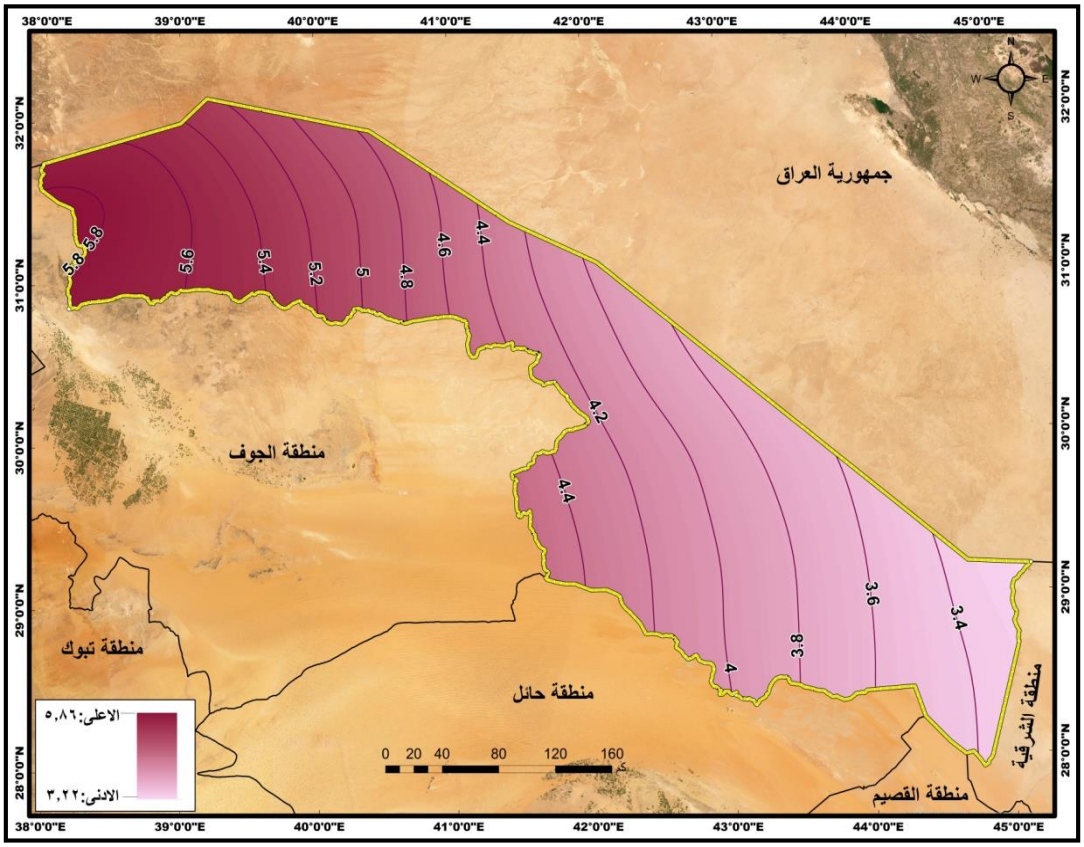
المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وشكل رقم (5).

ج) تحليل التغيرات المكانية لمعدل درجات الحرارة بين عامي 1980 - 2021:

تعدُّ المملكة العربية السعودية نقطة ساخنة عالميًا؛ نظرًا إلى زيادة درجات الحرارة، حيث شهدت بين عامي 1979 – 2019م أحد أسرع معدلات الاحترار، فقد ارتفع متوسط درجة الحرارة في المملكة بمقدار 2.1 °م، أي ما يقرب من ثلاثة أضعاف متوسطه العالمي، وهكذا فقد ارتفعت درجة حرارة المملكة العربية السعودية خلال هذه المدة بمعدل 50٪ أعلى من باقي مساحة اليابسة في نصف الكرة الشمالي. (Odnoletkova and Patzek، 2021، p. 1055).

هذا، وتظهر نتائج كشف التغيرات المكانية للمعدل السنوي لدرجات الحرارة في منطقة الحدود الشمالية بين المرحلتين: الأولى بين عامي 1980 - 2000م، والثانية بين عامي 2001 - 2021م، تعرض المنطقة كلها لتغيرات ايجابية في درجات الحرارة، فضلًا عن تعرض الأجزاء الغربية للمنطقة لتغيرات أسرع من الأجزاء الشرقية، وهكذا تتسق نتائج هذه الدراسة مع ما توصلت إليه نتائج عدة دراسات سابقة؛ من تعرض المملكة لتغيرات ايجابية في معدل درجات الحرارة بين مدة وأخرى، وتتفق هذه النتائج مع الفرضية الأولى من فرضيات الدراسة، وهي اتجاه درجات الحرارة في منطقة الحدود الشمالية نحو الزيادة بين مدة وأخرى.

وبذلك يظهر (شكل رقم 6) تراوح نسبة التغير في المعدل السنوي لدرجات الحرارة بين المرحلتين من 3.22% شرق منطقة الحدود الشمالية الى 5.85% غربها، بمتوسط على مستوى المنطقة بلغ 4.35%، وانحراف معياري لتغير توزيع نسب التغير بلغ 0.72% خلال هذه المدة، مما يعني تركز نسب تغير معدل درجات الحرارة حول متوسطها المكاني.



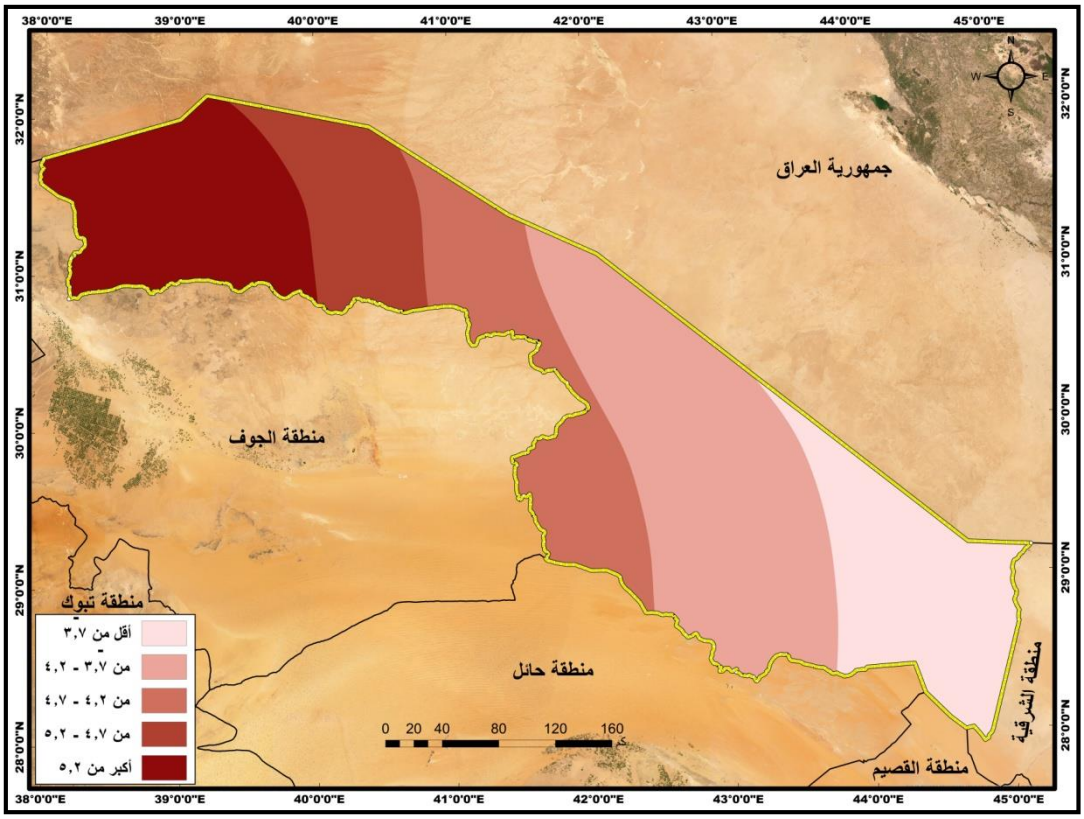
شكل رقم (6) نسبة تغير درجات الحرارة بين عامي 1980 – 2021م

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على الشكلين (2 - 4).

وبذلك، تظهر نتائج تصنيف نسب تغير المعدل السنوي لدرجات الحرارة (شكل رقم 7) وقوع الفئة التي تقل فيها نسبة تغير المعدل السنوي لدرجات الحرارة عن 3. 7% بين عامي 1980 – 2021م شرق، وجنوب شرق منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 18302. 99 كم^2، بنسبة 18. 59% من إجمالي مساحة المنطقة.

وتمتد الفئة الثانية ـ حيث تراوحت نسبة تغير المعدل السنوي لدرجات الحرارة ـ بين 3. 7 - 4. 2% جنوب، ووسط، وشمال منطقة الدراسة، بمساحة بلغت 32990. 77 كم^2، بنسبة 33. 51% من إجمالي مساحة المنطقة.

وتبرز الفئة الثالثة ـ حيث تراوحت نسبة تغير المعدل السنوي لدرجات الحرارة ـ بين 4. 2 - 4. 7% وسط منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 16998. 3 كم^2، بنسبة 17. 27% من إجمالي مساحة المنطقة.

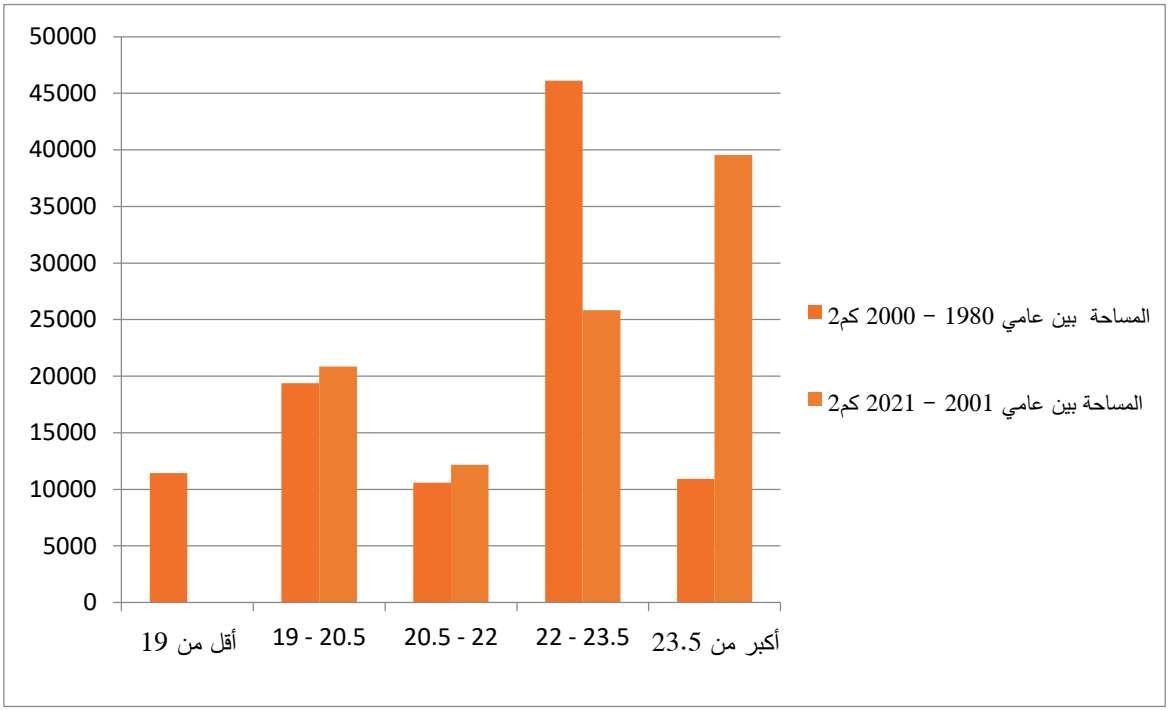


شكل رقم (7) فئات نسبة تغيردرجات الحرارة بين عامي 1980 – 2021 م

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والشكل السابق رقم (6).

وتقع الفئة الرابعة ـ حيث تراوحت نسبة تغير المعدل السنوي لدرجات الحرارة ـ بين 4. 7 - 5. 2% وسط غرب منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 11151. 56 كم^2، بنسبة 11. 32% من إجمالي مساحة المنطقة.

وتغطي الفئة الخامسة حيث تجاوزت نسبة تغير معدل درجات الحرارة 5. 2% غرب، وشمال غرب منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 18982. 52 كم^2، بنسبة 19. 29% من إجمالي مساحة المنطقة.



شكل رقم (8) تغير مساحة فئات درجات الحرارة بين عامي 1980 – 2021م

و و

وثانيًا: التحليل المكاني لتوزيع كمية الأمطار وتغيراتها (بين عامي 1980 – 2021م):

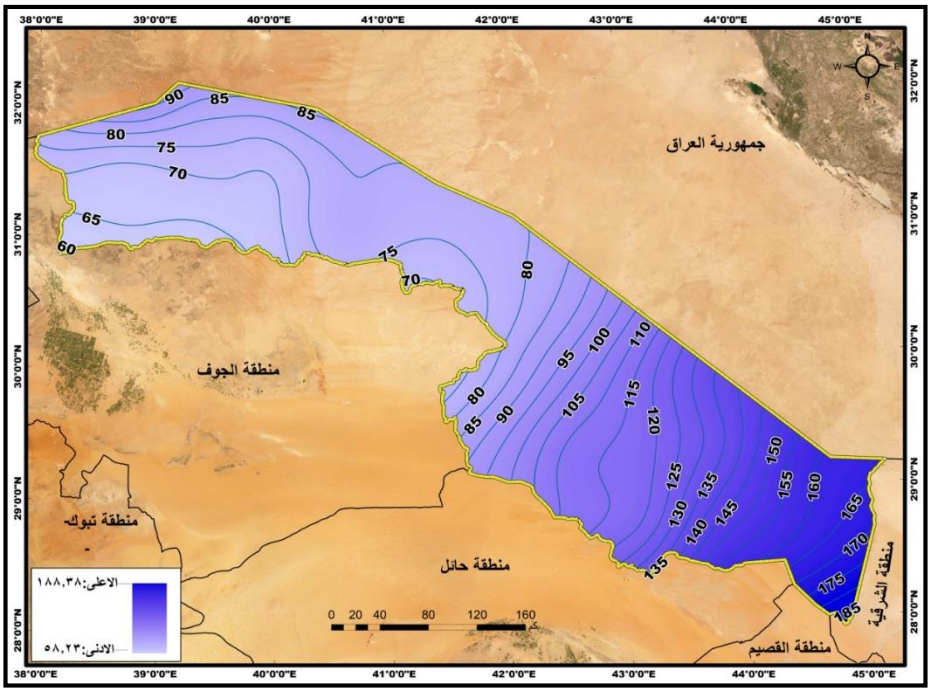
أ) التحليل المكاني لتوزيع المعدل السنوي لكمية الأمطار (بين عامي 1980 – 2000م):

تبين نتائج تحليل كمية هطول الأمطار السنوية في المملكة، أن فصلي: الربيع والشتاء لهما أعلى معدلات الهطول، وتقل في فصل الخريف، وبصورة أكبر خلال فصل الصيف، وتتلقى المناطق الشمالية كميات قليلة جدًا من الأمطار.

شهدت الأمطار تغيرًا كبيرًا في معدلها السنوي (بين عامي 1978-2009م)، حيث اتجهت تنازليًا خلال هذه المدة، وكان هذا الاتجاه السلبي لكمية الأمطار ذو دلالة إحصائية بين عامي 1978-2009م. (Hasanean and Almazroui, 2015. p.578).

تبين نتائج تحليل توزيع المعدل السنوي لكمية هطول الأمطار في منطقة الحدود الشمالية بين عامي 1980 – 2000م (شكل رقم 9):

انخفاض كمية الأمطار كلما اتجهنا من الشرق نحو الشمال الغربي من المنطقة، لبعد هذه المنطقة عن تأثيرات مياه الخليج العربي، وتأثرها غالبية أيام العام بالظروف القارية المحيطة بها. وبذلك تتراوح كمية الأمطار خلال هذه الفترة، كما في الشكل (9) بين 58.23 ملم شمال غرب المنطقة إلى 188.33 ملم شرقها، بمتوسط على مستوى المنطقة بلغ 101.38 ملم، وانحراف معياري لتوزيع الأمطار حول المتوسط بلغ 31.79 ملم، مما يعني تركز توزيعها مكانيًا.

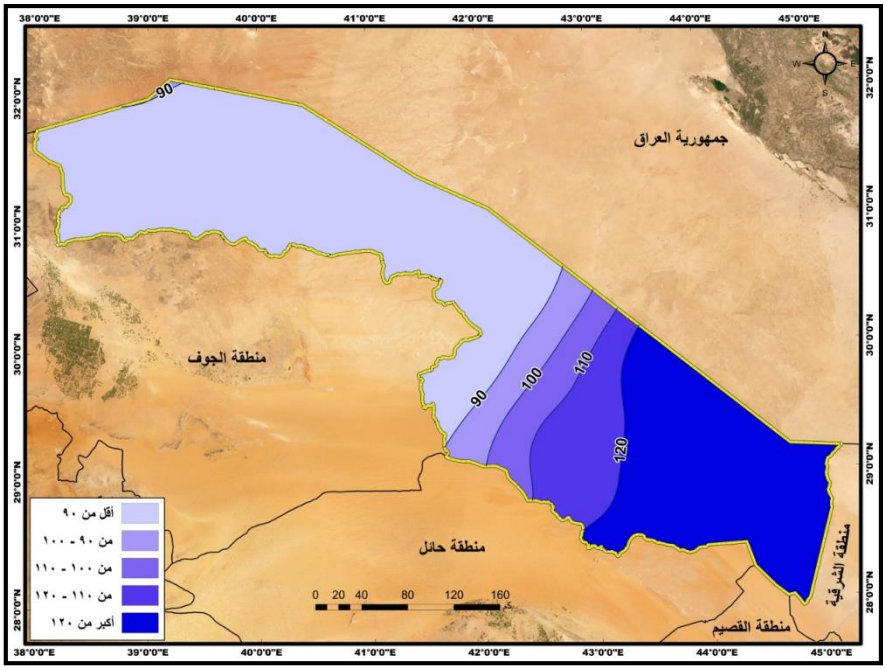


شكل رقم (9) الأمطار بين عامي 1980 – 2000م.

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وبيانات القمر الصناعي (TRMM).

في المقابل تبين نتائج تصنيف المعدل السنوي لكمية الأمطار (بين عامي 1980 – 2000م) إلى فئات:

(شكل رقم10) وقوع الفئة التي تقل فيها كمية الأمطار عن 90 ملم شمال، وجنوب غرب المنطقة بمساحة بلغت 50619.68 كم^2، بنسبة 51.43% من إجمالي مساحة المنطقة، وتقع الفئة الثانية أيضًا، حيث تراوح المعدل السنوي لكمية الأمطار بين 90 - 100ملم شمال غرب ووسط المنطقة، بمساحة بلغت 5714.45 كم^2، بنسبة 5.8% من إجمالي مساحة المنطقة. وتبرز الفئة الثالثة حيث تراوح كمية الأمطار بين 100 - 110 وسط منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 5431.75 كم^2، بنسبة 5.52% من إجمالي مساحة المنطقة.



شكل رقم (10) فئات توزيع الأمطار بين عامي 1980 – 2000م.

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، والشكل السابق رقم (9).

وتقع الفئة الرابعة، حيث تراوح المعدل السنوي لكمية الأمطار (بين 110 - 120 ملم) جنوب شرق منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 9687.37 كم^2، بنسبة 9.84% من إجمالي مساحة المنطقة، وتبرز الفئة الخامسة، حيث تجاوز معدل كمية الأمطار (120 ملم) شرق وجنوب شرق منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 26972.9 كم^2، بنسبة 27.4% من إجمالي مساحة المنطقة.

الجدول (4) مساحة فئات الأمطار بين عامي 1980 – 2000م.

فئة كمية الأمطار (ملم)	المساحة كم^2	النسبة من إجمالي مساحة المنطقة (%)
أقل من 90	50619.68	51.43
100 - 90	5714.45	5.8
110 - 100	5431.75	5.52
120 - 110	9687.37	9.84
أكبر من 120 ملم	26972.9	27.4
الإجمالي	98426.14	%100

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وشكل رقم (10).

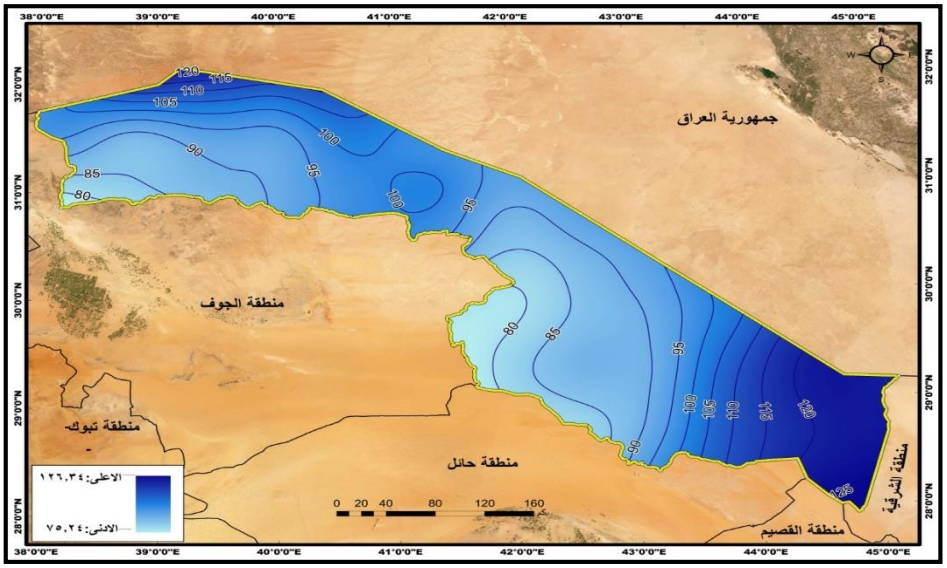
ب) التحليل المكاني لتوزيع المعدل السنوي لكمية الأمطار بين عامي 2001 – 2021م:

يُعدُّ التباين السنوي لهطول الأمطار من الأحداث المتطرفة، المتمثلة في: الجفاف والفيضانات الكارثية في المناطق شبه القاحلة، إلى القاحلة؛ كالمملكة العربية السعودية، حيث تشكل هذه الأحداث جزءًا كبيرًا من إجمالي هطول الأمطار السنوية.(ALmazroui, 2020. p.2).

لذا تبين نتائج تحليل توزيع المعدل السنوي لكمية الأمطار في منطقة الحدود الشمالية بين عامي 2001 – 2021م:

انخفاض كمية الأمطار غرب، وجنوب غرب المنطقة، وزيادتها شرق وجنوب شرق المنطقة وشمالها. ومن ثمَّ تراوح المعدل السنوي لكمية الأمطار خلال هذه المدة (شكل رقم 11) بين 75.24 - 126.24 ملم، وارتفعت القيمة الدنيا لكمية الأمطار عن المدة الممتدة (بين عامي 1980 – 2000م) بنحو 17.01 ملم، وتراجعت القيمة العليا لكمية الأمطار بنحو 62.14 ملم، وبلغ المتوسط على مستوى المنطقة 96.87 ملم، مما يعكس تراجع المتوسط عن الفترة السابقة بنحو 4.51 ملم، وأصبحت قيمة الانحراف المعياري لتوزيع الأمطار حول المتوسط خلال هذه الفترة 12.04 ملم، وذلك يعكس تركز توزيع الأمطار في مناطق معينة.

تُعدُّ تغيرات المتوسط المكاني أكثر أهمية من تغيرات الحدين: الأعلى، والأدنى لكمية الأمطار بين الفترين، مما يعكس اتساق ما توصلت إليه نتائج هذه الدراسة مع الفرضية الثانية من فرضياتها؛ وهي أن الاتجاه العام لتغير كمية الأمطار يشهد تراجع بين مدة وأخرى.



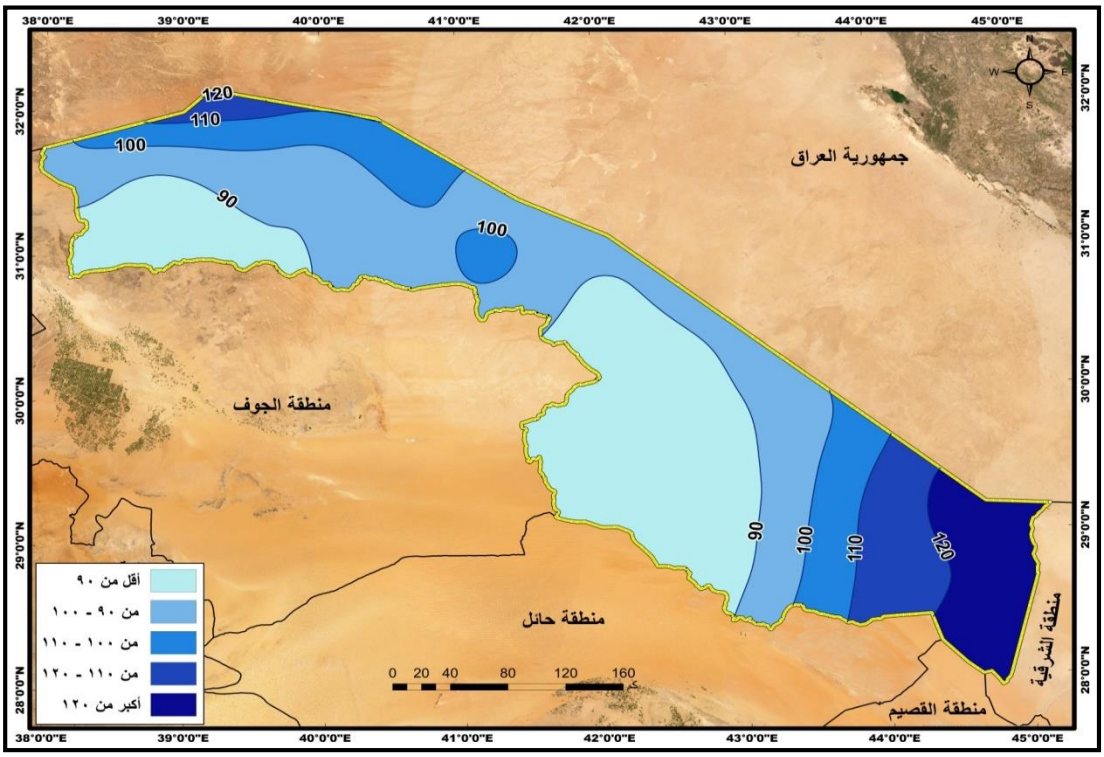
شكل رقم (11) الأمطار بين عامي 2001 – 2021م.

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وبيانات القمر الصناعي (TRMM).

تؤكد نتائج تصنيف المعدل السنوي لكمية الأمطار (شكل رقم 12) وقوع الفئة التي يقل فيها المعدل السنوي لكمية الأمطار عن 90 ملم (بين عامي 2001 – 2021م) جنوب، وجنوب غرب منطقة الحدود الشمالية بمساحة بلغت 34000.57 كم^2، بنسبة 34.55% من إجمالي مساحة المنطقة، وهكذا تراجعت مساحة هذه المنطقة عن الفترة السابقة (بين عامي 1980 – 2000م) بنحو 16619.11 كم^2.

تظهر الفئة الثانية، حيث تراوح المعدل السنوي لكمية الأمطار بين 90 - 100 ملم غرب ووسط، وجنوب، وشمال منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 33544.72 كم^2، بنسبة 34.08% من إجمالي مساحة المنطقة، وبناء عليه زادت مساحة هذه المنطقة عن المدة (بين عامي 1980 – 2000م) بنحو 27830.275كم^2.

تمتد الفئة الثالثة، حيث تراوح المعدل السنوي لكمية الأمطار بين 100 - 110 وسط، وشمال وغرب منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 14053.09 كم^2، بنسبة 14.28% من إجمالي مساحة المنطقة، لتزداد مساحة هذه المنطقة عن الفترة السابقة بنحو 8621.35 كم^2.



شكل رقم (12) فئات توزيع الأمطار بين عامي 2001 – 2021م.

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، والشكل السابق رقم (11).

وتبرز الفئة الرابعة، حيث تراوح المعدل السنوي لكمية الأمطار بين 110 - 120 ملم شمال وجنوب شرق منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 8379.77 كم^2، بنسبة 8.52% من إجمالي مساحة المنطقة، لتتراجع مساحتها عن الفترة السابقة (بين عامي 1980 – 2000م) بنحو 1307.602 كم^2.

وتغطي الفئة الخامسة، حيث تجاوز المعدل السنوي لكمية الأمطار 120 ملم شرق، وجنوب وجنوب شرق منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 8447.99 كم^2، بنسبة 8.58% من إجمالي مساحة المنطقة، وبذلك تراجعت مساحة المنطقة، حيث بلغت أعلى معدلات الأمطار عن المدة (بين عامي 1980 – 2000م) بنحو 18524.9 كم^2.

الجدول (5) مساحة فئات الأمطار بين عامي 2001 – 2021م.

فئة الأمطار(ملم)	المساحة كم^2	النسبة من إجمالي مساحة المنطقة (%)
أقل من 90	34000.57	34.55
100 - 90	33544.72	34.08
110 - 100	14053.09	14.28

فئة الأمطار(ملم)	المساحة كم^2	النسبة من إجمالي مساحة المنطقة (%)
120 - 110	8379.77	8.52
أكبر من 120 ملم	8447.99	8.58
الإجمالي	98426.14	%100

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وشكل رقم (12).

ج) تحليل التغيرات المكانية لمعدل كمية الأمطار(بين عامي 1980 – 2021م):

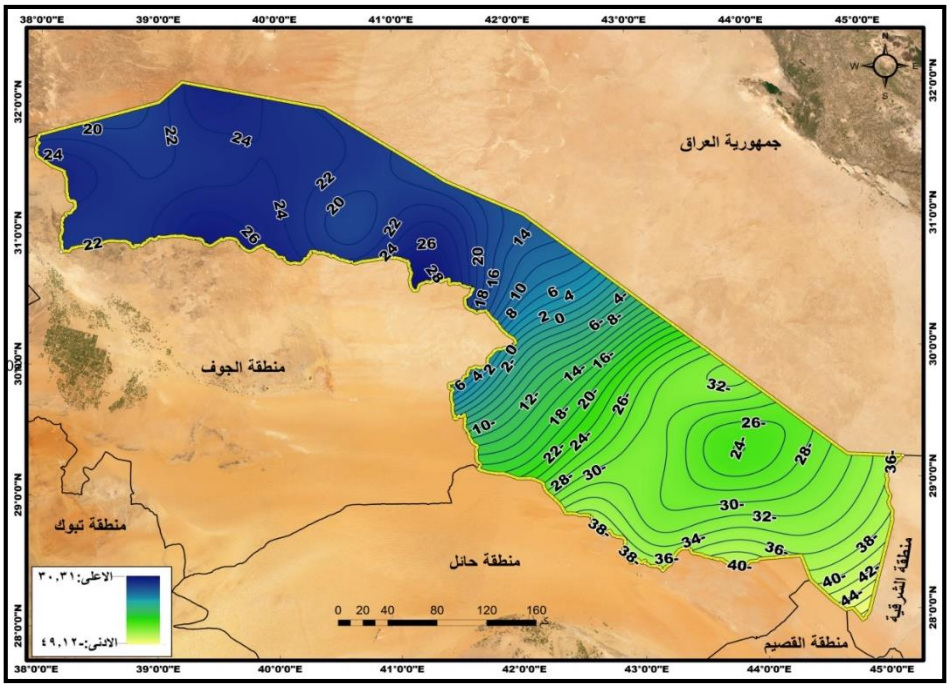
توصل (شيلينغ) وآخرون في دراسة تغير المناخ وقابلية التكيف في المغرب: أن من أهم تغيرات مناخ المنطقة تراجع هطول الأمطار، والميل نحو ظروف حارة وجافة، مما يعزز من احتمالية تزايد مخاطر الجفاف، التي من شأنها أن تتسبب في تدهور البيئة، وانخفاض الإنتاجية الزراعية، وعدم استقرار الأمن الغذائي، والاقتصادي، والمجتمعي. (Schilling, et al, 2012, p.13).

تشير الدراسات السابقة إلى التغيرات المناخية، لا سيما تغيرات هطول الأمطار على مستوى شبة الجزيرة العربية، والمملكة بصورة خاصة. إلى أن مناخ شمال شرق شبه الجزيرة العربية سيشهد تراجع في كمية هطول الأمطار، وسيصبح المناخ أكثر جفافًا (بين عامي 2016 – 2050م).(El-Samra et al, 2017, p. 3768). وكشف نتائج تحليل اتجاهات هطول الأمطار، وحدودها في المملكة العربية السعودية في العقود الأخيرة: أن هطول الأمطار السنوي على مستوى المملكة العربية السعودية (بين عامي 1978 – 2019م) آخذه في التناقص بنحو 5.89 ملم/عقد من الزمن بمستوى دلالة 90٪.(ALmazroui, 2020. p.1).

تبين نتائج كشف تغيرات المعدل السنوي لكمية الأمطار في منطقة الحدود الشمالية بين المرحلتين 1980 – 2000م، و2001 – 2021م: تعرض المنطقة لتغيرات مختلفة بعضها إيجابية في غرب منطقة الدراسة، ما انعكس على نحو ايجابي على البيئة في هذه المنطقة، من خلال زيادة الغطاء النباتي، وارتفاع مناسيب المياه السطحية، وتراجع مستويات تدهور وتصحر الأراضي المرتبط بتراجع مستويات الجفاف المناخي والزراعي، وتظهر التغيرات السالبة في المعدل السنوي لكمية الأمطار بين الفترتين شرق، وجنوب شرق منطقة الدراسة، وهذا سيؤثر سلبًا في مكونات النظام البيئي برمته في هذه المنطقة، لا سيما وإن تراجع معدل كمية الأمطار بهذه المنطقة يتوافق مع زيادة المعدل السنوي لدرجات الحرارة، ما يعني تراجع مساحة الغطاء النباتي، وزيادة مخاطر الحرائق، وتراجع مناسيب المياه السطحية، واتساع دائرة جفاف الأودية والتربة والنبات، مما يقود في نهاية المطاف إلى تدهور الأراضي الزراعية ومن ثمَّ تصحرها، وهذا سيؤثر سلبًا في التنمية الاقتصادية بصورة عامة، والزراعية بصورة خاصة في هذه المناطق.

لذا يوضح (الشكل رقم13) تراوح نسبة تغير معدل كمية الأمطار سنويًا في المنطقة خلال المرحلتين بين 30.31% غرب، وشمال غرب منطقة الحدود الشمالية، ما يعني أن هذه المناطق شهدت زيادة في كمية الأمطار في الفترة الثانية مقارنة بالفترة الأولى، وتبلغ هذه الزيادة السنوية نحو 0.76 ملم سنويًا، إلى -49.12% شرق، وجنوب شرق المنطقة، وهذا يشير إلى أن هذه المناطق شهدت تراجع في كمية الأمطار في الفترة الثانية مقارنة بالفترة الأولى، ويبلغ التراجع السنوي لكمية الأمطار بهذه المناطق 1.23 ملم سنويًا.

تُعد قيمة المتوسط المكاني للتوزيع أكثر أهمية في التعبير عن تغيرات كمية الأمطار من الحدين: الأعلى والأدنى، وبذلك تظهر نتائج التحقق من قيمة المتوسط المكاني لنسبة تغير المعدل السنوي لكمية الأمطار على مستوى منطقة الدراسة: أن متوسط نسبة تغير الأمطار في المنطقة تبلغ -4.27%، مما يعطي إشارة إلى تعرض غالبية مساحة منطقة الدراسة لتراجع كمية الأمطار (بين عامي 1980 – 2021م)، وبلغت قيمة الانحراف المعياري لتغير معدل كمية الأمطار 24.54%، وتعكس نتائج حساب قيمتي متوسط وانحراف تغير كمية الأمطار إلى تبعثر توزيعها على أكثر من منطقة حول المتوسط المكاني.



شكل رقم (13) نسبة تغيركمية الأمطاربين عامي 1980 – 2021م.

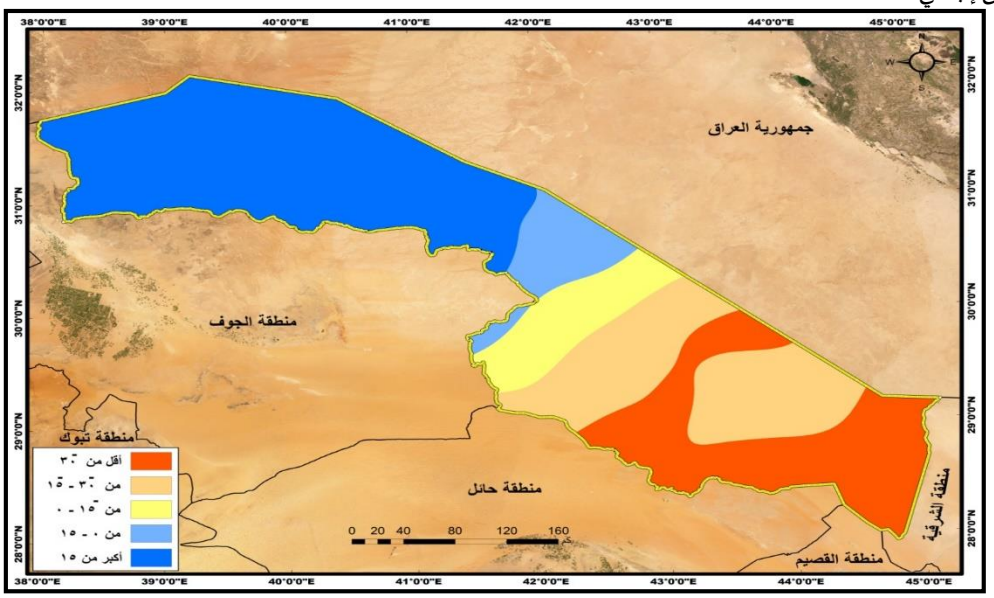
المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على الشكلين (9 - 11).

بناء على ذلك تظهر نتائج تصنيف تغير كمية الأمطار (شكل رقم 14):

وقوع الفئة التي تغيرت فيها نسبة المعدل السنوي لكمية الأمطار بالسالب أقل من -30% (بين عامي 1980 – 2021م) شرق، وجنوب غرب منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 21838.12 كم^2، بنسبة 22.18% من إجمالي مساحة المنطقة.

تظهر الفئة الثانية، حيث تراوحت نسبة تغير المعدل السنوي لكمية الأمطار بين -30 - -15% وسط، وشمال شرق منطقة الدراسة، بمساحة بلغت 21366.64 كم^2، بنسبة 21.7% من إجمالي مساحة المنطقة.

وتبرز الفئة الثالثة، حيث تراوحت نسبة تغير معدل كمية الأمطار بين -15 - 0% وسط منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 8417.69 كم^2، بنسبة 8.56% من إجمالي مساحة المنطقة.

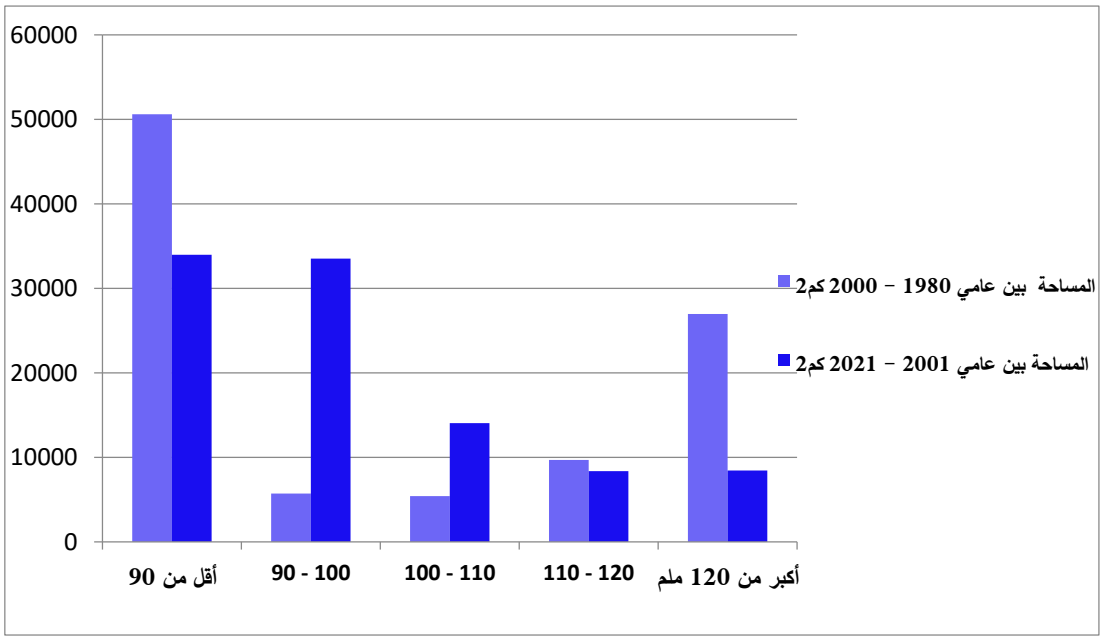


شكل رقم (14) فئات نسبة تغير الأمطاربين عامي 1980 – 2021م.

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، والشكل السابق رقم (13).

وتغطي الفئة الرابعة المنطقة التي تراوحت نسبة تغير المعدل السنوي لكمية الأمطار بين 0 - 15% شمال ووسط وجنوب منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 6660.683 كم^2، بنسبة 6.76% من إجمالي مساحة المنطقة.

وتقع الفئة الخامسة، حيث تجاوزت نسبة تغير معدل كمية الأمطار 15% جنوب وغرب وشمال غرب منطقة الحدود الشمالية، بمساحة بلغت 40143.01 كم^2، بنسبة 40.78% من إجمالي مساحة المنطقة.



شكل رقم (15) تغير مساحة فئات الأمطار بين عامي 1980 – 2021م.

المصدر: الباحثة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على الجدولين (3 - 4).

- النتائج:

- اتفاق نمط توزيع درجات الحرارة خلال المرحلتين، حيث كان الاتجاه العام نحو الانخفاض التدريجي، كلما اتجهنا من الشرق إلى الغرب.
- تباين توزيع درجات الحرارة، حيث تراوحت في المدة الممتدة من 1980 الى 2000 بين 97.17° م إلى 27.24° م، بمتوسط مكاني بلغ 21.6° م، وتراوحت في المدة الممتدة بين عامي 2001-2021 من 96.18° م إلى 07.25°م بمتوسط مكاني بلغ 22.56 م.
- ارتفاع الحد الأدنى لدرجات الحرارة بين المرحلتين بنحو 0.99° م، كما ارتفع الحد الأعلى بنحو 0.8° م، وارتفع المتوسط المكاني على مستوى المنطقة نحو 0.96° م.
- اتساع مساحة المنطقة التي تجاوزت فيها درجات الحرارة 23.5 م بين المرحلتين الأولى والثانية بنحو 28623.25 كم^2.
- نتائج تغير درجات الحرارة، تُعرِض المنطقة لتغير إيجابي، وتراوح نسبة التغير من 3.22% شرق المنطقة، الى 5.85% غربها، بمتوسط مكاني للمنطقة 4.35%.
- تعرض الأجزاء الغربية لتغير حراري أسرع من الأجزاء الشرقية، حيث تجاوزت نسبة تغيرها 5.2% غرب وشمال غرب المنطقة، بمساحة 18643.34 كم^2، بنسبة 18.95%من إجمالي مساحة المنطقة.
- تباين وعدم انتظام الأمطار، حيث برزت أكثر المناطق غزارة في المرحلة الأولى في شرق وجنوب شرق المنطقة، والمرحلة الثانية في شمال، وشمال غرب، ووسط المنطقة.
- زيادة الحد الأدنى لكمية الأمطار بين المرحلتين بنحو 17.51 ملم، وتراجع الحد الأعلى بنحو 62.04 ملم، وتراجع المتوسط المكاني للأمطار على مستوى المنطقة بنحو 4.51 ملم.
- شهدت المنطقة تغيرات متباينة بكمية الأمطار، حيث تعرضت الأجزاء الشرقية والوسطى لتغيرات سالبة؛ نظرًا إلى تراجع كمية الأمطار بالمرحلة الثانية مقارنة بالأولى، وتعرض المناطق غرب وشمال، وجنوب، ووسط المنطقة لتغير إيجابي، لزيادة كمية الأمطار بالمرحلة الثانية مقارنة بالأولى، وتعكس القيمة السالبة لمتوسط التغير مكانيًا -4.426% تعرض غالبية منطقة الدراسة لتراجع كمية الأمطار (بين عامي 1980 – 2021م).

الخاتمة:

- يُستنتج من دراسة توزيع الحرارة والأمطار، وتغيراتهما: تباين تأثيرها على النظم البيئية بمختلف مكوناتها في المنطقة، لتباين توزيع وتغير كل منهما خلال هذه المدة.
- يُستنتج من دراسة تغير توزيع الحرارة والأمطار: أن الأجزاء الشرقية والوسطى التي تعرضت لتغيرات إيجابية للحرارة وسلبية للأمطار، تواجه آثارًا سلبية في نظامها البيئي، مقارنة بالمناطق الغربية، والشمالية، والجنوبية الغربية لطردية علاقة اتجاه تغير الحرارة وكمية الأمطار، ما يخفف من آثار تغير درجات الحرارة على بيئة هذه المنطقة.
- تشير نتائج التغير المكاني لمتوسطي درجات الحرارة 4.35%، وتغير كمية الأمطار -4.27%، إلى فجوة واسعة في الحاجات المائية، ما قد يترتب عليها من إشكاليات تدهور مكونات النظام البيئي، لا سيما مع تراجع رطوبة التربة، وتدهور أغطية الزراعة والنبات.
- تعكس نتائج تغير الحرارة والأمطار: أن غالبية مساحة المنطقة على نحو عام، والأجزاء الشرقية منها بصورة خاصة تتجه نحو مزيد من المشاكل البيئية الناتجة عن ارتفاع معدلات التبخر وتفاقم ظاهرة الجفاف، وتراجع القيمة الفعلية للأمطار، واتساع دائرة التصحر، ما قد يترتب على ذلك من مخاطر تواجه الزراعة والتنمية المستدامة بها.

المصادر والمراجع

زيتون، م. ع. وشحادة، ن. ع. (2016). مؤشرات التغير المناخي في شمال الأردن. *دراسات: العلوم الانسانية والاجتماعية*، 43، 1183 - 1201.

عبد، ق. ف. (2019). التغير المناخي في درجة حرارة وأمطار العراق. *مجلة كلية التربية الأساسية للعلوم التربوية والإنسانية*، 45، 339 - 367.

References

Almazroui. M. (2020). Changes in Temperature Trends and Extremes over Saudi Arabia for the Period 1978–2019. *Advances in Meteorology*, 2020, Article ID 8828421, 21 pages https://doi.org/10.1155/2020/8828421.

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

Almazroui, M., Islam, M. N., Athar, H., Jones, P., and Rahman M. A. (2012). Recent climate change in the Arabian Peninsula: Seasonal rainfall and temperature climatology of Saudi Arabia for 1979–2009. *Atmos. Res*, 111, 29–45.

Almazroui, M., Islam, M. N., Dambul, R., Jones, P. D. (2014). Trends of temperature extremes in Saudi Arabia. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY Int. J. Climatol*, 34, 808-826.

Almazroui, M., Islam, M. N., Saeed, S., Saeed, F., Ismail, M. (2020). Future Changes in Climate over the Arabian Peninsula based on CMIP6 Multimodel Simulations, *Earth Systems and Environment*, Published in partnership with CECCR at King Abdulaziz University, https://doi.org/10.1007/s41748-020-00183-5.

Briner, S., Elkin, C., Huber, R., & Gret-Regamey, A. (2012). Assessing the impact of economic and climate changes on land-use in mountain regions: A spatial dynamic modelling approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149, 50-63.

El-Samra, R. E., Bou-Zeid, H. K., Bangalath, G., Stenchikov, M., El-Fadel, M. (2017). Future intensification of hydro-meteorological extremes: Downscaling using the weather research and forecasting model. *Climate Dyn*., 49, 3765–3785.

Eniolorunda. N. B. (2014). Climate Change Analysis and Adaptation: The Role of Remote Sensing (Rs) a nd Geographical Information System (Gis). *International Journal of Computational Engineering Research*, 04(01), 41-51.

Franke, R. (1982). Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines. *Computer and Mathematics with Applications*, 8(4).

Hasanean, H. & Almazroui, M. (2015). Rainfall: Features and Variations over Saudi Arabia, A Review. *Climate 2015*, 3, 578-626.

Hussain, S., Elfeki, A. M., Chaabani, A. Yibrie, E. A., Elhag, M. (2022). Spatio-temporal evaluation of remote sensing rainfall data of TRMM satellite over the Kingdom of Saudi Arabia. *Theoretical and Applied Climatology*, 149, 1-33.

Odnoletkova, N., & Patzek, W. P. (2021). Data-Driven Analysis of Climate Change in Saudi Arabia: Trends in Temperature Extremes and Human Comfort Indicators, *Journal of applide meteorology and climatology*, 60, 1055-1070.

Rauf, U. A., Ahmad, N., Ajmal, M., Malik, A., & Rahman, Z. (2022). Meteorological trend analysis for Najd and Hejaz regions, Saudi Arabia. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 134(35).

Schilling, J., Freier, K. P., Hertig, E., & Scheffran, J. (2012). Climate change, vulnerability, and adaptation in North Africa with a focus on Morocco. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 150, 12-26.

Scholz, F., & Hasse, U. (2008). Permanent wood sequestration: The solution to the global carbon dioxide problem. *Chemistry – A European Journal*, 14(1), 381-384.

Watterson, I. G. (2008). Calculation of probability density functions for temperature and precipitation change under global warming. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D12).

Emirate of Northern Borders Region. (2022). *Retrieved from* https://www.moi.gov.sa

NASA. (n.d.). *Giovanni: NASA's online data visualization and analysis tool*. Retrieved from https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/