



التنبؤ بالموجات والتطرفات الحرارية بمنطقة مكة المكرمة

Prediction Heat waves and extremes in the Makkah Al-Mukarramah Province

د/ ميرفت بنت عبد الله بن محسن الاهدلي

أستاذ مساعد بقسم نظم المعلومات الجغرافية | جامعة جدة | المملكة العربية السعودية

04102331@uj.edu.sa

المستخلص:

يُعدُّ موضوع التطرف الحراريّ والموجات الحراريّة من المواضيع المهمة في مجال الجغرافيّة المناخيّة. والتطرفات والموجات الحراريّة هي إحدى الظواهر المناخيّة المتطرفة المرتبطة بدرجات الحرارة، والتي ينجم عنها أضراراً وكوارث تؤثر على الناس وممتلكاتهم. وهناك العديد من الدراسات المناخيّة التي قد أثبتت أنّ ظاهرة الموجات الحراريّة تُعدُّ من أكثر الظواهر المناخيّة السلبية تكراراً وانتشاراً في الآونة الأخيرة بسبب مشكلة التغير المناخيّ. تقع منطقة مكة المكرمة ضمن النطاق المداريّ الجاف. لذلك تشهد المنطقة العديد من الموجات الحراريّة القاسية التي تهيمن على المنطقة بين حينٍ وآخر خلال السنة. ويعكس ذلك تأثيراً سلبياً على الجوانب الصحيّة والاقتصاديّة لسكان المنطقة. وبناءً على ذلك فإنّ التنبؤ بمستقبل ظاهرة الموجات والتطرفات الحراريّة بمنطقة مكة المكرمة، ووضع آليات للتوقع بقيمتها المستقبلية سيساعد كثيراً على اتخاذ القرارات، وأخذ الاحتياطات اللازمة خلال أيام ظهورها في هذا الجزء المساحي المهم إقليمياً وعالمياً.

هدفت هذه الدراسة الى التنبؤ بالموجات والتطرفات الحرارية بمنطقة مكة المكرمة مستقبلياً، من خلال مسيرتها وسلوكها عبر سنوات الدراسة، واستخدام السيناريوهات والنماذج المناخيّة الإقليميّة. باستخدام العديد من الطرق والأساليب الكميّة الإحصائيّة، مثل تحليل الارتباط Correlation والانحدار الخطي Regression لحساب معاملات الارتباط البسيط والعلاقة الاعتماديّة. وأيضاً استخدام أسلوب تحليل علاقة خط الانحدار المتعدد للمتوسّطات المتحركة Moving Average، لإيجاد ما يسمى بالدورات الزمنيّة Time Cycles للموجات الحراريّة، وحساب فترات الرجوع Return Period لأيام الموجات والتطرفات الحراريّة. واخيراً تبنت الباحثة أسلوب التوقعات والإسقاطات المناخيّة المستقبلية بالاعتماد على البيانات المستمدة من النموذج المناخيّ



الإقليميّ التابع لمركز هادلي البريطاني (MOHC)، والمأخوذ من مشروع النطاقات الإقليمية المنسقة (CORDEX). لاجل التعرف على آلية تكرار الموجات الحرارية بمنطقة مكة المكرمة والتنبؤ بحدوثها. وتوصلت الدراسة الى انه يمكن التنبؤ بحدوث الموجات الحرارية في منطقة الدراسة من خلال الأساليب الكمية الإحصائية، وأيضاً باستخدام النموذج المناخي وسيناريو الانبعاثات المستقرة.

الكلمات المفتاحية:

موجات حارة، موجات باردة، تطرفات حرارية، تنبؤات مناخية.

Abstract:

Thermal extremes and heat waves are important topics in the field of climatic geography. Extremes and heat waves are one of the extreme weather events associated with temperature, which results in damage and disasters that affect people and their property. here are many climate studies that have proven that the phenomenon of heat waves is one of the most frequent and widespread negative weather phenomena in recent times due to the problem of climate change. The Makkah region is within the dry tropical range. Therefore, the region witnesses many severe heat waves that dominate the region from time to time during the year. This reflects a negative impact on the health and economic aspects of the region's population. Accordingly, predicting the future of the phenomenon of heat waves and extremes in the Makkah region, and developing mechanisms to predict its future values will greatly help to make decisions, and take the necessary precautions during the days of its appearance in this important cadastral part regionally and globally. This study aimed to predict heat waves and extremes in Makkah Al-Mukarramah Province, using many quantitative statistical methods and methods, such as correlation analysis and linear regression to calculate simple correlation coefficients and dependency relationship. Also, using the method of



analyzing the relationship of multiple regression line for moving averages, to find the so-called time cycles for heat waves, and calculate the return periods for the days of waves and thermal extremes. Finally, the researcher adopted the method of future climate projections and projections based on data derived from the regional climate model of the British Hadley Center (MOHC), taken from the Harmonized Regional Domains (CORDEX) project. In order to identify the mechanism of heat wave frequency in Makkah Al-Mukarramah Province and predict their occurrence. The study found that the occurrence of heat waves in the study area can be predicted through statistical quantitative methods, as well as using the climate model and the stable emissions scenario.

Keywords: Heat Waves, Cold Waves, Thermal Extreme, Climate Forecast.

المقدمة

يُعدُّ موضوع الموجات والتطرفات الحراريّة من المواضيع المهمة في مجال الجغرافيّة المناخيّة. والموجات والتطرفات الحراريّة هي إحدى الظواهر المناخيّة المتطرفة المرتبطة بدرجات الحرارة، ويضم مصطلح التطرفات الحراريّة جميع الظواهر المناخيّة المرتبطة بارتفاع أو انخفاض في درجة الحرارة الهواء عن معدلها الطبيعي. ومن أهم هذه الظواهر: الموجات الحارة، والموجات الباردة. وقد صُنِفَت ظاهرة الموجات والتطرفات الحراريّة ضمن الظواهر المناخيّة المتطرفة التي ينجم عنها أثارٌ وأضرارٌ سلبيةٌ على النظام البيئيّ لكوكب الأرض. كما أنّ لهذه الظاهرة دوراً بارزاً على حياة الإنسان وصحته وراحته وقدرته على العمل. وأكدت العديد من المنظمات والهيئات الدوليّة المعنية بدراسة التغيرات المناخيّة، بأنّ هناك ارتفاعاً في درجات حرارة كوكب الأرض، مرتبطاً بزيادة انبعاث غازات الاحتباس الحراريّ، أو الغازات الدفيئة التي أهمها غاز ثاني أكسيد الكربون. كما أكّد علماء المناخ على أنّ هذا الارتفاع في درجات حرارة الأرض قد نتج عنه العديد من الظواهر المناخيّة السلبية كظاهرة الموجات والتطرفات الحراريّة. لذلك فقد عملت العديد من المؤسسات والمنظمات الدوليّة كالهيئة الدوليّة المعنية بالتغيرات المناخيّة IPCC ومركز هادلي للتنبؤ والبحوث المناخيّة و Hadley Center for Climate Prediction and Research بالتعاون مع الباحثين في مجال المناخ



والبيئة، على بناء نماذج مناخية متطورة تمثل بشكلٍ علميٍّ دقيقٍ المخرجات المناخية التي تترتب على ارتفاع نسبة الغازات الدفيئة في المستقبل.

وبحكم الموقع الجغرافي لمنطقة مكة المكرمة ضمن النطاق المداري الجاف فإنَّ كثيرًا من أراضيها يتعرّض لظاهرة التطرف الحراريّ، والموجات الحراريّة خلال السنة. وبما ان منطقة مكة المكرمة تعد من أكثر مناطق المملكة أهمية، حيثُ تضم أهم وأكبر مدن البلاد مساحةً وكثافةً سكانيةً. (مكة المكرمة، وجدة، والطائف). إضافة إلى أهميتها العالميّة، ففيها أعظم وأجل المشاعر الإسلاميّة البيت الحرام والكعبة المشرفة والباق المقدسة، عرفات ومنى ومزدلفة، التي يقصدها ملايين الحجاج في موسم الحج كلّ عامٍ. لذلك كان لا بد من التنبؤ بمستقبل ظاهرة الموجات والتطرفات الحراريّة بمنطقة مكة المكرمة، ووضع آليات للتوقع بقيمها المستقبلية سيساعد كثيرًا على اتخاذ القرارات، وأخذ الاحتياطات اللازمة خلال أيام ظهورها في هذا الجزء المساحي المهم إقليميًا وعالميًا.

مشكلة الدراسة:

تكمن مشكلة الدراسة في أنّ منطقة مكة المكرمة تتأثر بشكلٍ كبيرٍ بظاهرة الموجات الحراريّة التي يتكرر حدوثها معظم أيام السنة في المنطقة، وما ينتج عن هذه الظاهرة من أحوالٍ جويّة ومناخية تسبب الكثير من المشاكل الصحيّة والبيئيّة والاقتصاديّة.

تساؤلات الدراسة:

- ما آلية تكرار الموجات الحراريّة بمنطقة مكة المكرمة؟ وهل يمكن التنبؤ بحدوثها في المستقبل؟

هدف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة الى محاولة التنبؤ بحدوث الموجات الحراريّة بمنطقة مكة المكرمة مستقبليًا؛ من خلال مسيرتها وسلوكها عبر سنوات الدراسة، واستخدام السيناريوهات والنماذج المناخية الإقليمية.

ابعاد الدراسة:

أ. البعد المكاني:

تقع منطقة مكة المكرمة في الجزء الأوسط غرب المملكة العربيّة السعوديّة، محصورةً بين دائرتي عرض: ١٨ ٣° - ٢٣ ٥٨° شمالًا. وبين خطي طول: ٤١ ٣٨° - ٤٣ ٤٠° شرقًا. يحدها من الشمال منطقة المدينة المنورة، ومن الجنوب ثلاث مناطق هي: الباحة وعسير وجازان. ومن الشرق منطقة الرياض، ومن



الغرب البحر الأحمر. وتقدر مساحة هذه المنطقة بنحو ١٣٧,٠٠٠ كيلومتر مربع تقريباً، أي: ما يقارب ٧٪ من مساحة المملكة العربية السعودية. (أمانة منطقة مكة المكرمة، ٢٠١٦م). انظر الشكل (١).

ب. البعد الزمني:

يعبر البعد الزمني عن المدة الزمنية للدراسة والتي تمتد من: عام ١٩٨٥ إلى عام ٢٠١٩ م. وتُعدُّ فترة ثلاثة عقود كافية للكشف عن التقييم المكاني للموجات الحرارية في المنطقة. إضافة الى التوقعات المستقبلية الممتدة لفترة عشرة سنوات من عام ٢٠٢٠م الى عام ٢٠٣٠ م.

وتَمَّ جمع الإحصاءات المناخية من محطات الرصد المناخية المتوفرة في منطقة الدراسة وهي: ثلاث محطات فقط موجودة في المدن الآتية: مكة المكرمة، جدة، الطائف. بالإضافة إلى محطة الأرصاد الموجودة في عرفات، والتي تمَّ الاعتماد على بياناتها المناخية للأعوام ٢٠١٨ و ٢٠١٩م بسبب اغلاق محطة أرصاد مكة المكرمة (أم الجود) والاستعاضة عنها بمحطة مشعر عرفات. وتتبع جميع المحطات المناخية السابقة للمركز الوطني للأرصاد، وحماية البيئة التابع لوزارة البيئة، والمياه والزراعة بالمملكة العربية السعودية. (انظر الجدول ١ والشكل ١). كما تمَّ الاستعانة ببيانات النماذج المناخية الإقليمية لدرجات الحرارة القصوى والدنيا، من خلال الموقع الإلكتروني esgf-data.dkrz.de.

جدول (١) المعلومات الأساسية عن محطات المناخية المستخدمة في منطقة مكة المكرمة.

الرقم	المحطة	رمز المحطة	الموقع الفلكي		الارتفاع م	البعد عن البحر كم
			خط العرض	خط الطول		
١	مكة المكرمة	٤١٠٣٠	٢١ ٢٦	٣٩ ٤٦	٢٤٠	٧٠
٢	جدة	٤١٠٢٤	٢١ ٤٢	٣٩ ١١	١٧	٥
٣	الطائف	٤١٠٣٦	٢١ ٢٨	٤٠ ٣٢	١٤٥٣	١٢٨

المصدر: عمل الباحثة اعتماداً على بيانات وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد وحماية البيئة، بيانات مناخية للفترة ١٩٨٥-٢٠١٩م



منهج الدراسة وأساليبها:

تبنت الباحثة المنهج التحليلي الوصفي الذي يتعامل مع الصورة الجغرافية بشكل مباشر؛ لبيّن ما يعبر عنه المكان والزمان في منطقة الدراسة. ومن خلال هذا المنهج قامت الباحثة بوصف حجم الظاهرة، وتصنيف البيانات الكمية وتحليل قيم المتغيرات المناخية ذات الصلة بالموجات الحرارية وهي: درجة الحرارة القصوى، ودرجة الحرارة الدنيا، ودرجة الحرارة الوسطى، والضغط الجوي، والرطوبة النسبية بمستوياتها الثلاثة: عظمى، ووسطى، وصغرى، واتجاه الرياح، وسرعتها، والتغيم. وبالنسبة لأساليب الدراسة التي اعتمدها الباحثة الأساليب الكمية الإحصائية. فقد تم استخدام تحليل الارتباط Correlation والانحدار الخطي Regression لحساب معاملات الارتباط البسيط والعلاقة الاعتمادية أيضًا، أو علاقة خط لانحدار متعدد؛ لإيجاد العلاقة بين متغيرات الموجات الحرارية وهي: درجات الحرارة القصوى والدنيا، متوسط سرعة الرياح، والضغط الجوي عند مستوى المحطة، والضغط الجوي عند مستوى البحر، والرطوبة النسبية بمستوياتها الثلاثة (القصوى، والدنيا، والوسطى) والتغيم. وذلك؛ لتحقيق هدف التنبؤ بالموجات الحرارية الحارة والباردة بمنطقة مكة المكرمة، على صياغة معادلات حسابية واقترح نماذج رياضية مناخية للتنبؤ بمستقبل ظاهرة الموجات والتطرفات الحرارية بالمنطقة. ومن الحري هنا وبناءً على مقترح الجراش (٢٠٠٤م) في تنفيذ ذلك الهدف، الإشارة إلى أنه سيتم الدمج بين محطات قياس العناصر المناخية الثلاث بمنطقة مكة المكرمة وتجميعها كوحدة واحدة، لتطبيق التحليلات الإحصائية السابقة للموجات والتطرفات الحرارية الحارة والباردة على التوالي. وذلك لأنّ مجمل المتغيرات، أو العناصر الطقسية الأرضية المسببة للموجات والتطرفات الحرارية في جميع محطات الدراسة واحدة. كما عملت الباحثة أيضًا على إيجاد البنية الدورية لسلوك الموجات الحرارية، أو ما يسمى بالدورات الزمنية، بتطبيق أسلوب تحليل علاقة خط الانحدار المتعدد للمتوسطات المتحركة Moving Average. لإيجاد ما يسمى بالدورات الزمنية Time Cycles للموجات الحرارية، من أجل اكتشاف دورات زمنية محددة لمعرفة حجم التغيرات التي طرأت على الظاهرة، ومقدار اتجاهها، وفهم سلوكها وطبيعتها. إضافة إلى ذلك ووفق ما أورده علي أبو حسين (٢٠٠٠م) من أساليب توقع تكرار الموجات الحرارية، قامت الباحثة بحساب فترات الرجوع Return Period لأيام الموجات والتطرفات الحرارية بهدف تقدير احتمالية تكرار عدد معين لأيام الموجات الحرارية خلال فترة زمنية محددة. ولتطبيق ذلك ركنت الباحثة إلى استخدام حزمتين إحصائيتين هما: (Excel&Spss).



شكل (١) موقع منطقة الدراسة ومحطات الرصد المناخية بمنطقة مكة المكرمة.



المصدر: من عمل الباحثة اعتمادًا على أطلس المملكة العربية السعودية، ١٤٣٥هـ.



كما تبنت الباحثة أسلوب التوقعات والإسقاطات المناخية المستقبلية الذي يُعدُّ أسلوبًا مقبولًا ومأخوذًا به في المجالات المناخية والطقسية. وقد اعتمدت الباحثة على البيانات المستمدة من النموذج المناخي الإقليمي التابع لمركز هادلي البريطاني (MOHC)، والمأخوذ من مشروع النطاقات الإقليمية المنسقة (CORDEX). وقد استندت التوقعات المناخية لهذه الدراسة على السيناريو المعتدل، أو سيناريو الانبعاثات المستقرة RCP4.5 لفترة مستقبلية تمتد من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م. وذلك لتقديم تقديرا مكاني وزماني لاتجاهات درجات الحرارة القصوى والدنيا المستقبلية، والتنبؤ بعدد الموجات الحرارية المستقبلية بمحطات منطقة الدراسة. وهكذا سيكون النموذج المناخي المستخدم للتنبؤ بمستقبل اتجاهات الحرارة وعدد الموجات والتطرفات الحرارية المستقبلية هو: HadGEM2-ES-rcp4.5. وقد تمَّ اختيار النموذج المناخي الإقليمي التابع لمركز هادلي البريطاني من بين النماذج المناخية التابعة للبرنامج العالمي لبحوث المناخ؛ لأنه الأكثر شيوعًا واستخدامًا في منطقة الشرق الأوسط، وشمال إفريقيا لجودة نتائجه المجربة، إذ وجد أنَّ تقديراته لقيم درجات الحرارة قريبةً إلى حدِّ كبيرٍ من القراءات الفعلية مقارنةً بتقديرات النماذج الأخرى. وقد تمَّ اختيار الباحثة لسيناريو الانبعاثات المستقرة RCPs 4.5 كذلك؛ لأنه سيناريو معتدلٍ، ويتميز بأنَّ تركيزات الغازات الدفيئة فيه تماثل مستواها الحالي.

الدراسات السابقة:

ومن الدراسات التي اهتمت بدراسة بموضوع التنبؤ بالتطرفات الحرارية وموجات الحرّ وموجات البرد على مستوى العالم دراسة لكرون وآخرون (Cowan & Purich,2014). بعنوان
More frequent, Longer, and Hotter Heat Waves for Australia in Twenty-First Century..
ذكر فيها أنَّ كثيرًا من مناطق العالم قد شهدت حدوث موجات حرّ شديدة خلال الصيف، ونوبات متتالية من الدفء خلال الشتاء في النصف الثاني من القرن العشرين. أوضحت الدراسة أنه قد تمَّ استخدام خمسة نماذج مناخية من أجل توضيح التغيرات المتوقعة في موجات الحرّ خلال الصيف والشتاء في استراليا. ومن أهم النتائج التي توصلت هذه الدراسة لها، أنَّ المناطق المدارية الشمالية من القارة الأسترالية ستواجه عددًا من الموجات الحارة المتتالية، وأنَّ الأجزاء الجنوبية من استراليا سيحدث فيها ارتفاعًا كبيرًا في درجات الحرارة



يصلُ إلى ثلاث درجاتٍ مئوية. ومن التوقعات التي تنبئت بها النماذج المناخية أيضاً، وأنَّ الشتاء سيكون دافئاً في المستقبل. وفي مقالٍ لماندل وآخرين

Real Time extended Range Prediction of heat waves (Raju & other,2018). بعنوان

over India. اقترح استخدام أنموذجٍ مناخيٍّ للتنبؤ بالوقت الفعلي لحدوث موجات الحرِّ في المناطق المدارية.

وقد طبق استخدام الأنموذج في الهند. ومن أهم النتائج التي تمَّ التوصل لها: أنَّ موجات الحرِّ التي تحدث في

الهند تكون خلال شهريِّ مارس ويونيو، وأكثر المناطق عرضةً للموجات الحارة في الهند هي: المناطق الجنوبية

والشمالية الغربية، والجنوبية الشرقية، وأنَّ موجات الحرِّ فيها تمتد لفترةٍ طويلةٍ لا تقل عن ستة أيام. وعلى

المستوى الإقليمي تناولت رسالة دكتوراه لأبي حسين (٢٠٠١م) موضوع موجات الحرِّ في الأردن، والظروف

السينوبتية السطحية المصاحبة لموجات الحر المؤثرة على الأردن، بالإضافة إلى تحليل الخصائص العامة

لللغلاف الجويِّ المصاحبة لظاهرة الموجات الحارة. وتنبأ أبو حسين في دراسته بموجات الحر في الأردن من

خلال بعض التحليلات الاحصائية، التي توصل من خلالها الى قيم فعلية لمدى التغير والتذبذب في سلوك هذه

الظاهرة خلال فترة الدراسة. مما مكنه من التنبؤ المستقبلي بالاتجاه العام لموجات الحرِّ في الأردن. وعلى

مستوى المملكة العربية السعودية قدم المسند (٢٠٠٦م) في بحثه بعنوان "سيناريو تغير المناخ في منطقة القصيم

والمملكة العربية السعودية" تحليلاً تفصيلياً عن التغير في درجة الحرارة المستقبلية في منطقة القصيم بشكل

خاص والمملكة العربية السعودية بشكل عام. وقد اعتمد الباحث في تنبؤ بدرجات الحرارة المستقبلية على

تحليله لدرجات الحرارة لفترة ثلاثين عام ماضية (١٩٧١-٢٠٠٠م)، وتطبيق النماذج الرياضية. ومن أهم

النتائج التي توصل لها البحث ان معدلات درجات الحرارة في منطقة الدراسة سترتفع بمعدل ٠,٩٩ م في عام

٢٠٢٠م. وفي دراسة أنجزتها الحربي عام (٢٠١٧م) بعنوان "موجات الحرِّ في المملكة العربية السعودية في

ظل التغير المناخيِّ خلال فترة ما بين عام ١٩٧٧- ٢٠١٤م دراسة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

والاستشعار عن بعد" تناولت فيها محاور عديدة عن موجات الحرِّ في المملكة العربية السعودية. من ضمنها

التنبؤ بموجات الحرِّ مستقبلاً. ومن الأساليب التي اعتمدت عليها هذه الدراسة تحليل بعض الصور للأقمار

الصناعية لبعض الموجات الحارة، بهدف معرفة الظروف الطقسية المصاحبة لهذه الموجات. ومن أهم النتائج

التي توصلت لها هذه الدراسة إلى أنَّ مناخ المملكة العربية السعودية يتأثر بحدوث موجتي حرِّ سنوياً، لكلِّ



محطة، وأنَّ الموجات الحارة في محطات المملكة تتركز خلال فصل الصيف. وأنَّ منخفض الهند الموسمي يُعدُّ السبب الرئيس في حدوث الموجات الحارة في المملكة.

وبناء على ما تقدم، يتضح ان موضوع التنبؤ بالتطرفات الحرارية وموجات الحرّ وموجات البرد في منطقة مكة المكرمة، من المواضيع الحيوية والمهمة التي لم تدرس بشكل بحثي من قَبْلُ على مستوى المنطقة.

نتائج الدراسة:

وفيما يلي سيتم تطبيق عدد من الأساليب العلميّة الشهيرة المعتمدة في الأدب الجغرافيّ بالتنبؤ بموجات الحرّ والبرد، وتوقع تكرارها على مستويات فتراتٍ مختلفةٍ وتقويم نتائجها. ومن هذه الأساليب:

أولاً: التنبؤ بالموجات الحارة والباردة والتطرفات الحرارية بمنطقة مكة المكرمة من خلال العناصر الطقسية باستخدام نموذج العلاقة الاعتمادية المتعددة، أو علاقة الانحدار المتعدد Regression:

من المعلوم ان بناء أنموذج تنبؤي راسخ، باستخدام أنموذج العلاقة الاعتمادية المتعددة، أو علاقة الانحدار المتعدد Regression يقوم على مرحلتين أساسيتين هما: الأولى هي مرحلة تحليل الارتباط الثنائي، أو مرحلة الارتباط البسيط معامل بيرسون Pearson وفيها يتمّ قياس درجة الارتباط بين المتغير المعتمد والمتغيرات المستقلة. والمرحلة الثانية هي مرحلة تحليل علاقة خط الانحدار المتعدد أو العلاقة الاعتمادية المتعددة Regression وفيها يتمّ حساب معاملات علاقة خط الانحدار لبناء أنموذج مناسب للتنبؤ.

أ. التنبؤ بالموجات الحارة بمنطقة مكة المكرمة باستخدام تحليل الارتباط الثنائي Correlation بين عناصر الطقس وموجات الحر والتطرفات الحرارية بمنطقة مكة المكرمة:

وفي الخطوة الأولى لبناء أنموذج للتنبؤ بموجات الحرارة الحارة بمنطقة مكة المكرمة من خلال العناصر الطقسية الأرضية عمدت الباحثة إلى إجراء تحليل الارتباط الثنائي باختيار معامل ارتباط بيرسون Pearson Correlation Coefficient لقياس درجات الارتباط والتأكد من وجود علاقات ارتباطية بين عناصر الطقس لمحطات المنطقة الثلاث. واعتمدت على الصيغة العربية للمعادلة أوردها الجراش (٢٠١٩م) كما يأتي:

$$r = \frac{a}{b}$$

حيث إن:

$$r = \text{درجة الارتباط}$$

$$a = \text{مج} [(١م - ١م) \times (٢م - ٢م)]$$



$$b = \text{مج} [(m-1) \times (m-2)]$$

وفيها:

$$\text{مج} = \text{مجموع}$$

م = المتغير والرقم الذي يليه يعني رقم المتغير.

م = متوسط المتغير والرقم الذي يليه يعني رقم المتغير.

وبالنظر إلى الجدول رقم (٦-١)، ومن النتائج التي تمّ التوصل إليها بتطبيق العلاقة الارتباطية بين متغير درجة حرارة الهواء خلال أيام الموجات الحرارية، وأيام التطرفات الحرارية المفردة التي بلغ مجموع عددها ٧٨٥٧ يوماً، بالمتغيرات الأخرى المستقلة وهي: متوسط سرعة الرياح، والضغط الجويّ عند مستوى المحطة، والضغط الجويّ عند مستوى البحر، والرطوبة النسبية بمستوياتها الثلاثة (القصى، والدنيا، والوسطى) والتغيم:

- تراوحت قيم معاملات الارتباط البسيط بين متغير الحرارة القصوى وبقية المتغيرات المستقلة بين قيم قوية تمثلت في قيمة ارتباط الحرارة القصوى مع الضغط الجويّ عند مستوى المحطة (٠,٨٣٨)، وقيم متوسطة تمثلت في قيمة ارتباط سلبيّ لعنصر الحرارة القصوى مع عنصر سرعة الرياح (-٠,٦٩٨). وهناك العديد من قيم الارتباطات الضعيفة تمثلت في قيم ارتباط الحرارة القصوى مع الضغط الجويّ عند مستوى البحر، والرطوبة النسبية القصوى، والرطوبة النسبية الدنيا، والرطوبة النسبية الوسطى، وأخيراً عنصر التغيم.

- إنَّ قيم معظم معاملات الارتباط بين المتغير التابع، وهو الحرارة القصوى، والمتغيرات المستقلة تأخذ الاتجاه الموجب، فيما عدا معاملات الارتباط ما بين الحرارة القصوى ومتغير سرعة الرياح ومتغير عنصر التغيم. فهي تأخذ الشكل السالب. ومن أهم أسباب ذلك كما هو معلوم إنّه كلما زادت سرعة الرياح زادت إزاحة الهواء منع استقراره على السطح ليسخن لذا ظهرت العلاقة العكسية بينهما.

- إنَّ قيم مستوى المعنوية لكل المتغيرات المستقلة يساوي (٠,٠٠٠) مما يعني أنّ الارتباطات الثنائية بين المتغيرات ذات دلالة إحصائية بصرف النظر عن القيم الجزئية لكل متغير. وهذا يجعلنا نقبل الفرضية القائلة بأنَّ هناك ارتباطاً بين ظاهرة الموجات والتطرفات الفردية الحارة، والمتغيرات المستقلة المقترحة على مستوى منطقة الدارسة. (انظر الجدول ٢).



جدول (٢) معاملات الارتباط البسيط بيرسون بين درجة الحرارة القصوى والدُّنيا (متغيران معتمدان) لأيام الموجات والتطرفات الفردية الحارة والباردة وعناصر الطقس المصاحبة لها (متغيران مستقلان) بمنطقة مكة المكرمة. "بمستوى دلالة ٠,٠٥"

المتغير المستقل:	سرعة الرياح	ضغط جوي / محطة	ضغط جوي / سطح البحر	رطوبة نسبية القصوى	رطوبة نسبية الدنيا	رطوبة نسبية الوسطى	المتغير المعتمد:
							التغيم
درجة الحرارة القصوى	٠,٦٩٨-	٠,٨٣٨	٠,١٠٦	٠,٢١٤	٠,١٢٩	٠,٢٩٠	٠,٢٢٦-
مستوى الدلالة	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٨	٠,٠٠٠
درجة الحرارة الدنيا	٠,٢٣١-	٠,٨٦٩	٠,١١٥	٠,١٥٠-	٠,٠٦٠	٠,٠٢١	٠,٠٧٦
مستوى الدلالة	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٤٣	٠,٠٠٠

عمل الباحثة - مصدر البيانات: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد وحماية البيئة، مجموعة التقارير المناخية للفترة ١٩٨٥-٢٠١٩م.

ب. تحليل علاقة خط الانحدار المتعدد بين عناصر الطقس Regression لمنطقة مكة المكرمة:

تمثل علاقة خط الانحدار المتعدد، أو العلاقة الاعتمادية المتعددة، المرحلة الثانية في بناء نموذج التنبؤ. هنا يتم حساب المعادلة لتلك العلاقة وفقاً للصيغة العربية التي أوردها الصالح والسرياني (٢٠٠٠م) على النحو الآتي:

$$س = أ + ب٢ س٢ + ب٣ س٣ + ب٤ س٤ + الخ.$$

حيث إن:

س = القيمة المتوقعة للمتغير المعتمد.

أ = ثابت الانحدار.

ب٢ ب٣ ب٤ الخ = معاملات الانحدار للمتغيرات المستقلة.

س٢ س٣ س٤ الخ = المتغيرات المستقلة. (الصالح، والسرياني، ٢٠٠٠م).



وبإنجاز تلك المرحلة في بناء أنموذج التنبؤ بالموجات الحارة بمنطقة الدراسة، وهي مرحلة حساب معاملات العلاقة الاعتمادية المتعددة، أو علاقة الانحدار المتعدد لصياغة معادلة حسابية مناسبة لتقدير قيم المتغير المعتمد درجات الحرارة القصوى لأيام الموجات والتطرفات الحارة، تمّ التوصل إلى المخرجات التالية:

- إنَّ قيمة الارتباط (R) في جدول (٢)، ملخص أنموذج خط الانحدار، أو العلاقة الاعتمادية، بلغت ٠,٩٠٩، وهذا يشير إلى أنَّ العلاقة بين عنصر درجة حرارة الهواء القصوى خلال أيام التطرف الحراري، وموجات وتطرفات مفردة والعناصر الطقسية الأخرى قوية جداً. وبلغت قيمة معامل التحديد (R^2) ٠,٨٢٧، وهذا معناه أنَّ المتغيرات المستقلة تسهم بنسبة ٨٢,٧٪ في حدوث الموجات والتطرفات الحرارية بمنطقة مكة، في حين بلغت قيمة معامل التحديد المعدل (Adj, R^2) ٠,٨٢٦، أي: ما يعادل ٨٢,٦٪ وبناءً على ذلك يمكننا القول: بأنَّ المتغيرات المستقلة التي بني عليها الأنموذج المقترح تتسبب في حدوث الموجات والتطرفات الحارة في منطقة الدراسة بنسبة ٨٣٪ فقط، وأنَّ هناك متغيرات أخرى ليست مشمولةً في الأنموذج تسبب ١٧٪ من الموجات الحرارية الحارة في المنطقة.

- بلغت قيمة الخطأ المعياري للتقدير ١,٦٠٠٨، وهي قيمة ضئيلة تشير إلى جودة الأنموذج المقترح، حيث إنَّه كلما صغرت قيمة هذا المعلم قابل ذلك ارتفاع في مستوى دقة أنموذج التنبؤ. (الجراش، ٢٠٠٤م، ص١٩٨).

- إنَّ قيمة معامل ف (F) في جدول تحليل التباين ($ANOVA$) (٣) هي قيمة كبيرة، وتعبّر عن وجود علاقة خطية مقبولة بين المتغير المعتمد والمتغيرات المستقلة. كما أنَّ قيمة مستوى المعنوية في جدول تحليل التباين يدلُّ على أنَّ جميع المتغيرات المستقلة المستخدمة في الأنموذج المقترح ذات دلالة إحصائية، وقادرة على التنبؤ بالموجات والتطرفات الحارة في منطقة مكة المكرمة. هذا بالإضافة إلى أنَّ نتيجة اختبار ديربن واتسون تؤكد أيضاً وجود العلاقة بين المتغيرات.

- بلغت قيمة ثابت الانحدار وهي القيمة القاعدية التي تمثل الزيادة في المتغير المعتمد، درجة الحرارة القصوى، أثناء أيام الموجات الحرارية وأيام التطرفات المفردة ٧٠,٥٠٥. كما يعرض الجدول رقم (٤) قيم معاملات الانحدار، أو معاملات التحديد (B) وهي تمثل قيمة المتغير المعتمد على المتغيرات المستقلة الأنسب، وتمَّ انتقاء المتغيرات الأنسب لبناء أنموذج العلاقة الاعتمادية، أو علاقة خط الانحدار على أساس أنَّ تكون قيمة مستوى المعنوية لقيم معلم ستيودنت (t) لا تتعدى ٠,٠٥، وهي المعاملات الدالة إحصائياً لبناء أنموذج جيّد للتنبؤ بالموجات والتطرفات الحارة في منطقة مكة المكرمة، وبتفحص الجدول رقم (٤) يتبين أنَّ جميع



المتغيرات المستقلة المقترحة وهي: متوسط سرعة الرياح، والضغط الجوي عند مستوى المحطة، والضغط الجوي عند مستوى البحر، والرطوبة النسبية بمستوياتها الثلاثة (القصوى، والدُّنيا، والوسطى) والتغيم، مؤثرة في ارتفاع درجات الحرارة القصوى في منطقة مكة المكرمة، وتسبب موجات وتطرفات حرارية حارة.

وعليه فإنَّ صيغة المعادلة التنبؤية بحسب النموذج المقترح تأخذ الشكل الآتي:

$$س = 70,505 + (1م X 0,310-) + (2م X 0,049) + (3م X 0,071-) + (4م X 0,037-) + (5م X 0,127) + (6م X 0,012-) + (7م X 0,127).$$

وهكذا فإنَّ حدوث الموجات والتطرفات الحارة في منطقة مكة المكرمة، أو ارتفاع درجات الحرارة القصوى في منطقة الدراسة = $70,505 + (X 0,310-) + (X 0,049)$ قيمة الضغط الجوي عند مستوى المحطة) + $(X 0,071-) + (X 0,037-)$ قيمة الرطوبة النسبية القصوى) + $(X 0,037-) + (X 0,012-)$ قيمة الرطوبة النسبية الوسطى) + $(X 0,127)$ قيمة التغيم).

جدول (٣) تحليل علاقة خط الانحدار Regression بين درجة الحرارة القصوى والعناصر الطقسية المصاحبة لأيام

الموجات والتطرفات الحارة وتحليل التباين بمنطقة مكة المكرمة. "بمستوى دلالة 0,05"

ثابت الانحدار	الخطأ المعياري	R	R ²	معامل التحديد	معامل التحديد المعدل	Std Error of Estimate	Durbin-Watson اختبار DW	F قيمة ف	Sig F مستوى الدلالة ف
70,505	5,752	0,909	0,827	0,826	0,826	1,6008	0,942	5343,37	0,000

عمل الباحثة - مصدر البيانات: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد وحماية البيئة، مجموعة التقارير المناخية للفترة 1985-2019م



جدول (٤) قيم معاملات علاقة خط الانحدار العلاقة الاعتمادية لمتغير درجة الحرارة القصوى بالمتغيرات المستقلة بمنطقة مكة المكرمة. "بمستوى دلالة ٠,٠٥"

المتغير المعتمد	المتغيرات المستقلة	معاملات التحديد بيتا B	معاملات التحديد المعدلة بيتا	الخطأ المعياري للتقدير	t قيمة ت	Sig t مستوى الدلالة ت
درجة الحرارة القصوى	متوسط سرعة الرياح	٠,٣١٠-	٠,٢٨٠-	٠,٠٠٧	٤٧,٣١٩-	٠,٠٠٠
	الضغط الجوي عند مستوى المحطة	٠,٠٤٩	٠,٨٤١	٠,٠٠٠	١١٢,٨٥٣	٠,٠٠٠
	الضغط الجوي عند سطح البحر	٠,٠٧١-	٠,٠٦٠-	٠,٠٠٦	١٢,٣٣٧-	٠,٠٠٠
	الرطوبة النسبية القصوى	٠,٠٣٧-	٠,١٧٠-	٠,٠٠٣	١٤,٠٢٧-	٠,٠٠٠
	الرطوبة النسبية الدنيا	٠,٠٣٧-	٠,٠٨٢-	٠,٠٠٣	١٢,٣٣٧-	٠,٠٠٠
	الرطوبة النسبية الوسطى	٠,٠١٢-	٠,٠٣٩-	٠,٠٠٥	٢,٦٤٢-	٠,٠٠٨
	التغيم	٠,١٢٧	٠,٠٤١	٠,٠١٦	٨	٠,٠٠٠

عمل الباحثة - مصدر البيانات: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد وحماية البيئة، مجموعة التقارير المناخية للفترة ١٩٨٥-٢٠١٩م.

ج. التنبؤ بالموجات الباردة بمنطقة مكة المكرمة باستخدام تحليل الارتباط الثنائي Correlation بين

عناصر الطقس وموجات البرد والتطرفات الحرارية الباردة:

لبناء الأنموذج التنبؤي للموجات والتطرفات الحرارية الباردة بمنطقة مكة المكرمة، فقد تم إجراء العمليات الحسابية اللازمة لتحليل الارتباط البسيط بيرسون Pearson وتحليل العلاقة الاعتمادية علاقة خط الانحدار المتعدد Regression. وقبل الخوض في نتائج العمليات الحسابية لتحليل العلاقات الإحصائية، من المستحسن



أولاً توضيح أنّ مجموع أيام الموجات والتطرفات الحرارية الباردة بمنطقة مكة المكرمة طيلة فترة الدراسة قد بلغ ٦٧٥٣ يوماً، وأنّ المتغير المعتمد هنا سيكون المتوسطات اليومية لدجات الحرارة الدُّنيا خلال أيام التطرف الحراريّ البارد، وبالنسبة للمتغيرات المستقلة هي: متوسط سرعة الرياح، والضغط الجويّ عند مستوى المحطة، والضغط الجويّ عند مستوى البحر، والرطوبة النسبيّة بمستوياتها الثلاثة (القصى، والدُّنيا، والوسطى) والتغيم، وهي نفس العناصر الطقسيّة المؤثرة في الموجات الحارة، ولكن خلال أيام الموجات والتطرفات الباردة.

وبعد أن تمّ تطبيق تحليل الارتباط بيرسون على المتغيرات الموجات والتطرفات الحرارية الباردة بمنطقة مكة المكرمة، تمّ التوصل للنتائج التالية:

- إنّ أقوى قيمة ارتباط بين متغير الحرارة الدُّنيا وباقي المتغيرات المستقلة تمثل في قيمة الارتباط مع متغير الضغط الجويّ عند مستوى المحطة (٠,٨٦٩). في حين كانت بقية قيم الارتباط بين الحرارة الدُّنيا وبقية المتغيرات المستقلة قيماً ضعيفة.
- إنّ قيم معاملات الارتباط لمتغير الحرارة الدُّنيا مع الضغط الجويّ عند مستوى المحطة، والضغط الجويّ عند مستوى البحر، والرطوبة النسبية الدُّنيا، والرطوبة النسبية الوسطى، والتغيم هي قيمٌ موجبةٌ، وهذا معناه أنّ اتجاه خط الارتباط لهذه المتغيرات يأخذ الاتجاه الصاعد. بينما كانت قيم معاملات الارتباط الحرارة الدُّنيا مع متوسط سرعة الرياح والرطوبة النسبية القصوى ذات قيم سالبة، وهذا يدلّ على أنّ اتجاه خط الارتباط لهذه المتغيرات مع الحرارة الدنيا يأخذ الاتجاه الهابط.
- إنّ قيم مستوى المعنوية بين الحرارة الدُّنيا وجميع المتغيرات المستقلة أصغر من ٠,٠٥، وهذا معناه أنّ هناك ارتباطاً مقبولاً بين المتغير المعتمد، والمتغيرات المستقلة. (انظر الجدول ٤).

د. تحليل علاقة خط الانحدار المتعدد بين عناصر الطقس Regression لمنطقة مكة المكرمة:

- بعد أن تمّ حساب قيم معامل بيرسون للارتباط، وتمّ التأكد من وجود الارتباط ثنائي بين عنصر الحرارة الدُّنيا وكل عنصرٍ من العناصر المقترحة لبناء نموذج التنبؤ. سيتم الآن الانتقال إلى المرحلة الثانية لتحليل علاقة خط الانحدار، أو العلاقة الاعتمادية المتعددة، وصياغة معادلة التنبؤ. ومن النتائج التي تمّ التوصل لها:
- إنّ قيمة معامل الارتباط (R) في جدول (٥) الذي يلخص مخرجات تحليل نموذج خط الانحدار، أو العلاقة الاعتمادية، قد بلغت ٠,٨٩٤. وتشير هذه القيمة إلى وجود ارتباطٍ قويٍّ وجيّد لبناء الأنموذج، في حين



- تعدلت قيمة معامل التحديد (R^2) وقيمة معامل التحديد المعدل (Adj, R^2) حيث بلغت ٠,٧٩٩ أي: ما يعادل ٨٠٪ تقريباً. مما يعني أن ٨٠٪ من الموجات والتطرفات الحرارية الباردة في منطقة مكة المكرمة يرجع سببها إلى المتغيرات المستقلة المقترحة، وأن الـ ٢٠٪ المتبقية ترجع لأسباب أخرى.
- إن قيمة الخطأ المعياري للتقدير للقيم المتوقعة في هذا النموذج بلغت ٢,١٥٦ وهي قيمة ضئيلة تدل على دقة النموذج. كما تشير قيمة اختبار ديرين واتسون أو اختبار (DW) في هذا النموذج إلى وجود علاقة ارتباط بين المتغيرات.
- تعتبر قيمة معامل ف (F) قيمة كبيرة في جدول (٦) تحليل علاقة خط الانحدار وتحليل التباين، مما يشير إلى أن العلاقة الخطية بين المتغيرات مقبولة، وقيمة مستوى معنوية لقيمة معامل ف (F) ذات دلالة إحصائية مقبولة كذلك.
- إن قيمة ثابت الانحدار لمتغير درجة الحرارة الدنيا أثناء أيام الموجات الحرارية، وأيام التطرفات الباردة قُدرت ب -٢٨,٤٠٤.
- إن قيم مستوى المعنوية لقيم معلم ستيودنت (t) التي حسبت لجميع معاملات التحديد (B) ضمن خطوة انتقاء المتغيرات المستقلة التي سوف تدخل في صياغة معادلة التنبؤ، قد قُدرت بـ (٠,٠٠٠) مما يدل على أنها معاملات دالة إحصائية لبناء نموذج التنبؤ بالموجات والتطرفات الباردة في منطقة مكة المكرمة (انظر جدول ٦).
- وبناءً على جميع المخرجات السابقة فإن صيغة معادلة التنبؤ بالموجات والتطرفات الباردة في منطقة مكة المكرمة ستكون كالتالي:
- $$\text{س} = -٢٨,٤٠٤ + (١م \times ٠,٣١٨) + (٢م \times ٠,٠٥٩) + (٣م \times ٠,٠١٢) + (٤م \times ٠,٠٢٠) + (٥م \times ٠,٠١٢) + (٦م \times ٠,٠٣٥) + (٧م \times ٠,٠٩٩).$$
- أي: أن حدوث الموجات والتطرفات الحارة في منطقة مكة المكرمة، أو ارتفاع درجات الحرارة القصوى في منطقة الدراسة = -٢٨,٤٠٤ + (٠,٣١٨ X متوسط سرعة الرياح) + (٠,٠٥٩ X الضغط الجوي عند مستوى المحطة) + (٠,٠١٢ X الضغط الجوي عند مستوى البحر) + (٠,٠٢٠ X الرطوبة النسبية القصوى) + (٠,٠١٢ X الرطوبة النسبية الدنيا) + (٠,٠٣٥ X الرطوبة النسبية الوسطى) + (٠,٠٩٩ X التغميم).



جدول (٥) تحليل علاقة خط الانحدار Regression بين درجة الحرارة الذُّنيا والعناصر الطقسية المصاحبة لأيام الموجات والتطرفات الحارة، وتحليل التباين بمنطقة مكة المكرمة. "بمستوى دلالة ٠,٠٠٥".

Sig F مستوى الدلالة ف	F قيمة ف	Durbin- Watson اختبار DW	Std Error of Estimate خطا التقدير	Adjusted R Square معامل التحديد المعدل	R ² معامل التحديد	R الارتباط
٠,٠٠٠٠	٣٨٢٨,٩٠	٠,٨٣٠	٢,١٥٦١	٠,٧٩٩	٠,٧٩٩	٠,٨٩٤

عمل الباحثة - مصدر البيانات: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد وحماية البيئة، مجموعة التقارير المناخية للفترة ١٩٨٥-٢٠١٩م

ثانياً: التوزيعات التكرارية باستخدام دالات الاحتمالية لفترات الرجوع لأيام الموجات والتطرفات الحرارية الحارة والباردة بمنطقة مكة المكرمة. Return Period:

تُعدُّ فترات الرجوع إحدى الأساليب التحليلية المستخدمة في تقدير احتمالية الفترة الزمنية اللازمة لتكرار أحداث طبيعية معينة كالفيضانات والزلازل والتطرفات المناخية. كما يمكن تعريفها بأنها عمليات حسابية لتقدير عدد السنوات اللازمة لتكرار قيمة معينة، أو ظاهرة معينة. وفي الغالب يستخدم تحليل فترات الرجوع في مجال الدراسات المائية والأمطار؛ لأنه أسلوب مهم جداً لتصميم السدود والخزانات المائية وشبكات المجاري. وقد استخدم أسلوب فترات الرجوع في العديد من الدراسات المناخية، خاصةً في تقدير احتمالية حدوث الظواهر المناخية المتطرفة كالموجات الحرارية، (Vezzoli, R, Mercogolino, P, Pecora, S, 2012). ومن هنا بدأ للباحثة أن تطبقه، في الدراسة الحالية، أملاً في أن يُستفاد من نتائجه في شتى مجالات التنمية وإدارة وصيانة المشاريع، خاصةً تلك التي تتعلق بشؤون الحج والعمرة، وتوفير الخدمات اللازمة لحجاج بيت الله الحرام.



جدول (٦) قيم معاملات علاقة خط الانحدار العلاقة الاعتمادية لمتغير درجة الحرارة الدُّنيا بالمتغيرات المستقلة بمنطقة مكة المكرمة. "بمستوى دلالة ٠,٠٠٥"

المتغير المعتمد	المتغيرات المستقلة	معاملات التحديد بيتا B	معاملات التحديد المعدلة بيتا	الخطأ المعياري للتقدير	t قيمة ت	Sig t مستوى الدلالة ت
درجة الحرارة الدنيا	ثابت الانحدار	-٢٨,٤٠٤	-	٢,٢٥٥	-١٢,٥٩٣	٠,٠٠٠
	متوسط سرعة الرياح	-٠,٣١٨	-٠,١٩٤	٠,٠٠٩	-٣٥,٢٢٤	٠,٠٠٠
	الضغط الجوي عند مستوى المحطة	٠,٠٥٩	٠,٨٥٩	٠,٠٠٠	١٤٧,٧٦٩	٠,٠٠٠
	الضغط الجوي عند سطح البحر	-٠,٠١٢	-٠,٠٢٩	٠,٠٠٢	-٥,١٥٧	٠,٠٠٠
	الرطوبة النسبية القصوى	-٠,٠٢٠	-٠,٠٥٤	٠,٠٠٤	-٤,٨٦٣	٠,٠٠٠
	الرطوبة النسبية الدنيا	-٠,٠١٢	-٠,٠٢٦	٠,٠٠٣	-٤,٠٥٣	٠,٠٠٠
	الرطوبة النسبية الوسطى	٠,٠٣٥	٠,٠٨٦	٠,٠٠٥	٧,١٤٠	٠,٠٠٠
	التغيم	٠,٠٩٩	٠,٠٣١	٠,٠١٨	٥,٣٩٦	٠,٠٠٠

عمل الباحثة - مصدر البيانات: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد مجموعة التقارير المناخية، للفترة ١٩٨٥- ٢٠١٩م



أ. فترات رجوع أيام الموجات والتطرفات الحرارية الحارة:

عمدت الباحثة إلى اتباع هذا الأسلوب لتقدير احتمالات حدوث الموجات والتطرفات الحرارية اليومية الحارة والباردة في منطقة الدراسة، ولتقدير فترات الرجوع لأيام الموجات الحرارية، وأيام التطرفات اليومية الفردية بمنطقة مكة ككل. وتم الاعتماد في ذلك على المعادلتين الآتيتين كما أوردهما أبو حسين (٢٠٠١م):

المعادلة الأولى:

$$ح = 1 - (1 + ن) / م$$

حيث إن: -

ح = احتمال رجوع عدد الموجات، الأيام الحارة.

م = الرتبة لعدد الأيام في السنة المطلوب حساب فترة الرجوع لها.

ن = قيمة أكبر رتبة.

المعادلة الثانية:

$$ز = 1 / ح$$

حيث إن: -

ز = الزمن المتوقع للرجوع هذا العدد من الموجات، أو الأيام.

ح = احتمال الحدوث من المعادلة الأولى.

بتفحص نتائج الجدول رقم (٧) فترات رجوع أيام التطرفات الحارة بمنطقة مكة المكرمة يتبين أن احتمالية تكرار حدوث ١١١ يومًا إلى ٢١١ يومًا من التطرفات الحارة يصل إلى سنة واحدة باحتمالية تتراوح ما بين ٩٧٪ إلى ٦٩٪، واحتمالية حدوث ٢١٤ إلى ٢٣٤ يومًا حارًا في المنطقة يستغرق سنتين بنسب مئوية تتراوح ما بين ٦٧٪ إلى ٤٤٪، وبالنسبة لاحتمالية تكرار ٢٤٢ يومًا إلى ٢٥٠ من التطرفات الحارة يستغرق ثلاث سنوات بنسب مئوية تتراوح ما بين ٤٢٪ و ٣٣٪. وتتناقص احتمالية تكرار ٢٥٧ يومًا إلى ٢٧٠ يومًا حارًا خلال أربع سنوات من ٣١٪ إلى ٢٥٪، وهكذا، كلما ازداد عدد الأيام المتطرفة ازدادت قيمة فترة الرجوع وانخفضت احتمالية تكرارها مرة أخرى. وكما يتبين من الجدول أن احتمالية رجوع عدد ٢٩٣ يومًا حارًا خلال عام واحد كما حدث خلال عام ٢٠٠٢م، يستغرق ٣٥ عامًا بنسبة مئوية فُدرت بـ ٦٪. (انظر الشكل ٤).



ب. فترات رجوع أيام الموجات والتطرفات الحرارية الباردة:

يظهر الجدول رقم (٨) فترات رجوع أيام التطرفات الباردة بمنطقة مكة المكرمة أنّ عدد أيام التطرفات الباردة التي يمكن تكرارها خلال سنة واحدة يتراوح ما بين ٨٣ يوماً إلى ١٧٢ يوماً، وقُدِّرَت احتماليّة حدوثها بنسبٍ مئوية تتراوح بين ٩٧٪ و ٦٩٪. وتراوح عدد الأيام الباردة التي يمكن تكرارها خلال عامين بين ١٧٣ يوماً و ٢١٤ يوماً، وقدرت احتماليّة تكرار هذه الأيام بنسب تراوحت بين ٦٧٪ و ٤٢٪. وازداد عدد الأيام الباردة التي قد تحدث خلال ثلاث سنوات، حيثُ تراوحت أعدادها بين ٢١٥ يوماً و ٢١٨ يوماً، باحتمالية لم تتجاوز ٣٦٪ فقط. وتراوحت أعداد الأيام المتطرفة الباردة التي يتوقّع رجوعها خلال فترة زمنية بين ٤ و ١٨ سنة، من ٢٢١ يوماً إلى ٢٧٠ يوماً بنسب بين ٢٨٪ و ٦٪. وتمتد فترة رجوع ٣٢٦ يوماً بارداً، كما حدث في عام ١٩٩٢م، إلى ٣٦ عاماً بنسبة مئوية ضئيلة جداً قُدِّرَت بنحو ٣٪ فقط. (انظر الشكل ٥).

ثالثاً. الدورات الزمنية للموجات الحرارية الحارة والباردة بمنطقة مكة المكرمة Time Cycles:

تُعدُّ ظاهرة الموجات والتطرفات الحرارية من أكثر ظواهر التطرف المناخيّ تكراراً. وأثبتت الدراسات المناخية المتعلقة بموضوع التغير المناخيّ، أنّ التكرار في حدوث الحالات المناخية والطقسية المتطرفة يؤدي حتماً إلى حدوث تقلبٍ مناخيّ. وقد أجمع علماء المناخ على أنّ التقلبات والتذبذبات المناخية قد تُحدث تغييرات في مكونات النظام المناخيّ العالميّ. (صيام، ٢٠١٤م، ص ٣٥) لذلك أصبح من الضروريّ التعرف على الحالات الطقسية والمناخية المتطرفة، وتصنيفها على أساس أوقات حدوثها وتكرارها، ومحاولة اكتشاف إن كانت تحدث بشكلٍ دوريّ أم عشوائيّ. ويُعدُّ تطبيق أسلوب الارتباط البسيط Pearson على المتوسطات المتحركة Moving Average من الطرق المهمة المستخدمة لاكتشاف دوراتٍ زمنيةٍ محددةٍ لمعرفة حجم التغيرات التي تطرأ على الظاهرة، ومقدار اتجاهها، وفهم سلوكها وطبيعتها. (أبو حسين، ٢٠٠١م، ص ١٥٠). وقد تمَّ تطبيق هذه الطريقة على الموجات الحرارية الحارة والباردة التي حدثت بمنطقة مكة المكرمة، وذلك للتأكد ما إذا كانت ظاهرة موجات الحرارة في منطقة مكة ظاهرةً دوريةً أم هي حالةٌ مناخيةٌ عشوائيةٌ تحدث كلّ عدة سنواتٍ. ولتحقيق ذلك الهدف تمَّ إجراء الارتباط البسيط Pearson، كما أورد نهجه الخطيب (٢٠٠٦م)، بين القيم الفعلية لتكرار الموجات الحرارية السنوية كمتغيرٍ معتمدٍ والمتوسطات المتحركة الناتجة عن تكرار الموجات الحرارية لفترة سنتين، وأربع سنواتٍ، وست سنواتٍ كمتغيراتٍ مستقلةٍ. وكذلك طُبِّق الأسلوب على العدد الفعليّ لأيام الموجات الحرارية السنوية كمتغيرٍ معتمدٍ، والمتوسطات المتحركة لفترة سنتين، وأربع



سنواتٍ، وست سنواتٍ الناتجة عن تكرار العدد الفعليّ لأيام الموجات الحرارية السنويّة كمتغيراتٍ مستقلةٍ. بعد أن تمّ إجراء الارتباط البسيط وحساب معامل بيرسون للمتغيرات التي تتكون منها الموجات الحراريّة الحارة والباردة وهي: عدد الموجات الحراريّة السنويّة الحارة والباردة، ومتغير عدد الأيام السنويّة للموجات الحارة والباردة كمتغيراتٍ معتمدةٍ. والمتغيرات المستقلة، وهي: المتوسطات المتحركة لسنتين وأربعة سنواتٍ، وستة سنواتٍ لكلّ من عدد الموجات، وعدد أيامها كلّ على حدة. فقد تمّ التوصل إلى ما يأتي:

- إنّ أقوى قيمة معامل ارتباط ثنائي لكل من الموجات الحراريّة الحارة والموجات الحراريّة الباردة لكلا المتغيرين، عدد الموجات الحارة وعدد أيامها، كان لمتغير المتوسطات المتحركة على مستوى سنتين. فكما يتضح من الجدول رقم (٩) فإنّ أعلى قيم لمعاملات الارتباط البسيط وهي: (R) و (R^2) و $(Adj R^2)$ كانت بين عدد تكرار الموجات السنويّة في المنطقة ومتغير الدورة الزمنيّة مقدار سنتين.

- إنّ أقل قيمة لمعلم الخطأ المعياريّ للتقدير لكل متغيرات الموجات حارةً وباردةً، سواء عدد الموجات، أو عدد أيامها، كانت للدورة الزمنيّة مقدار سنتين.

- وبالنسبة للمعالم الإحصائيّة الأخرى كمعلم الخطأ المعياريّ للتقدير وقيم معامل (F) ف، وقيم مستوى المعنويّة لقيمة (F) ف لجميع الموجات الحارة والباردة وعدد أيامها، ستكون المفاضلة لصالح الدورة الزمنيّة مقدار سنتين.

- وبناءً على النتائج السابقة نستنتج أنّ حدوث الموجات الحراريّة الحارة والباردة في منطقة مكة المكرمة يخضع لدورة زمنيّة قصيرةٍ مقدارها سنتان.



جدول (٧) فترات رجوع أيام التطرف الحراري الحارة بمنطقة مكة المكرمة

فترة الرجوع سنة	الاحتمالية %	أيام الموجات والتطرفات	الرتبة	فترة الرجوع سنة	الاحتمالية %	أيام الموجات والتطرفات	الرتبة
٢	٠,٤٧	٢٣٠	١٨	١	٠,٩٧	١١١	١
٢	٠,٤٤	٢٣٤	١٩	١	٠,٩٤	١١٧	٢
٣	٠,٤٢	٢٤٢	٢٠	١	٠,٩٢	١٢٧	٣
٣	٠,٣٩	٢٤٣	٢١	١	٠,٨٩	١٢٩	٤
٣	٠,٣٦	٢٤٨	٢٢	١	٠,٨٦	١٥٥	٥
٣	٠,٣٣	٢٥٠	٢٣	١	٠,٨٣	١٨٨	٦
٤	٠,٣١	٢٥٧	٢٤	١	٠,٨١	١٩٠	٧
٤	٠,٢٨	٢٦٨	٢٥	١	٠,٧٨	١٩٦	٨
٤	٠,٢٥	٢٧٠	٢٦	١	٠,٧٥	١٩٩	٩
٥	٠,٢٢	٢٧١	٢٧	١	٠,٧٢	٢٠٩	١٠
٦	٠,١٩	٢٧٥	٢٨	١	٠,٦٩	٢١١	١١
٧	٠,١٧	٢٧٨	٢٩	٢	٠,٦٧	٢١٤	١٢
٩	٠,١٤	٢٧٩	٣٠	٢	٠,٦٤	٢١٥	١٣
١٢	٠,١١	٢٨٠	٣١	٢	٠,٦١	٢١٦	١٤
١٨	٠,٠٨	٢٨٤	٣٢	٢	٠,٥٨	٢١٧	١٥
٣٥	٠,٠٦	٢٩٣	٣٣	٢	٠,٥٦	٢٢٢	١٦
				٢	٠,٥٠	٢٢٤	١٧

عمل الباحثة - مصدر البيانات: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد مجموعة التقارير المناخية، للفترة ١٩٨٥- ٢٠١٩م



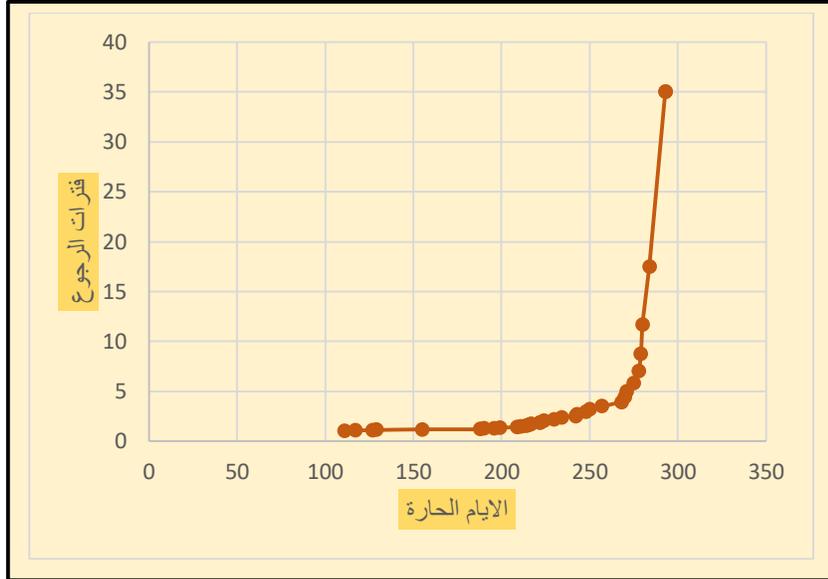
جدول (٨) فترات رجوع أيام التطرفات الحرارية الباردة بمنطقة مكة المكرمة.

الرتبة	عدد أيام الموجات والتطرفات	الاحتمالية %	فترة الرجوع سنة	الرتبة	عدد أيام الموجات والتطرفات	الاحتمالية %	فترة الرجوع سنة
١	٨٣	٠,٩٧	١	١٧	٢٠٦	٠,٤٤	٢
٢	٨٧	٠,٩٤	١	١٨	٢١٤	٠,٤٢	٢
٣	٨٩	٠,٩٢	١	١٩	٢١٥	٠,٣٦	٣
٤	١٣٣	٠,٨٣	١	٢٠	٢١٦	٠,٣٣	٣
٥	١٤٧	٠,٨١	١	٢١	٢١٨	٠,٣١	٣
٦	١٦١	٠,٧٨	١	٢٢	٢٢١	٠,٢٨	٤
٧	١٦٩	٠,٧٥	١	٢٣	٢٢٦	٠,٢٥	٤
٨	١٧١	٠,٧٢	١	٢٤	٢٣٤	٠,٢٢	٥
٩	١٧٢	٠,٦٩	١	٢٥	٢٤٢	٠,١٩	٥
١٠	١٧٣	٠,٦٧	٢	٢٦	٢٤٤	٠,١٧	٦
١١	١٨٣	٠,٦٤	٢	٢٧	٢٥٠	٠,١٤	٧
١٢	١٨٩	٠,٦١	٢	٢٨	٢٥٤	٠,١١	٩
١٣	١٩٥	٠,٥٨	٢	٢٩	٢٦٦	٠,٠٨	١٢
١٤	١٩٨	٠,٥٦	٢	٣٠	٢٧١	٠,٠٦	١٨
١٥	٢٠٢	٠,٥٣	٢	٣١	٣٢٦	٠,٠٣	٣٥
١٦	٢٠٥	٠,٤٧	٢				

عمل الباحثة - مصدر البيانات: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد مجموعة التقارير المناخية، للفترة ١٩٨٥- ٢٠١٩م



شكل (٢) فترات الرجوع أيام التطرفات الحرارية الحارة بمنطقة مكة المكرمة





جدول (٩) تحليل الانحدار البسيط للمتوسطات المتحركة لمتغيرات الموجات الحرارية الحارة والباردة وتحليل التباين بمنطقة مكة المكرمة. "بمستوى دلالة" ٠,٠٥

الموجات الحرارية الحارة									
المتغير	الدورة الزمنية	قيمة (a) الثابت	قيمة معامل (b)	قيمة الارتباط (R)	قيمة معامل التحديد (R ²)	قيمة معامل التحديد المعدل- مقدار التفسير Adjusted R (Square)	قيمة خطأ التقدير (Std Error of the Estimate)	قيمة ف (F)	دلالة ف (Sig- F)
عدد الموجات السنوية	٢	-٠,١٦٢	٠,٩٩٧	٠,٨٦٦	٠,٧٥٠	٠,٧٤٧	٢,٠٣٩	٣٠٥,٦٧٩	٠,٠٠٠
	٤	٠,٢٩٦	٠,٩٤٨	٠,٧٢٧	٠,٥٢٨	٠,٥٢٣	٢,٨٢٤	١١١,٨٣٨	٠,٠٠٠
	٦	٠,٦٢٠	٠,٩٠٤	٠,٦٦٥	٠,٤٤٢	٠,٤٣٧	٣,٠٢١	٧٧,٧٨٣	٠,٠٠٠
عدد أيام الموجات	٢	-٠,٠٧٢	١,٠٠٤	٠,٩٤٢	٠,٨٨٨	٠,٨٨٧	١١,٦٥٦	٨١٠,٨٥٦	٠,٠٠٠
	٤	١,١٤٦	٠,٩٩٥	٠,٨٧٠	٠,٧٥٧	٠,٧٥٥	١٧,٣٢٩	٣١١,٧٣٨	٠,٠٠٠
	٦	١,٣٥٣	٠,٩٩٤	٠,٨٢٦	٠,٦٨٢	٠,٦٧٩	١٩,٩٥٤	٢١٠,٢٤٠	٠,٠٠٠
الموجات الحرارية الباردة									
المتغير	الدورة الزمنية	قيمة (a) الثابت	قيمة معامل (b)	قيمة الارتباط (R)	قيمة معامل التحديد (R ²)	قيمة معامل التحديد المعدل- مقدار التفسير Adjusted R (Square)	قيمة خطأ التقدير (Std Error of the Estimate)	قيمة ف (F)	دلالة ف (Sig- F)
عدد الموجات السنوية	٢	-٠,١٦٤	٠,٩٨٥	٠,٨٨٦	٠,٧٨٥	٠,٧٨٢	١,٠٧٧	٣٧١,٣٩٣	٠,٠٠٠
	٤	٠,١٢٣	٠,٩٤٧	٠,٨٠٧	٠,٦٥١	٠,٦٤٧	١,٣٨١	١٨٦,٢٢١	٠,٠٠٠
	٦	٠,٢٢٧	٠,٩٢٩	٠,٧٣٩	٠,٥٤٥	٠,٥٤١	١,٥٩٠	١١٧,٥٨١	٠,٠٠٠
عدد أيام الموجات	٢	-٠,٢٠٠	٠,٩٩٧	٠,٩١٤	٠,٨٣٥	٠,٨٣٤	١٠,٠٤٥	٥١٨,٠٥٢	٠,٠٠٠
	٤	٠,١٥٠	٠,٩٨٦	٠,٨٥٠	٠,٧٢٣	٠,٧٢٠	١٣,٠٨٠	٢٦١,٠١٦	٠,٠٠٠
	٦	١,٦٩٥	٠,٩٤٤	٠,٧٨٩	٠,٦٢٢	٠,٦١٨	١٥,١٤٦	١٦١,١٨١	٠,٠٠٠

عمل الباحثة - مصدر البيانات: وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني للأرصاد مجموعة التقارير المناخية، للفترة ١٩٨٥ - ٢٠١٩م



رابعًا. التنبؤ باتجاهات الحرارة، والموجات الحراريّة وفقًا للسيناريو والنموذج المناخيّ المختار بمنطقة مكة المكرمة.

أ. الاتجاهات والتغيرات المستقبلية المحتملة لدرجات الحرارة والعناصر المناخية.

أكدت العديد من المنظمات والهيئات الدوليّة المعنية بدراسة التغيرات المناخية، بأنّ هناك ارتفاعًا في درجات حرارة كوكب الأرض، مرتبطًا بزيادة انبعاث غازات الاحتباس الحراريّ، أو الغازات الدفيئة التي أهمها غاز ثاني أكسيد الكربون. كما أكّد علماء المناخ على أنّ هذا الارتفاع في درجات حرارة الأرض قد نتج عنه العديد من الظواهر المناخية السلبية كظاهرة الموجات والتطرفات الحراريّة. وعلى العموم، فإنّ الارتفاع في درجات حرارة الأرض وما يترتب عليها من ظواهر وتغيرات مناخية قد يؤدي إلى حدوث أضرارٍ وكوارث عالميّة على الإنسان والبيئة. لذلك فقد عملت العديد من المؤسسات والمنظمات الدوليّة كالهيئة الدوليّة المعنية بالتغيرات المناخية IPCC ومركز هادلي للتنبؤ والبحوث المناخية Hadley Center for Climate Prediction and Research بالتعاون مع الباحثين في مجال المناخ والبيئة، على بناء نماذج مناخية متطورة تمثل بشكلٍ علميٍّ دقيقٍ المخرجات المناخية التي تترتب على ارتفاع نسبة الغازات الدفيئة في المستقبل. وذلك بغرض تقويم الاتجاهات والتغيرات المستقبلية المحتملة ومعرفة حجم التغيرات المستقبلية لدرجات الحرارة والعناصر المناخية الأخرى.

وللحصول على توقعات عالية الدقة عن المناخ المستقبليّ، فقد عملت المنظمات والهيئات الدوليّة المهمة بموضوع التغير المناخيّ على تطوير النماذج المناخية العالمية بإضافة بعض الأدوات التي توفر معلومات مكانية ذات دقة عالية تصل إلى 1 كم تقريبًا. ويطلق على هذه النماذج المناخية ذات الدقة المكانية العالية النماذج المناخية الإقليمية Local Climate Models؛ حيثُ يفضل الاعتماد عليها لأجراء الدراسات المناخية التطبيقية المحليّة أو الإقليمية. يعود السبب في أفضلية استخدام النماذج المناخية الإقليمية إلى أنّها تأخذ في الاعتبار التفاصيل المكانية المؤثرة في المناخ المحليّ، أو الإقليميّ، مثل طبوغرافية المكان وأنماط استخدام الأرض. (البديري، 2021م، ص 445).

وقبل الخوض في مسألة التنبؤات والنماذج المناخية المستقبلية، لا بدّ أولاً أنّ نعرف بعض المصطلحات، والأدوات المستخدمة ضمن إطار التغيرات والتوقعات المناخية المستقبلية. والتي من أهمها:



١-التقديرات المناخية Climate Projection: وهي كما عرفتها الهيئة الدولية للمناخ (IPCC) إسقاطاتٌ لاستجابة النظام المناخيّ لسيناريو انبعاثات غازات الاحتباس الحراريّ في المستقبل. وتعتمد التقديرات المناخية على المحاكاة بواسطة النماذج المناخية.

٢-التنبؤات المناخية Climate Forecast: تُعرف التنبؤات، أو التوقعات المناخية بأنها محاولة لتقدير مناخ المستقبل، وفقاً لظروف تطور النظام المناخيّ مستقبلاً.

٣- النموذج المناخيّ Climate Model وهو عبارة عن تمثيل عدديّ للنظام المناخيّ يستند على قوانين فيزيائية وكيميائية وبيولوجية. وتستخدم النماذج المناخية لأغراض عديدة منها: الحصول على تنبؤاتٍ وتوقعاتٍ لمناخ المستقبل، وتقويم آثار التغيرات المناخية المتوقعة التي تتطلب من المؤسسات الدولية ومن صناع القرار وضع سياسات وخطط مستقبلية ملائمة للتكيف مع قضية التغير المناخيّ، ومشكلة الاحتراز العالميّ.

٤- سيناريو المناخ Climate Scenario عبارة عن وصف وتصور لتوقعات المناخ المستقبليّ وفقاً لمجموعة من العلاقات المناخية. وقد وضعت الهيئة الدولية المعنية بالتغيرات المناخية (IPCC) أربع سيناريوهات محتملة لمناخ المستقبل. وتمّ تصنيف هذه السيناريوهات الأربع على أساس مستوى تركيز انبعاثات غازات الاحتباس الحراريّ مع الأخذ في الاعتبار أيضاً مجموعة متجانسة من الافتراضات المتصلة بالتطورات الاجتماعية والاقتصادية. وهذه السيناريوهات، والتي يمكن تعريفها بمجملتها بـ سيناريو الانبعاثات Emission Scenario هي:

- سيناريو الانبعاثات المنخفضة RCPs 2.5: ويُعدّ من أفضل السيناريوهات هو سيناريو مخفّف ينخفض فيه انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون.
- سيناريو الانبعاثات المستقرة RCPs 4.5: وهو سيناريو معتدل، وفيه تتأرجح انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون حول مستوياتها الحالية.
- سيناريو الانبعاثات المتوسطة RCPs 6.5: وفي هذا السيناريو تتزايد فيه انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون لضعفيّ المستويات الحالية.
- الانبعاثات المرتفع RCPs 8.5: وهذا سيناريو الحالات الأسوأ، الذي يجب على العالم تحاشيه. وفيه ترتفع مستويات انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون بشكلٍ كبيرٍ.



ب. التغيرات المستقبلية لدرجات الحرارة والتنبؤ باتجاهاتها بمنطقة مكة المكرمة:

بناءً على ما تقدّم عن موضوع التطرفات والموجات الحرارية، وعن إسناد هذه الظاهرة إلى مشكلة التغير المناخي والاحترار العالمي، (Schiermeier,Q,2018) فقد عمدت الباحثة إلى تقويم التغيرات المستقبلية لدرجات الحرارة، والتنبؤ باتجاهاتها المستقبلية بمنطقة مكة المكرمة، بتطبيق أسلوب التوقعات والإسقاطات المناخية المستقبلية الذي يُعدُّ أسلوبًا مقبولًا ومأخوذًا به في المجالات المناخية والطقسية. وقد اعتمدت على البيانات المستمدة من النموذج المناخي الإقليمي التابع لمركز هادلي البريطاني (MOHC)، والمأخوذ من مشروع النطاقات الإقليمية المنسقة (CORDEX). وقد استندت التوقعات المناخية لهذه الدراسة على السيناريو المعتدل، أو سيناريو الانبعاثات المستقرة RCP4.5 لفترة مستقبلية تمتد من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م. وذلك لتقديم تقويم مكاني وزماني لاتجاهات درجات الحرارة القصوى والدنيا المستقبلية، والتنبؤ بعدد الموجات الحرارية المستقبلية بمحطات منطقة الدراسة. وهكذا سيكون النموذج المناخي المستخدم للتنبؤ بمستقبل اتجاهات الحرارة وعدد الموجات والتطرفات الحرارية المستقبلية هو: HadGEM2-ES-rcp4.5.

وقد تمَّ اختيار النموذج المناخي الإقليمي التابع لمركز هادلي البريطاني من بين النماذج المناخية التابعة للبرنامج العالمي لبحوث المناخ؛ لأنه الأكثر شيوعًا واستخدامًا في منطقة الشرق الأوسط، وشمال إفريقيا لجودة نتائجه المجربة، إذ وجد أنَّ تقديراته لقيم درجات الحرارة قريبةً إلى حدِّ كبيرٍ من القراءات الفعلية مقارنةً بتقديرات النماذج الأخرى. وقد تمَّ اختيار الباحثة لسيناريو الانبعاثات المستقرة RCPs 4.5 كذلك؛ لأنه سيناريو معتدل، ويتميز بأنَّ تركيزات الغازات الدفيئة فيه تماثل مستواها الحالي. وفيما يلي سيتم استعراض اتجاهات درجات الحرارة القصوى والدنيا وفقًا للإسقاطات المستقبلية:

١. الاتجاه والتغير لدرجات الحرارة القصوى المستقبلية:

• الاتجاه والتغير لدرجات الحرارة القصوى المستقبلية على المستوى الشهري:

يتبين من الجدول (١١) أنَّ الاتجاهات الشهرية المستقبلية لدرجات الحرارة القصوى للفترة ما بين ٢٠٢٠م و٢٠٣٠م، تتباين ما بين اتجاهات موجبة، واتجاهات سالبة لجميع محطات الدراسة. فقد سجل شهر مايو اتجاهًا موجبًا يشير نحو الارتفاع لكلِّ المواقع المختارة في الدراسة، حيث بلغت قيم معاملات التغير وفقًا للنموذج المناخي (HadGEM2-ES-rcp4.5) في محطة مكة ٠,١٣٩ م، وفي محطة جدة ٠,١٠١ م، وفي محطة الطائف ٠,١٨٣ م. وعليه تمَّ تقدير قيم معدلات التغير الكلي المتوقعة لشهر مايو



خلال الفترة المستقبلية في محطات الدراسة كالتالي: ٣,٩٢ ٪ في مكة المكرمة، و١,٩٣ ٪ في جدة، و٦ ٪ في الطائف.

وبالنسبة لشهر يونيو فمن المتوقع أن تكون اتجاهات درجات الحرارة القصوى خلاله ذات اتجاه سالب في جميع المحطات، ولكن، وكما يتضح من الجدول (١١) فإن قيم معاملات التغير ضئيلة جداً خاصة في محطة مكة المكرمة. وتتراوح قيم معدلات التغير الكلي المتوقعة لهذه الفترة ما بين ١ ٪ تقريباً في مكة المكرمة، و٢ ٪ تقريباً لكل من محطتي جدة والطائف.

وبناءً على التقديرات المستقبلية لدرجات الحرارة اليومية القصوى خلال شهر أغسطس، فإن اتجاهاتها ستكون سالبة في محطتي مكة المكرمة والطائف وموجبة في محطة جدة. أما عن قيم معاملات اتجاهات التغير، ومعاملات معدلات التغير الكلي فهي كالتالي: معامل التغير ٠,٠٠٧ م، ومعدل التغير الكلي ٠,٢ ٪ بالسالب في محطة مكة المكرمة. ومعامل تغير ٠,٠٠٣ م، بمعدل تغير كلي قدره ٠,٠١ ٪ بالموجب في جدة. ومعامل التغير في الطائف قدر بنحو ٠,١٠٦ م، وبمعدل تغير كلي ذا قيمة كبيرة نسبياً قدره ٣,٤ ٪ بالسالب.

وتشير اتجاهات درجات الحرارة القصوى المتوقعة للإحدى عشرة سنة المستقبلية، صوب التصاعد والزيادة لكل محطات الدراسة. فقد تراوحت قيم معاملات اتجاهات التغير في محطات الدراسة ما بين ٠,٣٤ م في جدة، و٠,٧٥ م في الطائف. وبلغت قيم معدلات التغير الكلي في محطات الدراسة كما يلي: ١,٩٣ ٪ بمكة المكرمة، و٠,٩٣ ٪ بجدة، و٢,٤٥ ٪ بالطائف. وهكذا تكون محطة الطائف قد سجلت أعلى قيم متوقعة لمعاملات التغير خلال شهر سبتمبر. وتشير توقعات النموذج المستخدم أيضاً إلى أن اتجاهات الحرارة القصوى لشهر أكتوبر ستكون موجبة في جميع محطات الدراسة. وبقية ضئيلة لمعاملات اتجاهات التغير، لا تتخطى ٠,٠٦٤ م لمحطة الطائف. أما معدلات التغير الكلي فهي كالتالي: ١,٦٦٢ ٪ لمكة المكرمة، و٠,٧٥١ ٪ لجدة، و٢,٤٠٥ ٪ للطائف.

• الاتجاه والتغير لدرجات الحرارة القصوى المستقبلية على المستوى الفصلي (الفترة الحارة):

يتبين من الجدول (٩) والشكل (٤) أن اتجاهات الحرارة القصوى للفصل الحار للفترة المستقبلية (٢٠٢٠-٢٠٣٠م) تتجه صوب الارتفاع في جميع محطات منطقة الدراسة، وفقاً للنموذج البريطاني والسيناريو ٤,٥. وبناءً على التقديرات والتنبؤات المستقبلية للفترة الحارة من السنة، فإن معاملات اتجاهات التغير في محطات



الدراسة خلال قد سجلت القيم التالية: ٠,٠٤١م في محطة مكة المكرمة، و ٠,٠٣٢م في محطة جدة، و ٠,٠٤٦م في محطة الطائف. أمّا عن معدلات التغير الكليّ فقد بلغت ١٪ تقريباً لكلّ مواقع الدراسة، مما يعني أنّه سيكون هناك ارتفاع في درجات القصوى خلال الفصل الحارّ من السنة لفترة الإحدى عشر سنةً القادمة.

• التنبؤ بالموجات الحرارية الحارة لفترة (٢٠٢٠ - ٢٠٣٠م) وفقاً للإسقاطات المستقبلية:

يتضح من الجدول رقم (١٠) الذي يوضح عدد تكرارات الموجات الحارة المتوقع حدوثها لفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م الي عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)، أنّ مجموع عدد الموجات الحارة المتوقع حدوثها في منطقة مكة المكرمة خلال الشهور الحارة سيكون ١٣٥ موجة حرّ. وقد قدر المتوسط السنويّ لهذه الموجات بـ ١٢ موجة حارة لكلّ عام، بانحرافٍ معياريّ قدره ٣ موجات. ويتبين من الجدول أيضاً أنّ سلوك توزيع الموجات الحارة في منطقة مكة سيستمر متفاوتاً، وغير منتظم للمستويين الزمانيّ والمكانيّ. وكما يتضح من التوقعات المستقبلية فإنّ عدد الموجات الحارة لمحطة مكة المكرمة للإحدى عشرة سنة القادمة سيصل مجموعها ٢٩ موجة حارة، بمتوسط سنويّ تمّ تقديره بـ ٣ موجاتٍ للسنة. وبالنسبة لعدد الموجات المتوقع لمحطتيّ جدة والطائف فقد تراوح ما بين ٥٠ موجةً في جدة، و ٥٦ موجةً في الطائف. وقدر المتوسط السنويّ للمحطتين بنحو ٥ موجات.

ويشير اتجاه التغير في حدوث الموجات الحارة مستقبلاً بمنطقة مكة المكرمة إلى الزيادة بمقدار ٠,١٠٩ (انظر الشكل ٤). وقيمة معدل التغير الكليّ بنحو ١٠٪ تقريباً.

جدول (١٠) عدد تكرارات الموجات الحارة المتوقع حدوثها لفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م

وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)

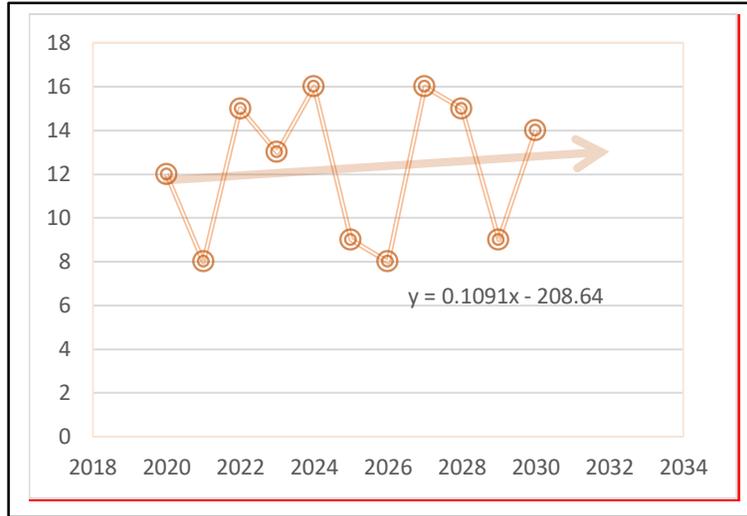
السنة لمحطة	مكة المكرمة	جدة	الطائف	المجموع	النسبة المئوية %
٢٠٢٠	٢	٤	٦	١٢	٩
٢٠٢١	٢	٢	٤	٨	٦



١١	١٥	٦	٦	٣	٢٠٢٢
١٠	١٣	٦	٤	٣	٢٠٢٣
١٢	١٦	٦	٧	٣	٢٠٢٤
٧	٩	٥	٤	٠	٢٠٢٥
٦	٩	٤	٣	١	٢٠٢٦
١٢	١٦	٦	٦	٤	٢٠٢٧
١١	١٥	٤	٦	٥	٢٠٢٨
٧	٩	٤	٣	٢	٢٠٢٩
١٠	١٤	٥	٥	٤	٢٠٣٠
		٥٦	٥٠	٢٩	المجموع
					متوسطات تكرار
%١٠٠	١٣٥	٥	٥	٣	موجات المحطات
٣	الانحراف المعياري	١٢		المتوسط السنوي لتكرارات الموجات على مستوى منطقة مكة المكرمة ككل	
		٠,١٠٩		معامل تغير الاتجاه	
		٠,٨٨٩		معدل التغير السنوي %	
		٩,٧٨٩		معدل التغير الكلي %	



شكل (٤) اتجاه تغير حدوث الموجات الحارة مستقبلاً بمنطقة مكة المكرمة وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)



عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

٢. الاتجاه والتغير لدرجات الحرارة الدُّنيا المستقبلية:

• الاتجاه والتغير لدرجات الحرارة الدُّنيا المستقبلية على المستوى الشهري:

يتضح من الجدول (١١) أنَّ الاتجاهات الشهرية المستقبلية لدرجات الحرارة الدُّنيا للشهور الباردة خلال الفترة ما بين ٢٠٢٠م إلى ٢٠٣٠م، قد تباينت ما بين اتجاهات موجبة، وأخرى سالبة في جميع محطات الدراسة. فقد أشارت اتجاهات الحرارة الدُّنيا المستقبلية لشهر نوفمبر لكافة محطات الدراسة صوب الارتفاع. وقدر معامل تغير الاتجاه في مكة المكرمة بنحو ٠,٠٤٣م، وفي جدة بنحو ٠,٠٧٠م، وأخيراً في الطائف بنحو ٠,٠٥٥م. وجاءت قيم معدلات التغير الكلي لهذا الشهر كالتالي: ٢,٥٪ في مكة، و٣,٧٪ في جدة، و٥,٣٪ في الطائف.

أمَّا شهر ديسمبر فكانت جميع اتجاهاته سالبة. وبلغت قيم معاملات التغير في محطات الدراسة -٠,٠٧٨م لمكة المكرمة، و-٠,٠٧٠م، لجدة، و-٠,١٧٩م للطائف. ولم تتعد معدلات التغير الكلي لاتجاهات الحرارة الدُّنيا لهذا الشهر ٥,٧٪ لكل من مكة المكرمة وجدة. أمَّا الطائف فقد بلغ معدّل التغير الكلي فيها ٢٥,٧٪.



وأشارت الاسقاطات المستقبلية إلى أن اتجاهات الحرارة الدُّنيا لشهر يناير في جميع محطات منطقة الدراسة ستكون اتجاهات سالبة، بمعاملات تغير كبيرة نسبياً، بلغت قيمته -١,٧٦م في كلٍّ من محطتي مكة المكرمة والطائف. أمّا عن قيمته في محطة جدة فقد بلغت -١,٥٢م. وتتميز معدلات التغير الكلي لهذا الشهر بأنَّ قيمها هي الأعلى على الاطلاق. فقد قدرت نسبها بنحو -١,٣٦٪ في مكة، وبنحو -١,٤٦٪ في جدة، وبنحو -٣,٥٪ في الطائف.

وفي شهر فبراير عادت اتجاهات الحرارة الدُّنيا صوب الارتفاع، حيثُ سجل هذا الشهر قيم معاملات تغير موجبة لكل مواقع الدراسة. فبلغت قيمة معامل التغير في مكة المكرمة ١,٠٤م، وبلغت في جدة ١,٢٢م، وبلغت في الطائف ١,٠٨٥م. وبالنسبة لمعدلات التغير الكلي فهي متفاوتة من محطة إلى أخرى، حيثُ بلغت أعلى نسبة مئوية لمعدل التغير الكلي في الطائف، وبالنسبة لأدنى نسبة مئوية لمعدل التغير الكلي كانت في جدة. وأظهرت تقديرات النموذج المناخي أنَّ اتجاه درجات الحرارة الدُّنيا لشهر مارس للإحدى عشرة سنة القادمة، ستكون موجبة أيضاً. و قدرت قيم معاملات التغير في مكة بنحو ١,١٦م، وفي جدة بنحو ١,٠٩٠م، وفي الطائف بنحو ١,٥٩م. أمّا نسب معدلات التغير الكلي فهي كالآتي: في مكة المكرمة ١,٣٪، وفي جدة ١,٦٪، وفي الطائف ١,٦٪.

وكما جاء في التقديرات المستقبلية لدرجات الحرارة اليومية الدُّنيا لشهر أبريل، فإنَّ اتجاهاتها ستكون سالبة في محطتي جدة والطائف وموجبة في محطة مكة المكرمة. وبالنسبة لقيم معاملات اتجاهات التغير ومعاملات معدلات التغير الكلي لهذا الشهر فهي كالآتي: معامل تغير ١,٠٤٩م، ومعدل تغير كلي ٢,٥٪ في محطة مكة المكرمة. ومعامل تغير -١,٢٨م، بمعدل تغير كلي قدره -١,٧٪ في جدة. ومعامل تغير في الطائف قدر بنحو -١,٠٨٥م، وبمعدل تغير كلي قدره -١,٤٪.

• الاتجاه والتغير لدرجات الحرارة الدنيا المستقبلية على المستوى الفصلي (الفترة الباردة):

يظهر الجدول (١١) أنَّ اتجاهات الحرارة الدُّنيا خلال الفصل البارد للفترة المتنبأ بها والممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م، قد اتسمت بأنها سالبة في جميع محطات الدراسة. كما أظهرت تقديرات النموذج المناخي (HadGEM2-ES-rcp4.5) أنَّ قيم معاملات اتجاهات التغير، ومعدلات التغير الكلي للفصل البارد في محطات الدراسة كالآتي: -١,٠١م لمعامل التغير، بمعدل تغير كلي قدره -١٪ تقريباً بمحطة مكة المكرمة. وبلغت قيمة معامل التغير -١,٠٣م في محطتي جدة والطائف، أمّا نسب معدلات التغير الكلي فقد تراوحت ما



بين ٢٪ و ٣٪ بالسالب لمحطتي جدة والطائف على التوالي. وتميل اتجاهات درجات الحرارة الدُّنيا في جميع محطات منطقة مكة المختارة صوب الانخفاض وفقاً للنموذج المناخي المختار، ولكن بقيم ضئيلة جداً. التنبؤ بالموجات الحرارية الباردة للفترة (٢٠٢٠ - ٢٠٣٠م) وفقاً للإسقاطات المستقبلية:

ووفقاً لإسقاطات النموذج المناخي (HadGEM2-ES-rcp4.5) فقد تمَّ تقدير عدد الموجات الحرارية الباردة، بنحو ٢١٥ موجةً باردةً على مستوى منطقة الدراسة للفترة الممتدة من ٢٠٢٠م إلى ٢٠٣٠م. وبلغ متوسط تكرار الموجات الباردة في المنطقة نحو ٢٠ موجةً بردياً للعام، كما قُدر الانحراف المعياري لمجموع الموجات بنحو ٢,٥ موجة بردي. ويبين الجدول رقم (١١) أنَّ مجموع تكرار موجات البرد خلال الفترة المتنبأ في محطة مكة المكرمة قد بلغ ٦٧ موجةً، بمتوسط حسابي قدره ٦ موجاتٍ لكلِّ عامٍ. وبلغ مجموع تكرار الموجات الباردة في جدة ٨٠ موجةً بردياً، بمتوسط ٧ موجاتٍ باردةً للعام. أمَّا الطائف فقد بلغ مجموع تكرار موجاتها ٦٨ موجةً بمتوسط ٦ موجاتٍ للعام، أيضاً.

وتتسم قيمة معامل تغير اتجاه الموجات الباردة في منطقة مكة المكرمة المستقبلية، بأنها قيمةٌ سالبةٌ قدرت بنحو -٠,٢٠ موجة بردي. انظر الشكل (٥). وقُدرت قيمة معدل التغير الكلي لموجات البرد في المنطقة بنحو ١١٪ تقريباً.

جدول (١١) عدد تكرارات الموجات الباردة المتوقع حدوثها للفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م

وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)

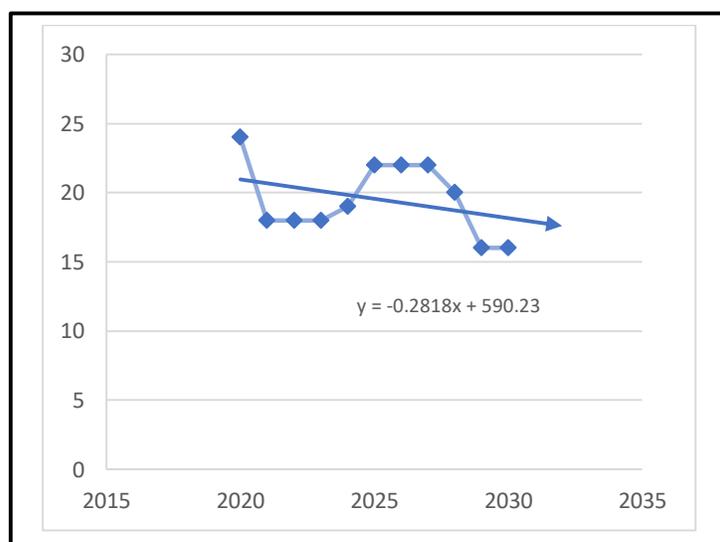
النسبة المئوية %	المجموع	الطائف	جدة	مكة المكرمة	المحطة السنة
١١	٢٤	٧	١٠	٧	٢٠٢٠
٨	١٨	٥	٨	٥	٢٠٢١
٨	١٨	٦	٧	٥	٢٠٢٢
٨	١٨	٤	٧	٧	٢٠٢٣
٩	١٩	٦	٦	٧	٢٠٢٤
١٠	٢٢	٨	٨	٦	٢٠٢٥
١٠	٢٢	٨	٧	٧	٢٠٢٦



١٠	٢٢	٩	٦	٧	٢٠٢٧
٩	٢٠	٦	٩	٥	٢٠٢٨
٧	١٦	٤	٧	٥	٢٠٢٩
٧	١٦	٥	٥	٦	٢٠٣٠
		٦٨	٨٠	٦٧	المجموع
%١٠٠	٢١٥	٦	٧	٦	متوسطات تكرار موجات المحطات
٢,٥	الانحراف المعياري	٢٠		المتوسط السنوي لتكرارات الموجات على مستوى منطقة مكة المكرمة ككل	
		٠,٢٠٢-		معامل تغير الاتجاه	
		١,٠٣٢-		معدل التغير السنوي %	
		١١,٣٥٧-		معدل التغير الكلي %	

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

شكل (٥) اتجاه تغير حدوث الموجات الباردة مستقبلاً بمنطقة مكة المكرمة وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)



المصدر: عمل الباحثة اعتماداً على بيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de



جدول (١٢) معامل الاتجاه العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة القصوى (م) بمحطة مكة المكرمة خلال الفترة المستقبلية الممتدة (٢٠٢٠-٢٠٣٠م) وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)

الشهر	مايو		يونية		يوليو		أغسطس		سبتمبر		أكتوبر	
	الانحراف	المتوسط										
٢٠٢٠	٠	٣٩,١	٠,١	٤١,٦	٠,١	٤٠,٥	٠,١	٣٩,٤	٠,١	٤٠,١	٠,١	٣٥,٦
٢٠٢١	٢,١	٣٧	٠,٦	٤٠,٩	٠,١	٤٠,٥	٠,٨	٤٠,١	٠,٧	٣٩,٢	٠,٧	٣٥,٥
٢٠٢٢	١,٥	٣٧,٦	٠,٣	٤١,٩	٠,٤	٤١	٠,١	٤٠,٣	٠,٢	٣٩,٨	٠,٣	٣٥,٩
٢٠٢٣	٠,٣	٣٩,٤	٠,٣	٤١,٨	٠,١	٤٠,٥	٠,٥	٣٩,٨	٠,٨	٣٩,٢	٠,٣	٣٦,٥
٢٠٢٤	٠,٩	٤٠	٠,٨	٤٢,٣	٠	٤٠,٥	٠,٦	٣٨,٧	٠,٣	٤٠,٣	٠,٧	٣٦,٩
٢٠٢٥	٠,٧	٣٩,٨	٠,٣	٤١,٩	٠,٧	٣٩,٩	٠,٢	٣٦,١	٠,٣	٣٩,٧	٠,٣	٣٦,٥
٢٠٢٦	١,٣	٤٠,٤	٠,٩	٤٠,٧	٠,١	٣٩,٦	٠,٩	٣٨,٥	٠,٧	٤٠,٧	٠	٣٦,٢
٢٠٢٧	٠,١	٣٩,٢	١,٨	٣٩,٧	١,٦	٤٢,١	٠,٢	٤١,٣	٠,٤	٤٠,٤	٠,٨	٣٧
٢٠٢٨	٠,٢	٣٩,٣	١,٢	٤٢,٨	٠,٣	٤٠,٩	٠,٦	٣٨,٨	٠,١	٣٩,٩	٠,١	٣٥,٢
٢٠٢٩	٠,٣	٣٩,٤	٠,٣	٤١,٩	٠,١	٣٩,٦	٠,٢	٣٩,٦	٠	٣٩,٩	٠,٢	٣٦,٤
٢٠٣٠	٠,١	٣٩,٢	٠,١	٤١,٤	٠,٧	٤١,٣	٠,٨	٤٠,١	٠,٥	٤٠,٤	٠,٢	٣٦,٤
المتوسط العام	-	٣٩,١	-	٤١,٥	-	٤٠,٦	-	٣٩,٣	-	٤٠	-	٣٦,٢

المصدر: عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

جدول (١٣) معامل الاتجاه العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة القصوى (م) بمحطة جدة خلال الفترة المستقبلية الممتدة (٢٠٢٠-٢٠٣٠م) وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)

الشهر	مايو		يونية		يوليو		أغسطس		سبتمبر		أكتوبر	
	الانحراف	المتوسط										
٢٠٢٠	٠,٢	٣٧,٩	٠,٣	٤٠,٨	٠,٤	٣٩,٦	٠,٢	٣٩,٦	٠,٦	٤٠,٣	٠,٥	٣٦,٤
٢٠٢١	١,٦	٣٦,٥	٠,٢	٤٠,٣	٠,٩	٣٩,١	٠,٤	٣٩,٨	٠,٨	٣٩	٠,٤	٣٦,٥
٢٠٢٢	١,٢	٣٦,٩	٠,٣	٤٠,٨	٠,٤	٤٠,٦	٠,٣	٣٩,٧	٠,٣	٣٩,٥	٠,٥	٣٦,٥



٠,٣	٣٧,٣	٠,٧-	٣٩	٠,٣	٣٩,٧	٠,٤	٤٠,٤	٠,٣	٤٠,٨	٠,١	٣٨,٢	٢٠٢٣
٠,٨	٣٧,٨	٠,٢	٣٩,٩	٠,٤-	٣٩	٠,٣-	٣٩,٧	١,١	٤١,٦	١,٢	٣٩,٢	٢٠٢٤
٠,٤	٣٧,٤	٠,٥-	٣٩,٢	١,٩-	٣٧,٥	٠,٣-	٣٩,٧	٠,٠	٤٠,٥	٠,٧	٣٨,٧	٢٠٢٥
٠,٢-	٣٦,٧	١,٣	٤١	٠,٢-	٣٩,٢	٠,٦-	٣٩,٤	١,٢-	٣٩,٣	١,١	٣٩,٢	٢٠٢٦
١,٣	٣٨,٣	٠,٥	٤٠,٢	١,٠	٤٠,٤	١,٠	٤١	١,٥-	٣٩	٠,٤-	٣٧,٧	٢٠٢٧
١,٢-	٣٥,٧	٠,١-	٣٩,٦	٠,٤-	٣٩	٠,٥	٤٠,٥	٠,٩	٤١,٤	٠,١-	٣٨	٢٠٢٨
٠,١-	٣٦,٩	٠,١-	٣٩,٦	٠,٠	٣٩,٣	٠,٨-	٣٩,٢	٠,٢	٤٠,٧	٠,١	٣٨,٢	٢٠٢٩
٠,٠	٣٦,٩	٠,٠	٣٩,٧	٠,٦	٤٠	٠,٩	٤٠,٩	٠,٠	٤٠,٥	٠,٢	٣٨,٣	٢٠٣٠
-	٣٦,٩	-	٣٩,٧	-	٣٩,٤	-	٤٠	-	٤٠,٥	-	٣٨,١	المتوسط العام

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

جدول (١٤) معامل الاتجاه العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة القصوى (م) بمحطة الطائف خلال الفترة

المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م الي عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)

الشهر	مايو		يونية		يوليو		أغسطس		سبتمبر		أكتوبر	
	الانحراف	المتوسط										
٢٠٢٠	٠,٦-	٣٢,٨	٠,٥	٣٦,٥	٠,٤	٣٦,٢	١,٥	٣٥,٥	٠,٤-	٣٣,٢	٠,٤-	٢٩,٢
٢٠٢١	١,٨-	٣١,٦	٠,٦-	٣٥,٤	١,٦-	٣٤,٢	٠,٧	٣٤,٨	٠,٣-	٣٣,٤	٠,٨-	٢٨,٦
٢٠٢٢	١,٣-	٣٢,١	٠,٢	٣٦,٢	٠,٤	٣٦,٢	١,٤	٣٥,٥	٠,٠	٣٣,٧	٠,٥-	٢٨,٩
٢٠٢٣	٠,٣-	٣٣,١	٠,٠	٣٦	٠,٤-	٣٥,٤	٠,٥	٣٤,٦	٠,٣-	٣٣,٤	٠,٠	٢٩,٤
٢٠٢٤	٠,٥	٣٣,٩	٠,١	٣٦,١	٠,٢	٣٦,٠	١,١-	٣٣	٠,١	٣٣,٧	٠,٥	٢٩,٩
٢٠٢٥	٠,٦	٣٣,٩	٠,٦	٣٦,٦	٠,٦-	٣٥,٢	٣,٣-	٣٠,٨	٠,٢-	٣٣,٥	٠,٢	٢٩,٥
٢٠٢٦	١,٣	٣٤,٦	٠,٢	٣٦,٢	٠,٥-	٣٥,٣	١,٩-	٣٢,٢	٠,٢	٣٣,٩	٠,٢	٢٩,٥
٢٠٢٧	٠,٦	٣٣,٩	٠,٢-	٣٤	١,٧	٣٧,٥	٢,١	٣٦,٢	٠,٢	٣٣,٨	٠,٦	٢٩,٩
٢٠٢٨	٠,٥	٣٣,٨	٠,٧	٣٦,٧	٠,٥	٣٦,٣	٠,٨-	٣٣,٣	٠,٠	٣٣,٧	٠,٤-	٢٩



٠,٢	٢٩,٥	٠,٢	٣٣,٩	٠,٢	٣٤,٣	٠,٧-	٣٥,١	٠,٤	٣٦,٤	٠,٦	٣٤	٢٠٢٩
٠,٣	٢٩,٦	٠,٦	٣٤,٣	٠,٤	٣٤,٤	٠,٧	٣٦,٥	٠,٣-	٣٥,٧	٠,١-	٣٣,٣	٢٠٣٠
-	٢٩,٤	-	٣٣,٧	-	٣٤,١	-	٣٥,٨	-	٣٦	-	٣٣,٤	المتوسط العام

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

جدول (١٥) معامل الاتجاه الفصلي العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة القصوى (م) بمحطة مكة المكرمة خلال الفترة المستقبلية الممتدة (٢٠٢٠-٢٠٣٠م) وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)

الانحراف المتوسط	المتوسط الفصلي	السنة
٠,١	٣٩,٦	٢٠٢٠
٠,٨-	٣٨,٧	٢٠٢١
,٠	٣٩,٥	٢٠٢٢
٠,١	٣٩,٥	٢٠٢٣
٠,٣	٣٩,٨	٢٠٢٤
٠,٥-	,٣٩	٢٠٢٥
٠,١-	٣٩,٣	٢٠٢٦
٠,٥	٤٠	٢٠٢٧
٠,٠	٣٩,٥	٢٠٢٨
٠,٠	٣٩,٤	٢٠٢٩
٠,٤	٣٩,٨	٢٠٣٠
٠,١٠٤٤	معدل التغير الفصلي	٣٩,٥
١,١٤٨٦	معدل التغير الكلي	٠,٠٤١٢
		المتوسط العام
		معامل الاتجاه

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de



جدول (١٦) معامل الاتجاه الفصلي العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة القصوى (م) بمحطة جدة خلال الفترة المستقبلية الممتدة (٢٠٢٠-٢٠٣٠م) وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)

السنة	المتوسط الفصلي	الانحراف المتوسط
٢٠٢٠	٣٩,١	٠,٠
٢٠٢١	٣٨,٥	٠,٦-
٢٠٢٢	٣٩	٠,١-
٢٠٢٣	٣٩,٢	٠,١
٢٠٢٤	٣٩,٥	٠,٤
٢٠٢٥	٣٨,٨	٠,٣-
٢٠٢٦	٣٩,١	٠,٠
٢٠٢٧	٣٩,٤	٠,٣
٢٠٢٨	٣٩	٠,١-
٢٠٢٩	٣٩	٠,١-
٢٠٣٠	٣٩,٤	٠,٣
المتوسط العام	٣٩,١	٠,٠٨١٩
معامل الاتجاه	٠,٠٣٢	٠,٩٠٠٤

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de



جدول (١٧) معامل الاتجاه الفصلي العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة القصوى (م) بمحطة الطائف خلال الفترة المستقبلية الممتدة (٢٠٢٠-٢٠٣٠م) وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)

الانحراف المتوسط	المتوسط الفصلي	السنة	
٠,٢	٣٣,٩	٢٠٢٠	
٠,٧-	٣٣	٢٠٢١	
٠,٠	٣٣,٧	٢٠٢٢	
٠,١-	٣٣,٦	٢٠٢٣	
٠,١	٣٣,٨	٢٠٢٤	
٠,٥-	٣٣,٢	٢٠٢٥	
٠,١-	٣٣,٦	٢٠٢٦	
٠,٦	٣٤,٢	٢٠٢٧	
٠,١	٣٣,٨	٢٠٢٨	
٠,٢	٣٣,٩	٢٠٢٩	
٠,٣	٣٤	٢٠٣٠	
٠,١٣٥	معدل التغير الفصلي	٣٣,٧	المتوسط العام
١,٤٨٥٣	معدل التغير الكلي	٠,٠٤٥٥	معامل الاتجاه

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de



جدول (١٨) معامل الاتجاه العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة الدنيا (م) بمحطة مكة المكرمة خلال الفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)

الشهر السنة	نوفمبر		ديسمبر		يناير		فبراير		مارس		أبريل	
	الانحراف	المتوسط										
٢٠٢٠	١٧,	٥	١٥,	٣	١٤,٢	٠,٦	١١,٤	٣,٣-	١٦,٤	١,١-	٢٠,٢	١-
٢٠٢١	١٩,	٥	١٥,	٨	١٣,٩	٠,٣	١٥	٠,٣	١٥,٨	١,٧-	٢٢,١	٠,٨
٢٠٢٢	١٩,	٤	١٥,	٦	١٤,٥	١	١٥	٠,٣	١٧,٤	٠,٢-	٢٢	٠,٨
٢٠٢٣	١٩,	٨	١٥,	٦	١٤,٤	٠,٨	١٦,٧	٠,٢	١٨,٤	٠,٩	٢١	٠,٣-
٢٠٢٤	١٨,	٩	١٤,	٥	١٤,٢	٠,٧	١٥,٣	٠,٥	١٨,٣	٠,٨	٢٢,١	٠,٩
٢٠٢٥	١٩,	٩	١٤,	١	١٤,١	٠,٩-	١٦,٥	١,٨	١٨,٧	١,٢	٢١,٣	٠,١
٢٠٢٦	١٧,	٨	١٤,	٥	١٢,٤	١,١-	١٤,٦	٠,١-	١٥,٥	٢,١-	٢١,٦	٠,٤
٢٠٢٧	١٨,	٤	١٦,	٢	١٣,٣	١,٢	١٢,٨	٠,٢-	١٩,٨	٢,٣	١٩,٩	١,٣-
٢٠٢٨	١٨,	٤	١٥,	١٥	١٢,١	٠,٠	١٤,٥	٠,٢-	١٧,٦	٠,١	٢١,٦	٠,٤
٢٠٢٩	٢٠,	٤	١٣,	٨	١٢,٩	١,٢-	١٥,٥	٠,٨	١٦,٢	١,٤-	٢٠,٩	٠,٣-
٢٠٣٠	١٩,	١	١٤,	٨	١٣,٣	٠,٢-	١٤,٨	٠,٠	١٨,٦	١,١	٢٠,٨	٠,٤-



-	٢١,	-	١٧,	-	١٤,	-	١٣,	-	-	-	المتوسط
-	٢	-	٥	-	٨	-	٦	-	١٥	-	١٩

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

جدول (١٩) معامل الاتجاه العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة الدنيا (م) بمحطة جدة خلال الفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5)

الشهر السنة	نوفمبر		ديسمبر		يناير		فبراير		مارس		أبريل	
	المتوسط	الانحراف										
٢٠٢٠	١٩,٥	١,٥-	١٦,٦	٠,٣-	١٥,٧	١	١٢,٨	١,٨-	١٦	٠,٣-	١٩,٣	٠,٤-
٢٠٢١	٢١,٣	٠,٣	١٧,٧	٠,٨	١٤,٧	٠,١	١٤,٨	٠,٣	١٥,٣	١,٠-	٢٠,٥	٠,٧
٢٠٢٢	٢١,٢	٠,٢	١٧,٥	٠,٦	١٥	٠,٤	١٤,٣	٠,٣-	١٦,٧	٠,٤	٢١,٩	٢,٢
٢٠٢٣	٢١,٤	٠,٤	١٧,٢	٠,٣	١٥,٥	٠,٨	١٦,١	١,٥	١٦	٠,٣-	١٩,٥	٠,٣-
٢٠٢٤	٢١,١	٠,١	١٦,٥	٠,٣-	١٥,٧	١	١٥,٧	١,١	١٦,٥	٠,١	٢٠,٢	٠,٤
٢٠٢٥	٢١,٤	٠,٤	١٦,٧	٠,٢-	١٤,٨	٠,٢	١٤,٦	٠,٠	١٦,٦	٠,٣	١٩,٦	٠,١-
٢٠٢٦	١٩,٩	١,١-	١٦,٢	٠,٧-	١٣,٤	١,٢-	١٥,١	٠,٥	١٤,٩	١,٥-	١٩,٣	٠,٥-
٢٠٢٧	٢٠,٤	٠,٦-	١٨,١	١,٢	١٤,٣	٠,٣-	١٣,٤	١,٢-	١٨,١	١,٨	١٩,١	٠,٦-
٢٠٢٨	٢١,٣	٠,٣	١٦,١	٠,٧-	١٣,٣	١,٤-	١٣,٧	٠,٩-	١٦,٩	٠,٦	١٩,٠	٠,٧-
٢٠٢٩	٢٢	١	١٦,٢	٠,٦-	١٣,٨	٠,٨-	١٥,٥	٠,٩	١٥,٥	٠,٨-	١٩,٣	٠,٥-
٢٠٣٠	٢١,١	٠,١	١٦,٧	٠,٢-	١٥	٠,٣	١٤,٤	٠,٢-	١٧,٢	٠,٩	١٩,٥	٠,٢-
المتوسط سط	٢١	-	١٦,٩	-	١٤,٦	-	١٤,٦	-	١٦,٣	-	١٩,٨	-

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

جدول (٢٠) معامل الاتجاه العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة الدنيا (م) بمحطة الطائف خلال الفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5).

الشهر	نوفمبر	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	أبريل
-------	--------	--------	-------	--------	------	-------



الانحرا	المتوس	السنة										
ف	ط	ف	ط	ف	ط	ف	ط	ف	ط	ف	ط	
١,٤-	١٣,٣	١,١-	٩,٩	٣,٨-	٤,١	٠,٩	٧,٣	١	٨,٧	١,٥-	٩,٩	٢٠٢٠
١,٣	١٥,٩	٢,٢-	٨,٧	٠,٣-	٧,٧	٠,٥	٦,٨	١,١	٨,٨	٠,٤	١١,٨	٢٠٢١
١,١	١٥,٧	٠,١-	١٠,٨	٠,٣	٨,٢	٠,٥	٦,٨	٠,٦	٨,٣	٠,٠	١١,٤	٢٠٢٢
٠,٤	١٥	١,٢	١٢,١	٢,٨	١٠,٧	٠,٨	٧,٢	٠,٨	٨,٤	١,٢	١٢,٦	٢٠٢٣
١,٢	١٥,٩	٠,٥	١١,٤	٠,٧	٨,٧	٠,٥	٦,٩	٠,٨-	٦,٩	٠,٢	١١,٦	٢٠٢٤
٠,٢-	١٤,٤	١,١	١٢	٢,٧	١٠,٧	٠,٣	٦,٦	١,٣-	٦,٤	٠,٥	١١,٩	٢٠٢٥
٠,١	١٤,٨	٢,٤-	٨,٥	٠,٣-	٧,٧	١,٥-	٤,٨	٠,٥-	٧,٢	١,٣-	١٠,١	٢٠٢٦
٢,٢-	١٢,٤	٢,٥	١٣,٥	٢,٤-	٥,٥	٠,٣	٦,٧	١,٣	٨,٩	٠,١-	١٠,٥	٢٠٢٧
٠,٨	١٥,٤	٠,٢	١١,١	٠,٢-	٧,٧	١,٢-	٥,٢	٠,٣-	٧,٤	٠,١-	١١,٤	٢٠٢٨
٠,٨-	١٣,٨	١,٣-	٩,٦	٠,٥	٨,٥	٠,٧-	٥,٦	١,٩-	٥,٧	١,٩	١٣,٤	٢٠٢٩
٠,٢-	١٤,٥	١,٦	١٢,٥	٠,١-	٧,٩	٠,٤-	٦	٠,٢-	٧,٥	٠,٤-	١١,١	٢٠٣٠
-	١٤,٧	-	١٠,٩	-	٧,٩	-	٦,٣	-	٧,٦	-	١١,٤	المتوسط

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

جدول (٢١) معامل الاتجاه الفصلي العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة الدنيا (م) بمحطة مكة المكرمة خلال الفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م الي عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-) (rcp4.5).

الانحراف المتوسط	المتوسط الفصلي	السنة
٠,١-	١٥,٩	٢٠٢٠
٠,١	١٧	٢٠٢١
٠,٥	١٧,٣	٢٠٢٢
٠,٧	١٧,٦	٢٠٢٣



٠,٤	١٧,٢	٢٠٢٤
٠,٥	١٧,٤	٢٠٢٥
٠,٨-	١٦	٢٠٢٦
٠,١-	١٦,٧	٢٠٢٧
٠,١-	١٦,٧	٢٠٢٨
٠,٣-	١٦,٦	٢٠٢٩
٠,٠	١٦,٩	٢٠٣٠
٠,٠٦٠٦-	معدل التغير الفصلي	١٦,٨
٠,٦٦٦٤-	معدل التغير الكلي	٠,٠١٠٢-
		المتوسط العام
		معامل الاتجاه

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

جدول (٢٢) معامل الاتجاه الفصلي العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة الدنيا (م) بمحطة جدة خلال الفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-) (rep4.5)

الانحراف المتوسط	المتوسط الفصلي	السنة
٠,٥-	١٦,٧	٢٠٢٠
٠,٢	١٧,٤	٢٠٢١
٠,٦	١٧,٨	٢٠٢٢
٠,٤	١٧,٦	٢٠٢٣
٠,٤	١٧,٦	٢٠٢٤
٠,١	١٧,٣	٢٠٢٥
٠,٧-	١٦,٤	٢٠٢٦
٠,٠	١٧,٢	٢٠٢٧
٠,٥-	١٦,٧	٢٠٢٨
٠,٢-	١٧,٠	٢٠٢٩



٠,١	١٧,٣		
٠,١٧٨١-	معدل التغير الفصلي	١٧,٢	المتوسط العام
١,٩٥٩٤-	معدل التغير الكلي	٠,٠٣٠٦-	معامل الاتجاه

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

جدول (٢٣) معامل الاتجاه الفصلي العام والانحراف عن المتوسط العام لمعدلات درجات الحرارة الدنيا (م) بمحطة الطائف خلال الفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-) (rcp4.5)

الانحراف المتوسط	المتوسط الفصلي		السنة
٠,٩-	٨,٩		٢٠٢٠
٠,٢	١٠		٢٠٢١
٠,٤	١٠,٢		٢٠٢٢
١,١	١٠,٩		٢٠٢٣
٠,٤	١٠,٢		٢٠٢٤
٠,٥	١٠,٣		٢٠٢٥
١-	٨,٨		٢٠٢٦
٠,٢-	٩,٦		٢٠٢٧
٠,١-	٩,٧		٢٠٢٨
٠,٤-	٩,٤		٢٠٢٩
٠,١	٩,٩		
٠,٢٨٧-	معدل التغير الفصلي	٩,٨	المتوسط العام
٥,٢٩٧٧	معدل التغير الكلي	٠,٠٢٨١-	معامل الاتجاه

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de



جدول (٢٤) اتجاهات التغيرات الشهرية لدرجات الحرارة القصوى (م) خلال الفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5) بمحطات منطقة مكة المكرمة

الشهر	مكة المكرمة	جدة	الطائف	منطقة مكة المكرمة
مايو	٠,١٣٩	٠,١٠١	٠,١٨٢	٠,١٤١
يونيو	٠,٠٠٣-	٠,٠٣٨-	٠,٠٢٢-	٠,٠٢١-
يوليو	٠,٠٢٤	٠,٠٦٩	٠,٠٧٩	٠,٠٥٧
أغسطس	٠,٠٠٧-	٠,٠٠٣	٠,١٠٦-	٠,٠٣٧-
سبتمبر	٠,٠٧٠	٠,٠٣٤	٠,٠٧٥	٠,٠٦
أكتوبر	٠,٠٥٤	٠,٠٢٥	٠,٠٦٤	٠,٠٤٨
مايو	٠,٣٥٦	٠,٢٦٦	٠,٥٥	٠,٣٩١
يونيو	٠,٠٠٨-	٠,٠٩٦-	٠,٠٦٣-	٠,٠٥٦-
يوليو	٠,٠٦٠	٠,١٧٣	٠,٢٢١	٠,١٥١
أغسطس	٠,٠١٨٦-	٠,٠٣١	٠,٣١١-	٠,١-
سبتمبر	٠,١٧٦	٠,٠٨٥	٠,٢٢٣	٠,١٦١
أكتوبر	٠,١٥١	٠,٠٦٨	٠,٢١٩	٠,١٤٦
مايو	٣,٩٢٣	١,٩٣١	٦,٠٠٦	٣,٩٥٣
يونيو	٠,٠٩٠-	١,٠٥٣-	٠,٦٩١-	٠,٦١١-
يوليو	٠,٦٦٦	١,٩١١	٢,٤٢٨	١,٦٦٨
أغسطس	٠,٢٠٤-	٠,٠١٢	٣,٤١٩-	١,٢٠٤-
سبتمبر	١,٩٣٧	٠,٩٣١	٢,٤٥٣	١,٧٧٤
أكتوبر	١,٦٦٢	٠,٧٥١	٢,٤٠٥	١,٦٠٦

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

جدول (٢٥) اتجاهات التغيرات الشهرية لدرجات الحرارة الدنيا (م) خلال الفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5) بمحطات منطقة مكة المكرمة



الطائف	جدة	مكة المكرمة	الشهر	
٠,٠٥٥	٠,٠٧٠	٠,٠٤٣	نوفمبر	معامل اتجاه التغير
٠,١٧٩-	٠,٠٧٠-	٠,٠٧٨-	ديسمبر	
٠,١٧٦-	٠,١٥٢-	٠,١٧٦-	يناير	
٠,٠٨٤٧	٠,٠٢٢	٠,١٠٤	فبراير	
٠,١٥٩	٠,٠٩٠	٠,١١٦	مارس	
٠,٠٨٥-	٠,١٢٨-	٠,٠٤٩	أبريل	
٠,٤٨٢	٠,٣٣٥	٠,٢٢٧	نوفمبر	معدل التغير السنوي
٢,٣٣٥-	٠,٤١٩-	٠,٥٢٠-	ديسمبر	
٢,٧٧٢-	١,٠٤٢-	١,٣٠٥-	يناير	
١,٠٦٨	٠,١٥٣	٠,٧٠٢	فبراير	
١,٤٦٢	٠,٥٥٥	٠,٦٦٥	مارس	
٠,٥٨٢-	٠,٦٤٤-	٠,٢٣٢	أبريل	
٥,٢٩٨	٣,٦٩٤	٢,٤٩٧	نوفمبر	معدل التغير الكلي
٢٥,٦٨٦-	٤,٦١٢-	٥,٧٢٨-	ديسمبر	
٣٠,٤٩٩-	١١,٤٦٣-	١٤,٣٥٧-	يناير	
١١,٧٤٨	١,٦٨٣	٧,٧٢٩	فبراير	
١٦,٠٧٩	٦,١٠١	٧,٣٠٩	مارس	
٦,٤٠٣-	٧,٠٨٥-	٢,٥٥٦	أبريل	

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

جدول (٢٦) اتجاهات التغير الفصلية لدرجات الحرارة القصوى والدنيا (م) خلال الفترة المستقبلية الممتدة من عام ٢٠٢٠م إلى عام ٢٠٣٠م وفقاً للنموذج (HadGEM2-ES-rcp4.5) بمحطات منطقة مكة المكرمة

الطائف	جدة	مكة المكرمة	الفترة	
٠,٠٤٦	٠,٠٣٢	٠,٠٤١	الفصل الحار	



٠,٠٢٨-	٠,٠٣٠-	٠,٠١٠-	الفصل البارد	معامل اتجاه التغير
٠,١٣٥	٠,٠٨٢	٠,١٠٤	الفصل الحار	معدل التغير
٠,٢٨٧-	٠,١٧٨-	٠,٠٦٠-	الفصل البارد	السنوي %
١,٤٨٥	٠,٩٠٠	١,١٤٩	الفصل الحار	معدل التغير
٣,١٥٧-	١,٩٥٩-	٠,٦٦٦-	الفصل البارد	الكلية %

عمل الباحثة - مصدر البيانات الموقع الإلكتروني: esgf-data.dkrz.de

المراجع:

- أبو حسين، صبري، (٢٠٠١م)، موجات الحر في الأردن، رسالة دكتوراه، الجامعة الأردنية، عمان.
- بدراني، وفاء ظاهر، (٢٠١٢م)، الأحوال الجوية المرافقة لموجات الحر التي تؤثر على المدينة المنورة، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة طيبة، المدينة المنورة.
- البديري، احمد، (٢٠٢١م)، اتجاهات التغير في درجات الحرارة والامطار في العراق واسقاطاتها المستقبلية، مجلة الآداب، جامعة بغداد، ملحق ٢، عدد ١٣٧، ص ص ٤٤٤-٤٧٢.
- الجراش، محمد عبد الله، (٢٠٠٤م)، الأساليب الكمية في الجغرافيا، الدار السعودية للنشر والتوزيع، جدة.
- الحربي، شروق، (٢٠١٧م)، موجات الحرّ في المملكة العربيّة السعوديّة في ظل التغير المناخيّ خلال فترة ما بين عام ١٩٧٧-٢٠١٤م. رسالة ماجستير غير منشورة. جامعة القصيم. المملكة العربية السعودية.
- الخطيب، حامد، (٢٠٠٦م)، العوامل المؤثرة في تدنى مستوى الرؤية في المدينة المنورة، الملتقى الثالث للجغرافيين العرب، المدن الكبرى في الوطن العربي، الجزء الثاني.



- صيام، نادر، (٢٠١٤م)، تركيب الغلاف الجوي وبنيته، مجلة علم المناخ، عدد ٢، ص ص ٤٨-١.
- الصالح، ناصر، والسرياني، محمد، (٢٠٠٠م)، الجغرافية الكمية والاحصائية أسس وتطبيقات بالأساليب الحاسوبية الحديثة، الطبعة ٢، مكتبة العبيكان، الرياض.
- هيئة الامم المتحدة، الجامعة العربية. (٢٠١٩م)، استخدام نظم المعلومات الجغرافية لتحليل بيانات www.escwa.un.org التغيرات المناخية، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي اسيا، بيروت. RICCAR.
- وزارة البيئة والميه والزراعة، (٢٠١٩م)، المركز الوطني للأرصاد وحماية البيئة، مركز الوثائق العلمية مجموعة تقارير، مناخية بيانات مناخية غير منشورة للفترة ١٩٨٥-٢٠١٩م.

- Cowan, and Purich, and author. (2014), More Frequent, Longer, and Hotter Heat Waves for Australia in the Twenty-First Century. *Journal of Climate* 27, Issue:15, pp 5851-5871.
- Raju, Mandal, and author. (2019), Real time extended range prediction of heat waves over India. <http://www.nature.com/scientificreports>
- Vezzoli, R. Mercogliano, P. Pecora, S. (2012), A brief introduction to the concept of return period for univariate variables, Research paper in CMCC Research Papers. www.cmcc.it
- Schiermeier, Quirin. (2018), Droughts, heatwaves and floods: How to tell when climate change is to blame. *Nature Portfolio Journals*, <https://www.nature.com>.