Dirasat: Human and Social Sciences, Volume 53, No. 12, 2026, 9848

Deanship of Scientific Research

Analysis of the Synoptic Climatology Causing Heatwaves that Affected the Northern Region of Jordan for the Period 2010–2022

Mohammad Ahmad Bani Domi *, ***Tariq Mohammad Al-Azzam***

Department of Geography, College of Arts, Yarmouk University, Irbid, Jordan

Received: 25/11/2024
Revised: 22/3/2025
Accepted: 29/6/2025
Published online: 1/9/2026

* *Corresponding author:*
Banidomi@yu.edu.jo

Citation: Bani Domi, M. A., & Al-Azzam, T. M. (2026). Analysis of the Synoptic Climatology Causing Heatwaves that Affected the Northern Region of Jordan for the Period 2010–2022. *Dirasat: Human and Social Sciences*, *53*(12), 9848. https://doi.org/10.35516/Hum.2026.9848

© 2026 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: To analyze the synoptic conditions responsible for heatwaves affecting the northern region of Jordan during 2010–2022, using data from meteorological stations (Ras Muneef, Al-Ruwaished, Al-Baqoura, Irbid, and Mafraq), aiming to identify contributing factors.

Methods: The study employed comprehensive climatological and statistical analyses, including regression analysis and Pearson correlation coefficient, to assess the relationship between temperature and the 500 hPa pressure level in the upper atmosphere. The descriptive-analytical method examined temporal and spatial variability of heatwaves. A historical approach was used to track chronological temperature patterns throughout the period.

Results: A gradual increase in maximum temperatures was observed, with average maximum summer temperatures rising from approximately 32.8°C in 2010 to 35.8°C in 2022, an increase of about +3.3°C over the study period. Most heatwaves were attributed to the influence of the Indian seasonal thermal low and its westward extension, forming the Saudi thermal low, which extended northward toward the eastern Mediterranean region.

Conclusions: Spatial analysis revealed increased average maximum temperatures during June, July, and August, indicating a strong impact of climate change, commonly known as global warming, on the study area.

Keywords: Synoptic climate analysis, heatwaves, synoptic conditions, northern Jordan.

تحليل الظروف السينوبيتكية المسببة لموجات الحر التي أثرت على إقليم شمال الأردن للفترة 2010-2022

محمد أحمد بني دومي*، طارق محمد العزام

قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة اليرموك، إربد، الأردن

ملخّص

الأهداف: تحليل الظروف السينوبيتكية المسببة لموجات الحر التي أثرت على إقليم شمال الأردن خلال الفترة 2010-2022 بالاعتماد على بيانات المحطات المناخية (راس منيف، الرويشد، الباقورة، إربد، المفرق)، بغرض التعرف على العوامل المسؤولة عن حدوثها.

المنهجية: اعتمدت الدراسة على التحليل المناخي الشمولي والإحصائي مثل: تحليل الانحدار ومعامل ارتباط بيرسون، لتحديد قوة العلاقة بين درجات الحرارة ومستوى ضغط 500 hpa ملليبار في طبقات الجو العليا، وتم الاعتماد على المنهج الوصفي التحليلي في وصف التباين الزماني والمكاني لموجات الحر المؤثرة في مناخ منطقة الدراسة، وأيضاً استخدم المنهج التاريخي لتتبع سلوك التسلسل الزمني لدرجات الحرارة خلال فترة الدراسة.

النتائج: توصلت الدراسة إلى أنه وجد وبشكل ملحوظ زيادة متدرجة في درجات الحرارة العظمى، فكان المعدل العام لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف عام (2010) حوالي (32.8) درجة مئوية، ثم بدأت درجات الحرارة بالارتفاع نهاية الفترة عام (2022) حيث وصلت (35.8) درجة مئوية، كما ويُقدر المدى للمعدل العام لدرجات الحرارة العظمى لفصل الصيف للفترة بين عامي 2010-2022 حوالي (3.3+) درجة مئوية، وأن معظم موجات الحر التي أثرت على منطقة الدراسة كانت بسبب تأثير امتداد المنخفض الحراري الهندي الموسمي وامتداده باتجاه الغرب والذي أدى إلى تكوين المنخفض الحراري السعودي والذي بدوره تمدد نحو الشمال والشمال الغربي نحو الجزء الشرقي من البحر المتوسط.

الخلاصة: أمكن التوصل بعد التحليل المكاني لمتوسطات درجات الحرارة العظمى في منطقة الدراسة إلى أن منطقة الدراسة تشهد ارتفاعاً في متوسطات درجات الحرارة العظمى خلال الأشهر (حزيران - تموز - آب)، وهذا حقيقةً مؤشر صريح وقوي على تأثير التغير المناخي أو ما يسمى بالاحتباس الحراري على منطقة الدراسة.

الكلمات المفتاحية: تحليل المناخ الشمولي، موجات الحر، الظروف السينوبيتيكية، شمال الأردن.

المقدمة

تُعد موجات الحر إحدى الظواهر المناخية ذات التأثير الشديد على البيئة والإنسان، والتي تؤثر بشكل كبير على الأردن، ويتزايد تكرار وشدة هذه الموجات بسبب التغير المناخي العالمي، ولوقوع الأردن إلى الشمال من شبه الجزيرة العربية فإنه يتأثر بأنظمة الضغط الجوي التي تؤدي الى حدوث موجات الحر المرافقة غالباً لامتداد منخفض الهند الموسمي خلال فصل الصيف نحو الغرب(بني دومي، 2010). كما أن (المنخفض السعودي الحراري) له الدور الأكبر في حدوث موجات الحر التي يتأثر بها الأردن بنسبة 54%، في حين أن موجات الحر المرتبطة بوجود نتوءات المرتفعات الجوية تزيد فعاليتها بنسبة تصل الى 40%، أما موجات الحر المرافقة للمنخفضات الخماسينية فإنها تُسهم بنسبة 6%(شحادة،1991).

تؤدي موجات الحر إلى العديد من الآثار السلبية، مثل شعور الإنسان بالإرهاق والتعب، إلى جانب زيادة استهلاك المياه وتبخرها، وتكبّد القطاع الزراعي خسائر كبيرة. كما تتسبب هذه الموجات في أضرار اقتصادية ملحوظة، وزيادة استهلاك الكهرباء، مما يفاقم الضغط على البيئة، إضافة إلى ارتفاع احتمالية نشوب الحرائق (Steadman , R.G ,1979). وترتبط موجات الحر بالمناطق الأكثر جفافًا في حوض البحر المتوسط، حيث سجل معدل درجة الحرارة في شهر تموز لعام 2017 ارتفاعًا بلغ نحو 7 درجات مئوية فوق المتوسط العام لذلك الشهر، خاصة في بلاد الشام، شبه الجزيرة العربية، والعراق (Zacharias, 2015).

مشكلة الدراسة

من المعروف أن موجات الحر تؤثر بشكل كبير على البيئات الطبيعية والمبنية، إضافة لتأثيراتها الصحية والاقتصادية والاجتماعية. ومع تزايد التقلبات المناخية الناتجة عن التغير المناخي العالمي، أصبحت موجات الحر أكثر تكراراً وشدة، لذلك تأتي هذه الدراسة لتحليل الظروف السينوبيتكية المسببة لموجات الحر التي أثرت على إقليم شمال الأردن خلال الفترة 2010-2022، حيث تتمثل مشكلة الدراسة في التعرف على العوامل السينوبيتيكية المسببة لموجات الحر لتحليلها ودراسة التباين الزماني والمكاني في تكرار حدوث موجات الحر موضوع الدراسة.

أسئلة الدراسة

1- ما هي عوامل وأسباب نشوء موجات الحر وتوزيعها في منطقة الدراسة؟

2- هل هناك تباين زماني ومكاني في تكرار حدوث موجات الحر؟

3- ما دور خرائط الطقس السطحية والعلوية للمستويات الضغطية (1000 hpa و 500) في تشكل موجات الحر؟

4- هل للمنظومة الجوية العلوية دور في تحفيز وتنشيط المنظومة الجوية السطحية لحدوث موجات الحر؟

أهداف الدراسة

تهدف الدراسة إلى:

1- دراسة وتحليل عوامل نشوء موجات الحر وتوزيعها الجغرافي في منطقة الدراسة.

2- تحليل التباين الزماني والمكاني لتكرار حدوث موجات الحر.

3- تحليل وتفسير خرائط الطقس السطحية (1000 hpa) والعلوية (500 hpa) المرافقة لموجات الحر.

4- التعرف على دور المنظومة الجوية العلوية بمتغيراتها في تنشيط وتحفيز المنظومة الجوية السطحية التي تسبب حدوث موجات الحر.

منهجية الدراسة

لتحقيق أهداف الدراسة تم الاعتماد على المنهج الوصفي التحليلي في وصف التباين الزماني والمكاني لموجات الحر المؤثرة في مناخ منطقة الدراسة، وأيضاً بالاعتماد على المنهج التاريخي لتتبع سلوك التسلسل الزمني لدرجات الحرارة، وتم جمع مصادر البيانات من خلال الرجوع للسجلات المناخية للفترة (2010-2022) التي تخص المحطات المناخية لمنطقة الدراسة من موقع دائرة الأرصاد الجوية الأردنية، لتحديد أوقات حدوث موجات الحر موضوع الدراسة. وذلك وفق الإجراءات الآتية:

- تحليل المعطيات المناخية المستمدة من سجلات محطات دائرة الأرصاد الجوية الأردنية، مما يتيح إمكانية تحديد أنماط حدوث موجات الحر وتكرارها عبر الزمن.
- تم استخدام التحليل الإحصائي مثل: تحليل الانحدار ومعامل ارتباط بيرسون، لتحديد قوة العلاقة بين درجات الحرارة ومستوى ضغط 500 hpa.

- الاستعانة بموقع منظمة الأرصاد الجوية العالمية(ECMWF) في الحصول على الخرائط السطحية والعلوية، حيث شملت خرائط الطقس السطحية (Surface Charts) عند مستوى سطح البحر، وخرائط الطقس العلوية (Upper Charts) عند مستوى ضغط 500 ملليبار (هكتوباسكال) لبعض الأيام التي تعرّض فيها الأردن لموجات حر خلال فترة الدراسة، وأيضاً بالاعتماد على النشرات العلمية وشبكة المعلومات والمصادر الكتابية.
- تحليل الخرائط السطحية والعلوية، ولا سيما عند مستوى 500 هكتوباسكال، لما لها من أهمية في تفسير الأنظمة الجوية المؤثرة على شمال الأردن، حيث تستفيد الدراسة من بيانات المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية المتوسطة المدى (ECMWF).
- تُعد خرائط الطقس العلوية عند مستوى ضغط 500 ملليبار (هكتوباسكال) من أهم الخرائط الطقسية لأنها تمثل المستوى الضغطي الذي يقع في منتصف طبقة التروبوسفير تقريباً (العاني ومحمد، 1985).

أهمية الدراسة

تنبع أهمية هذه الدراسة من تركيزها على تحليل الظروف السينوبيتكية المسببة لموجات الحر التي أثرت على شمال الأردن خلال الفترة 2010–2022، في ظل تزايد تأثيرات التغير المناخي العالمي وتكرار الظواهر المناخية المتطرفة، ويُعد فهم هذه الظروف الجوية ذات النطاق الواسع خطوة أساسية نحو بناء نظام إنذار مبكر فعّال يساعد في التنبؤ بموجات الحر والحد من آثارها السلبية، خاصة على القطاعات الحيوية مثل الصحة والزراعة والطاقة. كما تسهم الدراسة في سد فجوة معرفية واضحة في الأدبيات الجغرافية، إذ إن التحليل السينوبيتيكي لموجات الحر في الأردن لا يزال محدودًا، وتحديدًا ضمن إطار زمني طويل. ومن خلال ذلك، توفر الدراسة أساسًا علميًا يمكن أن يُستفاد منه في التخطيط البيئي والمناخي وصنع القرار، مما يعزز من جهود التكيف مع المناخ في أحد أكثر الأقاليم الإدارية حساسية وتنوعًا في الأردن.

الدراسات السابقة

نظراً لأهمية موضوع تحليل الظروف السينوبيتكية لموجات الحر على الصعيدين المحلي والعالمي، فقد تناولته العديد من الدراسات العربية والأجنبية، وفي هذا السياق نستعرض بعضًا منها:

في بداية الفترة البحثية، تناولت **دراسة بني دومي (2010) موجات الحر غير الاعتيادية التي أثرت على الأردن خلال السنة المطرية 2010/2009**. اعتمدت الدراسة على منهج التحليل الشمولي والإحصائي لخرائط طبقات الجو العليا عند مستوى ضغط 500 ملليبار مع دراسة الحالة الجوية السطحية، حيث ركزت الدراسة على تقييم تأثير امتداد المنخفض الهندي الموسمي باتجاه الغرب. وقد أظهرت النتائج أن ارتفاع مستوى ضغط 500 ملليبار يرتبط بزيادة قوة المرتفع الجوي العلوي، مما يؤدي إلى شدة وتواتر موجات الحر. وقدمت الدراسة توصيات بتحسين أنظمة الرصد وتطوير إجراءات وقائية للتقليل من الآثار البيئية والاقتصادية لتلك الموجات.

على المستوى الإقليمي المُستقبلي، تقدمت **دراسة Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Fnais, M., et al. (2016). Projected changes in heat wave characteristics in the eastern Mediterranean and the Middle East** . بتحليل التغيرات المستقبلية في خصائص موجات الحر بمنطقة شرق المتوسط والشرق الأوسط. استخدمت الدراسة نماذج مناخية إقليمية تغطي الفترة من الماضي القريب حتى نهاية القرن الحادي والعشرين، مع اعتماد تعريف نسبي لموجات الحر يأخذ في الاعتبار الخصائص المناخية المحلية. وقد أظهرت النتائج أن جميع مؤشرات شدة موجات الحر ستزداد بشكل ملحوظ مقارنة بفترة 1961–1990، إذ من المتوقع أن يشهد شمال المنطقة ارتفاعًا في درجات الحرارة بمقدار 6–10 درجات مئوية، بينما يمتد الجنوب لزيادة من 2 إلى 3 أشهر إضافية في الأيام الحارة، مما دفع الباحثين إلى التوصية بإجراء دراسات أثر بيئي وصحي متكاملة لتطوير استراتيجيات تكيف فعالة.

وفي عام 2017، تناولت دراستان مقاربتين مختلفتين للظواهر المناخية؛ فقد **قامت دراسة زيتون، م.، الصبابحة، ن.، والمقبل، ع. (2017) بتقييم الظروف السينوبتيكية المصاحبة لموجة الحر التي ضربت الأردن خلال الفترة من 30 حزيران إلى 6 تموز.** واعتمدت الدراسة على تحليل خرائط الطقس السطحية عند مستوى 1000 hpa .والعلوية عند مستوى 500 hpa مع تحليل مخططات التيفيجرام لطبقات الجو العليا، واستنتجت أن تزحزح المنخفض الهندي الموسمي نحو الشمال الغربي مصحوبًا بنتوء علوي دافئ هو العامل الرئيسي وراء ارتفاع درجات الحرارة السطحية وحدوث موجة الحر.

كما جاءت دراسة **Lewis, S. C., King, A. D., & Mitchell, D. M. (2017). Australia's unprecedented future temperature extremes under Paris limits to warming**، لتقدم رؤية مستقبلية تستند إلى بيانات رصدية ونماذج محاكاة لتقييم درجات الحرارة المتطرفة في أستراليا في ظل أهداف اتفاق باريس (1.5 و2 درجة مئوية). وقد كشفت النتائج أن حتى فرقًا بسيطًا في متوسط الاحترار العالمي قد يؤدي إلى درجات

حرارة متطرفة تصل إلى 2.4 درجة مئوية فوق الرقم القياسي الصيفي الحالي، مما يؤكد أن الظواهر المناخية المتطرفة لا تتفاعل خطيًا مع متوسط الاحترار. وقدمت الدراسة توصية بتقليص متوسط الاحترار إلى 1.5 درجة مئوية لتقليل المخاطر المناخية المستقبلية.

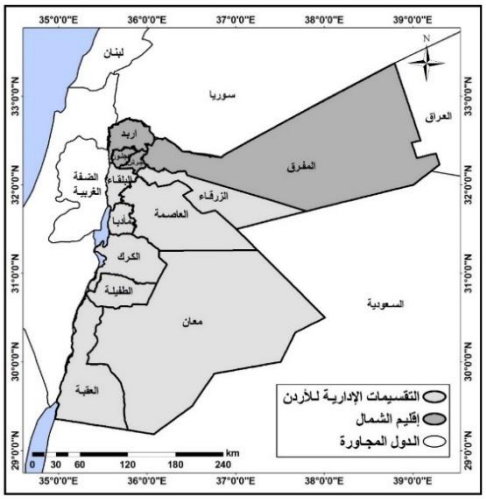
على صعيد محلي آخر، جاء في دراسة **علي، ا. (2020). موجات الحر بالغردقة**. تناولٌ لظاهرة موجات الحر في مدينة الغردقة السياحية بهدف التعرف على معدل تكرار الموجات وشدتها وطولها وتحليل أسبابها. واستندت الدراسة إلى منهج التحليل المقارن إلى جانب المنهج الإقليمي والتاريخي، وأسفرت عن نتائج تشير إلى ارتفاع معدل تعرض مدينة الغردقة لموجات الحر، مما يؤثر بشكل مباشر على النشاط السياحي والظروف البيئية في المنطقة. وقدمت الدراسة توصية باستخدام مواد إسفلتية بيضاء اللون مقاومة لدرجات الحرارة العالية، مع اتخاذ الاحتياطات اللازمة لضمان سلامة السكان والسياح أمام آثار الارتفاع الكبير في درجات الحرارة.

وفي العام التالي، ركزت دراسة **البديري، أ. (2021). تحليل مؤشرات تطرفات درجات الحرارة اليومية في العراق.** على تحليل مؤشرات تطرف درجات الحرارة اليومية في العراق للفترة من 1985 إلى 2020. استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي والاستدلالي لتقييم الاتجاهات الزمانية والمكانية لمؤشرات التطرف الحر (TNn، TNx، TXn، TXx)، وأظهرت النتائج وجود اتجاه تصاعدي واضح في تلك المؤشرات، خاصةً حيث سجل مؤشر TXn زيادة بلغت 0.49 درجة مئوية للعقد مع دلالة إحصائية. ورغم انسجام النتائج مع الاتجاهات المناخية العالمية، أوصت الدراسة بإعادة تقييم النماذج المناخية للبيانات اليومية المستقبلية في العراق لتحسين دقة التنبؤات.

أخيرًا، تأتي دراسة **سكاف، م.، رنجوس، ل. (2022). دراسة التغير في درجات الحرارة العظمى وخصائص موجات الحر لفصل الصيف في المنطقة الساحلية من سورية خلال الفترة 1977-2016).** لتختتم هذا المسار البحثي برصد التغير في درجات الحرارة العظمى وخصائص موجات الحر لفصل الصيف في المنطقة الساحلية من سورية خلال الفترة 1977–2016. وقد اعتمد الباحثون في هذه الدراسة على معطيات ميتيورولوجية يومية وشهرية من ثلاث محطات رصدية ساحلية، واستخدموا مخططات الصندوق ومعامل التباين لتبيان الخصائص الشهرية لدرجات الحرارة، بالإضافة إلى خطوط الاتجاه واختبار مان–كندال لتقدير اتجاه وقيمة التغيرات الفصلية والسنوية. أوضحت النتائج وجود توجه واضح نحو زيادة المعدلات السنوية لدرجات الحرارة العظمى، ما انعكس بدوره على ارتفاع أعداد موجات الحر واستمرارية تكرارها في المنطقة.

منطقة الدراسة

يقع الأردن جغرافياً بين دائرتي عرض 33و29شمالاً، وخَطَّي طول 39و34شرقاً، مما يجعل مناخه في معظمه شبه صحراوي جاف، ولهذا يقع الأردن ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة التي تتميز بصيف طويل حارّ وشتاء قصير قليل الأمطار عموماً، ويبلغ طول شريطه الساحلي 26 كم، وتمتد مياهه الإقليمية إلى مسافة ثلاثة أميال بحرية، ورغم صغر حجم الأردن لكن تضاريسه وطبوغرافيته تعكس تنوعه المناخي. وتشمل منطقة الدراسة شمال الأردن الذي يضم أربع محافظات وهي (إربد، عجلون، جرش، المفرق)، كما في الشكل (1).



الشكل (1) منطقة الدراسة، شمال الأردن مفهوم موجات الحر

لا يوجد تعريف محدد يصف موجات الحر بصورة تشمل جميع الأقاليم الجغرافية، وقد اختلف المُناخيون على تعريفها، وذلك لأن موجة حارة في منطقة ما قد تكون درجة حرارة عادية ومعتادة في منطقة أخرى، ولكن يمكن وصف موجات الحر بأنها حدوث ارتفاع في متوسطات الحرارة عن المعدل العام بمقدار(4°) درجات مئوية أو أكثر، لمدة تزيد عن ثلاثة أيام متواصلة، ويتم تحديد حدود الحرارة العظمى المتطرفة بناءً على الاستقراء من السجلات المُناخية السابقة للمنطقة، وتكون هذه الموجات خاصة في الأشهر الصيفية، وتستمر من عدة أيام إلى أسابيع (شحادة، 2009).

آلية تشكل موجات الحر

تتشكل موجات الحر المتطرفة في شمال الأردن نتيجة تفاعل عدة آليات مناخية، تشمل الاضطرابات الجوية في الطبقات العليا، والأنظمة السينوبتيكية، وانخفاض الضغط الجوي، بالإضافة إلى تأثير الرياح الجافة القادمة من المناطق الصحراوية المحيطة، مما يؤدي إلى ارتفاع مطرد في درجات الحرارة. وترتبط هذه الموجات بثلاثة أنماط رئيسية؛ الأول يتمثل في موجات الحر المرتبطة بالمنخفضات الخماسينية، والتي تتسم بحدوث عواصف غبارية مصحوبة بارتفاع ملحوظ في درجات الحرارة. أما النمط الثاني، فيشمل موجات الحر المصاحبة للمرتفع الجوي الذي يؤثر على شرق البحر المتوسط، حيث يؤدي استقرار الكتل الهوائية إلى ارتفاع تدريجي في درجات الحرارة. بينما يرتبط النمط الثالث بامتداد المنخفض الحراري الهندي والمنخفض الحراري السعودي، حيث يتوسع نطاق الضغط المنخفض نحو الشمال والشمال الغربي ليصل إلى شرق البحر المتوسط، وأحيانًا يمتد تأثيره إلى اليونان، مما يؤدي إلى اندفاع كتل هوائية مدارية حارة تُسهم في ارتفاع كبير في درجات الحرارة. وتعكس هذه الأنماط الدور المحوري للأنظمة السينوبتيكية في تشكيل موجات الحر وتأثيرها على مناخ شمال الاردن (شحادة، 1991).

ويرافق ذلك وجود نتوء (Ridge) في طبقات الجو العليا عند مستوى ضغط (500 hpa) ملليبار، يساعد على تحرك الهواء المداري الحار نحو مركز المنخفض الحراري، على شكل تيارات هوائية مما يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة طيلة أيام الموجة، وغالباً ما تكون صحاري شمال إفريقيا هي مركز (النتؤات) أو الانبعاجات الجوية(السامرائي، 1994). والجدير بالذكر أن للتغير المناخي دورا واضحا في زيادة حدة الظواهر المناخية المتطرفة مثل: موجات الحر والعواصف الغبارية والرملية وحدوث الفيضانات والأعاصير. وحسب تقرير المنظمة الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC , 2007 فإن عدد موجات الحر قد ازدادت منذ عام 1950، وإن عدد الليالي الحارة قد ارتفع في جميع أنحاء العالم (IPCC,2007).

وتُعد الظواهر المناخية المتطرفة أو الشاذة **" Extreme Phenomena "** استجابة طبيعية لحالة الغلاف الجوي، يمكن أن تتعرض لها أي دولة من دول العالم، ولكن مدى تكيف واستجابة السكان لهذه الظواهر المناخية يرتبط بالعديد من المتغيرات، مثل عدد السكان وكثافتهم ومستوى تقدمهم الحضاري والتكنولوجي، وقد صنفت منظمة الأرصاد الجوية العالمية موجات الحر وما يصاحبها من ارتفاع في درجات الحرارة العظمى على أنها من الظواهر المناخية ذات التأثير المباشر على النظام البيئي بكل ما فيه من موارد طبيعية وبشرية وما يترتب عليها من خسائر فادحة (Robart, 1995).

وتجدر الإشارة إلى أننا الآن وفي الوقت الحاضر في المنطقة العربية وخصوصاً منطقة بلاد الشام نعيش ونشهد حدوث ظواهر مناخية متطرفة جديدة بدأت بالفعل بالتأثير على المنطقة، ومن أهم هذه الظواهر ظاهرة القبة الحرارية **(Thermal dome)**، وهي ظاهرة تنشأ عند تشكل منطقة من الضغط الجوي المرتفع في طبقات الجو العليا تعمل على عكس اتجاه التيارات الهوائية الساخنة الصاعدة للأعلى لتعود مرة أخرى للأسفل وتؤدي إلى حبس الهواء الحار في المنطقة، وهذا بالفعل ما أشار إليه (بني دومي، 2010)، في دراسة أجراها حول موجات الحر غير الاعتيادية التي أثرت على الأردن، إلى أن تكرار موجات الحر وشدتها في الأردن ناتجة عن وجود مرتفع جوي جاثم فوق المنطقة مقترناً بامتداد للمنخفض الحراري السعودي، وما ينتج عن ذلك من تيارات هوائية حارة هابطة وتيارات حارة صاعدة حيث تمنع الأخيرة من الصعود لتلتقي مع التيارات الهابطة فوق المنطقة (بني دومي، 2010). حيث تتكرر موجات الحر المتطرفة خلال فصل الصيف، وتستمر عادة من شهر يونيو حتى سبتمبر، وتكون درجات الحرارة في هذه الفترة في أعلى مستوياتها، وتشهد الأشهر الصيفية ارتفاعاً طبيعياً في درجات الحرارة. ويرافق هذه الموجات ارتفاع في درجة الحرارة العظمى نحو 5 درجات مئوية عن معدلها، وانخفاض في الرطوبة النسبية عن 25%، وتصل ذروتها في شهري تموز وآب (Winstanley,1970).

التحليل والمناقشة

الظروف المناخية الشمولية المسببة لموجات الحر في شمال الأردن

ترتبط موجات الحر بعدة عوامل (أبو حسين،2001) ، منها:

1- التوزيع الجغرافي لأنظمة الضغط الجوي السطحية (المنخفضات الحرارية عند مستوى سطح البحر).

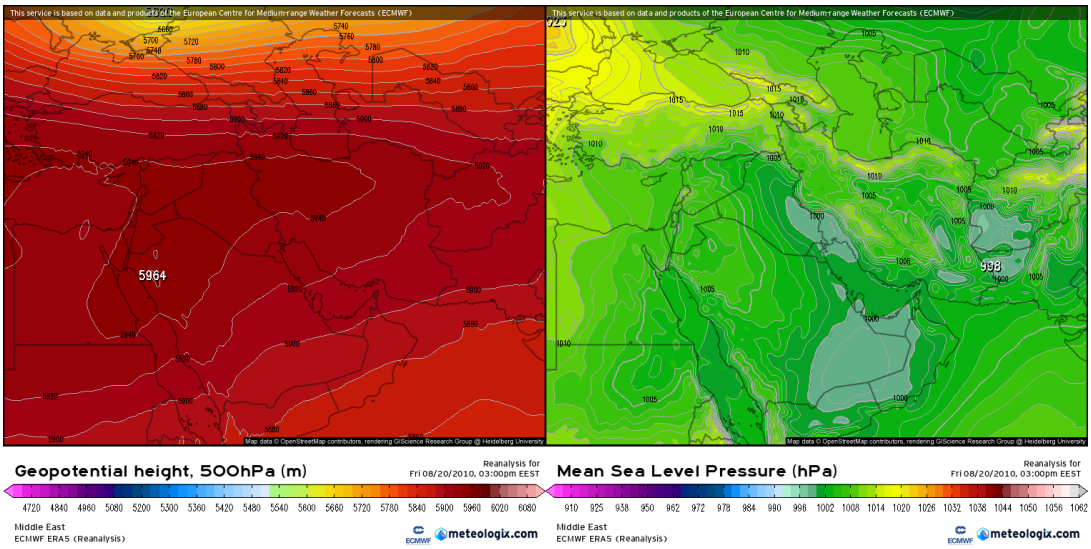
2- أنظمة الضغط المرتفع في طبقات الجو العليا عند مستوى ضغط 500 ملليبار(الظروف السينوبتيكية).

أولاً: التوزيع الجغرافي لأنظمة الضغط الجوي السطحية (المنخفضات الحرارية عند مستوى سطح البحر)

أمكن التوصل من خلال دراسة وتحليل خرائط الطقس السطحية وخرائط طبقات الجو العليا أثناء تأثر منطقة الدراسة بموجات الحر، إلى أن هناك العديد من أنظمة الضغط الجوي السطحية التي تؤدي إلى تأثر المنطقة بموجات الحر، وتتمثل هذه الأنظمة في:

1) منخفض الهند الموسمي

هو منخفض حراري يتكون صيفاً فوق شبه القارة الهندية وجنوب شرق آسيا بسبب حركة الشمس الظاهرية، حيث تصبح عمودية على النصف الشمالي من الكرة الأرضية فتبدأ درجات الحرارة بالارتفاع تدريجياً، وبنفس الوقت يتركز الضغط العالي فوق المحيط الهندي والمحيط الهادي، وعليه فإن الرياح تهب من مركز الضغط المرتفع إلى مركز الضغط المنخفض وتكون محملة بكميات كبيرة من الرطوبة، وعند دخولها اليابس الآسيوي ستتباطأ حركتها، بسبب عامل الاحتكاك وتزداد حرارتها بسبب سخونة اليابس، مما يزيد من عدم استقرارها ليتصاعد الهواء الحار الرطب مُكوناً غيوما رُكامية تُسقط أمطارا وبكميات كبيرة تغطي مساحات واسعة من جنوب القارة، وبسبب اتساع المساحة التي يشغلها الضغط المنخفض فإنه يبدأ بالتمدد غرباً حيث منطقة البحر المتوسط جالباً معه ارتفاعاً في درجات الحرارة فوق مناطق شرق البحر المتوسط، بسبب تعرض المنطقة إلى رياح شمالية شرقية حارة جداً وخاصة كونها مرت فوق مساحات واسعة من اليابس (شحادة، 1991). عند دراسة الشكل (2) من الجهة اليسرى، والذي يمثل خريطة عند مستوى ضغط 500 ملليبار في طبقات الجو العليا تظهر تأثير منخفض الهند الموسمي في تشكل موجة حارة أثرت على منطقة الدراسة بتاريخ 2010\8\20، حيث سيطر متن المرتفع العلوي (upper ridge) فوق المنطقة بارتفاع 5964م hpa، وتعرضت المنطقة إلى رياح شمالية حارة، نتج عن ذلك موجة حر قوية نتيجة اندفاع كتلة هوائية موسمية شديدة الحرارة قادمة من صحراء شبه الجزيرة العربية حيث المنخفض الحراري السعودي، والذي هو امتداد للمنخفض الحراري الهندي الموسمي، حيث وصلت درجة الحرارة في محطة المفرق يوم 2010\8\20 إلى 44مْ في الظل، وكانت أعلى من معدلها بحوالي 17مْ. أما على يمين الشكل (2)، فيظهر خريطة سطحية لنفس اليوم، حيث تعمق المنخفض الجوي السطحي فوق منطقة الدراسة بقوة 1008 ملليبار، مع استمرار تأثير المنخفض الحراري السعودي بقوة 1000 ملليبار، مما يعني استمرار تدفق الهواء الحار الجاف حيث اقترن هذا الضغط مع المنخفض الحراري السعودي بشكل عميق جداً والذي وصلت قيمة الضغط 998 ملليبار فوق شبه الجزيرة العربية. وخلال هذه الموجة ويوم 2010\8\20 تحديداً وصلت الحرارة إلى 44مْ، 41مْ، 37مْ، 43مْ، 42مْ، في كل من المفرق وإربد وراس منيف والصفاوي والباقورة على التوالي، واستمرت الموجة خمسة أيام متواصلة (دائرة الأرصاد الجوية الأردنية، 2010).



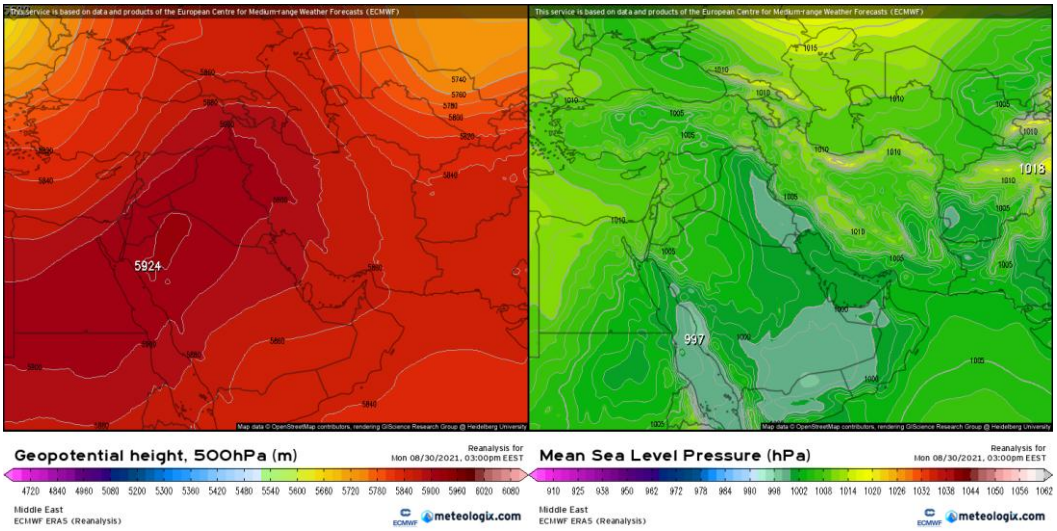
الشكل (2) تأثير منخفض الهند الموسمي في تشكل موجة حارة أثرت على منطقة الدراسة بتاريخ 2010/8/20

2) منخفض البحر الأحمر

وهو ثاني أكثر المنخفضات الحرارية تأثيراً على الأردن بعد منخفض الهند الموسمي، يتكون فوق البحر الأحمر خلال فصلي الخريف والشتاء، وهو منخفض سطحي يفصل بين مراكز الضغط الجوي المرتفع في الجزيرة العربية وشمال أفريقيا (أبو حسين، 2001). حيث يتأثر الأردن في أوائل أيام فصل الخريف بمنخفض البحر الأحمر، ويعود السبب في ذلك إلى تحرك مركز أخدود هذا المنخفض باتجاه الشمال على امتداد البحر الأحمر، مما يؤدي الى تغطية الساحل الشرقي للبحر المتوسط بما فيه الأردن، ويبقى الأردن تحت تأثيره حتى بداية فصل الصيف، ويتباين تأثير امتداد منخفض البحر الأحمر بالاتجاه نحو الشمال والشمال الشرقي على الظروف الجوية في منطقة الدراسة من حالة الى أخرى، مما يؤدي إلى تعرض الأردن لرياح جنوبية أو جنوبية شرقية حارة مثيرة للغبار عندما يتمدد منخفض البحر الأحمر باتجاه الشمال والشمال الشرقي (شحادة، 1991).

وعند دراسة الشكل (3) من الجهة اليُسرى، الذي يمثل خريطة عند مستوى ضغط 500 ملليبار في طبقات الجو العليا تظهر سيطرة تأثير امتداد أخدود منخفض البحر الأحمر في منطقة الدراسة، حيث وصل الارتفاع لمستوى ضغط 500 ملليبار فوق الأردن إلى 5900م تسبب في حدوث موجة حارة أثرت على منطقة الدراسة بتاريخ 30\8\2021، واستمرت لمدة 7 أيام متواصلة رافقها رياح جنوبية شرقية شديدة الحرارة والجفاف، مما أدى إلى رفع درجة الحرارة العظمى إلى 11مْ أعلى من معدلها العام لذلك الشهر من السنة، والذي وصلت قيمة الضغط في مركزه فوق أخدود منخفض البحر الأحمر إلى 5924م، فكانت درجات الحرارة 39مْ، 38مْ، 32مْ، 40مْ، 40مْ، في كل من المفرق وإربد وراس منيف والصفاوي والباقورة على التوالي (دائرة الأرصاد الجوية الأردنية،2021).

أما الشكل (3) من الجهة اليُمنى، فيظهر خريطة سطحية عند مستوى سطح البحر، حيث يمكن ملاحظة استمرار تأثير منخفض البحر الأحمر وبقوة 997 ملليبار، وهو منخفض عميق جداً مع وجود منخفض جوي سطحي فوق الأردن بقوة 1005 ملليبار، وهذا بدوره أدى إلى هبوط الهواء الساخن من المتن العلوي المرتفع نحو السطح، وبالتالي الزيادة في درجات الحراة في منطقة الدراسة.

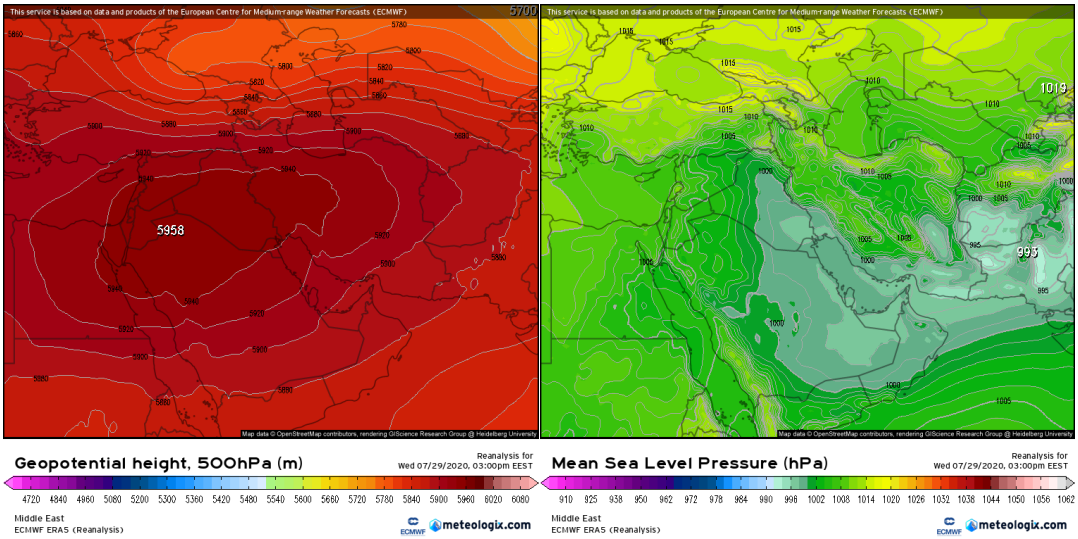


الشكل (3) تأثير منخفض البحر الأحمر في تشكل موجة حارة أثرت على منطقة الدراسة بتاريخ 2021/8/30

3) المنخفض السعودي الحراري

يُعد المنخفض السعودي الحراري وهو امتداد لمنخفض الهند الموسمي الذي يتشكل خلال فصل الصيف فوق شمال الجزيرة العربية أحد أهم العوامل التي تؤدي في نشوء موجات الحر، حيث يؤدي انسحاب المرتفع الآزوري وتراجعه غرباً خلال فصل الصيف ليستقر فوق مياه المحيط الأطلسي على مقربه من جزر الآزور إلى ظهور مناطق من الضغط الجوي المنخفض فوق بعض المناطق ومن ضمنها الجزيرة العربية (التوم، 1974). يتكون في منطقة الخليج العربي والجزيرة العربية مع نهاية فصل الربيع وبداية فصل الصيف حوض منخفض جوي سطحي يعتبر امتداداً للمنخفض الهندي الموسمي الذي يسيطر في هذا الفصل على شرق آسيا، ويمتد تأثير ذلك الحوض إلى كل الدول الواقعة إلى الشرق من البحر المتوسط، بل ويصل تأثيره أحياناً إلى شمال اليونان وإيطاليا. وعلى الرغم من أن هذا المنخفض يُعتبر ظاهرة جوية سطحية وليس له امتداد عمودي في طبقات الجو العليا، إلا أنه يتبادل السيطرة على خرائط الطقس السطحية مع المنخفضات الحرارية الأخرى خلال فصل الصيف كاملاً، ويتحكم في المسار اليومي لدرجة الحرارة العظمى في الدول الواقعة تحت تأثيره مؤدياً إلى ما يعرف بموجات الحر في هذه الدول (أبو حسين، 2001). يُظهر الشكل (4) من الجهة اليُسرى، خريطة عند مستوى ضغط 500 ملليبار في طبقات الجو العليا تبين سيطرة متن الضغط الجوي المرتفع للمنخفض السعودي الحراري في تشكل موجة حارة أثرت فوق منطقة الدراسة بتاريخ 2020/7/29، حيث وصل الارتفاع لمستوى ضغط 500 ملليبار فوق الأردن إلى 5940م، وقد ترافق المنخفض فوق الصحراء العربية الكبرى امتداداً نحو شبه الجزيرة العربية، حيث تزحزح نحو الشمال الغربي وامتد على شكل ذراع ضخم يجثم فوق الحوض الغربي للبحر المتوسط، ويعد امتداده فوق البحر المتوسط أحد العوامل الرئيسية التي تحد من تكوّن المنخفضات الجوية وتمنع حركتها بالاتجاه نحو الشرق، وبالتالي يؤدي إلى جعل فصل الصيف في منطقة الدراسة فصلاً جافاً خالياً من الأمطار، والذي وصلت قيمة الضغط في مركزه فوق شبه الجزيرة العربية إلى 5958م، مما يعني ارتفاع درجات الحرارة في كل المحطات المناخية ولمدة خمسة أيام متواصلة، حيث وصلت درجة الحرارة إلى 45مْ، 44مْ، 40مْ، 45مْ، 45مْ في كل من المفرق وإربد وراس منيف والصفاوي والباقورة على التوالي (دائرة الأرصاد الجوية الأردنية، 2020). أما عند النظر للشكل (4) من الجهة

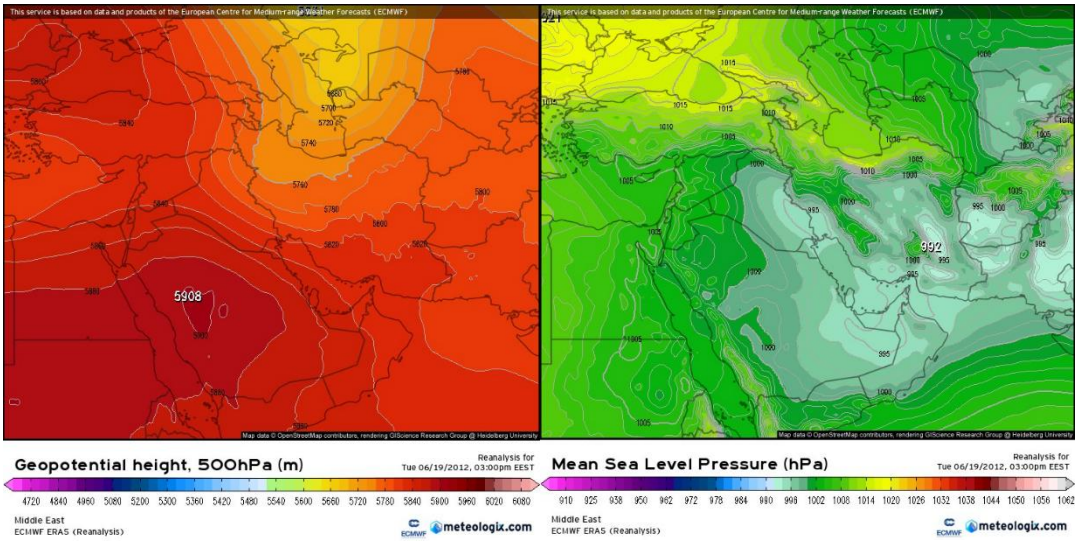
اليُمنى، الذي يمثل الخريطة السطحية لمستوى سطح البحر، نلاحظ استمرار تأثير المنخفض السعودي الحراري وبقوة 993 ملليبار وهو منخفض عميق جداً، مع وجود منخفض جوي سطحي فوق الأردن بقوة 1005 ملليبار، مما يعني استمرار تدفق المزيد من الهواء الحار الجاف مقترناً بتيارات هوائية حارة هابطة من الأعلى، ونتيجة ذلك تكوّن المزيد من الارتفاع في درجات الحرارة ولكل محطات منطقة الدراسة.



الشكل (4) تأثير المنخفض السعودي الحراري في تشكل موجة حارة أثرت على منطقة الدراسة بتاريخ 2020/7/29

4) المنخفضات الخماسينية

تتشكل المنخفضات الخماسينية عادة مع بداية الاعتدال الربيعي الذي يبدأ في 21 آذار وحتى منتصف شهر آيار، وسبب تسميتها بالخماسينية أن فترة تكونها وتأثيرها في خمسينية الشتاء، تتكون في الجزء الشمالي من قارة أفريقيا (في الصحراء الكبرى) على سفوح جبال أطلس، نتيجة الانخفاض في الضغط الجوي بسبب ارتفاع درجة الحرارة هناك مقارنة مع درجة حرارة مياه البحر الأبيض المتوسط، والتي تصبح باردة بعد فصل الشتاء. فتؤدي هذه المنخفضات إلى دفع الرياح السطحية المحملة بالغبار من الصحراء الكبرى باتجاه الشرق، إذ يرافق المنخفض في العادة هبوب رياح جافة ومحملة بالغبار قادمة من شبه جزيرة سيناء وصحراء مصر الشرقية(شحادة،1991). ومن الشكل (5) من الجهة اليُسرى، يتضح عند مستوى ضغط 500 ملليبار في طبقات الجو العليا تأثير المنخفض الخماسيني على منطقة الدراسة بتاريخ 2012\6\19، حيث وصل الارتفاع لمستوى ضغط 500 ملليبار فوق الأردن إلى 5860م، والذي وصلت قيمة الضغط في مركزه مروراً بالصحراء العربية الكبرى وأخدود البحر الأحمر وشبه الجزيرة العربية إلى 5908م متجهاً نحو الشرق، ويظهر تأثر منطقة الدراسة بالقطاع الدافئ المرافق للمنخفض الخماسيني نتج عنه موجة حارة وصلت درجات الحرارة العظمى خلالها إلى 38مْ، 34مْ، 33مْ، 40مْ، 41مْ في كل من المفرق وإربد وراس منيف والصفاوي والباقورة على التوالي (دائرة الأرصاد الجوي، 2020). يوضح الشكل (5) من الجهة اليُمنى، خريطة عند مستوى سطح البحر تبين تأثير المنخفض الحراري الخماسيني وبقوة 992 ملليبار في تشكل موجة حارة أثرت على الأردن بتاريخ 2012\6\19، حيث رافق ذلك وجود ضغط جوي سطحي فوق منطقة الدراسة بقوة 1005 ملليبار، مما أدى إلى هبوط تيارات هوائية حارة من طبقات الجو العليا عند مستوى ضغط 500 ملليبار فوق منطقة الدراسة، وبحالة هبوط الهواء ترتفع درجة حرارته محدثاً حالة من الانقشاع للسحب وهدوء الرياح وبالتالي زيادة شدة الإشعاع الشمسي، ينتج عنها المزيد من الحرارة.



الشكل (5) تأثير المنخفض الحراري الخماسيني في تشكل موجة حارة أثرت على منطقة الدراسة بتاريخ 2020/9/8

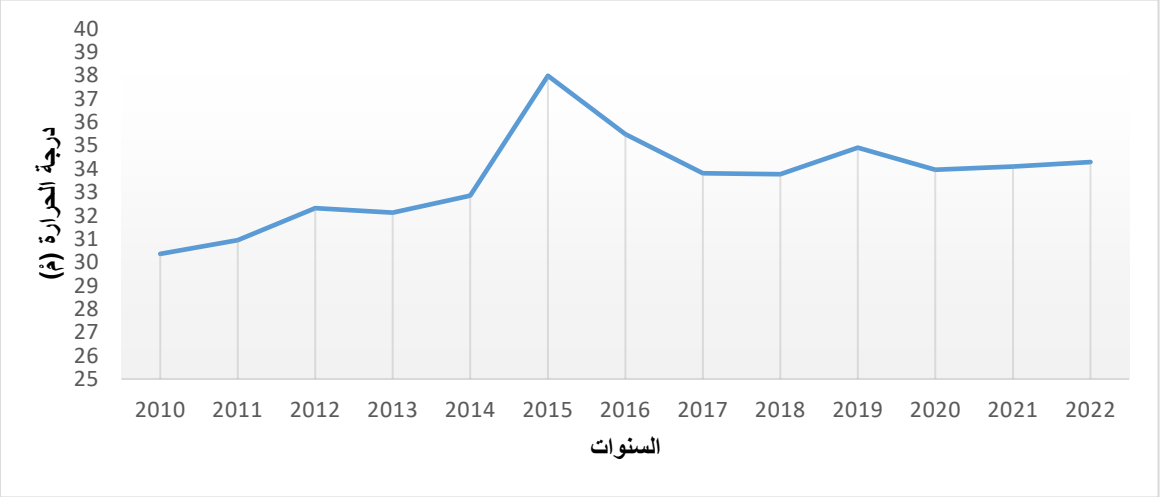
5) التباين الزماني والمكاني للمتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف موضوع الدراسة

أولاً: التباين الزماني للمتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف

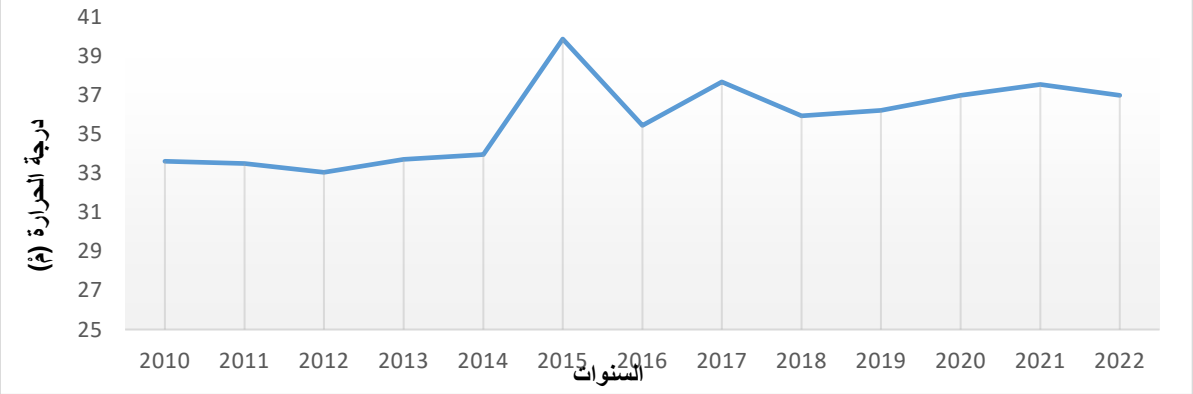
تتباين درجات الحرارة لأي منطقة جغرافية في العالم من عام لآخر تبعاً لعدة ظروف مناخية، ولتحليل هذا التباين الزماني والمكاني لموجات الحر في منطقة الدراسة تم جمع المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف للشهور (حزيران، تموز، آب) في الفترة 2010-2022 لمنطقة الدراسة، كما هو موضح في الأشكال رقم (6) و(7) و(8)، وقد تبين من التحليل ما يلي:

1. نجد عند المقارنة بين المعدلات السنوية لدرجات الحرارة العظمى لأشهُر فصل الصيف أن شهر (آب) يأتي في المرتبة الأولى من حيث الارتفاع في درجات الحرارة العظمى على طول الفترة 2010-2022 بمعدل سنوي يبلغ (35.7) درجة مئوية، يليه شهر (تموز) بمعدل سنوي يبلغ (35.4) درجة مئوية، ثم شهر (حزيران) بمعدل سنوي يبلغ (33.6) درجة مئوية.
2. أن المتوسط العام لدرجات الحرارة العظمى آخذ بالازدياد للفترة 2010-2022، فكان أقل معدل سنوي لدرجات الحرارة العظمى خلال شهر حزيران لعام (2010) هو 30.3 درجة مئوية، في حين كان أعلى معدل سنوي لدرجات الحرارة العظمى لنفس الشهر عام (2022) 34.3 درجة مئوية، ويبلغ المدى للمتوسط العام لدرجات الحرارة العظمى لشهر حزيران حوالي (4) درجات مئوية في شمال الأردن.
3. بلغ المدى للمتوسط السنوي لدرجات الحرارة العظمى لشهر تموز خلال فترة الدراسة 2010-2022 حوالي (5.3) درجات مئوية، حيث كان المتوسط السنوي لدرجات الحرارة العظمى لعام 2010 حوالي (31.6) درجة مئوية، في حين وصل المتوسط السنوي لدرجات الحرارة العظمى لعام 2022 حوالي (36.9) درجة مئوية لنفس الشهر، وهذا مؤشر ودليل واضح على وجود تأثير سلبي للتغير المناخي على السلوك الحراري في مناخ منطقة الدراسة.
4. يتراوح المتوسط السنوي لدرجات الحرارة العظمى في شهر (آب) خلال فترة الدراسة 2010-2022 على مرحلتين، في الأولى بلغ المتوسط السنوي عام 2010 (36.6) درجة مئوية واستمر الارتفاع في متوسط درجات الحرارة العظمى لغاية عام 2015 حيث بلغ متوسط درجة الحرارة العظمى (43.9) بفارق زيادة (7.3) درجة مئوية، أما في المرحلة الثانية بدأت من عام 2016 حيث بلغ متوسط درجات الحرارة العظمى (35.7) درجة مئوية ،وبلغ المتوسط السنوي عام 2022 (36.3) درجة مئوية، بفارق زيادة (0.6) درجة مئوية.
5. تبيّن من التحليل الزماني للمتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف أن العام (2015) أكثر الأعوام تأثراً بالتغير المناخي من حيث الزيادة في المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى لأشهر فصل الصيف (حزيران، تموز، آب)، فقد تباينت المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى لهذا العام خصوصاً، حيث بلغ المتوسط الشهري لدرجات الحرارة العظمى في شهر حزيران (37.9) درجة مئوية، ثم أخذ بالارتفاع في شهر تموز بمتوسط شهري بلغ (39.8) درجة مئوية، ولم يتوقف الازدياد إلى هذا الحد فحسب، بل استمر بالارتفاع إلى أن وصل أقصى ارتفاع في المتوسط الشهري لدرجات الحرارة العظمى خلال شهر آب بمتوسط شهري بلغ (43.9) درجة مئوية، وتُعزى أسباب هذا الارتفاع في درجات الحرارة العظمى لصيف عام (2015) إلى تأثر الأردن بحالة جوية غير اعتيادية مع بداية شهر آب حيث اندفعت كتلة هوائية حارة قادمة من الشرق تزامناً مع امتداد المنخفض الهندي الموسمي وترافق معها نشوء أحوال جوية

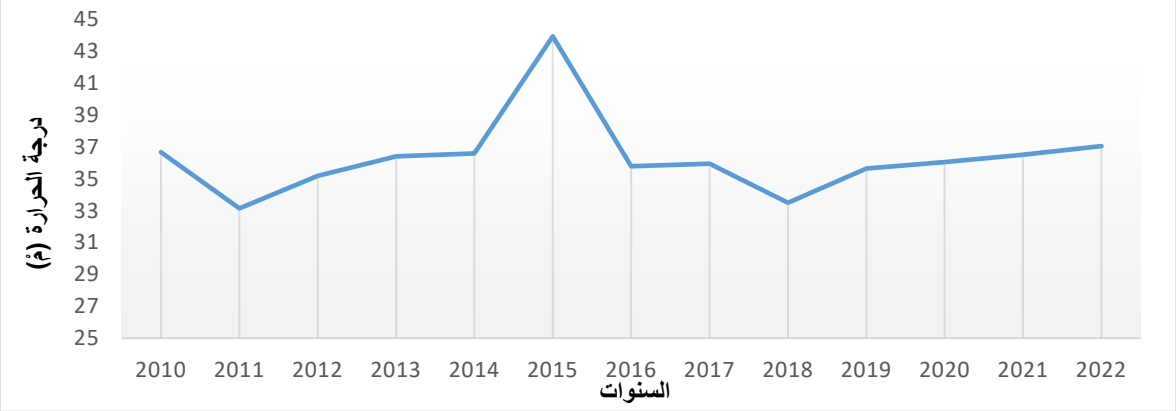
غير مستقرة ، وقد هبت على إثر ذلك عاصفة رملية قوية على مطار الملكة علياء الدولي تسببت بانخفاض حاد في مدى الرؤية الأفقية وانعدامها أحياناً، وفي منتصف شهر آب أثرت موجة حارة أخرى على الأردن تميزت بطول فترة تأثيرها، حيث استمرت لمدة 6 أيام متواصلة لتعود مرة أخرى لتتساوى مع درجات الحرارة مقارنة مع الموجة الحارة الأولى (نشرة طقس العرب، 2015).



الشكل (6) المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى لشهر (حزيران)

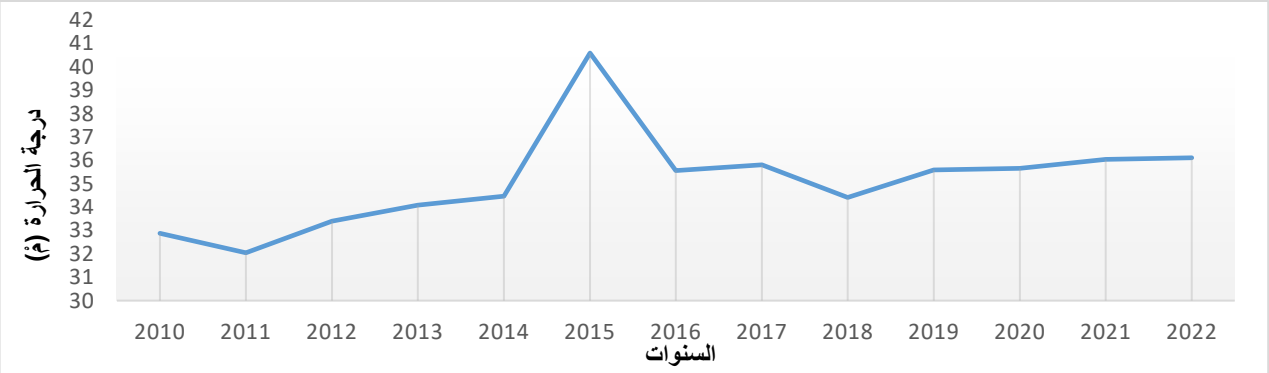


الشكل (7) المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى لشهر (تموز)

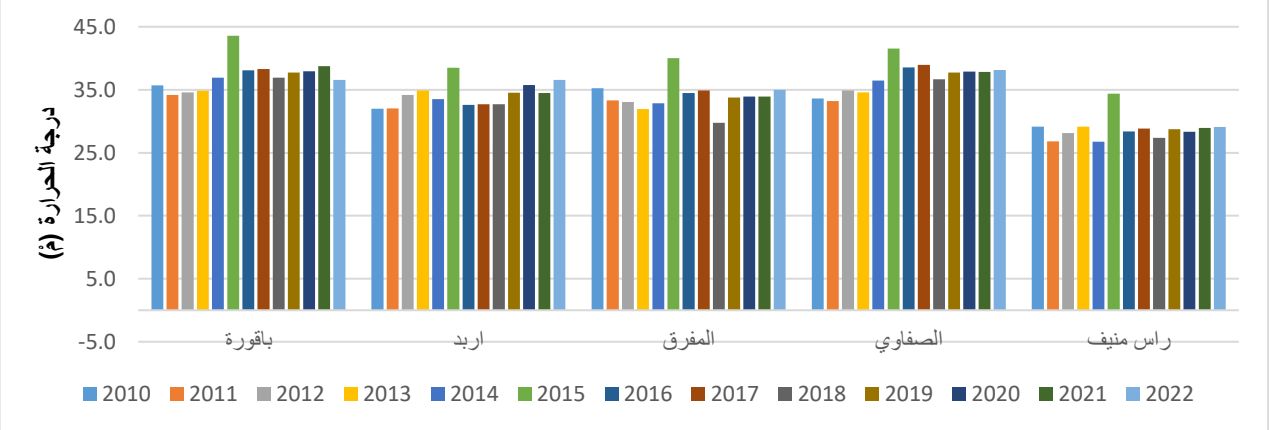


الشكل (8) المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى لشهر (آب)

وبعد إجراء التحليل للمتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة للشهور (حزيران، تموز، آب)، تم حساب المعدل العام لدرجات الحرارة خلال فصل الصيف للفترة بين عامي 2010- 2022 كما هو موضح في الأشكال (9) و(10)، حيث وجد وبشكل ملحوظ زيادة متدرجة في درجات الحرارة العظمى، فكان المعدل العام لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف عام (2010) حوالي (32.8) درجة مئوية، ثم بدأت درجات الحرارة بالارتفاع نهاية الفترة عام (2022) حيث وصلت (35.8) درجة مئوية، كما ويُقدر المدى للمعدل العام لدرجات الحرارة العظمى لفصل الصيف للفترة بين عامي 2010-2022 حوالي (+3.3) درجة مئوية، وهذا مؤشر واضح وقوي يدل على شدة تأثير الاحتباس الحراري في مناخ منطقة الدراسة. أما خلال صيف عام (2015) يمكن ملاحظة الارتفاع في درجات الحرارة العظمى بشكل غير اعتيادي حيث سُجل أعلى معدل لدرجات الحرارة العظمى بمقدار (40.5) درجة مئوية وهي حالة استثنائية تكرر خلالها موجات الحر بسبب تأثير قوي للمنخفض الحراري الهندي الموسمي آنذاك.



الشكل (9) المعدل العام لدرجات الحرارة العظمى لكل المحطات المناخية خلال فصل الصيف



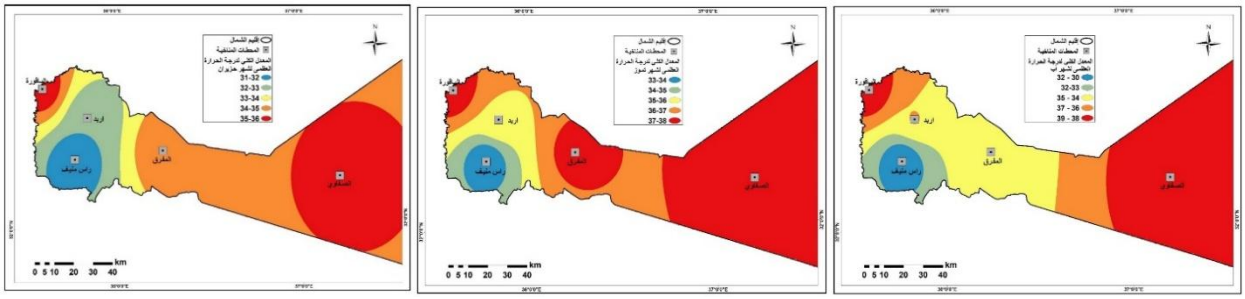
الشكل (10) المتوسطات السنوية لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف حسب المحطات المناخية موضوع الدراسة

ثانياً: التباين المكاني للمتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف

تلعب التضاريس والموقع الجغرافي في منطقة الدراسة دوراً مهماً في تحديد تمركز موجات الحر ومدى تأثر كل منطقة بقيم الضغط الجوي خلال حدوث الموجة الحارة، لذلك تم تحليل التباين المكاني للمتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى للمحافظات (إربد، المفرق، جرش، عجلون)، بالاعتماد على البيانات المناخية لمحطات الرصد الجوي في منطقة الدراسة، وقد أظهرت نتائج التحليل كما هو مبين في الشكل (11)، ما يلي:

1. تبين خلال شهر حزيران الارتفاع في درجات الحرارة العظمى في كل محطات منطقة الدراسة للفترة 2010-2022، ففي محافظتي (جرش وعجلون) كان متوسط درجات الحرارة العظمى بداية الفترة 2010 حوالي (29.5) درجة مئوية، واستمرت بالارتفاع لنهاية الفترة 2022 حيث بلغ متوسط درجات الحرارة العظمى (32.6) درجة مئوية بفارق زيادة (+3.1) درجة مئوية. أما في محافظة إربد كان متوسط درجات الحرارة العظمى عام 2010 (30.5) درجة مئوية، تزايد المتوسط بالارتفاع إلى أن وصل عام 2022 حوالي (34.9) درجة مئوية، بفارق زيادة (+4.4) درجة مئوية. في حين بدأ متوسط درجات الحرارة العظمى في محافظة المفرق عام 2010 يقدّر بحوالي (31) درجة مئوية، وبلغ المتوسط عام 2022 حوالي (35.4) درجة مئوية، بفارق زيادة (+4.4) درجة مئوية.

2. تبين عند تحليل المتوسطات لدرجات الحرارة العظمى خلال شهر تموز وجود ارتفاع ملحوظ في درجات الحرارة العظمى في كل المحطات، وكانت درجات الحرارة العظمى في محافظتي (عجلون وجرش) بداية الفترة حوالي (31.6) درجة مئوية، وفي نهاية الفترة بلغ المتوسط (33.7) درجة مئوية، بفارق زيادة (2.1) درجة مئوية، وفي محافظة إربد كان المتوسط لدرجات الحرارة العظمى بداية الفترة (33.8) درجة مئوية، وبلغ في نهاية الفترة حوالي (38.2) درجة مئوية، بفارق زيادة (5.6) درجة مئوية، أما بالنسبة لمحافظة المفرق فبدأت فترة الدراسة بمتوسط (35.4) درجة مئوية، وإرتفع المتوسط لدرجات الحرارة العظمى نهاية الفترة حيث بلغ حوالي (39) درجة مئوية، بفارق زيادة (3.6) درجة مئوية.
3. أن شهر آب احتل أعلى المتوسطات في درجات الحرارة العظمى، فبلغ المتوسط بداية الفترة في محافظتي (عجلون وجرش) حوالي (33.9) درجة مئوية، وفي نهاية الفترة بلغ المتوسط (35.4) درجة مئوية بفارق زيادة (1.5) درجة مئوية . أما في محافظة إربد فبدأت الفترة بمتوسط بلغ (37.2) درجة مئوية، وإنتهت فترة الدراسة بمتوسط بلغ (36.5) درجة مئوية، ويرجع السبب في ارتفاع متوسط درجات الحرارة العظمى في محافظة إربد عام 2010 إلى تأثر الأردن لموجات حر غير اعتيادية شديدة الحرارة تجاوزت ال 40 درجة مئوية نتيجة تأثير منخفض الهند الموسمي على كافة المحافظات مما أدى الى ارتفاع درجات الحرارة العظمى فوق المعدل العام (بني دومي،2010).
4. أما بالنسبة لمحافظة المفرق خلال شهر آب فبلغ المتوسط لدرجات الحرارة العظمى بداية الفترة عام 2010 حوالي (38.8) درجة مئوية، وبلغ نهاية الفترة عام 2022 حوالي (39.2) درجة مئوية، بفارق زيادة (1.4) درجة مئوية.
5. أن متوسطات درجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف في شمال الأردن تشهد ارتفاعاً في متوسطات درجات الحرارة العظمى خلال الأشهر (حزيران - تموز - آب)، وإلى أن المنطقة تتجه بشكل واضح نحو الاحترار والجفاف، وهذا حقيقةً مؤشر صريح وقوي على تأثير التغير المناخي أو ما يسمى بالاحتباس الحراري (Global Warming) على منطقة الدراسة، ويمكن الاستدلال من خلال التحليل السابق على أن المنطقة ستشهد ارتفاعاً في متوسطات درجات الحرارة العظمى في السنوات القادمة إذا ما استمر تأثير التغير المناخي بهذا الشكل.



الشكل (11) التباين المكاني للمتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف

كشف تحليل التباين المكاني للمتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف في شمال الأردن عن اتجاه تصاعدي ملحوظ في درجات الحرارة خلال الفترة 2010-2022، خاصة في شهري تموز وآب. وقد تبين أن محافظة إربد (الباقورة) شهدت أعلى زيادة، بينما أظهرت جميع المحافظات تأثرها بموجات الحر، مما يعكس تأثير التغير المناخي المتزايد على المنطقة.

ثالثاً: أنظمة الضغط المرتفع العلوية في طبقات الجو العليا عند مستوى ضغط 500 ملليبار (الظروف السينوبتيكية) المصاحبة لموجات الحر في شمال الأردن

يصاحب بعض أنظمة الطقس السطحية والتي تؤدي لحدوث موجات الحر في الأردن وجود امتداد حوض علوي بارد في طبقات الجو العليا، مما يؤدي إلى حصر الرياح الحارة في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي، وبالتالي تعتمد درجة حرارة الرياح السطحية في هذه الحالة على مصدر الرياح والمسار الذي تسلكه للوصول إلى الأردن وعلى المسطحات التي تمر فوقها من حيث نوعها وطبغرافيتها (أبو حسين، 2001).

1) دور أنظمة الضغط العلوية عند مستوى ضغط 500 ملليبار في تشكيل موجات الحر الناتجة عن المنخفضات الحرارية

عند الحديث عن العلاقة الإحصائية بين عناصر المنظومة الجوية السطحية والعلوية والتي تشمل :

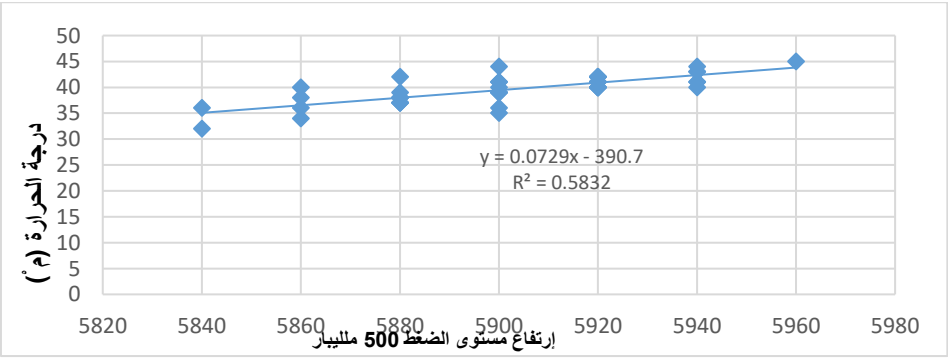
1) ارتفاع مستوى ضغط 500 ملليبار في طبقات الجو العليا
2) درجة الحرارة السطحية
3) الضغط الجوي المرتفع العلوي (متن المرتفع العلوي)

يظهر لدينا ارتباطاً قوياً بين الارتفاع لمستوى ضغط 500 ملليبار ودرجة الحرارة السطحية، حيث إن الارتفاع القياسي عند مستوى ضغط 500 ملليبار يساوي 5574م وهذا الارتفاع القياسي خاص بمنطقة الشرق الأوسط، فكلما زاد الارتفاع للمستوى كلما تشكل متن مرتفع علوي قوي جداً، وبالتالي ارتفاع درجات الحرارة السطحية (بني دومي، 1997)، إذن هي علاقة ارتباط قوية جداً كما يظهر في الجدول (1).

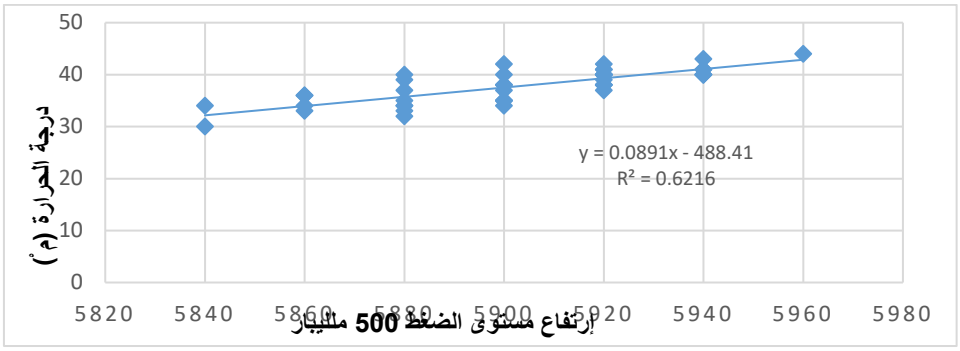
جدول رقم (1) العلاقة بين ارتفاع مستويات الضغط و انحرافها عن المستوى القياسي وموجات الحر موضوع الدراسة

التاريخ	الإرتفاع (م)	الإرتفاع القياسي (م)	الإنحراف عند الإرتفاع القياسي (+)	درجة الحرارة									
				المفرق	المعدل	إربد	المعدل	راس منيف	المعدل	صفاوي	المعدل	الباقورة	المعدل
31/07/2010	5920	5574	+346	41	26.9	37	26	34	22	44	29.7	42	28.2
01/08/2010	5920	5574	+346	42	26.9	40	26	35	22	47	29.7	43	28.2
20/08/2010	5940	5574	+366	44	26.9	41	26	37	22	43	29.7	42	28.2
26/08/2010	5860	5574	+286	34	26.9	33	26	30	22	40	29.7	39	8.2
01/09/2010	5840	5574	+266	32	26.9	32	26	30	22	39	29.7	38	28.2
15/06/2012	5880	5574	+306	42	26.9	34	26	32	22	41	29.7	40	28.2
19/06/2012	5860	5574	+286	38	26.9	34	26	33	22	40	29.7	41	28.2
03/08/2015	5920	5574	+346	42	26.9	41	26	35	22	41	29.7	41	28.2
09/08/2015	5940	5574	+366	43	26.9	41	26	37	22	42	29.7	42	28.2
20/08/2015	5940	5574	+366	40	26.9	40	26	37	22	42	29.7	41	28.2
01/08/2016	5920	5574	+346	42	26.9	40	26	35	22	42	29.7	41	28.2
06/08/2016	5920	5574	+346	40	26.9	38	26	30	22	41	29.7	40	28.2
04/07/2017	5880	5574	+306	39	26.9	37	26	35	22	41	29.7	40	28.2
14/07/2017	5900	5574	+326	36	26.9	35	26	31	22	40	29.7	39	28.2
22/05/2019	5900	5574	+326	41	26.9	35	26	30	22	40	29.7	40	28.2
28/05/2019	5880	5574	+306	38	26.9	33	26	31	22	40	29.7	39	28.2
01/06/2019	5900	5574	+326	40	26.9	37	26	34	22	41	29.7	40	28.2
03/06/2019	5900	5574	+326	39	26.9	34	26	34	22	40	29.7	41	28.2
08/06/2019	5880	5574	+306	37	26.9	35	26	32	22	39	29.7	40	28.2
18/05/2020	5880	5574	+306	37	26.9	39	26	33	22	39	29.7	40	28.2
22/05/2020	5880	5574	+306	38	26.9	40	26	35	22	40	29.7	40	28.2
03/07/2020	5860	5574	+286	40	26.9	36	26	32	22	40	29.7	40	28.2
08/07/2020	5840	5574	+266	36	26.9	34	26	30	22	39	29.7	39	28.2
29/07/2020	5960	5574	+386	45	26.9	44	26	40	22	45	29.7	45	28.2
18/09/2020	5920	5574	+346	41	26.9	40	26	37	22	41	29.7	42	28.2
12/07/2021	5900	5574	+326	39	26.9	38	26	33	22	39	29.7	40	28.2
15/07/2021	5860	5574	+386	36	26.9	36	26	30	22	38	29.7	39	28.2
30/08/2021	5900	5574	+326	39	26.9	38	26	32	22	40	29.7	40	28.2
03/08/2022	5920	5574	+346	40	26.9	39	26	35	22	41	29.7	42	28.2
04/08/2022	5940	5574	+366	41	26.9	40	26	38	22	43	29.7	44	28.2
12/08/2022	5920	5574	+346	40	26.9	40	26	35	22	41	29.7	42	28.2
29/08/2022	5920	5574	+346	40	26.9	38	26	36	22	41	29.7	41	28.2
30/08/2022	5920	5574	+346	42	26.9	38	26	34	22	42	29.7	43	28.2
04/09/2022	5920	5574	+346	40	26.9	40	26	38	22	41	29.7	42	28.2

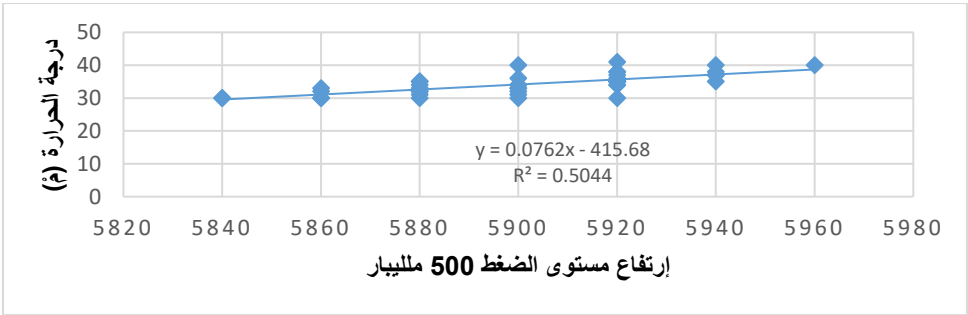
ويمكن الملاحظة عند النظر للجدول رقم (1) أعلاه الارتفاع في درجات الحرارة ولكل المحطات، علماً أن المعدل لدرجات الحرارة العظمى هو 26.9م، 26م، 22م، 29.7م، 28.2م، في محطات كل من المفرق و إربد وراس منيف والصفاوي والباقورة، على التوالي. والأشكال رقم (12) و(13) و(14) و(15) و(16)، تُظهر العلاقة الإحصائية لمعامل ارتباط بيرسون وخط الانحدار بين ارتفاع مستوى الضغط 500 ملليبار ودرجات الحرارة، حيث توجد علاقة طردية قوية جداً ما بين الارتفاع للمستوى وزيادة درجات الحرارة، بمعامل ارتباط (0.763) في محطة المفرق، (0.788) محطة إربد، (0.710) محطة راس منيف، (0.717) محطة الصفاوي، (0.722) محطة الباقورة.



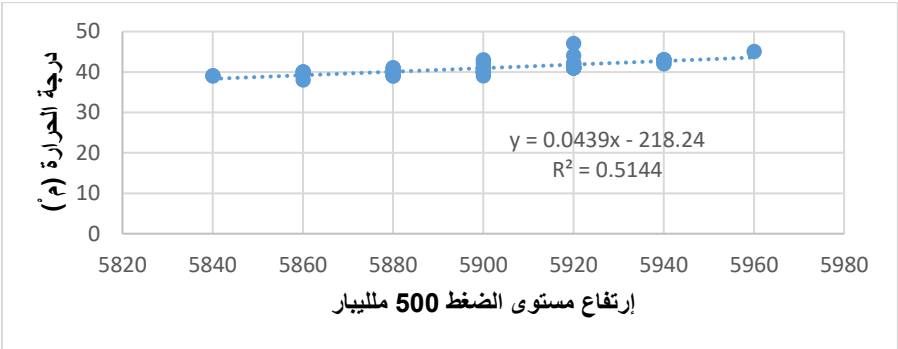
الشكل (12) خط الانحدار ومعامل إرتباط بيرسون للعلاقة بين معدل ارتفاع مستوى ضغط 500 ملليبار ودرجات الحرارة خلال موجات الحر محطة المفرق للفترة 2010-2022



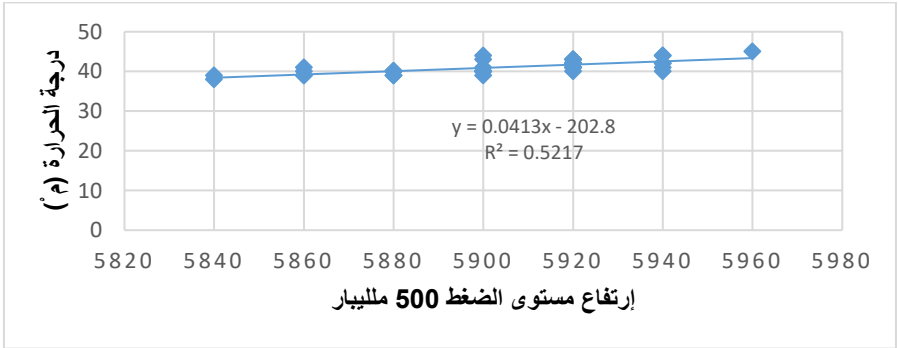
الشكل (13) خط الانحداروmعامل ارتباط بيرسون للعلاقة بين معدل ارتفاع مستوى ضغط 500 ملليبارودرجات الحرارة خلال موجات الحر محطة إربد للفترة 2010-2022



الشكل (14) خط الانحداروmعامل ارتباط بيرسون للعلاقة بين معدل ارتفاع مستوى ضغط 500 ملليبارودرجات الحرارة خلال موجات الحر محطة راس منيف للفترة 2010-2022



الشكل (15) خط الانحداروmعامل ارتباط بيرسون للعلاقة بين معدل ارتفاع مستوى ضغط 500 ملليبارودرجات الحرارة خلال موجات الحر محطة الصفاوي للفترة 2010-2022



الشكل (16) خط الانحداروmعامل ارتباط بيرسون للعلاقة بين معدل ارتفاع مستوى ضغط 500 ملليبارودرجات الحرارة خلال موجات الحر محطة الباقورة للفترة 2010-2022

من خلال التحليل المناخي الشمولي لخرائط طبقات الجو العليا عند مستوى ضغط 500 ملليبار والخرائط السطحية لمستوى سطح البحر يمكن إجمال الأسباب المسؤولة عن تكوين موجات الحر الشديدة والمتعاقبة والتي أثرت على شمال الأردن بما يلي:

1) أن معظم موجات الحر موضوع الدراسة والتي أثرت على منطقة الدراسة كانت بسبب تأثير امتداد المنخفض الحراري الهندي الموسمي وامتداده باتجاه الغرب والذي أدى إلى تكوين المنخفض الحراري السعودي والذي بدوره تمدد نحو الشمال والشمال الغربي نحو الجزء الشرقي من البحر المتوسط.

2) المنخفض الحراري الهندي الموسمي والحراري السعودي يجلبان كتلة هوائية حارة وجافة كونه يمر من فوق شبه الجزيرة العربية وصحراء العراق والذي يجلب المزيد من الحرارة، ويعد من العوامل الرئيسية المسببة لموجات الحر موضوع الدراسة وشدة الموجة وديمومتها يعتمد على عمق المنخفض الحراري السعودي (Kanal, T.P., 1995).

3) المنخفضات الجوية السطحية التي تشكلت نتيجة الامتداد للمنخفض الحراري السعودي أدت إلى تكوين تيارات هوائية صاعدة بسبب التسخين الشديد للسطح، من الناحية العلمية يفترض أن تسهم هذه التيارات الصاعدة بنقل الطاقة إلى الأعلى وبالتالي انخفاض في درجات الحرارة السطحية وتبريد السطح.

4) امتداد المنخفض الحراري السعودي باتجاه الشمال والشمال الغربي أسهم في تكوين منخفض حراري سطحي فوق منطقة الدراسة في جميع الحالات التي تنتج عنها موجات حر شديدة ومتعاقبة.

5) في جميع حالات موجات الحر موضوع الدراسة اقترنت المنخفضات الجوية السطحية بمتن مرتفع جوي علوي قوي جداً فوق المنطقة والذي نتج عنه تيارات هوائية هابطة ضخمة جداً باتجاه السطح، ولا يسمح للتيارات الهوائية الحارة بالصعود بل تقابلها تيارات هوائية ساخنة هابطة من الطبقات العليا وينتج عن هبوط الهواء ارتفاع وزيادة حرارته بالتالي ينتج عن ذلك صفاء السماء وشدة الإشعاع الشمسي وهدوء الرياح، وذلك أدى إلى المزيد من الارتفاع في درجات الحرارة بشكل متواصل والذي يفسر طول موجات الحر موضوع الدراسة.

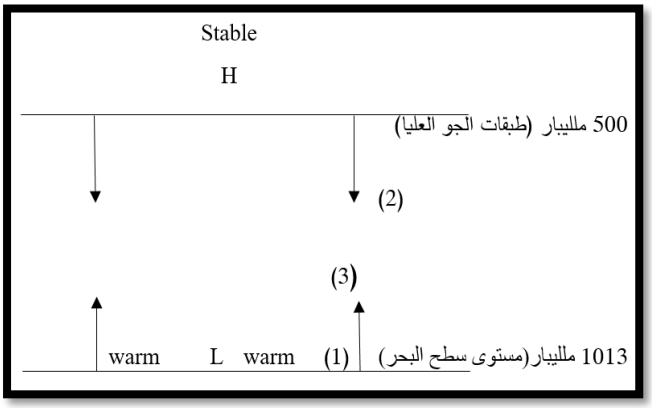
2) تأثير التيارات الهوائية الهابطة في رفع درجات الحرارة

1) يسخن الهواء الهابط تلقائياً عند الاقتراب من السطح بسبب ارتفاع حرارة السطح نتيجة التسخين الشمسي.

2) تقابل الهواء الدافئ الصاعد مع الهواء الدافئ الهابط أبقى الهواء الدافئ قريبا من السطح وبالتالي المزيد من الارتفاع في درجات الحرارة السطحية.

3) الانبعاجات العلوية وما تمثله من ضغط مرتفع تعمل على تنشيط الحركة الرأسية للهواء الهابط Descending motion، وحدوث تفرق هوائي احتكاكي Frictional divergent، عند السطح بحيث تستمر عملية الهبوط وتستمر عملية التسخين الذاتي adiabatic heating ومع استمرار هبوط الهواء تزداد قيم الضغط المرتفع ليصل إلى السطح، وبهذا يعمل على تبديد التباينات الحرارية الرأسية، بحيث تصبح ظاهرة الاستقرارية السطحية هي السمة المميزة وبالتالي المزيد من الارتفاع في درجات الحرارة وهذا ما حصل في موضوع موجات الحر موضوع الدراسة.

4) سيطرة المرتفع الجوي العلوي (متن المرتفع العلوي) upper ridge ووقوع منطقة الدراسة أسفله مع وجود ضغط جوي منخفض سطحي يعمل على جذب الكتل الهوائية الحارة الجافة من الجنوب الشرقي والتي تلتقي مع الهواء الهابط من المرتفع العلوي والنتيجة سيادة الاستقرارية وارتفاع درجات الحرارة لعدة أيام متواصلة، ساعد على ذلك تراجع الغربيات(westerlies) العليا باتجاه الشمال صيفاً والتي لا يظهر لها وجود على خرائط مستوى ضغط 500 ملليبار خلال موجات الحر موضوع الدراسة كما يظهر في الشكل (17).



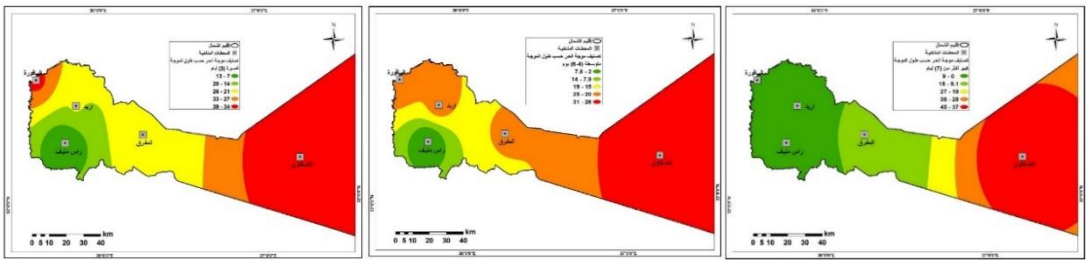
الشكل (17) تقابل التيارات الهوائية الحارة الهابطة مع التيارات الهوائية الحارة الصاعدة

(1) تيارات هوائية حارة صاعدة.
(2) تيارات هوائية حارة هابطة.
(3) نطاق التقابل بين الهواء الدافئ الهابط والهواء الدافئ الصاعد.

رابعاً: التوزيع الجغرافي لموجات الحر في شمال الأردن

1) توزيع موجات الحر حسب طول الموجة بالأيام

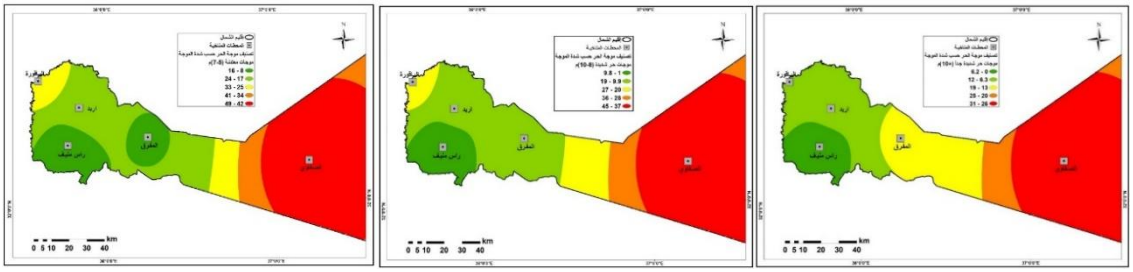
خلال عملية قراءة وحصر السجل المناخي للمحطات المناخية موضوع الدراسة، تم العمل على تصنيف موجات الحر ، وتبين أن محطة الصفاوي سجلت أعلى عدد من موجات الحر القصيرة 39 موجة حر قصيرة (3) أيام خلال فترة الدراسة، وسجلت محطة راس منيف أقل عدد من موجات الحر القصيرة 7 موجات حر.أما موجات الحر المتوسطة (4-6) أيام فقد سجلت محطة الصفاوي أعلى عدد وهو 31 موجة حر متوسطة، وسجلت محطة راس منيف أقل عدد من موجات الحر المتوسطة 2 موجة حر، وبالنسبة لموجات الحر الكبيرة أكثر من (7) أيام سجلت محطة الصفاوي أيضاً أعلى عدد 45 موجة حر كبيرة أكثر من (7) أيام، يليها محطة المفرق 12 موجة حر، يليها محطة الباقورة 7 موجات حر، ثم محطة إربد 5 موجات حر، في حين أن محطة راس منيف لم تسجل أي موجة حر كبيرة أكثر من (7) أيام، كما هو موضح في الشكل (18).



الشكل (18) تصنيف موجات الحر حسب طول الموجة (قصيرة-متوسطة-كبيرة) في منطقة الدراسة للفترة 2010-2022

2) توزيع موجات الحر حسب شدة الموجة بالدرجة المئوية

يتضح عند تصنيف موجات الحر حسب الشدة التفاوت بين المحطات المناخية موضوع الدراسة، حيث سجلت محطة الصفاوي أعلى عدد من موجات الحر المعتدلة (5-7) درجة مئوية، والشديدة (8-10) درجة مئوية، والشديدة جداً (10+) درجة مئوية، يليها محطة الباقورة 30 موجة حر معتدلة، 25 موجة حر شديدة، 12 موجة حر شديدة جداً، يليها محطة إربد 24 موجة حر معتدلة، 13 موجة حر شديدة، 10 موجات حر شديدة جداً، يليها محطة المفرق 15 موجة حر معتدلة، 19 موجة حر شديدة، 18 موجة حر شديدة جداً، ثم محطة راس منيف 13 موجة حر معتدلة، 18 موجة حر شديدة، 5 موجات حر شديدة جداً، كما هو موضح في الشكل (19).



الشكل (19) خريطة تصنيف موجات الحر حسب شدة الموجة (معتدلة الشدة-متوسطة الشدة-شديدة جداً) في منطقة الدراسة للفترة 2010-2022

النتائج

تسلط النتائج الضوء على تأثيرات موجات الحر المتطرفة، والتي قد تؤثر مستقبلاً على النظم البيئية، والموارد المائية، وصحة السكان. بناءً على ذلك، يتم استعراض أهم النتائج التي تم التوصل إليها من خلال التحليل المناخي الشمولي لشمال الأردن:

- تُقدّر نسبة الزيادة في المتوسط العام لدرجات الحرارة العظمى لشهر حزيران حوالي (4٪) درجات مئوية على طول الفترة 2010-2022 في منطقة الدراسة.
- بلغت الزيادة في المتوسط السنوي لدرجات الحرارة العظمى لشهر تموز خلال فترة الدراسة 2010-2022 بفارق (5.3٪) درجة مئوية، حيث كان المتوسط السنوي لدرجات الحرارة العظمى لعام 2010 حوالي (31.6٪) درجة مئوية، في حين وصل المتوسط السنوي لدرجات الحرارة

العظمى لعام 2022 حوالي (36.9) درجة مئوية لنفس الشهر، وهذا مؤشر قوي ودليل واضح على وجود تأثير سلبي للتغير المناخي على السلوك الحراري في مناخ منطقة الدراسة.

- يتراوح المتوسط السنوي لدرجات الحرارة العظمى في شهر (آب) خلال فترة الدراسة بين عامي 2010-2022 على مرحلتين، في الأولى بلغ المتوسط السنوي عام 2010 (36.6) درجة مئوية واستمر الارتفاع في متوسط درجات الحرارة العظمى لغاية عام 2015 حيث بلغ متوسط درجة الحرارة العظمى (43.9) بفارق زيادة (7.3) درجة مئوية، أما في المرحلة الثانية بدأت من عام 2016 حيث بلغ متوسط درجات الحرارة العظمى (35.7) درجة مئوية، وبلغ المتوسط السنوي عام 2022 (36.3) درجة مئوية، بفارق زيادة (0.6) درجة مئوية.
- يُعد العام (2015) أكثر الأعوام تأثراً بالتغير المناخي من حيث الزيادة في المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى لأشهر فصل الصيف (حزيران، تموز، آب)، فقد تباينت المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى لهذا العام خصوصاً، حيث بلغ المتوسط الشهري لدرجات الحرارة العظمى في شهر حزيران (37.9) درجة مئوية، ثم أخذ بالارتفاع في شهر تموز بمتوسط شهري بلغ (39.8) درجة مئوية، ولم يتوقف الازدياد إلى هذا الحد فحسب، بل استمر بالارتفاع إلى أن وصل أقصى ارتفاع في المتوسط الشهري لدرجات الحرارة العظمى خلال شهر آب بمتوسط شهري بلغ (43.9) درجة مئوية، وتُعزى أسباب هذا الارتفاع في درجات الحرارة العظمى لصيف عام (2015) إلى تأثر الأردن بحالة جوية غير اعتيادية مع بداية شهر آب حيث اندفعت كتلة هوائية حارة قادمة من الشرق تزامناً مع امتداد المنخفض الهندي الموسمي وترافق معها نشوء أحوال جوية غير مستقرة، وقد هبت على إثر ذلك عاصفة رملية قوية على مطار الملكة علياء الدولي تسببت بانخفاض حاد في مدى الرؤية الأفقية وانعدامها أحياناً، وفي منتصف شهر آب أثرت موجة حارة أخرى على الأردن تميزت بطول فترة تأثيرها، حيث استمرت لمدة 6 أيام متواصلة لتعود مرة أخرى لتتساوى مع درجات الحرارة مقارنة مع الموجة الحارة الأولى (نشرة طقس العرب، 2015).
- وجد وبشكل ملحوظ زيادة متدرجة في درجات الحرارة العظمى، فكان المعدل العام لدرجات الحرارة العظمى خلال فصل الصيف عام (2010) حوالي (32.8) درجة مئوية، ثم بدأت درجات الحرارة بالارتفاع نهاية الفترة عام (2022) حيث وصلت (35.8) درجة مئوية، كما وتقدر نسبة الزيادة في المعدل العام لدرجات الحرارة العظمى لفصل الصيف للفترة بين عامي 2010-2022 حوالي (3.3+) درجة مئوية، وهذا مؤشر واضح وقوي يدل على شدة تأثير الاحتباس الحراري في مناخ منطقة الدراسة. أما خلال صيف عام (2015) يمكن ملاحظة الارتفاع في درجات الحرارة العظمى بشكل غير اعتيادي حيث سُجل أعلى معدل لدرجات الحرارة العظمى بمقدار (40.5) درجة مئوية وهي حالة استثنائية تكرر خلالها موجات الحر بسبب تأثير قوي للمنخفض الحراري الموسمي آنذاك.
- شهر آب احتل أعلى المتوسطات في درجات الحرارة العظمى، فبلغ المتوسط بداية الفترة في محافظتي (عجلون وجرش) حوالي (33.9) درجة مئوية، وفي نهاية الفترة بلغ المتوسط (35.4) درجة مئوية بفارق زيادة (1.5) درجة مئوية .
- أمكن التوصل بعد التحليل المكاني لمتوسطات درجات الحرارة العظمى في منطقة الدراسة إلى أن منطقة الدراسة تشهد ارتفاعاً في متوسطات درجات الحرارة العظمى خلال الأشهر (حزيران - تموز - آب)، وهذا حقيقةً مؤشر صريح وقوي على تأثير التغير المناخي أو ما يسمى بالاحتباس الحراري (Global Warming) على منطقة الدراسة، ويمكن الاستدلال من خلال التحليل السابق على أن المنطقة ستشهد ارتفاعاً في متوسطات درجات الحرارة العظمى في السنوات القادمة إذا ما استمر تأثير التغير المناخي بهذا الشكل.

التوصيات

توصي الدراسة بما يلي:

1- إعادة تقييم تأثير المنخفضات الجوية الحارة على المناخ المحلي، كون أن المنخفض الهندي الموسمي والمنخفض الحراري السعودي ساهما في ارتفاع غير مسبوق لدرجات الحرارة، خاصة خلال صيف 2015، حيث وصلت درجة الحرارة العظمى في شهر آب إلى (43.9) درجة مئوية. لذا، يوصي الباحثان بإجراء دراسات تفصيلية حول تأثير هذه المنخفضات على مناخ شمال الأردن، بهدف تحسين دقة التنبؤات الجوية واتخاذ تدابير وقائية، مثل تطوير خطط إدارة الحرارة العالية في القطاعات الأكثر تأثرًا كالصحة والزراعة.

2- بما أن التحليل المكاني لمتوسطات درجات الحرارة العظمى أوضح اتجاهًا تصاعديًا في درجات الحرارة العظمى خلال أشهر الصيف، وخاصة في محافظتي عجلون وجرش، يوصى بتطوير استراتيجيات تخطيط مناخي تشمل استخدام تقنيات حديثة لتقليل التأثير الحراري، مثل استخدام الأسطح العاكسة للحرارة، وتطوير أنظمة تبريد طبيعية تعتمد على مصادر الطاقة المتجددة، للحد من تفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري في المستقبل.

3- على مستوى تقليل الأضرار الصحية، يجب التوسع في أنظمة الإنذار المبكر لمخاطر التغير المناخي، وتعريف السكان بأهمية هذا الأمر وعدم إهمال الجانب الصحي في حال التعرض لأحد الأضرار الصحية، والإسراع لتلقي العلاج في المراكز الصحية والمستشفيات لتجنب أية آثار سلبية.

4- العمل على إنشاء مراكز للتغير المناخي في الجامعات وإدخال مساقات تحت مسمى أخطار التغير المناخي ضمن الخطط الدراسية.

5- نظرًا للزيادة المستمرة في المتوسط العام لدرجات الحرارة العظمى خلال أشهر الصيف، وخاصة في شهر تموز الذي شهد ارتفاعًا بمقدار (5.3) درجة مئوية بين عامي 2010-2022، يوصى بوضع خطط للتكيف مع هذه الظاهرة من خلال تحسين أنظمة التهوية والتبريد في المناطق الحضرية، وزيادة التشجير، وتطوير بنى تحتية مقاومة للحرارة، خاصة في المدن الأكثر تأثرًا.

المصادر والمراجع

أبو حسين، ع. وغانم، ع. (2001). *موجات الحر في الأردن 1960-2000م، أطروحة دكتوراة غير منشورة*، الجامعة الأردنية، الأردن.

البديري، أ. (2021). تحليل مؤشرات تطرفات درجات الحرارة اليومية في العراق. *مجلة لارك للفلسفة واللسانيات والعلوم الاجتماعية*، 4(43)، 902-922.

السامرائي، ق. (1994). موجات الحر في العراق، دراسة تطبيقية عن مناخ العراق. *ورقة بحث مقدمة في المؤتمر الجغرافي السابع*، جامعة الأنبار.

العاني، ح. وولي، ا. (1985). *خرائط الطقس والتنبؤ الجوي*. (ط1). العراق: وزارة التعليم العالي العراقي، جامعة البصرة.

التوم، م. (1974). *مناخ السودان*. الإسكندرية: دار نافع للطباعة.

بني دومي، م. (1997). *الخصائص الشمولية والمكانية لسنوات الجفاف في الأردن دراسة تحليلية مُناخية*، أطروحة دكتوراة غير منشورة، جامعة بغداد، العراق.

بني دومي، م. (2010). تحليل المناخ الشمولي لموجات الحر المتتابعة التي اثرت على الاردن خلال الموسم المطري 2009-2010. *دراسات: العلوم الإجتماعية والإنسانية*، 47(3)، 99-113.

دائرة الأرصاد الجوية الأردنية. (2023). *بيانات مناخية غير منشورة للفترة 2010-2022*.

زيتون، م. والصبابحة، ن. والمقبل، ع. (2017). تقييم الظروف السينوبتيكية المرافقة لموجة الحر التي أثرت على الأردن خلال الفترة 30 حزيران-6 تموز 2017. *مجلة الجامعة الإسلامية للدراسات الانسانية*، 27(2)، 213-239.

سكاف، م. ورنجوس، ل. (2022). دراسة التغير في درجات الحرارة العظمى وخصائص موجات الحر لفصل الصيف في المنطقة الساحلية من سورية خلال الفترة 1977-2016. *مجلة جامعة تشرين- العلوم البيولوجية*، 44(3)، 218-233.

شحادة، ن. (1991). *مناخ الأردن*. (ص 40-81). الأردن: دار البشير للنشر والتوزيع.

شحادة، ن. (2009). *علم المناخ*. (ط1). الأردن: دار صفاء للنشر والتوزيع.

علي، ا. (2020). موجات الحر بالغردقة. *مجلة البحث العلمي في الآداب جامعة عين شمس*، 21(2)، 267-320.

نشرة طقس العرب. (21/2015 سبتمبر). تم استرجاعها من: https://n9.cl/b6k2ng.

References

Bani Domi, M. (2010). Synoptic climate analysis for succession heat waves which effect on Jordan in rainy season 2009/2010. *Dirasat: Human and Social Sciences, 47*(3), 99–113.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate change: Synthesis report: Contribution of Working Groups I, II, and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (R. K. Pachauri & A. Reisinger, Eds.).

Kanal, T. P. (1995). Trends in high frequency climate variability in the twentieth century. *Nature, 377*, 217–220.

Lewis, S. C., King, A. D., & Mitchell, D. M. (2017). Australia's unprecedented future temperature extremes under Paris limits to warming. *Geophysical Research Letters, 44*, 9947–9956. https://doi.org/10.1002/2017GL074612

Robart, W. (1995). Human population health. In *Climate change 1995* (pp. 569–575). Cambridge University Press.

Steadman, R. G. (1979). The assessment of sultriness: Part I: A temperature–humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology, 18*, 861–867.

Winstanley, D. (1970). The North African flood disaster, September (1969). *Weather*. https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1970.tb04128.x

Zacharias, S., Koppe, C., & Mücke, H.-G. (2015). Climate change effects on heat waves and future heat wave-associated IHD mortality in Germany. *Climate, 3*, 100–117.

Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Fnais, M., et al. (2016). Projected changes in heat wave characteristics in the eastern Mediterranean and the Middle East. *Regional Environmental Change, 16*, 1863–1876.
https://doi.org/10.1007/s10113-014-0753-2