

النماذج المناخية والتغير المناخي في الحوض الشرقي للبحر المتوسط

Climatic models and climate change in the eastern Mediterranean

علي عنبر*، ونعمان شحادة

Ali Anbar & Numan Shehdeh

قسم الجغرافيا، الجامعة الاردنية، الأردن

*الباحث المرسل: alihdanbar@hotmail.com

تاريخ التسليم: (2019/3/14)، تاريخ القبول: (2020/1/19)

ملخص

تعد النماذج المناخية الوسيلة الرئيسة لتقدير التغير المناخي الذي حدث فعلا، والتوقع بما سيكون عليه المناخ في المستقبل. وأفضل أنواع تلك النماذج هي النماذج الديناميكية التي تقوم - بالإضافة إلى تقدير تأثير الزيادة المتوقعة لغازات الدفيئة على ظاهرة الاحتباس الحراري - بتمثيل النظام المناخي الحالي بجميع عناصره. وإذا كانت النماذج المناخية تعطي نتائج جيدة عند تطبيقها على مستوى الكرة الأرضية بأكملها، إلا أنها لا تعطي نتائج بنفس الدقة عند تطبيقها على المستوى الإقليمي، خاصة للركن الجنوبي الشرقي من الحوض الشرقي للبحر المتوسط، وذلك بسبب التباين التضاريسي والمناخي الكبيرين، وارتفاع نسبة الغبار في الأجواء، والتباين الفصلي الشديد في مناخ الإقليم. ولهذا، فإن الهدف الرئيس لهذه الدراسة هو مقارنة التقديرات التي تقدمها تلك النماذج للتغيرات المناخية في الحوض الشرقي من البحر المتوسط مع نتائج دراسات محلية في الأردن للتغيرات التي تم تقديرها باستخدام أساليب إحصائية متعددة منها الفروقات المتجمعة والمتوسطات المتحركة والانحدار الخطي وغيره.

الكلمات المفتاحية: النماذج المناخية، الحوض الشرقي للبحر المتوسط، مناخ الأردن، التغير المناخي.

Abstract

Climate models are considered the main tool in evaluating actual climate change, and to predict future climate. Best types of such models are dynamic models, which evaluate the impact of expected increase of greenhouse gases upon greenhouse effect. They also represent present climate systems including its entire elements. Climate models can provide

good results when they are applied on the entire world, but it does not give the same accuracy when regional level is concerned, specially the Eastern Mediterranean corner, due to relief and climate variation and high content of dust and seasonal climate variation. Main objective of this study is conducting a comparison between such climate models evaluation in the eastern Mediterranean with local results obtained by applying different statistical methods such as CUSUM, Moving Averages and Linear Regression.

Keywords: Climate Change, Eastern Mediterranean, Climate Models, Climate of Jordan.

مقدمة

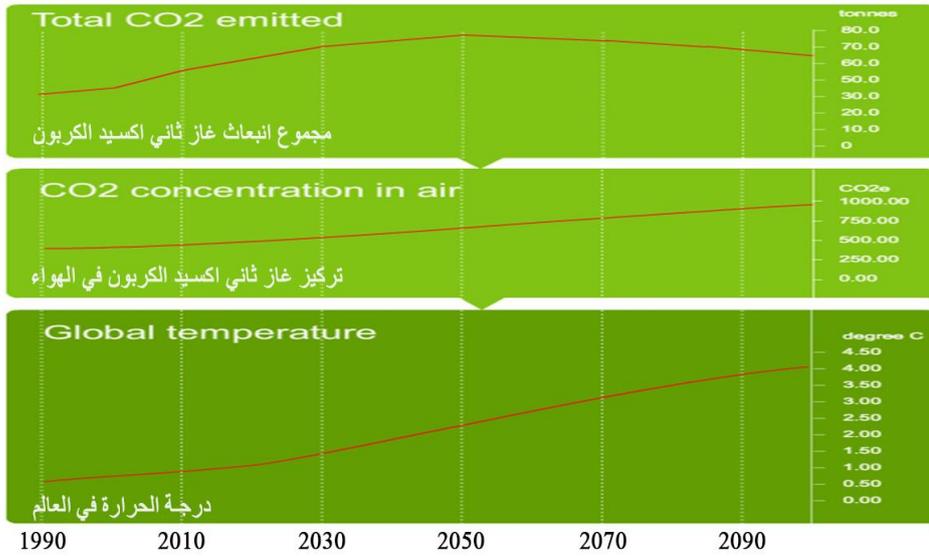
يستخدم في تحليل خصائص التقلبات المناخية المتوقعة مستقبلا نماذج كمبيوتر مناخية متطورة (Climatic Models). وأكثر أنواع تلك النماذج تطورا هي النماذج الخاصة بتمثيل الدورة العامة للغلاف الجوي ("GCM" General Circulation Models). وتعود بداية استخدام تلك النماذج إلى الستينات من القرن الماضي، حيث كانت النماذج الأولى منها تعتمد في تقدير التغيرات المتوقعة في عناصر المناخ المختلفة تبعا للزيادات المتوقعة في نسبة غازات الدفيئة في الغلاف الجوي. وتتباين نتائج تلك النماذج تبعا للفرضيات التي بنيت عليها من حيث الزيادة المتوقعة في نسب الغازات الدفيئة كثاني أكسيد الكربون (CO_2) وغيره من غازات الدفيئة (Greenhouse Gazes) التي تساهم في تسارع ظاهرة الاحتباس الحراري (Temperature global warming)، وعلى مدى قدرة تلك النماذج على محاكاة (Simulation) استجابات النظام الجوي لمختلف السيناريوهات المتوقعة للمدخلات الخاصة التي تؤثر على مناخ المستقبل (Karas, J; 2000, IPCC, 2006).

وكانت نسبة الدقة في نتائج تلك النماذج متواضعة، خاصة وأنها كانت لا تأخذ بالاعتبار عوامل أخرى كثيرة تؤثر على دقة نتائجها، ولهذا فقد تم مؤخرا تطويرها اعتمادا على النماذج الرياضية المستخدمة في عملية التنبؤ الجوي (Numerical weather forecasting models)، وتعتمد النماذج الحديثة في محاكاتها للتغيرات المناخية على حساب الحلول المناسبة لتباين معدلات انتقال المادة والطاقة في الغلاف الجوي والمساحات المائية، وذلك باستخدام معادلات فيزيائية معروفة (IPCC, 2007).

وتقوم النماذج المناخية الحديثة للدورة العامة للغلاف الجوي (GCM) بتمثيل النظام المناخي الحالي بجميع عناصره من: ضغط جوي، ودرجة حرارة، وإشعاع شمسي، ورطوبة، وأمطار وغيرها. كما أنها تمثل؛ الكتل الهوائية، والجبهات والمنخفضات الجوية، والأحواض العليا للضغط

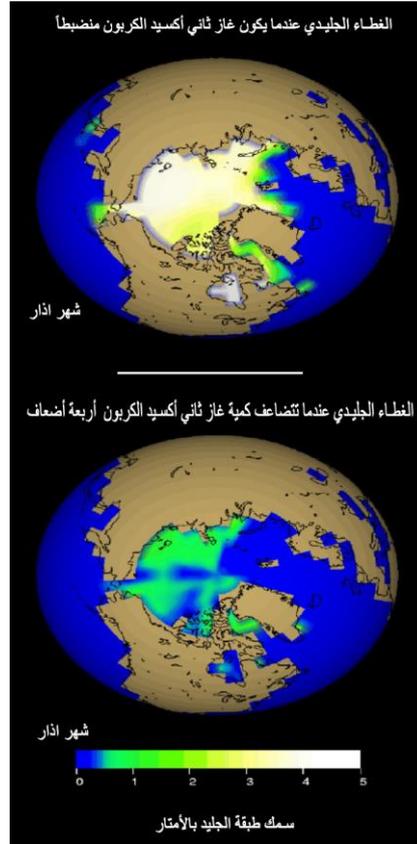
الجوي المنخفض (Upper Troughs) وبتوات الضغوط المرتفع (Upper Ridges) والتيارات النفائة (Jet Streams) وغيرها. ويتم تمثيل تلك العناصر جميعها على نماذج ثلاثية الأبعاد (Three Dimensions)، وعلى عدة مستويات في الغلاف الجوي، كما يتم إدخال المؤثرات الأخرى على التغير المناخي؛ كارتفاع نسبة الشوائب في الجو، وتناقص مساحة الغابات، وازدياد التصحر وغيرها⁽¹⁾. ويتم ذلك كله وفق تقديرات مدروسة بدقة، وبتطبيق القوانين الفيزيائية المناسبة التي تؤثر على حركة الغلاف الجوي ووفرة الطاقة (Large-scale motion & energetic)⁽²⁾. ويوضح الشكل (1) التزايد المتوقع لثاني أكسيد الكربون في الجو خلال الفترة 1990-2090، والمعدل السنوي لدرجة الحرارة المتوقع على مستوى العالم. وكما هو موضح في الشكل المذكور فإن من المتوقع أن يتسارع معدل تزايد درجة الحرارة كثيرا اعتبارا من سنة 2030، وأن يستمر في التزايد المتسارع بالرغم مما قد يحصل من تناقص نسبي في معدلات تزويد الغلاف الجوي بغاز ثاني أكسيد الكربون. وتتوقع النماذج المناخية استمرار عملية التسارع حتى نهاية القرن الحالي بسبب عدم التنفيذ الدقيق من قبل دول العالم للتوصيات المتكررة للمؤتمرات الدولية البيئية بالحد من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون وبسبب التزايد المتسارع في عدد السكان ووسائل المواصلات والتدفئة واجتثاث الغابات وغيرها (Alpert, P., et al., 2008, Evans., 2010). يضاف إلى ذلك أن استمرار اجتثاث الغابات وتسارع عملية التصحر تساهمان إلى حد كبير في تسارع معدل زيادة درجة الحرارة لأنهما يقللان من معدلات التبخر والنتح.

- (1) يعد غاز ثاني أكسيد الكربون الغاز الرئيس من بين غازات الدفيئة، وهو يساهم بحوالي 70% من الارتفاع في درجة الحرارة، ولهذا يتم التعبير عن فعالية الغازات الأخرى للدفيئة بما تعادله من وحدات غاز ثاني أكسيد الكربون.
- (2) برز قانون الهيدروديناميكس (Hydrodynamics) والثيرموديناميكس (Thermodynamics) الذي يتحكم في طبيعة التغيرات التي تطرأ على الغلاف الجوي استجابة لأي مؤثر يؤثر عليه هي: 1- قانون المحافظة على الكتلة. 2- القانون الأول للثيرموديناميكس الذي ينص على أن الطاقة الداخلية في أي نظام لا تتغير إلا من خلال إضافة أو فقدان ذلك النظام للحرارة. 3- القانون الثاني لنيوتن في الثيرموديناميكس والذي ينص على أن الطاقة الحركية لأي ذرة من الهواء تتغير وفقا لحاصل جمع المتجهات (Vectors) التي تؤثر عليها تبعا لقاعدة جمع المتجهات (Vector sum).



شكل (1): الزيادة المتوقعة في غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو ودرجة الحرارة المتوقعة. (المصدر: IPCC, 2007)

وتتوقف الدقة التي يستطيع أي نموذج مناخي أن يحققها عند محاكاة استجابات النظام المناخي، على مستوى فهم العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تحكم هذا النظام. أي أن التوقعات التي يتم الحصول عليها من تلك النماذج تتفاوت تبعاً للفرضيات الخاصة بكل نموذج كما هو مبين في الشكل (2) الذي يمثل التوقع المستقبلي للمساحة المغطاة بالجليد في منطقة القطب الشمالي على ضوء تقديرات نموذجين يفترض الأول منهما أن نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ستبقى ثابتة حتى نهاية القرن الحالي بينما يفترض النموذج الثاني أن نسبة ثاني أكسيد الكربون ستتضاعف أربعة أضعاف.

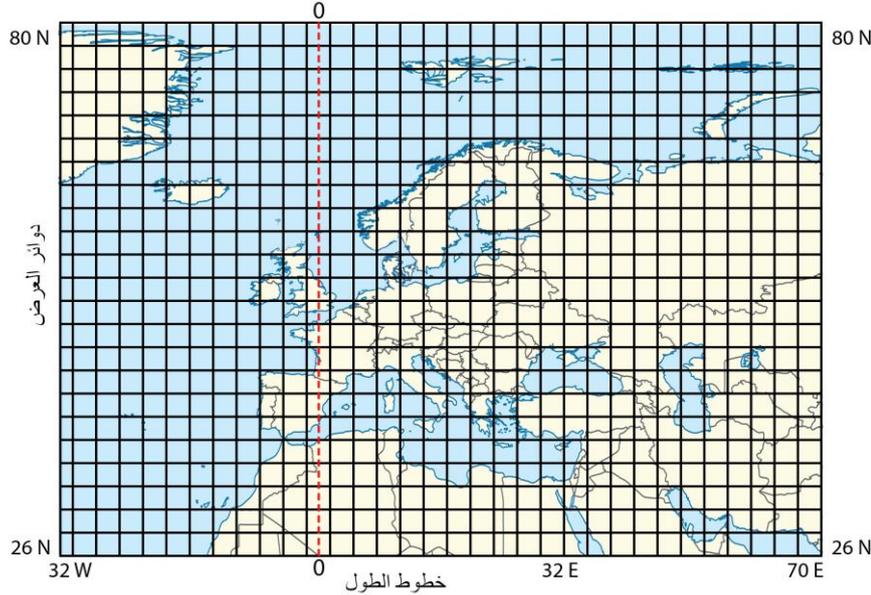


شكل (2): اختلاف مساحة الغطاء الجليدي في المنطقة القطبية تبعاً لاختلاف الزيادة المتوقعة في نسبة ثاني أكسيد الكربون.

(المصدر: IPCC, 2007) (The Intergovernmental Panel on Climate Change)

ولعل من العيوب الرئيسية للنتائج التي يتم الحصول عليها من تطبيق النماذج المناخية - كما يذكر كاراس (Karas, J, 1990) - خاصة عند استخدام تلك النتائج للحصول على بيانات إقليمية أو محلية - أن المنطقة التي يغطيها النموذج تكون مقسمة إلى شبكة من المربعات كبيرة المساحة. ويتم استخدام خطوط الطول والعرض في تقسيم المنطقة إلى تلك المربعات بحيث تكون مساحة المربع (5 خطوط طول x 5 خطوط عرض) مثلاً، وإن كانت بعض النماذج الحديثة التي طورها مركز هيدلي (Hadley Center) للنماذج المناخية التابع لدائرة الأرصاد الجوية البريطانية تستخدم مربعات أقل مساحة وأكثر دقة (شكل 3). وتوجد في الوقت الحاضر نماذج تقوم بتقسيم منطقة الدراسة إلى شبكة من المربعات الأفقية تغطي كل منها 2-4 خطوط عرض و 2-4 خطوط

طول (Isabel., & Davies, T.R., 1999). وتقوم بتقسيم الغلاف الجوي إلى طبقات رأسية يتراوح عددها بين 10-20 طبقة. وتقوم تلك النماذج بمحاكاة حركة الرياح، والتيارات البحرية، ومعدلات تبادل الحرارة، والرطوبة، والحركة الدورانية المطلقة (Momentum) في المنطقة التي تدرسها.



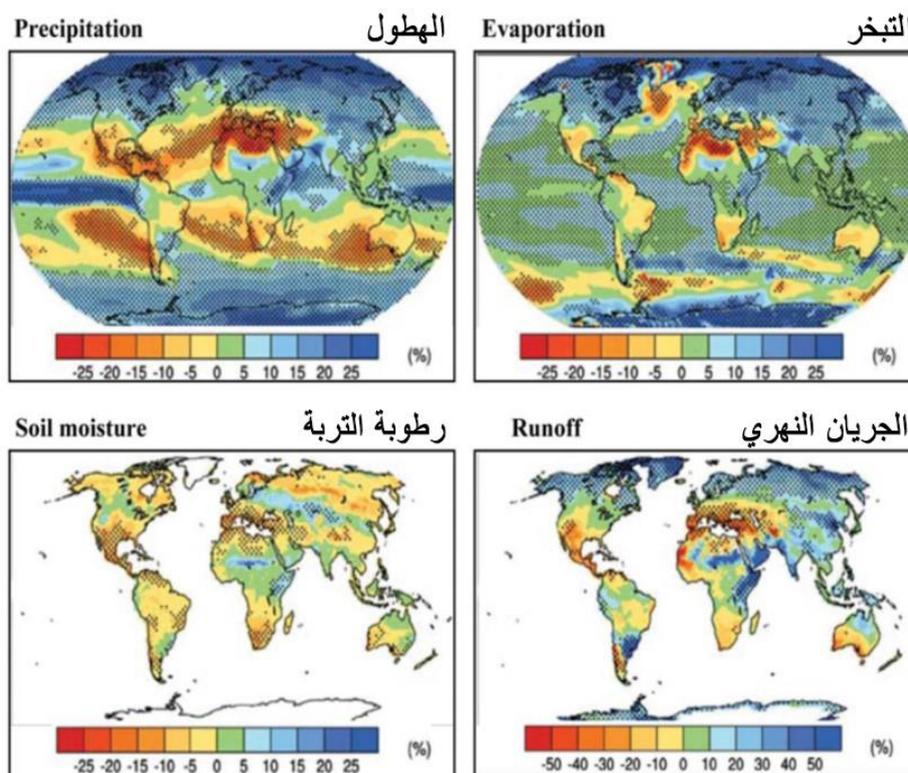
شكل (3): استخدام المربعات المتساوية المساحة في النماذج المناخية.

ومما ساعد على التطور في إعداد النماذج المناخية في السنوات الأخيرة هو تطور عمليات الرصد للغلاف الجوي من أعلى من قبل المركبات الفضائية والأقمار الصناعية الخاصة بالرصد الجوي، حيث تمكنت تلك الأقمار من توفير بيانات متصلة ليلاً نهاراً لمساحات شاسعة من سطح الأرض، كما وفرت بيانات كافية عن مناطق لم تكن تتوفر عنها تلك البيانات؛ مثل المسطحات المائية الواسعة، والمناطق الصحراوية، كما أن تلك الأقمار قد وفرت باستخدام كاميرات خاصة بيانات عن درجة حرارة، ودرجة ملوحة مياه البحار والمحيطات على أعماق مختلفة. وقد ساعد التطور الكبير في قدرات أجهزة الحاسب الآلي ووسائل تغذيتها بالبيانات على تطوير تلك النماذج وتحديثها.

ويتولى في الوقت الحاضر عدد من المراكز المتخصصة متابعة النتائج التي يتم الحصول عليها من تلك النماذج وتقييمها. ومن أشهر تلك البرامج برنامج مقارنة النماذج (AMIP) "Intercomparison (Atmospheric Model Program) الذي يقوم باستمرار بمقارنة النتائج التي يتم التوصل إليها من حوالي 25 نموذجاً.

أهمية الدراسة

يجمع معظم الباحثين أن للنماذج المناخية ميزة كبرى على غيرها من الأساليب في محاكاة التغيرات المناخية المستقبلية، خاصة عندما يتم استخدامها لتمثيل تلك التغيرات على مستوى الكرة الأرضية بأكملها. ويبين الشكل (4) نمودجا لبعض نتائج تلك النماذج يمثل التباين المكاني المتوقع بنهاية القرن الحالي لكل من المعدل السنوي للأمطار والتبخر والمعدل السنوي للجريان النهري مقارنة بمعدلات تلك المتغيرات للفترة (1950-2000) (Assaf, H., 2010).

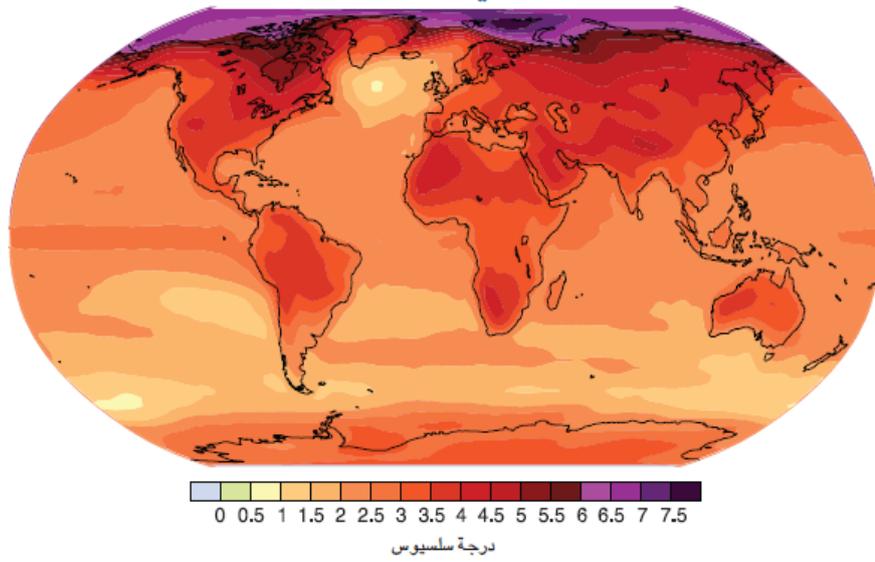


شكل (4): التباين المكاني المتوقع بنهاية القرن الحالي لكل من المعدلات السنوية للأمطار والتبخر ورطوبة التربة والمعدل السنوي للجريان النهري مقارنة بمعدلات تلك المتغيرات للفترة (1950-2000).

(المصدر: Assaf, H., 2010).

إلا أن دقة تلك النماذج في محاكاة التغيرات المتوقعة في الحوض الشرقي للبحر المتوسط،
تعرضها كثيرا من الصعوبات الناجمة عن العوامل التالية (Karas, J, 1990, Pedersen,)
(D., 2008):

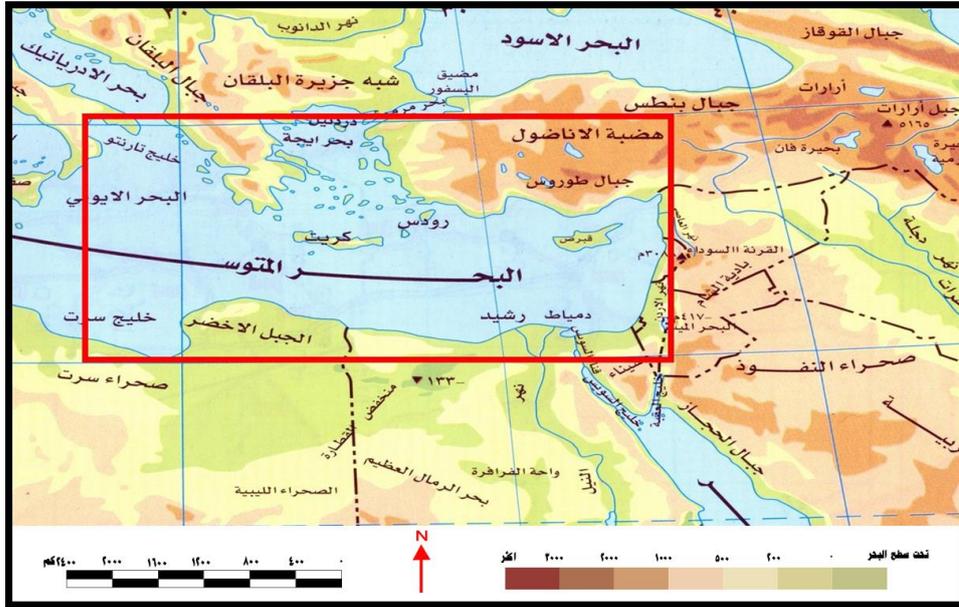
- التباين التضاريسي الشديد في المنطقة، مما يجعل لعامل الاختلاف في الارتفاع تأثير كبير خاصة في حالة ضعف تأثير المنخفضات الجوية، وبحيث يصبح العامل التضاريسي ذو أهمية أكبر مما كانت عليه.
 - كثرة الغبار العالق في الهواء نظرا لوجود مساحات شاسعة من المناطق الجافة وشبه الجافة التي لا تبعد عن السواحل الجنوبية والشرقية للبحر المتوسط سوى كيلومترات محدودة، وكثرة تعرض الإقليم لمنخفضات خماسينية جافة أو شبه جافة. إذ أن كثرة ذرات الغبار التي تعمل أيضا على أنها نويات تكاثف لبخار الماء تحول دون نمو قطيرات الماء الصغيرة مما يبقيها عالقة في الجو.
 - الفصلية الكبيرة لعناصر المناخ في الإقليم وسيادة الجفاف في معظم شهور السنة.
 - التدرج المناخي السريع من مناخ البحر المتوسط في المناطق المحيطة بذلك البحر مباشرة إلى المناخ شبه الجاف والمناخ الجاف (Evans *et al.* 2004). ويبين الشكل (5) التباين المكاني للزيادة في درجة الحرارة خلال الفترة 1980-1999 حيث تظهر الزيادة الكبيرة في الحوض الشرقي للبحر المتوسط وشمال إفريقيا حيث تتراوح الزيادة بين 2.5 - 4 م، وهي من أعلى معدلات الزيادة في العالم.
- وتكمن أهمية هذه الدراسة في المقارنة بين تنبؤات النماذج المناخية للتغير المناخي المتوقع في منطقة الدراسة مع ما تحقق فعلا من ذلك التغير، كما تكشف عنه نتائج الدراسات التي قام بها بعض طلبة الدراسات العليا في قسم الجغرافيا بالجامعة الأردنية تحت إشراف الباحث وبتوجيهات تفصيلية دقيقة منه لدراسة وتحليل طبيعة ومقدار التغير المناخي واختبار الدلالة الإحصائية له (Statistical Significance) في بعض عناصر المناخ في الأردن خاصة في الأمطار السنوية ودرجة الحرارة العظمى وموجات الحر ودرجة الحرارة الصغرى وحالات حدوث كل من الصقيع والجفاف وغيرها. وقد استخدمت في تلك الدراسات أساليب إحصائية متعددة لتقدير الاتجاه العام للتغير المناخي واختبار دلالاته الإحصائية.



شكل (5): التباين المكاني لتغير درجة الحرارة خلال الفترة 1980-1999.
(المصدر: IPCC, 2007: The Intergovernmental Panel on Climate Change)

منطقة الدراسة

لما كان تأثير التغير المناخي على حوض البحر المتوسط يتباين بين المناطق الواقعة على السواحل الجنوبية والشرقية لذلك البحر عن المناطق الواقعة على سواحله الشمالية (تركيا وأقطار جنوب أوروبا)، فإن تحليل التأثيرات المتوقعة للتغير المناخي اقتصر في هذه الدراسة على الأردن.



شكل (6): منطقة الدراسة.

(المصدر: اطلس الاردن والعالم، 2013).

مشكلة الدراسة

تحلل هذه الدراسة بشكل خاص التأثيرات التي تركها التغير المناخي على كل من فلسطين والأردن، وذلك باستخدام نتائج النماذج المناخية أولاً ثم نتائج الدراسات الإحصائية لمناطق مختلفة ولعناصر مناخية متعددة. ويمكن صياغة تساؤلات الدراسة على النحو التالي:

1. هل الارتفاع المضطرد في درجة حرارة الصيف وزيادة التعرض لموجات الحر في منطقة الدراسة ناجم عن التغير المناخي؟
2. وهل تناقص الأمطار المضطرد في منطقة الدراسة ناجم عن التغير المناخي؟

فرضيات الدراسة

يمكن تلخيص فرضيات الدراسة بما يلي:

1. النتائج المتوقعة للتغير المناخي هي ارتفاع درجة حرارة الصيف وزيادة التعرض لموجات الحر.
2. النتائج المتوقعة للتغير المناخي هو تناقص الأمطار في منطقة الدراسة.

البيانات وأساليب جمعها

البيانات التي استخدمت في هذه الدراسة نوعان:

1. نتائج تطبيق النماذج المناخية للتوقع بالتغيرات المستقبلية للمناخ في المنطقة وهي بيانات تم جمعها وتحليلها بإشراف الباحث في رسائل ماجستير ودكتوراه في قسم الجغرافية بالجامعة الأردنية.
2. نتائج دراسات إحصائية تمت على بعض عناصر المناخ في الأردن أجراها الباحث نفسه.

الدراسات السابقة

نظراً لأهمية موضوع التغير المناخي وما يترتب عليه من عواقب في مختلف المجالات، فقد تناوله الكثير من الباحثين بالدراسة والتحليل سواءً على المستوى العالمي أو الإقليمي وكذلك على المستوى المحلي. وقد تركزت هذه الدراسات حول الكشف عن طبيعة هذا التغير والعمل على تفسير حدوثه من خلال تحليل العوامل التي أدت له. فقد توصلت دراسة (شحادة، 1978) إلى وجود اتجاه عام لتناقص الأمطار في الأردن تتراوح ما بين (5-20%) للفترة (1937-1976). أما دراسة (الأنصاري، 1999) فقد توصلت إلى وجود انخفاضاً عاماً في شدة وكثافة الأمطار في الأردن. وبيّنت دراسة (Black, E 2009) أن الأردن وفلسطين أكثر جفافاً وتشهد انخفاضاً في شدة وتكرار وتوزيع الهطول المطري وعزت ذلك إلى تراجع قوة وزخم المنخفضات الجوية المتوسطة وأن تناقص الأمطار في فلسطين سيستمر ليصبح ذو دلالة إحصائية مع نهاية القرن الحادي والعشرين.

كما توقعت دراسة (Evans, J., 2009) زيادة درجات الحرارة في منطقة الشرق الأوسط بمقدار (1.4م) في منتصف القرن الحالي لترتفع هذه الزيادة حتى تبلغ (4م) مع نهاية القرن الحالي، كما توقع تناقصاً في كميات الأمطار السنوية في شرق البحر المتوسط. أما دراسة (Mariotti, et al., 2008) فتوقعت انخفاضاً في الهطول المطري مع نهاية القرن الحالي يؤدي إلى انخفاض توفر المياه في منطقة حوض البحر المتوسط بنسبة (20%). ومما يساعد في هذا الانخفاض أيضاً ارتفاع درجات الحرارة وتعاضم معدلات التبخر، مما يشير إلى توجه المنطقة نحو الجفاف المتزايد.

وقد أكدت الدراسة التي تضمنها التقرير الثاني لاتفاقية الأمم المتحدة والخاصة بتغيرات المناخ في الأردن عام 2009، على وجود انخفاض عام في كميات الأمطار في الأردن تتراوح ما بين (5-20%)، خلال الفترة 1961-2005. أما دراسة جامعة ستانفورد الأمريكية فقد أكدت على وجود تناقص في كميات الأمطار السنوية خلال الفترة (1995-2013) في (13) محطة. وأصبحت فترات الجفاف تمتد من (4-5) سنوات متتالية. وتوصلت الدراسة أيضاً إلى وجود تناقص في الهطول المطري يصل في المتوسط إلى (1.2) ملم سنوياً في (38) محطة من أصل (58) محطة مناخية التي شملتها الدراسة، بينما أظهرت الأمطار تزايداً في الـ (20) محطة الأخرى. وكشفت الدراسة كذلك عن وجود انخفاض فعلي في معدلات الأمطار في آخر (19) سنة من فترة الدراسة.

وتوقعت دراسة (Karas, 2005) تناقصاً للأمطار في فصل الشتاء في غالبية مناطق حوض البحر المتوسط الواقعة إلى الجنوب من خط العرض (40-45) شمالاً وهذا طبعاً يشمل الأردن. كما أيدت دراسة (شحادة، 2012) تناقص الأمطار ما بين (10-40%) عبر مناطق واسعة من حوض البحر المتوسط مع نهاية القرن الحادي والعشرين. وأكدت دراسة (Smadi, et al, 2006) أن التغيرات التي حدثت قد نجم عنها تناقص في كميات الهطول المطري بمقدار (26.6 ملم) وانخفاض في عدد الأيام الماطرة بمقدار (12) يوماً بين فترة (1984-1991) والفترة التي تلتها من عام (1992-2006) في عمان. كما توصلت دراسة (Kostopoulou, et al. 2005) إلى أن التغير المناخي المتوقع في المناطق الشرقية من البحر المتوسط سينجم عنه تفاقم مشكلة نقص المياه بسبب تناقص كميات الهطول المطري، في حين سيشهد الحوض الغربي للبحر المتوسط تزايداً في كميات الأمطار.

وتوصل (زيتون، 2013) إلى وجود انخفاضاً عاماً في الأمطار خلال الفترة (1983-1998) في شمال الأردن وكذلك من الفترة (2003-2009). كما توصل إلى وجود اتجاه عام نحو الزيادة في درجة الحرارة السنوية في جميع محطات منطقة الدراسة تراوحت ما بين درجة واحدة في عمان وإربد ونصف درجة في عجلون (رأس منيف) والباقورة والمفرق. وأكدت دراسة (الطراونة، 2011) وجود زيادة في المتوسط الشهري لدرجة الحرارة في الأردن في كافة محطات الدراسة سيما في أشهر الصيف خلال الجزء الثاني من فترة الدراسة (1995-2010) بمستوى دلالة إحصائية أقل من (0.001). وقد أيدت دراسة (Shehadeh et al. 2014) وجود اتجاه ذو دلالة إحصائية نحو زيادة طول موجة الحر وكذلك وجود اتجاه عام نحو تزايد درجة الحرارة في الأردن، وبالتحديد في أشهر الصيف.

وأكدت دراسة (شحادة، 2011) كذلك وجود تزايد في درجة الحرارة خلال ثمانينيات وأوائل تسعينيات القرن الماضي، مع تناقص للأمطار بما نسبته 5% للفترة ذاتها في الأردن. وتوقع أن يشهد الأردن مع نهاية القرن الحالي زيادة في درجة الحرارة قد تصل إلى أربع درجات وتناقصاً في كميات الأمطار قد يصل إلى (40%) في بعض المناطق. وتوقعت دراسة (Oroud, 2008) انخفاضاً في كميات الأمطار بنسبة (10%)، مما يفاقم زيادة العجز المائي ويقلل تجدد المياه الجوفية في الأردن بنسبة تتراوح ما بين (45 - 65%) بسبب التغير المناخي. وتوصلت دراسة (Pederson, 2008) أيضاً إلى أن التغير المناخي في منطقة الشرق الأوسط سيترتب عليه اضطرابات في أنماط هطول الأمطار وتناقصاً في موارد المياه العذبة، وانخفاضاً في كميات الهطول المطري بما نسبته (15-25%) في كثير من مناطق الهلال الخصيب. كما ستشهد المنطقة تزايداً في درجات الحرارة بواقع (2-3) درجات مئوية وهذا أعلى من معدل الزيادة العالمية والتي ستكون بواقع درجة مئوية واحدة.

وتوقعت دراسة (القنة وآخرون، 2011) انخفاضاً للأمطار في الأردن يصل إلى (10.5%) للفترة (2010-2040) وتتباين هذه النسب مكانياً ما بين (5%) في المناطق الجبلية و(10.5%) في وادي الأردن وأعلىها (15%) في المناطق الصحراوية. وأكدت دراسة (عنانبة، 2011) أن المعدل السنوي للأمطار في محطات الدراسة يتجه بشكل عام نحو التراجع. كما أثبتت أيضاً وبشكل

أكثر وضوحاً تناقص عدد الأيام الماطرة خلال فترة الدراسة (1990-2010) في الأردن. كما بينت دراسة (Giorgi, F., & Lionello, O, 2006) أن التغير المناخي الناجم عن زحزحة مسارات المنخفضات الجوية نحو الشمال سيؤدي إلى زيادة في أمطار الجزء الشمالي من حوض البحر المتوسط مقابل تناقص تلك الأمطار في الجزء الجنوبي الذي يشمل الأردن.

وفي دراسة (زيتون وشحادة، 2016) لمؤشرات التغير المناخي في شمال الأردن، والتي تتبع اتجاه التغير في كميات الأمطار السنوية ومتوسطات الحرارة السنوية في شمال الأردن خلال الفترة (1970-2009)، تبين وجود تزايد واضح في درجات الحرارة السنوية خصوصاً في الجزء الثاني من فترة الدراسة (1989-2009). ووجود اتجاه نحو تناقص الأمطار في كل من المفرق وإربد وتزايدها لكن بدون دلالة إحصائية في محطتي رأس منيف والباقورة.

وفي دراسة (Shehadeh, et al, 2013) تبين وجود أثر سلبي للتغير المناخي ذو دلالة إحصائية على الأمطار في شمال ووسط الأردن، في حين لم يكن هذا الأثر ذو دلالة إحصائية في المناطق الجنوبية من الأردن. وأكدت الدراسة أيضاً أن الأثر السلبي للتغير المناخي يعزى إلى انحراف المنخفضات الجوية المتوسطة نحو الشمال.

تحليل البيانات

أساليب التحليل المتبعة في هذه الدراسة تعتمد في معظمها على الأسلوب الإحصائي للكشف عن التغير المناخي في سلاسل زمنية (Time Series) لعناصر مناخية متعددة.

وأهم الأساليب الإحصائية التي تم استخدامها للكشف عن طبيعة التغير في عناصر المناخ وتقديره هي:

- اختبار t للمقارنة بين المتوسطات الحسابية لعينتين منفصلتين.
- خط الانحدار المستوي (Linear Regression)
- المتوسطات المتحركة (Moving Averages)
- منحنيات الفروقات المتجمعة (CUSUM Charts)

اختبار t للمقارنة بين المتوسطات الحسابية لعينتين منفصلتين

تم قسمة السلسلة الزمنية (Time Series) لكل عنصر من العناصر المناخية إلى جزأين من حيث الطول وتم حساب المتوسط الحسابي للجزء الأول ومقارنته بالمتوسط الحسابي للجزء الثاني وذلك باستخدام اختبار t الذي يستخدم للمقارنة بين المتوسطات الحسابية لعينتين منفصلتين، كما يلي:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

\bar{X}_1 = المتوسط الحسابي للجزء الأول من السلسلة الزمنية

\bar{X}_2 = المتوسط الحسابي للجزء الثاني من السلسلة الزمنية

S_1 = الانحراف المعياري للجزء الأول من السلسلة الزمنية

S_2 = الانحراف المعياري للجزء الثاني من السلسلة الزمنية

n_1 = حجم الجزء الأول من السلسلة الزمنية (عدد السنوات)

n_2 = حجم الجزء الثاني من السلسلة الزمنية (عدد السنوات)

وقد تم اختبار الدلالة الإحصائية للفرق بين المتوسطين على مستوى معنوية 0.05.

خط الانحدار (Linear Regression)

استخدمت معادلة الانحدار المستقيم لتحديد أنسب خط انحدار مستو (Best Fit) يمثل طبيعة التغير في كل سلسلة زمنية للمتغيرات التي تشملها الدراسة. وقد تم حساب درجة انحدار ذلك الخط (Regression Coefficient) لتحديد فيما إذا كانت تشير إلى تغير موجب أو سالب في المتغير، كما تم اختبار الدلالة الإحصائية لكل معامل منها.

$$Y = a + bx + e$$

$$a = (\sum Y - b(\sum X)) / N$$

$$b = (N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)) / (N\sum X^2 - (\sum X)^2)$$

Y = قيمة المتغير التابع

a = مقدار ثابت

b = ميل خط الانحدار (معامل X)

x = قيمة المتغير المستقل

e = مقدار الخطأ المسموح به في تقدير قيمة المتغير التابع (Y)

ولما كان الانحدار الخطي من الوسائل المعلمية (Parametric Tests) التي تشترط عدم وجود ارتباط ذاتي (Serial Correlation) بين البيانات التي يتم تحليلها، فإن اختبارات الدلالة الإحصائية لمعاملات الانحدار قد لا تكون صادقة تماما (Sneyers, 1990). ولكن مما يخفف من تأثير الارتباط الذاتي في هذه الدراسة أن البيانات المستخدمة بيانات سنوية في معظم الأحيان مما يقلل من وجود ارتباط ذاتي بين البيانات المتتالية. فكما هو مبين في الجدول (1) لا توجد دلالة إحصائية لأي من معاملات الارتباط الذاتي في أية محطة من المحطات التي شملتها الدراسة.

جدول (1): معاملات الارتباط الذاتي لأمطار فصل الشتاء في ثلاث محطات مناخية أردنية.

مجموعة المحطات الثانية			مجموعة المحطات الأولى		
sig	r _s	المحطة	Sig	r _s	المحطة
0.85	0.029	عجلون	0.76	0.048	اربد
0.85	-0.18	معان	0.85	0.029	السلط
0.30	-.16	الطفيلة	0.85	0.029	مطار عمان

المصدر: Shehadeh & Ananbeh, (2013)

المتوسطات المتحركة (Moving Averages)

يستخدم أسلوب المتوسطات المتحركة في تحليل السلاسل الزمنية للتخلص من التقلبات القصيرة المدة والكشف عن الاتجاه العام للسلسلة الزمنية. وكلما كانت الفترة الزمنية التي يحسب لها المتوسط أطول، كان أكثر قدرة على التخلص من التقلبات القصيرة. ويبين الجدول (2) المتوسطات المتحركة للمجموع السنوي لأمطار فصل الشتاء في مدينة عمان، علما بأن طول المتوسط المتحرك الواحد سبعة سنوات، ويتم حساب المتوسط الأول باستخراج المتوسط الحسابي للسنوات السبعة الأولى من السلسلة الزمنية، ويتم حساب المتوسط المتحرك الثاني بإهمال القيمة الأولى وإضافة القيمة رقم ثمانية واستخراج المتوسط الحسابي من جديد، وهكذا.

منحنيات الفروقات المتجمعة (CUSUM Charts)

تستخدم خرائط الفروقات المتجمعة (Cumulative Deviations Sums) ومنذ أن طبقها بيچ سنة 1945 (Page, 1945) في التخلص من الذبذبات قصيرة المدة في السلاسل الزمنية والكشف عن التقلبات طويلة المدة في تلك السلاسل. وقد تم استخدامها في تحليلات مناخية في الأردن من قبل كل من (Moshrik R. H., et.al. 2009, Momani, N.M., 2009) و (Smadi, M.M. & A.Zghoul, 2006). ويتم حساب الفروقات المتجمعة للسلسلة الزمنية - وكما هو مبين في الجدول (3) - بحساب المتوسط الحسابي لتلك السلسلة، ثم طرح ذلك المتوسط من كل مفردة من مفردات السلسلة لنحصل على الفروقات عن المتوسط الحسابي (العامود الثاني في الجدول 3). نقوم بعد ذلك بجمع تلك الفروقات جمعا تراكميا، ثم نمتلها على شكل منحني، فإذا كان أي جزء من ذلك المنحني صاعدا، فإنه يدل على تغير موجب في السلسلة

الزمنية. أما إذا كان ذلك الجزء من المنحنى هابطاً، فإنه يدل على تناقص مضطرد في السلسلة الزمنية. وإذا كان المنحنى أفقياً، فإنه يدل على ثبات في السلسلة الزمنية.

جدول (2): المتوسطات المتحركة للمجموع السنوي لأمطار فصل الشتاء في مطار عمان.

البيانات	البيانات	البيانات	البيانات	البيانات	البيانات
58.000	126.571	.12	58	135	.1
181.000	158.286	.13	304	260	.2
248.667	178.714	.14	384	270	.3
220.250	164.857	.15	135	110	.4
209.200	177.714	.16	165	189	.5
180.667	181.857	.17	38	119	.6
173.000	173.714	.18	127	133	.7
194.286	177.571	.19	207	162	.8
165.000	158.143	.20	99	124	.9
123.000	128.571	.21	90	63	.10
130.857			190		.11

المصدر: (Shehadeh & Ananbeh, (2013)

جدول (3): منحنى الفروقات المتجمعة لأمطار فصل الشتاء (كانون أول وكانون الثاني وشباط) في مدينة أربد

لسنة	(الأمطار X)	($\bar{X} - X$)	CUSUM (D)	لسنة	(الأمطار X)	($\bar{X} - X$)	CUSUM (D)
1995	91	-130.6	-130.6	2003	419	197.4	221.7
1996	173	-48.6	-179.1	2004	236	14.4	236.1
1997	325	103.4	-75.8	2005	256	34.4	270.5
1998	160	-61.6	-137.4	2006	22	-199.6	70.9
1999	142	-79.6	-217	2007	176	-45.6	25.3
2000	313	91.4	-125.6	2008	203	-18.6	6.7
2001	209	-12.6	-138.2	2009	210	-11.6	-4.9
2002	384	162.4	24.3	2010	226.5	4.9	0

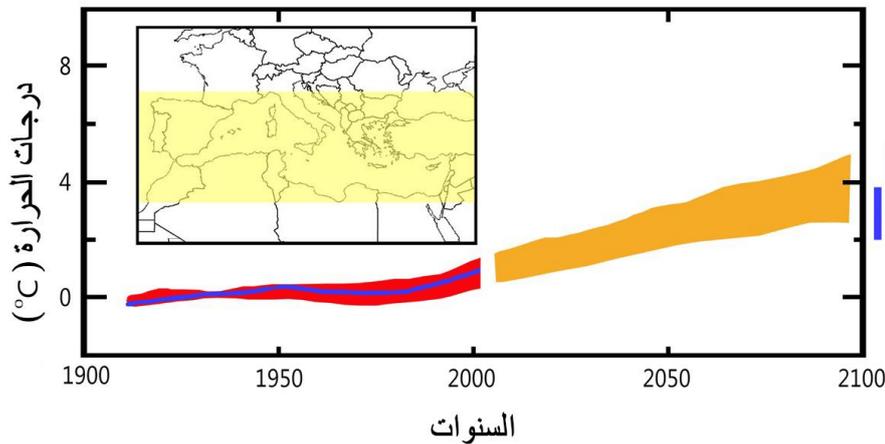
المصدر: (Shehadeh & Ananbeh, (2013)

نتائج النماذج المناخية للحوض الشرقي للبحر المتوسط

أبرز النتائج التي تتوقعها النماذج المناخية للحوض الشرقي للبحر المتوسط-كما وردت في التقرير الخامس للجنة الدولية للتغير المناخي-وكما وردت في تطبيقات النماذج المناخية من قبل باحثين آخرين (Karas, J,1990 IPCC, 2007, Mariotti, A., et al., 2008)

أولاً: درجة الحرارة

تتوقع النماذج المناخية أن تكون معدلات الزيادة في درجة الحرارة خلال القرن الحادي والعشرين أكثر ما تكون وضوحاً في المناطق الشمالية الباردة من الكرة الأرضية، حيث من المتوقع زيادة تكرار الأيام الحارة، وزيادة طول موجات الحر (Heat Waves). وتتوقع النماذج المناخية أن يكون تسارع الزيادة في معدلات درجة الحرارة في الحوض الشرقي للبحر المتوسط من أكبر معدلات التسارع في العالم وذلك بالرغم من وقوع المنطقة خارج نطاق المناطق الشمالية الباردة التي يتوقع أن تشهد أكبر معدلات التسارع (AFED, 2009). وتتوقع تلك النماذج أن تصل الزيادة في درجة الحرارة في الحوض الشرقي للبحر المتوسط إلى 4م بنهاية القرن الحالي (الشكل 7). وكما تتوقع تلك النماذج ان تكون الزيادة في درجة الحرارة العظمى أكبر منها في درجة الحرارة الصغرى (IPCC, 2007).



شكل (7): التغير المتوقع لدرجة الحرارة في حوض البحر المتوسط بنهاية القرن الحادي والعشرين.

(المصدر: (The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007)

ويبين الجدول (4) الزيادة المتوقعة في درجة الحرارة في حوض البحر المتوسط خلال ثلاثة فترات تمتد إلى عام 2099 مقارنة بمعدلات درجة الحرارة للفترة 1961-2000.

جدول (4): الزيادة المتوقعة في درجة الحرارة في حوض البحر المتوسط خلال ثلاثة فترات تمتد إلى عام 2099.

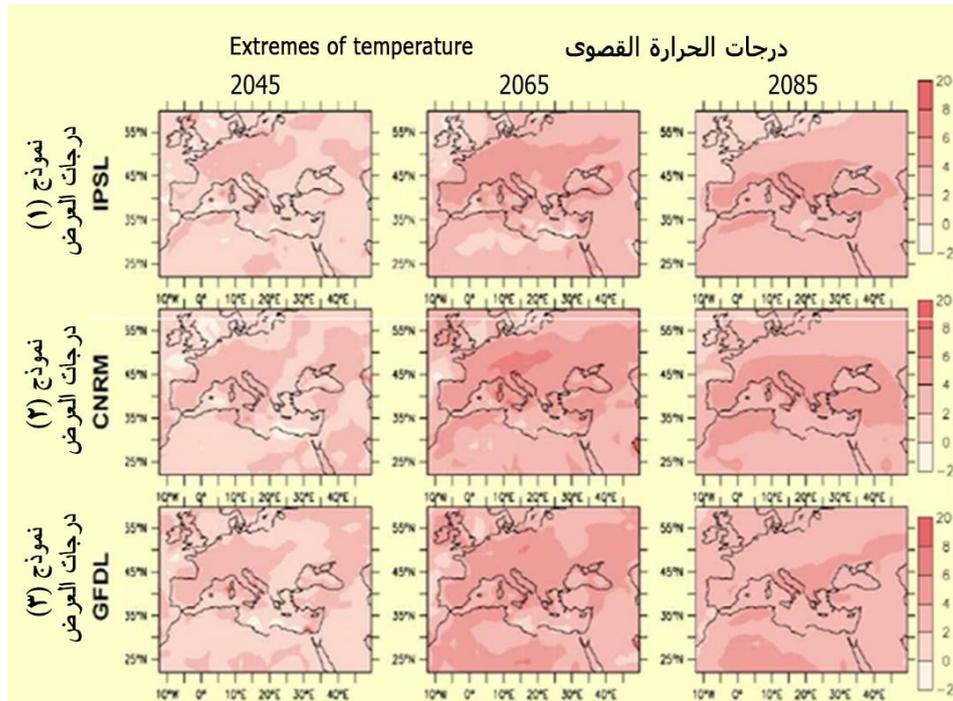
الفترة	مقدار الزيادة
2039-2010	2.19 – 0.6
2069 -2040	3.85 -0.81
2099 -2070	7.07 -1.20

المصدر: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007

وقد ورد في التقرير الخامس لفريق الباحثين في الهيئة الحكومية المشتركة للتغير المناخي أن معدل درجة الحرارة قد ارتفع في الدول العربية المحيطة بالبحر المتوسط درجتين مؤويتين خلال الأعوام الثلاثين الماضية (IPCC, 2007).

ويبين الشكل (8) الزيادة المتوقعة لدرجة الحرارة العظمى في حوض البحر المتوسط بالإضافة إلى غرب أوروبا وشمال أفريقيا من قبل ثلاثة نماذج مناخية حديثة، وذلك خلال ثلاث فترات هي:

- الفترة الأولى وتمتد حتى عام 2045، حيث يتوقع أن تصل الزيادة في درجة الحرارة العظمى إلى درجتين مؤويتين.
- الفترة الثانية وتمتد حتى عام 2065 حيث يتوقع أن تصل الزيادة في درجة الحرارة العظمى إلى 3 درجات مئوية.
- الفترة الثالثة حتى عام 2085 حيث يتوقع أن تصل الزيادة في درجة الحرارة العظمى إلى 4 درجات مئوية.



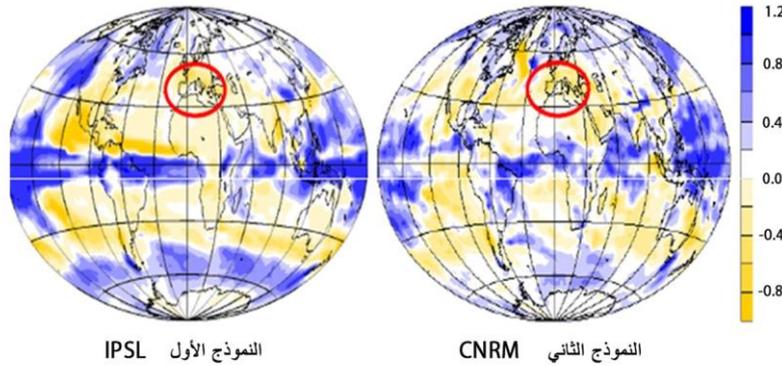
شكل (8): الزيادة المتوقعة لدرجة الحرارة العظمى في حوض المتوسط بالإضافة إلى غرب أوروبا وشمال أفريقيا من قبل ثلاثة نماذج مناخية حديثة.

(المصدر: United nations climate change conference – Copenhagen 2009)

ثانياً: الأمطار

تتوقع النماذج المناخية أن يكون تأثير التغير المناخي على الأمطار متبايناً من منطقة لأخرى، فبينما سيؤدي إلى تزايد الأمطار في بعض جهات العالم الرطبة كالسواحل الغربية لقارتي أوروبا وأمريكا الشمالية، فإنه سيؤدي إلى تناقصها في مناطق أخرى كمنطقة حوض البحر المتوسط. ويبين الشكل (9) الآثار المتوقعة للتغير المناخي على سطح الأرض بنهاية القرن الحادي والعشرين، حيث تبدو منطقة حوض البحر المتوسط من بين المناطق التي ستشهد تناقصاً في الأمطار.

التغير في كميات الهطول اليومية بالملمتر في القرن الحادي والعشرون



شكل (9): الآثار المتوقعة للتغير المناخي على الأمطار بنهاية القرن الحادي والعشرين.

(المصدر: (United Nations Climate Change Conference – Copenhagen 2009

ويرتبط تناقص الأمطار في الحوض الشرقي للبحر المتوسط بالزحزحة المتوقعة لمسارات المنخفضات المتوسطة التي يتعرض لها الإقليم خلال فصل الشتاء باتجاه الشمال، وإلى التناقص الواضح في مدى الاختلاف في درجة الحرارة بين الكتل الهوائية القطبية والكتل المدارية التي ينجم عند التقائهما فوق مياه البحر المتوسط خلال فصل الشتاء تكون جبهات ومنخفضات جوية تتحرك نحو الشرق والشمال الشرقي. ولما كانت الأردن وفلسطين تقعان على الأطراف الجنوبية لتلك المسارات، فإن التغير المناخي وزحزحة مسارات تلك المنخفضات باتجاه الشمال سيجعل موقعها أكثر بعدا. ويضاف إلى هذا أن مواقع أحواض الضغط المنخفض العلوي (Upper Atmospheric Troughs) المسؤولة عن تطور تلك المنخفضات وزيادة قوتها ستتحرك نحو الشمال أيضا، لذا من المتوقع أن تكثر نسبة المنخفضات الجوية الضعيفة وتقل نسبة المنخفضات القوية.

ويمكن تلخيص أبرز توقعات النماذج المناخية في مجال الأمطار بما يلي:

1. تناقص عام في الأمطار مقرونا بتناقص في نسبة المنخفضات الماطرة القوية (Heavy Precipitation Events). وقد تم تقدير نسبة التناقص في الأمطار السنوية في الحوض الشرقي للبحر المتوسط خلال الثلاثين سنة الأخيرة بحوالي 10%-20% (AFED, 2009). وتتوقع النماذج المناخية أن تصل نسبة تناقص الأمطار السنوية في بعض جهات الحوض الشرقي للبحر المتوسط إلى 27%.

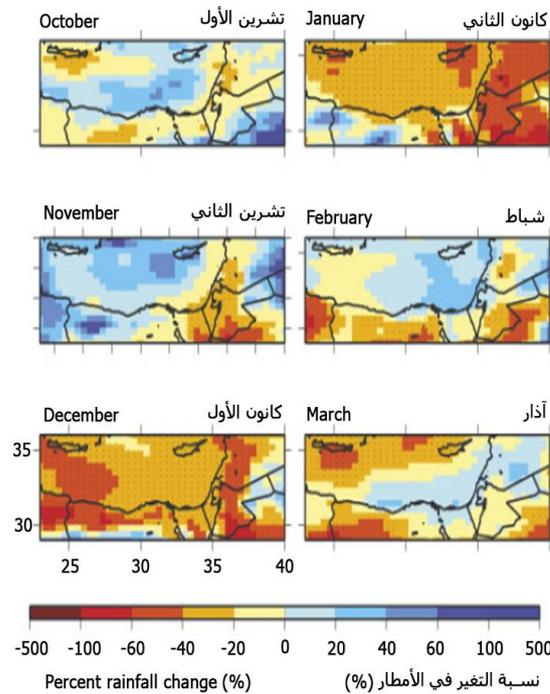
ويبين الجدول (5) نسبة التناقص المتوقع في الأمطار السنوية في حوض البحر المتوسط خلال ثلاثة فترات تمتد إلى عام 2099 مقارنة بمعدلات تلك الأمطار خلال الفترة 1961-2000.

جدول (5): نسبة التناقص المتوقع في الأمطار السنوية في حوض البحر المتوسط.

نسبة التناقص	الفترة
55.1 – 35.6	2039 -2010
52.6 -38.3	2069 -2040
61.0 – 52.7	2099 -2070

المصدر: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007

2. زيادة في شح الموارد المائية خاصة في منطقة الشرق الأوسط، وذلك بسبب تناقص كل من الأمطار ورطوبة التربة والتصريف النهري وزيادة معدلات التبخر فضلا عن تفاقم معاملات التباين السنوي (Annual Variation) لكل منها (Navarra, A. *et al.* (editors), 2013. ويبين الشكل (10) نسبة التغير المتوقع في الأمطار الشهرية للحوض الشرقي للبحر المتوسط، حيث تظهر كل الأشهر تناقصا ملحوظا.



شكل (10): نسبة التغير المتوقع في الأمطار الشهرية للحوض الشرقي للبحر المتوسط. (المصدر: Black, E., 2009)

نتائج الدراسات الإحصائية

لا تقتصر دراسة التغير المناخي في الحوض الشرقي للبحر المتوسط – وكما سبق أن ذكرنا - على النماذج المناخية بل تتعداها إلى الدراسات الإحصائية لعناصر مناخية معينة في أقاليم متعددة من منطقة الدراسة. وقد تم الاتفاق بين العلماء على طبيعة المؤشرات المتبعة (Indicators) وعلى العتبات المناخية (Thresholds) الرئيسية التي تحدد فيما إذا كان العنصر المناخي قيد الدراسة قد شهد تغيرا ذو دلالة إحصائية (Statistically Significant) أم لا. ومن الأمثلة على الدراسات السابقة في هذا المجال دراسة شحادة وعنانبة عن تأثير التغير المناخي على الأمطار في الأردن (Shehadeh & Ananbeh, 2013)، ودراسة شحادة والطراونة عن تأثير التغير المناخي على موجات الحر في الأردن (Shehadeh & Trawneh, 2013)، ودراسة الزغول عن تأثير التغير المناخي على درجة الحرارة الصغرى وحدث الصقيع في الأردن (الزغول، 2011).

أثر التغير المناخي على الأمطار في الأردن

تم تحليل التغير في أمطار فصل الشتاء (كانون الأول وكانون الثاني وشباط) في ست محطات مناخية ممثلة للأقاليم المناخية الرئيسية في الأردن خلال الفترة 1990-2010، ويمكن إجمال نتائج تلك الدراسة فيما يلي:

اختبار t للمقارنة بين المتوسطات الحسابية لعينتين منفصلتين

يبين الجدول (6) نتائج تطبيق اختبار (t-test) لتحديد مستوى الدلالة الإحصائية للفرق بين متوسط الأمطار في الفترة 1990 – 2000 والفترة 2001-2010 في جميع المحطات المناخية المستخدمة في الدراسة. وكما هو مبين في الجدول المذكور، فإن قيم (t) سالبة في كل محطات الدراسة ما عدا محطة السلط، ولكن أيا منها لم يصل إلى مستوى المعنوية 0.05 حتى تكون له دلالة إحصائية، ولكن انتشار تناقص الأمطار في جميع المحطات تقريبا يدل على وجود اتجاه لتناقص الأمطار في المنطقة ولكن ذلك التناقص لم يصل إلى مرحلة الدلالة الإحصائية بعد.

جدول (6): اختبار الدلالة الإحصائية للفرق بين متوسطات الأمطار في فترتين متعاقبتين.

sig.	t	المتوسط الحسابي للأمطار		المحطة
		2000-2010	1990-2000	
0.79	-2.6	242.8	229.4	اربد
0.86	0.17	375.1	389.6	السلط
0.83	-.217	169.2	160.7	مطار عمان
0.88	0.14	396.8	408.2	عجلون
0.82	-.22	159.6	152.1	معان
0.94	-.07	159.6	157.3	الطفيلة

المصدر: (Shehadeh & Ananbeh, 2013)

الاتجاه العام لخط الانحدار

يتبين من حساب الانحدار الخطي للأمطار في المحطات التي شملتها الدراسة أن ثلاث من تلك المحطات وهي اربد والسلط وعمان قد أظهرت تناقصاً ذو دلالة إحصائية على مستوى 0.5 فأقل، بينما لم يصل الاتجاه العام في المحطات الثلاث الباقية إلى درجة الدلالة الإحصائية (الجدول 7).

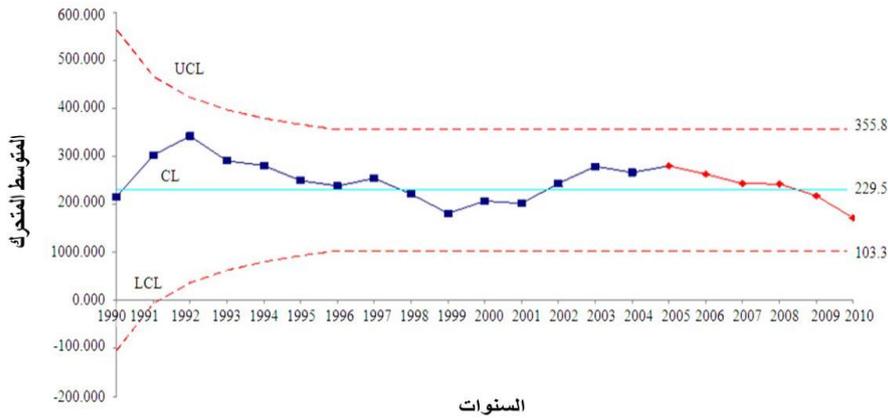
جدول (7): نتائج الانحدار الخطي للأمطار في الأردن.

2000-2010		1990-2010		المحطة
Sig.	b	Sig.	B	
0.04	-21.0	0.24	-4.79	اربد
0.03	-28.1	0.11	-10.80	السلط
0.05	-11.2	0.33	-3.10	عمان

المصدر: (Shehadeh & Ananbeh, (2013)

نتائج المتوسطات المتحركة

تم حساب متوسط متحرك مدته سبع سنوات، وتبين من تحليل الأشكال التي تمثل تلك المتوسطات وجود منحنيات هابطة للمجموعة الأولى من المحطات فقط (شكل 11).



شكل (11): متوسط متحرك للأمطار فصل الشتاء في مدينة اربد.

(المصدر: (Shehadeh & Ananbeh, (2013)

نتائج منحنيات الفروقات المتجمعة

يعد الشكل (12) مثالاً لمنحنيات الفروق المتجمعة لمحطات المجموعة الأولى (أربد والسلط وعمان) حيث يبدو تناقصاً واضحاً في الأمطار منذ عام 1993، وإن كانت الفترة 2001-2005 قد شهدت تزايداً متواضعاً. ويلاحظ أن معدلات التناقص قد أصبحت تسير بشكل متسارع منذ عام 2008 واكتسبت منذ ذلك الوقت دلالة إحصائية لتجاوزها الخط الأحمر الذي يمثل معدل الأمطار مطروحا منه الانحراف المعياري.



شكل (12): المنحنى التراكمي للفروقات المتجمعة لأمطار فصل الشتاء في مدينة السلط.

أثر التغير المناخي على درجة الحرارة في الأردن

أثر التغير المناخي على المعدل الشهري لدرجة الحرارة في أشهر الصيف

تم تحليل التغير في درجة الحرارة العظمى لأشهر الصيف (حزيران وتموز وأب) في ست محطات مناخية ممثلة للأقاليم المناخية الرئيسية في الأردن خلال الفترة 1990-2010، ويمكن إجمال أهم نتائج ذلك فيما يلي:

اختبار t للمقارنة بين المتوسطات الحسابية لعينتين منفصلتين

اختبار t للمقارنة بين المتوسطات الحسابية لدرجة حرارة الصيف

يبين الجدول (8) تطبيق اختبار (t-test) لتحديد مستوى الدلالة الإحصائية للفرق بين المتوسط الشهري لدرجة حرارة أشهر الصيف في الفترة 1990 – 2000 والفترة 2001-2010 في جميع المحطات المناخية المستخدمة في الدراسة. وكما هو مبين في الجدول المذكور، فإن قيم (t) موجبة في كل محطات الدراسة وذات دلالة إحصائية على مستوى المعنوية 0.05، كما أن

انتشار تزايد درجة الحرارة في جميع المحطات تقريبا يدل على وجود اتجاه لتزايد درجة الحرارة في المنطقة.

جدول (8): نتائج اختبار (t) للمقارنة بين معدلات درجة الحرارة للفترتين (1990 – 2000) والفترة (2001-2010).

المحطة	X1	X2	t	A
مطار عمان	30.87 C	31.88 C	2.99	0.006
مطار العقبة	38.72 C	40.35 C	5.29	0.000
اربد	30.36 C	31.73 C	7.15	0.000
معان	33.40 C	34.10 C	2.39	0.020
الرويشد	37.08 C	38.41 C	2.88	0.000

المصدر: Shehadeh, N. & Tarawneh, F. 2014

اختبار t للمقارنة بين موجات الحر

يبين الجدول (9) نتائج استخدام اختبار (t) للمقارنة بين الفترتين (1980-1997) و(1998-2010) من حيث خصائص موجات الحر، والمقصود بخصائص موجات الحر هو تكرار مرات حدوثها في الفصل الواحد ومتوسط طولها وشدتها.

جدول (9): نتائج استخدام اختبار (t) للمقارنة بين الفترتين (1980-1997) و(1998-2010) من حيث خصائص موجات الحر.

خصائص موجة الحر	الفترة الاولى \bar{X}_1	الفترة الثانية \bar{X}_2	T	α
تكرار الحدوث	4.31	5.00	-1.17	.328
طول الموجة	4.0	4.17	-.565	.977
شدة الموجة	5.29	5.41	-.350	0.14

المصدر: Shehadeh, N. & Tarawneh, F. 2014

وكما هو مبين في الجدول المذكور فقد ازداد معدل حدوث موجات الحر في الفترة الثانية كما أصبحت أكثر طولاً وشدّة، ولكن أي من تلك التغيرات ليس له دلالة إحصائية على مستوى معنوية 0.05. وكما هو مبين في الجدول (10)، فإن نسبة التباين محسوبة باستخدام معامل الاختلاف (Coefficient of Variation) في الفترة الثانية أكبر منها في الفترة الأولى.

جدول (10): معامل التغير لخصائص موجات الحر بين الفترتين (1980-1994 و 1995-2010).

الفترة الثانية	الفترة الأولى	خصائص موجة الحر
36%	33%	تكرار الحدوث
15%	14%	طول الموجة
21%	14%	شدة الموجة

المصدر: Shehadeh, N. & Tarawneh, F. 2014

الاتجاه العام لخط الانحدار

الاتجاه العام لدرجة الحرارة العظمى

يبين الجدول (11) معاملات الانحدار لدرجة الحرارة العظمى لجميع المحطات التي شملتها هذه الدراسة. وكما هو مبين في الجدول المذكور فإن جميع معاملات الانحدار موجبة وذات دلالة إحصائية.

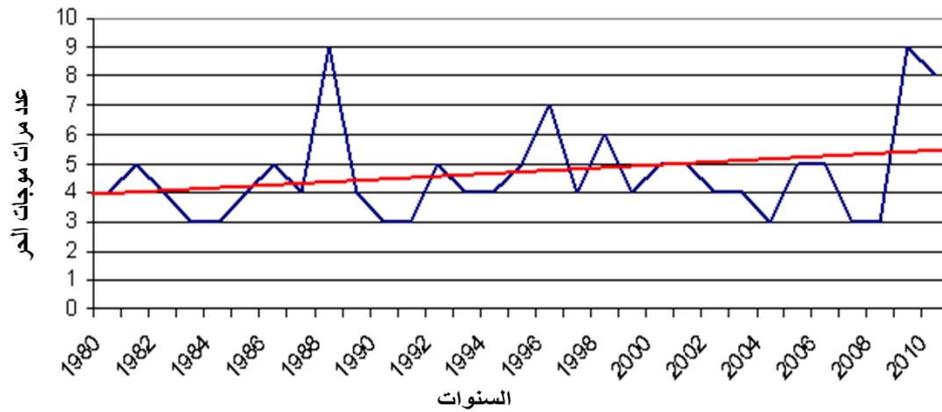
جدول (11): معاملات الانحدار لدرجة الحرارة العظمى.

المحطة	b	T	á	R ²
معان	0.068	4.164	0.000	0.374
الرويشد	0.077	3.792	0.000	0.332
اربد	0.084	4.401	0.000	0.400
مطار عمان	0.060	4.220	0.000	0.380
مطار عمان	0.070	4.706	0.000	0.433
الصفاوي	0.076	4.045	0.000	0.366

المصدر: Shehadeh, N. & Tarawneh, F. 2014

الاتجاه العام لموجات الحر

يتبين من تحليل معاملات الانحدار للتغير في خصائص موجات الحر أنها جميعها موجبة وذات دلالة إحصائية على مستوى معنوية 0.05. ويبين الشكل (13) نموذجاً لخط الانحدار لعدد مرات حدوث موجات الحر في عمان.



شكل (13): خط الانحدار لعدد مرات حدوث موجات الحر في عمان خلال الفترة (1980-2010)

(المصدر: Shehadeh, N. & Tarawneh, F. 2014)

نتائج المتوسطات المتحركة

المتوسطات المتحركة لدرجة الحرارة العظمى

تظهر المنحنيات الخاصة بالمتوسطات المتحركة لفصل الصيف تزيديا واضحا في درجة الحرارة العظمى في جميع المحطات، ويبين الشكل (14) المنحنى للمتوسط المتحرك لدرجة الحرارة العظمى لفصل الصيف في مدينة اربد كمثال لتلك المنحنيات.

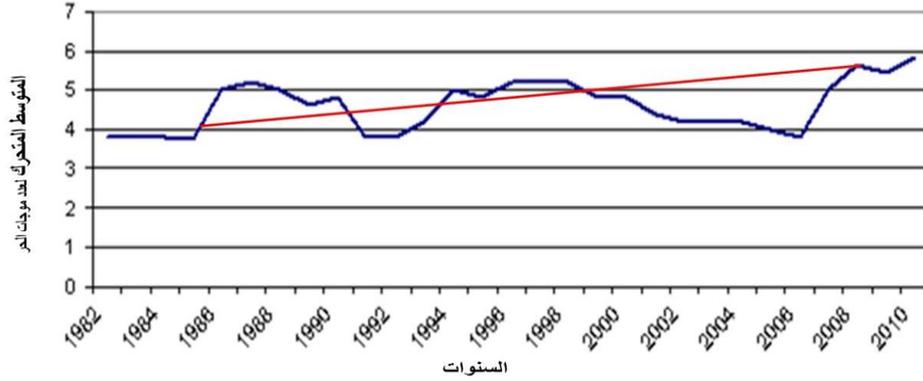


شكل (14): متوسط متحرك لمعدل درجة الحرارة العظمى لفصل الصيف في مدينة اربد.

(المصدر: Shehadeh, N. & Tarawneh, F. 2014)

المتوسطات المتحركة لموجات الحر

تظهر منحنيات المتوسطات المتحركة لخصائص موجات الحر تزايداً في جميع محطات الدراسة خلال فترة الدراسة، ويبين الشكل (15) نموذجاً لتلك المنحنيات.



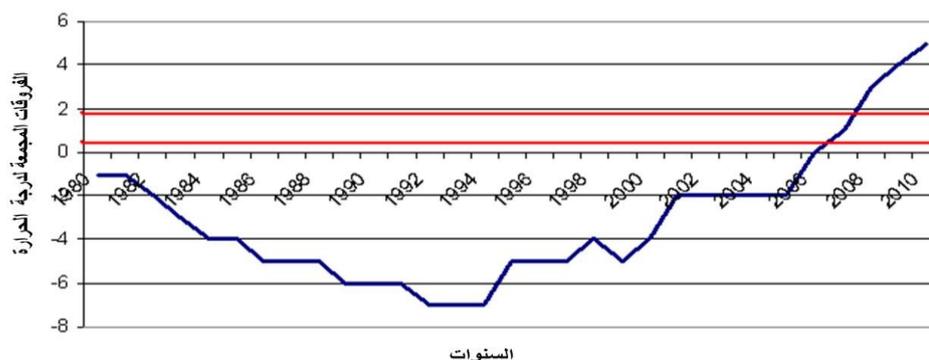
شكل (15): متوسط متحرك لعدد موجات الحر التي تحدث في فصل الصيف خلال الفترة 1980-2010 في مدينة عمان.

(المصدر: Shehadeh, N. & Tarawneh, F. 2014)

نتائج الفروقات المتجمعة

نتائج الفروقات المتجمعة للمعدل الشهري لدرجة حرارة الصيف

تظهر منحنيات الفروقات المتجمعة للمعدل الشهري لدرجة الحرارة العظمى في جميع المحطات التي تشملها هذه الدراسة – وكما هو مبين في الشكل (16) تزايداً مضطرباً منذ عام 1994، وقد اكتسب ذلك التزايد معنوية إحصائية منذ العام 2006. لقد ظهر اتجاه عام خلال الجزء الأول من فترة الدراسة نحو الانخفاض في درجة الحرارة استمر حتى منتصف العقد الأخير من القرن الماضي، غير أن هذا الاتجاه لم يدم طويلاً إذ سرعان ما أخذ بالزيادة منذ العام 1994 والتي استمرت حتى نهاية فترة الدراسة عام 2010. وقد تبين أن كلا النتيجتين اللتان مثلتا الزيادة والنقصان في الاتجاه العام لدرجة الحرارة قد حظيتا بدرجة معنوية عالية، كونهما تجاوزتا حد إنحرافين معياريين.



شكل (16): منحني للفروقات المتجمعة للمعدل الشهري لدرجة حرارة شهر حزيران في مدينة عمان.

(المصدر: Shehadeh, N. & Tarawneh, F. 2014)

الخلاصة

نخلص من هذا التحليل الإحصائي و الذي تضمن عددا كبيرا من الدراسات التي عالجت ظاهرة التغير المناخي من جوانب مختلفة، تمثلت في تناقص كميات الأمطار السنوية والشتوية، وتناقص عدد الأيام الماطرة، وتزايد معدل درجات الحرارة السنوية وتلك المتعلقة بأشهر الصيف. كما تناولت أيضا موجات الحر والتي أظهرت زيادة في شدتها وطول مدتها وعدد تكرار حدوثها خلال السنة، وحالات الجفاف من حيث شدتها وتكرار حدوثها.

أكدت نتائج جميع الدراسات التي شملتها هذه الدراسة وجود تناقص واضح في كميات الأمطار في معظم المحطات التي شملتها الدراسة، ولكن مقدار ذلك التناقص لم يصل إلى مستوى المعنوية الإحصائية في بعض المحطات، وإن كان موجودا فيها كلها، ولعل الانتشار الواسع لذلك الاتجاه يمكننا من رفض فرضية العدم وقبول الفرضية البديلة بتناقص الأمطار في منطقة الدراسة، وتناقص عدد الأيام الماطرة وتأخر بداية الموسم المطري. وهذا يؤكد نتائج النماذج المناخية وتوقعاتها وإن تباينت فيما بينها في تحديد نسبة التناقص المتوقعة في كمية الأمطار السنوية.

وأكدت أيضا الدراسات التي اعتمدت أساليب التحليل الإحصائي المختلفة وجود اتجاه نحو حدوث زيادة في المعدل السنوي لدرجات الحرارة وكذلك في أشهر الصيف، بالإضافة إلى تكرار حالات الجفاف وموجات الحر. وهذا ينسجم مع توقعات النماذج المناخية التي تناولت هذا الموضوع. نخلص من كل هذا إلى أن نرفض فرضية العدم المتعلقة بارتفاع درجة الحرارة وزيادة تعرض المنطقة لدرجات حرارة عظمى مرتفعة وزيادة تعرضها لموجات حر أطول من الموجات الحالية وأكثر شدة، وتكرار حدوثها، وقبول الفرضية البديلة بوجود اتجاه عام نحو تزايد درجة الحرارة. وكذلك نرفض فرضية العدم المتعلقة بتناقص كميات الأمطار وقبول الفرضية البديلة بوجود تناقص في كميات الأمطار وعدد الأيام الماطرة.

References (Arabic & English)

- AFED Report, (2009). *Arab Forum for Environment and Development*.
- Alpert, P., et.al. (2008). *Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over the E. Mediterranean*. *Global Planetary Change*, 63: 163-170.
- Anagnostopoulou, C., et.al, (2006). *Cyclones in the Mediterranean region: Present and future climate scenarios derived from a general circulation model (HadAM3P)*. *Advan. Geosciences*, 7: 9-14.
- Assaf, H., (2010). *Climate Change in the Levant and North Africa*, in *Climate Change in the Arab World*, pp. 24- 35.
- Bengtsson, L., & Hodges, K. (2005). *Storm Tracks and Climate Change*, *Journal of Climatology*, v.19, pp. 3518- 3544
- Ben-Gai, T., A. (1998). *Spatial and Temporal Changes in Rainfall Frequency Distribution Patterns in Israel*. *Theoretical Appl. Climatology.*, 61: 177-190.
- Black, E. (2009). *The impact of climate change on daily precipitation statistics in Jordan and Israel*. *Atmospheric Sci. Lett.*, 10: 192-200.
- Dahamsheh, A., Aksoy, A. *Structural characteristics of annual precipitation data in Jordan*, *Theoretical and Applied Climatology*, 88,3-4, 201-212.
- Evans, J.P. (2009). *21st century climate change in the Middle East*. *Climatic Change*. 417 :92 .-472.
- Evans, J.P. (2010). *Global Warming Impact on the Dominant Precipitation Processes in the Middle East*.
- FAO. (2008). *Climate Change Impacts and Vulnerability of the Countries of the Near East*, Twenty-Ninth FAO Regional Conference for the Near East, Cairo, 1-5 March, 2008.
- Giorgi, F., & Lionello, P. (2007). *Climate Change Projections for the Mediterranean*, *Global and Planetary Change*, 63, 90- 104
- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse gas inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change

- IPCC. (2007). Fourth Assessment report: Working group II report *Impacts, Adaptation and Vulnerability*, <http://www.ipcc.ch/pccreports/ar4-wg2.htm>.
- Isabel, F., & Davies, T.R. (1999). Objective Climatology of Cyclones in the Mediterranean Region, *Journal of Climate*, 12, 6, 1685–1696.
- Kafle, H. K. & H. J. Bruins, (2009). *Climatic trends in Israel 1970-2002; warmer and increasing aridity in land*. *Climatic Change*, 96: 63-77.
- Karas, J. (1990). *Desertification, Climate Change in the Mediterranean*. <http://www.greenpeace.org/international>
- Karas, J. (2000). *Climate Change and the Mediterranean Region*, Greenpeace, <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2006/3>
- Kostopoulou, E. & Jones, P. D. (2005). *Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean*, *Meteorology and Atmospheric Sciences*, v. 89, no. 1-4, pp. 69- 85.
- Lionello, P. & Giorgi, F. (2007). *Winter precipitation and cyclones in the Mediterranean region: future climate scenarios in a regional simulation*. *Advent. Geosciences*, 12: 153-158.
- Mariotti, A., et al. (2008). *Mediterranean Water Cycle Changes: Transition to Drier 21st Century Conditions in Observations and CMIP3 simulations*, *Environmental Research Letters* 3.
- Martin, I. p. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Intergovernmental
- IPCC. (2007). Fourth Assessment Report.
- IPCC. AR4 Climate Change (2007). Synthesis Report.
- Momani, N.M. (2009). Time Series Analysis Model for Rainfall Data in Jordan: Case Study for Using Time Series Analysis, *American Journal of Environmental Sciences* 5 (5): 599-604

- Moshrik, R. H., *et.al.* (2009). Climate Change in Jordan: A Comprehensive Examination Approach, *American Journal of Environmental Sciences* 5 (1): 58-68.
- Shehadeh. Numan. (1995). *Simulation of Water Requirement and Moisture Consumption in Northern Jordan*, Bulletin of Arab Research and Studies, Vol. 24. www.dos.gov.jo.
- Shehadeh & Ananbeh. (2013). The impact of climate change upon winter rainfall, *American Journal of Environmental Science*, 9 (1): 73-81, 2013.
- Shehadeh, N. & Tarawneh, F. (2014). Impact of Climate Change upon Summer Heat waves in Jordan, *Journal of Ammerical Seinece*, 2014; 10 (5).
- Smadi, M.M. & Zghoul, A. (2006). A sudden change in rainfall characteristics in Amman, Jordan during the Mid-1950s. *Am. J. Environ. Sci.*, 2: 84-91. DOI: 10.3844/ajessp.2006.84.91
- Wigley, T. (1992). *Future climate of the Mediterranean Basin with particular emphasis on changes in precipitation*. In: Jeftic, L., Milliman, J. D. and Sestini, G. (eds). *Climatic Change and the Mediterranean*, pp.15-44. London: Edward Arnold.
- Zhang XB, *et al.* (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of+ Geophysical Research – Atmospheres* 110, D22104.
- Navarra, A. *et al.* (editors). (2013). *Regional assessment of climate change in the Mediterranean*, Volume 3: Case Studies.
- Zytoon, Mohammad. & Shehadeh, No'man, (2016). Climate Change Indicators in the North of Jordan, *Jordan journal of social sciences* Vol.43, anex.2
- Royal Jordanian Geographic Center. (2013). *Atlas of Jordan and the World*, Amman, Jordan
- Zghool, maison. (2011). *Impact of Climate Change upon Minimum Temperature and Frost Formation in Irbid Governorate during the period of (1979-2010)*, unpublished M.A., thesis, Department of Geography, University of Jordan, Amman, Jordan.