

التغيرات المناخية الحديثة وأثرها على الغطاء النباتي في حوض وادي عربة الشمالي

إبراهيم مطيع العرود*، حسام هشام البليسي**، طارق محمد هارون الغنمين***

ملخص

تعد التأثيرات المناخية التي تترافق بانخفاض الهطول المطري وارتفاع درجة حرارة الهواء، خصوصاً في البيئات الحدية، ذات آثار خطيرة على الموارد المائية والبيئة الحيوية والنشاطات الاقتصادية. وتشير نماذج الدورة الهوائية العامة إلى أن شرق البحر المتوسط سيتأثر سلباً بارتفاع غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، حيث ستخفض الأمطار وتزداد درجة حرارة الهواء. وتعاني الأردن حالياً من تدني كمية المياه المتجددة وانخفاض الانتاجية الزراعية، خصوصاً البعلية، نتيجة قلة الهطول المطري وارتفاع الطاقة التبخرية الكامنة. لذا من المفيد دراسة التغيرات المناخية وتقييم آثارها المستقبلية على الانتاج الزراعي والرعي والموارد المائية في البيئات المختلفة في الأردن. وقد تم في هذا البحث التعرف على الاتجاه العام للأمطار السنوية ودرجة الحرارة السطحية في الحوض الشمالي لوادي عربة للفترة 1971-2016. ودمجت درجة الحرارة والأمطار الشهرية لحساب رطوبة التربة وتكرار الجفاف باستخدام قرينة شدة الجفاف الذي طوره بالمر (Palmer Drought Severity Index). ولربط التأثيرات المناخية على البيئة الحيوية، فقد استخدمت خمس مرئيات فضائية من مجموعة لاندسات للفترة 1987-2015 لتقييم الاتجاه العام لمساحات الغطاء النباتي في الجزء العلوي لمنطقة الدراسة.

وقد أظهرت نتائج التحليل أن درجة حرارة الهواء قد ارتفعت خلال الفترة 1971-2016 بحدود 2.7 درجة سيلسيوس وأن الأمطار انخفضت بحدود 100 ملم خلال نفس الفترة. وقد كانت التغيرات سريعة وملموسة منذ نهاية القرن العشرين. ووجد من خلال حسابات الموازنة المائية الشهرية للمقطع العلوي للتربة أن هناك انخفاضاً كبيراً في رطوبة التربة بلغ حوالي 0.8 ملم/السنة في هذا المقطع مما يؤثر لآثار خطيرة على الموارد المائية والزراعية. كما تشير النتائج إلى ازدياد ملحوظ في حدة الجفاف كما تظهرها قرينة بالمر، خصوصاً في الفترة التي أعقبت 1999.

وتشير نتائج تحليل المرئيات الفضائية للأعوام 1987، 1998، 2002، 2014، 2015 إلى تقلص مساحة الأراضي الخضراء وازدياد كبير جداً في مساحة الأراضي الجرداء. ووجد أن مساحة الأراضي الجرداء قد زادت بحدود 150% بين بداية القرن العشرين و2015. كما أن مساحة المراعي والغابات والمحاصيل الحقلية انخفضت بوتيرة مماثلة. وفي حال استمرار هذا الاتجاه العام للتغير المناخي فسيكون لذلك آثار خطيرة على الإنتاجية الأرضية سواء ما يتعلق بالمحاصيل الحقلية أو المراعي ويؤدي أيضاً إلى تدن ملموس في كمية المياه المتوفرة للأغراض المختلفة وتراجع سريع في تغذية المياه الجوفية وجفاف الكثير من الينابيع. وسيكون للتغيرات المناخية تداعيات و آثار تدميرية على الاستثمارات الواسعة في زراعة التفاح المنتشرة بكثرة في الجزء الشرقي من الشوبك. ويعول! على هذه الفئة دعم مشاريع البحث العلمي التي تصب نتائجها في صالحهم!!

الكلمات الدالة: التغير المناخي، رطوبة التربة، الموازنة المائية، وادي عربة، مؤشر النمو النباتي.

المقدمة

أصبح التغير المناخي من الظواهر الطبيعية التي أشعلت

* أستاذ، قسم الجغرافيا، جامعة مؤتة.

** أستاذ مشارك، قسم الجغرافيا، الجامعة الأردنية.

*** طالب دراسات عليا.

هذا البحث مستل من رسالة دكتوراة.

تاريخ استلام البحث 2017/9/17 وتاريخ قبوله 2018/4/3.

العالم في العقود الأخيرة لما له من آثار سلبية على النواحي الاقتصادية والاجتماعية وحتى السياسية (Goldstone, e.g., 2002; Trenberth and Dai, 2007; sowers and Weinthal, 2013; Solow, 2013; Hsiang et al., 2011). وتُجمع معظم التوقعات (projections) المبنية على السيناريوهات المناخية المشتقة من نماذج الدورة الهوائية العامة (IPCC, 2007; e.g., Giorgi and Lionello, 2007; Lionello, 2012; Lionello et al.

الغطاء النباتي يتمثل في دمج المعلومات المناخية ببيانات المرئيات الفضائية لقدرة الأخيرة على توفير بيانات مكانية زمانية لحظية (synoptic)، أي تغطي مناطق واسعة ضمن نفس الوقت. وتعد مراقبة البيئات النباتية والتغير المحتمل في الغطاء النباتي مع الزمن من الأدوات الرئيسية لتقييم التغير المناخي وآثاره البيئية. ويستخدم في دراسة التغير المناخي وأثره على البيئة النباتية التابع الزمني (time sequence domain) للعناصر المناخية والمساحات النباتية لمعرفة ما طرأ على الغطاء النباتي خلال مرحلة زمنية معينة. وقد تم اختيار حوض وادي عربة الشمالي الذي يقع ضمنه منطقة واسعة من جبال الشراة ومناطق شفا غورية وجزء كبير من وادي عربة لمعرفة فيما إذا طرأ أي تغير ملموس على الغطاء النباتي خلال العقود القليلة الماضية. وقد تم في هذا البحث دراسة التغير في الهطول المطري ودرجة حرارة الهواء السطحية للفترة الممتدة من 1971 ولغاية 2016. وضمن هذا السياق تم تقييم الجفاف الزراعي في الحوض العلوي لمنطقة الدراسة من خلال حساب الموازنة المائية الشهرية للمتر الأول من التربة لاشتقاق كل من رطوبة التربة ومعامل بالمر للجفاف (Palmer Drought Severity Index) (Index Normalized Vegetation Difference). كما تم تتبع التغير في الغطاء النباتي باستخدام مؤشر التغطية النباتية المعيرة (Index Normalized Vegetation Difference)، الذي يعكس بدوره التغير المناخي ضمن منطقة الدراسة، من خلال خمس مرئيات من مجموعة لاندسات للسنوات: 1987، 1998، 2002، 2014، 2015 لكشف التغيرات التي طرأت على الغطاء النباتي، إن وجدت، ضمن منطقة الدراسة.

منطقة الدراسة

يقع حوض وادي عربة الشمالي في الركن الجنوبي الغربي من الأردن وينحصر بين دائرتي عرض $30^{\circ}47'$ و $31^{\circ}21'$ شمالاً وخطي الطول $35^{\circ}057'$ و $35^{\circ}36'$ شرقاً (شكل 1). وتبلغ مساحة منطقة الدراسة 2930 كم مربع تقريباً. ويقع ضمن الجزء الشرقي من الحوض جبال ضانا والشوبك والبتراء، ويصل ارتفاع بعض المناطق هناك 1734م فوق مستوى سطح البحر. وهناك منطقة انتقالية تمتد من مستوى 700 م إلى 200 م فوق سطح البحر تتصف بتدرج حاد في نوع التربة والغطاء النباتي (أنظر شكل

e.g., Zhang et al., 2014) والرصد الفعلي للأمطار ودرجة الحرارة (e.g., Zhang et al., 2005; Issar 2008; Oroud, 2008; 2011; 2012a, b; 2016; Onol and Semazzi, 2009; Paulo et al., 2012; Kelley et al., 2016; Cook et al., 2015) أن ازدياد غازات الاحتباس الحراري ستؤدي إلى خفض كمية الهطول السنوي وترفع درجة حرارة الهواء السطحية في الساحل الشرقي للبحر المتوسط. وتتبع آثار التغير المناخي المحتمل هذه على وفرة المياه السطحية والجوفية وعلى كمية المياه المخزنة ضمن مقطع التربة التي تنمو فيها جذور النباتات. وينعكس انخفاض مياه التربة على العمليات الحيوية للنباتات الطبيعية للقيام بعمليات التمثيل الضوئي وإنتاج المادة الحية، والذي ينعكس بدوره على الغطاء الخضري من حيث الوضع النباتي (vegetation health) وامتداده المساحي (Prince, 1991; Huete et al., 1999; Haverkamp et al., 2005). كما يؤثر التغير المناخي على حالة المراعي الطبيعية والزراعات البعلية، خصوصاً في البيئات الانتقالية/الحدية (marginal zones) كما هو حال المرتفعات الجبلية في الأردن التي تتصف بحساسية عالية لأي تغيرات مناخية طفيفة، مما يجعل دراسة استجابة الغطاء النباتي في هذه البيئات مؤشراً ممتازاً للتغيرات المناخية المحتملة.

إذ إنه بالإضافة لأهميته الاقتصادية، فإن للغطاء النباتي أدواراً بيئية إيجابية لا يمكن التقليل منها تتمثل في حماية التربة من التعرية والانجراف المائي من خلال الغطاء الخضري (يقلل من التأثير المباشر للمطر الهاطل) والجذور (تعمل على تماسك التربة وتزيد من مساميتها لتسرب المياه)، ويحد من تدرية وتطاير التربة بفعل الرياح من خلال زيادة خشونة السطحية (surface roughness) التي تخفف بشكل حاد من سرعة الهواء السطحية (Marticorena et al., 1997). ويقلل وجود النباتات من حركة الرمال وزحفها، في حال وجودها، على الأراضي الزراعية المجاورة. كما يخفف ظل النباتات من حدة التبخر ويحافظ على رطوبة التربة السطحية، مما يسمح بنمو نباتات فصلية تسهم في زيادة الكتلة الحيوية المتاحة للرعي. وتتبع أهمية الغطاء النباتي في تحقيقه للتوازن البيئي والأمن الغذائي ومستوى المعيشة.

ولكون التغير المناخي ذو طابع شمولي عام ويغطي مساحات واسعة، فإن أفضل طريقة لتتبع آثاره المحتملة على

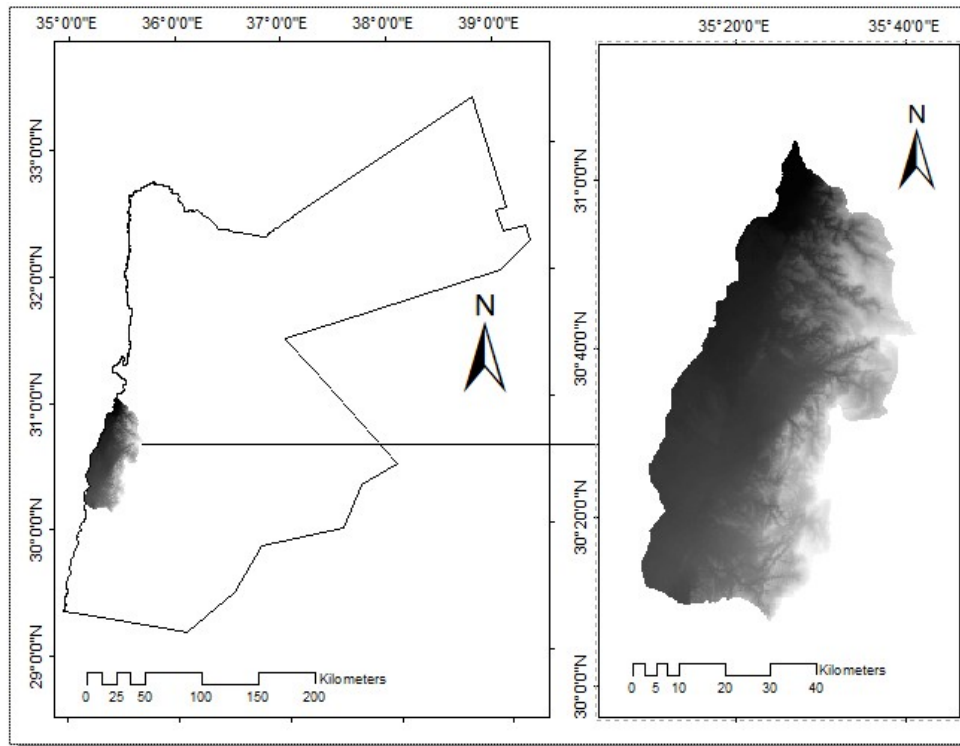
بتحدد سطحها لانحدارها الشديد وبقورها بالغطاء النباتي الذي تأثر سلباً بالظروف المناخية السائدة من جهة والرعي الجائر والتحطيب من جهة أخرى. وتتم نباتات فصلية وأخرى معمره خصوصاً في السفوح الشمالية التي ينخفض فيها الإشعاع الشمسي شتاءً وبالتالي التبخر الكامن، مما يوفر بيئة مناخية محلية (microclimatic niche) أكثر ملاءمة لنمو النباتات هناك. ويمكن ممارسة الرعي المقيد في هذا الجزء من الحوض آخذين بعين الاعتبار القدرة الرعوية الاستيعابية (grazing carrying capacity) من جهة والتذبذب ما بين السنوي (interannual fluctuations) للأطوار.

أما الجزء الأدنى من منطقة الدراسة فيقل المطر فيه عن 100 ملم، ويصل معدل درجة الحرارة السنوي في هذا الجزء بين 20-26 درجة سيلسيوس اعتماداً على الارتفاع/الانخفاض عن سطح البحر. أما الطاقة المتوفرة للتبخير الكامن فتبلغ أكثر من 2500 ملم في السنة. وتسود في هذا الجزء ظروف مناخية مدارية قاحلة (hyperarid)، وتبلغ قرينة الجفاف في هذا الجزء أكثر من 20. وتحت هذه الظروف القاحلة تنتشر بعض الشجيرات الشوكية المتحملة للجفاف (xerophytes) في بطون الأودية وضمن المراوح الفيضية. وتخترق الكثير من مجاري الأودية الجزء الأدنى من الحوض حاملة معها الفيضانات التي تشكلت في المرتفعات الجبلية والتي ينتهي بها المطاف في الجانب الآخر من الحدود مغذية بدورها خزانات المياه الجوفية هناك؟

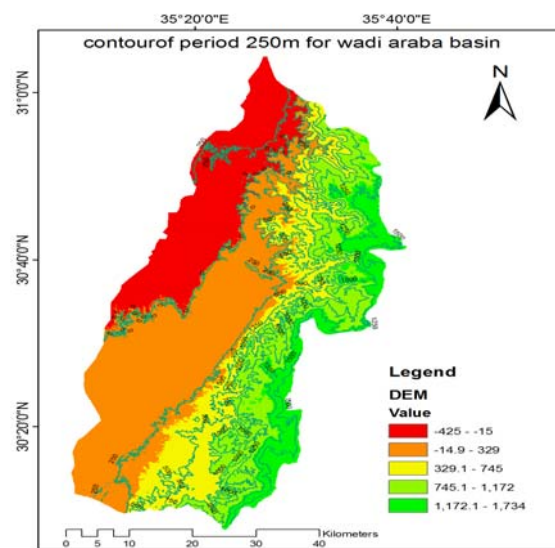
2). أما الجزء الغربي من الحوض، فيتراوح ارتفاعه من 200 م فوق مستوى سطح البحر الى 425 م تحت مستوى سطح البحر. وعلى الرغم من صغر مساحة منطقة الدراسة، إلا أن هناك تبايناً حاداً جداً في المناخ وفي البيئات النباتية المرافقة لهذا التنوع المناخي. ففي الأجزاء العليا من الحوض يسود مناخ حوض البحر الأبيض المتوسط والذي يتبع حسب أنماط كوين المناخية للإقليم المعتدل الماطر شتاءً والحار جاف صيفاً (CSb). ويتصف هذا الجزء من الحوض بشتاء قارس البرودة حيث سُجلت أدنى درجة حرارة مطلقة في الأردن (-18 د. سيلسيوس) ضمن هذا الإقليم الجبلي (Oroud, 1993). ويتكرر حدوث الانجماد السطحي والجوي خلال الأشهر الباردة من السنة (Oroud, 2007). وتشكل الثلوج جزءاً كبيراً من الهطول السنوي مما يزيد من كفاءته ويسمح بتسرب نسبة جيدة من المياه الهاطلة لتغذية المياه الجوفية. ويتراوح معدل الهطول السنوي في هذا الجزء من الحوض بين 200 ملم-300 ملم. وتتراوح قرينة الجفاف حسب نموذج بوديكو¹ (Bodyko dryness index) (Oroud, 2015a,b) بين 3-5. وتتم غابات العرعر والبطم الفنيقي في هذا الجزء من الحوض. وتسود في هذا الإقليم تربة البحر المتوسط الحمراء التي يزداد سمكها في المناطق المنبسطة؛ أما المناطق المنحدرة فيغطي سطحها طبقة تربة رقيقة نسبياً تتلاشى في المناطق شديدة الانحدار. ويتراوح المطر في المناطق الانتقالية بين 200-100 ملم. ويسبب انحدار السطح باتجاه حفرة الانهدام، فإن التدرج المناخي، وبالتالي النباتي حاد أيضاً. وتتصف هذه المنطقة

تزداد كثافتها في مسيلات الأودية وعلى حواف الطرق المعبدة، أما عندما تزيد القرينة عن 20 فالبيئة قاحلة (hyperarid) ويحصر نمو جفافيات شوكية (xerophytes) في بطون الأودية وضمن المراوح الفيضية، وتقل إنتاجية المادة الحيوية في النباتات القاحلة عن 5 غرام/(م²·السنة).

¹ قرينة بوديكو للجفاف هي معامل يحسب على أساس النسبة بين التبخر-تنتج الكامن السنوي (Potential evapotranspiration) والهطول المطري السنوي. وضمن هذا التقسيم يمكن ممارسة الزراعة البعلية/المطرية (rain-fed agriculture) عندما تكون القرينة أقل من 5، والرعي المنضبط (managed grazing) بين 5-10. أما بين 10-20 فالبيئة جافة (arid) والنمو النباتي فقير، ويقتصر على شجيرات متناثرة



الشكل 1. موقع منطقة الدراسة



الشكل 2. طبوغرافية منطقة الدراسة

منهجية الدراسة

تحميل المرئيات ضمن شهر نيسان، وعلى النحو التالي:

- 1- مرئية فضائية بتاريخ 24-4-1987م من القمر لاندسات 5،
- 2- مرئيتان فضائيتان بتاريخ 2002/4/9 و 1998/4/6 من القمر لاندسات 7.
- 3- مرئيتان من القمر لاندسات 8 بالتواريخ 18/4/2014 و 5/4/2015.

وقد تم اختيار المرئيات الفضائية اعتماداً على توفرها من جهة وملاءمة الظروف الجوية من جهة أخرى لتقليل أثر الغيوم قدر الإمكان. وتم اختيار شهر نيسان للحصول على المرئيات لوصول النمو النباتي إلى أفضل حالاته خلال هذا الشهر لكون المنطقة العلوية من الحوض، التي تنمو فيها معظم النباتات، باردة ويتأخر نمو النباتات الفصلية فيها لهذا الشهر. ويوضح الجدول (1) بعض الخصائص الراديومترية والهندسية للأقمار التي تم تحميل المرئيات منها.

الجدول رقم (1). الأقمار الصناعية التي تم تحميل البيانات منها وخصائصها الطيفية والهندسية

| القمر الصناعي | الخصائص | | |
|---------------|---------------|-----------|-------------------|
| | الارتفاع (كم) | عدد الحزم | فترة الرجوع (يوم) |
| لاندسات 5 | 920 | 7 | 18 |
| لاندسات 7 | 705 | 8 | 16 |
| لاندسات 8 | 705 | 11 | 16 |

وتوفر سلسلة الأقمار لاندسات حزم طيفية متعددة يمكن دمجها للحصول على بيانات مهمة عن ديناميكية الغطاء النباتي. وتغطي المرئيات الفضائية المنطقة المضاء بأشعة الشمس، بعرض 185 كم، ضمن مدار شمال جنوب وتكمل دورتها كل 99 دقيقة، بمعدل 14 دورة حول الأرض في اليوم، ويتم مسح نفس المنطقة (revisit time) كل 16-18 يوماً حسب ارتفاع القمر. وتم إجراء عملية تجميع الحزم الطيفية وعمل غطاءات متجمعة (Layer Stacking) من كل مرئية، واقتطاع حوض الدراسة من كل مرئية للفترة الزمنية الواردة. وتم تحميل نموذج الارتفاعات الرقمية DEM للحوض من القمر

قسمت منهجية الدراسة إلى شقين، الأول تم فيه تقييم الاتجاه العام للأمطار الشهرية والسوية ومعدل درجة الحرارة الشهرية والسوية خلال الفترة 1971-2016. كما تضمن هذا الجزء تقييم الاتجاه الزمني لرطوبة التربة ضمن أول متر حيث تنمو معظم الجذور النباتية، اعتماداً على البيانات المناخية المرصودة في محطة الشوبك الزراعية لعدم توفر بيانات مناخية أخرى في منطقة الحوض. وعلى أية حال، فإن محطة الشوبك تمثل البيئة العلوية من الحوض والتي تعد الأكثر ملاءمة للنمو النباتي، كما أنها تمثل البيئة الأكثر وفرة بمصادرها المائية. وقد تم حساب الموازنة المائية الشهرية اعتماداً على كميات الأمطار الشهرية والمعدلات الشهرية للإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الهواء وسرعة الرياح وتغطية السماء بالسحب وضغط بخار الماء الفعلي للهواء (للمزيد أنظر: Oroud, 2015a,b). وقد تم حساب التبخر النتج باستخدام طريقة بنمان (Oroud, 1999; 2001). أما التبخر الفعلي فقد تم حسابه من خلال تتبع رطوبة التربة ومقدار التبخر نتج الكامن. كما تم أيضاً حساب قرينة بالمر للجفاف (Palmer Drought Severity Index: PDSI) للكشف عن السلسلة الزمنية للجفاف الشهري. لمزيد من التفاصيل عن حساب قرينة بالمر ومعرفة محادته: أنظر: Palmer, 1965; Alley, (1984; Dai et al., 2004; Pereira et al., 2007).

أما الجزء الثاني من المنهجية فقد تم فيه استخدام مرئيات فضائية وأنظمة المعلومات الجغرافية لتحديد الخصائص الطبوغرافية للحوض وحساب مساحة الغطاءات النباتية المختلفة خلال الفترة الممتدة من 1987 ولغاية 2015. ولتتبع الغطاء النباتي في منطقة الدراسة، فقد تم تحميل خمس مرئيات فضائية من مجموعة أقمار لاندسات (Landsat Series) من موقع المسح الجيولوجي الأمريكي (United States Geological Survey: USGS) ضمن المسار (path) 174 والمتسلسلة (Row) 39 من الأقمار الصناعية 5، 7، 8 ضمن النطاق (zone) 36، وبالإحداثيات الجغرافية $X=35^\circ$ و $Y=30.3$. ومن أجل تحييد (exclude) التغيرات التي تؤثر على دورة النمو النباتي (floral growth stages) فقد تم اختيار المرئيات ضمن فترة نمو نباتي متجانس تقريبا وكما سمح به توفر المرئيات، حيث تم

المعتدلة (0.2- 0.3) المناطق العشبية والشجيرات، أي تغطية جزئية لسطح الأرض، أما القيم التي تزيد عن 0.5 فهي تمثل غابات ونباتات كثيفة (Fung et al., 1987; Gagan and Dowman, 1988; Huete et al., 1999; Haverkamp et al., 2005)

وترتكز فكرة المؤشر على أن الغطاء النباتي يمتص بقوة في الطيف الأحمر في مراحل النمو النشط، ويعكس جزءا كبيرا من الاشعة تحت الحمراء حتى لا يتعرض للجهد الحراري (thermal stress). أما عندما يكون الغطاء النباتي غير نشط او في حالة ذبول، فإن معامل انعكاسه يزداد في الطيف الأحمر وتقل عاكسيته في الاشعة تحت الحمراء، وبالتالي تنخفض قيمة المؤشر. وتعكس التربة الجرداء نسباً متقاربة من الطيف المرئي الاحمر والاشعة تحت الحمراء (Gagan and Dowman, 1988; Huete et al., 1999) مما يجعل قيم المؤشر قريبة من الصفر.

نتائج الدراسة

التغير المناخي

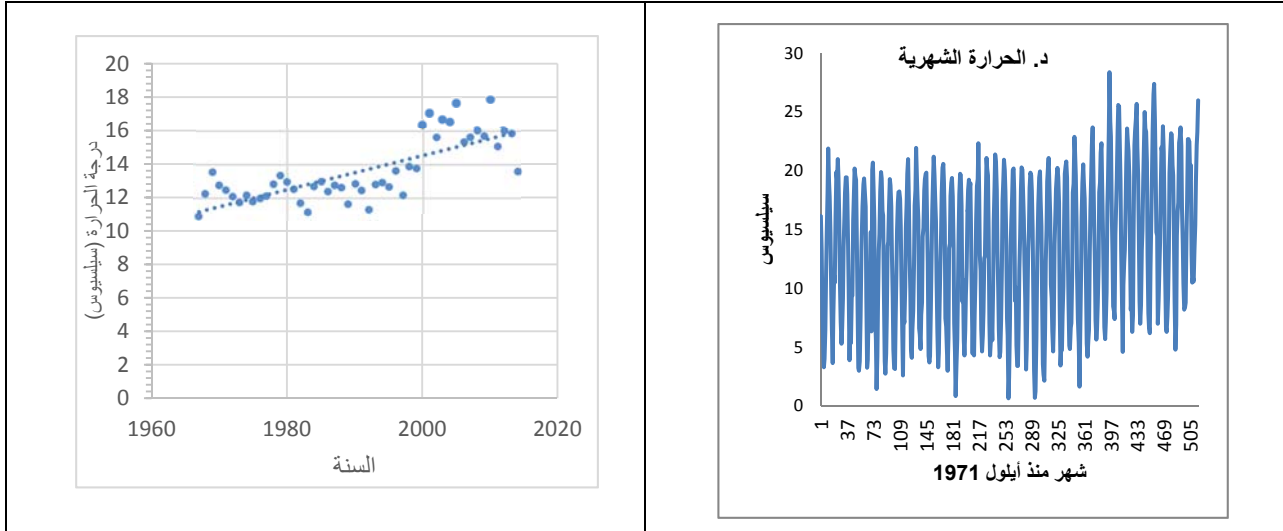
يوضح الشكل 3 التذبذب الشهري لدرجة الحرارة (3.1) والاتجاه العام لدرجة الحرارة السنوية في الجزء العلوي من الحوض (محطة الشوبك). ومن خلال هذين الشكلين، نلاحظ ارتفاعا ملموسا في درجة الحرارة، فقد ارتفعت درجة الحرارة خلال الفترة من 1971 ولغاية 2016 بحدود 2.7 درجة سيلسيوس، علما أن موقع المحطة لم يطرأ عليه أي تغير، كما أن موقع المحطة بعيد نسبيا عن تأثير العمران، مما يؤشر إلى أن التغير كان في الظروف المناخية السينوييتيكية العامة التي سادت على المنطقة وليست نتيجة عوامل محلية مرتبطة بالمناخ المحلي. ومن الملاحظ أن الارتفاع الحاد في درجة الحرارة حدث بعد 1999، مما يشير إلى حدوث تغير واضح في النمط الحراري منذ بداية القرن الواحد والعشرين. وقد اختبرت قيمة الانحدار الخطي لدرجة الحرارة السنوية (فرضية معامل الانحدار = صفر مقابل الفرضية البديلة أي لا يساوي صفر) وتم قبول الفرضية البديلة على مستوى ثقة 99%.

الصناعي أستر (ASTER) وبقدرة تمييزية مقدارها 90 مترا. وتم اشتقاق خطوط الكنتور لمنطقة الدراسة للتعرف على التدرج المناخي ومن ثم الحيوي ضمن منطقة الدراسة. واستخدم برنامج ENVI لمعالجة المرئيات الفضائية لتصنيف استخدامات الأراضي من خلال مجموعه من العمليات والإجراءات التي يمكن تلخيصها بما يلي:

- 1- تحميل المرئية الفضائية وإجراء معايرة راديومترية (Radiometric Calibration) ضمن الطيف المتعدد لازالة التشوهات الناتجة عن تأثير الغلاف الجوي واختلاف الإضاءة الشمسية، والأخطاء النسبية للمحسسات، وتقادم نظام معالجة المرئية (data processing procedure)، ومن ثم تحويلها إلى الامتداد Tif للتعامل معها من خلال برنامج ARC GIS .
- 2- اقتطاع الجزء الذي يشكل حوض وادي عربة الشمالي.
- 3- حساب مؤشر التغطية النباتية المعيرة (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)
- 4- إجراء عملية التصنيف غير الموجه (Unsupervised Classification) من خلال تجميع الخلايا (Pixels) ذات الخصائص الطيفية المتشابهة ضمن مجموعات أو عناقد (clusters) حسب توزيع القيم الرقمية (digital number) في المرئية بعد حساب مؤشر التغطية النباتية المعيرة (Paul and Clar, 2000) (NDVI). وقد استخدم مؤشر التغطية النباتية المعيرة من خلال المعادلة التالية:

$$NDVI = \frac{LIR-LR}{LIR+LR} \quad (1)$$

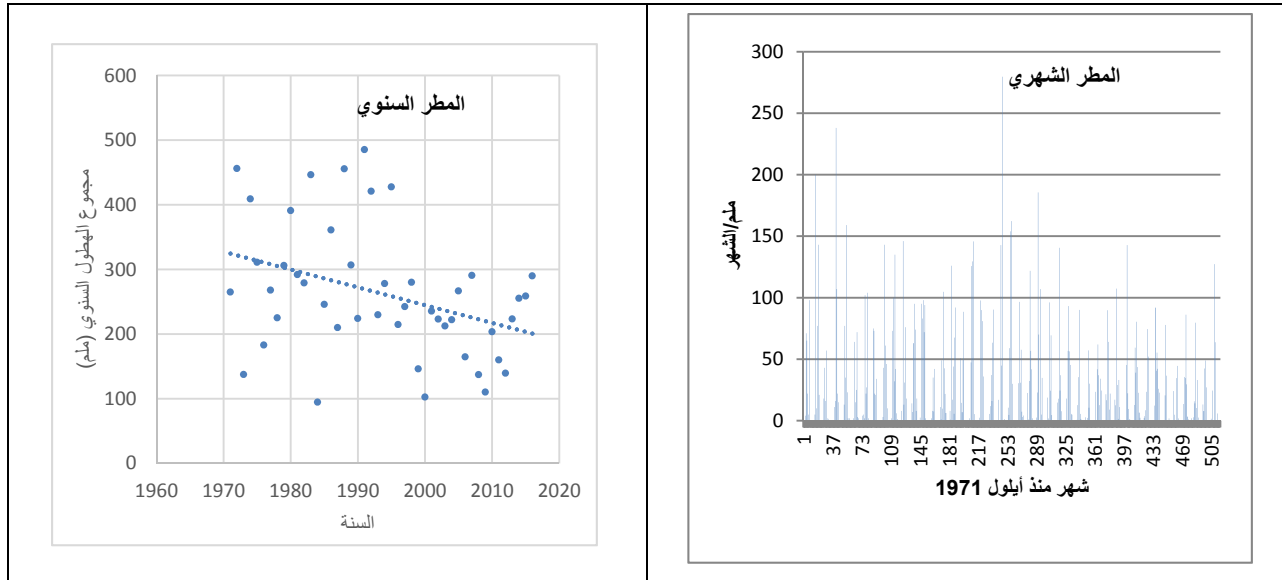
حيث أن LIR نسبة الانعكاس في الطيف تحت الأحمر و LR نسبة الانعكاس في الطيف الأحمر. وتعتمد فكرة المؤشر على الفرق في الانعكاس للغطاء النباتي بين الطيفين تحت الأحمر والأحمر المستخدمين في الحسابات. وتتراوح قيمة المؤشر من الناحية النظرية من سالب 1 وموجب 1. وتمثل القيم المنخفضة (أقل من 0.1) التربة الجرداء والصخور، بينما تمثل القيم



الشكل 3. تغير درجة الحرارة الشهرية والسنوية في الجزء الأعلى من الحوض خلال الفترة 1971 ولغاية 2016

عن هبوط الهواء هناك. ويزداد تأثير أي تغير مناخي متوقع في المناطق الجنوبية من شرق البحر المتوسط لوجودها على حواف منظومة هادلي (Hadley Cell) حيث تسود رياح هابطة، مكونة بذلك مرتفعا جويا دائما يعيق تقدم المنخفضات الجوية نحو هذه المنطقة (لمزيد من التفاصيل أنظر: Suppan, 2002; Robock, 2002; et al., 2008; Issar, 2008; Jarvis and Petraud, 2013; Lionello, 2014; Tobiaz and Menzel, 2016). وعلى الرغم من أن الاتجاه العام للأمطار لم يكن ذا دلالة إحصائية، إلا أنه لا يمكن انكار وجود اتجاه عام واضح بتزايد درجة الحرارة وانخفاض كمية الأمطار ضمن منطقة الدراسة مما يؤثر سلبا على رطوبة التربة وشدة وتكرار الجفاف، وبالتالي الموارد المائية والانتاج الزراعي.

ويوضح الشكل 4 الاتجاه العام الشهري والسنوي للهطول المطري في الجزء العلوي من الحوض. ومن الملاحظ من هذا الشكل تذبذب قوي للأمطار السنوية وتراجع واضح للأمطار بعد 1999. كما أن الأمطار السنوية تناقصت بمقدار 2.75 ملم/السنة خلال فترة الدراسة الممتدة من 1971 ولغاية 2016. واختبرت الفرضية الصفرية والبديلة لمعامل الانحدار في الأمطار وتبين أن هناك تراجعاً في الأمطار السنوية ولكنه لم يكن ذا دلالة إحصائية. وربما يعود ذلك للتذبذب الكبير في الأمطار بين سنة وأخرى حيث أن منطقة شرق البحر المتوسط تقع ضمن منطقة حدية بين إقليمين مناخيين، أحدهما رطب في الشمال وآخر جاف في الجنوب يسود فيه مرتفع جوي دائم ناتج

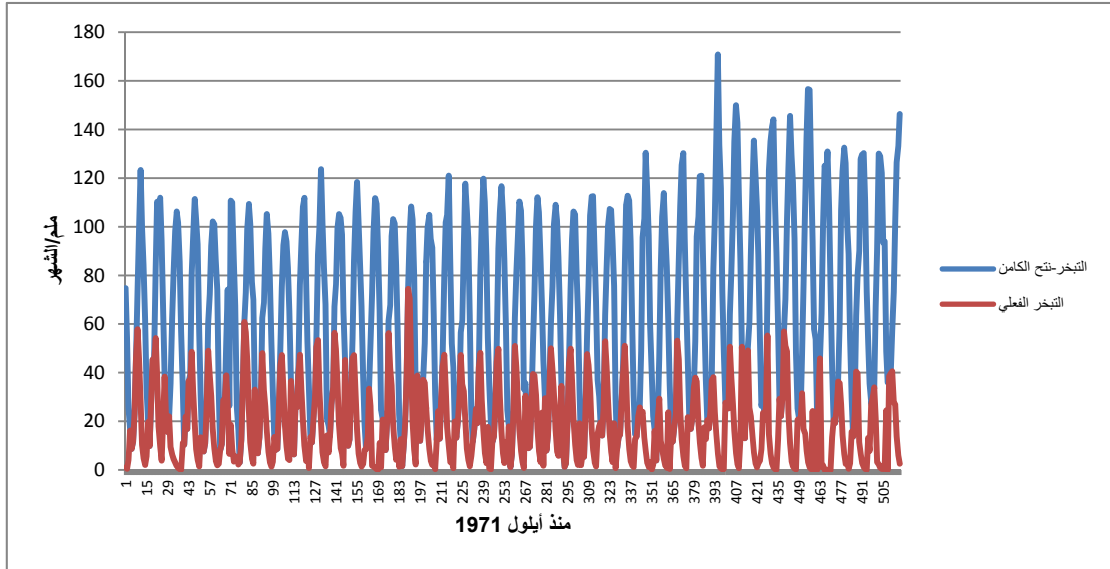


الشكل 4. المطر الشهري والاتجاه العام للأمطار السنوية في الجزء العلوي من الحوض خلال الفترة 1971 ولغاية 2016

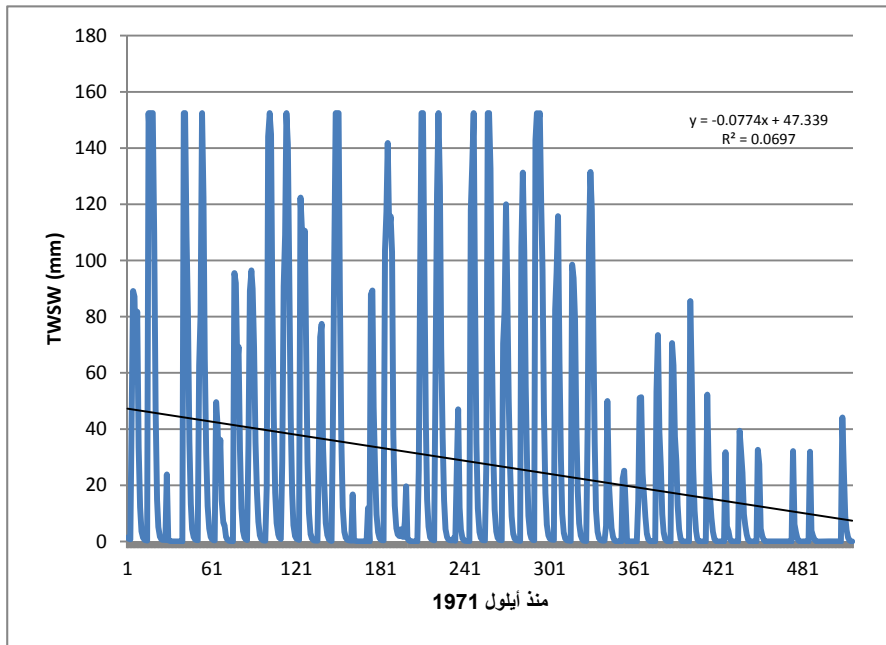
وللتعرف على تأثير كل من تغير درجة الحرارة والأمطار على ازدياد الجفاف (drought) فقد تم استخدام قرينة بالمر (Palmer Drought Severity Index) لحساب ذلك. وحسب تصنيف (Palmer, 1965) تعد الظروف شبه طبيعية (near normal) عندما تكون قيمة القرينة بين موجب 0.5 وسالب 0.5، وبداية جفاف (incipient drought) بين سالب 0.5 وسالب 0.99، وجفاف خفيف (mild) بين سالب 1 وسالب 1.99 ومعتدل (moderate) بين سالب 2 وسالب 2.99 وشديد (severe) بين سالب 3 وسالب 3.99 وعنيف (extreme) عندما تكون القرينة أقل من سالب 4. ويجب الإشارة أن قرينة بالمر تحسب شهريا وربما اسبوعيا ولكنها لا تحسب بمقياس زمني سنوي لاعتماد القرينة على الموازنة المئوية للتربة والتي من خلالها تحسب معظم المعالم المستخدمة في حساب القرينة. ويوضح شكل 7 قرينة بالمر في نهاية الموسم السنوي الذي يبدأ من أيلول. السنوية خلال الفترة الممتدة من 1971 ولغاية الموسم المطري 2013-2014. ومن الملاحظ ان قرينة بالمر كانت تتأرجح علوا وانخفاضا بصورة معتدلة قبل سنة 1999، ولكن الجفاف بدأ يشتد منذ نهاية القرن العشرين وازدادت وتيرته بعد ذلك ودون توقف يذكر.

ومن أجل التعرف على أثر ارتفاع درجة حرارة الهواء وانخفاض الأمطار فقد حسب كل من التبخر الكامن والفعلي خلال فترة الدراسة. ويلاحظ الارتفاع الكبير للتبخر - نتح الكامن خصوصا منذ سنة 1999 (شكل 5). والملاحظ أيضا أن الفرق بين التبخر الفعلي والكامن قد ازداد مع مرور الوقت، مما يعني أن العجز المائي في التربة يتعاظم مع مرور الوقت، الذي ينعكس مباشرة على الموازنة المئوية للتربة.

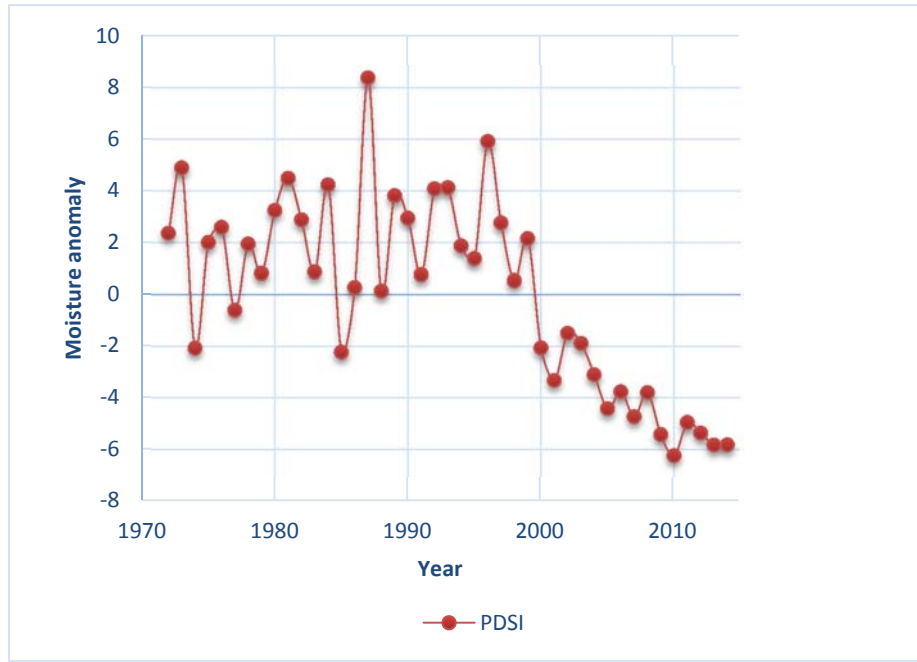
وبيين الشكل 6 الاتجاه العام لرطوبة التربة للقطاع الممتد من سطح الأرض ولعمق متر تقريبا، بافتراض تربة عميقة نسبية كما هو الحال في المناطق الجبلية السهلية وشبه السهلية في الأردن وسعة تربة حقلية بحدود 150 ملم (للمزيد عن حساب الموازنة المئوية لرطوبة التربة، أنظر: Oroud, 2015a,b). ومن الملاحظ من شكل 6 الانخفاض المستمر لرطوبة التربة والذي يتوافق مع ازدياد درجة الحرارة وانخفاض الهطول السنوي. وتنخفض الرطوبة السنوية ضمن قطاع التربة بحدود 9.3 ملم كل عشر سنوات (0.93 ملم/السنة). ويؤثر هذا الانخفاض على آثار مستقبلية بأسة خلال الفترة القادمة حيث سيؤثر حتما على الانتاجية الأرضية، المراعي والحبوب، كما سيؤثر بصورة ملموسة على الموارد المائية المتاحة سواء الجريان السطحي أو التغذية الجوفية.



الشكل 5. التبخر نتح الكامن والفعلي الشهري في الحوض العلوي خلال الفترة من أيلول، 1971 ولغاية آب 2014



الشكل 6. رطوبة التربة الشهرية في محطة الشوبك خلال الفترة الممتدة منذ أيلول 1971: معدل كمية المياه الكلية ضمن أول متر بافتراض أن السعة الحقلية لهذا العمق تبلغ 150 ملم)



الشكل 7. قرينة بالمر للمحل/الجفاف في محطة الشويك خلال الفترة 1971-2014

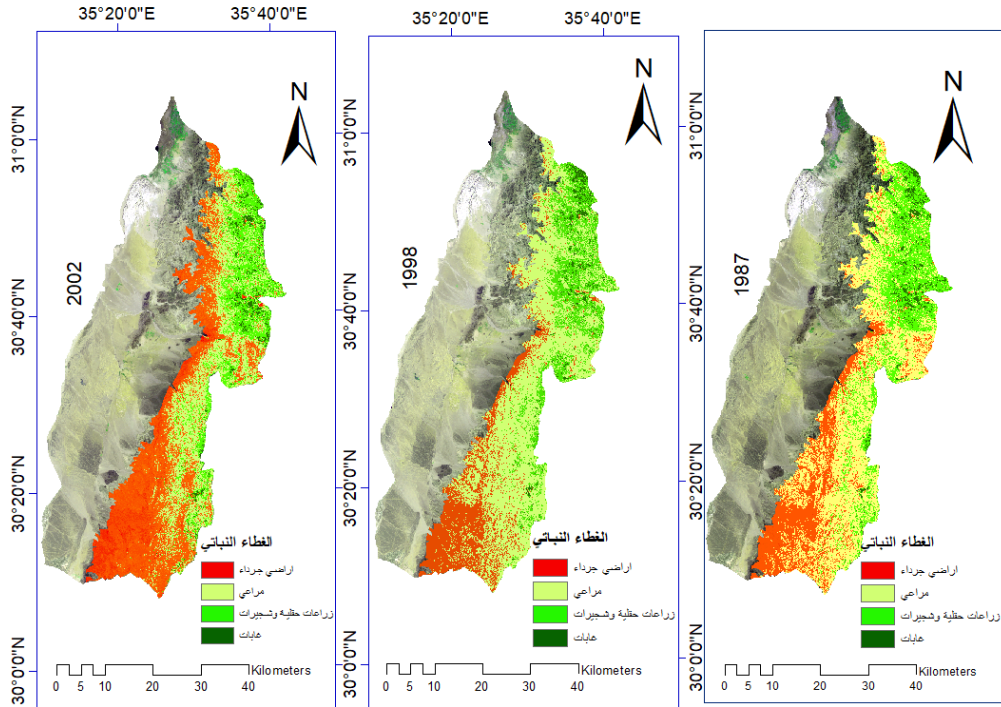
ويوضح شكل 8 توزيع الغطاءات النباتية المختلفة فوق خط الكنتور 300 متر للسنوات 1998، 2002، 2014، 2015، كما تم حسابه من مؤشر التغطية النباتية المعيرة (NDVI). ويوضح جدول 2 الغطاءات الأرضية للمنطقة الواقعة فوق 300 متر خلال فترة الدراسة. ويلاحظ ازدياد طفيف في مساحة الأراضي الخضراء وانخفاض مماثل في مساحة الأراضي الجرداء في نهاية التسعينيات من القرن الماضي. ويعزى ذلك لارتفاع كميات الهطول السنوي في العقد الممتد من 1990 ولغاية 1998. غير أنه منذ الموسم المطري 1998/1999 عندما حدث أسوأ جفاف في منطقة شرق المتوسط بدأت مساحة الأراضي الجرداء بالزيادة على حساب الرقع الأخرى. فقد زادت المساحة من 320 كم مربع تقريبا عام 1987 إلى حوالي 800 كم² بين عامي 2014 و 2015. وفي المقابل انخفضت مساحة المراعي من 600 كم² في نهاية الثمانينيات إلى حوالي 350 كم ضمن الفترة 2014-2015. وتقلصت مساحات المحاصيل الحقلية والغابات بوتيرة مشابهة.

والسؤال المهم هو: ما أثر التغير المناخي على النبات الطبيعي ضمن منطقة الدراسة؟ وهل كان هذا التغير المناخي مقرونا بتغير مماثل في الغطاء النباتي؟

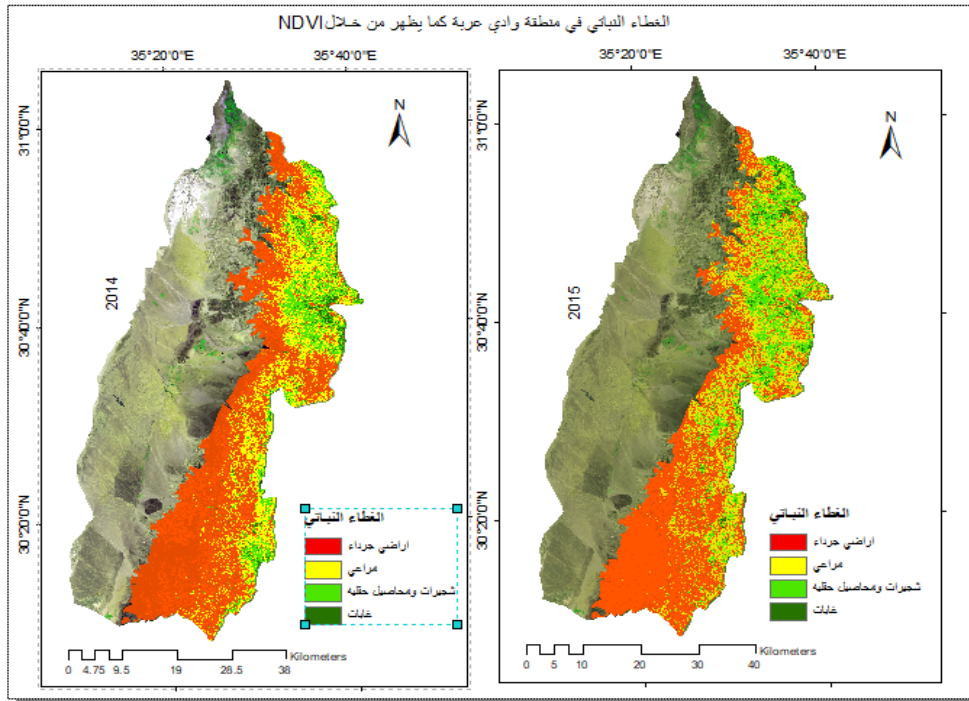
الغطاء الأرضي

لدراسة أثر التغير المناخي سابق الذكر والذي يظهر بوضوح في الهطول المطري ودرجة الحرارة وقرينة بالمر ورطوبة التربة، فقد تم تتبع الغطاء النباتي باستخدام مؤشر الغطاء النباتي المعير (NDVI) كما تم اشتقاقه من المرئيات الفضائية للفترات 1987، 1998، 2002، 2014، 2015. وتم في هذه الحسابات أخذ المنطقة الواقعة فوق خط الكنتور 300 م ليتم تجنب الخطأ في الحسابات الناتج عن وجود الأراضي المروية في الجزء الجنوبي من الأغوار الجنوبية. كما أن معظم النباتات الطبيعية (المراعي والغابات) والأراضي التي تزرع بالمحاصيل الحقلية تنحصر في هذا الجزء من الحوض. وتغطي المنطقة التي يزيد ارتفاعها عن 300 متر حوالي 1320 كم مربع.

الغطاء النباتي كما يظهر في حوض وادي عربة الشمالي من خلال NDVI



الغطاء النباتي في منطقة وادي عربة كما يظهر من خلال NDVI



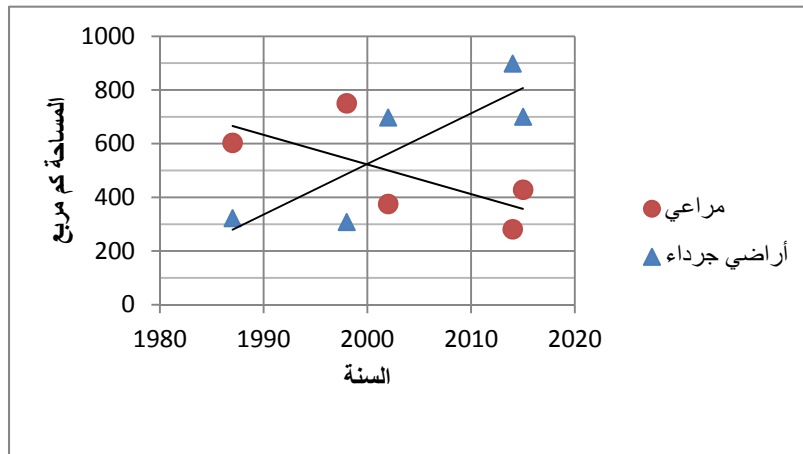
الشكل 8. الغطاء النباتي فوق خط الكنتور 300 متر كما تم اشتقاقه من NDVI

العام للتغير المناخي سواء كانت لدرجة الحرارة أو الامطار أو رطوبة التربة أو قرينة بالمر. ويوضح شكل 9 تغير مساحة الأراضي الجرداء والمراعي خلال الفترة الممتدة بين 1987-2015، والذي يوضح ازديادا في مساحة الأراضي الجرداء على حساب المساحات الأخرى، خصوصا منذ بداية القرن الواحد والعشرين.

وعلى الرغم من أن المنطقة انتقالية ويحدث فيها تذبذبات بين سنوية كبيرة (inter-annual fluctuations) في المساحات الخضراء تبعا لكميات الأمطار الشهرية والسنوية الهائلة، إلا أن هناك اتجاها عاما لا يمكن انكاره خلال الفترة الممتدة من نهاية القرن العشرين بازدياد مساحة الأراضي الجرداء على حساب المساحات الخضراء. وتتوافق هذه النتائج مع الاتجاه

الجدول رقم (2) تطور مساحات الغطاءات الأرضية خلال الفترة 1987-2015 كما تم اشتقاقها من المرئيات الفضائية

| السنة | الغابات | المحاصيل الحقلية/شجيرات | المراعي | الأراضي الجرداء |
|-----------|---------|-------------------------|---------|-----------------|
| 1986/1987 | 6.10% | 24.80% | 44.90% | 24.20% |
| 1997/1998 | 2.60% | 17.60% | 56.40% | 23.20% |
| 2001/2002 | 2.60% | 17% | 28.20% | 52.10% |
| 2013/2014 | 2.30% | 9.80% | 21.10% | 66.80% |
| 2014/2015 | 2.30% | 13% | 32.40% | 52% |



الشكل 9. الاتجاه العام لمساحة الأراضي الرعوية والجرداء فوق خط 300 متر فوق سطح البحر في منطقة الدراسة

التي تزودها دائرة الأرصاد الجوية ووزارة المياه والري. ووجد أن هناك اتجاها عاما في الهطول المطري وارتفاعا في درجة حرارة الهواء السطحية ضمن منطقة الدراسة والذي أثر بدوره على الموازنة المائية للتربة. وقد ازدادت وتيرة التغير المناخي منذ نهاية القرن العشرين. ولدراسة أثر التغير في كل من الهطول المطري ودرجة الحرارة، فقد تم حساب قرينة بالمر للجفاف

الخاتمة

تم في هذا البحث دراسة التغير المناخي في الحوض الشمالي لوادي عربة والذي يضم جزءا كبيرا من وادي عربة وجبال الشراة. وقد تم تتبع التغير المناخي في هذه المنطقة اعتمادا على البيانات المناخية الشهرية للأمطار ودرجة الحرارة

التبخرية الكامنة، سيؤدي إلى تدني كمية المياه المتوفرة للأغراض المختلفة. وستقود هذه التغيرات إلى انخفاض ملموس في تغذية المياه الجوفية التي سترتب عليها آثار مستقبلية خطيرة على الانتاج الزراعي وستجف الكثير من الينابيع التي بدأ الكثير منها فعلا بالاختفاء أو الإضمحلال. كما أن الاستثمارات الكبيرة في زراعة التفاح المنتشرة بكثرة في الجزء الشرقي من الشوبك ستتأثر سلبا بهذه التداعيات المناخية. وتوصي الدراسة الحالية أن تتبنى الشركات الكبرى التي تتأثر على معظم مياه منطقة الشوبك بدعم البحث العلمي المعني بتقييم الآثار المناخية المستقبلية على الموارد المائية المتاحة لتلمس الحلول التي يمكن تبنيها ضمن هذه البيئة الهامشية. وتبقى مثل هذه التوصيات مجرد أمنيات يصعب تحقيقها من شركات تعودت الريح دون مقابل.

ورطوبة التربة في المقطع العلوي، أول متر، لتقييم أثر ذلك على الغطاء النباتي.

وتظهر النتائج توافقا ممتازا بين التغير في العناصر المناخية وفي رطوبة التربة من جهة وفي الغطاء الأرضي من جهة أخرى. فقد ازدادت مساحة الأراضي الجرداء على حساب المساحات الخضراء، إذ تضخمت مساحة الأراضي الجرداء بنسبة 150% خلال الفترة 2000-2015. كما تقلصت مساحة المراعي بحدود 40% خلال نفس الفترة. وانكشفت رقعة الغابات والمحاصيل الحقلية كثيرا خلال الأعوام 2000-2015.

وفي حال استمرار الاتجاه العام للأمطار ودرجة الحرارة، فسيكون لهذا التغيرات المناخية آثار خطيرة على الإنتاجية الأرضية سواء ما يتعلق بالمحاصيل الحقلية أو المراعي. كما أن الانخفاض الحاد في كمية الهطول المطري مقرونا بارتفاع ملموس في درجة حرارة الهواء السطحية، التي ترفع الطاقة

2999-3015.

- Giorgi F, Lionello P (2007) Climate change projections for the Mediterranean region, *Global and Planetary Change* 63:90-104. DOI: 10.1016/j.glopach.2007.005.
- Goldstone J (2002) Population and security: How demographic change can lead to violent conflict. *J Int Aff.* 56(1):3-22. 26.
- Gugan, D., & Dowman, I. (1988). Accuracy and completeness of topographic mapping from SPOT imagery. *The Photogrammetric Record*, 12(72), 787-796.
- Haverkamp, S., Fohrer, N., & Frede, H. G. (2005). Assessment of the effect of landuse patterns on hydrologic landscape functions: A comprehensive GIS-based tool to minimize model uncertainty resulting from spatial aggregation. *Hydrological Processes*, 19(3), 715-727.
- Huete, A., Justice, C., & Van Leeuwen, W. (1999). MODIS vegetation index (MOD13). *Algorithm theoretical basis document*, 3, 213.

المصادر والمراجع

- Alley W (1984) The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 1100-1109, 10.1175/1520-0450(1984)023<1100:TPDSIL>2.0.CO;2
- Cook B, Anchukaitis K, Touchan R, Meko D, Cook E (2016) Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years, *J. Geophys. Res.* 121, 20160-20174.
- Dai A, Trenberth, K, Qian T (2004) A Global Dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with Soil Moisture and Effects of Surface Warming, *J. Hydrometeorology*, 5, 1117-1130.
- Fung, I., Tucker, C., & Prentice, K. (1987). Application of Advanced Very High Resolution Radiometer vegetation index to study atmosphere-biosphere exchange of CO₂. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 92(D3),

- Res., 37, No. (10), 2513-2520.
- Oroud, I M (2007): Spatial and temporal distribution of frost in Jordan, *The Arab World Geographer*, 10, (2) 82-91.
- Oroud I M (2008) the impact of climate change on water resources in Jordan, In: Zerieni, F. and Hotzl H. (Eds) *Climate Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa*, Springer, Berlin.
- Oroud I M (2011) Evaporation from the Dead Sea and its implications on its water balance, *Theoretical and Applied Climatology*, DOI 10.1007/S00704-0452-6
- Oroud I M (2012a) Relative impacts of climate change on water resources in Jordan, in: Fernando, H. J. S., Klaic, Z. B., McCulley, J. L. (eds.), *National Security and Human Health Implications of Climate Change*, Springer
- Oroud, I M (2012b), Climate change impact on green water fluxes in the eastern Mediterranean.: pp 3-15 In: Leal Filho, W. (ed) "Climate Change and the Sustainable Management of Water Resources", Springer, DOI 10.1007/978-3-642-22266-5.
- Oroud I M (2015a) **Water budget assessment within a typical semiarid watershed in the Eastern Mediterranean**, *Environmental Process* 06/2015; 3(2):1-15. DOI: 10.1007/s40710-015-0072-8.
- Oroud I M (2015b) Water balance in a typical watershed in the Karak Plateau, *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7 (2), 109-117.
- Oroud I M (2016) Assessment of hydro-meteorological data in the Karak Plateau, *Jordan Journal of Social Sciences*, 9, 369-381.
- Palmer W C (1965) Meteorological drought. Office of Climatology, Research Paper 45, Weather Bureau, Washington D.C., 58 pp.
- Paulo A, Rosa R, Pereira L (2012) Climate trend and behavior of drought indices based on precipitation and evapotranspiration in Portugal, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 1481-1491.
- Pereira L, Rosa R, Paulo A (2007) testing a modification of the Palmer Drought Severity Index for Mediterranean environments, 149-167, in: Rossi, G., Vega, T., Bonaccorso, IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Geneva.
- Hsiang SM, Burke M, Miguel E (2013) Quantifying the influence of climate on human conflict. *Science* 341(6151):1235367. 27.
- Issar A (2008) The impact of global warming on the water resources of the middle east: past, present, and future, In: Zerieni, F. and Hotzl H. (Eds) *Climate Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa*. Springer, Berlin.
- Jarvis L, Pétraud J (2013) *Climate Change and Increasing Aridity: The Fate of Agriculture and Rural Communities in the Middle East and North Africa*, Presented at the Rosenberg International Forum on Water Policy, Aqaba, Jordan, March 24-25, 2013
- Kelley C, Mohtadi S, Cane M, Seager R, Kushnir, Y (2015) Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought, *PNAS*, 112, 3241-3246: www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1421533112.
- Lionello P (2012) *The Climate of the Mediterranean Region from the Past to the Future*, Elsevier.
- Lionello P, Abrantes F, Gacic M, Planton S, Trigo R, Ulbrich U (2014). The climate of the Mediterranean region: research progress and climate change impacts. *Regional Environmental Change*, 14(5): 1679-1684.
- Marticorena, B., Bergametti, G., Gillete, D. and Belnap, J. 1997. Factors controlling threshold friction velocity in semiarid and arid areas of the United States, *Journal of Geophysical Research*, 23, 277287.
- Onol B, Semazzi F H (2009) Regionalization of climate change simulation over the Eastern Mediterranean, *Journal of Climate*, 22, 1944-1961: DOI:10.1175/2008JCLI18071.
- Oroud, I M (1993) Potential damage to exposed domestic water pipes in Jordan during freezing conditions, *Mu'tah Journal for Research and Studies*, 8, no. 4, 281-300.
- Oroud, I. M (1999): Temperature and Evaporation dynamics of saline solutions. *Journal of Hydrology*, 226, 1-10.
- Oroud, I M (2001): A new formulation of evaporation temperature dynamics of saline solutions, *Water Resour.*

- climate change on water availability in the Near East. In: Zerieni, F. and Hotzl H. (Eds) *Climate Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa*. Springer, Berlin.
- Tobias T, Menzel L (2016) Current and future droughts in the Southeastern Mediterranean, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 18, EGU2016-9383, 2016 EGU General Assembly 2016
- Trenberth K, Dai A (2007) Effects of Mount Pinatubo volcanic eruption on the hydrological cycle as an analog of geoengineering, *Geophys. Res. Letters*, 34, L15702, doi:10.1029/2007GL030524, 2007
- Zhang X, Aguilar E, Sensoy S et al (2005) Trends in Middle East climate extremes indices from 1950 to 2003. *J. Geophys. Res.* 110.
- B. (eds.), *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*, Springer.
- Prince, S. (1991). A model of regional primary production for use with coarse resolution satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 12(6), 1313-1330.
- Robock A (2002) Pinatubo eruption: The climatic aftermath, *Science*, 295, 1242-1244.
- Smith D, Vivekananda J (2007) A Climate of Conflict: The Links between Climate Change, Peace and War, *International Alert*, November.
- Solow A R (2013) Global warming: A call for peace on climate and conflict. *Nature* 497(7448):179–180.
- Sowers J, Avner V, Weinthal E (2011) Climate change, water resources, and the politics of adaptation in the Middle East and North Africa. *Climate Change* (104), 599-627.
- Suppan P, Kunstmann H, Heckl, Rimmer A (2008) Impact of

Recent Climate Change and its Influence on Vegetation Cover in Wadi Araba North, Jordan

*Ibrahim M. Oroud, Hussam Al-Bilbisi**, Tareq M. Alghnmieen****

ABSTRACT

Climate change is expected to have serious adverse effects on water resources, the ecosystem and the economic activities, particularly in marginal areas where precipitation is limited. General Circulation Global Models project that the eastern Mediterranean, will be negatively affected by the rise in greenhouse gases in the atmosphere, where rainfall will decrease and air temperature will increase. This climate change will have serious consequences on the water resources and the ecosystem in Jordan, given its the nature of its climate, its limited renewable water resources and the swelling population. The present paper assesses the climate trend in Wadi Araba north basin, southwestern Jordan, which comprises a wide differentiation of climates and natural habitats. Time series of near surface annual air temperature and total annual precipitation are examined using linear regression. Monthly soil moisture and the Palmer Drought Severity Index (PDSI) are also calculated to establish any agricultural drought trend during the past half century. Five satellite images spanning the period 1987- 2015 are used to track changes in land cover for areas located 300 m above contour line.

Results show that annual air temperature increased by 2.7 oC, and total annual precipitation dropped by about 100 mm (>30%) between 1971 and 2016. The PDSI has increased and soil moisture within the top meter declined significantly, particularly, after 1999. Analysis of the satellite images reveals that barren lands swelled at the expense of rain-fed agriculture, forests and grazing lands. Barren lands increased by 150% between 2002 and 2015, with a concurrent decline of the other land covers. Persistence of this trend will have devastating effects on water resources, the economic activities and the natural habitats in the study area. As a result of this recent climate change, there has been a frequent failure in rain-fed agriculture. The discharge of numerous water springs within the study area started to either dwindle or ceased to exist.

Keywords: Climate change, Soil Moisture, Water Resources, Wadi Araba, Plant Growth Index.

*.Department of Geography, Mu'tah Univesity, Jodan

** Department of Geography, Faculty of Arts, The University of Jordan.

*** Ph.D Student, The Univesity of Jordan.

. Received on 17/9/2017 and Accepted for Publication on 3/4/2018.