

Sultan Qaboos University
Journal of Arts & Social Sciences



جامعة السلطان قابوس
مجلة الآداب والعلوم الاجتماعية

تقييم حالة الجفاف باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد دراسة تطبيقية على المناطق الغربية لحافظة الطائف بالمملكة العربية السعودية

حليمة إبراهيم الزبيدي

ماجستير جغرافيا

جامعة أم القرى

Halima_e_z@yahoo.com

تاريخ الاستلام: ٢٠١٤/١٢/١٥

تاريخ القبول للنشر: ٢٠١٥/٠٤/٢٩

تقييم حالة الجفاف باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد دراسة تطبيقية على المناطق الغربية لمحافظة الطائف بالمملكة العربية السعودية

حليمة إبراهيم الزبيدي

المستخلص:

هدفت الدراسة إلى تقييم حالة الجفاف في المناطق الغربية من محافظة الطائف لفترة تمتد إلى ستة وعشرين عامًا، من خلال توظيف معطيات المعالجة الآلية للمرئيات الفضائية بتطبيق مؤشر الحالة النباتية (VCI)، ومؤشر الحالة الحرارية (TCI)، مؤشر الصحة النباتية (VHI)، ومؤشر التغطية النباتية (OSAVI). وأسفرت نتائج الدراسة عن حدوث تدهور حرج في النظام البيئي الحيوي ما بين عامي ١٩٨٤م-٢٠١٠م، وهيمنة الجفاف الناتج عن التأثير المشترك بين الإجهاد الرطوبي والحراري على منطقة الدراسة، وبرهن عليه أيضًا تناقص حالة التغطية النباتية ومساحتها، وقد أسهمت الدراسة في توليد قاعدة بيانات وخرائط عن حالة الجفاف وامتداده في منطقة الدراسة بناء على حجم الخلية والمراكز والمنطقة ككل للفترة المحصورة بين ١٩٨٤ و٢٠١١م.

الكلمات المفتاحية: الجفاف، المناطق الغربية من محافظة الطائف، مؤشرات الجفاف، الاستشعار عن بعد

Assessing the Status of Drought Using Remote Sensing: An empirical study in the Western areas of the Taif district in Saudi Arabia

Halima Ibrahim Ali Al-Zwbaidi

Abstract:

This study aimed to utilize spectral indices in investigating the current drought of Taiff district in the 26 years (1984-2010). The study relies on processing and analysing of satellite data through several professional computer programs including ER Mapper, ERDAS and ArcGIS, where several spectral indices were used to evaluate the extent of the drought. The indices used in this study are OSAVI, VCI, TCI and VHI.

Considering the results of the study, the indices: VIC, TCI, VHI and OSAVI which generally illustrate the deterioration in the ecosystem in the study area that can be considered now in a critical state. This study also contributes to building a data base and maps about drought condition and its extent based upon pixel size, sectors, and the area as a whole during the period of 1984-2011.

Keywords: drought, the western parts of the Taif, spectral indices, remote sensing.

مقدمة

تعد الأنظمة البيئية بالمناطق الجافة وشبه الجافة هشّة وحساسة للمتغيرات البيئية كالاختلافات التضاريسية، وارتفاع درجات الحرارة، وكميات الأمطار الساقطة، ومقدار الرطوبة المتوفرة في التربة، والتغيرات في التغطية النباتية، ونوع التربة وخصائصها، وزحف الكثبان الرملية، واستنزاف المياه الجوفية، بالإضافة إلى تدخل العامل البشري في البيئة كالتوسع العمراني، والتحطيب، والرعي الجائر. والتي تعد من أهم المعايير التي يستدل بها على الجفاف الذي يؤدي إلى اختلال الأنظمة البيئية، وإلى التأثير البالغ في الأمن الغذائي والاقتصادي للإنسان.

ونظراً للعواقب الوخيمة التي خلفها الجفاف في العالم، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تتسم بنظام إيكولوجي شديد الحساسية للتغيرات التي تطرأ على البيئة، اهتم الباحثون بتقصيها وأجريت العديد من الدراسات التي استخدمت مؤشرات Palmer Drought مختلفه لقياس الجفاف كمؤشر بالمر لشدّة الجفاف Severity Index (PDSI)، ومؤشر رطوبة المحاصيل Crop Moisture Index (CMI)، ومؤشر إمدادات المياه السطحية Surface Water Supply Index (SWSI)، ومؤشر الجفاف المستصلح Reclamation Drought Index (RDI)، ومؤشر الهطول الموحد Standardized Precipitation Index (SPI).

وبرزت في القرن العشرين المؤشرات الطيفية الجفافية كأحد الأساليب التقنية الفاعلة لتقصي الإجهاد النباتي وجفافيته، واتخاذ القرارات وتنفيذ التدابير للتخفيف من الجفاف، وتحقيق التنمية المستدامة، Kogan, 2002 التي ينسب الفضل في تطويرها إلى كوجان kogan عام 1997م Chopra, 2006 فمؤشر الحالة النباتية Vegetation Condition Index (VCI) يتقصى الإجهاد الرطوبي الناجم عن قلة كميات التساقط، معتمداً على القيم العظمى والدنيا لمؤشر Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI)، أما مؤشر الحالة الحرارية Temperature Condition Index (TCI) فيتقصى الإجهاد الحراري معتمداً على قيم النطاق الحراري، في حين يمثل مؤشر الصحة النباتية Vegetation Health Index (VHI) التأثير المشترك بين الإجهاد الرطوبي والحراري على صحة النباتات. وتحسب تلك المؤشرات استجابة النبات للعوامل الجوية عن طريق النسبة المئوية الموزونة، فأقل من 40٪ تعبر عن حالة جفاف خفيفة إلى متطرفة، وأعلى من ذلك يشكل حالة مثالية (Bhuiyan, 2008).

وطبقت عدد من الدراسات المؤشرات الطيفية الجفافية على المناطق الجافة وشبه الجافة، كدراسة سينغ وزملائه (singh, et al., 2003) على الهند، لمراقبة الجفاف حيث استخدمت الدراسة مؤشرات الحالة النباتية VCI والحالة الحرارية TCI وأشارت نتائج الدراسة إلى أن إجهاد النبات يعود إلى الجفاف أو البلب المفرط. وأكدت الدراسة أنه لا يمكن الاعتماد على بيانات مؤشر VCI مفردة، بل يجب أن يقترن ببيانات مؤشر TCI لرصد الجفاف والرطوبة المفرطة. كما رصد ري وزملاؤه (Rhee, et al., 2010) الجفاف الزراعي في المناطق الجافة والرطبة للولايات المتحدة الأمريكية خلال عشر سنوات، وأسهمت الدراسة قاعدة بيانات خرائطية لتغيرات الجفاف المكانية

والزمانية.

وأبرز شمسيبور وزملاؤه (Shamsipour, et al., 2010) فاعلية المؤشرات الطيفية في تحليل النمط المكاني والزمني للجفاف في السهول الوسطى شبه الجافة في إيران، وأكدت الدراسة أن مؤشر VCI ومؤشر TCI لديها حساسية أعلى لظروف الجفاف من المؤشر VHI. في حين طبق كارنيلي وزملاؤه (Karnieli, et al., 2010) المؤشرات الطيفية NDVI, VCI, TCI, VHI، لتقييم الجفاف خلال فترة زمنية تمتد إلى 21 عاماً، وتوصلت الدراسة إلى الحاجة لاستخدام الأساس التجريبي للعلاقة بين درجة الحرارة السطحية والمؤشرات الطيفية لتقييم الجفاف خلال فترات طويلة ولمناطق شاسعة المساحة.

وفي الوطن العربي غابت المنهجية القائمة على الاستشعار عن بعد لدراسة الجفاف والإجهاد النباتي حيث لم تجد الباحثة دراسة واحدة تناولت موضوع الجفاف بالانتفاع من بيانات الأقمار الصناعية وتوظيف المؤشرات الطيفية؛ لذا جاءت هذه الدراسة لتقييم الجفاف في المناطق الغربية من محافظة الطائف باستخدام المؤشرات الطيفية الجفافية خلال الفترة الممتدة من عام 1974م إلى عام 2010م.

مشكلة وأهداف الدراسة

يعد الجفاف من المشكلات البيئية الطبيعية التي عانت منها المملكة العربية السعودية، وهي ظاهرة متكررة في المملكة ويمكن توقع حدوثها كل سبع إلى تسع سنوات (الوليبي، 1997م)، ويختلف الجفاف عن غيره من المشكلات الطبيعية في كونه يمتد ببطء وعلى مدى سنوات متستراً في بدايته وراء عدد من العوامل إلى أن تظهر آثاره المدمرة كنضوب المياه وموت الحياه النباتية وتعرية التربة التي ما تلبث حتى تصبح واسعة الانتشار

(https://www.wmo.int/pages/themes/hazards/index_ar.html). وقد ذكر تقرير مراقبة الجفاف (الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة، 2002م) أن المملكة العربية السعودية تتعرض لجفاف جوي Meteorological Drought، وجفاف هيدرولوجي Hydrological Drought، وجفاف زراعي Agricultural Drought، منذ منتصف عام 1998م مخلفاً آثار سلبية واضحة متمثلة في نقص الرطوبة وكميات التساقط، حيث ذكر التقرير أن المواسم التي تتأثر بفترة واحدة من الهطول حتى لو كانت متزايدة، فهي لا تعتبر مؤشراً للهطول الفعلي حيث تكون القيمة الفعلية للهطول قليلة الفائدة وغير مجدية، مما قد يؤدي إلى خلل في النظام الإيكولوجي.

ولم تكن المنطقة الغربية من محافظة الطائف بمنأى عن تلك الآثار، حيث ذكر (الغامدي، 2008م) في دراسة للتصحّر على مساحات واسعة للأراضي الجنوبية والجنوبية الغربية للمملكة العربية السعودية، أن الغطاء النباتي تعرض للتقهقر والتناقص بفعل زيادة الجفاف، وتدهور العناصر الحيوية للتربة. كما أن الباحثة لاحظت انحساراً في مساحات الغطاء النباتي واختفاء أنواع من الحشائش العمرة وإحلال أنواع من الحشائش غير المستساغة محلها، وانخفاض مناسيب المياه في الآبار الجوفية، وتعرض التربة للتعرية، بالإضافة إلى زحف الرمال على أجزاء من المنطقة.

من ٧٥٥ متراً فوق مستوى سطح البحر في شمال وشرق منطقة الدراسة إلى ٢٦٠٢ متر فوق مستوى سطح البحر في جنوب غرب المنطقة (جنوب مركز الشفا)، وتشغل التضاريس التي يقل ارتفاعها عن ١٥٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر ما نسبته ٧٠٪ من مساحة منطقة الدراسة، بينما تشغل التضاريس التي تعلو ١٥٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر النسبة المتبقية.

كما تتباين معدلات درجات الحرارة بمنطقة الدراسة، فيشكل النطاق الجبلي الذي تشمل مركز الشفا وبني سعد والهدا وأجزاء من مركز الطائف أقل المعدلات السنوية الحرارية، بينما يتسم ثلثا منطقة الدراسة بمعدلات حرارية تفوق ٢١ درجة مئوية، وتتركز معدلات التساقط السنوية في جنوب غرب منطقة الدراسة على مركز الشفا، ومن ثم تأخذ تلك المعدلات في الانخفاض في بقية أنحاء منطقة الدراسة، حيث تتراوح ما بين ١٦٠-٢٠٠ ملم في مركزي الهدا وبني سعد وحول مدينة الطائف، بينما ينخفض المعدل عن ٩٠ ملم في بقية المراكز. وتتلقى جميع محطات منطقة الدراسة معدلات عالية لكميات الأمطار الساقطة في فصل الربيع مقارنة بالفصول الأخرى.

منهج الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على المنهج التحليلي الوصفي، وذلك بالاعتماد على معطيات تقنية الاستشعار عن بعد، واستغلال المرئيات الفضائية التابعة للقمر الأمريكي لاندسات TM-ETM للسنوات ١٩٨٤-١٩٨٥-١٩٨٦-١٩٨٧-١٩٩٢-١٩٩٥-١٩٩٦-١٩٩٩-٢٠٠٢-٢٠٠٤-٢٠٠٦-٢٠٠٧-٢٠٠٨-٢٠١٠م، التي تختص بأشهر فصل الخريف. ومعالجتها عبر مجموعة من

وانطلاقاً من أهمية المنطقة الغربية لحافظة الطائف كونها المصيف الأول للمملكة العربية السعودية، بالإضافة إلى كثافتها السكانية العالية، وباعتبارها همزة وصل بين إقليم الحجاز والجنوب، وظهيرا زراعياً لمنطقة مكة المكرمة، بجانب أنها لم تحظ بدراسات سابقة عن التغير في النظام البيئي، وإلى جانب ما قد يترتب على الجفاف من موجات حرارية ساخنة تسهم بالتراجع السلبي لقطاع السياحة، وما قد تخلفه من آثار سلبية تنعكس على النواحي البيئية والاقتصادية والاجتماعية والصحية فقد انبثقت فكرة هذا الموضوع لتقييم الجفاف والإجهاد النباتي باستخدام أساليب تقنية حاسوبية حديثة، متمثلة في توظيف المؤشرات الطيفية بتطبيق تقنية الاستشعار عن بعد في هذه الدراسة.

وتهدف هذه الدراسة إلى تقييم حالة الجفاف في المنطقة باستخدام المؤشرات الطيفية (OSAVI, VCI,TCI,VHI)، خلال ستة وعشرين سنة. كأول دراسة في الوطن العربي تقدم أنموذجا تطبيقيا لتقنية الاستشعار عن بعد باستخدام تلك المؤشرات الطيفية. كما تسعى الدراسة إلى بناء قاعدة بيانات معلوماتية وخرائطية عن الجفاف في منطقة الدراسة.

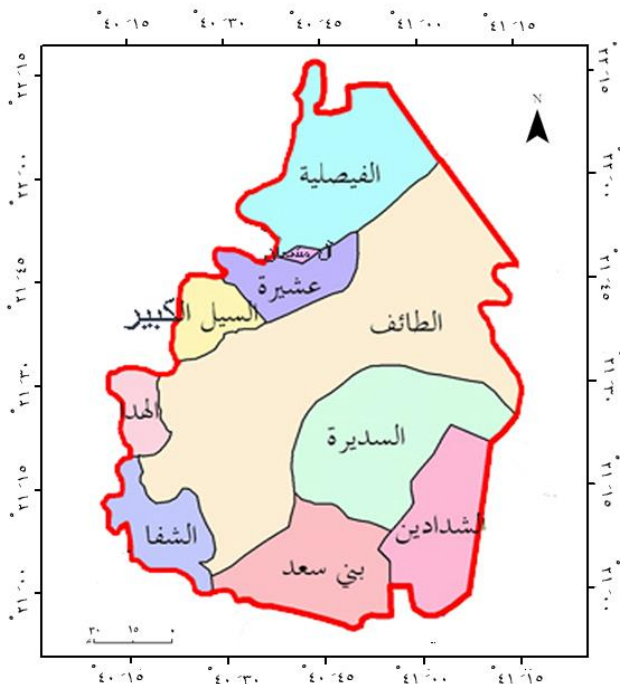
منطقة الدراسة

تمتد منطقة الدراسة غرب محافظة الطائف، إذ تشغل ٢٦٪ من مساحة المحافظة، ويحدها من الشمال مركز المحاني ومركز حفر كشب - الزربان، ويحدها من الجنوب مركز أبوراكه ومركز ميسان ومحافظة الليث التابعة لمنطقة مكة المكرمة، ويحدها من الشرق مركز رضوان ومحافظة تربة التابعة لمنطقة مكة المكرمة ومركز أبوراكه، ومن الغرب يحدها محافظتا مكة المكرمة والجموم التابعتان لمنطقة مكة المكرمة (شكل رقم ١). وتنحصر المنطقة بين دائرتي عرض ٤٨° - ٢٠° و ١٧° - ٢٢° شمالاً، وخطي طول ١١° - ٤٠° و ١٧° - ٤١° شرقاً.

وتغطي الصخور الجوفية المتبلورة معظم النطاق الجبلي والهضاب في جنوب وجنوب غرب منطقة الدراسة، كما تنتشر مجموعة من الصخور الرسوبية على السهول في أجزاء واسعة من شمال وشرق منطقة الدراسة، بينما تتوزع الصخور البركانية التي تدفقت في الزمنيين الجيولوجيين الثالث والرابع فوق الحرات، كما تغطي المنطقة الصخور البركانية الرسوبية. وتتألف المنطقة من بنيتين جيولوجيتين هي البنية الإلتوائية التي تتكون من تكوينات ما قبل الكامبري كمتكونات الوهيط، محرم، مدركة، عباسية، مسرة، الحوية، ومعقدات البرك، ولية، وخسر، وماله، وقيا، وخميس، ونعمان، والبنية الانكسارية إذ تعرضت معظم الصخور النارية والمتحولة إلى عمليات تكسير وتشويه، ولعبت تلك الانكسارات والقواطع دوراً هاماً في تحديد مسارات مجاري الأودية الشامية.

وتتباين الظاهرات التضاريسية لمنطقة الدراسة التي تنحصر ما بين خط الشعاف الذي يشكل حدودها الغربية، وبين هضبة يقل ارتفاعها كلما اتجهنا نحو الشمال والشرق وتقطعها مجموعة كبيرة من مجاري الأودية، ويبلغ متوسط ارتفاع تضاريس منطقة الدراسة ١٤٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر، إذ يتدرج الارتفاع

شكل رقم (١) منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحثة بالاعتماد على الهيئة العليا لتطوير منطقة مكة المكرمة، ١٤٢٦هـ.

- المرحلة الثانية: معالجة المرئيات:

ارتكزت هذه الدراسة في معالجة المرئيات الفضائية على استخدام المؤشرات الجفافية Drought Indices وهي: مؤشر الحالة النباتية Temperature Condition Index، ومؤشر الحالة الحرارية Vegetation Condition Index، ومؤشر الصحة النباتية Vegetation Health Index، لتوضيح حالة الغطاء النباتي السنوي في مكان بيئي حيوي محدد، ويحسب مؤشر الصحة النباتية VHI بالاستعانة بمؤشري الحالة النباتية والحالة الحرارية كآلاتي (Kogan, 2004):

$$VHI=0.5 \times VCI+0.5 \times TCI \text{ (معادلة ١)}$$

حيث يشير VCI إلى مؤشر الحالة النباتية، وبينما يشير TCI إلى مؤشر الحالة الحرارية، ويعتمد مؤشر VCI على قيم مؤشر الاختلاف الخضري التطبيعي Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) الذي تم تطويره بواسطة روزي وزملاؤه Rouse et al. عام ١٩٧٤م (Chopra, 2006)، ويحسب مؤشر الحالة النباتية (VCI) بالمعادلة الآتية (Kogan, 2004):

$$VCI_j=(NDVI_j-NDVI_{MIN})/(NDVI_j-NDVI_{MAX}) \times 100 \text{ (معادلة ٢)}$$

حيث إن $NDVI_{MAX}$ و $NDVI_{MIN}$ تشير إلى الحد الأدنى والحد الأعلى لجميع السنوات، بينما يشير $NDVI_j$ إلى متوسط سنة ما، علماً بأن NDVI يعكس حالة الغطاء النباتي من خلال نسبة الاستجابات في الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR (٠,٧٠ - ٠,٩٠ ميكرومتر)، والأشعة الحمراء R (٠,٦٣ - ٠,٦٩ ميكرومتر) بالمعادلة الآتية (Kogan, 2004):

$$NDVI=(NIR-R)/(NIR+R) \text{ (معادلة ٣)}$$

وقامت الباحثة بتعديل مؤشر الحالة النباتية (VCI) حيث استلقت المعادلة من مؤشر OSAVI عوضاً عن مؤشر NDVI، نظراً لتمييز مؤشر OSAVI بقدرته على تقليص تأثير سطوع التربة على مجمل الانعكاسات الطيفية الصادرة في المناطق ذات التغطية الجزئية للنبات (الغامدي، ٢٠٠٩)، بالإضافة إلى الوصول لنتائج دقيقة تتماشى مع طبيعة منطقة الدراسة التي تعد ضمن الأراضي الجافة وشبه الجافة. وكذلك تميزه بمدى دينامي واسع، ففي دراسة باين ويانق (Biao and yang, 2004) عن الغطاء النباتي في المناطق القاحلة في الصين التي استخدم فيها أربعة مؤشرات، هي مؤشرات NDVI، OSAVI، MOSAVI و RVI، توصل إلى أن مؤشر OSAVI يتمتع بمدى دينامي أكبر من المؤشرات الأخرى. ويحسب مؤشر Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI)، عن طريق المعادلة الآتية (الغامدي، ٢٠٠٩م):

$$OSAVI=(1+L)(NIR-R)/(NIR+R+L) \text{ (معادلة ٤)}$$

حيث NIR و 2 يشيران إلى انعكاسات الأشعة تحت الحمراء القريبة والأشعة الحمراء على التوالي، بينما يشير L إلى قيمة تصحيحية افتراضية ثابتة هي (٠,١٦) ويعد مؤشر OSAVI الذي طوره رونديوكس وزملاؤه Rondeaux, et al. عام ١٩٩٦م صيغة محسنة لمؤشر Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)، الذي طوره هويت Huete عام ١٩٨٨م، وقد اعتمدت هذه الدراسة عليه في حساب مساحة وحالة التغطية النباتية.

وقد أصبحت معادلة مؤشر الحالة النباتية (VCI) المطبقة في الدراسة كالتالي:

البرامج المتخصصة مثل: ArcGIS و ERDAS و ER Mapper، بتطبيق مجموعة من المؤشرات الطيفية Spectral indices الذي تعد من أهم الأساليب في معالجة بيانات المرئيات الفضائية واستخلاص المعلومات عن خصائص الأهداف الأرضية (الغامدي، ٢٠٠٩). حيث استعملت المؤشرات الطيفية على نطاق واسع لمراقبة المتغيرات البيئية في العديد من الدراسات، وقد حصلت الدراسة على هذه البيانات من خلال مصادر داخلية متمثلة في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية King Abdulaziz City for Science and Technology (kacst)، ومصادر خارجية متمثلة في هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية U.S. Geological Survey (USGS).

معالجة البيانات

تمر معالجة بيانات المرئيات الفضائية بعدة مراحل كما يلي:

- المرحلة الأولى: إعداد المرئيات:

يتم تهيئة المرئية عن طريق عمل التصحيح الهندسي Geometric Correction والراديومتر Radiometric Correction للمرئيات الفضائية. وفي هذه الدراسة تمت عملية التصحيح على عدة خطوات تمثلت في الآتي:

- الخطوة الأولى: التصحيح الراديومتر لتقليل تأثير التشييت الجوي على المرئيات، حيث أخضعت جميع المرئيات لأسلوب واحد في التصحيح هو التصحيح المعدل للخلية المعتمدة Enhanced Dark Pixel Correction.

- الخطوة الثانية: تسجيل جميع المرئيات غير المصححة إلى مرئية ١٩٨٤م المصححة وفق نقاط تحكم وضعت عند تقاطعات الطرق أو الأكواع النهرية للمجاري المائية أو جوانب التلال المنعزلة أو مدرجات مطار الطائف، بلغ عددها ٥٠ نقطة. وبما أن دقة التمييز المكانية واحدة لجميع المرئيات من عام ١٩٨٤م إلى عام ٢٠١٠م فقد كانت النتيجة جيدة وبمعدل خطأ (RMS) أقل من ٠,١٠.

- الخطوة الثالثة: معالجة خطوط المسح السوداء في مرئيات عام ٢٠٠٤ و ٢٠٠٧ و ٢٠٠٨ و ٢٠١٠م، التي نتجت عن عطل في المرآة العاكسة للاقط ETM في مايو عام ٢٠٠٣م، مما جعل ٢٢٪ من المرئية عبارة عن بيانات مفقودة ظهرت على شكل خطوط سوداء، وقد وضعت لاندسات العديد من النماذج والطرق لترميم البيانات المفقودة، وأكثر النماذج استخداماً هو نموذج Scan line Corrector (SLC-Off) الذي يقوم على استبدال الخلايا المفقودة بخلايا أخرى سليمة من مرئية واحدة أو أكثر التقطت قبل المرئية المتضررة أو بعدها مباشرة، بشرط أن تتوافق المرئيات راديومترياً وهندسياً، كما يمكن تطبيق النموذج على نطاق مفرد أو مرئية متعددة النطاقات (WWW.Landsat.usgs.gov). وقد طبقت هذه الدراسة هذا النموذج الذي أمكن بناؤه من خلال أيقونة النمذج Modeler في برنامج ERDAS IMAGINE.

- الخطوة الرابعة: تحويل القيم الرقمية Digital Number للنطاق الحراري إلى قيم إشعاعية Radiance Values ومن ثم تحويلها إلى قيم حرارية Brightness Temperature من خلال معادلات يتم تعويضها من خلال الملف المرفق مع الصورة الفضائية.

أ. مؤشر الحالة النباتية (VCI) =Vegetation Condition Index (VCI)

يحسب هذا المؤشر الحالة النباتية بالاعتماد على القيمة الفعلية لمؤشر OSAVI لجميع السنوات، وقد بلغت القيمة الصغرى لمؤشر OSAVI -0.34، بينما بلغت القيمة العظمى 0.803. ويتضح من خلال جدول رقم (1) أن قيم مؤشر VCI تأخذ في الانخفاض مع مرور الزمن، فكلما صغرت القيمة لمؤشر VCI ازداد الإجهاد الرطوبي، كما يتبين أن أعظم قيمة لمؤشر VCI خلال السنوات كانت عام 1984م (0.92)، بينما بلغت أدنى قيمة 0.01، وفي ذلك دلالة على سيادة الإجهاد الرطوبي على منطقة الدراسة، إذ إن أفضل حالة للسنوات كانت ضمن نطاق الإجهاد الحراري الخفيف.

ويتبين من تصنيف مؤشر VCI الذي يوضحه الجدول السابق الذكر أن منطقة الدراسة قد هيمن عليها الإجهاد الرطوبي المتوسط منذ عام 1984م إلى عام 1987م، بعدها سيطر الإجهاد الرطوبي الحاد على بقية السنوات (1992-2010م).

ومن خلال شكل رقم (2) نجد أن منطقة الدراسة عام 1984م غلب عليها الإجهاد الرطوبي المتوسط في معظم أراضيها (93.34% من

$$VCI_j = (OSAVI_j - OSAVI_{MIN}) / (OSAVI_j - OSAVI_{MAX}) \times 100 \text{ (معادلة 5)}$$

أما مؤشر الحالة الحرارية (TCI) فيحسب بالمعادلة الآتية (Kogan, 2004):

$$TCI = (BT_{MAX} - BT) / (BT_{MAX} - BT_{MIN}) \times 100 \text{ (معادلة 6)}$$

حيث إن BT_{MAX} و BT_{MIN} تشيران إلى الحد الأدنى والحد الأعلى لجميع السنوات في النطاق الحراري (10,40 - 12,50 ميكرومتر)، بينما يشير BT إلى متوسط النطاق الحراري لسنة المرئية التي تم تطبيق المعادلة عليها بعد تحويلها إلى قيم حرارية.

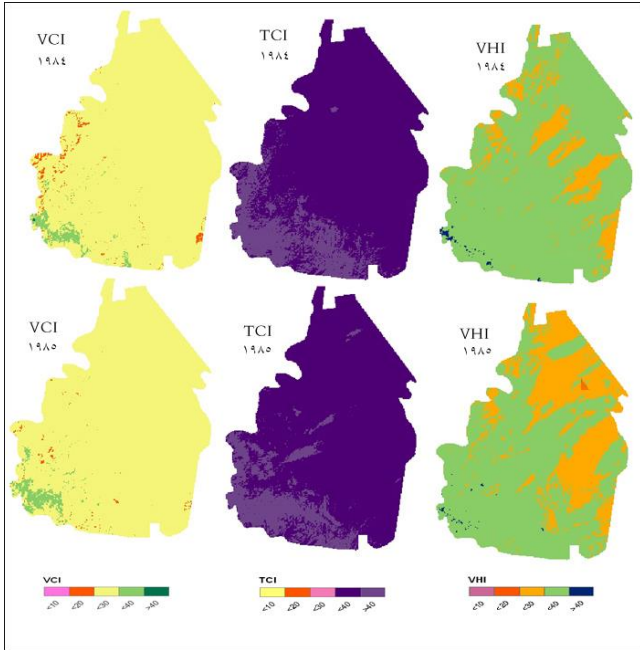
ويمتد المدى الدينامي لتلك المؤشرات بين 0 - 100، ويشكل 40% حداً فاصلاً بين الجفاف والرطوبة (Bhuiyan, 2008)، وقد اتبعت الباحثة في هذه الدراسة تصنيفاً لكوجان (Kogan, 2001) الذي صنف قيم المؤشرات إلى خمس فئات لتقييم حالة الإجهاد، إذ اعتبرت القيم أقل من 10% جفاف متطرف، وأقل من 20% جفاف حاد، وأقل من 30% جفاف متوسط، وأقل من 40% جفاف خفيف، وأكبر من 40% لا يوجد جفاف.

النتائج والمناقشة

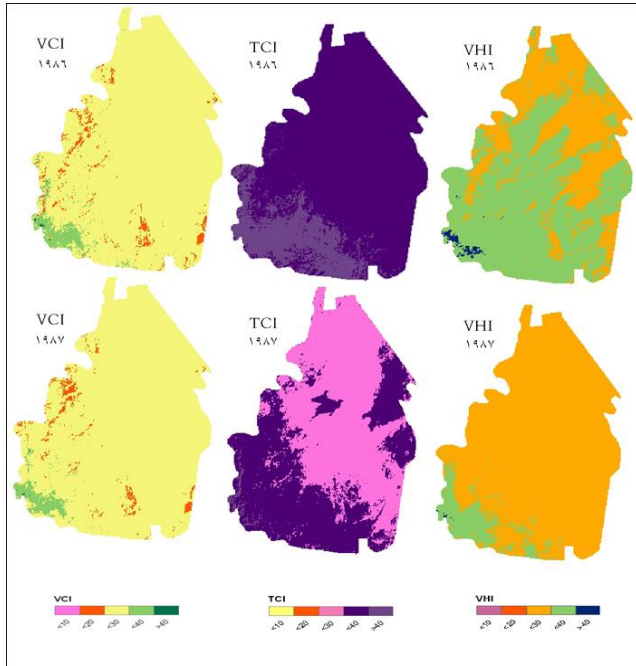
جدول رقم (1) نسبة مساحة حالة المؤشرات الجفاف لمنطقة الدراسة خلال السنوات.
المصدر: عمل الباحثة.

السنوات	جفاف متطرف			جفاف حاد			جفاف متوسط		
	VHI	TCI	VCI	VHI	TCI	VCI	VHI	TCI	VCI
1984	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	3.12	0.00	0.00	93.34
1985	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	1.73	0.00	0.00	94.82
1986	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	5.60	0.00	0.00	89.60
1987	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	6.22	0.00	0.00	91.09
1992	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	64.06	0.00	0.00	34.87
1995	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	81.63	0.00	0.00	17.15
1996	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	82.93	0.00	0.00	15.42
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.81	0.00	0.00	30.24
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.50	0.00	0.00	21.46
2004	0.00	0.00	0.14	0.01	0.00	77.83	0.00	0.00	20.67
2007	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	81.99	0.00	0.00	17.27
2008	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	84.14	0.00	0.00	15.10
2010	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	79.90	0.00	0.00	18.81
السنوات	جفاف خفيف			لا يوجد جفاف			المتوسط الحسابي		
	VHI	TCI	VCI	VHI	TCI	VCI	VHI	TCI	VCI
1984	74.99	83.54	3.21	0.51	16.46	0.16	30.45	36.82	24.09
1985	57.11	82.03	3.23	0.43	17.97	0.19	30.26	36.47	24.06
1986	60.35	80.89	4.15	1.16	19.11	0.42	29.92	36.73	23.11
1987	8.96	11.19	2.45	0.18	0.39	0.21	26.09	29.47	22.71
1992	6.28	71.62	0.93	0.07	1.08	0.14	24.98	30.76	19.2
1995	74.42	2.84	0.82	0.61	97.16	0.16	28.43	38.69	18.18
1996	12.48	88.27	1.21	0.40	11.73	0.22	26.66	35.96	17.36
1999	13.53	89.80	2.54	0.78	8.39	0.41	26.38	33.60	19.16
2002	7.15	99.17	1.79	0.27	0.65	0.24	25.42	32.54	18.31
2004	22.33	93.43	1.16	0.43	6.56	0.20	26.84	35.88	17.81
2007	8.94	98.20	0.61	0.13	1.77	0.12	26.28	34.80	17.76
2008	9.89	97.82	0.63	0.16	2.17	0.12	26.67	35.78	17.57
2010	7.74	95.94	1.15	0.17	3.24	0.13	26.26	34.17	18.35

شكل رقم (٢) تصنيف حالة الجفافية بمنطقة الدراسة لعامي ١٩٨٤ و ١٩٨٥م. المصدر: عمل الباحثة.



شكل رقم (٣) تصنيف حالة الجفافية بمنطقة الدراسة لعامي ١٩٨٦ و ١٩٨٧م. المصدر: عمل الباحثة.



ويتضح استمرارية ندرة الرطوبة بمنطقة الدراسة، إذ توغل الإجهاد الرطوبي الحاد عام ٢٠٠٢م في معظم منطقة الدراسة بنحو ٧٦,٥٠٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتركز في مركز قيا، والسديرة، والفيصلية، وآل مشعان، وعشيرة، وأجزاء من مركز الطائف والهدا، بينما تركزت كثافة الإجهاد الرطوبي المتوسط على مراكز الشفا، والهدا، وبني سعد، وجنوب الطائف، وشرق مركز عشيرة، كما ظهر الجفاف الخفيف على المرتفعات الجبلية في جنوب مركز الشفا. ومن خلال شكل رقم (٦) نجد أيضاً زيادة طفيفة في الإجهاد الرطوبي الحاد عام ٢٠٠٤م، مع تناقص للإجهاد الرطوبي

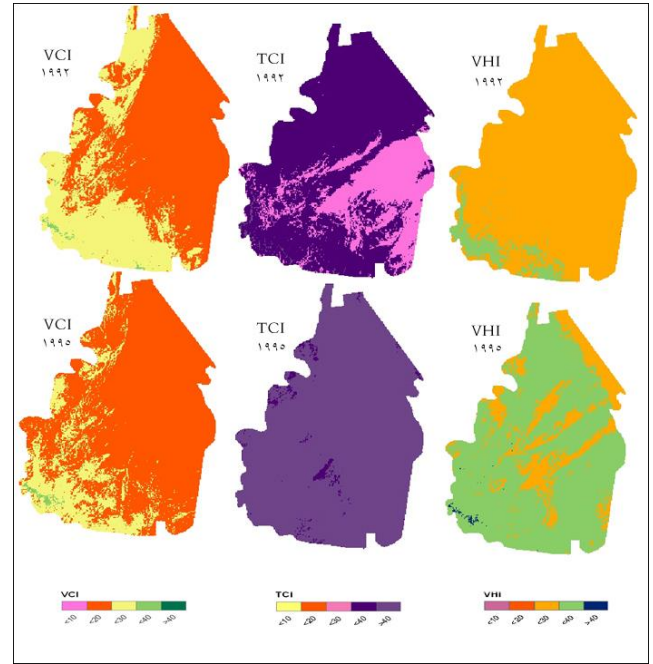
إجمالي مساحة منطقة الدراسة)، بينما ظهر الإجهاد الرطوبي الحاد على السفوح الغربية من المرتفعات الجبلية في مركز الهدا، والسييل الكبير، إلى جانب جزء صغير في شرق مركز قيا، كما يتبين وجود الإجهاد الرطوبي الخفيف على المرتفعات الجبلية في مركز الشفا، وجزء من مركز بني سعد، وأجزاء من بطون الأودية في مركز الطائف، كما نجد أن الحالة الرطوبة المناسبة (قيم المؤشر $\geq 40\%$) موجودة على قمة جبل الأديم في مركز الشفا بنسبة ٠,١٦٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. كما نلاحظ استمرار توسع الإجهاد الرطوبي المتوسط عام ١٩٨٥م بنسبة ٢,٥٢٪ بالإضافة إلى زيادة في الإجهاد الرطوبي الخفيف بشكل طفيف في مركز الشفا، مع تحسن نسبي لبعض المناطق التي كانت تغطيها إجهاد رطوبي حاد خاصة مركز السيل الكبير، والهدا، وقيا.

ويتبين من خلال شكل رقم (٣) استمرار تعرض منطقة الدراسة إلى نقص في الرطوبة، ففي عام ١٩٨٦م ظهر الإجهاد الرطوبي الحاد بشكل أوسع مما كان عليه في السنتين السابقتين، خاصة في شمال شرق مركز بني سعد، وأجزاء من مركز الهدا، والسييل الكبير، وآل مشعان، وشرق مركز قيا. مع سيطرة للإجهاد الرطوبي المتوسط على معظم أراضي منطقة الدراسة، وغلب على المرتفعات الجبلية لمركز الشفا الإجهاد الرطوبي الخفيف إلى جانب أجزاء من مرتفعات مركزا الهدا وبني سعد، وأمكنه متفرقة من مجاري الأودية. أما عام ١٩٨٧م ازدادت كثافة الإجهاد الرطوبي الحاد، ورافقه تناقص في الإجهاد الرطوبي الخفيف على المرتفعات الجبلية وهيمنة الإجهاد الرطوبي المتوسط على معظم مساحة منطقة الدراسة.

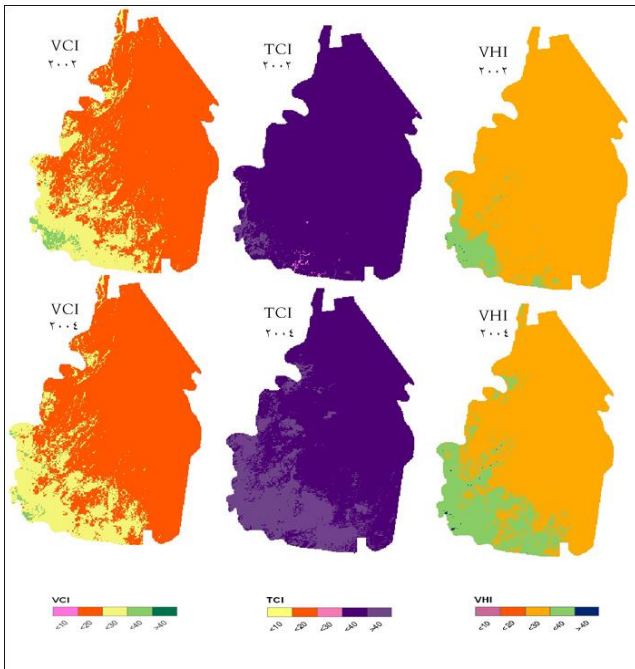
وبفارق خمسة أعوام بين عامي ١٩٨٧-١٩٩٢م تعرضت مساحات كبيرة من منطقة الدراسة إلى إجهاد رطوبي حاد بنسبة ٦٤,٠٦٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، تركز في شرق منطقة الدراسة (شكل رقم ٤)، أما في جنوب وغرب منطقة الدراسة فقد سيطر الجفاف المتوسط، بينما شكل الإجهاد الرطوبي الخفيف شريطاً ضيقاً فوق مرتفعات الشفا وبني سعد وبعض مجاري الأودية. وفي عام ١٩٩٥م يتضح استمرارية هيمنة الإجهاد الرطوبي الحاد، وتناقص مساحة فئة الإجهاد الرطوبي الخفيف، وظهور الإجهاد الرطوبي المتطرف بما يقدر بنحو ٠,٢٤٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وبقيت بعض قمم المرتفعات الجبلية ضمن حالة الإجهاد الرطوبي الخفيف.

وفي عام ١٩٩٦م استمر الإجهاد الرطوبي الحاد في الهيمنة على معظم أجزاء منطقة الدراسة، بينما بقيت مراكز الشفا وأجزاء من الهدا وبني سعد ومساحات صغيرة من بقية المراكز تحت هيمنة الإجهاد الرطوبي المتوسط، كما يوضح ذلك شكل رقم (٥). أما في عام ١٩٩٩م فقد حدث تحسن طفيف في الحالة النباتية أسهم في تقليص مساحة الإجهاد الرطوبي الحاد، وظهر الإجهاد الرطوبي المتوسط في شمال شرق مركز الفيصلية، وغرب مراكز عشيرة، والسييل الكبير، والهدا، وفي منتصف مركز الطائف، وبني سعد، كما ظهر الإجهاد الحراري الخفيف فوق المرتفعات الجبلية في مركز الشفا وأجزاء من الهدا، وبقيت قمم بعض الجبال في مركز الشفا في منأى عن الإجهاد الرطوبي.

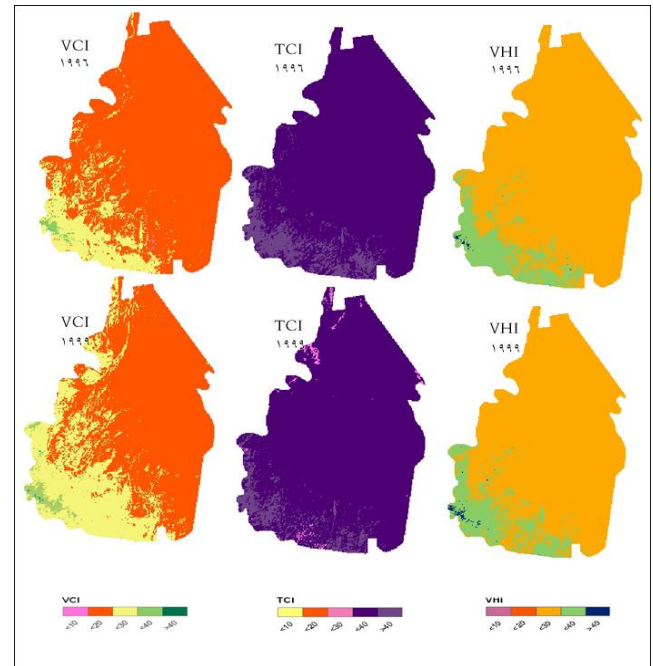
شكل رقم (٤) تصنيف حالة الجفاف بمنطقة الدراسة لعامي ١٩٩٢ و١٩٩٥. المصدر: عمل الباحثة



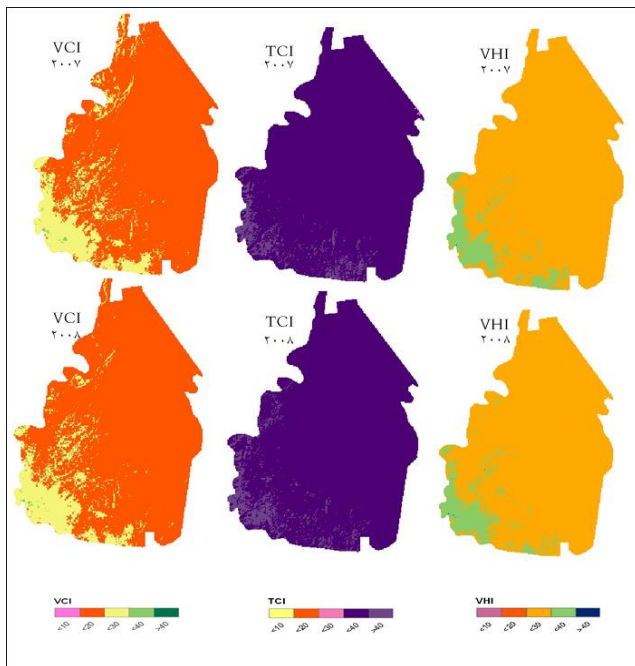
شكل رقم (٦) تصنيف حالة الجفاف بمنطقة الدراسة لعامي ٢٠٠٢ و٢٠٠٤. المصدر: عمل الباحثة



شكل رقم (٥) تصنيف حالة الجفاف بمنطقة الدراسة لعامي ١٩٩٦ و١٩٩٩. المصدر: عمل الباحثة



شكل رقم (٧) تصنيف حالة الجفاف بمنطقة الدراسة لعامي ٢٠٠٧ و٢٠٠٨. المصدر: عمل الباحثة



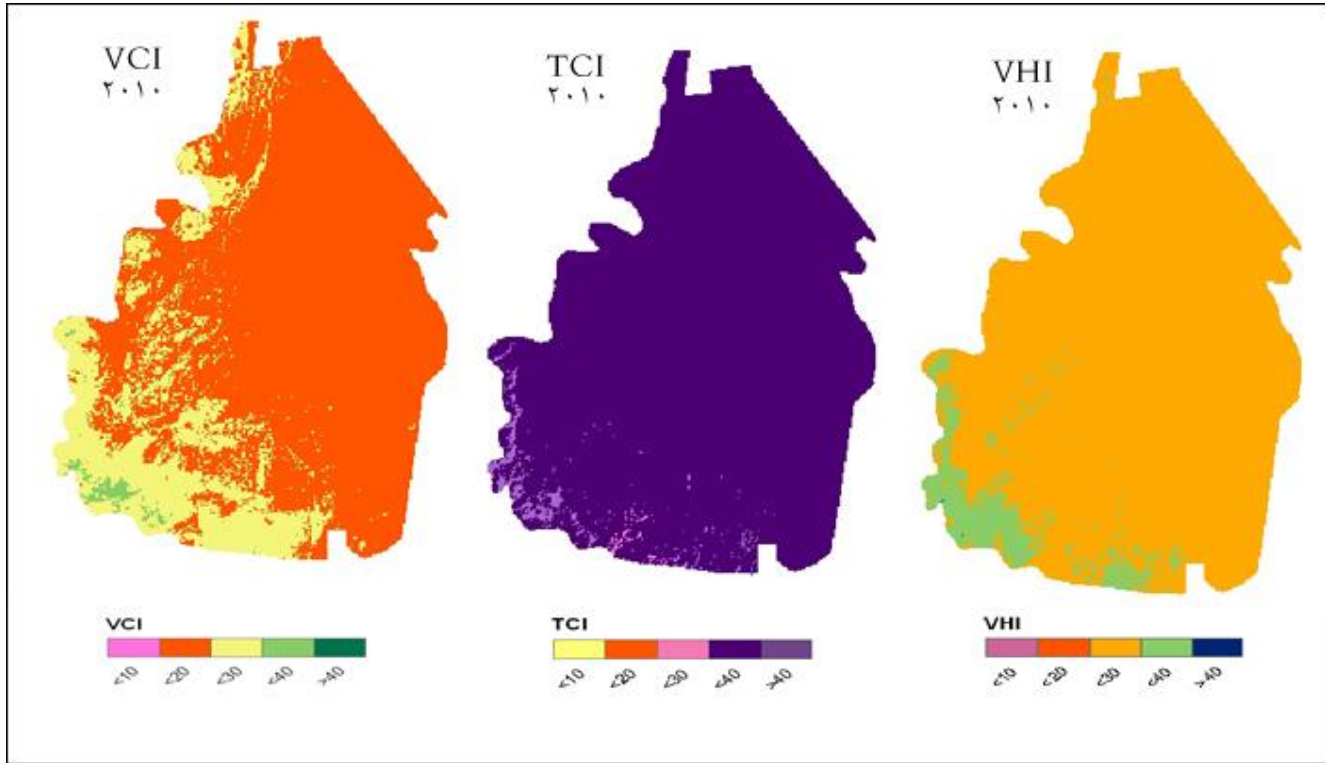
المساحة التي يغطيها إجهاد رطوبي متوسط تركزت في مراكز بني سعد، والشفاء، والهداء، وأجزاء من مركز الطائف، والسييل الكبير، وشرق الفيصلية، وعشيرة، وآل مشعان، كما ظهر الإجهاد الرطوبي الخفيف في جنوب مركز الشفاء، بينما سيطر الإجهاد الرطوبي الحاد على بقية منطقة الدراسة (شكل رقم ٨). ومن العرض السابق يستدل على أن مؤشر VCI الذي يعكس الحالة الرطوبية الناجمة عن الأمطار، يوضح أن منطقة الدراسة تعرضت إلى نقص حاد في الرطوبة يزداد مع مرور الزمن، حيث

الخفيف عن التاريخ الذي سبقه، وفي ذلك دليل على استمرارية فقد الرطوبة الناجم عن قلة كميات التساقط.

وفي عامي ٢٠٠٧ و٢٠٠٨ استمرت موجة الجفاف وهيمنة الإجهاد الرطوبي الحاد على معظم مساحات منطقة الدراسة، كما يتضح من شكل رقم (٧)، وبقية الأجزاء الجنوبية والجنوبية الغربية من منطقة الدراسة ضمن الإجهاد الرطوبي المتوسط، إلى جانب بعض بطون الأودية.

وفي عام ٢٠١٠ حدث تحسن طفيف في الحالة النباتية ازدادت معه

شكل رقم (٨) تصنيف حالة الجفافية بمنطقة الدراسة لعام ٢٠١٠م.
المصدر: عمل الباحثة



التحسن الطفيف في الحالة الحرارية، وبقيت مراكز الشفا، والهدا، وبني سعد، وأجزاء من مركز الطائف في منأى من الإجهاد الحراري. ويتبين من خلال شكل رقم (٣) استمرار سيطرة الإجهاد الحراري الخفيف في عام ١٩٨٦م على معظم مراكز منطقة الدراسة، بينما ظلت مراكز الشفا، والهدا، وبني سعد، وجنوب مركز الطائف في منأى عن الإجهاد الحراري، إذ توفرت بها الحالة الحرارية الملائمة. أما في عام ١٩٨٧م فقد حدث تدهور في الحالة الحرارية، حيث ساد الإجهاد الحراري المتوسط بمقدار ٨٨,٤٢٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، في مراكز الفيصلية، وآل مشعان، وعشيرة، وقياء، والسديرة، ووسط مركز الطائف، بينما سيطر الإجهاد الحراري الخفيف على مراكز بني سعد، والشفا، والهدا، وأجزاء من مراكز الطائف، والسديرة، والسييل الكبير.

وفي عام ١٩٩٢م طرأ تحسن نسبي في الحالة الحرارية أدى إلى تناقص مساحة الإجهاد الحراري المتوسط، وهيمنة الإجهاد الحراري الخفيف على مراكز الفيصلية، وعشيرة، وآل مشعان، والسييل الكبير، والهدا، والشفا، وبني سعد، وأجزاء من السديرة، وقياء، والطائف (شكل رقم ٤). وفي عام ١٩٩٥م وبفارق ثلاثة أعوام استمر التحسن في الحالة الحرارية، مما أسهم في هيمنة الحالة الحرارية الملائمة (قيم المؤشر ≥ 40 ٪) على منطقة الدراسة، باستثناء مساحات صغير تقدر بـ ٢,٨٤٪ كانت تحت سيطرة الإجهاد الحراري الخفيف.

أما في عام ١٩٩٦م، فقد ارتفعت درجات الحرارة بمنطقة الدراسة، مما وضع أغلب منطقة الدراسة ضمن الإجهاد الحراري الخفيف، وظلت مراكز الشفا، وأجزاء من جنوب بني سعد، وغرب الهدا في منأى عن الإجهاد الحراري لتوفر الظروف الحرارية المناسبة. وفي عام

كان الإجهاد الرطوبي المتوسط هو السائد على منطقة الدراسة من عام ١٩٨٤-١٩٨٧م، بينما سيطر الإجهاد الرطوبي الحاد منذ عام ١٩٩٢ إلى ٢٠١٠م. ومن خلال حساب الارتباط بين مؤشر VCI وبين سنوات الدراسة، وجد أن العلاقة بين المتغيرين جوهريّة وذات دلالة إحصائية إذ بلغت ٠,٨٦- عند مستوى دلالة ١٪، وتدل هذه العلاقة العكسية القوية على اتجاه قيم مؤشر VCI نحو التناقص كلما تقدمت السنوات.

ب. مؤشر الحالة الحرارية (TCI) Temperature Condition Index:

يعتمد مؤشر TCI على القيم الفعلية لنطاق الأشعة الحرارية البعيدة (١٠,٤٠ - ١٢,٥٠ ميكرومتر)، وقد بلغت أعلى قيمة للنطاق الحراري ٢٣٠، بينما بلغت أدنى قيمة صفر، ومن خلال جدول رقم (١) نلاحظ أن قيم مؤشر TCI تأخذ في الانخفاض مع مرور الزمن، كما يتبين أن أعظم قيمة للوسط الحسابي لمؤشر TCI خلال السنوات كانت عام ١٩٩٥م بما يقدر بـ ٢٨,٦٩، بينما بلغت أدنى قيمة ٢٩,٤٧ عام ١٩٨٧م، وفي ذلك دلالة على سيادة الإجهاد الحراري المتوسط إلى خفيف على منطقة الدراسة.

ومن خلال شكل رقم (٢) يتضح سيطرة الإجهاد الحراري الخفيف في عام ١٩٨٤م على معظم مساحة منطقة الدراسة بمقدار ٨٣,٥٤٪ من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، بينما هيمن على المناطق الجنوبية الغربية من منطقة الدراسة في مراكز الشفا، والهدا، وبني سعد الحالة الحرارية المناسبة (قيم المؤشر ≥ 40 ٪).

وفي عام ١٩٨٥م استمرت هيمنة الإجهاد الحراري الخفيف على منطقة الدراسة في مركز قياء، والسديرة، والفيصلية، وعشيرة، وآل مشعان، والسييل الكبير، ومعظم مساحة مركز الطائف، رغم

مراكز قيا، والطائف، والفيصلية، والسديرة، والسييل الكبير، وعشيرة الجفاف المتوسط، وظلت أجزاء صغيرة من المرتفعات وبطون الأودية بمنأى من الجفاف. وفي عام ١٩٨٥م بدأ ظهور الجفاف المتوسط بشكل أكثر من العام الذي سبقه على أجزاء متفرقة من شمال وشرق منطقة الدراسة، مع سيطرة الجفاف الخفيف على أجزاء واسعة من منطقة الدراسة. ويعود سيادة الجفاف عامي ١٩٨٤ و١٩٨٥م إلى الإجهاد الرطوبي الذي عملت الحالة الحرارية على التخفيف من حدته والتقليل من كثافة الجفاف.

وبالعودة إلى شكل رقم (٣) يتضح أن مراكز الفيصلية، وعشيرة، والسييل الكبير، والطائف، والسديرة، وقيا سيطر عليها الجفاف المتوسط، بينما هيمن الجفاف الخفيف على بقية منطقة الدراسة، باستثناء المرتفعات الجبلية في مركز الشفا، التي بقيت في منأى عن الجفاف. أما في عام ١٩٨٧م فقد هيمن الجفاف على منطقة الدراسة نتيجة لسيادة الإجهاد الرطوبي والحراري المتوسطين، مما أسهم في تغطية الجفاف المتوسط جميع أنحاء منطقة الدراسة باستثناء أجزاء من المرتفعات الجنوبية الغربية التي سيطر عليها الجفاف الخفيف.

وفي عام ١٩٩٢م ازدادت كثافة الجفاف المتوسط وسيطر على جميع مراكز منطقة الدراسة باستثناء أجزاء من مرتفعات الشفا، وبني سعد، والهدا، ويعود ذلك الجفاف إلى سيطرة الإجهاد الرطوبي الحاد إلى جانب الإجهاد الحراري المتوسط إلى الخفيف (شكل رقم ٤). أما في عام ١٩٩٥م فقد ساد الجفاف الخفيف منطقة الدراسة باستثناء أجزاء من وسطها وشمالها الذي سيطر عليه الجفاف المتوسط. ويعود ذلك إلى انتشار الإجهاد الرطوبي الحاد في أنحاء واسعة من منطقة الدراسة، لكن الحالة الحرارية الملائمة (قيم المؤشر $\geq 40\%$) أسهمت في تقليص أثر ذلك الإجهاد ومداه، وظلت أعالي المرتفعات ومساحة ضيقة من بطون الأودية دون تأثر بموجات الجفاف.

وفي عام ١٩٩٦م سيطر الجفاف المتوسط على جميع منطقة الدراسة باستثناء المرتفعات الجبلية في جنوب غرب منطقة الدراسة التي سادها الجفاف الخفيف، ويعود ذلك إلى ظهور الإجهاد الرطوبي الحاد في أنحاء منطقة الدراسة باستثناء أجزاء من المرتفعات وبطون الأودية الذي سيطر عليه الإجهاد الرطوبي المتوسط والخفيف، في المقابل ظهر الإجهاد الحراري الخفيف على منطقة الدراسة، في حين بقيت الحالة الحرارية على المرتفعات ملائمة مما جعلها في منأى عن الجفاف. كما يتضح من شكل رقم (٥) أنه في عام ١٩٩٩م استمرت سيطرة الجفاف المتوسط على منطقة الدراسة، إلى جانب وجود الجفاف الخفيف على المرتفعات الجبلية في جنوب غرب منطقة الدراسة.

كما يلاحظ من خلال شكل رقم (٦) استمرارية سيطرة الجفاف المتوسط على منطقة الدراسة، ففي عام ٢٠٠٢م نلاحظ أن الجفاف في منطقة الدراسة يعود في ذلك العام إلى إجهاد رطوبي حاد رافقه إجهاد حراري خفيف. أما في عام ٢٠٠٤م فيتبين من الشكل السابق حدوث تحسن في كثافة الجفاف، إذ ساد المنطقة الجفاف الخفيف بنسبة ٢٣,٣٣% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة كنتيجة لتحسن الحالة الحرارية في ذلك العام، وسيطر الجفاف المتوسط

١٩٩٩م استمرت الحالة الحرارية في التدهور، فظهر الإجهاد الحراري المتوسط في شمال شرق مركز الفيصلية، وشرق مركز عشيرة، وفي أجزاء صغيرة جنوب مركز بني سعد. وسيطر الإجهاد الحراري الخفيف على معظم منطقة الدراسة، بينما ظلت مساحات صغيرة من مركز الهدا، والشفا، وبني سعد ضمن الحالة الحرارية المناسبة (شكل رقم ٥).

وفي عام ٢٠٠٢م هيمن الإجهاد الحراري الخفيف على منطقة الدراسة، بينما دخلت أجزاء صغيرة من مركز بني سعد تقدر بـ ١٧,٢٧% ضمن الإجهاد الحراري المتوسط، وبقيت ٦٥% في منأى عن الجفاف. ومن خلال شكل رقم (٦) يتبين حدوث تحسن في الحالة الحرارية عام ٢٠٠٤م، مما أسهم في زيادة مساحة الحالة الملائمة في منطقة الدراسة، شملت مركز بني سعد، والشفا، والهدا، وأجزاء من مراكز السييل الكبير، وعشيرة، والطائف، بينما سيطر الإجهاد الحراري الخفيف على مراكز قيا، والسديرة، وعشيرة، وآل مشعان، والفيصلية، والسييل الكبير، وأجزاء من مركز الطائف.

ومن خلال شكل رقم (٧) تعرضت منطقة الدراسة عام ٢٠٠٧م إلى تدهور في الحالة الحرارية، مما أدى إلى سيطرة الإجهاد الحراري الخفيف على منطقة الدراسة، باستثناء أجزاء صغيرة من مركز الشفا، وبني سعد، والهدا تقدر بـ ١,٧٧% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة كانت في منأى عن الإجهاد الحراري. وفي عام ٢٠٠٨م حدث تحسن طفيف لا يكاد يذكر مما أدى إلى استمرار سيطرة الإجهاد الحراري الخفيف مع تحسن بنسبة ٤٠% عن عام ٢٠٠٧م.

وفي عام ٢٠١٠م زادت كثافة الإجهاد الحراري الخفيف بمقدار ٩٧,٨٢% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة التي غطت جميع مراكز منطقة الدراسة، باستثناء أمكنة مبعثرة جنوب مركز بني سعد كانت ضمن الإجهاد الحراري المتوسط، بالإضافة إلى شريط ضيق في مراكز الشفا، والهدا، وبني سعد كانت بمنأى عن الإجهاد الحراري، كما يوضح ذلك شكل رقم (٨).

ومن مجمل ما سبق، يتضح أن منطقة الدراسة سيطر عليها الإجهاد الحراري الخفيف لجميع سنوات الدراسة باستثناء عام ١٩٨٧م وهيمن عليه الجفاف المتوسط، وكذلك عام ١٩٩٥م كانت الحالة الحرارية فيه ملائمة (قيم المؤشر $\geq 40\%$)، وبإيجاد الارتباط بين مؤشر TCI وبين سنوات الدراسة وجد أن العلاقة بين المتغيرين غير دالة إحصائياً (-٠,٠٢).

ج. مؤشر الصحة النباتية (Vegetation Health Index (VHI):

يعكس مؤشر VHI التأثير المشترك للحالة النباتية والحرارية لمنطقة الدراسة، وقد بلغ متوسط قيم مؤشر VHI ٢٧,٢٨، الذي يدل على جفافية المنطقة بشكل عام، وبتقصي الجفاف من خلال مؤشر VHI يتبين سيطرة الجفاف المتوسط على جميع السنوات، وحدث تحسن عام ١٩٩٥م حيث انتشر الجفاف الخفيف في أنحاء شاسعة من منطقة الدراسة، وكذلك حدث تحسن نسبي عامي ١٩٩٩ و٢٠٠٤م على المرتفعات في جنوب غرب منطقة الدراسة (جدول رقم ١).

ويتبين من خلال شكل رقم (٢) أنه في عام ١٩٨٤م ساد الجفاف الخفيف غالبية مساحة منطقة الدراسة، كما ظهر في أجزاء من

جدول رقم (٢) النسبة المئوية لحالة التغطية النباتية ومساحتها وفقاً لمؤشر OSAVI.
المصدر: عمل الباحثة

حالة التغطية النباتية			مساحة التغطية النباتية بالكيلو متر مربع	العام
نبات فقير	نبات متوسط الغنى	نبات غني		
٧٥,٨٧	٢٣,٩٢	٠,٢٠	٩٤٤,٨١	١٩٨٤
٧٢,٦٩	٢٧,٠١	٠,٣٠	٩٠٧,٣٠	١٩٨٥
٥٦,٦٥	٤٢,٩١	٠,٤٤	٨٩٣,١١	١٩٨٦
٦٠,٣٣	٣٩,٣٦	٠,٤١	٦٢٧,٠٠	١٩٨٧
٧٠,٣٩	٢٨,٨٧	٠,٧٤	٢٩٣,٥٢	١٩٩٢
٥٨,٩٩	٣٩,٨٥	١,١٦	٢٩٠,٥٧	١٩٩٥
٥٧,٨٨	٤٠,٧٨	١,٣٤	٣٥٣,٣٥	١٩٩٦
٥٢,٩٠	٤٥,٠٧	١,٠٣	٥٥٤,٨٠	١٩٩٩
٥٥,٠٤	٤٤,١٣	٠,٨٣	٣٨٤,٠٩	٢٠٠٢
٥٨,١٨	٤٠,٤٩	١,٣٣	٢٧٢,٩٠	٢٠٠٤
٦٤,٥٢	٣٤,١٦	١,٣٢	١٦٢,٢٨	٢٠٠٧
٦٥,٢٣	٣٣,٤٠	١,٣٧	١٧١,٧٣	٢٠٠٨
٥٩,٥٩	٣٩,٧٧	٠,٦٤	٣٠٢,٤٦	٢٠١٠

سأهم الجفاف في انحسار التغطية النباتية وجفاف الأشجار الكبيرة العمرة وتبعثرها، وانقراض بعض النباتات والشجيرات الصغيرة، وتغير أماكن نمو بعض النباتات، كما أدى الجفاف إلى تشقق التربة وتفككها وزيادة تعريتها.

كما نلاحظ من خلال تقييم تأثير الإجهاد الرطوبي والإجهاد الحراري على حالة الغطاء النباتي أن التحسن الذي حدث في حالة الجفاف عام ١٩٩٥م لم يكن له انعكاس موجب على التغطية النباتية، في حين أن التدهور في حالة الجفاف النسبي عام ٢٠١٠م تبعه تحسن في التغطية النباتية، ويرجع ذلك إلى أن عام ١٩٩٥م شهد تحسن في الحالة الحرارية قلل من حالة الجفاف، إلا أن سطح التربة كان يفتقد للرطوبة اللائمة التي تسهم في النماء، وذلك لقلة الأمطار، بينما شهد عام ٢٠١٠م نمواً بسيطاً في المساحات الخضراء نتيجة لتوفر الأمطار التي تبعه تحسن في رطوبة التربة والنبات، ومنسوب المياه الجوفية القريبة من السطح، كما أن الإجهاد الحراري كان خفيفاً، وفي ذلك برهان على أن الإجهاد الرطوبي أكثر تأثيراً على حالة الغطاء النباتي من الإجهاد الحراري.

ويحسب معامل ارتباط بيرسون بين سنوات الدراسة ومتوسط قيم مؤشر الصحة النباتية (VHI) Vegetation Health Index وجد أن الارتباط بلغ -٠,٦٢، وهو ارتباط جوهري ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ٥٪ مع ملاحظة أن العوامل الأخرى قد تم تثبيتها من قبل الباحثة. وتدل تلك العلاقة العكسية المتوسطة على أن منطقة الدراسة مقبلة على مرحلة حرجة من الجفاف نتيجة لتعرضها لإجهاد حراري ورطوبي مستمرين، وإن كان تأثير الإجهاد الرطوبي أكبر بكثير من الحراري، وفيما يلي عرض يؤكد أن الجفاف التي سادت المنطقة ما بين عامي ١٩٨٤ - ٢٠١٠م كانت سبباً مؤثراً في التناقص المستمر في التغطية النباتية بشكل عام. ولتقصي تأثير الأمطار على الغطاء النباتي حسب الباحثة

على بقية أجزاء المنطقة.

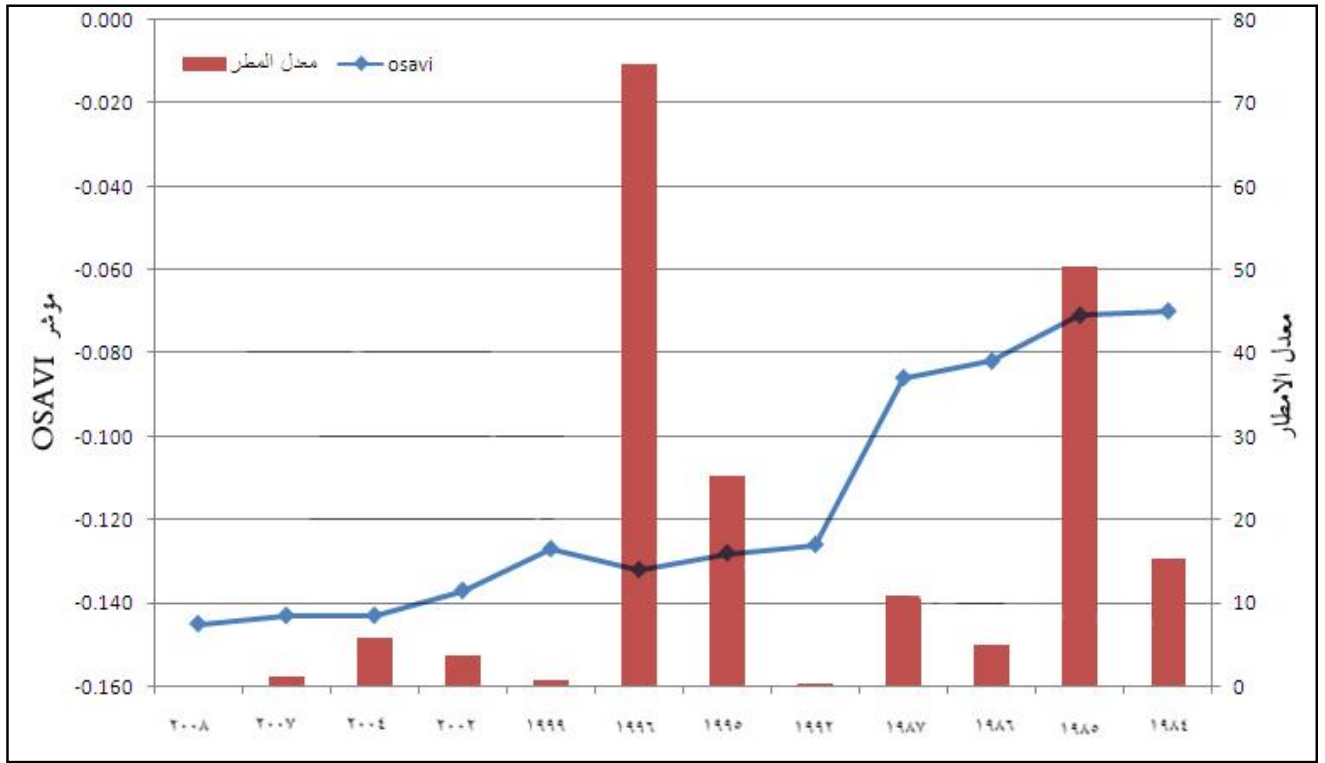
وفي عامي ٢٠٠٧ و ٢٠٠٨ يتبين من شكل رقم (٧) استمرارية كثافة الجفاف وهيمنته على جميع أجزاء منطقة الدراسة باستثناء أجزاء من المرتفعات الجنوبية الغربية، ويعود ذلك الجفاف في المقام الأول إلى تأثير الإجهاد الرطوبي.

وفي عام ٢٠١٠م كان الجفاف المتوسط هو السائد على منطقة الدراسة باستثناء أجزاء من المرتفعات ظهر عليها الجفاف الخفيف، وتعود سيادة الجفاف المتوسط إلى التأثير المشترك بين الإجهاد الرطوبي والحراري، خاصة الإجهاد الرطوبي الحاد الذي انتشر في منطقة الدراسة في ذلك العام.

ومما سبق تبين تأثير حالة الأمطار ودرجات الحرارة على الغطاء النباتي إيجاباً وسلباً، حيث يعكس مؤشر صحة النبات كثافة الإجهاد الرطوبي والحراري، فنجد أن الجفاف حدث عام ١٩٨٧م بسبب الإجهاد الحراري، بينما حدث في الأعوام ما بين ١٩٩٥م - ٢٠١٠م بسبب الإجهاد الرطوبي الذي نجم عن قلة كميات التساقط أو ارتفاع درجات الحرارة أو كليهما معاً، في حين ظهر الجفاف عام ١٩٩٢م بتأثير مشترك بين الإجهاد الرطوبي والحراري. كما أن وجود أحدهما بشكل مناسب وجيد قد يساهم في تخفيف مستوى الجفاف كما حدث ذلك عام ١٩٩٥م حيث قابل الإجهاد الرطوبي الحاد حالة حرارية مناسبة ساهمت في تجنب تطور حالة الجفاف. ونظراً لتأثير الجفاف المباشر في التغطية النباتية من حيث الكثافة أو الحالة، فقد استخدمت الدراسة مؤشر OSAVI لتقصي مساحة وحالة التغطية النباتية، بالإضافة إلى تعزيز نتائج المؤشرات الجفافية.

وقد اتضح من تقصي التغطية النباتية (جدول رقم ٢) تقلص المساحات النباتية كلما زادت موجات الجفاف، فالإجهاد الحراري والرطوبي يؤدي إلى ارتفاع عملية التبخر والنتح من النباتات، وقد

شكل رقم (٩) معدلات الأمطار لأشهر المربعات ومتوسط قيم مؤشر OSAVI.
المصدر: عمل الباحثة.



استخدام مؤشر OSAVI في الدلالة على تناقص الأمطار أو زيادتها، إذ كان الارتباط بين السنوات وبين مؤشر OSAVI سالبًا. ويتضح من شكل رقم (١٠) أن خط اتجاه المطر في المحطات المطرية في جميع سنوات الدراسة تتجه نحو الانخفاض في إشارة إلى تعرض منطقة الدراسة إلى قلة وندرة كمية الأمطار المتساقطة. وإجمالاً لما سبق تبين أن الأمطار خلال العقدين الأخيرين أخذت بالتناقص، وأن تناقص كمية الأمطار في السنوات الأخيرة أسهم في تدهور الغطاء النباتي من حيث المساحة والغنى وتعرضه للإجهاد الرطوبي والحراري.

الخاتمة

عنت هذه الدراسة بتوظيف المؤشرات الطيفية لتقييم حالة الجفاف لفترة تمتد ستة وعشرين عامًا (١٩٨٤-٢٠١٠م)، حيث اعتمدت الدراسة على مؤشرات VCI، TCI، و VHI، وأظهرت جميعها أن منطقة الدراسة في تعرض مستمر للإجهاد الرطوبي والحراري، وأن النظام البيئي الحيوي في منطقة الدراسة يمر بمرحلة حرجة نتيجة للتناقص المستمر في كميات التساقط وعدم انتظام هطولها، وارتفاع درجات الحرارة، وبالتالي تعرضت التغطية النباتية للتدهور والاضمحلال.

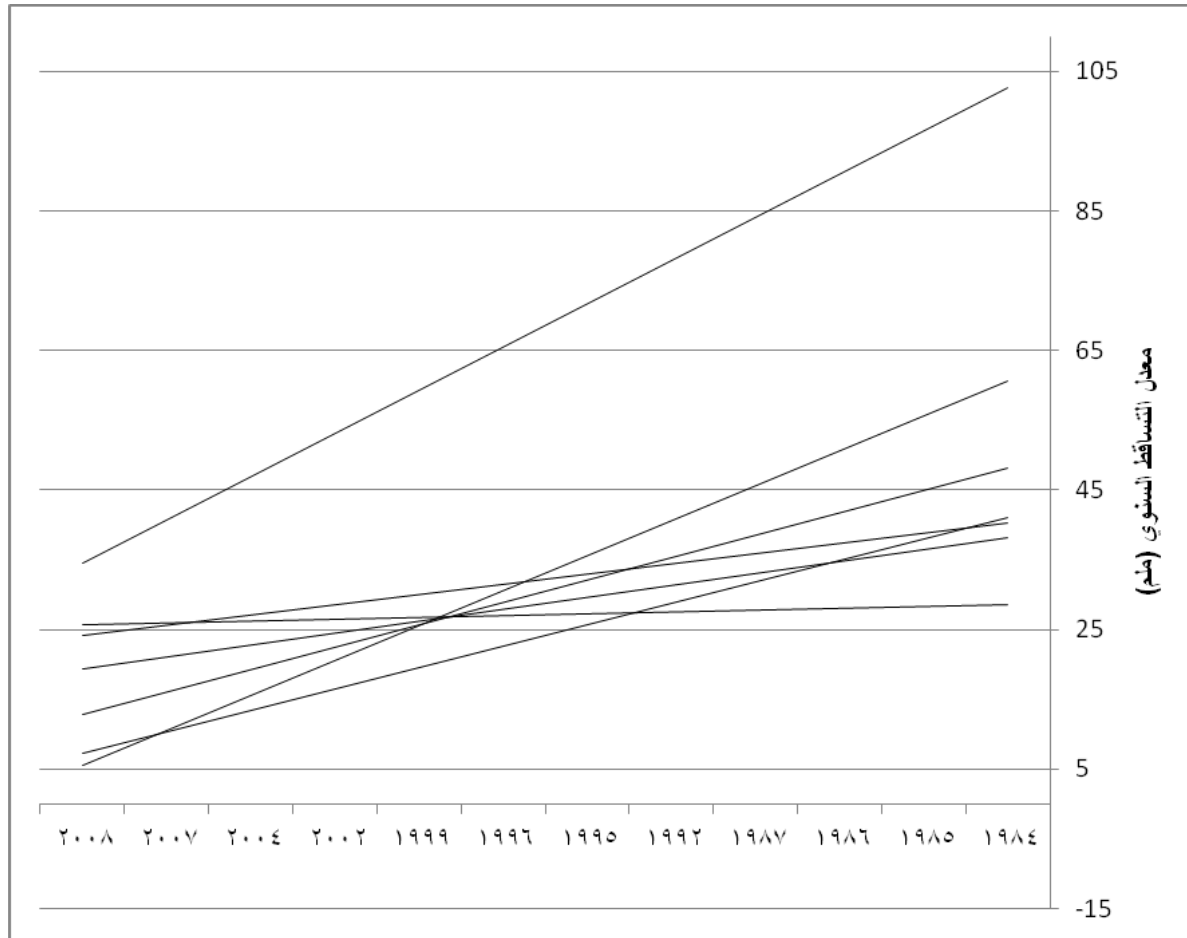
وبينت الدراسة أن هناك علاقة جوهرية ذات دلالة إحصائية بين مؤشر VCI وبين سنوات الدراسة بلغت -٠,٨٦ عند مستوى دلالة ١٪، وفي ذلك برهان على زيادة الإجهاد الرطوبي مع مرور الزمن.

معدلات كمية التساقط خلال الشهر الموافق لتاريخ التقاط المرئية لسبعة محطات مطرية بمنطقة الدراسة*، وتبين من خلال الشكل رقم (٩) أن ارتفاع كمية التساقط يتبعه اتجاه مؤشر OSAVI نحو القيم الموجبة، إذ يشير ارتفاع قيمة مؤشر OSAVI إلى تدهور حالة النبات، ويبرهن على ذلك الارتفاع في كميات الأمطار المتساقطة الذي حدث ما بين عامي ١٩٩٥-١٩٩٩م، أدى إلى حدوث نمو في التغطية النباتية بما يقدر بنحو ٢٦٣ كم^٢، بينما اتسمت السنوات الأخيرة بطابع الندرة في الكميات الساقطة مما تبعه انحسار في التغطية النباتية. وبحساب الارتباط بين مؤشر OSAVI وبين معدلات التساقط لشهر المرئية، نجد أن القيمة بلغت ٠,٤٤ وهي تدل على أن الارتباط بين كمية الأمطار المتساقطة وبين التغطية النباتية ليست ذات مدلول إحصائي ويرجع لعامل الصدفة، إلا أن العلاقة الموجبة بين المتغيرين واتجاهها تبين أن كمية التساقط أسهمت في تناقص التغطية النباتية.

ولتعزيز النتيجة السابقة أو إضعافها، استخدمت الباحثة المعدلات السنوية للتساقط، فوجدت أن الارتباط بين تلك المعدلات وبين مؤشر OSAVI بلغت ٠,٣٧ وهي نتيجة تدعم العلاقة السابقة، وتؤكد العلاقة بين إسهام الأمطار في تدهور الغطاء النباتي يرجع لعامل الصدفة. وبحسب قيمة الارتباط بين سنوات المربعات وبين معدلات الأمطار السنوية، وجد أن العلاقة سالبة -٠,٤٩، بمعنى أن هناك تناقصًا في كميات الأمطار المتساقطة مع مرور الزمن، وبالتالي فإن هذه النتيجة تعطي دلالة واضحة على إمكانية

* محطات الشفا، والهدا، وبقران، والكر والسفلى، والكر العلوية، والطائف، وكلاخ، ووادي محرم.

شكل رقم (١٠) خط الاتجاه معدلات التساقط السنوي لسنوات الدراسة لسجل سبعة محطات مطرية في منطقة الدراسة.
المصدر: عمل الباحثة بالاعتماد على النشرة الهيدرولوجية.



وبرهان على أن النظام البيئي الحيوي في منطقة الدراسة هش ويعاني من الضعف الشديد المستمر، إن لم تبادر الجهات ذات العلاقة بصيانة وإدارة مناطق المراعي والغابات، بالإضافة إلى إدارة جيدة للأحواض المائية والاستفادة بما يعرف بالحصاد المائي.

المراجع

- المراجع العربية
- الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة، ٢٠٠٢م. مراقبة الجفاف، الإصدار التاسع. الرياض.
- الغامدي، سعد أبو راس، ٢٠٠٨م. مراقبة التصحر في أجزاء من غرب المملكة العربية السعودية. مجلة جامعة الملك سعود للعلوم الزراعية، ٢٠ (٢): ١١٩-١٤٥.
- الغامدي، سعد أبو راس، ٢٠٠٩م. تأثير خصائص التضاريس في التغطية النباتية لمنطقة بلاد زهران بجبال السروات: دراسة منهجية في الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. مجلة جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، (١٣).
- الوليحي، عبد الله ناصر، ١٩٩٧م. الجغرافيا الحيوية للمملكة العربية السعودية. بحوث في الجغرافيا الطبيعية للمملكة العربية السعودية (القسم الأول)، الرياض.

كما توصلت الدراسة إلى عدم وجود مدلول إحصائي للعلاقة بين مؤشر TCI وسنوات الدراسة، وخرجت الدراسة إلى وجود علاقة جوهرية ذات مدلول إحصائي بين مؤشر VHI وسنوات الدراسة بلغت -٠,٦٢ عند مستوى دلالة ٥% وهي تدل على هيمنة الجفاف الناتج عن التأثير المشترك بين الإجهاد الرطوبي والحراري على منطقة الدراسة مع مرور الزمن.

كما ساهم الجفاف في انحسار التغطية النباتية وجفاف الأشجار الكبيرة المعمرة، وتقلص وجود بعض النباتات والشجيرات، وتغير أماكن نمو بعض النباتات، وتبين أن الإجهاد الرطوبي أكثر تأثيراً في حالة الغطاء النباتي من الإجهاد الحراري، ويستدل عليه من تحسن حدث في حالة الجفاف عام ١٩٩٥م، إلا أن انعكاسه على التغطية النباتية لم يكن بالنماء، حيث كان التحسن في حالة الجفاف ناحياً عن تحسن في الحالة الحرارية، ومع هذا فإن سطح التربة كان يفترق للرطوبة الملائمة التي تسهم في نمو النبات وذلك لقلّة الأمطار. في حين حدث تحسن طفيف في حالة الجفاف عام ٢٠١٠م، تبعه نمو طفيف في التغطية النباتية، نتيجة لوفرة الأمطار مما جعل حالة رطوبة التربة والنبات تتحسن.

واستطاعت الدراسة أن تولد قاعدة بيانات جيدة للغاية لمنطقة الدراسة فيما يتعلق بحالة الجفاف، بالإضافة إلى خرائط تسلسلية للإجهادين الرطوبي والحراري، وصحة النبات. وفي ذلك دلالة

المراجع الاجنبية

- Bhuiyan. C. (2008). Desert Vegetation During Droughts: Response and Sensitivity. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. 907-912.
- Biao, Z., and T. Yang. (2004) Study on Vegetation of Northwest Qaidam Basin by Remote Sensing. <http://www.isprs.org/publications/related/ISRSE/html/papers/484.pdf>.
- Chopra. P. (2006). Drought Risk Assessment using Remote Sensing and GIS: A case study of Gujarat. Unpublished Master Scientiae Dissertation. http://www.itc.nl/library/papers_2006/msc/iirs/chopra.pdf
- Karnieli A., Agam N., Pinker R.T., Anderson M.C., Imhoff M.L., Gutman G.G., Panov N. and Goldberg A. (2010). Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. *Journal of Climate*, 23, 618-633.
- Kogan, F., R. Stark, A. Gitelson, L. Jargalsaikhan, C. Dugrajav and S. Tsooj. (2004). Derivation of pasture biomass in Mongolia from Avhrr-based vegetation health indices. *INT. J. Remote Sensing*, 25, (14), 2889–2896.
- Kogan, F., (2002). World droughts in the new millenium from AVHRR-based vegetation health indices. *Eos, Trans. Amer. Geophys. Union*, 83:557–564.
- Kogan. F. (2001). Operational space technology for global assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 82. 1949-1964.
- Rhee. J., Im, Gregory. J. Carbone. (2010). Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 114: Issue (12).
- Shamsipour. A.. P. Reza. S. Panah And G. Azizi (2011). Analysis of drought events for the semi-arid central plains of Iran with satellite and meteorological based indicators, *International Journal of Remote Sensing*, 32:24.
- Singh, R., S. ROY, and F. Kogan. (2003). Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *INT. J. Remote Sensing*, VOL. 24, NO 22, 4393–4402.
- <https://www.Landsat.usgs.gov>.
- https://www.wmo.int/pages/themes/hazards/index_ar.html.