مراقبة التصحر في أجزاء من غرب وجنوب غرب المملكة العربية السعودية

باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد

سعد أبوراس الغامدي

قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى، ص. ب. 33006 ، مكة المكرمة 21955

(قدم للنشر في 1428/11/9هـ ؛ قبل للنشر في 19 /5 /1429هـ)

كلمات مفتاحية: التصحر، الاستشعار عن بعد، المؤشرات الطيفية

ملخص البحث: يشير مدلول التصحر إلى تناقص إنتاجية الأرض بفعل عوامل متظافرة من بينها تأثير الإنسان على البيئة والتغيرات المناخية. وقد أشارت بعض الدراسات إلى أن التصحر قد أصبح ظاهرة في بعض المناطق من المملكة العربية السعودية. ومن ثم سعت هذه الدراسة إلى التحقق من امتداد التصحر في أجزاء واسعة من غرب وجنوب غرب المملكة العربية عن طريق تطبيق بعض المؤشرات الطيفية على مرئيات فضائية ذات تواريخ متعددة. وشمل التقصي سبع مرئيات للقمر الأمريكي لاندسات–5 غطت ما مساحته حوالي 200000 كم^2. وكانت المؤشرات الطيفية المستخدمة في التطبيق على هذه المرئيات هي: مؤشر Optimized soil-adjusted vegetation index (OSAVI)، **ومؤشر** Modified moisture stress index (MMSI)، **ومؤشر** Biological soil crust index (BSCI). **وقد تبين من نتائج هذه المؤشرات الطيفية أن مناطق الدراسة تتصف بفقر غطائها النباتي وشدة الجفاف بها. كما ظهر من مقارنة مدلولات المؤشرات الطيفية بين الفترات التاريخية المتعددة أن قسماً كبيراً من مناطق الدراسة قد تعرض للتصحر بدليل تناقص مساحة الغطاء النباتي أو تناقص كثافته، وزيادة القيم السالبة للمؤشرات الطيفية. وقد أوصت هذه الدراسة بإجراء دراسات أخرى لتقصي أسباب حدوث التصحر في مناطق الدراسة.**

Monitoring Desertification in Parts of West and South West of The Kingdom of Saudi Arabia Using Remote Sensing Technique

S. Al-Ghamdi
Department of Geography, University of Umm Al-Qura,
P.O. Box 33006, Makkah 21955, Saudi Arabia
(Received 9/11/1428H ; accepted for publication 19 /5 /1429H)

Keywords: Desertification, Remote Sensing, Spectral Indices, OSAVI, MSI, MMSI, BSCI

Abstract. Desertification indicates the decrease of land production as a result of human effect on the environment, besides climate change. There some studies who indicated that the desertification has become a phenomenon in some areas of the Kingdom of Saudi Arabia. This study aims to investigate the desertification extent in vast parts of west and south west of Saudi Arabia based upon applying some spectral indices on seven full-scene landsat-5 satellite imageries which cover about 200,000 km^2. The spectral indices used in this study are: Optimized soil-adjusted vegetation index (OSAVI), moisture stress index (MMSI), and Biological soil crust index (BSCI). The results of the applied spectral indices show that the study areas are characterized by poor vegetal cover and severe drought condition. The comparison of spectral indices… among multiple dates show also that a large portion of the study areas were subjected to desertification, inferred by the declination of vegetation cover and density, and the increase of negative values of these spectral indices. This study recommends conducting more researches to investigate the factors cause the desertification in the study areas.

المقدمة

تتصف الأقاليم الجافة وشبه الجافة بنظامها البيئي الهش والذي يتأثر بشدة بتذبذب سقوط الأمطار وتفاوت كمياتها، وانكشاف معظم سطحها لمختلف عمليات التعرية، هذا بالإضافة إلى ما يحدثه الإنسان من خلال عمليات الهدم والبناء والتي تؤدي إلى تغيير ملاحظ في توازن هذا النظام وإنتاجه. ومراقبة التغير في إنتاجية الأراضي في مثل هذه البيئات يعد من الأولويات نظراً لما تمثله هذه الأراضي من أهمية بالغة للأمن الغذائي والمائي. وتناقص إنتاجية الأرض مع مرور الزمن هو نتيجة لاختلال التوازن البيئي، والذي يؤدي في النهاية إلى فقر النظام البيئي وتدني إنتاجيته، والذي يعرف بالتصحر Desertification. وقد يعرف التصحر على أنه تعرض الأرض للتدهور البيئي مما يضعف قوتها الإنتاجية ويؤدي في النهاية إلى فقد التربة العلوية وانهيار الحياة النباتية وتناقص التنوع الحيوي بسبب عاملين رئيسين هما: التغيرات المناخية، والأنشطة البشرية (عبدالرحمن، 2006م). وأهم عامل في التغيرات المناخية هو تذبذب التساقط وتناقص كميته. أما الأنشطة البشرية فتشتمل على متغيرات عديدة أهمها: تدهور الغطاء النباتي بفعل الرعي الجائر وقطع النباتات وحرقها، والتعرية المائية والهوائية الناتجة من سوء إدارة الأراضي، وتملح الأراضي الناتجة من وسائل الري غير الملائمة (Ustin, et al., 2005).

وتعاني أكثر من 100 دولة من دول العالم من مشاكل التصحر، بل أن 86٪ من أجمالي مساحة الوطن العربي قد أصابها التصحر (العاني، 2006م). وقد عانت المملكة العربية السعودية من التصحر وآثاره. ففي مراجعة جيدة للدراسات التي تناولت التدهور النباتي للبيئة الحيوية للملكة، استشهد حبيب (2004م) بنتائج خبراء عديدين أكدوا اختفاء كثير من الأنواع النباتية، خاصة المستساغ منها للرعي، وتناقص مساحات النباتات المعمرة، وأن التدهور في إنتاجية بعض المراعي وصل إلى 85٪. كما ذكر نصرون (1994م) أنه قد ورد في التقرير الوطني الذي قدمته المملكة العربية السعودية في عام 1992م لمؤتمر قمة الأرض في البرازيل، أن البيئة الطبيعية للمملكة العربية السعودية حساسة وهشة وعرضةً للتدهور. وقد قدر بدر (Bader, 1994) أن 53٪ من الأراضي السعودية معرضة للتصحر. كما ذكر النافع (2000م) في دراسة له عن الأنواع النباتية المحتطبة في المملكة العربية السعودية أن الغطاء النباتي في المملكة العربية السعودية قد تدهور، بل وزال في كثير من المناطق مما أدى بدوره إلى تفاقم مشكلات الجفاف واختلال توازن النظام البيئي الهش. وفي دراسة للقحطاني

(2003م) عن البيئة النباتية في عموم منطقة عسير، ذكر أن مشكلة تدهور الغطاء النباتي في منطقة عسير بلغت مرحلة خطيرة جداً. وهناك مجموعة من الدراسات الأخرى التي اختبرت ظاهرة التصحر من خلال مراقبة حركة الرمال وتدهور إنتاجية الأراضي في مناطق محدودة من المملكة العربية السعودية، وتوصلت إلى أن هناك تدهوراً في النظام البيئي واتجاهاً نحو التصحر (التركماني، 1994م ; الحسن، 1994م ; الخولي وآخرون 2004م ; آل سعود، 2004م ; العمرو 1994م ; سعده، 2003م ; سيد وأبو ريشه، 1994م ; Qari and Shehata, 1994).

ومع أهمية نتائج هذه الدراسات السابقة عن المملكة، فقد رأى الباحث أن يكون هناك اختباراً أكثر شمولاً من حيث المساحة، وأكثر وضوحاً ودقة من حيث الأسلوب والنتائج للتأكد من حدوث التصحر، بحيث تحسب فيه المساحات وتستخرج النسب للزيادة أو النقصان في عناصر البيئة الحيوية، مع وزن للزيادة أو للنقصان وفق معيار موحد لجميع أجزاء منطقة الدراسة. ومن المعروف أن أكثر جهات المملكة أمطاراً ونباتاً طبيعياً هي المناطق المرتبطة بسلسلة مرتفعات السروات في غرب وجنوب غرب المملكة. ومن هنا فإن الباحث افترض بأن مراقبة المؤشرات الحيوية للتصحر قد تكون أكثر ثباتاً ووضوحاً فيما لو اختبرت على هيئة قطاع مستعرض يمتد من شمال مدينة جدة وصعوداً نحو المرتفعات الجبلية تتبعاً وامتداداً باتجاه الجنوب حتى جازان في جنوب غرب المملكة، وقد يتسع ذلك القطاع ليشمل بعض المناطق الهامشية الأكثر جفافاً والمجاورة للمرتفعات الجبلية.

ومن ثم فإن هذه الدراسة تهدف إلى التحقق من حدوث التصحر في أجزاء واسعة نسبياً من غرب وجنوب غرب المملكة العربية السعودية وفق ما تتيحه البيانات التي توفرت للباحث. كذلك تهدف هذه الدراسة إلى تحديد نسبة التغير في عناصر البيئة الحيوية المرتبطة بالنبات والتربة لمعرفة مدى اتساع ظاهرة التصحر في منطقة الدراسة.

دور الاستشعار عن بعد في مراقبة التصحر

الاستشعار عن بعد Remote sensing هو استكشاف خصائص الأهداف من بعد دون ملامسة لها وذلك عن طريق تحليل الطاقة الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من تلك الأهداف. ويتم جمع بيانات الاستشعار عن بعد في معظمها عن طريق لواقط أو مجسات sensors تحمل على متن أقمار صناعية Satellites في الفضاء الخارجي، أو على متن طائرات ذات تجهيزات خاصة في الغلاف الجوي

للأرض. ولبيانات الاستشعار عن بعد عدد كبير من المميزات يأتي في مقدمتها الرصد خارج النطاق المرئي لعين الانسان، وإمكانية التحديث الدوري المستمر للأهداف الأرضية، والتوافق الآني مع معطيات الحاسوب، وتغطيتها لمناطق يصعب الوصول إليها، وتوفرها تجارياً لأي مستخدم بغض النظر عن عرقه أو معتقده، والتعدد الكبير للواقطها سواء في قدرات التمييز المكانية Spatial resolution، أو الطيفية spectral، أو الوقتية Temporal، مما يتيح للمستخدم خيارات واسعة وفقاً لأهدافه وإمكاناته.

وتبرز تقنية الاستشعار عن بعد كأحد الحلول السريعة والفاعلة لمراقبة التصحر (Adamo and Crews-Meyer, 2006; Chikhaoui, *et al*., 20005; Collado, *et al*., 2002; Hill, *et al*., 1998; Hillel and Rosenzweig, 2002; Okin, *et al*., 1989; Sahai, 1993). وتتمحور أهمية تقنية الاستشعار عن بعد في توفيرها الوسيلة المثلى لاكتشاف التغير ومتابعته بحكم أن جمع المعلومات المستمر عن الموارد الأرضية هو من الوظائف الأساسية لأقمار دراسة موارد الأرض.

وهناك عدد كبير من الأساليب التقنية لاكتشاف التغير عن طريق بيانات الأقمار الصناعية، بعضها عن طريق الملاحظة البصرية وبعضها آلي. ومن بين هذه الأساليب يبرز استخدام المؤشرات الطيفية Spectral indices لهذا الغرض. والمؤشر الطيفي هو وسيلة لقياس تركيز ظاهرة ما (Mbow, *et al*., 2004)، بحيث يلخص في قيمة واحدة تفاعل الهدف مع نطاقات طيفية Spectral bands محددة من الطاقة الكهرومغناطيسية، وكأنها معايرة لذلك الهدف في درجة تركيز خصائصه. والمؤشرات الطيفية التي طورت إلى هذا التاريخ عديدة جداً، فمنها ما يتعلق بالنبات، أو التربة، أو الجيولوجيا، أو الهيدرولوجيا، أو المناخ .. إلى غير ذلك. ومنها ما يتعلق بظواهر هي نتاج تفاعل بعض ما سبق كالتصحر.

وبشكل عام فإن الاستدلال على التغير في إنتاجية الأرض واتجاهها نحو التصحر يتم عن طريق مراقبة مجموعة من المؤشرات الطبيعية التي يمكن رصدها عن طريق المرئيات الفضائية، مثل تكون طبقة ملحية على سطح التربة الزراعية، أو قلة محتوى التربة من الرطوبة، أو زيادة السطوع أو التشتيت الجوي إن كان كانت العوامل الأخرى كالوقت من السنة وارتفاع زاوية الشمس وقت التصوير ثابتة، أو تناقص كثافة النبات أو خضرته أو تبدل نوعه، أو زيادة معدلات الجريان السطحي أو تشقق السطح بفعل المجاري المائية، إلى غير ذلك من المؤشرات الطبيعية وهي عديدة (أنظر حبيب، 2004م).

ومع تعدد هذه المؤشرات، فإن النبات يبرز كأهم مؤشر في دراسات الأنظمة الحيوية للتصحر، ويذكر العاني (2006م) أن تدهور الغطاء النباتي في المناطق الجافة وشبه الجافة يعتبر من أخطر عوامل التصحر. والذي يمكن مراقبة التغير في حالته من خلال المرئيات الفضائية بفاعلية كبيرة (Ares, *et al*., 2003; Bhuiyan, *et al*., 2006; Boschetti, *et al*., 2007; Diouf and Lambin, 2001; Palmer and Fortescue, 2005; Tanser and Palmer, 1999; Volcani, *et al*., 2005; Wang, *et al*., 2007).

ومن إطلاع الباحث على عدد كبير جداً من الدراسات التي استخدمت الاستشعار عن بعد في مراقبة أو استكشاف التصحر، فإنه يمكن إجمال أهم أساليب مراقبة مؤشرات التصحر من خلال بيانات الأقمار الصناعية في ثلاث مجموعات هي: (1) مؤشرات لمراقبة التغير في النبات كماً (Quantity)، ونوعاً (Type)، وحالة (Condition)، أي أن هذه المؤشرات تستخدم لحساب نسبة تغطية النبات ولقياس كثافته وخضرته (Steven, *et al*., 2003). (2) مؤشرات لمراقبة التغير في المحتوى الرطوبي للتربة أو النبات. (3) مؤشرات لمراقبة التغير في الخصائص السطحية للتربة، خاصة البيولوجية منها. ومن هنا فقد اختار الباحث من كل مجموعة مؤشراً واحداً للتطبيق في هذه الدراسة. وكانت أسس الاختيار ترتكز على حداثة المؤشر وتخطيه لعيوب المؤشرات التي سبقته من نفس فئته، ونجاح تطبيقه في بيئات مشابهة لمنطقة الدراسة في هذا البحث. والمؤشرات التي اختارها الباحث للتطبيق في هذه الدراسة هي على النحو الآتي:

1- *مؤشر Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI)*: ينسب الفضل إلى جوردان (Jordan, 1969) في تطوير أول مؤشر طيفي نباتي ratio vegetation index (RVI) اعتماداً على خصائص الاستجابة الطيفية للنبات في نطاقي الأشعة الحمراء وتحت الحمراء القريبة. ومن بعده تم تطوير عدد كبير جداً من المؤشرات الطيفية النباتية كان من أهمها مجموعة مؤشرات Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)، ومجموعة مؤشرات(Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI. وكان الهدف الرئيس لهذه المؤشرات هو تقليص تأثير سطوع التربة على مجمل الانعكاسات الصادرة من النبات وذلك بجعلها أكثر تحسساً للنبات وأقل ما يكون تحسساً لانعكاسات التربة (Davidson and Csillag, 2001). وقد صاغ روزي وزملاؤه (Rouse, *et al*., 1973) مؤشر NDVI في معادلة على الهيئة التالية:

$$NDVI=(NIR-R)/(NIR+R)$$

حيث تشير NIR إلى نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (0.69 – 0.91 ميكرومترر)، و تشير R إلى نطاق الأشعة الحمراء (0.63-0.69ميكرومتر). غير أن كثيراً من الدراسات ذكرت أن هذا المؤشر قليل الفاعلية في المناطق ذات التغطية الجزئية بالنبات خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة وذلك لضعف العلاقة بين المؤشر والنبات نتيجة عدم كفاية المؤشر في استبعاد أو تقليص تأثير سطوع التربة (Gilabert, *et al*., 2002, Karnieli, *et al*., 2001, Lu, *et al*., 2004). وهذا دعا إلى تطوير المؤشر نفسه عن طريق تحسينات عديدة عليه (أنظر Jensen, 1986). ولتصحيح ذلك فإن هيوت (Huete, 1988) اقترح إضافة عامل تصحيح جديد إلى معادلة NDVI ليصبح تأثير سطوع التربة في خلفية النبات ضعيفاً أو معدوماً خاصة في البيئات الفقيرة نباتياً في المناطق الجافة وشبه الجافة. وقد أطلق هيوت على هذا المؤشر اسم Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)، وقد صاغه على النحو الآتي:

$$SAVI=(1+L)(NIR-R)/(NIR+R+L)$$

وقيمة (L) في المعادلة أعلاه تتراوح بين صفر و 1 ، وقد اقترح هيوت أن القيمة الافتراضية هي (0.5). غير أن ذلك أيضاً لم يحقق الهدف المنشود وهو استبعاد تأثير التربة تماماً، مما جعل أخرون يدخلون تحسينات أو تعديلات على SAVI، والتي أنتجت بدورها مؤشرات أخرى هي وليدة ذلك المؤشر، مثل مؤشر TSAVI (Baret and Guyot, 1991)، ومؤشر MSAVI (Qi, *et al*., 1994)، ومؤشر OSAVI (Rondeaux, *et al*., 1996). ويتميز المؤشر الأخير (OSAVI) ببساطته، وعدم اشتراط معرفة مسبقة بنوع التربة (Steven, 1998)، وشدة حساسيته للتباينات في حالة النبات، وقدرته على استبعاد سطوع التربة في خلفية النبات، بالإضافة إلى أنه أتى بنتائج مرضية في بيئات متعددة. فقد سعى بوشيتي وزملائه (Boschetti, *et al*., 2007) لتقدير إنتاجية المراعي في منطقة من جبال الألب بوسط ايطاليا مستخدمين مؤشرات RVI و NDVI و SAVI و MSAVI و OSAVI، وقد اتضح من هذه الدراسة أن أفضل المؤشرات السابقة كان مؤشر OSAVI في الكشف عن حالة النبات. كما اختبر هذا المؤشر جيلابرت وزملاؤه (Gialbert, *et al*., 2002) مع مجموعة مؤشرات SAVI ومؤشري NDVI و RVI، فوجدا أن مؤشرات SAVI عموماً تقدم نتائج أفضل، وأن مؤشر OSAVI كان من أفضلها أداء. ومن هنا كان اختيار الباحث لهذا المؤشر بصفة رئيسة لمعرفة حدوث التصحر من عدمه، ولحساب امتداد ذلك التصحر إن حدث وذلك بالاعتماد على وجود النبات وحالته. ويحسب مؤشر OSAVI عن طريق المعادلة الآتية:

OSAVI=(1+0.16)(NIR-R)/(NIR+R+0.16)

ونلاحظ هنا أن التغير الوحيد في هذه المعادلة عن معادلة مؤشر SAVI هو قيمة (L) حيث أصبحت (0.16) بدلاً من القيمة الافتراضية (0.50) التي اقترحها هيوت.

2- مؤشر الإجهاد الرطوبي (MSI) Moisture Stress Index. طور هذا المؤشر روك وزملاؤه في عام 1989م (Rock *et al*., 1986). ويحسب هذا المؤشر بقسمة قيمة نطاق الأشعة تحت الحمراء المتوسطة في خلية ما على قيمة نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة لنفس الخلية. ويعود اختيار هذين النطاقين الطيفين إلى أن الأشعة تحت الحمراء المتوسطة حساسة للمحتوى الرطوبي للنبات أو التربة، وأن الأشعة تحت الحمراء القريبة حساسة للتركيب الداخلي لورقة النبات. وقد وجد هاريس وزملاؤه (Harris, *et al*., 2006) من خلال الاختبارات الميدانية وتحليل العينات أن هناك ارتباطاً وثيق الصلة بين هذا المؤشر وبين موقع الطبقة الحاملة للمياه أو بينه وبين كمّ المحتوى الرطوبي القريب من السطح، كما توصل وولتر (Wolter, 1990) إلى أن هذا المؤشر يساهم في تفسير التباين للمحتوى الرطوبي النسبي للنبات بنسبة تصل إلى 98٪.

ونظراً لأن التطبيق على هذا المؤشر في هذه الدراسة يتعلق ببيئات جافة وشبه جافة، فإنه من المتوقع أن تكون قيم MSI ذات أعداد صحيحة موجبة وبعيدة كثيراً عن الصفر. وتوافقاً مع القيم العشرية ودلالاتها لمؤشري OSAVI و BSCI (الذي سيرد ذكره لاحقاً) فإن الباحث عدل ذلك المؤشر ليصبح:

MMSI=(MIR-NIR)/(MIR+NIR)*(-0.5)

حيث MMSI تشير إلى modified moisture stress index، أي مؤشر الإجهاد الرطوبي المعدل. أما MIR فتشير إلى الأشعة تحت الحمراء المتوسطة Mid-infrared. وأضاف الباحث قيمة (0.5-) كقيمة تصحيح لناتج المعادلة ليتلاءم مع دلالات المؤشرين الآخرين من حيث القيم السالبة والموجبة. ومن ثم فإن القيم السالبة لناتج هذه المعادلة تدل دلالة أكيدة على قلة المحتوى الرطوبي، والعكس بالنسبة للقيم الموجبة، ويبقى الصفر كقيمة حدية تنذر بالإجهاد الرطوبي.

3- مؤشر القشرة الحيوية للتربة (BSCI) Biological Soil Crust Index. إن القشرة الحيوية للتربة هي ارتباط كيماوي طبيعي بين حبيبات التربة وبين خليط النباتات الدقيقة المكونة من الأشنات Lichens،

والفطريات Fungi، وطحالب التربة بالإضافة إلى بعض الأنواع من البكتريا، وهذه العناصر هي ما تمنح التربة مظهراً داكناً مقارنة بما يحيط بها (Zhang, *et al*., 2007). وتتراوح سماكته هذه القشرة ما بين 2 ملم إلى 15 ملم. وتعتبر هذه القشرة من المكونات الرئيسة الواسعة الانتشار للعناصر البيولوجية للنظام الحيوي في البيئات الجافة وشبه الجافة (Zaady, *et al*., 2007)، فقد تكون ما نسبته 70٪ من الغطاءات الحية في الصحاري الجافة، ولا تخلو منها أي صحراء في العالم (Ustin, *et al.*, 2005). ولهذه القشرة القدرة على البقاء مع درجة حرارة عالية تصل إلى 70 درجة مئوية، وفي تربة عالية الملوحة أو الحموضة، وتقوم بدور أساسي في إعادة تشكيل التربة وتثبيتها وإخصابها والمحافظة على العناصر المعدنية فيها، كما تكّون وطناً ملائماً للتّنبت germination (Eldridge and Rosentreter, 1999). ويمكن كشف التغير في كثافة أو حالة هذه القشرة عن طريق مرئيات الأقمار الصناعية نتيجة البصمة الطيفية spectral signature المميزة لمكونات هذه القشرة (Weber, et al., 2005). كما طُور حديثاً مؤشر طيفي خاص بهذه القشرة (Chen, *et al*., 2005)، والذي أُطلق عليه biological soil crust index (BSCI). وهو ما صيغ على النحو الآتي:

$$BSCI= (1-L)\ (R-G)/^{Rmean}GRNIR$$

حيث تشير G و R و NIR إلى انعكاسات الأشعة الخضراء والحمراء وتحت الحمراء القريبة على التوالي. أما (L) فهو معيار تصحيح ليقوي الفرق المطلق بين انعكاسات الأشعتين الخضراء والحمراء، وهو ما تتراوح قيمته بين 2-4 عندما يصبح البسط في المعادلة ذو قيمة سالبة. وأما $^{Rmean}GRNIR$ فهي قيمة الوسط الحسابي للنطاقات الطيفية المشار إليها سابقا.

وقد يكون مؤشرا OSAVI و BSCI أكثر ثباتاً من مؤشر MMSI في مراقبة التصحر. وذلك لأن النبات وعناصر التربة الحيوية هي انعكاس لظروف الرطوبة الجوية وحالة التربة لفترة طويلة نسبياً من الزمن. بينما قد تكون الرطوبة السطحية في التربة أو في النبات في المناطق الجافة وشبه الجافة حالة وقتية تتزامن أحياناً مع التقاط المرئية.

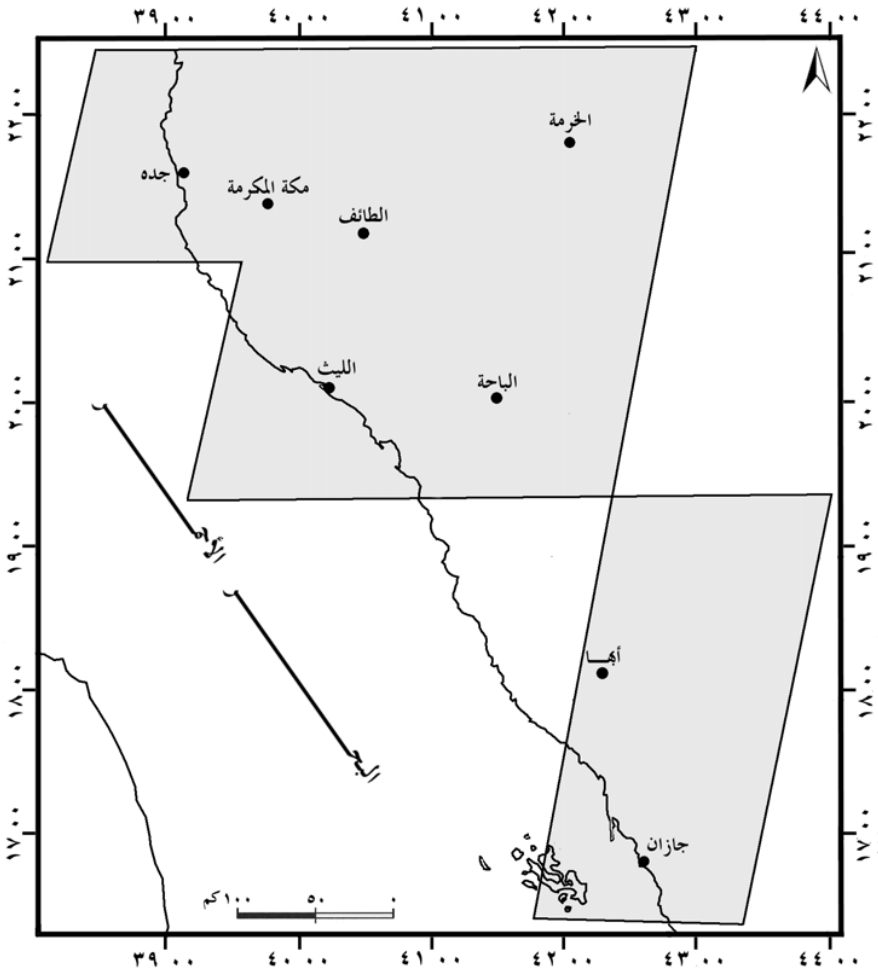
منطقة الدراسة

تشكل المساحة التي تغطيها المرئيات الفضائية المستخدمة في هذه الدراسة حدود منطقة الدراسة. وتمتد منطقة الدراسة بين دائرتي عرض 28َ 16 و 30َ 22 شمالاً، وبين خطي طول 03َ 38 و

05 َ 44 شرقاً. (الشكل رقم 1). وتبلغ مساحتها أقل بقليل من 200000 كم^2. وتضم هذه المنطقة معظم منطقة مكة المكرمة الإدارية، بالإضافة إلى أجزاء واسعة من مناطق الباحة وعسير وجازان.

وتنتمي هذه المنطقة جيولوجياً إلى نظام الدرع العربي الذي يتكون في مجمله من صخور آركية قديمة مع وجود بعض التكوينات الرسوبية القديمة التي تعود إلى الزمنين الثاني والثالث (الوليعي، 1996م)، كما يغطي صخور القاعدة أيضاً إرسابات رباعية متعددة المنشأ والخواص. ويغطي أجزاء من المنطقة طفوح بركانية، أهمها يتمثل في حرة النواصيف والبقوم شمال شرق منطقة الدراسة.

ومن حيث التضاريس فإنه يغلب على المنطقة الطابع الجبلي لوجود سلسلة جبال السروات التي تمتد كعمود فقري من شمال المنطقة إلى جنوبها. وهي تنحدر تدريجياً نحو الشرق حيث تلتحم بمجموعة من الهضاب كهضاب عسير ونجران والحجاز. أما إلى الغرب فيكون انحدارها شديداً بدءاً من الحافة الانكسارية وهبوطاً نحو سهول تهامة الواقعة عند أقدام الجبال والمجاورة للبحر. ويتدرج ارتفاع التضاريس في منطقة الدراسة من مستوى سطح البحر في أقصى الشمال الغربي إلى أكثر من 3000 م في جنوب المنطقة. وتشكل هذه المرتفعات منابع أودية هامة تتبع الانحدار التدريجي نحو الشرق كأودية نجران وحبونه وأدمة وتثليث وبيشه ورنية وترية. كما تشكل الحافة الغربية لمرتفعات



الشكل رقم (1). منطقة الدراسة التي تضم معظم منطقة مكة المكرمة بالإضافة إلى أجزاء واسعة من مناطق الباحة وعسير وجازان.

السروات منابع الأودية القصيرة السريعة الجريان المنحدرة غرباً نحو البحر الأحمر كأودية بيش وحلي وقنونه والأحسبة ودوقه والليث وفاطمه.

وتقع منطقة الدراسة في العروض المدارية حيث تتأثر بنظامي البحر المتوسط والموسمي شتاءً وصيفاً. وتتباين معدلات درجات الحرارة في المنطقة تبعاً لعاملي الارتفاع والموقع بالنسبة لدوائر العرض. وتتميز منطقة المرتفعات عموماً باعتدال حرارتها في الصيف وميلها للبرودة شتاء، مع رطوبة متوسطة. أما السهول الساحلية فحرارتها مرتفعة صيفاً ودافئة شتاء، والرطوبة عالية خاصة في الشتاء. وتتميز منطقة الدراسة بقلة تركز المطر (أحمد، 1993م)، أي أن التساقط لا يقتصر على فصل معين، ومع ذلك فإن معظم أمطار المناطق الجبلية العالية تكون في فصل الربيع، ومعظم أمطار المناطق الساحلية وما يجاورها من مرتفعات قريبة في فصل الصيف. وتتباين معدلات التساقط في منطقة الدراسة وفقاً للارتفاع ومواجهة الرياح. فمثلاً يبلغ معدل التساقط في مدينة جازان الواقعة على البحر الأحمر حوالي 80 ملم في السنة، بينما يبلغ معدل التساقط السنوي في محطة (هروب) حوالي 580 ملم، وهي لا تبعد سوى 70 كم عن جازان ولا يزيد ارتفاعها عن 400 م فوق مستوى سطح البحر. وقد استخدم أحمد (1993م) التحليل العاملي لتصنيف المملكة العربية السعودية إلى أقاليم مناخية متميزة. وقد نتج عن ذلك ستة أقاليم مناخية، ومن الملفت أن جميع تلك الأقاليم تتمثل في منطقة الدراسة، أربعة منها على شكل سلسلة تتبع التدرج في ارتفاع جبال السروات نحو الجنوب. وهذا يدل على أن هناك تبايناً في الخصائص المناخية لمنطقة الدراسة، مما يتبعه تنوع في الغطاء النباتي ومقومات البيئة الطبيعية بشكل عام.

وتسمح الأمطار التي تتلقاها سفوح المرتفعات العالية بامتداد جبال السروات بنمو أشجار العرعر والعتم (الزيتون البري) والشث والضرم والطلح والبشام والقابور وبعض الحشائش كالأثموم والصخبر.

منهج البحث

اعتمدت هذه الدراسة كلياً على استخدام مرئيات فضائية لفترتين زمنيتين لبعض المناطق في غرب وجنوب غرب المملكة، ومن ثم استخدام المعالجة الآلية لتطبيق بعض المؤشرات الطيفية التي رأى

الباحث أنها قد تكون الأكثر نفعاً في استكشاف التصحر في تلك المناطق. وقد ارتكزت الدراسة على معرفة الفرق في الامتداد المساحي للنبات بين كلا التاريخين بالإضافة إلى قيمة المؤشر النباتي الطيفي كدلالة على التغير في النبات. ولم يكن النبات فقط هو المُراقب الأوحد، بل أمتد ذلك ليشمل الخصائص البيولوجية للتربة ومحتواها الرطوبي.

مصادر البيانات

يبين الجدول رقم (1) المرئيات الفضائية الرقمية التي استخدمت في هذه الدراسة. وقد أسميت كل مرئية تبعاً لأكبر أو أشهر منطقة حضرية بها وذلك كإشارة فقط إلى الموقع العام الذي تضمه المرئية. ومن ذلك الجدول يلاحظ أن الفارق الزمني بين التواريخ الأقدم والأحدث لهذه المرئيات يتراوح بين 11- 15 سنة. وقد يكون من الأفضل لو امتد الفارق الزمني إلى أكثر من ذلك، أو كانت الترددات الزمنية أكثر من اثنتين، ولكن هذا ما أُتيح للباحث من بيانات. ويعتبر الوقت من السنة هاماً لتباين الظروف المناخية ومن ثم العناصر الحيوية خلال العام، ولذلك كان من المهم أن تكون البيانات الأقدم والأحدث لنفس المنطقة قد التقطت في نفس الوقت من السنة ما أمكن. ويلاحظ من الجدول المشار إليه سابقا أن تاريخ التقاط المرئيتين الأقدم والأحدث كان في نفس الشهر أو بفارق شهر واحد تقريباً.

وبالإضافة إلى البيانات السابقة فقد استعان الباحث بمعلومات الأمطار الشهرية في المملكة العربية السعودية للفترة 1985-2000م (وزارة المياه، 2000م) وذلك للربط بين سجلاتها وبين التغير في البيئة النباتية.

معالجة البيانات

أُستخدم برنامج ER Mapper في جميع أوجه معالجة البيانات الرقمية للمرئيات الفضائية المتصلة بهذا البحث. وفي البدء سجلت كل مرئية أحدث إلى نظيرتها الأقدم لنفس المنطقة بدرجة صحة لا تقل عن 0,20 من مساحة الخلية. كما صُحح تأثير التشتيت الجوي Atmospheric effect correction لكل مرئية بنفس الأسلوب (Enhanced dark pixel correction). وبما أن مياه البحر الأحمر تمثل جزءاً كبيراً من مرئيات جدة والليث وجازان، فإن استبعاد تأثير هذه المياه من

الجدول رقم (1). المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة.

المنطقة	القمر واللاقط	المسار والصف	تاريخ الالتقاط
أبها	Landsat-5/TM	47–167	1990/9/22
أبها	Landsat-5/TM	47–167	2001/9/04
جازان	Landsat-5/TM	48–167	1990/9/22
جازان	Landsat-5/TM	48–167	2001/9/04
الخرمة	Landsat-5/TM	45/168	1988/5/02
الخرمة	Landsat-5/TM	45/168	1999/4/11
الباحة	Landsat-5/TM	46/168	1988/3/31
الباحة	Landsat-5/TM	46/168	2001/3/03
مكة–الطائف	Landsat-5/TM	45/169	1986/11/12
مكة–الطائف	Landsat-5/TM	45/169	2001/11/05
الليث	Landsat-5/TM	46/169	1986/11/12
الليث	Landsat-5/TM	46/169	2001/11/05
جدة	Landsat-5/TM	45/170	1986/9/16
جدة	Landsat-5/TM	45/170	2001/10/27

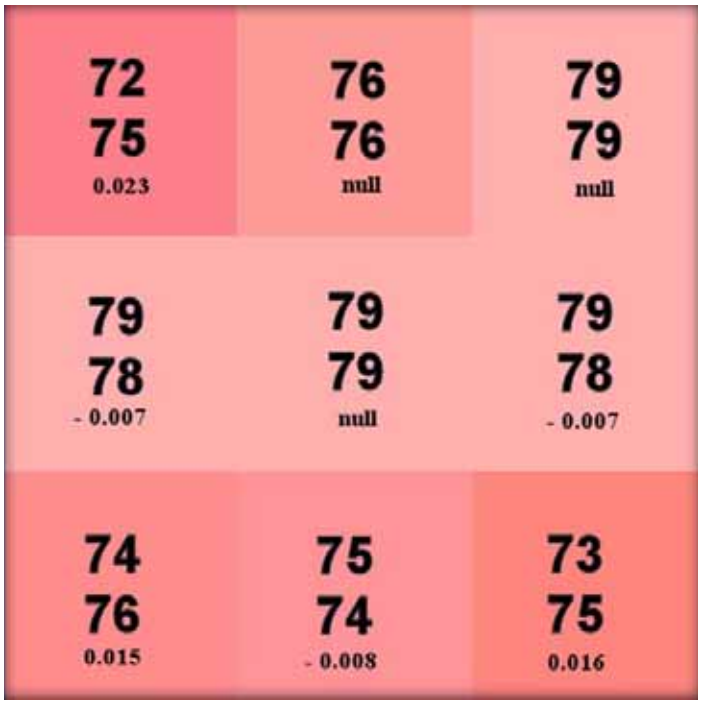
حساب المؤشرات الطيفية يعد أمراً لازماً. فالمياه تعكس مقدار أعلى من الطاقة في نطاق الأشعة الحمراء مقارنة بنطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة. لذلك فإن حساب مؤشر OSAVI سيتأثر بشدة بهذه المياه حيث سيسجل قيماً سالبة كبيرة. وكذلك الأمر لمؤشري MMSI الذي سينتج قيماً منخفضة جداً بالنظر إلى تضاؤل الفروق في القيم الانعكاسية للمياه بين الأشعة تحت الحمراء القريبة وبين الأشعة تحت الحمراء المتوسطة, ومن ناحية أخرى فإن مؤشر BSCI المحسوب للماء سينتج قيماً موجبة منخفضة جداً لتضاؤل الفروق في القيم الانعكاسية للمياه بين الأشعة تحت الحمراء القريبة والمتوسطة من ناحية، وبين الأشعة الخضراء والحمراء من ناحية أخرى. يضاف إلى ما تقدم، أن مياه البحر لا علاقة لها باستكشاف التصحر، فالتصحر يقتصر على اليابسة فقط. لذلك فإن الباحث اقتطع اليابسة فقط كمنطقة اهتمام من مرئيات جدة والليث وجازان، وتركت مرئيات مكة–الطائف والخرمة والباحة وأبها كما هي لعدم احتوائها على أي جزء من المسطحات المائية. ومن ثم طُبقت معادلات المؤشرات الطيفية بالتتابع على جميع المرئيات واُستخلصت الإحصاءات الوصفية منها سواء فيما يتعلق بقيم المؤشرات أو ما يتعلق بحساب المساحات.

وقد اعتمد الباحث في تحققه من حدوث التصحر على مؤشر OSAVI بشكل رئيس، وعلى المؤشرات الأخرى كمعززات له. وقد ركز الباحث على مؤشر OSAVI لثلاثة أسباب:

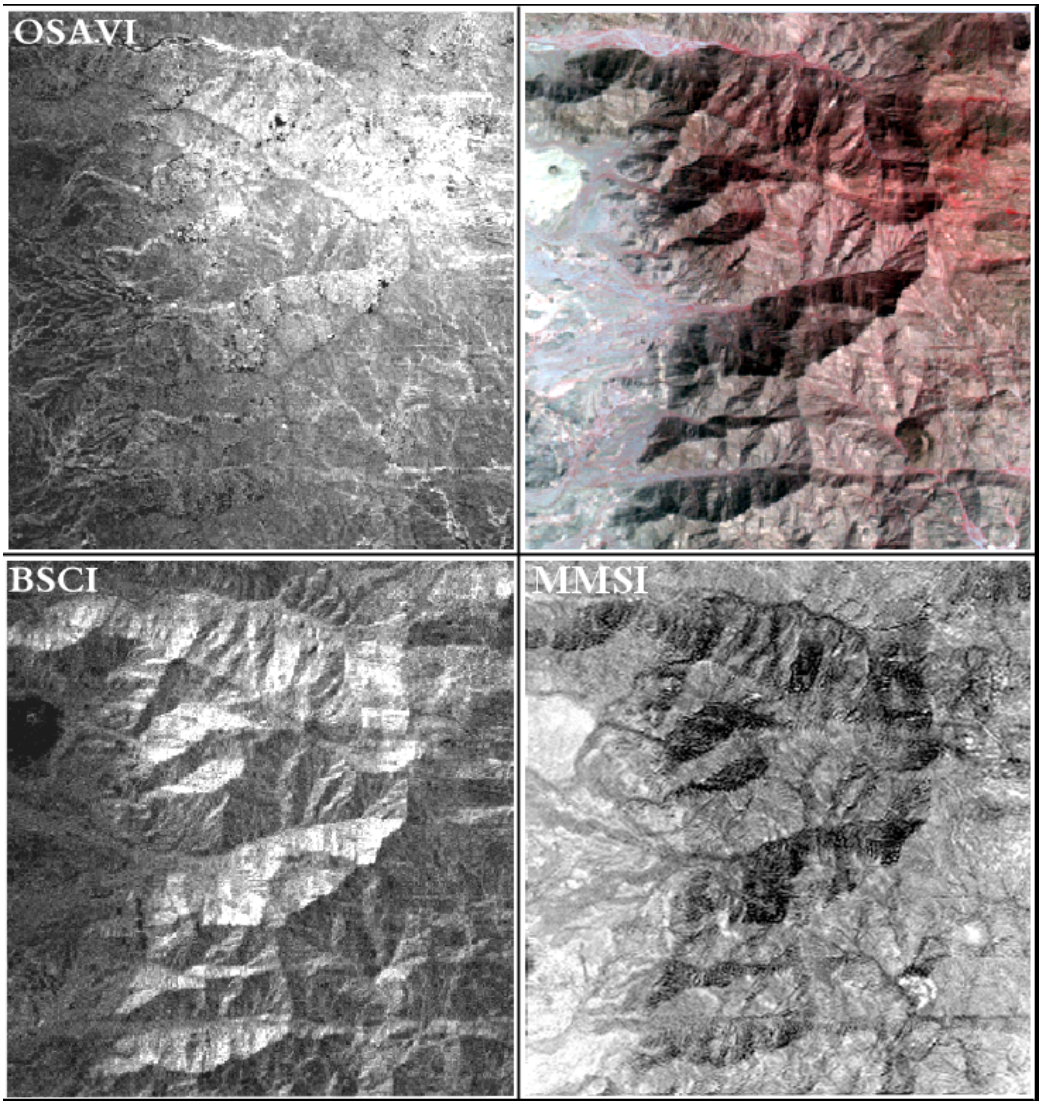
1- أن النبات هو حصيلة حالة التربة والمناخ، خاصة في مناطق لم يكن الإنسان فيها ذو دور فاعل لا هدماً ولا بناء، ومن ثم فإن النبات نفسه هو مؤشر قوي للدلالة على التغير في إنتاجية الأرض التي تحكمها الظروف الطبيعية.

2- أن مؤشر OSAVI شديد الحساسية للفروق الضئيلة في حالة النبات كثافة وخضرة (أنظر الشكل رقم 2)، ومن ثم فإن المدى الدينامي لهذا المؤشر الطيفي النباتي قد يكون أنفع من المؤشرات الأخرى المستخدمة في هذه الدراسة للدلالة على التغير في البيئة الحيوية في مناطق الدراسة، خاصة وأن هذا المؤشر قد استخدم بنجاح كمؤشر رطوبي أيضاً في بعض الدراسات (Zarco-Tejada, *et al*., 2004).

3- أن مؤشري MMSI و BSCI يتأثران بظلال التضاريس في المناطق الجبلية والمسطحات المائية العميقة، بينما يكون ذلك محدوداً في مؤشر OSAVI .(الشكل رقم 3).



الشكل رقم (2). مؤشر OSAVI محسوباً لتسع خلايا من بيانات مرئية جدة، (RGB=432) ، حيث يظهر المدى الدينامي واضحاً لهذا المؤشر. الرقمان الكبيران في أعلى كل خلية هما القيمة الانعكاسية لنطاق الأشعة الحمراء، والرقمان الكبيران تحتهما هما لانعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة، أما الرقم الصغير تحت الأرقام الكبيرة فهو قيمة مؤشر OSAVI لبيانات الخلية.



الشكل رقم (3). توضح هذه المرئيات ، وهي لمنطقة تقع إلى الشرق من وادي عرنة بمنطقة مكة المكرمة ، تأثير ظلال التضاريس على حساب المؤشرات الطيفية. المرئية في الركن الأعلى الأيمن هي لجزء من مرئية TM لمنطقة مكة–الطائف (RGB=432). أما المرئيات الأخرى فهي لمؤشرات OSAVI و MMSI و BSCI لنفس المنطقة.

ومن هنا فإن الباحث قد أسس مراقبة التصحر في هذه الدراسة بتوظيف مؤشر OSAVI بطريقتين: الأولى بمقارنة الوسط الحسابي لقيم مؤشر OSAVI بين التاريخين لكل منطقة، وكلما كانت القيمة السالبة لمؤشر OSAVI أقرب إلى الصفر دل ذلك على تحسن حالة الغطاء النباتي. ومن ثم فإن نسبة متوسط قيمة مؤشر OSAVI للتاريخ الحديث إلى متوسط قيمة مؤشر OSAVI للتاريخ القديم تدل على حالة الغطاء النباتي بين التاريخين. والطريقة الثانية تعتمد على الفرق بين قيم مؤشر OSAVI. فمن المعلوم أن القيم الموجبة عموماً لمؤشر OSAVI هي للنباتات الغنية (كثافة وخضرة) سواء أكانت نباتات طبيعية أم محاصيل زراعية. وقد توصل الباحث من بعض تجاربه في هذا البحث إلى أن قيمة مؤشر OSAVI المحصورة بين صفر و -0.05 هي لنباتات متوسطة الغنى إلى فقيرة نسبياً، وأن القيمة المحصورة بين -0.05 و -0.11 هي للنباتات الفقيرة. أما القيم السالبة دون ذلك فهي لمناطق خالية من النبات. وبناء على هذا فقد صنف الباحث كل منطقة من مناطق الدراسة إلى أربع فئات وفقاً للمعايير السابقة لمعرفة ما تمثله النباتات في كل مرئية من مجموع غطاءات الأرض، وللمقارنة أيضاً بين كل مرئيتين مختلفتي التاريخ لكل منطقة لمعرفة التغير في مساحة النبات للوصول إلى حكم فيما إذا كان هناك تدهور في النبات بين التاريخين.

أما بالنسبة للمؤشرات الأخرى، فقد استخدمت في هذه الدراسة كتعزيز لنتائج مؤشر OSAVI. وقد استخدم الباحث الفرق بين قيمتي التاريخين الأقدم والأحدث لكل مؤشر، بحيث تكون هناك دلالات واضحة على الاتجاه نحو التصحر فيما لو كانت قيمة مؤشري MMSI و BSCI للتاريخ الأحدث أقل من التاريخ الأقدم، مع الأخذ بعين الاعتبار السالب والموجب لقيم BSCI. كما اعتمد الباحث على نسبة التغير لكل مؤشر ما بين التاريخين لتقرير ما إذا كانت منطقة الدراسة قد تعرضت للتصحر أم لا، بالإضافة إلى عمل ترتيب نسبي للمناطق من حيث التغير السالب أو الموجب لكل مؤشر. كذلك فإن الباحث استخدم قيمة الوسط الحسابي لمجموع نسب التغير لكل منطقة لإيجاد ترتيب عام لمناطق الدراسة من حيث درجة التصحر. وبالإضافة إلى ما سبق فقد دمج الباحث فرق المؤشرات الثلاثة بين التاريخين عن طريق طرح مرئية التاريخ الأقدم من مرئية التاريخ الأحدث لكل منطقة على أساس الخلية (Pixel based)، وذلك لإنشاء خرائط تبين مواضع تركز التصحر وتوزيعه المكاني.

النتائج والمناقشة

باعتبار أن مؤشر OSAVI يعطي نتائج مقبولة لأوضاع النبات عموماً سواء كان نباتاً طبيعياً أم محاصيل زراعية، فإنه من الواضح أن جميع مناطق الدراسة تتصف بفقر النبات فيها. فقد صنف الباحث جميع مناطق الدراسة ، كل على حده ، باستخدام OSAVI إلى أربع فئات وفقاً لوجود النبات وحالته كما تم شرح ذلك في منهج الدراسة، ثم أُستخرجت المساحات لكل فئة كما هو مبين في الجدول رقم (2). وكانت نتائج التصنيف على النحو الآتي:

1- الفئة الأولى هي للنباتات الغنية والتي تعلو قيمة مؤشر OSAVI لخلاياها عن صفر (قيم موجبة في هذه الحالة). وقد تراوح متوسطة التغطية لهذه الفئة ما بين 7٪ تقريباً في منطقة جازان وما بين أقل من 1٪ في منطقة جدة. وقد كان المتوسط العام لنسبة هذه الفئة من إجمالي غطاءات الأرض في جميع المرئيات حوالي 2٪ (3700كم^2 تقريباً). ومعظم نباتات هذه الفئة هي محاصيل زراعية ومناطق الغابات الكثيفة في المناطق الجبلية، بالإضافة إلى النباتات التي تنمو حول مجاري الأودية. وقد خسرت هذه الفئة حوالي 260 كم^2 من مساحتها التي كانت قديماً، وقد حدث معظم ذلك في مرئيات أبها ومكة-الطائف والليث. أما النمو في مساحة هذه الفئة فكان معظمه في مرئيتي جازان والباحة.

2- الفئة الثانية وهي لنباتات متوسطة الغنى إلى فقيرة نسبياً، وهي تشمل أيضاً مناطق زراعية وغابات ومراعٍ ولكنها أقل كثافة من الفئة السابقة. وهي لتلك الخلايا التي انحصرت قيم مؤشر OSAVI لها ما بين صفر و -0.05 ، وشكلت هذه الفئة قرابة 5٪ من عموم مناطق الدراسة. وكان أعلى تمثيل لهذه الفئة في منطقة جازان. وقد تدهور الغطاء النباتي لهذه الفئة فيما تقدر مساحته بحوالي 8700 كم^2، والذي حدث معظمه في مرئيات مكة-الطائف والليث وأبها. بينما حدث نماء لهذه الفئة في مرئيات جازان والباحة والخرمة.

3- الفئة الثالثة وهي فئة الأعشاب الفقيرة (حولية في الغالب) التي تراوحت قيمة مؤشر OSAVI لها ما بين -0.05 و -0.11 ، والتي تغطي حوالي 13٪ من مناطق الدراسة مقارنة بما نسبته 17٪ تقريباً في التاريخ الأقدم للمرئيات. وقد استأثرت مرئية جازان أيضاً بأعلى نسبة من هذه الفئة، تلتها مرئية الباحة ثم مكة-الطائف. ويلاحظ أن السيادة لهذه الفئة مقارنة بالفئتين الأولى والثانية، وهو ما

جدول رقم 2. النسبة المئوية لتغطية النبات لكلا التاريخين وفقاً لحالته في مناطق الدراسة.

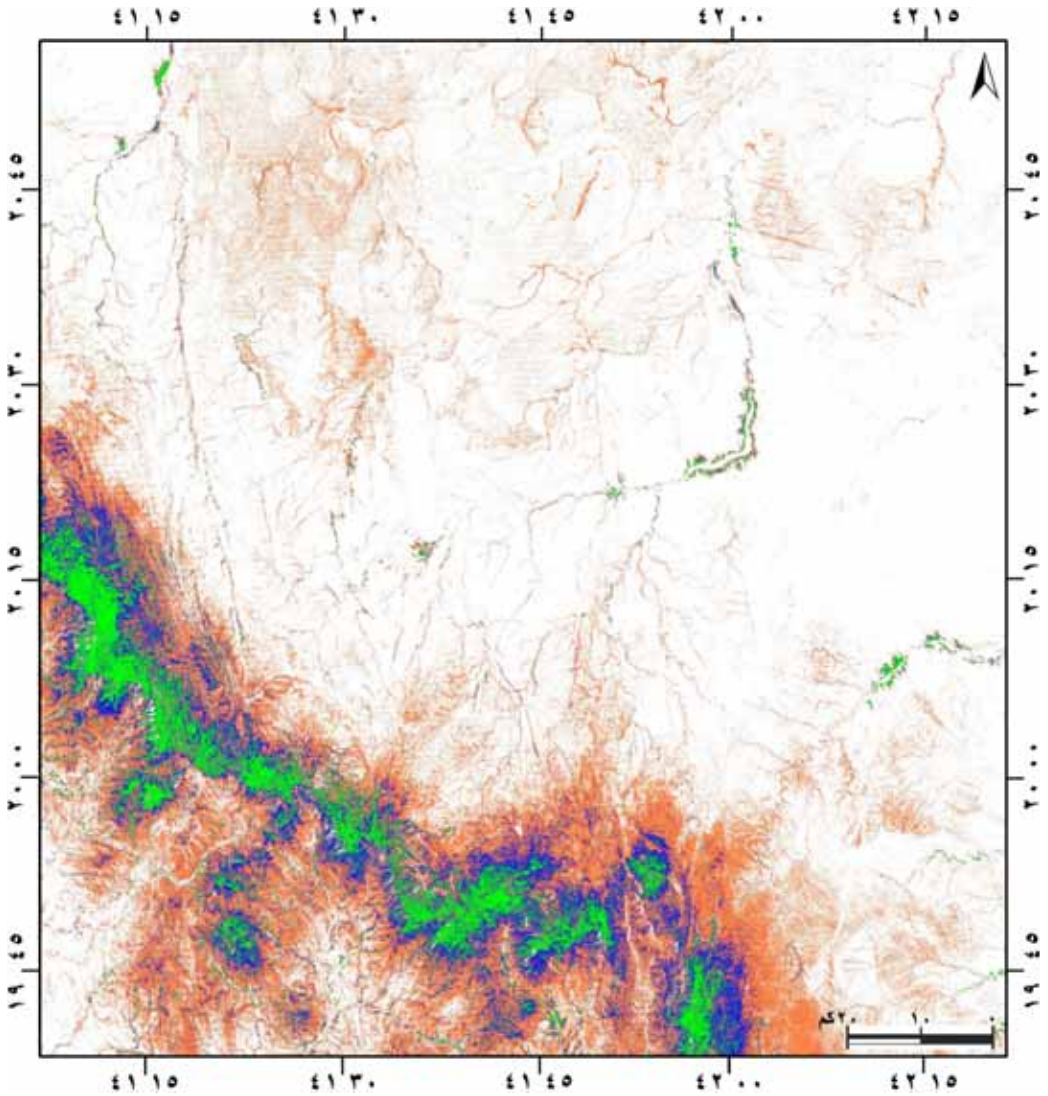
المنطقـــــة	جيـــد (٪)	متوســـط (٪)	فقـــير (٪)	خالٍ من النبات (٪)
أبهـــا 1990م	3.50	7.20	24.90	64.40
أبهـــا 2001م	2.30	5.50	7.20	85.00
جازان 1990م	5.50	12.60	31.80	50.10
جازان 2001م	6.80	13.80	21.90	57.50
الخرمة 1988م	0.03	0.06	0.71	99.20
الخرمة 1999م	0.06	0.11	2.73	97.10
الباحة 1988م	1.80	2.60	11.50	84.10
الباحة 2001م	3.20	4.50	17.40	74.90
مكة–الطائف 1986م	2.80	8.20	32.50	56.50
مكة–الطائف 2001م	1.80	4.50	13.30	80.40
الليث 1986م	1.70	5.30	13.40	79.60
الليث 2001م	1.00	2.90	8.80	87.30
جده 1986م	0.16	0.30	0.70	98.84
جده 2001م	0.19	0.30	0.90	98.61
متوسط التاريخ الأقدم	2.21	5.18	16.50	76.12
متوسط التاريخ الأحدث	2.19	4.52	10.32	82.97
متوسط التاريخان	2.20	4.85	13.41	79.55

قد يدل على التدهور البين في المجتمعات النباتية المعمرة. وتبدو نسبة التغير كبيرة جداً بين التاريخين مما يدل على أن كثيراً من المراعي قد أقفرت خاصة في مرئيات أبها ومكة–الطائف وجازان.

4– الفئة الرابعة، وهي لتلك المناطق الخالية تقريباً من النبات والتي تزيد قيمة مؤشر OSAVI السالبة فيها عن –0.11. وقد بلغ متوسط نسبة هذه الفئة لكلا التاريخين حوالي 80٪ من مجموع الغطاءات في مناطق الدراسة. ويلاحظ أن هذه النسبة قد ارتفعت في التاريخ الأحدث لمرئيتي جدة والخرمة إلى أكثر من 98٪. وقد زادت مساحة هذه الفئة زيادة كبيرة بين التاريخين على حساب الغطاء النباتي وهو ما يشير إلى تدهور فعلي في البيئة الحيوية في جميع مناطق الدراسة باستثناء الباحة والخرمة وجدة، مع ملاحظة أن نسبة المكشوف من سطح التربة في الخرمة وجدة يصل في التاريخ الأحدث إلى أكثر من 97٪. وبالنظر إلى عموم مناطق الدراسة، فإن زيادة المكشوف من سطح التربة مقارنة بالسابق قد وصل إلى 13000 كم^2 تقريباً، حيث تركز معظم الزيادة في مرئيتي مكة–الطائف وأبها.

ونخلص مما سبق أن الفئتين الأولى والثانية لا يمثلان سوى ما نسبته 7٪ من غطاءات الأرض في مناطق الدراسة عموماً. ومع إضافة الفئة الثالثة إليهما فإن الغطاءات النباتية على اختلاف غناها تمثل ما نسبته 20٪ تقريباً من غطاءات الأرض. كما يلاحظ أيضاً أن مرئية جازان هي الأغنى بالغطاء النباتي حديثاً، يليها الباحة، فأبها. وقديماً كانت جازان فمكة–الطائف ثم أبها. كما اتضح أيضاً أن هناك تدهوراً ملموساً في مساحة الغطاءات النباتية لصالح المكشوف من سطح التربة. فصافي التغير كما يتبين من الجدول رقم (2) بلغ 48٪خلال فترة زمنية أطولها 15 سنة، معظمها تركز في الغطاءات النباتية الفقيرة والتي تتأثر بشدة بتذبذب الأمطار من حيث الفصلية والكمية.

ويبين الشكل رقم (4) مثلاً على ذلك التصنيف من مرئية الباحة. فقد صُنف النبات في هذه المرئية إلى ثلاث فئات وفقاً لحالة الغطاء النباتي، وهي: النباتات الغنية باللون الأخضر (تتوافق مع قيمة صفر أو أعلى لمؤشر OSAVI) والتي تمتد على طول خط تقسيم المياه للمرتفعات العالية بين أنظمة الأودية المنحدرة شرقاً والأخرى المنحدرة غرباً. والنباتات المتوسطة الغنى باللون الأزرق والتي تحف بالفئة السابقة. ثم الفئة الثالثة ذات اللون البني وهي للنباتات الفقيرة والتي تحيط بالفئتين السابقتين بالإضافة إلى انتشارها في المرئية على هيئة خطية في الغالب متلازمة مع توفر الرطوبة في الأودية أو الواحات.

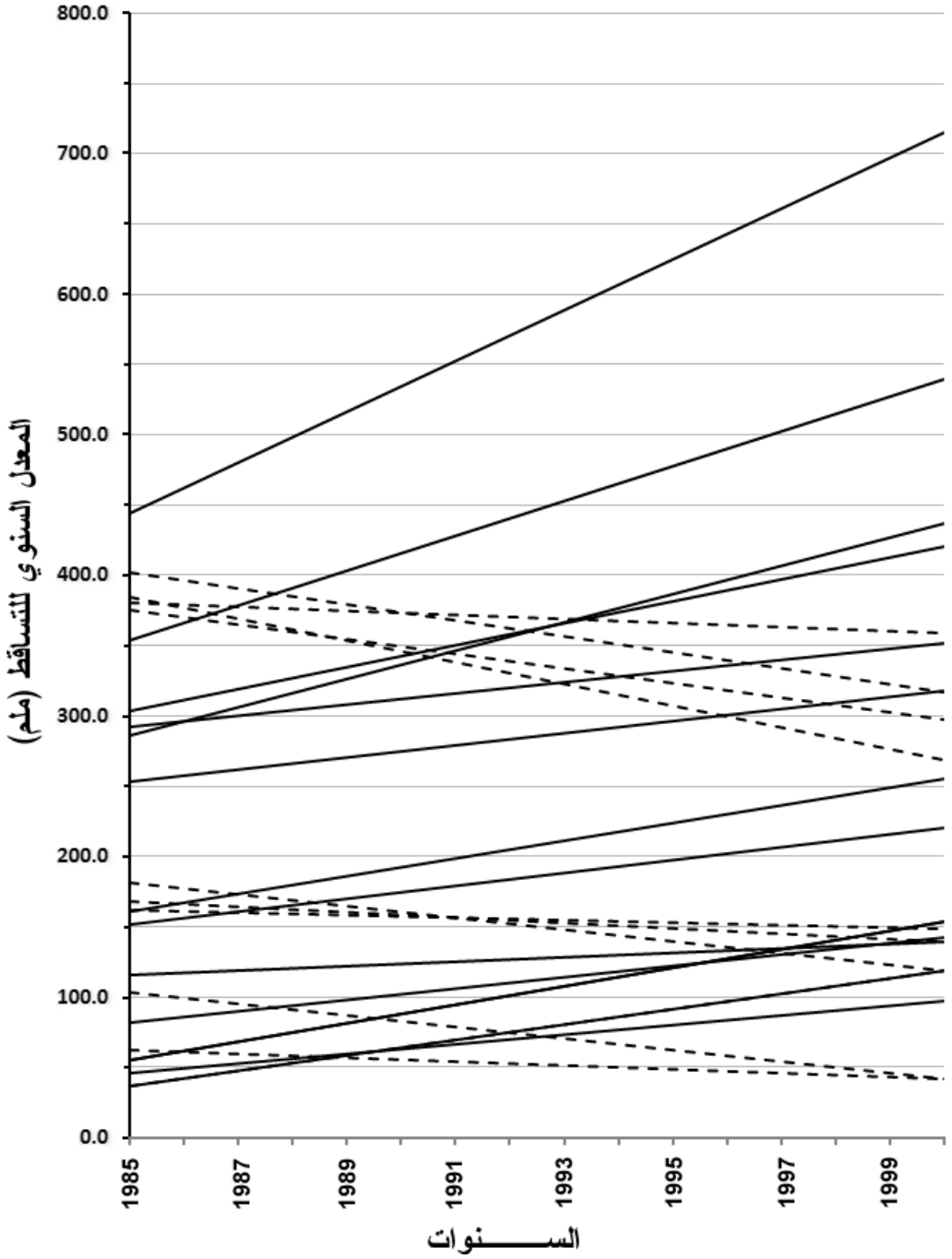


الشكل رقم (4). تصنيف النباتات بمرئية الباحة وفقاً لنتائج تطبيق مؤشر OSAVI. اللون الأخضر هو للخلايا ذات النباتات الغنية (قيم موجبة لمؤشر OSAVI). واللون الأزرق هو لنباتات متوسطة الكثافة تنحصر فيها قيم مؤشر OSAVI ما بين صفر و – 0.5 ، واللون البني هو للنباتات الأفقر والتي تنحصر قيمها ما بين –0.05 و –0.11.

ومن الملاحظ أن معظم المرئية خالٍ من النبات (75٪)، والأمر ذاته ينطبق على بقية مناطق الدراسة الأخرى.

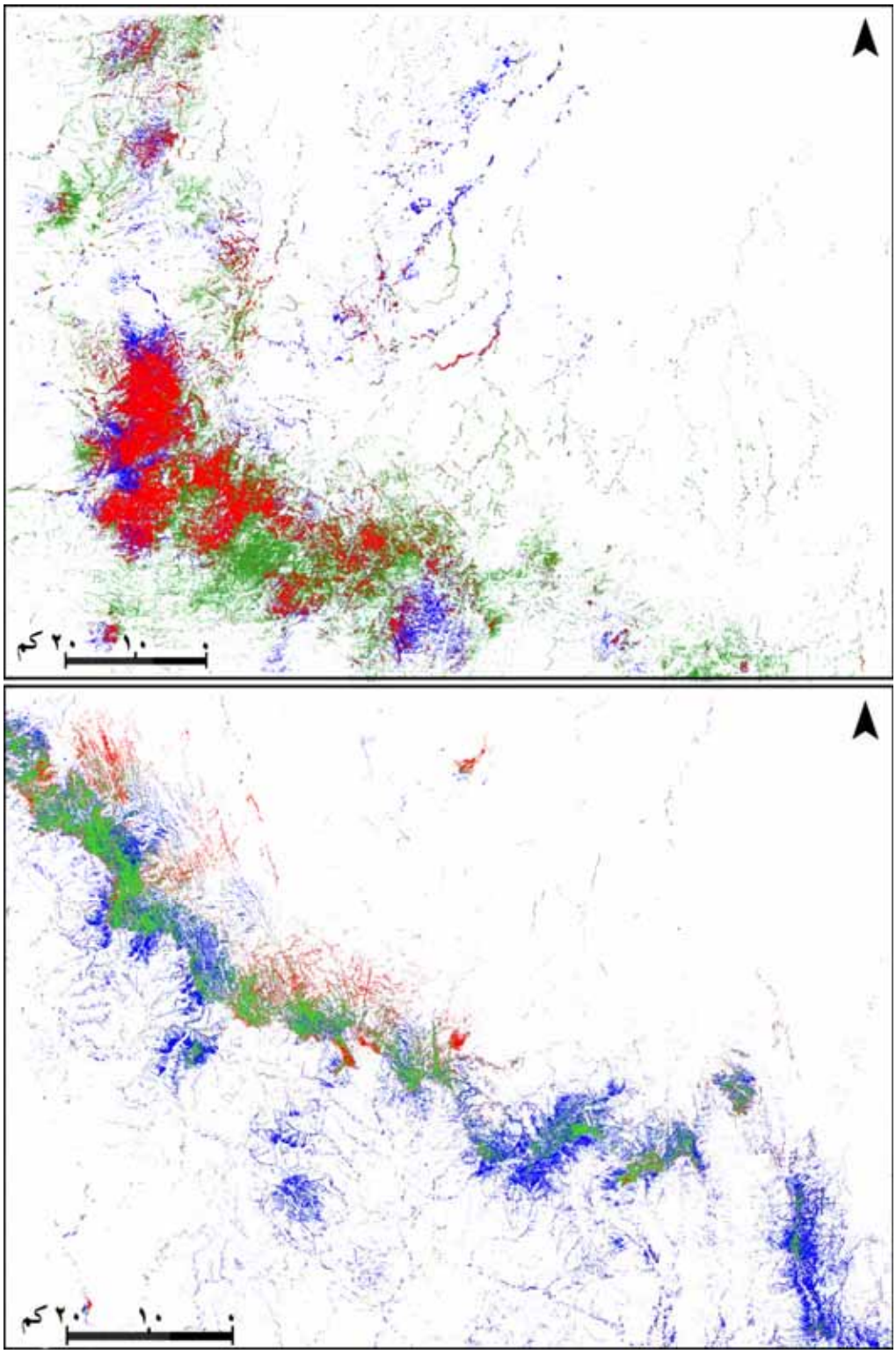
ومن مقارنة نسبة الغطاءات النباتية على اختلاف فئاتها لجميع مناطق الدراسة بين التاريخين الأحدث والأقدم، نجد أن نسبة تلك الغطاءات قد انخفضت حوالي 7٪ بالنظر إلى التاريخ الأقدم، خاصة في مناطق الأعشاب الفقيرة على الرغم من الاتجاه العام لمعدلات التساقط السنوي نحو الزيادة الطفيفة كما هو مبين في الشكل رقم (5). على أن هناك تبايناً بين المناطق من حيث النماء أو التدهور في الغطاء النباتي، وأيضاً من حيث كمية التساقط أو زيادته ونقصانه خلال الفترة الزمنية المحصورة بين عامي 1985م و 2000 م. فنجد أن منطقتي الباحة والخرمة قد شهدتا زيادة في مساحة الغطاء النباتي لجميع فئات النبات. وبالنظر إلى سجل الأمطار للفترة 1985-1995م لخمس من المحطات في منطقة الباحة، نجد أن الاتجاه الخطي (y=mx + b) للمحطات الجبلية (المندق، بلجرشي، الأجاعدة) هو نحو الزيادة، وكذلك الأمر لمحطة المخواة الواقعة عند أقدام الجبال والمشرفة على سهول تهامة. أما محطة العقيق الداخلية والواقعة في ظل المطر فقد كان خط الاتجاه سالباً. وإن كان لزيادة الأمطار في هذه الفترة القصيرة من تأثير فقد يكون على النباتات الحولية فقط، خاصة وأن عناصر البيئة الحيوية من نبات وتربة هي ليست من نتاج المناخ الحالي خلال هذه الفترة الزمنية القصيرة. ويميل الباحث إلى الاعتقاد أن نظام الأحمية القديم في المنطقة والذي لا زال معمولاً به في بعض أجزائها قد حافظ بدرجة كبيرة على الغطاء النباتي خاصة المعمر منها، بالإضافة إلى أن تذبذب الأمطار في منطقة الباحة ، وإن كان كبيراً نسبياً ، أقل منه مقارنة ببعض مناطق الدراسة الأخرى. فمعامل التغير للأمطار في محطة بلجرشي مثلاً بلغ 28,5 خلال الفترة 1985-2000م، بينما كان في محطة عسفان 128، وفي محطة سراة عبيدة بمنطقة عسير 75,75، وفي محطة هروب بمنطقة جازان 58,4، وفي محطة غميقة بالليث 70,13 لنفس الفترة. أما بالنسبة للخرمة فقد فرضت الحماية فيها على منطقة محازة الصيد (حوالي 4000 كم^2) منذ عام 1989م، مما حسن حالة الغطاء النباتي من حيث النوع والكثافة والخضرة (الجميعي، 2002م). ومن ناحية أخرى، فإن أعظم تناقص في مساحة النبات قد وجدت في مرئية مكة-الطائف (24٪)، تلتها مرئية أبها بنسبة 21٪، ثم جازان بنسبة 7٪ تقريباً. ويظهر الشكل رقم (6) نموذجاً واضحاً للنمو في الغطاء النباتي بين التاريخين كما

هو الحال في مرئية الباحة، ونموذجاً آخر للتدهور في حالة الغطاء النباتي كما هو الحال في مرئية مكة-الطائف، حيث يبين اللون الأحمر ما



الشكل رقم (5). خطوط اتجاه المطر لإثنين وعشرين محطة بمنطقة الدراسة، للفترة 1985-20000م.

المصدر: الباحث بالاعتماد على (معلومات الأمطار الشهرية بالمملكة العربية السعودية للفترة من 1985-2000م)، وزارة المياه (2000م).

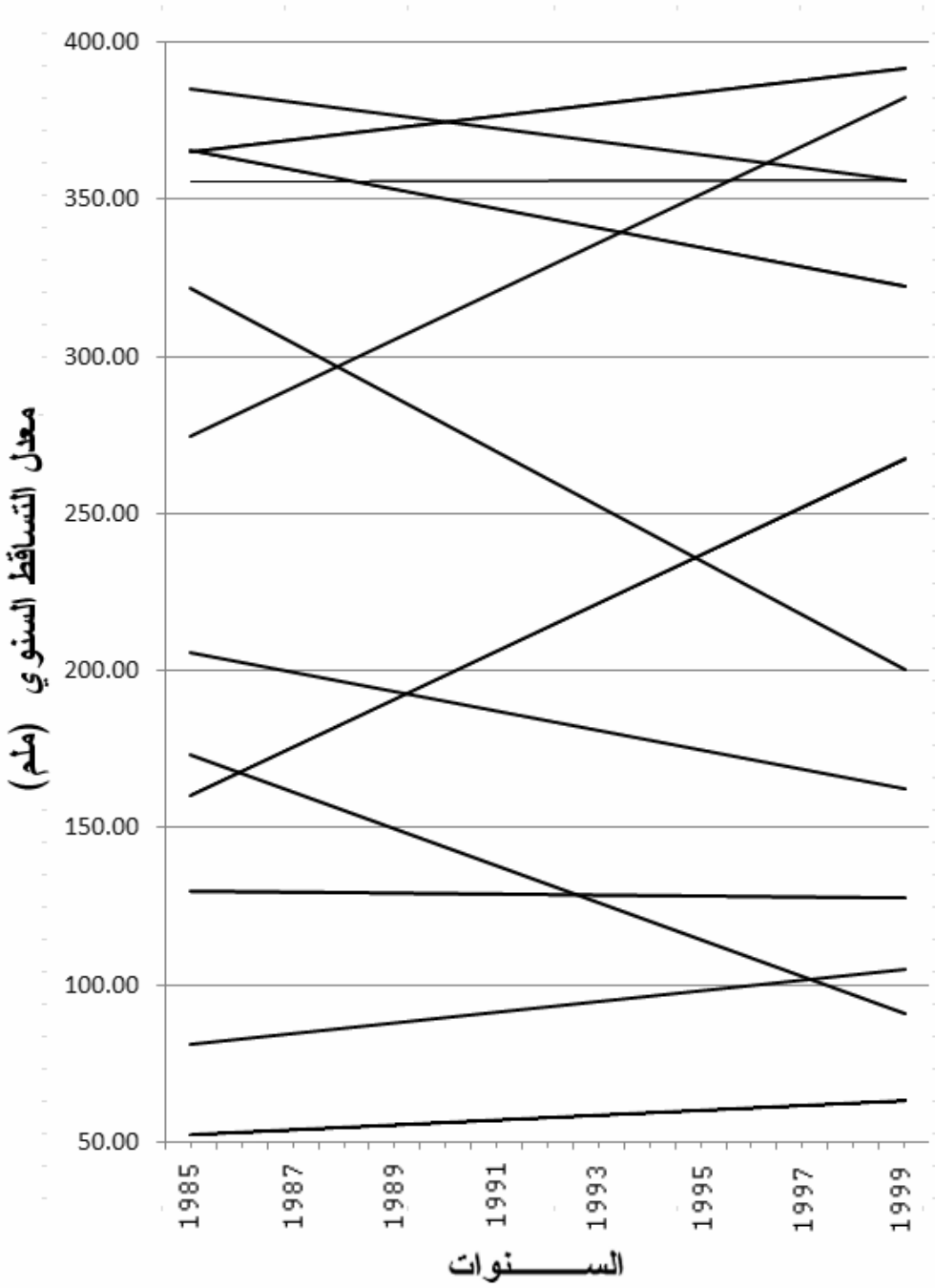


الشكل رقم (6). للمقارنة بين الزيادة والنقصان في الغطاء النباتي للفئتين الأولى والثانية بناء على مؤشر OSAVI: في الأعلى جزء من مرئية مكة–الطائف، وفي الأسفل جزء من مرئية الباحة. (أنظر الجدول رقم 1 للإطلاع على تاريخ المرئيات).

تدهور من الغطاء النباتي في الفترة ما بين التاريخين، واللون الأزرق هو لما نما من نبات بين التاريخين، أما اللون الأخضر فهو للنباتات التي بقيت على حالها منذ تاريخ المرئية القديمة.

وبمراجعة سجل الأمطار خلال الفترة 1985-2001م لعشرات من المحطات المطرية في مناطق مكة المكرمة وعسير وجازان تحديداً، فإن الباحث لم يجد ما يربط بين الزيادة أو النقصان في الغطاء النباتي وبين كمية التساقط خلال الفترة، بل إن هناك تناقض بين مؤشرات الزيادة والنقصان في كميات الأمطار لمحطات مطرية متجاورة في نفس المنطقة (أنظر الشكل رقم 7). وهذا ما يؤدي بنا إلى افتراض أن تأثير المناخ على حالة الغطاء النباتي هو نتاج عشرات من السنين تسبق ذلك، هذا مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير العامل البشري الغائب ذكره في هذه الدراسة، والذي يشمل الرعي والقطع الجائرين وجرف التربة والتوسع الحضري في المناطق الخضراء.

يبين الجدول رقم (3) نتائج تطبيق المؤشرات الطيفية الأخرى المستخدمة في هذه الدراسة بالإضافة إلى مؤشر OSAVI. وبما أن القيمة المطلقة لمؤشر OSAVI تعطي انطباعاً عن حالة النبات من حيث الخضرة والكثافة أو النماء بشكل عام، فإنه من الواضح أن الغطاء النباتي فقير في جميع مناطق الدراسة قديماً وحديثاً بالنظر إلى المساحة التي تشملها المرئيات. وبالإضافة إلى ذلك فإن التغير في قيمة مؤشر OSAVI بين التاريخين يدل بوضوح على أن هناك تدهوراً في حالة الغطاء النباتي قد حدث بين التاريخين. فقد بلغ متوسط نسبة التغير بين التاريخين (-14٪) تقريباً. وأعظم التغير السالب كان في مرئية مكة-الطائف وجدة والليث وجازان. ومن الملاحظ أن المرئيات الثلاثة الأولى متجاورة مما يشكل حزاماً متصلاً من التدهور النباتي. والتغير الموجب الوحيد بين التاريخين كان لمرئيتي الباحة والخرمة، وقد تعرضنا سابقاً للأسباب المحتملة في هذا التغير الموجب. ولو حسبنا الوسط الحسابي لمجموع قيمتي المؤشر لكل مرئية في كلا التاريخين فسنجد أن جازان، ومن بعدها أبها والباحة هي الأغنى بالغطاء النباتي على فقره. أما أكثر المرئيات فقراً في النبات فهي مرئية جدة والتي تصل فيها قيمة الوسط الحسابي للمؤشر في كلا التاريخين إلى -0.197 . وهذا التباين في حالة الغطاء النباتي له ارتباط وثيق الصلة بمجموع التساقط. فالوسط الحسابي لمعدل التساقط السنوي لتسع وعشرين محطة في منطقة جازان هو حوالي 260 ملم خلال الفترة 1985-2000م ، بينما كان 51 ملم فقط في خمس من المحطات المطرية التي غطتها مرئية جدة. بل إن المعدل السنوي للتساقط في محطتي هروب



الشكل رقم (7). خط اتجاه معدلات التساقط السنوي للفترة 1985–1999 م لسجل 12 محطة مطرية في منطقة عسير.

المصدر: الباحث بالاعتماد على (معلومات الأمطار الشهرية بالمملكة العربية السعودية للفترة من 1985–2000م)، وزارة المياه (2000م).

الجدول رقم (3). نسبة التغير* بالاعتماد على الوسط الحسابي لعددٍ من المؤشرات الطيفية ما بين تاريخين لكل منطقة من مناطق الدراسة. وتكون نسبة التغير سالبة لمؤشرات OSAVI و MMSI و BSCI إن كانت قيمة المؤشر للتأريخ الأحدث أبعد عن الصفر مقارنة بالتأريخ الأقدم.

المنطقـــــة	متوسط OSAVI	متوسط MMSI	متوسط BSCI	متوسط نسبة التغير للمنطقة
أبهـــا 1990م	**0.118-**	**0.158-**	**0.379-**	
أبهـــا 2001م	**0.122-**	**0.176-**	**0.541-**	
نسبة التغيـــر (٪)	**3.40-**	**11.39-**	**42.74-**	**19.18-**
جازان 1990م	**0.101-**	**0.144-**	**0.336-**	
جازان 2001م	**0.123-**	**0.155-**	**0.480-**	
نسبة التغيـــر (٪)	**21.78-**	**07.64-**	**42.86-**	**20.09-**
الخرمة 1988م	**0.153-**	**0.152-**	**0.411-**	
الخرمة 1999م	**0.144-**	**0.172-**	**0.433-**	
نسبة التغيـــر (٪)	**5.88**	**13.15-**	**5.35-**	**4.21-**
الباحة 1988م	**0.133-**	**0.153-**	**0.339-**	
الباحة 2001م	**0.122-**	**0.164-**	**0.344-**	
نسبة التغيـــر (٪)	**8.27**	**7.19-**	**1.47-**	**0.13-**
مكة-الطائف 1986م	**0.116-**	**0.142-**	**0.334-**	
مكة-الطائف 2001م	**0.155-**	**0.176-**	**0.406-**	
نسبة التغيـــر (٪)	**33.62-**	**23.94-**	**21.56-**	**26.37-**
الليث 1986م	**0.133-**	**0.149-**	**0.307-**	
الليث 2001م	**0.166-**	**0.183-**	**0.380-**	
نسبة التغيـــر (٪)	**24.81-**	**22.82-**	**23.78-**	**23.80-**
جدة 1986م	**0.172-**	**0.143-**	**0.354-**	
جدة 2001م	**0.222-**	**0.159-**	**0.548-**	
نسبة التغيـــر (٪)	**29.07-**	**11.19-**	**54.80-**	**31.69-**
متوسط التاريخ الأقدم	**0.132-**	**148.71-**	**0.351-**	
متوسط التاريخ الأحدث	**0.151-**	**169.29-**	**0.447-**	
متوسط نسبة التغير (٪) للمؤشر	**14.08-**	**13.90-**	**27.51-**	**18.50-**

* حُسبت نسبة التغير عن طريق (اللاحق-السابق)/السابق)*100

وجبل فيفا بجازان يبلغ 559 ملم والذي قد يكون الأعلى بالمملكة العربية السعودية.

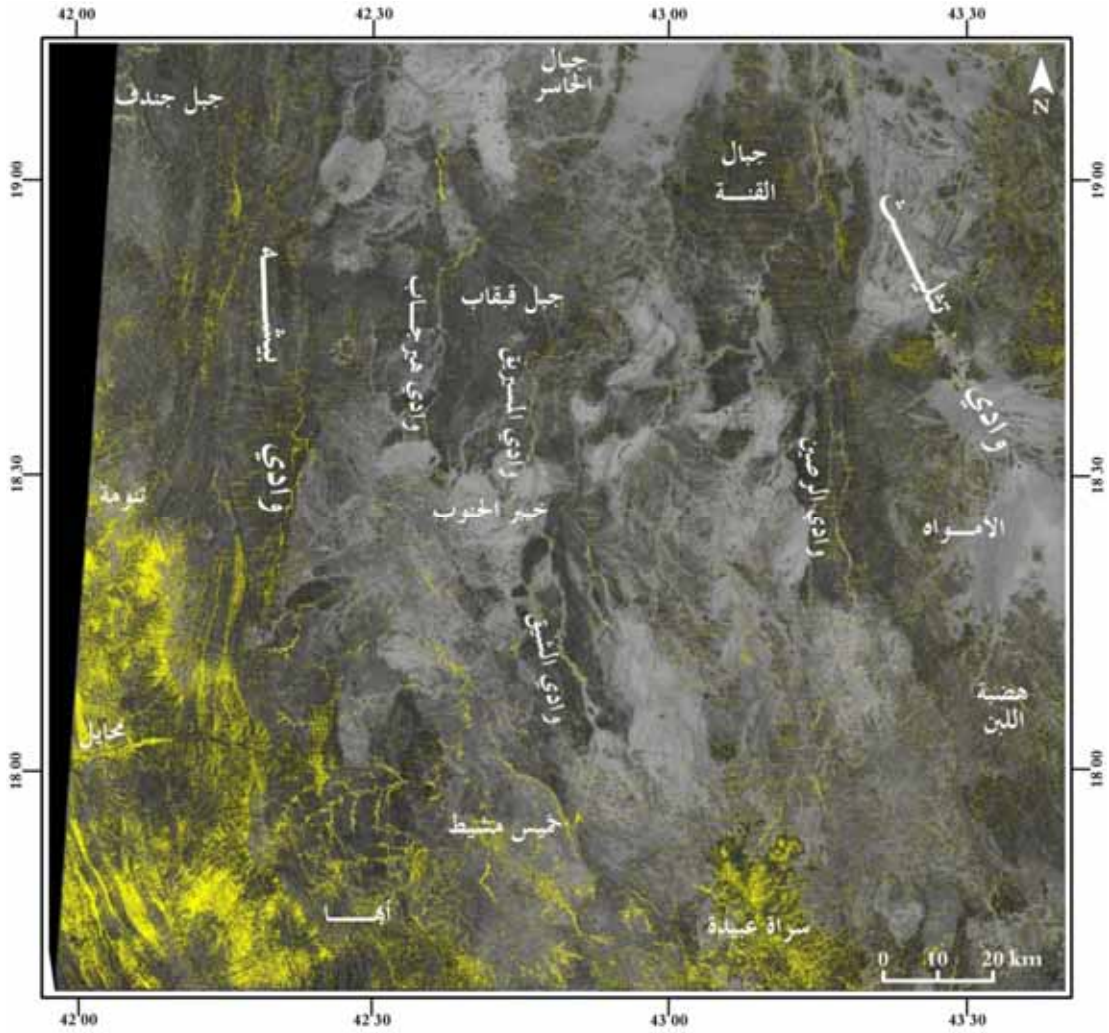
وبالنظر إلى نتائج مؤشر الإجهاد الرطوبي المعدل (MMSI) فإنه يتضح من خلال الجدول رقم (3) أن حالة من الجفاف تسود مناطق الدراسة قديماً وحديثاً. وهذا يدل على النبات يعاني من شح الرطوبة وأن سطح التربة عرضة للتفكك. ومن حساب قيمة الوسط الحسابي لمجموع قيمة المؤشر في كلا التاريخين، فإننا لا نجد تفاوتاً كبيراً بين قيم هذا المؤشر في جميع المرئيات، فأعلى قيمة لهذا المؤشر كانت في مرئية جازان (0.150-) وأقلها كان في مرئية أبها (0.167-). وبمقارنة قيمة هذا المؤشر لكل من التاريخين فإننا نجد أن هناك اتجاهاً نحو الجفاف في جميع مناطق الدراسة. فقد بلغت نسبة التغير السالب حوالي 14٪ لعموم مناطق الدراسة. وأعظم التغير كان في مرئيتي مكة-الطائف والليث، وأقله كان في مرئيتي جازان والباحة. ومن هنا نخلص إلى أن مناطق الدراسة كانت تعاني من الجفاف سابقاً بالاستدلال بالقيم المنخفضة، بل والسالبة لمؤشر MMSI قديماً، ومع هذا فإن قيم المؤشر قد زادت انخفاضاً في الفترة ما بين التاريخين. وينبغي ألا يؤخذ هذا بصورة قطعية فلربما تزامن التقاط المرئية القديمة مع ظروف رطبة مؤقتة، ولكن المرجح أن حالة الجفاف هي السائدة بالنظر إلى قيمة المؤشر في كلا التاريخين.

ونجد من خلال الجدول رقم (3) أيضاً أن قيم مؤشر BSCI هي أيضا سالبة في جميع المناطق مما يدل على ضآلة الموجود من العناصر الحيوية في سطح التربة. وأقل المرئيات التي توجد فيها هذه العناصر البيولوجية هي أبها وجدة والخرمة وجازان، بينما سجلت مرئية الباحة ما متوسطه 0.342- تقريباً، وهي أفضل قيمة (وإن كانت سالبة) لهذا المؤشر في كلا التاريخين لجميع مناطق الدراسة. ويظهر لنا من حساب نسبة التغير لنتائج هذا المؤشر أن التغير كان سالباً في جميع المرئيات، وإن كانت الباحة والخرمة هما الأقل تغيراً. وأعظم التغير حدث في مرئية جدة (0.548-)، تلاها مرئيتا جازان وأبها. ومن الملاحظ أن متوسط نسبة التغير لهذا المؤشر كانت هي الأعظم (0.28-) مقارنة بالتغير في قيم المؤشرين الآخرين، مما يدل أن النباتات الدقيقة والعناصر الحيوية الأخرى أكثر عرضة واستجابة للتغير.

ونلاحظ أن نسبة التغير في مؤشري OSAVI و MMSI متماثلة، بينما سجل نسبة التغير لمؤشر BSCI قيمة أعلى مما يعكس حساسية النظام الحيوي للعناصر المكونة لقشرة التربة وسرعة تآكله تحت ظروف متعاقبة من الجفاف أو تذبذب شديد في معدلات التساقط.

وبالنظر إلى عموم مناطق الدراسة بالاعتماد على نتائج المؤشرات الطيفية فإنه يتضح أن هذه المناطق قد تعرضت جميعاً للتصحر بدرجات متفاوتة، وإن كان ثلثي هذه المناطق قد تعرضت لتدهور بيئي شديد. وكترتيب للمناطق من حيث أكثرها تعرضاً للتصحر ما بين التاريخين، فقد جُمعت نسب التغير للمؤشرات في كل مرئية، ثم حُسب الوسط الحسابي لها كما هو مبين في الجدول رقم (3). ومنه يتضح أن مرئية جدة كانت الأشد عرضة للتدهور في غطائها النباتي والعناصر الحيوية لقشرة التربة، بالإضافة إلى زيادة الجفاف. وتشكل هذه المرئية مع مرئيتي مكة–الطائف والليث نطاقاً متصلاً من التدهور البيئ في مساحة ليست بالقليلة (حوالي 71000 كم^2). ويلي ذلك نطاق آخر متصل بنفس المساحة تقريباً تمثله مرئيتا جازان وأبها. أما أقل المناطق تدهوراً في عناصر البيئة الحيوية فهي المنطقة التي تمثلها مرئية الباحة، ثم الخرمة، بما نسبته 33٪ تقريباً من المساحة الإجمالية لمناطق الدراسة. وقد أسلفنا أن الخرمة بها مشروع حماية قائم منذ عام 1988م يتمثل في محازة الصيد على مساحة 4000كم2. وهذا لا يتناقض مع أن ظروف البيئية الحيوية في الخرمة قاسية، فمجموع التغطية النباتية الحية في تلك المرئية هي فقط حوالي 3٪. أما الباحة فقد تعود الأسباب إلى أن تذبذب الأمطار بها أقل من غيرها من مناطق الدراسة، وأن اتجاه معدلات التساقط كان نحو الزيادة في الفترة الزمنية المحصورة بين عامي 1985 و1998م، بالإضافة إلى أن بعضاً من المحميات القديمة في منطقة الباحة لا زالت قائمة.

وكخطوة أخيرة، فإن نتائج هذه المؤشرات الثلاثة قد دمجت مع بعض لإنشاء خريطة للتدهور البيئي في كل مرئية، وذلك على افتراض أن جمع هذه المؤشرات مع بعض يعطي نتيجة أوضح لمقدار التصحر ومواضع تركزه من كل مرئية. وهذا استلزم حساب الفرق بين قيمتي المؤشر في كلا التاريخين لكل خلية في جميع المرئيات، ليصبح الناتج 21 مرئية تبين توزيع التغير السالب لكل مؤشر أياً كان مقدار ذلك التغير السالب. ومن ثم دمجت هذه المرئيات مع بعض لإنتاج سبع خرائط تبين مواضع التدهور البيئي وتركزه على غرار ما نراه في الشكل رقم (8). ومن دراسة هذه الخرائط تبين للباحث أن معظم التدهور قد تركز في مناطق الأشفية والشعاف والمنحدرات الجبلية عموماً



الشكل رقم (8). يشير اللون الأصفر إلى مجموع الخلايا التي تعرضت مؤشراتها الحيوية للتدهور بدرجة أكبر في مرئية أبها. وبالرغم من التدهور الواضح لعناصر البيئة الحيوية في جميع أجزاء المرئية إلا أن التركز كان واضحاً في جنوب غرب المرئية على امتداد الأشفية والشعاف والمنحدرات الجبلية غرباً في مناطق سراة عبيدة وأبها ورجال ألمع ومحايل وتنومة.

وبطون الأودية، وهي التي تتوفر بها في الأصل مصادر رطوبة أعلى وغطاء نباتي أغنى. أما مناطق السهول الساحلية والمرتفعات البعيدة عن مواجهة الرياح الرطبة فهي في الأساس قليلة الأمطار وفقيرة جداً في العناصر الحيوية لذلك فإن التغير السالب فيها كان محدوداً وإن كان بيناً.

الخاتمة

باعتماد هذه الدراسة على حساب الفرق في مساحة الغطاء النباتي بين فترتين زمنيتين لسبع مرئيات غطت جزءاً واسعاً من جنوب وجنوب غرب المملكة العربية السعودية، وبمقارنة معطيات عدد من المؤشرات الطيفية بين تلك الفترتين، فقد تبين من هذه الدراسة أن مساحة واسعة من غرب وجنوب غرب المملكة العربية السعودية قد تعرض للتصحر استدلالاً بتناقص كثافة الغطاء النباتي وإنتاجيته، وتدهور العناصر الحيوية والنباتات الدقيقة في القشرة الحيوية للتربة، بالإضافة إلى تزايد الجفاف كما هو مستنتج من تناقص المحتوى الرطوبي للنبات والتربة. وتبين أن جميع مناطق الدراسة تشكل حزاماً متصلاً من التدهور البيئي الشديد. ولم يكن أحد أهداف هذه الدراسة دراسة الأسباب التي أنتجت هذا التدهور البيئي الحيوي وإنما كان تركيز الدراسة على حدوث التصحر وامتداده. ولذلك فإن الباحث يوصي بإجراء دراسات أخرى لتقصي أسباب هذا التدهور البيئي، خاصة العوامل البشرية، وبما له ارتباط بالخصائص الطبيعية للمكان. كما ينبغي دراسة شذوذ منطقة الباحة كحالة قاومت عوامل التصحر أكثر من غيرها من المناطق المجاورة شمالاً أو جنوباً، وذلك للاستفادة من معطيات تلك الحالة في مقاومة التصحر في المناطق الأخرى.

أولاً: المراجع العربية

آل سعود، مشاعل. "تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد في مراقبة زحف الكثبان الرملية في واحة الأحساء". *رسائل جغرافية*، الجمعية الجغرافية الكويتية، *العدد (285)*، (2004م).

أحمد، بدرالدين يوسف. "مناخ المملكة العربية السعودية". *رسائل جغرافية*، الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد 157، (1993م).

التركماني، جودة. *"الأشكال الأرضية شرق صفراء الوشم والمشكلات البيئية التي تتعرض لها"*. في: *ندوة الدراسات الصحراوية في المملكة العربية السعودية (الجزء الأول)، (1994م)، 173-210.*

الجميعي، زين. *"أثر الحماية في الحد من تدهور الغطاء النباتي في المملكة العربية السعودية: دراسة مقارنة بين محمية محازة الصيد والمناطق المجاورة لها"*. رسالة دكتوراه. قسم الجغرافيا، جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، الرياض، (2002م).

حبيب، محمد. "دور النشاط البشري في التغير البيئي: دراسة عن ظاهرة التصحر وأسبابها ودلالاتها البيئية". *المؤتمر الدولي الثاني للموارد المائية والبيئة الجافة*، (2004م).

الحسن، حمدان. "حالة المرعى بمنطقة الوديان بشمال المملكة العربية السعودية". في: *ندوة الدراسات الصحراوية في المملكة العربية السعودية* (الجزء الثاني)،(1994م)، 503-526.

الخولي، عبداللطيف وخالد الموسى ويوسف الفلاج. *"التقييم البيئي لتدهور أشجار مصدات الزراعة الجافة بمنتزه الأحساء الوطني"*. *المؤتمر الدولي الثاني للموارد المائية والبيئة الجافة*، (2004م).

العاني، طارق. "الغطاء النباتي في المناطق الجافة وشبه الجافة في العراق ودور الحماية في الحفاظ على التنوع النباتي". *المؤتمر الدولي الثاني للموارد المائية والبيئة الجافة*، (2006م).

عبدالرحمن، عوض. "الزحف المناخي وزحف الصحراء: حالة غرب السودان". *المؤتمر الدولي الثاني للموارد المائية والبيئة الجافة*، (2006م).

العمرو، سعود. "دراسة ظاهرة التصحر في منطقة حائل بالمملكة العربية السعودية". في: *ندوة الدراسات الصحراوية في المملكة العربية السعودية* (الجزء الأول)، (1994م)، 13-46.

القحطاني، مرعي. "تدهور البيئة النباتية في منطقة عسير". *رسائل جغرافية*، الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد (275)،

سعده، أحمد. "تدهور بيئة الغابات على منحدرات جبال السروات". *مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والانسانية*، 15(1)، (2003م)، 88-109.

سيد، محمد وعلي أبوريشه. "مشروع حجز الرمال عن واحة الأحساء: رؤية تحليلية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد". *الندوة الخامسة لأقسام الجغرافيا بجامعات المملكة*، جامعة الملك سعود، (1994م).

نصرون، تاج الدين حسين. "أهمية وطرق استعادة وصيانة التنوع الحيوي للنظم البيئة المتصحرة في المملكة". *ندوة الدراسات الصحراوية في المملكة*، جامعة الملك سعود، الجزء الأول (1994م)، 95-109.

وزارة المياه. "*معلومات الأمطار الشهرية في المملكة العربية السعودية*". الرياض، 2000م.

الوليعي، عبدالله ناصر. *جيولوجية وجيومورفولوجية المملكة العربية السعودية: أشكال السطح*. *الرياض*، 1996م.

ثانياً: المراجع الأجنبية

Adamo, S. and K. Crews-Meyer. "Aridity and desertification: exploring environmental hazards in Ja´chal, Argentina". *Applied Geography*, 26 (2006), 61–85.

Ares J., H. Valle, and A. Bisigato. "Detection of process-related changes in plant patterns at extended spatial scales during early dryland desertification". *Global Change Biology*, 9 (2003), 1643–1659.

Bader, Talat. "*Hazards of sand drifting in Saudi Arabia*". In: The Symposium on Desert Studies in the Kingdom of Saudi Arabia: Extant and Implementation. 4 (1994), 115-136.

Baret, F., and G. Guyot."Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment". *Remote Sensing of Environment*, 54 (1991), 141-151.

Bhuiyan, C., R. Singh, and F. Kogan. "Monitoring Drought Dynamics in the Aravalli Region (India) Using different indices based on ground and remote sensing data". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8, (2006) 289–302.

Boschetti, M., S. Bocchi, and P. Brivio. "Assessment of pasture production in the Italian Alps using spectrometric and remote sensing information" . *Agriculture & Natural Environment*, 118 (2007), 267-272.

Chen, J., M. zhang, L. Wang, H. Shimazaki, and M. Tamura. "A new Index for mapping lichen-dominated biological soil crust in desert areas". *Remote Sensing of Environment*, 96 (2005), 165-175.

Chikhaoui, M., F. Bonn, A. Bokoye, and A. Merzouk. "A spectral Index for land degradation mapping using ASTER data: application to a semi-arid Mediterranean catchment". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7 (2005) 140–153.

Collado, A., E. Chuviecow, & A. Camarasaw. "Satellite remote sensing analysis to monitor desertification processes in the crop -Rangeland boundary of Argentina". *Journal of Arid Environments*, 52 (2002) 121–133.

Davidson, A., and F. Csillag. "The influence of vegetation index and and spatial resolution on a two-date remote sensing-derived relation to C4 Species Coverage". *Remote Sensing of Environment. 75 (2001)*, 138-151.

Diouf , A., and E. Lambin. "Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal". *Journal of Arid Environments* , 48 (2001), 129–148.

Eldridge, D. and R. Rosentreter. "Morphological groups: a Framework for monitoring microphytic crusts in arid landscapes". *Journal of Arid Environments*. 41(1999), 11–25.

Gilabert, M., J. Gonzalez-Piqueras, F. Garcia, and J. Melia. "A

generalized soil-adjusted vegetation index". *Remote Sensing of Environment*, 82 (2002), 303-310.

Harris A., G. Bryant, and J. Baird. "Mapping the effects of water stress on sphagnum : preliminary observations using airborne remote sensing". *Remote sensing of environment*, 100 (2006), 363-378 .

Hill, J., P. Hostert, G. Tsiourlis, P. Kasapidis, Th. Udelhoven, and C. Diemer. "Monitoring 20 years of increased grazing impact on the Greek Island of Crete with earth observation satellites". *Journal of Arid Environments*, 39 (1998) 165–178.

Hillel, D. and C. Rosenzweig. " Desertification in relation to climate variability and change" . *Advances in Agronomy,* 77 (2002), 1-38.

Huete, A. "A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(1988), 295-309.

Jensen, J. "*Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*". Prentice-Hall, NJ, USA, (1986).

Jordan, C. "Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor" . *Ecology*, 50 . (1969), 663-666.

Karnieli, A., Y. Kaufman, L. Remer, and A. Wald. "AFRI- Aerosol free vegetation index". *Remote Sensing of Environment*, 77 (2001), 10–21.

Lu, D., P. Mausel, E. Brodizio, and E. Moran. "Relationships between forest stand parameters and landsat TM spectral response in the Brazilian Amazon Basin". *Forest Ecology and Management*, 198 (2004), 149-167.

Mbow, C., K. Goita, and G. Benie. "Spectral indices and fire behavior simulation for fire risk assessment in savanna ecosystems". *Remote Sensing of Environment*, 91(2004), 1-13.

Okin G., W. Okin, D. Roberts, and B. Murray. "*Multiple endmember spectral mixture analysis: application to an arid/Semi-arid Landscape*". In The 1998 AVIRIS Workshop (1998) R.O. Green, Ed. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, (1989), pp. 291-300.

Qari, M., W. Shehata. "Evidence of desertification in the Western Region of Saudi Arabia, a remote sensing approach". *In*: The Symposium on desert studies in the Kingdom of Saudi Arabia (English section), 3 (1994), 459-473.

Qi, J., A. Chehbouni., A. Huete, H. Kerr, and S. Sorooshian. " A modified soil adjusted vegetation index (MSAVI). Remote Sensing of Environment, 48 (1994), 119– 126.

Palmer1 A., and A. Fortescue. "Remote sensing and change detection in rangelands" . Proceedings of the VIIth International Rangelands Congress, Durban, South Africa, (2005).

Rock, B., J. Vogelmann, D. Williams, A. Vogelmann, and T. Hoshizaki (1986). "Remote detection of forest damage" . *Bioscience*, 36, 439– 445.

Rondeaux, G., M. Steven, and F. Baret. "Optimization of soil-adjusted vegetation indices" . *Remote Sensing of Environment*, 55 (1996), 95-107.

Rouse J., R. Haas, J. Schell, and D. Deering. "Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS". Proceedings, Third ERTS Symposium, 1(1973), 48-62.

Sahai, B. "Remote sensing of desert: The Indian Experience". *Journal of Arid Environment*, 25 (1993), 173-185.

Steven, M. "The sensitivity of OSAVI vegetation index to observational parameters". *Remote Sensing of Environment*, 63(1998), 49-60.

Steven, M., T. Maltus, F. Baret, H. Xu, and M. Chooping. "Inter-calibration of vegetation indices from different sensor systems. *Remote Sensing of Environment*, 88(2003), 412-422.

Tanser. F. and A. Palmer. "The Application of a remotely-sensed diversity index to monitor degradation Patterns in a semi-arid, heterogeneous , South African landscape" . *Journal of Arid Environments* ,43 (1999), 477–484.

Ustin, S., S. Jacquemoud, A. Palacios-Orueta, L. Li, M. Whiting. "Remote sensing based assessment of biophysical indicators for Land degradation and desertification. In: Remote Sensing and Geo-information Processing in the Assessment and monitoring Land Degradation". Session-1 (2005), pp. 1-21.

Volcani , A. , A. Karnieli , and T. Svoray. "The use of remote sensing and GIS for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years". *Forest Ecology and Management*, 215 (2005), 239–250.

Wang, C., Z. Lu, and T. Haithcoat. "Using landsat images to Detect oak decline in the Mark Twain National Forest, Ozark Highlands". *In press: Forest Ecology and Management*, (2007).

Weber, B., K. Deustchweitz, T. Knen, S. Dojani, and B. Budel. "Remote sensing techniques for long-term monitoring of Biological soil crusts (BSCs)- A spectral characterization". *In: Remote Sensing and Geoinformation Processing in the Assessment and monitoring Land Degradation*, Session-1 (2005), pp. 108-113.

Wolter, P. "*Detection of moisture stress in Eastern White Pine Using a hand-held radiometer with landsat TM equivalent bands*". M. S. Thesis, University of New Hampshire (1990).

Zhang, M., J. Chenb, L. Wangc, X. Wanga, and Z. Gub. "The spatial distribution patterns of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, Northern Xinjiang, China". *Journal of Arid Environments*, 68 (2007), 599–610.

Zarco-Tejada, P., A. Berjon, and J. Miller. "Stress detection in crops with hyperspectral remote sensing and physical simulation models". *Proceedings of the Airborne Imaging Spectroscopy Workshop- Bruges (2004).*