

**التكافؤ الوظيفي بين المؤشرات النباتية الطيفية عند تقدير
التغطية النباتية من بيانات الأقمار الصناعية في منطقتي
الهدا والشفا شمال جبال السروات**

د. بسمة بنت سلامة الرحيلي

e-mail: basma122008@gmail.com

التكافؤ الوظيفي بين المؤشرات النباتية الطيفية عند تقدير التغطية النباتية من بيانات الأقمار الصناعية في منطقتي الهدا والشفا شمال جبال السروات

د. بسمة بنت سلامة الرحيلي

e-mail: basma122008@gmail.com

ملخص البحث :

أدى اختلاف كفاءة المؤشرات النباتية الطيفية في تقدير التغطية النباتية، إلى تطوير العديد من المؤشرات النباتية بهدف الوصول إلى مؤشرات نباتية قادرة على استكشاف الخلايا النباتية، والفصل بين التربة والنبات بفاعلية كبيرة. لذلك قامت الدراسة بالتعرف على التكافؤ الوظيفي لنحو ٢٢ مؤشر نباتي طيفي، عند تقدير التغطية النباتية في منطقتي الهدا والشفا شمال جبال السروات. وذلك من خلال معرفة علاقة المؤشرات النباتية بعضها ببعض، وعلاقتها بنطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، وتحديد المدى الديناميكي لكل مؤشر نباتي. وقد اعتمد البحث لتحقيق ذلك على بيانات القمر الصناعي SPOT-5، وخضعت البيانات للمعالجة في برامج Idrisi 9.1، ERDAS IMAGINE 9.1، ArcGIS 9.2، Taiga 16.0، Regress، Spatial modeler، Operator، Classification، Overlay، Spatial analyst.

وقد توصلت الدراسة إلى أن مؤشري MGNDVI وMNDVI يمثلان أقل المؤشرات النباتية ارتباطاً بجميع المؤشرات النباتية. وأن هنالك علاقة ارتباط قوية بين مؤشرات، PVI2، AVI، TSAVI2، DVI، GEMI، TSAVI1، EVI2، GNDVI ونطاق NIR في الفترة الجافة، ومؤشرات PVI2، AVI، GEMI، DVI ونطاق NIR في الفترة الرطبة. كما تبين اختلاف المدى الديناميكي لجميع المؤشرات النباتية، إذ لم يتفق مدى مؤشرين نباتيين حتى في الفترة الزمانية نفسها. وقد اتضح أن لمؤشرات TSAVI2، NRVI، NDVI، GESAVI، GNDVI، TSAVI1، OSAVI حساسية مرتفعة للنبات. كما تبين انخفاض حساسية مؤشرات PVI2، WDVI، EVI2، DVI، PVI2، EVI2 للنباتات في الفترتين الجافة والرطبة. وقد أظهر المتوسط الحسابي لمؤشرات TNDVI، IPVI،

GEMI، MGNDVI، MNDVI أن منطقة الدراسة كثيفة النباتات. كما صنف المتوسط الحسابي لمؤشرات OSAVI، PVI2، SAVI، DVI، MSAVI2، MSAVI1، EVI2، TSAVI1، WDVI، PVI1 في الفترة الجافة، ولمؤشرات GESAVI، EVI2، WDVI، PVI1 في الفترة الرطبة منطقة الدراسة بأنها فقيرة نباتياً. وأوصت الدراسة في نهايتها بضرورة أخذ أكثر من مؤشر نباتي طيفي عند استخدام المؤشرات النباتية في تقدير أي خاصية من خصائص الغطاء النباتي.

كلمات مفتاحية:

الاستشعار عن بعد، المؤشرات النباتية الطيفية، التكافؤ الوظيفي، التغطية النباتية، بيانات القمر الصناعي SPOT-5.

١- مقدمة:

تعد المؤشرات النباتية الطيفية أسلوب تحليلي فعال للكشف عن النباتات الخضراء وتقييمها كميًا من بيانات الأقمار الصناعية (Eastman, 2001, p.89). وتحسب المؤشرات النباتية الطيفية كنسبة أو تطبيع للفروق بين نطاقي الأشعة تحت الحمراء القريبة والأشعة المرئية، واستخدمت على نطاق واسع لاستخراج الخصائص البيوفيزيائية للنبات لأكثر من ثلاثة عقود (Vescovo and Gianelle, 2008, p. 1765). وقد كشف التفاوت بين مظاهر سطح الأرض الطبيعية مثل: مناطق الغابات الكثيفة والمراعي الجافة والرطبة، عن كثير من مشكلات تطبيق المؤشرات النباتية في تلك البيئات، مما أدى إلى ظهور وتطوير نحو ١٥٠ مؤشراً نباتياً في الأبحاث العلمية (Verrelst, et al., 2006, p.678). وذلك في محاولة لتحسين حساسية المؤشر النباتي، والتغلب على كل ما يقلل من فاعليته في تقدير أو رصد خصائص النبات، مع الأخذ في الاعتبار الظروف الخارجية والداخلية التي تؤثر في قدرة المؤشر النباتي في المنطقة المدروسة.

وقد حظيت بعض الظروف الطبيعية بالنصيب الأكبر من اهتمام الباحثين مثل: التربة في المناطق الجافة وشبه الجافة، ودرجة الخضرة في مناطق النباتات الكثيفة، والظل فيها، إضافة إلى مكونات الغلاف الجوي. وعلى الرغم من عدم أهمية تأثير التربة على المؤشرات النباتية في المناطق ذات

et al., 2001; Driss, et al., 2004; Guo and Richard, 2004; Vaiopoulos, et al., 2004; Viña, et al., 2004; Skianis, et al., 2005; Ajorlo and Abdullah, 2007; Ji and Peters, 2007; Wu, et al., 2007; Darvishzadeh, et al., 2008; Vescovo and Gianelle, 2008; Sjostrom, et al., 2010; Stevena, et al., 2009), ورغم الاختلاف بينها في اختيار المؤشرات النباتية، وفي المناطق التي طبقت عليها، إلا أنها خلصت جميعاً إلا أن أغلب المؤشرات النباتية ليست متطابقة ولكنها مترابطة إلى حد كبير جداً في المناطق التي طبقت عليها.

ونظراً لاختلاف طبيعة الغطاء النباتي الطبيعي في منطقتي الهدا والشفا الواقعتين شمال جبال السروات عن تلك المناطق التي طبقت عليها تلك المؤشرات النباتية، وقلة المناطق المنبسطة بها، وكثرة الانحدارات والصخور فيها، مما قد يؤثر على قدرة المؤشرات النباتية في تمييز التغطية النباتية في المنطقة بكفاءة عالية. لذلك كان لابد من معرفة مقدار التكافؤ الوظيفي بين المؤشرات النباتية عند تقدير التغطية النباتية من بيانات الأقمار الصناعية في منطقتي الهدا والشفا، من خلال معرفة علاقة المؤشرات النباتية بعضها ببعض، وعلاقتها بنطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، وكفاءة متغيراتها الكمية عند تقدير التغطية النباتية، وذلك من أجل تحديد أكثر المؤشرات النباتية فاعلية في تقدير التغطية النباتية في تلك المنطقة.

٢- مشكلة البحث:

تفاوت قدرة المؤشرات النباتية في التغلب على المؤثرات الخارجية والداخلية، لذلك برزت ضرورة ملحة للتعرف على درجة تكافؤها الوظيفي عند تقدير ورصد خصائص الغطاء النباتي في كثير من مناطق العالم، وفي بيئات متباينة في مناخها وتضاريسها ونباتاتها، في محاولة لتطبيع جميع هذه الاختلافات في مؤشر نباتي مثالي Ideal vegetation index ذي مدى ديناميكي واسع، وحساسية عالية للغطاء النباتي، وحساسية منخفضة للتربة، لا يتأثر بقدرة التمييز المكانية والطيفية للواقط الأقمار الصناعية، وقليل التأثير بالغلاف الجوي وتأثيرات البيئة، ولا يتشبع بسرعة (Bannari and Asalhi, 2004).

ونتيجة لوقوع منطقتي الهدا والشفا شمال جبال السروات

التغطية النباتية الكثيفة، إلا أن حدتها تبرز كلما قل مقدار التغطية النباتية (Ramachandra, 2007, p.18)، وذلك في المناطق التي تسود فيها الأشجار والأجزاء قليلة الخضرة، والمبعثرة التي تتزايد مسافة التباعد بينها، كالمناطق الجافة وشبه الجافة التي تتميز بتغطيتها النباتية المنخفضة، والتي لا تزيد نسبتها عن ٤٠٪، مما يؤدي إلى انخفاض قدرة لواقط (مستشعرات) الأقمار الصناعية على اكتشاف النباتات، وإظهار الإشارة الطيفية غالباً للتربة (Karnieli, et al., 2002, p.4076). بحيث يصعب الفصل بين انعكاس التربة وانعكاس النبات ضمن الخلية الواحدة، وبالتالي يحدث خطأ في تقدير مقدار التغطية النباتية (Gilabert, et al., 2002, p.303). ويتأثر بذلك أداء المؤشرات النباتية سلباً، إذ تصبح غير قادرة على التحسس للنباتات الفقيرة والفقيرة جداً، وتكون أكثر حساسية لاختلافات الخصائص الطيفية للتربة والصخور، مما يؤدي إلى المبالغة في تقدير نسبة التربة الجافة شديدة السطوع والصخور إلى النباتات قليلة الخضرة، وبالتالي إساءة فهم اختلافات الكتلة الخضراء الحية، وعدم تقدير خصائص الغطاء النباتي بشكل دقيق (Elvidge and Lyon, 1985, p.265).

وللتغلب على هذه المشكلة ظهرت مجموعة من المؤشرات النباتية المعدلة للتربة (NDVI, TNDVI, PVI, SAVI, OSAVI, MSAVI, GESAVI, ...etc) في محاولة للتقليل من تأثير سطوعها على النبات (Richardson and Wiegand, 1977; Tucker, 1979; Lantenschlager and Perry, 1981; Perry and Lautenschlager, 1984; Huete, 1988; Crippen, 1990; Anderson and Hanson, 1992; Qi, et al., 1994; Leprieur, et al., 1994; Rondeaux, et al., 1996; Huete, et al., 1997; Lawrence and Ripple, 1998; Gilabert, et al., 2002) إلا أن قدرة تلك المؤشرات النباتية المعدلة للتربة اختلفت في استبعاد تأثير التربة، إذ استطاعت بعض المؤشرات النباتية استبعادها بكفاءة عالية، في حين أن البعض الآخر مازال في حاجة إلى مزيد من التعديل، ليكون أكثر حساسية للنبات. وقد اهتمت دراسات عديدة بتقييم كفاءة تلك المؤشرات النباتية بهدف معرفة أفضل المؤشرات النباتية فاعلية في تقدير خصائص الغطاء النباتي وتحديد مقدار التكافؤ الوظيفي بينها، منها دراسات: (McDonald, et al., 1998; Nagler,

٤- منطقة الدراسة:

تمتد منطقة الدراسة في الجزء الشمالي من جبال السَّرَوَات في المملكة العربية السُّعُودِيَّة، وذلك بين دائرتي عرض ٢٣° ٠٠' ٢١° و ٢٣° ٢٣' ٢١° شمالاً، وخطي طول ١٧° ١٢' ٤٠° و ٢٨° ٢٨' ٤٠° شرقاً، وهي تتمثل في منطقتي الشِّفَا والهِدَا (شكل ١). وتقع منطقة الشِّفَا إلى الجنوب الغربي من مدينة الطَّائِف، يتراوح ارتفاعها ما بين ١٨٠٠-٢٠٠٠ م فوق مستوى سطح البحر، ويصل أقصى ارتفاع فيها إلى نحو ٢٦٠٠ م فوق مستوى سطح البحر، لذلك تتمتع بمناخ معتدل خلال شهور فصل الصيف مما ساهم في وفرة غطائها النباتي (وزارة الزراعة، ١٤٢٨هـ، ص ١١٩، ص ٣٤٧). والشِّفَا هو جرف الجبال أو الكوستا من أعلاه، المطل على غور تهامة من جبال الحجاز (الغنيمة، ١٤٢٦هـ، ص ١٦٢). أما منطقة الهدَا فتقع إلى الغرب من مدينة الطَّائِف، وهي منطقة جبلية وعرة يصل ارتفاعها إلى أكثر من ٢١٠٠ م فوق مستوى سطح البحر، وتتمتع أيضاً بوفرة غطائها النباتي (وزارة الزراعة، ١٤٢٨هـ، ص ١١٩، ص ٣٤٧). ومن أجل تحديد منطقة الدراسة بشكل دقيق، تم اتخاذ حد طبيعي يفصل منطقتي الشِّفَا والهِدَا عن ما يجاورهما، ويتمثل هذا الحد في خط منسوب الارتفاع أو الخط الكنتوري ١٩٠٠ م، وذلك لتمثيلة قيمة العتبة Threshold التي تعد الحد الفاصل بين المنحدرات والمنطقة المستوية، والتي يبدأ منها ظهور منطقة الهدَا وبعده بقليل منطقة الشِّفَا كمنطقة مستوية، أو يبدأ عندها رأس الجبال (الكوستا) في الظهور وذلك من الجهة الغربية للمنطقة. وبذلك تغطي منطقة الدراسة مساحة تقدر بنحو ٤١٩.٤٠١ كم^٢، تختلف في طبوغرافيتها من مكان لآخر، وتتنوع في نباتاتها ودرجة كثافتها من جهة لأخرى (شكل ١).

٥- منهج البحث:

تم التعرف على التكافؤ الوظيفي بين المؤشرات النباتية عند تقدير التغطية النباتية من بيانات الأقمار الصناعية في منطقتي الهدَا والشِّفَا شمال جبال السَّرَوَات بالمملكة العربية السُّعُودِيَّة، وفق المنهج الآتي:

أ- اختيار المؤشرات النباتية الطيفية Selection of vegetation indices

تم اختيار المؤشرات النباتية الطيفية التي اختبرت في

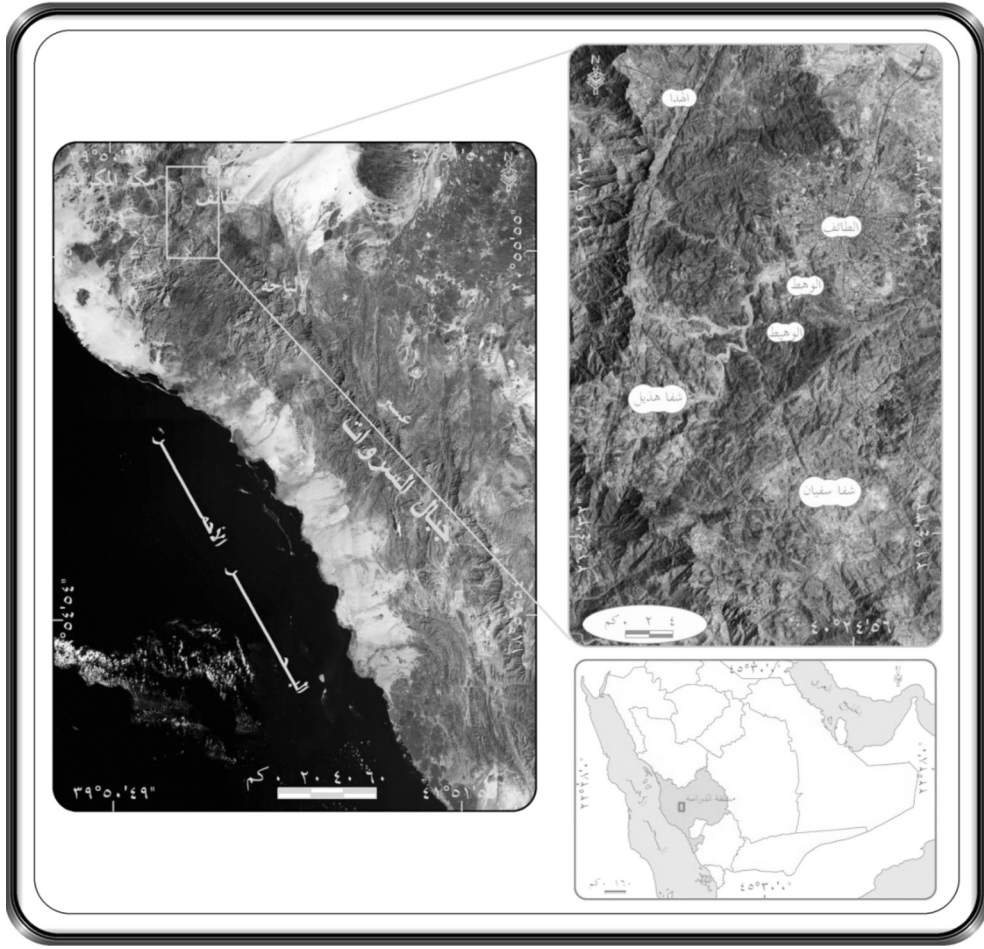
في منطقة جافة وشبه جافة، يجعل منهما عرضة لمشكلة انخفاض حساسية بعض المؤشرات النباتية للنبات، مع ارتفاع حساسيتها للتربة. وغالباً ما تؤدي تلك المشكلة إلى صعوبة الفصل بين التربة والنبات، بسبب سطوع التربة العالي، الذي يفوق انعكاس النبات، مما يعيق تحديد مقدار التغطية النباتية، ورصد الإنتاج الصافي، ومقدار محتوى الكلوروفيل في النباتات بالمنطقة. كذلك تتأثر المؤشرات النباتية في منطقتي الهدَا والشِّفَا بالصخور التي تغطي أغلب مساحتها، إذ قد تنخفض قدرة بعضها على التحسس للنبات، نتيجة تأثرها بانعكاس الصخور أكثر من انعكاس النبات، مما يقلل من قدرتها على تمييز التغطية النباتية في المنطقة. لذلك رأت الدراسة التعرف على التكافؤ الوظيفي بين المؤشرات النباتية الطيفية عند تقدير التغطية النباتية، والتي طورت في بيئات قد لا تماثل في كثير من الأحيان بيئة منطقتي الهدَا والشِّفَا، عن طريق التعرف على العلاقة بين المؤشرات النباتية بعضها ببعض عند تقدير التغطية النباتية، باستخدام بيانات أقمار صناعية متعددة الأطياف Multispectral، وذلك في عام ٢٠١٠ م ليمثل فترة جفاف التربة والنبات، وعام ٢٠١١ م ليمثل فترة رطوبة التربة والنبات. مع إيجاد العلاقة بين المؤشرات النباتية ونطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، والكشف عن مقدار كفاءة المتغيرات الكمية للمؤشرات النباتية في تقدير التغطية النباتية في منطقتي الهدَا والشِّفَا شمال جبال السَّرَوَات.

٣- أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى التعرف على التكافؤ الوظيفي بين المؤشرات النباتية عند تقدير التغطية النباتية من بيانات الأقمار الصناعية في منطقتي الهدَا والشِّفَا من خلال ما يأتي:

- أ- التعرف على العلاقة بين المؤشرات النباتية بعضها ببعض عند تقدير التغطية النباتية في منطقتي الهدَا والشِّفَا.
- ب- إيجاد العلاقة بين المؤشرات النباتية ونطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR عند تقدير التغطية النباتية في منطقتي الهدَا والشِّفَا.
- ج- الكشف عن مقدار كفاءة المتغيرات الكمية للمؤشرات النباتية في تقدير التغطية النباتية في منطقتي الهدَا والشِّفَا شمال جبال السَّرَوَات.

منطقة الدراسة، بناءً على نتائج الدراسات السابقة التي تناولت فاعلية المؤشرات النباتية الطيفية في تقدير التغطية النباتية، وأكثرها شيوعاً



شكل (١) موقع منطقة الدراسة.

ب- مصادر البيانات:

من أجل التعرف على التكافؤ الوظيفي بين المؤشرات النباتية في منطقة الدراسة، تم الاعتماد بصورة كبيرة على البيانات الوصفية كجزء مهم ومكمل للبيانات المكانية، والتي من أهمها الكتب والأبحاث العلمية التي تناولت المؤشرات النباتية ومعادلاتها والغطاء النباتي في منطقة الدراسة،

وقدرة على تقادي تأثيرات انعكاس التربة، ومكونات الغلاف الجوي، والتضاريس (الظل)، وهي الظروف التي من المتوقع أن تكون الأكثر تأثيراً في المؤشرات النباتية في منطقة الدراسة. كما استبعدت الدراسة المؤشرات النباتية التي تعتمد على نطاق الأشعة الزرقاء، لعدم وجود نطاق طيفي لها ضمن الأطوال الموجية في بيانات القمر الصناعي SPOT-5 الذي يعتمد عليه البحث. وقد ضمت المؤشرات النباتية المختارة مؤشرات تعتمد على معاملات خط التربة وأخرى تعتمد على معامل ثابت لإزالة تأثير التربة، وأخرى لا يدخل فيها أي معامل لإزالة تأثير التربة. (جدول ١).

جدول (١) معادلات المؤشرات النباتية المختارة في هذا البحث.

Number	Vegetation Index	Formula	Source and reference
1	Advanced vegetation index (AVI).	$AVI = \sqrt{[(NIR \times (255 - Red) \times (NIR - Red))]}$	Azizia, et al., 2008.
2	Enhanced vegetation index (EVI2).	$EVI2 = G \times [(NIR - Red) / (NIR + \beta \times Red + L)]$ $G=2.5, \beta=2.4, L=1$	Jiang, et al. 2008.
3	Global environment monitoring index (GEMI).	$GEMI = \eta(1-0.25\eta) - [(Red-0.125)/(1-Red)]$ $\eta = \frac{2(NIR^2 - Red^2) + 0.5 Red}{NIR + Red + 0.5}$	Pinty and Verstraete, 1992.
4	Green normalized difference vegetation index (GNDVI).	$GNDVI = NIR - Green / NIR + Green$	Gitelson, et al., 1996.
5	Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI).	$IPVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red)] + 1/2$	Crippen, 1990.
6	Modified green normalized difference vegetation index (MGNDVI).	$MGNDVI = SWIR - Green / SWIR + Green$	Gitelson, et al., 1996.
7	Modified normalized difference vegetation index (MNDVI).	$MNDVI = (SWIR - Red) / (SWIR + Red)$	Rouse, et al., 1973.
8	Modified soil-adjusted vegetation index (MSAVI2)	$MSAVI2 = [2 \times NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR - Red)}] / 2$	Qi, et al., 1994.
9	Normalized difference vegetation index (NDVI).	$NDVI = NIR - Red / NIR + Red$	Rouse et al., 1973.
10	Normalized ratio vegetation index (NRVI).	$1 / RVI + 1NRVI = RVI - RVI = NIR / Red$	Baret and Guyot, 1991.
11	optimized soil-adjusted vegetation index (OSAVI).	$OSAVI = (NIR - Red) / (NIR + Red + 0.16)$	Rondeaux, et al., 1996.
12	Soil-adjusted vegetation index (SAVI).	$SAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + L)](1 + L)$ $L = 0.5$	Huete, 1988.
13	Transformed normalized difference vegetation index (TNDVI).	$TNDVI = \sqrt{[(NIR - Red) / (NIR + Red + 0.5)]}$	Tucker, 1979.
14	Difference Vegetation Index (DVI).	$DVI = a \times NIR - Red$ $a = \text{slope}$	Richardson and Wiegand, 1977.
15	Generalized soil-adjusted vegetation index (GESAVI).	$GESAVI = (NIR - b Red - a) / (Red + z)$ $a = \text{slope}, b = \text{intercept}, z = 0.35$	Gilbert, et al., 2002.
16	Modified soil-adjusted vegetation index (MSAVI1).	$MSAVI1 = [(NIR - Red) / (NIR + Red + L)](1 + L)$ $L = 1 - 2y NDVI \times WDV$	Qi, et al., 1994.
17	Perpendicular vegetation index (PVI1).	$PVI1 = (b NIR - Red + a) / \sqrt{(1 + b^2)}$ $a = \text{slope}, b = \text{intercept.}$	Perry and Lautenschlager (1984).
18	Perpendicular vegetation index (PVI2).	$PVI2 = (NIR - a) (Red + b) / \sqrt{(1 + a^2)}$ $a = \text{slope}, b = \text{intercept.}$	Walther and Shabaani, 1991.
19	Transformed soil-adjusted vegetation index (TSAVI1).	$TSAVI1 = a \times [(NIR - a) \times (Red - b)] / [(Red + a) (NIR - a \times b)]$ $a = \text{slope}, b = \text{intercept.}$	Baret, et al., 1989.
20	Transformed soil-adjusted vegetation index (TSAVI2).	$TSAVI2 = a (NIR - a \times Red - b) / (Red + a \times NIR - a \times b + 0.08(1 + a^2))$ $a = \text{slope}, b = \text{intercept.}$	Baret and Guyot, 1991.
21	Wide dynamic range vegetation index (WDRVI).	$WDRVI = (a \times NIR - Red) / (a \times NIR + Red)$ $a = \text{slope.}$	Gitelson, 2004.
22	Weighted difference vegetation index (WDVI).	$WDVI = NIR - Y Red$ $y = \text{slope.}$	Clevers, 1989.

في zenith angle. ES الإشعاع الشمسي Solar radiation في الطول الموجي المناسب (Houlès. et al., 2006. p. 32).

• تطبيق النموذج الرياضي 6S Model، ويتطلب هذا النموذج إدخال مجموعة من البيانات التي تتعلق بالحالة الهندسية، والنطاقات الطيفية لبيانات القمر الصناعي، والظروف الجوية كالرطوبة والمواد الجوية وغيرها؛ وذلك من أجل الحصول على قيمة التي تدخل في معادلة تصحيح الغلاف الجوي، والتي هي كالآتي:

$$acr = y \div (1 + xc \times y) \quad (24)$$

حيث: y قيمة الانعكاس الطيفي للنطاق (ن)، xc القيمة المستخرجة من تطبيق النموذج الرياضي 6S Model للنطاق (ن) (Vermote. et al., 1997). وقد تم بناء النموذج الرياضي في برنامج ERDAS IMAGINE 9.1، بطريقة تُطبق فيها المعادلة لكل نطاق طيفي على حدة، ومن ثم تجمع في النهاية جميع النطاقات الطيفية للحصول على مرئية واحدة مصححة من تأثير الغلاف الجوي.

- التصحيح الهندسي Geometric correction :

اعتمد هذا البحث عند تصحيح المرئيات الفضائية هندسياً على الخريطة الطبوغرافية مقياس 1:500000. وقد صححت المرئية وفقاً للإحداثيات المترية UTM (مسقط ميركتور المستعرض)، بعد ذلك أخذت 86 نقطة تحكم أرضية في المرئية المراد تصحيحها، وزعت على كامل المرئية بطريقة المثلثات، من أجل المحافظة على اتزان المرئية وتقليل نسبة الخطأ. وقد بلغت نسبة خطأ التصحيح الهندسي نحو 0.455 (RMS = 0.455)، وهي أقل نسبة خطأ تم الوصول إليها، وأظهرت تطابق مكاني مع بين المرئيتين.

- حساب خط التربة Soil line:

قام البحث من أجل حساب خط التربة بالخطوات الآتية:
- اقتطاع منطقة خالية من النباتات تغطي التربة جميع أجزاءها، وذلك من مرئيات SPOT لعامي 2010م و2011م.
- تطبيق معادلة خط التربة على المنطقة المقتطعة في برنامج Idrisi Taiga 16.0. وتأخذ معادلة خط التربة الشكل الآتي:

$$NIR_{soil} = a R_{soil} + b \quad (25)$$

ويبين جدول (2) معاملات خط التربة (معاملات الانحدار الخطي Regression) التقاطع Intercept-a والانحدار Slope-b، التي تم حسابهما لعامي 2010م و2011م، والتي

والإحصاءات الحكومية، التي تم الحصول عليها من وزارة الزراعة، ضمن مشروع حصر الغابات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية. كما تتنوع مصادر البيانات المكانية التي اعتمد عليها البحث والتي هي كالآتي:

- بيانات الأقمار الصناعية:

اعتمد في هذا البحث بصورة أساسية على بيانات القمر الصناعي ، وقد أخذت بيانات هذا اللاقط في فترتين إحداهما في فصل الصيف بتاريخ 06/06/2010م، لتمثل الفترة الجافة للتربة والنبات، والأخرى في فصل الربيع بتاريخ 25/04/2011م، والتي تمثل الفترة الرطبة للتربة والنبات وذلك للتعرف على قدرة المؤشرات النباتية في عزل الانعكاس الطيفي للنبات عن الانعكاس الطيفي للتربة. وفي تمييز التغطية النباتية في منطقة الدراسة. وقد تم الحصول على بيانات الأقمار الصناعية من قسم الاستشعار عن بعد، في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية في المملكة العربية السعودية. كما تم الاستعانة ببيانات نموذج الارتفاع الرقمي DEM، البالغ دقته 30 متراً، من مركز نظم المعلومات الجغرافية التابع لمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية في المملكة العربية السعودية.

ج- معالجة البيانات:

تم معالجة وتحليل مرئيتي SPOT-5 لعامي 2010م و2011م، وفق مجموعة من الطرق وأساليب التحليل والمعالجة، وهي على النحو الآتي:

- تصحيح الغلاف الجوي Atmospheric correction:

خضعت جميع بيانات الدراسة لعملية تصحيح تأثير الغلاف الجوي باستخدام النموذج الرياضي 6S Model (Vermote. et al., 1997)، وتتلخص عملية التصحيح في الخطوات الآتية:

• تحويل مرئيات SPOT-5 لعامي 2010م و2011م من أعداد رقمية Digital number إلى قيم انعكاسات طيفية Reflectance's، وذلك باستخدام المعادلة الآتية:

$$P = \frac{Dc \pi}{G \cdot \cos(\theta_s) \cdot E_s} \quad (23)$$

حيث: P هي انعكاس أعلى طبقة من الغلاف الجوي TOA reflectance. الأعداد الرقمية G، Digital count قيمة Gain المعيارية في اللاقط، θ_s زاوية ميل الشمس Solar

يلاحظ رغم اختلافهما بين العامين، إلا أنهما سجلا قيماً للانحدار أعلى من ١٪. كذلك وجد أن معامل التحديد R^2 مرتفع بين

جدول (٢) معاملات خط التربة.

م ٢٠١١/٤/٢٥	م ٢٠١٠/٦/٦	معاملات خط التربة	الوصف	نوع التربة
٠,٠١٩١٨٧	٠,٠٢٢٣٨٥	<i>intercept-a</i>	الأشعة الحمراء كمتغير مستقل	تربة رملية جافة
١,١١٨٥٥٤	١,٠٩٠٠٥٧	<i>slope-b</i>		
٠,٩٧٣	٠,٩٥٧	<i>R</i>		
٠,٩٤٨	٠,٩١٦	R^2		
٠,٠٠٠٦٠٩-	٠,٠٠٦٢١٧-	<i>intercept-a</i>	الأشعة تحت الحمراء كمتغير مستقل	
٠,٨٤٧٧١٧	٠,٨٤٠٥٥٤	<i>slope-b</i>		
٠,٩٧٣	٠,٩٥٧	<i>R</i>		
٠,٩٤٨	٠,٩١٦	R^2		

- بناء النماذج الرياضية للمؤشرات النباتية:

استخدمت الدراسة في بناء معادلات المؤشرات النباتية وظيفه Spatial modeler في برنامج ERDAS IMAGINE9.1. بحيث أصبح لدى الدراسة ٢٢ نموذج رياضي جاهز لحساب المؤشرات النباتية به. بعد ذلك طبقت المؤشرات النباتية على مرئية عام ٢٠١٠م، ومن ثم مرئية عام ٢٠١١م، مع الحرص على تغيير معاملات خط التربة لكل عام.

- حساب العلاقات المكانية بين المتغيرات الإحصائية للدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة العلاقة المكانية بين المتغيرات الإحصائية لبياناتها، وقد استخدم لذلك وظيفه linear regression في برنامج Idrisi Taiga16.0، وذلك من أجل حساب العلاقة بين المؤشرات النباتية بعضها ببعض، والعلاقة بين المؤشرات النباتية ونطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR. وبذلك تمكنت الدراسة من إيجاد ٤٨٤ علاقة ارتباط بين المؤشرات النباتية بعضها ببعض، و٢٢ علاقة ارتباط بين المؤشرات النباتية ونطاق NIR، لكامل خلايا منطقة الدراسة.

نطاق الأشعة الحمراء Red والأشعة تحت الحمراء القريبة NIR في العامين، مما يدل على تجانس تربة المنطقة المختارة.

- التحقق من صحة اختيار موقع منطقة التربة، وذلك بأخذ نتائج معاملات خط التربة وتطبيق معادلة الانحدار الخطي عليها في برنامج ERDAS9.1.

- إدخال نتائج حساب معاملات خط التربة (التقاطع *Intercept-a* والانحدار *Slope-b*) في معادلات المؤشرات النباتية الطيفية التي تتطلب حساب خط التربة في هذه الدراسة.

- اقتطاع منطقة الدراسة:

اقتطعت منطقة الدراسة من مرئيتي عامي ٢٠١٠م و٢٠١١م باستخدام وظيفه Subset في برنامج ERDAS9.1 أولاً. ثم تم عمل Mask للمرئية المقتطعة، وذلك بتصنيف المرئية لفتين فقط، بحيث تصبح المنطقة خارج حدود منطقة الدراسة لها قيمة صفر، وفيما داخل حدود منطقة الدراسة لها قيمة واحد. بعد ذلك تم اقتطاع المرئية باستخدام وظيفه Operator، حيث يختار فيها طريقة ضرب المرئيات في Mask، كما يختار عملية الاقتطاع Intersection. وبذلك أصبحت المرئية معده لتطبيق المؤشرات النباتية عليها.

0- المناقشة والناتج:**أ- علاقة المؤشرات النباتية الطيفية بعضها ببعض:**

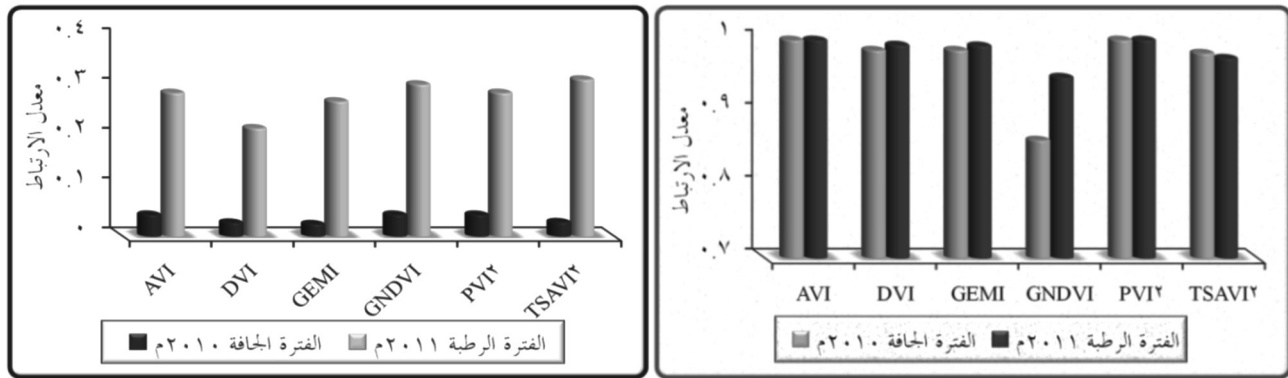
الرطوبة، حيث تراوح معدل الارتباط ما بين ٠,٢١٦ إلى ٠,٢١٨ (جدول ٣ وشكل ٢).

المجموعة الثانية: وهي تشمل مجموعة كبيرة من المؤشرات النباتية وهي: EVI2, GESAVI, MSAVI1, MSAVI2, OSAVI, PVI1, SAVI, TSAVI1, WdVI حيث وجدت الدراسة أن هناك علاقة ارتباط قوية بينها، إذ تراوح أعلى معدل ارتباط بينها في الفترة الجافة ما بين ٠,٩٩٩ إلى

أ- علاقة المؤشرات النباتية الطيفية بعضها ببعض:
ثبت من خلال ملاحظة مصفوفة الارتباط Correlation matrix التي حسبت بين ٢٢ مؤشراً نباتياً، وجود علاقة ارتباط قوية بين أغلب المؤشرات النباتية لكن بدرجة متفاوتة بين مؤشر نباتي وآخر. وقد قسمت المؤشرات النباتية وفقاً لقوة ارتباط بعضها ببعض إلى ثلاث مجموعات كما يأتي:
المجموعة الأولى: وهي تضم مؤشرات AVI, DVI, GEMI, GNDVI, PVI2, TSAVI2 وذلك لقوة علاقة الارتباط فيما بينها، إذ سجلت أعلى معدل ارتباط تراوح ما بين ٠,٩٩٩ إلى ٠,٨٦٢ في الفترة الجافة. في حين زادت قوة علاقة الارتباط بينها في الفترة الرطبة حيث تراوحت ما بين ٠,٩٩٩ إلى ٠,٩٤٨، مما يدل على تشابه قدرة هذه المؤشرات النباتية في حساسيتها المرتفعة للنبات، وتكافؤها الوظيفي. وقد بلغ أقل معدل ارتباط بين مؤشرات هذه المجموعة مع مؤشري MGNDVI, MNDVI، إذ أظهرت جميع مؤشرات هذه المجموعة علاقة ارتباط منخفضة جداً معهما في الفترة الجافة، حيث تراوح معدل الارتباط ما بين ٠,٠٤٤ إلى ٠,٠٢٥، وإن كان ظهر بعض التحسن في الفترة

جدول (٣) تقسيم المؤشرات النباتية إلى مجموعات وفقاً لعلاقة الارتباط بينها.

المجموعة	الفترة المناخية	المؤشرات النباتية التي لها أعلى معدل ارتباط	معدل الارتباط	المؤشرات النباتية التي لها أقل معدل ارتباط	معدل الارتباط
الأولى	جافة (٢٠١٠م)	AVI, DVI, GEMI, GNDVI, PVI2, TSAVI2	٠,٨٦٢ - ٠,٩٩٩	MGNDVI, MNDVI	٠,٢١٨ - ٠,٣١٦
	رطبة (٢٠١١م)		٠,٩٤٨ - ٠,٩٩٩		٠,٢١٦ - ٠,٢١٨
الثانية	جافة (٢٠١٠م)	EVI2, GESAVI, MSAVI1, MSAVI2, OSAVI, PVI1, SAVI, TSAVI1, WdVI	٠,٩٧٩ - ٠,٩٩٩	MGNDVI, MNDVI	٠,٠٤٩ - ٠,٠٩١
	رطبة (٢٠١١م)		٠,٩٩٨ - ٠,٩٩٩		٠,٣٣٩ - ٠,٣٦٠
الثالثة	جافة (٢٠١٠م)	IPVI, NDVI, NRVI, TNDVI, WDRVI	٠,٩٩٨ - ١	MGNDVI, MNDVI	٠,٠٨٩
	رطبة (٢٠١١م)		٠,٩٩٩ - ١		٠,٣٣٣ - ٠,٣٤١

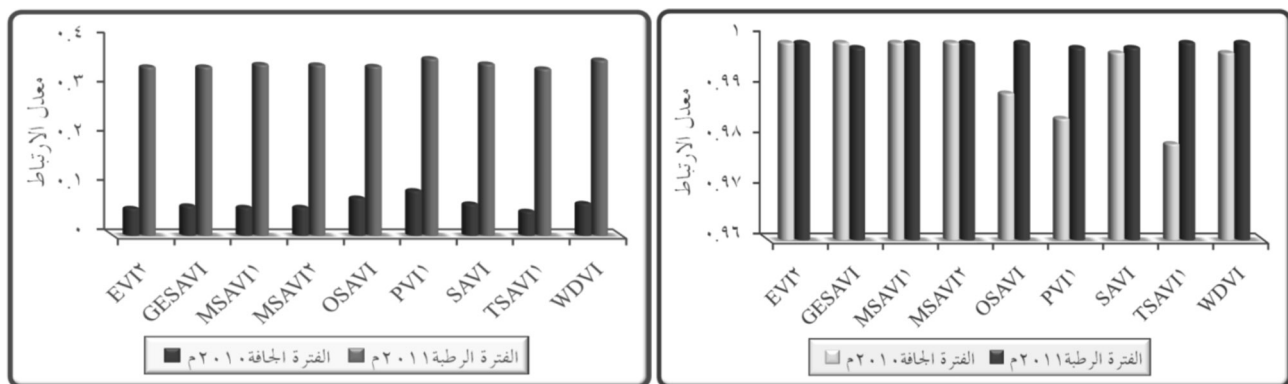


أ- أعلى معدل ارتباط
ب- أقل معدل ارتباط
شكل (٢) معدل الارتباط بين المؤشرات النباتية في المجموعة الأولى وفقاً لمصفوفة الارتباط.

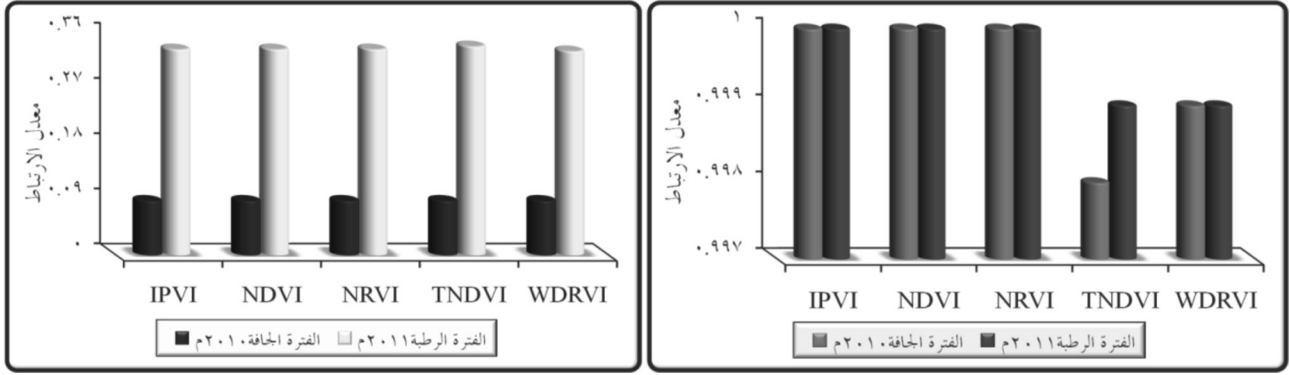
أعلى معدل ارتباط فيما بينها، تراوح ما بين ١ إلى ٠,٩٩٨، وفي الفترة الجافة، وما بين ١ إلى ٠,٩٩٩، في الفترة الرطبة. وذلك بسبب ارتفاع درجة التكافؤ الوظيفي بين المؤشرات في حساسيتها للتربة. وقد تبين أن مؤشري MGNDVI وMNDVI يمثلان أقل المؤشرات النباتية ارتباطاً بمؤشرات هذه المجموعة، حيث بلغ معدل الارتباط في الفترة الجافة نحو ٠,٠٨٩، أما في الفترة الرطبة فقد تراوح ما بين ٠,٣٤١ إلى ٠,٣٣٣، وذلك نتيجة لاختلاف النطاقات الطيفية التي يعتمد عليها هذان المؤشران النباتيان (نطاقاً الأشعة تحت الحمراء القصيرة SWIR والأشعة الخضراء)، عن النطاقات الطيفية التي تعتمد عليها بقية المؤشرات النباتية الأخرى (نطاقاً الأشعة الحمراء وتحت الحمراء القريبة NIR)، (جدول ٣ وشكل ٤).

٠,٩٧٩، مما يدل على تشابه حساسيتها للتربة مع زيادة جفافها. وفي الفترة الرطبة استمرت علاقة الارتباط القوية بين المؤشرات النباتية في هذه المجموعة، حيث تراوح أعلى معدل ارتباط بينها ما بين ٠,٩٩٩ إلى ٠,٩٩٨، وذلك نتيجة للتكافؤ الوظيفي بين هذه المؤشرات النباتية في تمييز التربة عن النبات في منطقتي الهدأ والشفا. وقد سجلت مؤشرات هذه المجموعة أقل ارتباطاً لها مع مؤشري MGNDVI وMNDVI، حيث تراوح معدل الارتباط ما بين ٠,٠٩١ إلى ٠,٠٤٩، في الفترة الجافة، مع ارتفاع طفيف في الفترة الرطبة، حيث تراوح ما بين ٠,٣٦٠ إلى ٠,٣٣٩، (جدول ٣ وشكل ٢).

المجموعة الثالثة: ضمت هذه المجموعة مؤشرات IPVI وNDVI، NRVI، TNDVI، WDRVI الارتباط بينها مقارنة ببقية المؤشرات النباتية، حيث سجلت



أ- أعلى معدل ارتباط
ب- أقل معدل ارتباط
شكل (٣) معدل الارتباط بين المؤشرات النباتية في المجموعة الثانية وفقاً لمصفوفة الارتباط.



ب- أقل معدل ارتباط

أ- أعلى معدل ارتباط

شكل (٤) معدل الارتباط بين المؤشرات النباتية في المجموعة الثالثة وفقاً لمصفوفة الارتباط.

ب- العلاقة بين المؤشرات النباتية الطيفية، ونطاق

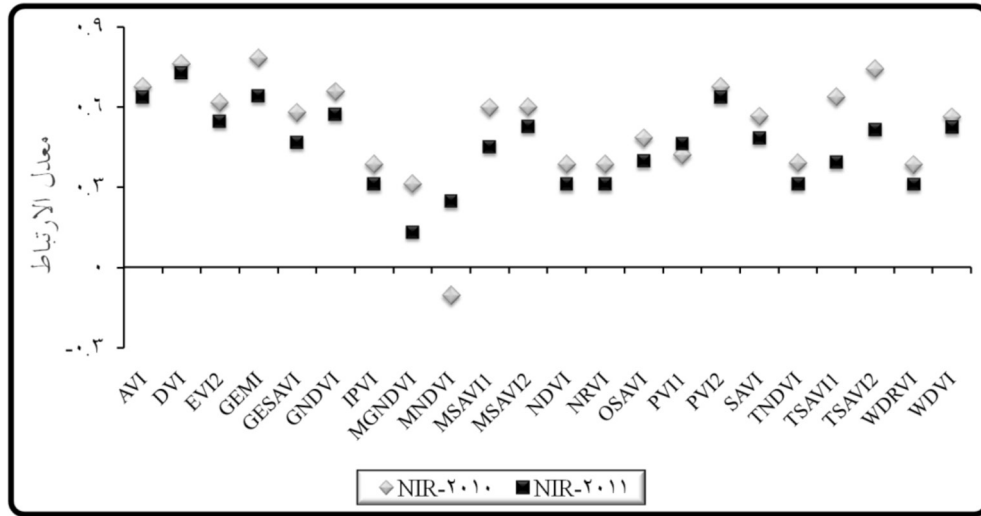
الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR:

تبين بصفة عامة من خلال ملاحظة جدول (٤)، أن العلاقة بين المؤشرات النباتية المختارة في هذه الدراسة ونطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، تختلف باختلاف قوة الارتباط بينها بغض النظر عن كون المؤشرات النباتية أساسها نسب رياضية أو أساسها مسافة بين نطاقي الأشعة الحمراء وتحت الحمراء القريبة NIR، إذ كلما زاد قوة علاقة الارتباط حتى يبلغ معدل الارتباط قيمة ١، دل ذلك على عدم حساسية المؤشر النباتي الطيفي للتربة وعدم قدرته على فصل انعكاسها عن انعكاس النبات. وكلما كانت العلاقة متوسطة واقترب معدل الارتباط من قيمة ٠،٥٠٠ دل ذلك على حساسية المؤشر النباتي الطيفي للنبات، وقدرته على تمييز فئات الكثافة النباتية، وفصلها عن التربة بكفاءة عالية، في حين دل ضعف العلاقة بين المؤشرات النباتية ونطاق NIR، واقترب معدل الارتباط من قيمة صفر على ارتفاع حساسية المؤشر النباتي للتربة، وانخفاض قدرته على تمييز انعكاسها عن انعكاس النبات، وبالتالي انخفاض قدرته على تقدير خصائص الغطاء النباتي في منطقة الدراسة.

ويتضح من جدول (٤) وشكل (٥) أن لبعض المؤشرات النباتية علاقة ارتباط قوية بنطاق NIR، في حين أظهرت بعض المؤشرات النباتية الأخرى علاقة متوسطة الارتباط، أما بعضها الآخر فقد كانت لها علاقة ارتباط ضعيفة بنطاق NIR. ووفقاً لقوة هذه العلاقة صنفت المؤشرات النباتية إلى ثلاث مجموعات هي:

جدول (٤) الارتباط بين المؤشرات النباتية، ونطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR.

NIR-2011	المؤشر النباتي	قوة علاقة الارتباط	NIR-2010	المؤشر النباتي	قوة علاقة الارتباط	أقسام المؤشرات النباتية
معدل الارتباط R			معدل الارتباط R			
٠,٦٣٩	GEMI	قوية الارتباط	٠,٧٨٢	GEMI	قوية الارتباط	المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية
٠,٦٣٤	AVI		٠,٦٧٥	AVI		
٠,٥٧٠	GNDVI	متوسطة الارتباط	٠,٦٥٧	GNDVI	متوسطة الارتباط	
٠,٥٤٥	EVI2		٠,٦١٥	EVI2		
٠,٥٢٥	MSAVI2		٠,٥٩٩	MSAVI2		
٠,٤٨٢	SAVI	ضعيفة الارتباط	٠,٥٦٤	SAVI	ضعيفة الارتباط	
٠,٣٩٦	OSAVI		٠,٤٨٣	OSAVI		
٠,٣١١	TNDVI		٠,٣٩٠	TNDVI		
٠,٣١٠	IPVI		٠,٣٨٥	IPVI		
٠,٣١٠	NDVI		٠,٣٨٥	NDVI		
٠,٣١٠	NRVI		٠,٣٨٥	NRVI		
٠,٢٤٦	MNDVI		٠,٣١١	MGNDVI		
٠,١٢٢	MGNDVI		٠,١٠٥-	MNDVI		
٠,٧٢٥	DVI	قوية الارتباط	٠,٧٦٠	DVI	قوية الارتباط	المؤشرات النباتية التي أساسها مسافة بين نطاقي NIR/Red
٠,٦٣٤	PVI2		٠,٧٤١	TSAVI2		
٠,٥٢٢	WDVI	متوسطة الارتباط	٠,٦٧٥	PVI2	متوسطة الارتباط	
٠,٥١٤	TSAVI2		٠,٦٣٧	TSAVI1		
٠,٤٦٦	GESAVI		٠,٥٩٧	MSAVI1		
٠,٤٦٢	PVI1		٠,٥٧٨	GESAVI		
٠,٤٤٨	MSAVI1		٠,٥٦٢	WDVI		
٠,٣٩٢	TSAVI1	ضعيفة الارتباط	٠,٤١٩	PVI1	ضعيفة الارتباط	
٠,٣١٠	WDRVI		٠,٣٨٣	WDRVI		



شكل (5) الارتباط بين المؤشرات النباتية ونطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR.

المجموعة الثالثة: تتكون هذه المجموعة من المؤشرات النباتية منخفضة أو ضعيفة الارتباط بنطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، وهي مؤشرات: IPVI، TNDVI، في الفترة الجافة، حيث تراوح معدل ارتباطها ما بين 0,390 إلى -0,105. أما في الفترة الرطبة فقد ضمت مؤشرات OSAVI، TNDVI، IPVI، NDVI، NRV1، MNDVI، WDRVI، MGNDVI، TSAVI1، حيث تراوح معدل ارتباطها بنطاق NIR ما بين 0,396 إلى 0,122، وهو معدل منخفض جداً ويقل كثيراً عن المعدل المتوسط (0,500). وقد يرجع سبب ذلك إلى انخفاض قدرة هذه المؤشرات على عزل انعكاس التربة عن انعكاس النبات.

ج- المدى الديناميكي للمؤشرات النباتية الطيفية:

وُجد عند تطبيق 22 مؤشراً نباتياً على منطقتي الهدا والشفا، اختلاف جميع المؤشرات النباتية في مداها الديناميكي، حيث لم يتفق مدى مؤشر نباتي واحد مع مدى مؤشر نباتي آخر حتى في الفترة الزمانية نفسها. إذ أظهرت جميع المؤشرات النباتية كما يتضح من شكل (6) وشكل (7) بغض النظر عن كون أساسها نسب رياضية أو مسافة بين نطاقي NIR/Red، تفاوتاً في قيم معدل الحد الأعلى، حيث تراوح ما بين 1 إلى 0,190 في الفترة الجافة، وما بين 1 إلى 0,214 في الفترة الرطبة. وكانت الحالة مثل ذلك في قيم معدل الحد الأدنى، إذ تراوح ما بين 0,686 إلى 0,319 في الفترة الجافة، وما بين 0,699 إلى 0,187 في الفترة الرطبة. ويوضح اتساع المدى للحددين الأعلى والأدنى مقدار

المجموعة الأولى: وهي تضم مؤشرات GEMI، AVI، GNDVI، EVI2، DVI، TSAVI2، PVI2، TSAVI1 تميزت مؤشرات هذه المجموعة بقوة علاقتها بنطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، إذ تراوح معدل ارتباطها ما بين 0,782 إلى 0,419 في الفترة الجافة. ويعد هذا المعدل مرتفع عن معدل 0,500، مما يدل على عدم حساسية هذه المؤشرات النباتية للتربة الجافة. ولكن مع تغير الظروف المناخية في المنطقة، كان لمؤشرات GEMI، AVI، DVI، PVI2 فقط علاقة ارتباط قوية بنطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، وإن كانت بمعدل ارتباط أقل من معدل الفترة الجافة، تراوح ما بين 0,725 و0,634.

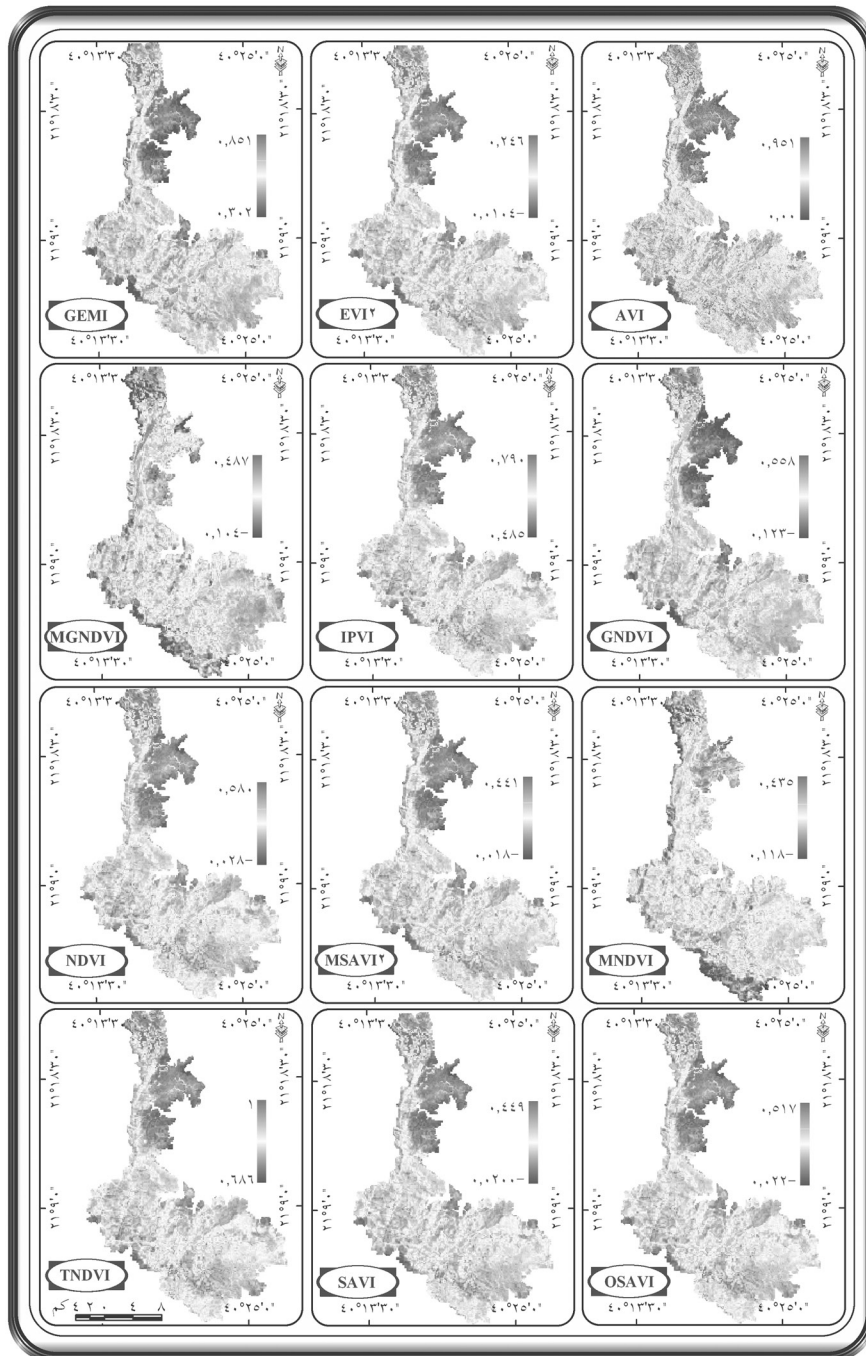
المجموعة الثانية: اشتملت هذه المجموعة على المؤشرات النباتية متوسطة الارتباط بنطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، وهي تضم مؤشرات MSAVI2، SAVI، OSAVI، MSAVI1، GESAVI، WDRVI، PVI1 في الفترة الجافة، حيث تراوح معدل ارتباطها ما بين 0,599 إلى 0,419. في حين أدى تحسن الظروف المناخية في الفترة الرطبة، إلى تحسن علاقة بعض المؤشرات النباتية بنطاق NIR عن الفترة الجافة وزيادة عددها، لتضم مؤشرات GNDVI، EVI2، MSAVI2، SAVI، MSAVI1، GESAVI، WDRVI، PVI1، TSAVI2، التي تراوح معدل ارتباطها ما بين 0,570 إلى 0,448. ويعد معدل الارتباط في الفترتين الجافة والرطبة قريب جداً من المعدل المتوسط (0,500)، مما يدل على حساسية هذه المؤشرات النباتية للنبات، وانخفاض حساسيتها للتربة.

المجموعة الأولى: وهي تشمل مؤشرات TNDVI, AVI, GESAVI, GEMI, IPVI, TSAVI2 في الفترة الرطبة. وتمتاز هذه المؤشرات بشدة حساسيتها للنبات، وعدم حساسيتها للتربة في الفترتين الجافة والرطبة، مما أدى إلى مبالغة هذه المؤشرات النباتية في تقدير التغطية النباتية في منطقتي الهدا والشفا. حيث تراوح معدل الحد الأعلى لمؤشرات المجموعة الأولى ما بين ١ إلى ٠,٦١٥ في الفترة الجافة، وما بين ١ إلى ٠,٥٦٩ في الفترة الرطبة.

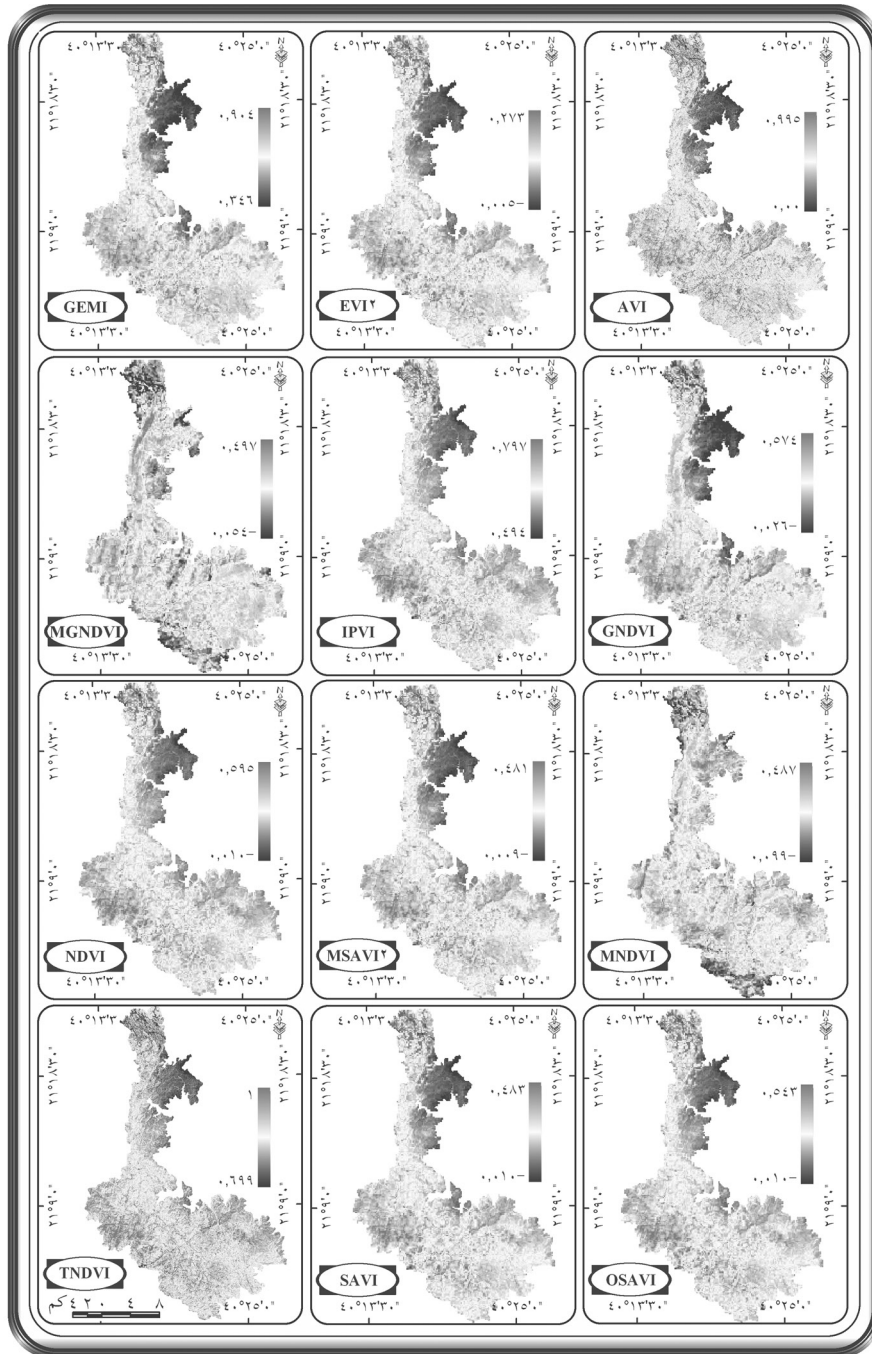
الاختلاف الكبير بين المؤشرات النباتية في تمييز شدة خضرة النبات وشدة سطوع التربة.

- الحد الأعلى للمدى الديناميكي:

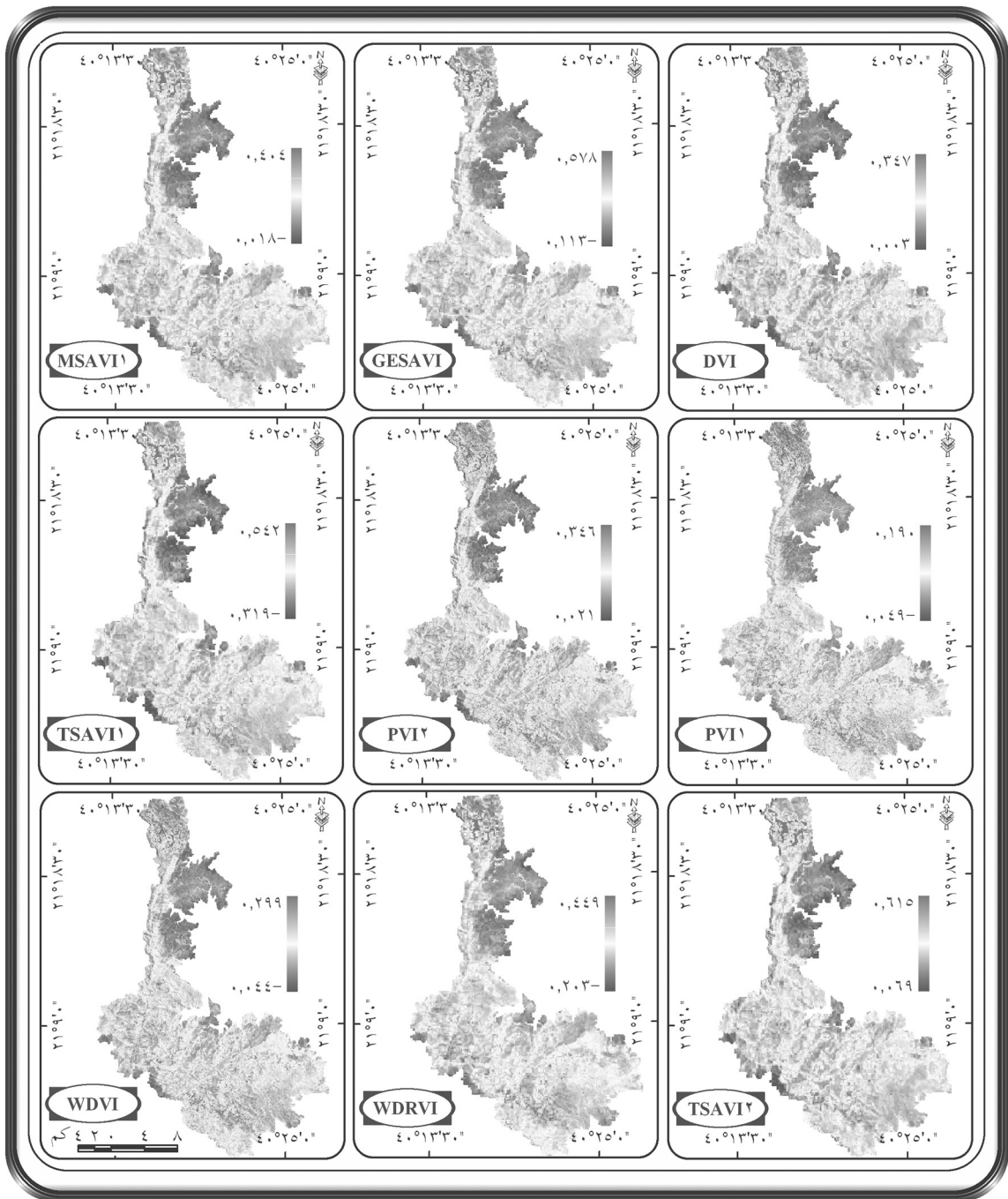
يظهر الحد الأعلى للمدى الديناميكي قدرة المؤشر النباتي على التحسس للنبات، إذ يتضح من خلال جدول (٥) وشكل (٨)، تفاوت الحد الأعلى للمدى الديناميكي، لذلك قسمت المؤشرات النباتية وفقاً لمعدل حدها الأعلى إلى أربع مجموعات، وذلك كما يأتي:



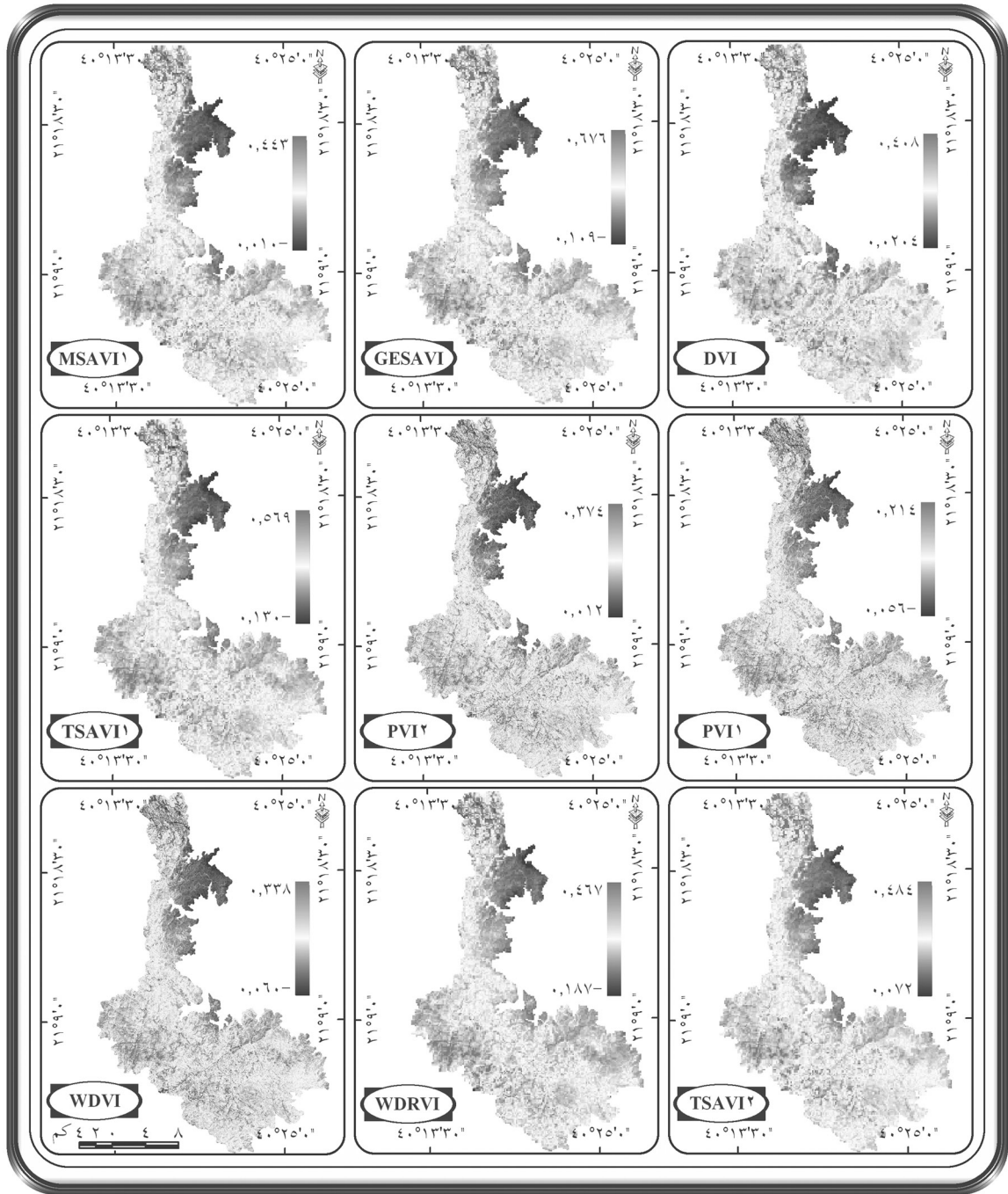
شكل (٦) المدى الديناميكي للمؤشرات النباتية التي أساسها تم حساب النسب الرياضية. أ- المؤشرات النباتية في الفترة الجافة ٢٠١٠م.



تابع شكل (٦) المدى الديناميكي للمؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية.
ب- المؤشرات النباتية في الفترة الرطبة ٢٠١١م.



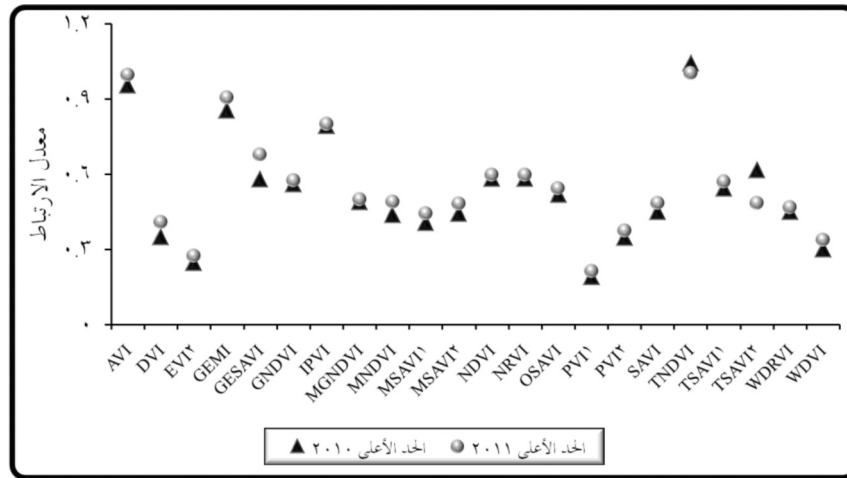
شكل (٧) المدى الديناميكي للمؤشرات النباتية التي أساسها مسافة بين نطاقي NIR/Red. أ- المؤشرات النباتية في الفترة الجافة ٢٠١٠م.



تابع شكل (٧) المدى الديناميكي للمؤشرات النباتية التي أساسها مسافة بين نطاقي NIR/Red.
ب- المؤشرات النباتية في الفترة الرطبة ٢٠١١م.

جدول (٥) الحد الأعلى للمؤشرات النباتية المطبقة على مرئية SPOT.

الفترة الرطبة ٢٠١١م		الفترة الجافة ٢٠١٠م		المجموعة	أقسام المؤشرات النباتية	
الحد الأعلى	المؤشر النباتي	الحد الأعلى	المؤشر النباتي			
١,٠٠	TNDVI	١,٠٠	TNDVI	الأولى	المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية	
٠,٩٩٥	AVI	٠,٩٥١	AVI			
٠,٩٠٤	GEMI	٠,٨٥١	GEMI			
٠,٧٩٧	IPVI	٠,٧٩٠	IPVI			
٠,٥٩٥	NRVI	٠,٥٨٠	NRVI	الثانية		
٠,٥٩٥	NDVI	٠,٥٨٠	NDVI			
٠,٥٧٤	GNDVI	٠,٥٥٨	GNDVI			
٠,٥٤٣	OSAVI	٠,٥١٧	OSAVI			
٠,٤٩٧	MGNDVI	٠,٤٨٧	MGNDVI	الثالثة		
٠,٤٨٧	MNDVI	٠,٤٣٥	MNDVI			
٠,٤٨٣	SAVI	٠,٤٤٩	SAVI			
٠,٤٨١	MSAVI2	٠,٤٤١	MSAVI2			
٠,٢٧٣	EVI2	٠,٢٤٦	EVI2	الرابعة		
٠,٦٧٦	GESAVI	٠,٦١٥	TSAVI2	الأولى		المؤشرات النباتية التي أساسها مسافة بين نطاقي NIR/Red
٠,٥٦٩	TSAVI1	٠,٥٧٨	GESAVI	الثانية		
٠,٤٨٤	TSAVI2	٠,٥٤٢	TSAVI1			
٠,٤٦٧	WDRVI	٠,٤٤٩	WDRVI			
٠,٤٤٣	MSAVI1	٠,٤٠٤	MSAVI1		الثالثة	
٠,٤٠٨	DVI	٠,٣٤٧	DVI			
٠,٣٧٤	PVI2	٠,٣٤٦	PVI2			
٠,٣٣٨	WDVI	٠,٢٩٩	WDVI	الرابعة		
٠,٢١٤	PVI1	٠,١٩٠	PVI1			



شكل (٨) الحد الأعلى للمؤشرات النباتية المطبقة على مرئية SPOT.

• الحد الأدنى للمدى الديناميكي:
يُظهر الحد الأدنى للمدى الديناميكي قدرة المؤشر النباتي على التحسس للتربة، وقد اتضح من جدول (٦) وشكل (٩)، أن هنالك تفاوت بين المؤشرات النباتية في حدودها الدنيا. لذلك قسمت المؤشرات النباتية وفقاً لمعدل الحد الأدنى للمدى الديناميكي إلى ثلاث مجموعات كما يأتي:

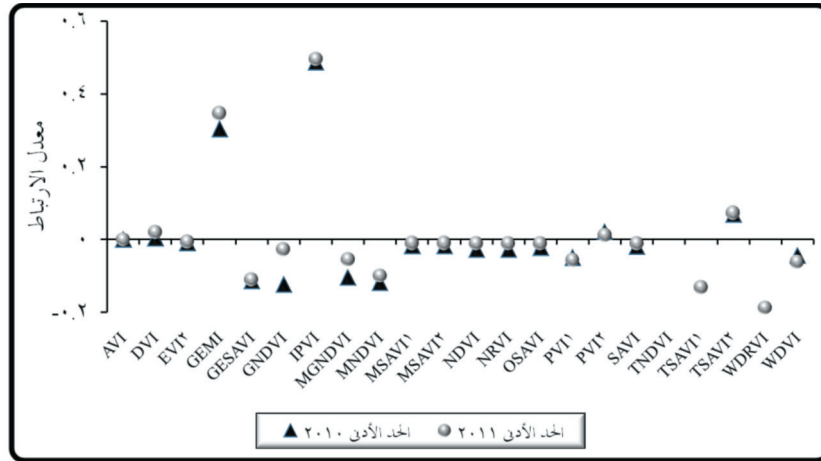
المجموعة الثانية: وهي تتكون من مؤشرات، NRVI، NDVI، GNDVI، OSAVI، GESAVI، TSAVI1، TSAVI2، WDRVI، MSAVI1، ويضاف لها مؤشري DVI في الفترة الرطبة، وتتميز هذه المؤشرات النباتية بحساسيتها المرتفعة للنبات، لكن بشكل لم يؤدي إلى المبالغة في تقدير كثافة التغطية النباتية في منطقتي الهدا والشفا كما في مؤشرات المجموعة الأولى. حيث تراوح معدل الحد الأعلى للمدى الديناميكي لهذه المؤشرات النباتية ما بين ٠,٥٨٠ إلى ٠,٤٠٤، في الفترة الجافة، وما بين ٠,٥٩٥ إلى ٠,٤٠٨ في الفترة الرطبة.

المجموعة الثالثة: وهي تشمل مؤشرات، MGNDVI، MNDVI، SAVI، MSAVI2، DVI، PVI2 لحساسيتها المتوسطة للنباتات في الفترتين الجافة والرطبة، باستثناء مؤشر DVI في الفترة الرطبة، حيث تراوح معدل الحد الأعلى ما بين ٠,٤٨٧ إلى ٠,٣٤٦ في الفترة الجافة، وما بين ٠,٤٩٧ إلى ٠,٣٢٨ في الفترة الرطبة. ويبين هذا المعدل قدرة مؤشرات هذه المجموعة على التحسس للنباتات الكثيفة.

المجموعة الرابعة: لم تضم سوى مؤشرات، EVI2، WDV1، PVI1، التي تميزت بانخفاض حساسيتها للنبات، وذلك بمعدل حد أعلى تراوح ما بين ٠,٢٤٦ إلى ٠,١٩٠ في الفترة الجافة، ومؤشري EVI2، PVI1 بمعدل بلغ نحو ٠,٢٧٣ ونحو ٠,٢١٤ على التوالي في الفترة الرطبة. وذلك بسبب إضافة معامل لإزالة تأثير التربة، وجعل المؤشر النباتي أقل حساسية لها، مما أدى إلى تشبع قيم هذا المؤشر النباتي، ومن التقليل من قدرته على التحسس للنباتات.

جدول (٦) الحد الأدنى للمؤشرات النباتية المطبقة على مرئية SPOT.

الفترة الرطبة ٢٠١١م		الفترة الجافة ٢٠١٠م		المجموعة	أقسام المؤشرات النباتية
الحد الأدنى	المؤشر النباتي	الحد الأدنى	المؤشر النباتي		
٠,٦٩٩	TNDVI	٠,٦٨٦	TNDVI	الأولى	المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية
٠,٤٩٤	IPVI	٠,٤٨٥	IPVI		
٠,٢٤٦	GEMI	٠,٢٠٢	GEMI		
صفر	AVI	صفر	AVI		
٠,٠٠٥-	EVI2	٠,٠١٠-	EVI2	الثانية	
٠,٠١٠-	MSAVI2	٠,٠١٨-	MSAVI2		
٠,٠١٠-	SAVI	٠,٠٢٠-	SAVI		
٠,٠١٠-	OSAVI	٠,٠٢٢-	OSAVI		
٠,٠١٠-	NDVI	٠,٠٢٨-	NDVI		
٠,٠١٠-	NRVI	٠,٠٢٨-	NRVI		
٠,٠٢٦-	GNDVI	٠,١٢٣-	GNDVI	الثالثة	
٠,٠٥٤-	MGNDVI	٠,١٠٤-	MGNDVI		
٠,٠٩٩-	MNDVI	٠,١١٨-	MNDVI		
٠,٠٧٢	TSAVI2	٠,٠٦٩	TSAVI2	الأولى	
٠,٠١٢	PVI2	٠,٠٢١	PVI2		
٠,٠٢٠	DVI	٠,٠٠٣	DVI		
٠,٠١٠-	MSAVI1	٠,٠١٨-	MSAVI1	الثانية	
٠,٠٦٠-	WDVI	٠,٠٤٤-	WDVI		
٠,٠٥٦-	PVI1	٠,٠٤٩-	PVI1		
٠,١٠٩-	GESAVI	٠,١١٣-	GESAVI	الثالثة	
٠,١٨٧-	WDRVI	٠,٢٠٣-	WDRVI		
٠,١٣٠-	TSAVI1	٠,٢١٩-	TSAVI1		



شكل (٩) الحد الأدنى للمؤشرات النباتية المطبقة على مرئية SPOT.

بين -٠,١٠٤ إلى -٠,٣١٩، في الفترة الجافة، في حين بلغ معدل الحد الأدنى في الفترة الرطبة ما بين -٠,٠٥٤ إلى -٠,١٨٧. وذلك نتيجة الحساسية المرتفعة للتربة التي أدت إلى فقد المؤشرات لقدرتها على التحسس للنباتات.

• المتوسط الحسابي للمدى الديناميكي:

يعكس المتوسط الحسابي طبيعة كثافة الغطاء النباتي في المنطقة، وغالباً ما يستدل به بصفته مؤشر أولي على حالة غنى النبات وفقره في المنطقة. وقد وجدت الدراسة كما في جدول (٧) وشكل (١٠)، أن هناك اختلاف كبير بين المتوسطات الحسابية للمؤشرات النباتية على الرغم من أن جميعها طبق على المرئية نفسها، وذلك نتيجة لاختلاف قدرة كل مؤشر نباتي على تمييز خلايا النبات وفصلها عن خلايا التربة. وغالباً ما يؤدي الخلط بينها إلى ارتفاع أو انخفاض المتوسطات الحسابية للمؤشرات النباتية، وتبعاً لذلك قسمت المؤشرات النباتية إلى ثلاث مجموعات وفقاً لمتوسطاتها الحسابية وذلك كما يأتي:

المجموعة الأولى: وهي تضم المؤشرات النباتية التي تميزت متوسطاتها الحسابية بالارتفاع، وهي مؤشرات TNDVI, IPVI, GEMI, MGNDVI, MNDVI في الفترة الجافة، إضافة إلى مؤشري AVI, GNDVI في الفترة الرطبة. حيث تراوحت المتوسطات الحسابية لها ما بين ٠,٧٧٧ إلى ٠,٢٤٣ في الفترة الجافة، وما بين ٠,٨١١ إلى ٠,٢٢٩ في الفترة الرطبة. وتعد هذه المتوسطات مرتفعة جداً، حيث تظهر منطقة الدراسة الواقعة في منطقة شبه جافة بأنها كثيفة إلى كثيفة جداً بالنباتات في الفترتين

المجموعة الأولى: وهي تتكون من المؤشرات النباتية غير القادرة على التحسس للتربة في منطقة الدراسة، وهي مؤشرات TNDVI, IPVI, GEMI, AVI, TSAVI2, PVI2, DVI، حيث تراوح معدل الحد الأدنى لمدى ما بين ٠,٦٨٦ إلى ٠,٦٩٩، وما بين ٠,٢٠٠ إلى ٠,٢٠٠ في منطقة صفر في الفترة الرطبة. وتحقيق بعض المؤشرات النباتية ضمن هذه المجموعة لمعدل تزيد قيمته عن ٠,٢٠٠ في منطقة شبه جافة، تكثر فراغات خلايا التربة بين خلايا النبات فيها، لا يدل على شدة غنى منطقة الدراسة بالنباتات، بقدر ما يدل على مبالغة هذه المؤشرات النباتية في تقدير التغطية النباتية.

المجموعة الثانية: وهي تضم المؤشرات النباتية التي تميزت بانخفاض حساسيتها للتربة الرطبة والجافة في منطقتي الهدا والشفا، وهي تتكون من مؤشرات EVI2, MSAVI2, SAVI, OSAVI, NNDVI, NRVI, MSAVI1, WDV1, PVI1. حيث تراوح معدل حددها الأدنى للمدى الديناميكي ما بين ٠,٠١٠ إلى ٠,٠٤٩ في الفترة الجافة، وما بين ٠,٠٠٥ إلى ٠,٠٦٠ في الفترة الرطبة التي يضم لها مؤشر GNDVI. مما يدل على ارتفاع قدرة مؤشرات هذه المجموعة على فصل التربة عن النبات.

المجموعة الثالثة: وتضم مؤشرات MGNDVI, MNDVI, GNDVI, GESAVI, WDRVI, TSAVI1 وهي ذات حساسية مرتفعة جداً للتربة الجافة والرطبة في منطقتي الهدا والشفا، باستثناء مؤشر GNDVI الذي انخفضت حساسيته مع زيادة الرطوبة. إذ تراوح معدل الحد الأدنى للمدى الديناميكي لهذه المؤشرات النباتية ما

النباتية. حيث تراوحت المتوسطات الحسابية لهذه المؤشرات النباتية ما بين ٠,١٨٢ إلى ٠,٠٠٩ في الفترة الجافة، وما بين ٠,١٥٨ إلى ٠,٠٢٨، وإن كان هذا المتوسط ينطبق على منطقتي الهدأ والشفا في الفترة الرطبة نتيجة زيادة كثافة النبات عقب هطول الأمطار، إلا أنه لا ينطبق عليه في الفترة الجافة، مما يدل على فاعلية مؤشرات هذه المجموعة في الفترة الرطبة فقط.

المجموعة الثالثة: وهي تتكون من المؤشرات النباتية التي صنفت متوسطاتها الحسابية منطقة الدراسة بأنها فقيرة نباتياً، وهي مؤشرات EVI2، SAVI، MSAVI2، OSAVI، GESAVI، TSAVI

الجافة والرطبة، في حين أن كثافة الغطاء النباتي فيها أقل من ذلك. وقد يرجع سبب ذلك الارتفاع لدخول انعكاس الظلال وألوان الصخور والتربة في حساب قيم المتوسطات الحسابية، نتيجة خلط المؤشرات النباتية بين انعكاسها وانعكاس النبات.

المجموعة الثانية: وهي تشمل المؤشرات GNDVI، AVI، NRVI، NDVI، TSAVI2، PVI2، DVI، MSAVI1، NRVI، NDVI، المؤشرات الجافة، والفترة الجافة، وWDVI، PVI1، OSAVI، SAVI، MSAVI2، TSAVI2، PVI2، DVI، MSAVI1، GESAVI، WDVI، PVI1 في الفترة الرطبة، وهي تصنف منطقة الدراسة ضمن المناطق متوسطة الكثافة

جدول (٧) المتوسط الحسابي للمؤشرات النباتية المطبقة على مرئية SPOT.

الفترة الرطبة ٢٠١١م		الفترة الجافة ٢٠١٠م		المجموعة	أقسام المؤشرات النباتية	
الحد الأدنى	المؤشر النباتي	الحد الأدنى	المؤشر النباتي			
٠,٨١١	TNDVI	٠,٧٧٧	TNDVI	الأولى	المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية	
٠,٥٧٩	IPVI	٠,٥٥٢	IPVI			
٠,٥٦١	GEMI	٠,٤٦٦	GEMI			
٠,٣١٧	MGNDVI	٠,٣١٦	MGNDVI			
٠,٢٤٩	MNDVI	٠,٢٤٣	MNDVI			
٠,٢٣٢	AVI	٠,١٨٢	GNDVI	الثانية		
٠,٢٢٩	GNDVI	٠,١٢٦	AVI			
٠,١٥٨	NDVI	٠,١٠٤	NDVI			
٠,١٥٨	NRVI	٠,١٠٤	NRVI			
٠,١٤٠	OSAVI	٠,٠٨٥	OSAVI	الثالثة		
٠,١٢٠	SAVI	٠,٠٦٨	SAVI			
٠,١١٠	MSAVI2	٠,٠٥٩	MSAVI2			
٠,٠٦٢	EVI2	٠,٠٣٣	EVI2			
٠,١٢٦	TSAVI2	٠,١٤٤	TSAVI2	الثانية		المؤشرات النباتية التي أساسها مسافة بين نطاقي NIR/Red
٠,١١٨	DVI	٠,٠٧٧	PVI2			
٠,١٠٤	PVI2	٠,٠٦٠	DVI			
٠,١٠٨	MSAVI1	٠,٠٥٨	MSAVI1			
٠,٠٧٧	TSAVI1	٠,٠٢٥	WDVI			
٠,٠٦٥	GESAVI	٠,٠٠٩	PVI1			
٠,٠٥٦	WDVI	٠,٠١٣-	GESAVI	الثالثة		
٠,٠٢٨	PVI1	٠,٠٢٢-	TSAVI1			
٠,٠١٧-	WDRVI	٠,٠٧٣-	WDRVI			

Analysis of Spectral Indices to Ozone Absorption Using Physical Simulations in a Forest Environment: Comparative Study between MODIS, SPOT VÉGÉTATION & AVHRR, <<http://www.cartesia.org/geodoc/isprs2004/comm7/papers/157.pdf>>

- Baret, F. and Guyot, G., (1991), Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, **Remote Sensing of Environment**, 35, pp.161- 173.

- Baret, F.; Guyot, G. and Major, D.J., (1989), TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation, **Proceedings of the 12th Canadian Symposium on Remote Sensing IGARRS'90**, Vancouver, Canada, pp.1355-1358.

- Clevers, J. G., (1989), The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting soil moisture, **Remote Sensing of Environment**, 29, pp.25 -37.

- Crippen, R. E., (1990), Calculating the vegetation index faster, **Remote Sensing of Environment**, 34 (1), pp. 71- 73.

- Darvishzadeh, R., (2008), **Hyperspectral remote sensing of vegetation parameters using statistical and physical models**, Unpublished Master. Thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, the Netherlands.

- Driss, H. ; John, M.; Elizabeth, P.; Pablo, Z. and Strachan Ian B., (2004), Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture, **Remote Sensing of Environment**, 90, pp.337 -352.

- Eastman, J. R., (2001), **IDRISI for windows: guide to GIS and image processing version 32.20**, Volume 2, Clark University, Worcester.

- Elvidge, C. and Lyon, R. J., (1985), Influence

في الفترة الرطبة منطقة الدراسة بأنها فقيرة نباتياً. وأوصت الدراسة في نهايتها بضرورة أخذ أكثر من مؤشر نباتي طيفي عند استخدام المؤشرات النباتية الطيفية في تقدير أي خاصية من خصائص الغطاء النباتي، في المناطق التي لم تختبر فيها فاعلية المؤشرات النباتية الطيفية، وذلك لتفاوت درجة تكافؤها الوظيفي في فصل التربة عن النبات، إذ قد يعطي الاعتماد على مؤشر نباتي واحد فقط نتائج مظلمة أو خاطئة عن واقع الغطاء النباتي في المنطقة، خصوصاً في المناطق الجرداء قليلة التغطية النباتية كباقي مناطق المملكة العربية السعودية.

المراجع:

الغنيم، عبدالله يوسف (١٤٢٦هـ)، أشكال سطح الأرض في شبه الجزيرة العربية في المصادر العربية القديمة، الكويت: مؤسسة الكويت للتقدم العلمي.

وزارة الزراعة، (١٤٢٨هـ)، مشروع حصر الغابات في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية، حصر الغابات الطبيعية في المنطقة الأولى، المجلد الثاني، مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية، الرياض.

- Ajorlo, M. and Abdullah, B.R., (2007) Develop an Appropriate Vegetation Index for Assessing Rangeland Degradation in Semi-Arid Areas, **Proceedings of 28th Asian Conference on Remote Sensing**, 12 -16 Nov 2007, Kuala Lumpur, Malaysia.

- Anderson, G. L. and Hanson J. D., (1992), Evaluating hand-held radiometer derived vegetation indices for estimating above ground biomass, **Geocarto International**, 7, pp.71 -78.

- Azizia, Z.; Najafia, A. and Sohrabia, H., (2008), Forest canopy density estimating, using satellite images, **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XXXVII, Part B8, pp.1127-1130.

- Bannari, A. and Asalhi, H., (2004), Sensitivity

- Karnieli, A.; Gabai, A.; Ichoku, C.; Zaady, E. and Shachak, M., (2002), Temporal dynamics of soil and vegetation spectral responses in a semi-arid environment, **International Journal of Remote Sensing**, 23 (19), pp.4073-4087.
- Lantenschlager, L. F.; Charles, R. and Perry, Jr., (1981), Comparison of vegetation indices based on satellite-acquired data, **Proceedings of the Survey Research Methods Section of the American Statistical Association**, pp.77 -82.
- Lawrence, R. L. and Ripple W. J., (1998), Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape : Mount St. Helens, Washington, **Remote Sensing of Environment**, 64, pp.91 -102.
- Leprieur, C.; Verstraete, M. M. and Pinty, B., (1994), Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data, **Remote Sensing Reviews**, 10, pp.265 -284.
- McDonald, A. J.; Gemell, F. M. and Lewis, P. E., (1998), Investigation of the utility of spectral vegetation indices for determining information on coniferous forests, **Remote Sensing of Environment**, 66, pp.250 -272.
- Nagler, P.; Glenn, E.; and Huete, A., (2001), Assessment of spectral vegetation indices for riparian vegetation in the Colorado River delta, Mexico, **Journal of Arid Environments**, 49, pp.91- 110.
- Perry, C. Jr. and Lautenschlager, L. F., (1984), Functional equivalence of spectral vegetation indices, **Remote Sensing of Environment**, 14, pp.169 -182.
- Pinty, B. and Verstraete, M. M., (1992), GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites, **Vegetatio**, 101, pp. 15 -20.
- Qi, J.; Chehbouni, A.; Huete, A. R.; Kerr, Y. H. and Sorooshian, S., (1994), A modified soil of Rock-Soil Spectral Variation on the Assessment of Green Biomass, **Remote Sensing of Environment**, 17, pp.265 -279.
- Gilabert, M.A.; Gonza'lez-Piqueras, J.; Garc'a-Haro, F.J. and Meli, J., (2002), A generalized soil-adjusted vegetation index, **Remote Sensing of Environment**, 82, pp.303 -310.
- Gitelson, A.; Kaufman, Y. and Merzlyak, M., (1996), Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS, **Remote Sensing of Environment**, 58, pp.289 -298.
- Gitelson, A.A; (2004), Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation, **Journal of Plant Physiology** 161, pp.165 -173.
- Guo, X. and Richard, P., (2004), Assessing Canadian prairie drought with satellite and climate data, **Environmental Informatics Archives**, 2, pp.422 -430.
- Houllès. V. ; El Hajj M. and Bégué A., (2006), Radiometric normalization of a spot 4 and spot 5 time series of images (islereunion) for agriculture applications, ISPRS Commission Technique I. Symposium, Marne-la-Vallée, FRANCE (03 /07/ 2006), n° 181 (57 p.), pp. 31 -37.
- Huete, A. R., (1988), A soil adjusted vegetation index (SAVI), **Remote Sensing of Environment**, 25, pp.295 -309.
- Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Batchily, K. and Leeuioen, W.V., (1997), A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS, **Remote Sensing of Environment**, 59, 3, pp. 440 -451.
- Jiang, Zhanangyan; Huete, Alfredo R.; Kamel, Didan and Tomoaki, Miura , (2008), Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band, **Remote Sensing of Environment**, 112 (10), pp.3833 -3845.

pp.127 -150.

- Vaiopoulos, D.; Skianis, G. A. and Nikolakopoulos K., (2004), The contribution of probability theory in assessing the efficiency of two frequently used vegetation indices, **International Journal of Remote Sensing**, 25, pp.4219 - 4236.

- Vermote, E.; Tanre, D.; Deuze, J.; Herman, M. and Morcrette, J., (1977), Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6s: An Overview, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 35, 3, pp.675 - 686.

- Verrelst, J.; Koetz, B.; Kneubühler, M. and Schaepman, M., (2006), Directional sensitivity analysis of vegetation indices from multiangular CHRIS/PROBA data, **ISPRS Commission VII Mid-term Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes"**, 811- May 2006, Enschede, the Netherlands.

- Vescovo, L. and Gianelle, D., (2008), Using the MIR bands in vegetation indices for the estimation of grassland biophysical parameters from satellite remote sensing in the Alps region of Trentino (Italy), **Advances in Space Research**, 41, pp.1764 - 1772.

- Viña, A.; Henebry, G. M. and Gitelson, A. A., (2004), Satellite monitoring of vegetation dynamics: Sensitivity enhancement by the wide dynamic range vegetation index, **Geophysical Research Letters**, 31, pp.L045031 - 4.

- Walther, D. and Shabaani, S., (1991), Large scale monitoring of rangelands vegetation using NOAA/AVHRR LAC data: application to the rainy Sseasons 1989 /90 in northern Kenya, **Range Management Handbook of Kenya**, III/4. Nairobi.

- Wu, Jindong; Wang, Dong and Bauer, Marvin E., (2007), Assessing broadband vegetation indices and QuickBird data in estimating leaf area index of corn and potato canopies, **Field Crops Research**, 102, pp. 33- 42.

adjusted vegetation index, **Remote Sensing of Environment**, 48, pp.119 -126.

- Ramachandra, T. V., (2007), Comparative Assessment of Techniques for Bioresource Monitoring Using GIS and Remote Sensing, **The Icfai Journal of Environmental Sciences**, 1(2), pp.7- 47.

- Richardson, A. J. and Wiegand, C. L., (1977), Distinguishing vegetation from soil background information, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 43, pp.1541- 1552.

- Rondeaux, G.; Steven, M. and Baret, F., (1996), Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices, **Remote Sensing of Environment**, 55, pp.95- 107.

- Rouse, J. W. Jr., Haas, R., H., Schell, J. A., and Deering, D.W., (1973), Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, **Third ERTS Symposium**, NASA SP-351 I, pp.309 -317.

- Sjostrom, M.; Ardo, J.; Eklundh, L.; El-Tahir, B.; El-Khidir, H.; Hellstrom, M.; Pilesjo, P. and Seaquist, J., (2009), Evaluation of satellite based indices for gross primary production estimates in a sparse savanna in the Sudan, **Biogeosciences**, 6, pp.129–138

- Skianis, G.; Vaiopoulos, D. and Nikolakopoulos, K., (2007), A Comparative Study of the Performance of the NDVI, the TVI and the SAVI Vegetation Indices over burnt areas, using probability theory and spatial analysis techniques, **Proceedings of the 6th International Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Forest Fires**, 27 -29 September 2007, Thessaloniki-Greece, pp.142 -145.

- Stevena, Michael. D. (2010), "What is the correct formulation of the equation to OSAVI." E-mail to Michael Stevena. 26 March. 2010 17:00.

Tucker, C. J., (1979), Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, **Remote Sensing of Environment**, 8,