

**كفاءة المؤشرات النباتية
في تقدير المحاصيل الزراعية من مرئيات القمر الصناعي
سبوت-0 في منطقة الهدا
د. بسمة بنت سلامة الرحيلي**

كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير المحاصيل الزراعية من مرئيات القمر الصناعي سبوت-0 في منطقة الهدا

إعداد:

د. بسمة بنت سلامة الرحيلي
ص ب/ ٢٠٢٢٠ مكة المكرمة ٢١٩٥٥
المملكة العربية السعودية

E-Mail: basma122008@gmail.com

كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير المحاصيل الزراعية من مرئيات القمر الصناعي سبوت-0 في منطقة الهدا

الخلاصة:

تعد بيانات الأقمار الصناعية وسيلة فعالة؛ لتمييز خصائص المحاصيل الزراعية، والتغيرات التي تمر بها. وقد استخدمت المؤشرات النباتية الطيفية Spectral vegetation indices (VIs) على نطاق واسع لأكثر من ثلاثة عقود في إجراء تقييم كمي للخصائص البيوفيزيائية Biophysical للنبات من بيانات الأقمار الصناعية إلا أن تفاوت مظهر اللاندسكيب الطبيعي قد كشف عن كثير من مشكلات تطبيق المؤشرات النباتية في تلك البيئات، ونتيجة لوقوع منطقة الهدا في منطقة جافة وشبه جافة، الأمر الذي جعل منها عرضة لمشكلة انخفاض حساسية بعض المؤشرات النباتية للمحاصيل الزراعية مع ارتفاع حساسيتها للتربة. وغالباً ما تؤدي تلك المشكلة إلى صعوبة الفصل بين التربة والمحاصيل الزراعية، مما يعيق تحديد مقدار التغطية، والكثافة النباتية للمحاصيل. لذلك هدفت الدراسة إلى التعرف على كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا، والكشف عن قدرة المؤشرات النباتية في التغلب على تأثيرات التربة والتشبع التي تقلل من كفاءة المؤشرات النباتية في الفصل بين التربة والمحاصيل الزراعية، وإيجاد المؤشرات النباتية الملائمة لتقدير المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا، مع تحديد أفضل وأسوأ المؤشرات النباتية لتمييز المحاصيل الزراعية، وفصل انعكاسها عن انعكاس التربة.

وقد اعتمدت الدراسة؛ لتحقيق ذلك على بيانات القمر الصناعي SPOT-5، و خضعت البيانات للمعالجة في برامج ERDAS IMAGINE9.1, Idrisi Taiga16.0, ArcGIS9.2, باستخدام وظائف Regress, Spatial

modeler, Operator, Classification, Overlay, Accuracy assessment, Spatial analyst NDVI, توصلت الدراسة إلى انخفاض كفاءة مؤشرات IPVI, OSAVI, TSAVI2, WDRVI في الفترة الجافة، ومؤشرات EVI2, GEMI, TSAVI2 في الفترة الرطبة، في تقدير تغطية النبات في منطقة الدراسة، وعدم قدرتها على فصل انعكاس التربة عن انعكاس المحاصيل فيها. كما اتضح عند تمييز فئات كثافة المحاصيل الزراعية تفاوتت كفاءة المؤشرات النباتية في الفصل بينها. كما وجد أن مؤشر MSAVI1, WdVI في الفترة الجافة، ومؤشرات MSAVI1, OSAVI, WdVI في الفترة الرطبة، أفضل المؤشرات النباتية الملائمة لمنطقة الدراسة. في حين كان مؤشر MGNDVI أسوأ المؤشرات النباتية.

كلمات مفتاحية: المؤشرات النباتية الطيفية، التغطية النباتية، الكثافة النباتية، المحاصيل الزراعية، بيانات القمر الصناعي SPOT-5.

١- مقدمة:

تعد تقنية الاستشعار عن بعد الأسلوب الأمثل لرصد كثافة الغطاء النباتي، خصوصاً في المناطق التي يتعذر الوصول إليها بسهولة. وقد استخدمت المؤشرات النباتية على نطاق واسع كأسلوب تحليلي فعال في تحسين المرئيات متعددة الأطياف؛ من أجل تقدير وفرة النباتات الخضراء، والنشاط الضوئي، والكتلة الحيوية (Chopping, et al., 2008, p.19)، والتغطية النباتية، والكثافة، ومؤشر مساحة الورقة، وإجهاد النبات، وصحة النبات، وإنتاج المحصول (Jackson and Huete, 1991, p.185). وتعتمد المؤشرات النباتية بشكل كبير على الانعكاس الطيفي لاثنتين أو أكثر من النطاقات الطيفية، وغالباً ما يكونان نطاقي الأشعة الحمراء Red وتحت الحمراء القريبة (Ji and Peters, 2007, p.59)، حيث يكون الاختلاف بينهما مؤشراً قوياً لكمية الكتلة الحيوية الخضراء، والتمثيل الضوئي النشط (Teillet, et al., 1997, p.140).

وقد أفاد استخدام المؤشرات النباتية في التخفيف من تأثير الإضاءة الناتجة عن التغيرات الطبوغرافية، وإزالة ظلال الانحدارات، والتغيرات الموسمية، والاختلافات في كثافة أو زاوية الشمس (Yang, et al., 2008, p.2) في جميع مناطق

تقدير المحاصيل الزراعية، بحيث تعطي قيمة نباتية عالية جداً، مما يقلل من فاعليتها في تقدير التغطية النباتية للمحصول. كذلك قد تتأثر المؤشرات النباتية بالتغيرات الزمانية والمكانية للغلاف الجوي (Bannari, et al., 1995, p.95).

ونتيجة لتفاوت درجة كفاءة المؤشرات النباتية في التغلب على المؤثرات الخارجية برزت ضرورة ملحة لاختبارها، والتعرف على مدى كفاءتها في تقدير ورصد خصائص المحاصيل الزراعية في كثير من مناطق العالم، وفي بيئات متباينة في مناخاتها وتضاريسها ومحاصيلها، في محاولة لتطبيق جميع هذه الاختلافات في مؤشر نباتي مثالي Ideal vegetation index ذي مدى ديناميكي واسع، وحساسية عالية للمحاصيل الزراعية، وحساسية منخفضة للتربة، لا يتأثر بقدره التمييز المكانية والطيفية للواقط الأقمار الصناعية، وقليل التأثير بالغلاف الجوي وتأثيرات البيئة، ولا يتشبع بسرعة (Bannari and Asalhi, 2004).

ونظراً لتمييز منطقة الهدا الواقعة في شمال جبال السروات بالملكة العربية السعودية بوفرة المناطق الزراعية التي قد يصعب حصرها ميدانياً، فإن ذلك يجعل من المؤشرات النباتية الأسلوب الأكثر نفعاً في دراستها. لكن بسبب اختلاف قدرة المؤشرات النباتية على فصل انعكاس التربة عن انعكاس النبات، وتفاوت درجة فاعليتها في تقدير التغطية، والكثافة، كان لابد من معرفة فاعليتها في تقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا.

٢- مشكلة البحث:

يؤدي انخفاض التغطية النباتية للمحاصيل في المناطق الزراعية إلى انخفاض قدرة لواقط (مستشعرات) الأقمار الصناعية على اكتشاف النباتات، وإظهار الإشارة الطيفية للتربة (Karnieli, et al., 2002, p.4076). ويتأثر بذلك أداء المؤشرات النباتية سلباً، إذ تصبح غير قادرة على التحسس للنباتات، وتكون أكثر حساسية لاختلافات الخصائص الطيفية للتربة، مما يؤدي إلى المبالغة في تقدير نسبة التربة إلى النبات، وإساءة فهم اختلافات الكتلة الخضراء الحية، وعدم تقدير خصائص المحاصيل الزراعية بشكل دقيق (Elvidge and Lyon, 1985, p.265).

ونتيجة لتمييز منطقة الهدا بكثرة الأراضي الزراعية التي

العالم باستثناء البيئات الجافة؛ بسبب الانعكاس العالي للتربة الجافة في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، مما يقلل من كفاءة المؤشرات النباتية كأسلوب تحليلي فعال في تلك البيئات (Chopping, et al., 2008, p.19). لذلك تم تطوير نحو ١٥٠ مؤشراً نباتياً في الأبحاث العلمية (Verrelst, et al., 2006, p.678). وذلك في محاولة؛ لتحسين حساسية المؤشرات النباتية، والتغلب على كل ما يقلل من فاعليته في تقدير أوصد الغطاء النباتي، مع الأخذ بالاعتبار 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 في المؤشرات النباتية في المناطق الزراعية ذات التغطية النباتية الكثيفة، فإن حدتها تبرز كلما قل مقدار التغطية النباتية (Ramachandra, 2007, p.18)، وذلك في المناطق التي تسود فيها المحاصيل الزراعية قليلة الخضرة، والمبعثرة التي تتزايد مسافة التباعد بينها، بحيث يصعب الفصل بين انعكاس التربة، وانعكاس المحاصيل ضمن الخلية الواحدة، مما يؤدي إلى حدوث خطأ في تقدير مقدار التغطية النباتية في المنطقة (Gilbert, et al., 2002, p.303). وفي هذه الحالة تعرض الاستجابة الطيفية للمناطق المزروعة خليطاً معقداً من نباتات المحاصيل، ولون التربة ورطوبتها، وتأثيرات بيئة الظلال (Bannari, et al., 1995, p.95).

وعلى النقيض من مشكلة التربة تبرز مشكلة التشبع Saturation في المناطق الزراعية كثيفة المحاصيل التي ترتفع فيها معدلات تركيزات الكلوروفيل (اليخضور)، حيث تبقى قيم المؤشر النباتي ثابتة مع زيادة كثافة المحاصيل الزراعية، بحيث يصعب رصد التغيرات في كمية، ونوع، وحالة المحصول الزراعي (Huete, et al., 1999, p.8). وقد تعاني المؤشرات النباتية من مشكلة التشبع، ليس فقط في المناطق الرطبة، وإنما أيضاً في المناطق الجافة وشبه الجافة إذا ما وجدت ضمن أراضيها محاصيل زراعية كثيفة، حيث تصبح المؤشرات النباتية غير قادرة على تمييز النباتات الكثيفة، مما يؤثر في فاعليتها في تقدير كثافة المحاصيل الزراعية. كذلك قد تعاني بعض المؤشرات النباتية من المبالغة في

ج- التعرف على كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير كثافة المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا.
د- إيجاد المؤشرات النباتية الملائمة؛ لتقدير المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا، مع تحديد أفضل وأسوأ المؤشرات النباتية لتمييز المحاصيل الزراعية، وفصل انعكاسها عن انعكاس التربة.

٤- منطقة الدراسة:

تمتد منطقة الدراسة في الجزء الشمالي من جبال السروات في المملكة العربية السعودية، وذلك بين دائرتي عرض ١٤° ١٩' و ٢١° ٢٣' و ٢١° ٢٣' شمالاً، وخطي طول ١٧° ١٢' و ٤٠° ٣٩' و ٤٠° ١٨' شرقاً، وهي تتمثل في منطقة الهدا (شكل ١). وتقع منطقة الهدا إلى الغرب من مدينة الطائف، وهي منطقة جبلية وعرة يصل ارتفاعها إلى أكثر من ٢١٠٠ م فوق مستوى سطح البحر، وتتمتع بوفرة غطائها النباتي وأراضيها الزراعية (وزارة الزراعة، ١٤٢٨هـ، ص ١١٩، ٢٤٧). وذكر البلادي أن الهدا فرعة واسعة على ظهر السراة بين مكة والطائف، على بعد ١٩ كم من الطائف غرباً، ذات مزارع ومياه حسنة (البلادي، ١٤٠٠هـ، ص ١٦١-١٦٢). ومن أجل تحديد منطقة الدراسة بشكل دقيق، تم اتخاذ حد طبيعي يفصل منطقة الهدا عما يجاورها، ويتمثل هذا الحد في خط منسوب الارتفاع أو الخط الكنتوري ١٩٠٠ م، وذلك لتمثله قيمة العتبة Threshold التي تعد الحد الفاصل بين المنحدرات والمنطقة المستوية، وهي التي يبدأ منها ظهور منطقة الهدا

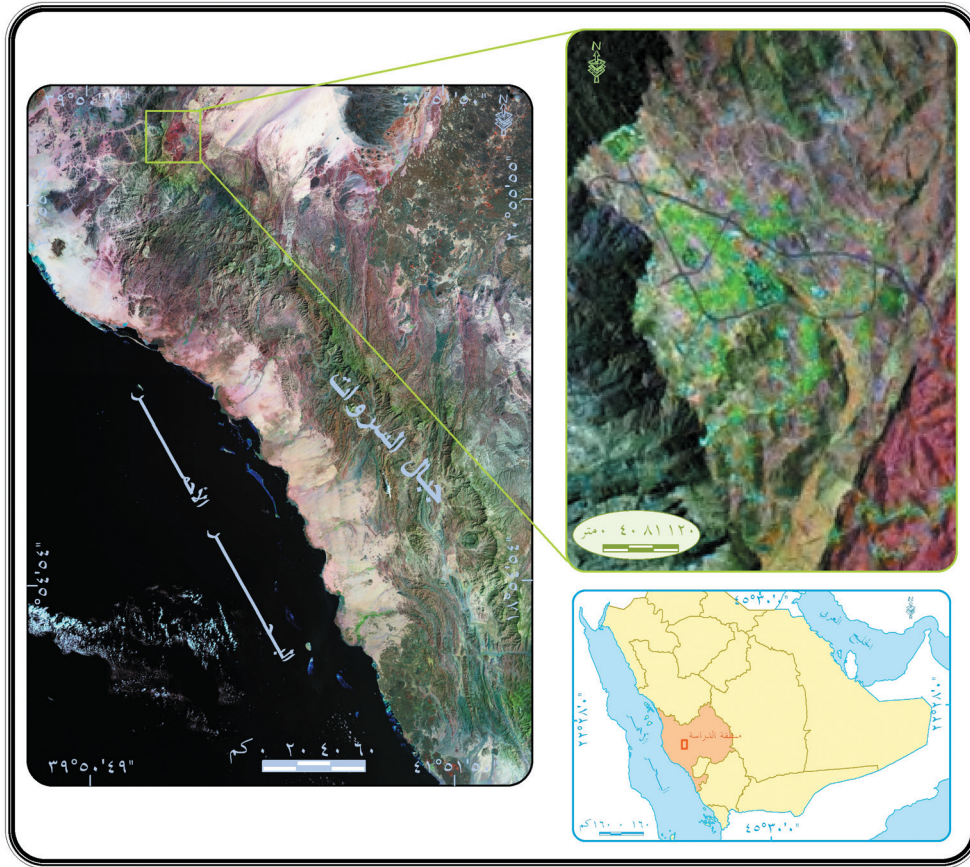
تتفاوت محاصيلها من حيث التغطية، والكثافة، والتنوع بين أجزائها، فإن كفاءة المؤشرات النباتية قد لا تكون متماثلة في تمييز تلك الخصائص النباتية فيها. إذ قد تظهر بعض المؤشرات النباتية كفاءة عالية في الفصل بين التربة والنبات وتقدير التغطية النباتية للمحاصيل، ومع ذلك تتخفف فاعليتها في الفصل بين فئات الكثافة النباتية للمحاصيل الزراعية، وتمييز أنواعها. كذلك قد تظهر بعض المؤشرات النباتية قدرة عالية على التحسس للمحاصيل الكثيفة في حين تكون حساسيتها للتربة منخفضة جداً أو معدومة، مما يؤدي إلى المبالغة في تقدير التغطية النباتية للمحاصيل الزراعية في المنطقة. وقد تؤدي الكثافة العالية في بعض أجزاء منطقة الهدا إلى ظهور مشكلة تشبع قيم بعض المؤشرات النباتية، بحيث تصبح غير قادرة على التحسس للمحاصيل الزراعية شديدة الخضرة، مما يؤثر في فاعليتها في تقدير خصائص المحاصيل الزراعية في ذلك الجزء من منطقة شمال جبال السروات.

لذلك قام هذا البحث باختبار أداء مجموعة من المؤشرات النباتية الطيفية التي طورت في بيئات قد لا تماثل في كثير من الأحيان بيئة منطقة الهدا؛ وذلك من أجل اختبار فاعليتها في تقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية باستخدام مرئيات القمر الصناعي سبوت-٥ متعددة الأطياف Multispectral، وذلك في فترتين من العام، مع الكشف عن مقدار كفاءة المؤشرات النباتية في التقليل من تأثير سطوع التربة والصخور على المحاصيل الزراعية، وقدرتها على تمييز المحاصيل شديدة الخضرة بدون تشبع أو مبالغة في قيمها. مع تحديد المؤشرات النباتية الملائمة لتقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية.

٣- أهداف البحث:

يهدف البحث إلى اختبار كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير المحاصيل الزراعية من مرئيات القمر الصناعي سبوت-٥ في منطقة الهدا، وذلك من خلال ما يأتي:
أ- التعرف على كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير تغطية المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا.
ب- الكشف عن قدرة المؤشرات النباتية في التغلب على تأثيرات التربة والتشبع التي تقلل من كفاءة المؤشرات النباتية في الفصل بين التربة والمحاصيل الزراعية في منطقة الهدا.

شكل (١) موقع منطقة الدراسة.



المصدر من عمل الباحثة اعتماداً على: هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، (١٤٣٠هـ)،
خارطة المملكة العربية السعودية الإدارية، هيئة المساحة الجيولوجية السعودية،
المملكة العربية السعودية، جدة.

إسبانيا. وتوصلت الدراسة إلى أن مؤشر PRI كان أسوأ المؤشرات لتقييم نمو المحصول، وأن مؤشري SR, NDVI أفضل المؤشرات في حساب مساحة المنطقة المزروعة. في حين أن دراسة هابودن وزملائه (Haboudane, et al., 2002) هدفت إلى تقييم كفاءة المؤشرات النباتية في التنبؤ بمحتوى الكلوروفيل (اليخضور) لمحاصيل الذرة في أونتاريو وكويبك في كندا. وتوصلت الدراسة إلى أن مؤشري MCARI, OSAVI هما أكثر المؤشرات حساسية للتغيرات في محتوى الكلوروفيل ولاختلافات LAI، وأن الجمع بينهما أدى إلى تحسين حساسيتهما للتغيرات في محتوى الكلوروفيل والتقليل من تأثير التربة.

وقد هدفت دراسة كوغان وزملائه (Kogan, et al., 2003) إلى تقدير إنتاجية وكثافة محصول القمح في كازاخستان باستخدام مؤشر VCI، واستناداً إلى بيانات AVHRR. وأظهرت النتائج أن مؤشر VCI ملائم جداً؛

كمنطقة مستوية، أو يبدأ عندها رأس الجبال (الكوستا) في الظهور وذلك من الجهة الغربية للمنطقة. وبذلك تغطي منطقة الدراسة مساحة تقدر بنحو ١٩٩،٣٢ كم^٢، وتختلف في طوبوغرافيتها من مكان لآخر، وتتوسع في نباتاتها ودرجة كثافتها ومحاصيلها الزراعية من جهة لأخرى.

0- الدراسات السابقة:

ظهرت دراسات عديدة اهتمت بتقييم أو اختبار كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير خصائص المحاصيل الزراعية في بيئات مختلفة؛ بهدف معرفة قدرتها في التغلب على الظروف الخارجية التي تؤثر في أدائها، والوصول إلى أكثر المؤشرات النباتية ملاءمة؛ لتقدير خصائص المحاصيل الزراعية. وقد ظهرت أول محاولة في دراسة أباريسيو وزملائه (Aparicio, et al., 2000)؛ لتقييم كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير الخصائص الفسيولوجية لمحصول الحبوب شمال شرق

MASVI2 هو أفضل مؤشر لتقدير LAI. في حين أن دراسة زاو وزملائه (Zhao, et al., 2007) هدفت إلى مقارنة قدرة المؤشرات النباتية؛ لتحديد النطاق الأمثل للمؤشرات النباتية المستخدمة في التنبؤ بمؤشر مساحة الورقة LAI وكثافة محتوى كلوروفيل محصول القطن باستخدام بيانات جهاز التحليل الطيفي Spectroradiometer. وتوصلت الدراسة إلى أن مراكز القنوات الحمراء وتحت الحمراء لم تكن دائماً في موقع أفضل من الطول الموجي للنطاقات. وأن مؤشرات NDVI, TSAVI, MSAVI2 أدائها أفضل من مؤشري SAVI2, RVI.

وقد ركزت دراسة وردلو وزملائه (Wardlow, et al., 2007) على اختبار كفاءة مؤشري NDVI, EVI في تصنيف أنواع المحاصيل الزراعية في السهول العظمى للولايات المتحدة الأمريكية، باستخدام بيانات MODIS 250m. وقد وجد أن مؤشر NDVI حساس لمحتوى الكلوروفيل كثيراً ويميل إلى التشبع. بينما مؤشر EVI هو أكثر استجابة لاختلافات تركيب المحاصيل الزراعية، وأكثر حساسية للتغيرات في مناطق الكتلة الحيوية العالية. أما دراسة يونغ وزملائه (Yang, et al., 2008) فقد هدفت إلى اختبار كفاءة ٢٠ مؤشراً نباتياً؛ للتحقق من تأثيرهم في دقة تصنيف المحاصيل الزراعية في منطقة إنديانا في الولايات المتحدة الأمريكية. وتوصلت إلى أن مؤشر RNDVI هو أفضل مؤشر نباتي في كل التواريخ. وأن جميع المؤشرات النباتية المختارة أدت إلى دقة التصنيف باستثناء مؤشرات GRVI, OSAVI, MGRVI, SLAVI, NDMI. وبذلك نلاحظ عدم وجود دراسة واحدة اقتصت بتقييم أو اختبار كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير خصائص المحاصيل الزراعية في المملكة العربية السعودية بما فيها منطقة الدراسة.

٦- منهج البحث:

تم التعرف على كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير المحاصيل الزراعية من مرئيات القمر الصناعي سبوت-٥ في منطقة الهدا، وفقاً للمنهج الآتي:

أ- اختيار المؤشرات النباتية الطيفية Selection of vegetation indices

إن اختيار المؤشرات النباتية الطيفية في منطقة الدراسة تم وفقاً لنتائج الدراسات السابقة التي تناولت كفاءة المؤشرات

للتعرف على تأثير المناخ على المحاصيل الزراعية، وتقدير إنتاجية المحاصيل وتحسين التخطيط الزراعي. أما دراسة هابودن وزملائه (Haboudane, et al., 2004) فقد هدفت إلى تقييم كفاءة المؤشرات النباتية في التعرف على محتوى كلوروفيل أوراق المحاصيل الزراعية والتنبؤ بمؤشر مساحة الورقة LAI باستخدام بيانات Hyperspectral. وتوصلت الدراسة إلى أن مؤشرات NDVI, RDVI, SAVI, SARVI, MSAVI, TVI, MCARI, MTVI1, MCARI1, MTVI2, MCARI2، حساسة لتغيرات الكلوروفيل، ومتأثرة بالتشبع في مستويات LAI العالية، كما وجد أن مؤشري MTVI2, MCARI2 هما أفضل المؤشرات.

ولم يقتصر تقييم كفاءة المؤشرات النباتية في التنبؤ بمحتوى الكلوروفيل وتقدير الإنتاج، وإنما شمل أيضاً فاعليتها في تمييز الحشائش الضارة عن محصول النعناع، وذلك في دراسة جيمز وويلر (Gumz and Weller, 2005) باستخدام جهاز راديو متر طيفي. وتوصلت الدراسة إلى أن جميع المؤشرات النباتية مفيدة في إظهار الاختلافات بين محصول النعناع وجميع أنواع الحشائش. أما دراسة كلديتز وزملائه (Colditz, et al., 2007) فقد هدفت إلى المقارنة بين مؤشري NDVI, EVI في تقدير الكتلة الحية الخضراء للمحاصيل الزراعية. وتوصلت إلى أن مؤشر EVI لديه حساسية أفضل لتقدير الكتلة الحية الخضراء للمحاصيل الزراعية، وفصلها عن التربة والتأثيرات الجوية. في حين أن دراسة فنشيني وزملائه (Vincini, et al., 2007) قامت بتقييم كفاءة المؤشرات النباتية من بيانات Hyperspectral في تقدير كثافة مظلة محصول الذرة، وتوصلت إلى أن حساسية مؤشرات NDVI, DVI SR, MSR, RDVI, TVI, MTVI, MTVI2 ذات علاقة بحالة تغذية المحصول بالنيتروجين، إذ تتغير بتغير معدل الإخصاب، لذلك اقترح مؤشر SPVI.

كذلك قامت دراسة وو وزملائه (Wu, et al., 2007) بتقييم كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير مؤشر مساحة الورقة LAI لمحصول الذرة والبطاطا من بيانات كويك بيرد. وقد توصلت الدراسة إلى وجود علاقة ارتباط قوية بين مؤشرات NDVI, SAVI, MSAVI, TSAVI, PVI ومؤشر LAI لكن بكفاءة مختلفة بين مؤشر وآخر. كما تبين أن مؤشر

النباتية الطيفية في تقدير خصائص المحاصيل الزراعية كالتغطية والكثافة والأنواع والإنتاج الزراعي، وأكثرها شيوعاً وقدرة على تقادي تأثيرات انعكاس التربة، ومكونات الغلاف الجوي، والتضاريس. 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.

Number	Type VI	Vegetation Index	Formula	Source and reference
1	The ratio-based VIs	Enhanced vegetation index (EVI2).	$EVI2 = G \times [(NIR - Red) / (NIR + \beta \times Red + L)]$ $G = 2.5, \quad \beta = 2.4, \quad L = 1$	Jiang, et al. 2008.
		Global environment monitoring index (GEMI).	$GEMI = \eta(10.25 - \eta) - [(Red - 0.125) / (1 - Red)]$ $\eta = \frac{2(NIR^2 - Red^2) + 0.5 Red}{(NIR + Red + 0.5)}$	Pinty and Verstraete, 1992.
3		Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI).	$IPVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red)] + 1 / 2$	Crippen, 1990.
4		Modified green normalized difference vegetation index (MGNDVI).	$MGNDVI = SWIR - Green / SWIR + Green$	Gitelson, et al., 1996.
5		Normalized difference vegetation index (NDVI).	$NDVI = NIR - Red / NIR + Red$	Rouse et al., 1973.
6		optimized soil-adjusted vegetation index (OSAVI).	$OSAVI = (NIR - Red) / (NIR + Red + 0.16)$	Rondeaux, et al., 1996.
7	The distance-based VIs	Modified soil-adjusted vegetation index (MSAVI1).	$MSAVI1 = [(NIR - Red) / (NIR + Red + L)] (1 + L)$ $L = 12 - y NDVI \times WDV$	Qi, et al., 1994.
8		Transformed soil-adjusted vegetation index (TSAVI2).	$TSAVI2 = a(NIR - a \times Red - b) / (Red + a \times NIR - a \times b + 0.08(1 + a^2))$ $a = \text{slope}, \quad b = \text{intercept}.$	Baret and Guyot, 1991.
9		Wide dynamic range vegetation index (WDRVI).	$WDRVI = (a \times NIR - Red) / (a \times NIR + Red)$ $a = \text{slope}.$	Gitelson, 2004.
10		Weighted difference vegetation index (WDVI).	$WDVI = NIR - Y Red$ $y = \text{slope}.$	Clevers, 1989.

ب- بيانات الدراسة:

تتمثل بيانات دراسة في البيانات الآتية:

- بيانات الاستشعار عن بعد Remote sensing data:

تم الاعتماد على بيانات الاستشعار عن بعد الآتية:

* بيانات القمر الصناعي SPOT-5 ، وقد أخذت بيانات

هذا اللاقط في فترتين هما:

● فصل الصيف بتاريخ ٠٦/٠٦/٢٠١٠م؛ لتمثل الفترة

الجافة للتربة.

● فصل الربيع بتاريخ ٢٥/٠٤/٢٠١١م التي تمثل الفترة

الرطبة للتربة.

بيانات القمر الصناعي GeoEye - 1 التي تبلغ

دقة تمييزها المكاني حوالي ٦٠م وقد أخذت بتاريخ

٠٥/٠١/٢٠١١م، وذلك من أجل التحقق من دقة المؤشرات

النباتية في تمييز المحاصيل الزراعية 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.

- بيانات نموذج الارتفاع الرقمي DEM: تم الاستعانة

ببيانات DEM البالغ دقته ٢٠مترًا، من مركز نظم

المعلومات الجغرافية التابع لمدينة الملك عبد العزيز للعلوم

والتقنية في المملكة العربية السعودية.

- العمل الحقلية Field work:

احتاج اختبار كفاءة المؤشرات النباتية إلى العمل الحقلية؛

من أجل التحقق من صحة النتائج، والتأكد من قدرة

المؤشرات النباتية على تمييز المحاصيل، وفصلها عن التربة

في منطقة الدراسة. وقد تم إجراء العمل الحقلية وفق عدد

من الخطوات، تم في الخطوة الأولى عمل دراسة استطلاعية

لمنطقة الدراسة، استمرت ليومين متتاليين بتاريخ ١٨-

١٩/٠٦/٢٠١٠م. وفي الخطوة الثانية تم تجهيز البيانات

والخرائط، وتحديد مواقع أخذ العينات على المرئيات

الفضائية وخرائط التصنيف، وتسجيل إحداثياتها في

قاعدة بيانات جهاز تحديد المواقع العالمي GPS، من إنتاج

شركة GARMIN من نوع GPS ٨٠؛ من أجل الوصول إليها

بسهولة في الحقل. وقد أخذت العينات بالطريقة العمودية

(القصدية) Judgment Sample، وقد بلغ عددها ٦٠

موقعاً، موزعة على كامل منطقة الدراسة. كذلك قامت

الدراسة بالتحقق من دقة المؤشرات النباتية في تقدير

خصائص المحاصيل الزراعية في منطقة الدراسة، بأخذ

٢٠٠ موقع معاينة، اعتماداً على مرئية GeoEye-1 التي

تغطي جزءاً من منطقة الهدأ، والتي تظهر وضع الأراضي

الزراعية في المنطقة. إضافة إلى نقاط المعاينة السابقة (٦٠

نقطة)، بحيث أصبح لديها ٢٦٠موقع معاينة تغطي كامل

منطقة الدراسة. وقد روعي في مواقع العينات أن تشتمل

على مناطق المحاصيل الزراعية الكثيفة جداً والكثيفة،

والمتوسطة، والفقيرة. أما في الخطوة الثالثة فقد تم إجراء

العمل الحقلية في ٢٠١٢/١/١م، واستمر لمدة ٢ أيام.

ج- معالجة البيانات:

تم معالجة بيانات البحث وفق مجموعة من الطرق

وأسابيل التحليل والمعالجة، هي على النحو الآتي:

- تصحيح الغلاف الجوي Atmospheric

correction: تم استخدام الأنموذج الرياضي 6S Model

((Vermote, et al., 1997))، وتتلخص عملية التصحيح في

الخطوات الآتية:

تحويل مرئيتنا SPOT-5 من أعداد رقمية Digital

number إلى قيم انعكاسات طيفية Reflectance's.

وذلك باستخدام المعادلة الآتية:

$$p = \frac{D_c \cdot \pi}{(G \cdot \cos(\theta_s) \cdot E_s)} \quad (11)$$

حيث: P هي انعكاس أعلى طبقة من الغلاف الجوي TOA

reflectance, Dc الأعداد الرقمية Digital count ، G

قيمة Gain المعايرة في اللاقط، θ_s زاوية ميل الشمس Solar

ES zenith angle الإشعاع الشمسي Solar radiation في

الطول الموجي المناسب (Houlès, et al., 2006, p. 32).

تطبيق الأنموذج الرياضي 6S Model، ومعادلته كالاتي:

$$acr = y \div (1 + xc \times y) \quad (12)$$

حيث: y قيمة الانعكاس الطيفي للنطاق (ن)، xc

القيمة المستخرجة من تطبيق الأنموذج الرياضي 6S

Model للنطاق (ن) (Vermote, et al., 1997).

وقد تم بناء الأنموذج الرياضي في برنامج ERDAS

IMAGINE2011.

- التصحيح الهندسي Geometric correction : تم

إعادة التصحيح الهندسي لمرئيتي عامي ٢٠١٠م و٢٠١١م؛

وذلك نتيجة لاختلاف التصحيح الهندسي للمرئيتين،

بحيث تتطابق جميعاً ولا يكون بينها أي اختلاف هندسي

- بناء النماذج الرياضية للمؤشرات النباتية: تم استخدام وظيفة Spatial modeler في برنامج ERDAS IMAGINE2011 لبناء معادلات المؤشرات النباتية.

- تحديد قيمة العتبة **Threshold**: اختيرت قيمة العتبة الفعلية التي تصبح بعدها المؤشرات النباتية غير قادرة تماماً على الكشف عن خلايا المحاصيل المنخفضة الكثافة، وذلك لكل مؤشر نباتي على حدة، باستخدام طريقة الانحراف المعياري Standard deviation. وقد استخدمت هذه الطريقة في برنامج ArcGIS9.2، والمندرجة تحت وظيفة Classification، حيث صنفت المنطقة إلى فئتين؛ لحساب التغطية النباتية للمحاصيل في منطقة الدراسة، ثم إلى ثلاث فئات؛ لحساب تغطية كثافة المحاصيل الزراعية؛ من أجل اختبار كفاءة المؤشرات النباتية في تمييزها.

- التصنيف الهجين **Hybrid classification** (الموجه وغير الموجه **Supervised and Unsupervised**) للمرئيات: قامت الدراسة بعمل تصنيف موجه وغير موجه لمرئيتي عامي 2010م و2011م، في برنامج ERDAS IMAGINE2011؛ وذلك من أجل تصنيف التغطية والكثافة النباتية للمحاصيل في منطقة الدراسة اعتماداً على المؤشرات النباتية.

جدول (2) معاملات خط التربة.

نوع التربة	الوصف	معاملات خط التربة	2010/6/6م	2011/4/25م
تربة رملية جافة	الأشعة الحمراء كمتغير مستقل	intercept-a	0,032385	0,019187
		slope-b	1,090057	1,118554
		R	0,957	0,973
		R ²	0,916	0,948

- تحديد ملاءمة المؤشرات النباتية: استخدمت الدراسة من أجل التحقق من المؤشرات النباتية الملائمة لتقدير تغطية وكثافة المحاصيل، وظيفية Accuracy assessment، إحدى وظائف برنامج ERDAS IMAGINE2011 التي تعطي دقة تصنيف المؤشر النباتي للكثافة النباتية بالنسبة المثوية وبمعامل كبا، وذلك بإدخال 260 نقطة معاينة.

يؤدي إلى اختلاف قيم الخلايا Pixel بينها، وذلك اعتماداً على الخريطة الطبوغرافية مقياس 1:500000. وقد أخذت 50 نقطة تحكم أرضية في المرئية المراد تصحيحها. ومن أجل التأكد من صحة عملية التصحيح الهندسي للمرئيتين تم حساب المتوسط الحسابي لمربع الأخطاء Root mean square error (RMS)، والتي تظهر معادلته كالآتي:

$$RMS = \sqrt{[\sum_{i=1}^n (x_{img,1} - x_{img,2})^2 + \sum_{i=1}^n (y_{img,1} - y_{img,2})^2] / n} \quad (13)$$

ويقوم برنامج ERDAS IMAGINE2011 بحساب هذه المعادلة مباشرة بعد القيام بعملية التصحيح، وكلما كان توقيع نقاط التحكم دقيقاً زادت نسبة صحة التصحيح الهندسي. وقد بلغت نسبة خطأ التصحيح الهندسي نحو 0,44 (=RMS)، وهي أقل نسبة خطأ تم الوصول إليها.

- حساب خط التربة **Soil line**: قامت الدراسة من أجل حساب خط التربة باقتطاع منطقة خالية من النباتات تغطي التربة جميع أجزائها، وذلك من مرئيتي SPOT-5. ومن ثم تطبيق معادلة خط التربة على المنطقة المقتطعة في برنامج Idrisi Taiga 16.0 والتي هي على النحو الآتي:

$$NIR_{soil} = a R_{soil} + b \quad (14)$$

ويبين جدول (2) معاملات خط التربة (معاملات الانحدار الخطي Regression) التقاطع Intercept-a والانحدار Slope-b، و يلاحظ رغم اختلافهما بين عامي 2010م و2011م. ويدل ارتفاع معامل التحديد R² بين نطاقي الأشعة الحمراء Red والأشعة تحت الحمراء القريبة NIR في العامين على تجانس تربة المنطقة المختارة.

- اقتطاع منطقة الدراسة: استخدمت وظيفة Subset في برنامج ERDAS IMAGINE2011 لاقتطاع منطقة الدراسة من مرئيتي SPOT-5 ثم عمل Mask للمرئية المقتطعة. بعد ذلك تم اقتطاع المرئية باستخدام وظيفة Operator، حيث يختار فيها طريقة ضرب المرئيات في Mask.

٧- المناقشة والنتائج:

- كفاءة المؤشرات النباتية الطيفية في تقدير تغطية المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا:

تغطي المناطق الزراعية بمحاصيل ذات تركيزات الكلوروفيل (اليخضور) العالية التي تتميز بشدة انعكاسها في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة NIR، بشكل أكثر من النباتات الطبيعية. ونتيجة لاعتماد أغلب المؤشرات النباتية على هذا النطاق الطيفي فإن قدرتها على تمييز المحاصيل الزراعية تزيد عن قدرتها على تمييز النباتات الطبيعية، ومع ذلك فقد أظهرت المؤشرات النباتية تفاوتاً في قدرتها على تمييزها، وذلك على النحو الآتي:

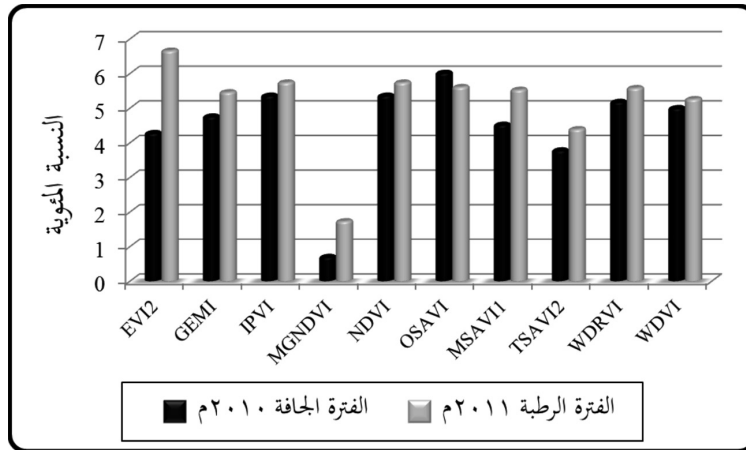
أ- كفاءة المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية:

وجدت الدراسة من خلال ملاحظة جدول (٣) وشكل (٢) وشكل (٣) اختلاف قدرة المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية في تقدير تغطية المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا، إذ تراوحت ما بين ٦.٠٢٪ إلى ٠.٧٠٪ في الفترة الجافة، وما بين ٦.٦٦٪ إلى ١.٧٣٪ في الفترة الرطبة. ومما يلاحظ على المدى بين النسبتين اتساعه خصوصاً في الفترة الجافة؛ نتيجة وجود بعض المؤشرات النباتية منخفضة الكفاءة في تقدير نباتات المحاصيل الزراعية في منطقة الدراسة.

جدول (٣) تقدير التغطية النباتية للمحاصيل الزراعية في منطقة الهدا.

أقسام المؤشرات النباتية	المؤشر النباتي	الفترة الجافة (فصل الصيف) ٢٠١٠م			الفترة الرطبة (فصل الربيع) ٢٠١١م		
		مساحة التربة الجرداء (%)	مساحة الغطاء النباتي (%)	مساحة المناطق الزراعية (%)	مساحة التربة الجرداء (%)	مساحة الغطاء النباتي (%)	مساحة المناطق الزراعية (%)
المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية	EVI2	26,83	68,89	4,28	27,69	65,65	6,66
	GEMI	18,60	76,64	4,76	21,64	72,90	5,46
	IPVI	34,33	60,31	5,36	28,01	66,25	5,74
	MGNDVI	41,34	57,96	0,70	36,28	61,99	1,73
	NDVI	34,33	60,31	5,36	28,39	65,87	5,74
	OSAVI	32,82	61,16	6,02	27,67	66,72	5,61
المؤشرات النباتية التي أساسها مسافة	MSAVI1	27,56	67,92	4,52	26,93	67,54	5,53
	TSAVI2	16,17	80,05	3,78	17,65	77,96	4,39
	WDRVI	33,83	60,99	5,18	28,12	66,30	5,58
	WDVI	30,54	64,46	5,00	26,55	68,19	5,26
المتوسط الكلي		29,63	65,86	4,49	26,89	67,93	5,17

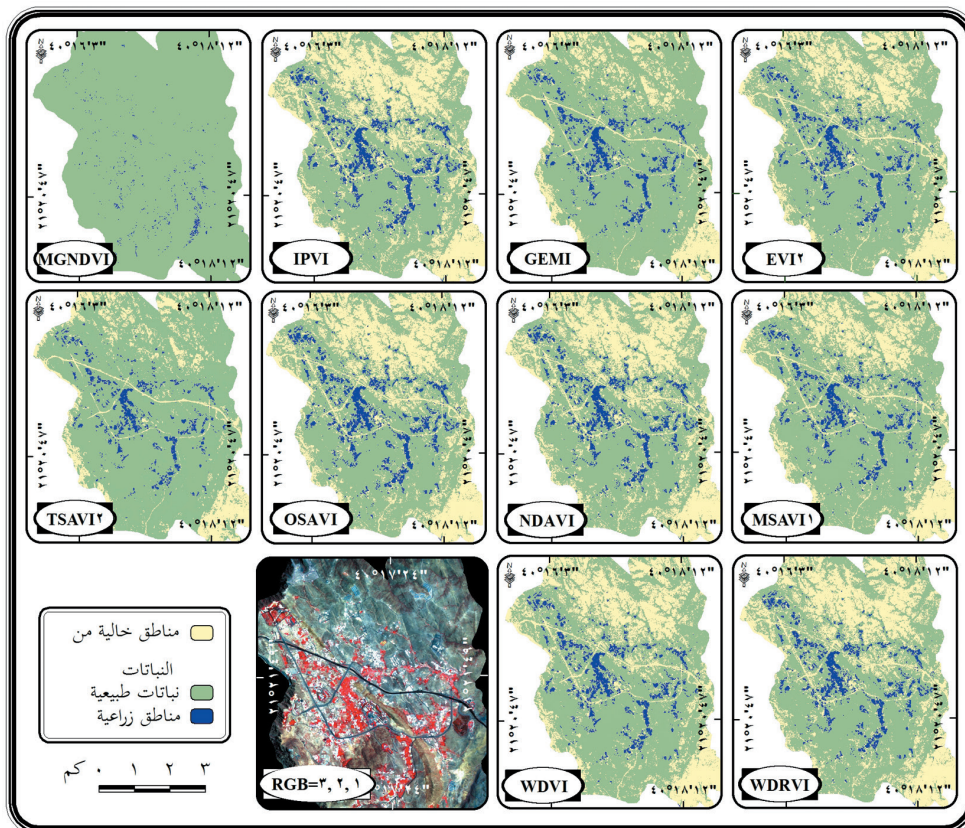
شكل (٢) تقدير التغطية النباتية للمحاصيل الزراعية في منطقة الهدا.



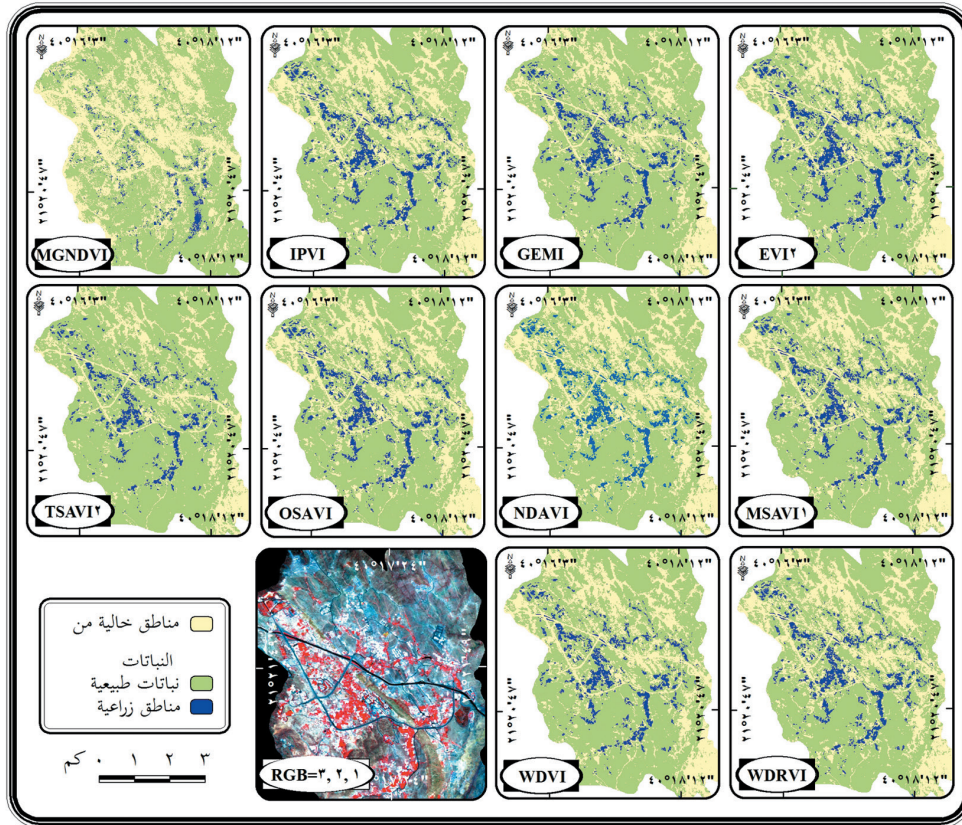
المؤشرات النباتية للمحاصيل الزراعية عندما تختلط بتربة جرداء. ومع تغيير حالة المحصول الزراعي؛ نتيجة نموه وزيادة درجة كثافة خضرته، استمر انخفاض قدرة المؤشرات النباتية السابقة في تقدير تغطية المحاصيل الزراعية مضافاً إليها مؤشرات OSAVI، حيث سجلت نسب تغطية أعلى من نسبة المتوسط الكلي، تراوحت ما بين ٥.٧٤% إلى ٥.٢٣%.

كما اتضح انخفاض كفاءة مؤشري NDVI, IPVI في تقدير المحاصيل الزراعية في الفترة الجافة بمنطقة الهدا. حيث لم تستطع هذه المؤشرات النباتية تمييز تغطية المحاصيل الزراعية بكفاءة عالية، مما أدى إلى ارتفاع نسب تغطيتها عن نسبة المتوسط الكلي. إذ تراوحت نسب تغطيتها ما بين ٥.٣٦% إلى ٥.٠٩%؛ نتيجة لانخفاض حساسية تلك

شكل (٣) كفاءة المؤشرات النباتية الطيفية في تقدير تغطية المحاصيل الزراعية بمنطقة الهدا. أ- الفترة الجافة (فصل الصيف) ٢٠١٠م.



تابع شكل (٣) كفاءة المؤشرات النباتية الطيفية في تقدير تغطية المحاصيل الزراعية بمنطقة الهدا.
ب- الفترة الرطبة (فصل الربيع) ٢٠١١ م.



إلى ٣،٧٨٪ في الفترة الجافة، أما في الفترة الرطبة فقد تراوحت نسب التغطية ما بين ٥،٥٨٪ إلى ٤،٣٩٪. ومن الملاحظ على هذه النسب اتساع مدى الفترة الجافة عن الفترة الرطبة، مما يدل على اختلاف كفاءة المؤشرات النباتية كلما زاد جفاف التربة والمحاصيل الزراعية في منطقة الهدا. وقد تميز مؤشر WDRVI بتسجيله لأعلى نسبة تغطية للمحاصيل الزراعية في الفترتين الجافة والرطبة. كما وجد أن أقل نسبة تغطية للمحاصيل الزراعية كانت بمؤشر TSAVI2، حيث بلغت ٣،٧٨٪ و ٤،٣٩٪ في الفترتين الجافة والرطبة. وتعد هاتان النسبتان أقل من نسبة المتوسط الكلي للمحاصيل الزراعية؛ نتيجة عدم حساسية مؤشر TSAVI2 للمحاصيل الزراعية، خصوصاً ما كان منها في بداية نموها، وعدم قدرته على فصل انعكاسها عن انعكاس التربة.

وقد استطاعت أغلب المؤشرات النباتية ضمن هذه المجموعة كالمجموعة السابقة تقدير تغطية المناطق الزراعية بكفاءة عالية. حيث سجلت في الفترة الجافة مؤشري

وقد ظهرت كفاءة مؤشرا GEMI, EVI2 في تقدير تغطية المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا. إذ تمكنا هذان المؤشران النباتيان من فصل انعكاس التربة عن انعكاس المحاصيل الزراعية بكفاءة عالية. وقد ساهم ذلك في اقتراب نسب تغطيتها من نسبة المتوسط الكلي لتغطية المحاصيل الزراعية، حيث بلغت ٤،٧٦٪ و ٤،٢٨٪. أما في الفترة الرطبة فقد حافظ مؤشر GEMI على قدرته العالية في تمييز المحاصيل الزراعية، حيث بلغت نسبة تغطية هذا المؤشر النباتي ٥،٤٦٪.

ب- كفاءة المؤشرات النباتية التي أساسها مسافة بين نطاقي NIR/Red:

يتبين من خلال جدول (٣) وشكل (٢) وشكل (٣) عدم اختلاف قدرة المؤشرات النباتية في هذه المجموعة كثيراً، عن قدرة المؤشرات النباتية ضمن المجموعة السابقة إذا ما استثنى منها مؤشر MGNDVI، عند تقدير تغطية المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا. حيث نجد أن نسب تغطية المؤشرات النباتية تراوحت بصفة عامة ما بين ٥،١٨٪

على استبعاد تأثير سطوع التربة عنها. كما أظهرت المؤشرات النباتية في الفترة الرطبة اختلافاً كبيراً فيما بينها عند تقدير المحاصيل الفقيرة، إذ تراوحت نسب تغطيتها ما بين ١٤،٤٦٪ بمؤشر EVI2 إلى ١٢،٦٧٪ بمؤشر MGNDVI، وهو فارق كبير بين النسبتين، ويدل ذلك على اختلاف قدرة المؤشرات النباتية، وعدم تمكن مجموعة منها على تمييز المحاصيل الفقيرة بكفاءة عالية وتأثرها بمحتوى التربة من الأسمدة ورطوبتها. كما يلاحظ اختلاف النسب بين الفترتين الجافة والرطبة إذ تميزت الفترة الجافة بارتفاع نسبة المحاصيل؛ وذلك نتيجة لكون أغلب المحاصيل في فترة الصيف مازالت في المراحل الأولى من نموها، أو انخفاض نسبة تركيز الكلوروفيل في أوراق النباتات في تلك الفترة، واعتمادها فقط على الري بعكس فترة الربيع.

وقد أظهر مؤشرا OSAVI, EVI2 قدرة عالية على تمييز المحاصيل الفقيرة في الفترة الجافة بمنطقة الهدا. حيث سجلنا نسب تغطية قريبة جداً من المتوسط الكلي للمحاصيل الفقيرة في الفترة الجافة، بلغت ٦٥،٨٠٪ و ٦٥،٠٩٪؛ وذلك نتيجة لتقارب قدرة هذين المؤشرين النباتيين في فصل التربة عن المحاصيل الفقيرة، وتمييزها بالكفاءة نفسها. كذلك تمكنت مؤشرات OSAVI, NDVI, IPVI في الفترة الرطبة من تقدير المحاصيل الفقيرة

MSAVI, WdVI، نسب تغطية قريبة جداً من نسبة المتوسط الكلي للمناطق الزراعية، بلغت ٤،٥٢٪ و ٥،٠٪. وقد تمكنا هذان المؤشران النباتيين من تقدير تغطية المحاصيل الزراعية بكفاءة في الفترة الرطبة حيث سجلنا نسب تغطية بلغت ما بين ٥،٥٣٪ إلى ٥،٢٦٪، وهي نسب قريبة جداً من نسبة المتوسط الكلي للمحاصيل الزراعية. وبذلك يتضح كفاءة هذان المؤشران النباتيين في تقدير تغطية نباتات المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا.

- كفاءة المؤشرات النباتية الطيفية في تقدير كثافة المحاصيل الزراعية بمنطقة الهدا:

تختلف كثافة المحاصيل الزراعية؛ نتيجة تنوع نوع المحصول داخل الحقل، ونظام الري المتبع، والمواد العضوية المستخدمة في التسميد، وفترة النمو، ومقدار نضج الثمار، مما يؤثر على شدة خضرة الخلية النباتية المنعكسة من الأراضي الزراعية في مرئيات الأقمار الصناعية. وقد يساهم تحسن الظروف الطبيعية وزيادة معدلات هطول الأمطار في منطقة الدراسة إلى زيادة خضرة المحصول؛ نتيجة زيادة معدلات نسبة الكلوروفيل (اليخضور) في أوراق النبات، مما يؤثر على قدرة المؤشرات النباتية في تمييز شدة خضرة المحصول الزراعي من مرئيات الأقمار الصناعية. لذلك لم تكن قدرة المؤشرات النباتية متماثلة في تمييز كثافة المحاصيل، إذ تباينت من مؤشر نباتي إلى آخر، وذلك على النحو الآتي:

- كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير المحاصيل الفقيرة: تظهر المؤشرات النباتية كفاءة مختلفة عند تقدير المحاصيل الفقيرة؛ وذلك نتيجة لوجود نسبة طفيفة من الخضرة ضمن الخلية الواحدة، وقد لا تستطيع كل المؤشرات النباتية تمييزها بالكفاءة نفسها، لذلك سيتم استعراض كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير المحاصيل الفقيرة على النحو الآتي:

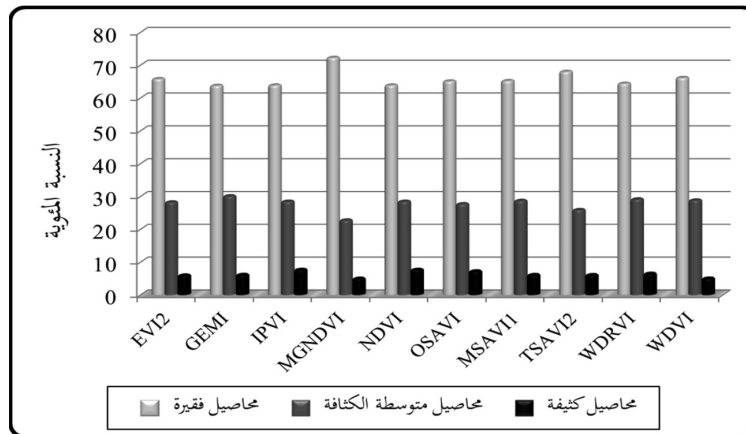
أ- كفاءة المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية: يتبين من جدول (٤) وشكل (٤) وشكل (٥) تفاوت كفاءة المؤشرات النباتية ضمن هذه المجموعة في قدرتها على تقدير المحاصيل الفقيرة، إذ تراوحت نسب تغطيتها في الفترة الجافة ما بين ٧٢،٢٧٪ بمؤشر MGNDVI إلى ٦٣،٧٤٪ بمؤشر GEMI. ويعد المدى بين النسبتين واسعاً نسبياً؛ وذلك بسبب عدم حساسية بعض المؤشرات النباتية ضمن هذه المجموعة للمحاصيل قليلة الخضرة، وانخفاض قدرتها

جدول (٤) تقدير كثافة المحاصيل الزراعية بمنطقة الهدا.

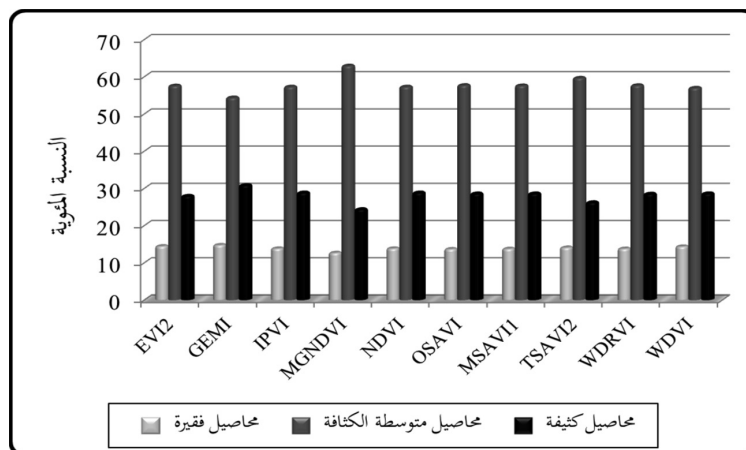
الفترة الرطبة (فصل الربيع) ٢٠١١م			الفترة الجافة (فصل الصيف) ٢٠١٠م			المؤشر النباتي	أقسام المؤشرات النباتية
محاصيل كثيفة (%)	محاصيل متوسطة الكثافة (%)	محاصيل فقيرة (%)	محاصيل كثيفة (%)	محاصيل متوسطة الكثافة (%)	محاصيل فقيرة (%)		
27,96	57,58	14,46	5,97	28,23	65,80	EVI2	المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية
30,85	54,38	14,77	6,15	30,11	63,74	GEMI	
28,85	57,30	13,85	7,69	28,45	63,86	IPVI	
24,38	62,95	12,67	4,99	22,74	72,27	MGNDVI	
28,85	57,30	13,85	7,69	28,45	63,86	NDVI	
28,60	57,71	13,69	7,22	27,69	65,09	OSAVI	
	28,61	57,62	13,77	6,10	28,70	65,20	المؤشرات النباتية التي أساسها مسافة
26,24	59,67	14,09	6,08	25,90	68,02	TSAVI2	
28,53	57,68	13,79	6,48	29,14	64,38	WDRVI	
28,63	56,99	14,38	5,03	28,83	66,14	WDVI	
28,15	57,91	13,93	6,34	27,82	65,83	المتوسط الكلي	

شكل (٤) تقدير كثافة المحاصيل الزراعية بمنطقة الهدا.

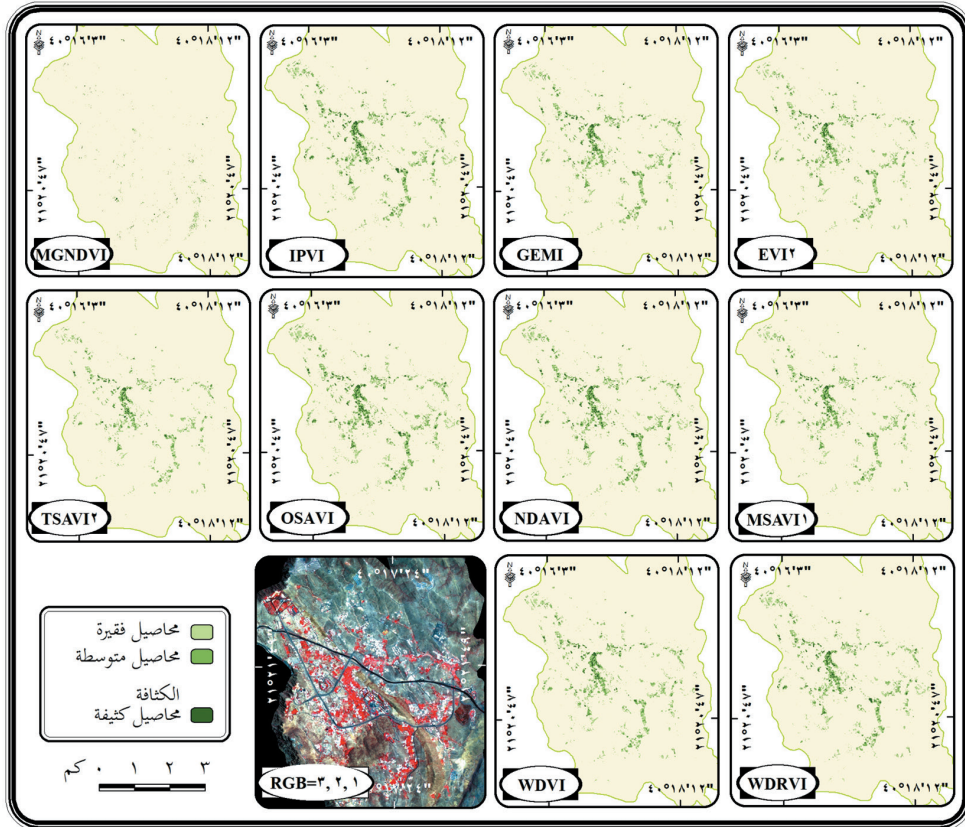
أ- الفترة الجافة (فصل الصيف) ٢٠١٠م.



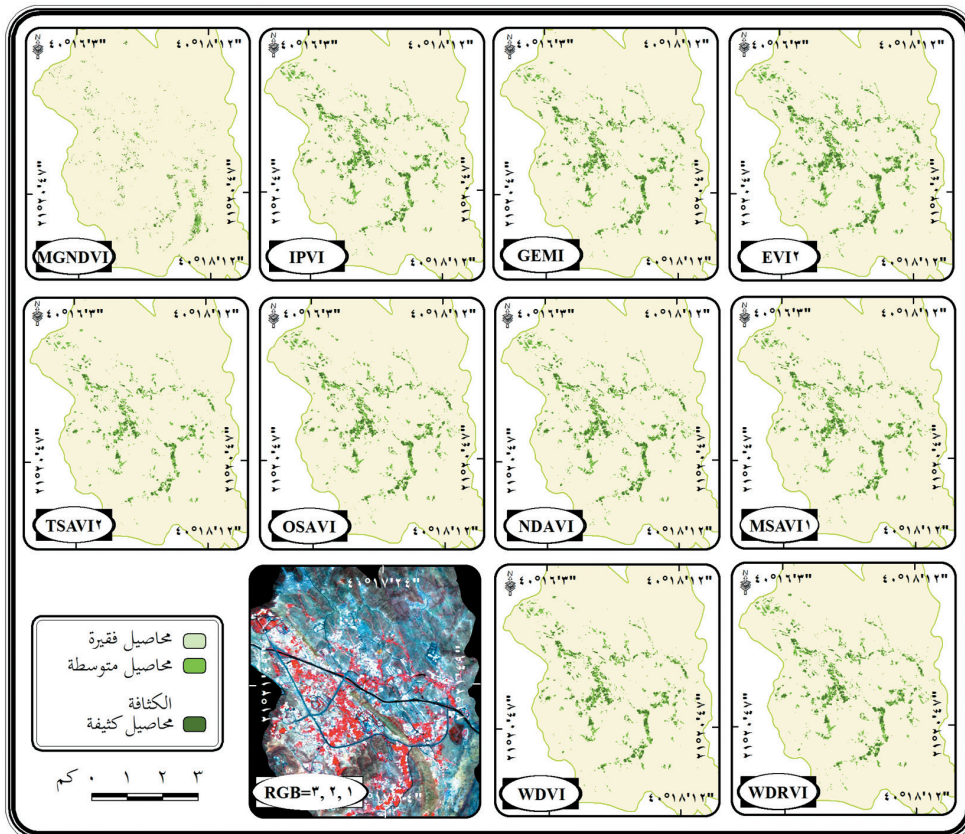
ب- الفترة الرطبة (فصل الربيع) ٢٠١١م.



شكل (5) كفاءة المؤشرات النباتية الطيفية في تقدير كثافة المحاصيل الزراعية بمنطقة الهدا.
أ- الفترة الجافة (فصل الصيف) 2010م.



تابع شكل (5) كفاءة المؤشرات النباتية الطيفية في تقدير كثافة المحاصيل الزراعية بمنطقة الهدا.
ب- الفترة الرطبة (فصل الربيع) 2011م.



الفقيرة على مرثيات الأقمار الصناعية؛ نتيجة زيادة درجة خضرتها وتقارب المحاصيل، وقلة مساحة التربة الجرداء التي تفصل بين المحاصيل. ومع ذلك تظهر المؤشرات النباتية قدرة مختلفة في تمييزها في منطقة الهدأ، كما يتضح ذلك على النحو الآتي:

أ- كفاءة المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية:

يتضح من جدول (٤) وشكل (٤) وشكل (٥) تباين قدرة المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية في تقدير المحاصيل متوسطة الكثافة، إذ وجد أن نسب تغطيتها تتراوح ما بين ٣٠،١١٪ بمؤشر GEMI إلى ٢٢،٧٤٪ بمؤشر MGNDVI، وهو مدى واسع، نتج عن اختلاف حساسية المؤشرات النباتية في هذه المجموعة للمحاصيل، خصوصاً مؤشر MGNDVI الذي انخفضت قدرته على تمييز المحاصيل. ومع زيادة رطوبة التربة والمحاصيل زادت نسبة تغطية المحاصيل متوسطة الكثافة، حيث تراوحت نسبها ما بين ٦٢،٩٥٪ بمؤشر MGNDVI إلى ٥٤،٢٨٪ بمؤشر GEMI. ويبين اتساع المدى في هذا الفترة الرطبة تأثير كفاءة المؤشرات النباتية برطوبة التربة والمحاصيل، إذ لا يزال بعضها غير قادر على تمييز المحاصيل متوسطة الخضرة.

وقد تميزت مؤشرات NDVI, IPVI, EVI2 بقدرتها العالية على تقدير تغطية المحاصيل متوسطة الكثافة في منطقة الهدأ؛ وذلك لاقتراب نسبة تغطيتهما في الفترة الجافة من المتوسط الكلي للمحاصيل متوسطة الكثافة، إذ تراوحت ما بين ٢٨،٤٥٪ إلى ٢٨،٢٣٪؛ وذلك نتيجة حساسيتها المعتدلة للتربة والمحاصيل متوسطة الخضرة في المنطقة. كذلك ارتفعت كفاءة المؤشرات السابقة بالإضافة إلى مؤشر OSVI في تقدير تغطية المحاصيل متوسطة الكثافة في الفترة الرطبة. حيث تراوحت نسب التغطية ما بين ٥٧،٧١٪ إلى ٥٧،٣٠٪. في حين انخفضت كفاءة مؤشري GEMI, OSVI في الفترة الجافة ومؤشر GEMI في تقدير تغطية المحاصيل متوسطة الكثافة.

ب- كفاءة المؤشرات النباتية التي أساسها مسافة بين نطاقي NIR/Red:

يظهر جدول (٤) وشكل (٤) وشكل (٥) تفاوت كفاءة المؤشرات النباتية في تمييز المحاصيل متوسطة الكثافة في منطقة الهدأ. حيث تراوحت نسب تغطيتها في الفترة الجافة ما بين ٢٩،١٤٪ بمؤشر WDRVI إلى ٢٥،٩٠٪ بمؤشر

بكفاءة عالية. حيث أعطت هذه المؤشرات نسب تغطية نباتية قريبة جداً من المتوسط الكلي للمحاصيل الفقيرة، تراوحت ما بين ١٢،٨٥٪ إلى ١٢،٧٧٪. في حين انخفضت كفاءة مؤشرات GEMI, IPVI, NDVI في الفترة الجافة، ومؤشري EVI2, GEMI في الفترة الرطبة، عند تقدير تغطية المحاصيل الفقيرة.

ب- كفاءة المؤشرات النباتية التي أساسها مسافة بين نطاقي NIR/Red:

يتضح من جدول (٤) وشكل (٤) وشكل (٥) تفاوت كفاءة المؤشرات النباتية التي أساسها مسافة في تقدير المحاصيل الفقيرة، حيث تراوحت نسب تغطيتها في الفترة الجافة ما بين ٦٨،٠٢٪ بمؤشر TSAVI2 إلى ٦٤،٢٨٪ بمؤشر WDRVI. ومما يلاحظ أن المدى بينها أقل اتساعاً من المدى بين المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية، وفي ذلك دلالة على قلة الفرق بين المؤشرات النباتية ضمن هذه المجموعة في تقدير المحاصيل الفقيرة. أما في الفترة الرطبة فإن قدرة المؤشرات النباتية في هذه المجموعة لم تختلف كثيراً عن قدرة المؤشرات النباتية ضمن المجموعة السابقة في تقدير المحاصيل الفقيرة حيث تراوحت نسب تغطية المحاصيل الفقيرة ما بين ١٤،٢٨٪ بمؤشر WDRVI إلى ١٢،٧٧٪ بمؤشر MSAVI، ورغم وجود معاملات خط التربة في معادلات المؤشرات النباتية ضمن هذه المجموعة، فإنه أدى إلى المبالغة أحياناً في تقدير التربة أكثر من المحاصيل الفقيرة.

كما أظهرت مؤشرات WDRVI, MSAVI, WDRVI في الفترة الجافة، قدرة منخفضة على تمييز المحاصيل الفقيرة في منطقة الهدأ. حيث أعطت جميعها نسب تغطية أعلى من المتوسط الكلي للمحاصيل الفقيرة في المنطقة، وقد تراوحت ما بين ٦٦،١٤٪ إلى ٦٤،٢٨٪. ويرجع ذلك إلى حساسية هذه المؤشرات النباتية للتربة للجافة أكثر من المحاصيل الفقيرة. في حين تمكنت هذه المؤشرات من تمييز المحاصيل الزراعية في الفترة الرطبة، حيث أعطت نسب تغطية قريبة من نسبة المتوسط الكلي للمحاصيل الفقيرة التي تراوحت ما بين ١٤،٢٨٪ إلى ١٢،٧٧٪.

كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير المحاصيل متوسطة الكثافة:

تعد المحاصيل متوسطة الكثافة أكثر وضوحاً من المحاصيل

OSAVI كفاءة عالية في تقدير المحاصيل الكثيفة في منطقة الهدا، إذ استطاعت هذه المؤشرات النباتية تمييز تغطية المحاصيل الكثيفة بنسب قريبة جداً من المتوسط الكلي للمحاصيل الكثيفة، بلغت ٢٨،٨٥٪ و ٢٨،٦٠٪.

ب- كفاءة المؤشرات النباتية التي أساسها مسافة بين نطاقي NIR/Red:

يتضح من جدول (٤) وشكل (٥) وشكل (٦) وجود تفاوت طفيف بين المؤشرات النباتية في قدرتها على تقدير المحاصيل الكثيفة في منطقة الهدا، خصوصاً في الفترة الجافة. إذ تراوحت نسب تغطية المحاصيل في الفترة الجافة ما بين ٦،٤٨٪ بمؤشر WDRVI إلى ٥،٠٢٪ بمؤشر WdVI، ويعد المدى بين النسبتين أقل من مدى المؤشرات النباتية ضمن المجموعة السابقة. في حين تراوحت نسب تغطية المحاصيل الكثيفة في الفترة الرطبة ما بين ٢٨،٦٣٪ بمؤشر WdVI إلى ٢٦،٢٤٪ بمؤشر TSAVI2.

كما ظهر ارتفاع كفاءة مؤشرا MSAVI1, TSAVI2 في تقدير المحاصيل الكثيفة في الفترة الجافة بمنطقة الهدا. إذ سجلنا نسب تغطية قريبة جداً من نسبة المتوسط الكلي للمحاصيل الكثيفة، بلغت ٦،١٠٪ و ٦،٠٨٪. مما يدل على تمكن هذين المؤشرين من فصل انعكاس التربة عن انعكاس المحاصيل الكثيفة في منطقة الدراسة. غير أن زيادة رطوبة التربة والمحاصيل في منطقة الهدا، أثرت في قدرة المؤشرات النباتية على تمييز المحاصيل الكثيفة بكفاءة عالية، حيث لم تستطع سوى مؤشري MSAVI1, WRDVI من تمييزها بكفاءة. إذ بلغت نسبة تغطيتها ٢٨،٦١٪ إلى ٢٨،٥٣٪، وهي نسب قريبة جداً من نسبة المتوسط الكلي للمحاصيل الكثيفة.

- المؤشرات النباتية الطيفية الملائمة لتقدير المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا:

تفاوتت كفاءة المؤشرات النباتية الطيفية فيما بينها عند تقدير المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا بناءً على التحقق الحقل، والتحقق بمرئيات عالية الوضوح المكاني (٦٠ سم) مأخوذة من القمر الصناعي GeoEye-1. إذ يلاحظ من جدول (٥) أن مؤشري WdVI, MSAVI1 في الفترة الجافة، ومؤشرات WdVI, OSAVI, MSAVI1 في الفترة الرطبة احتلت المرتبة الأولى في ملاءمتها جداً لتقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية مقارنة بالمؤشرات النباتية

TSAVI2، ويعد المدى بين النسبتين أقل اتساعاً من مدى المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية. في حين تراوحت نسب تغطية المحاصيل متوسطة الكثافة في الفترة الرطبة ما بين ٥٩،٦٧٪ بمؤشر TSAVI2 إلى ٥٦،٩٩٪ بمؤشر WdVI.

وقد تمكن مؤشرات WdVI, WDRVI, MSAVI1 من تقدير المحاصيل متوسطة الكثافة بكفاءة عالية في منطقة الهدا. حيث بلغت نسبة تغطيتها في الفترة الجافة ما بين ٢٩،١٤٪ إلى ٢٨،٧٠٪؛ وذلك نتيجة ارتفاع حساسيتها للمحاصيل متوسطة الخضرة وانخفاض حساسيتها للتربة. في حين انخفضت كفاءة المؤشرات السابقة في تمييز المحاصيل متوسطة الكثافة عن التربة الرطبة بكفاءة عالية في الفترة الرطبة، إذ تراوحت نسب تغطيتها ما بين ٥٩،٦٧٪ إلى ٥٦،٩٩٪.

كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير المحاصيل الكثيفة:

تتميز المحاصيل الزراعية الكثيفة بقلّة نسبة التباعد وزيادة نسبة التجاور أو التلاصق بينها أحياناً. ونظراً لتغطيتها لأغلب مساحة الخلية النباتية، فإن الخلية تصبح شديدة الخضرة، بحيث يسهل تمييزها على المرئيات الفضائية، لكن كفاءة المؤشرات النباتية تختلف في تقديرها من مؤشر نباتي إلى آخر، وذلك على النحو الآتي:

أ- كفاءة المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية:

يتبين من جدول (٤) وشكل (٤) وشكل (٥) تفاوت قدرة المؤشرات النباتية التي أساسها نسب رياضية في تقدير المحاصيل الكثيفة، حيث وجد أن نسب تغطيتها تتراوح ما بين ٧،٦٩٪ بمؤشري NDVI, IPVI إلى ٤،٩٩٪ بمؤشر MGNDVI، ويدل هذا المدى متوسط الاتساع على تحسن كفاءة المؤشرات النباتية ضمن هذه المجموعة على تقدير المحاصيل الكثيفة، وبشكل أفضل من قدرتها على تمييز محاصيل الفئات السابقة. أما في الفترة الرطبة فقد تراوحت نسب تغطية المحاصيل الكثيفة ما بين ٣٠،٨٥٪ بمؤشر GEMI إلى ٢٤،٢٨٪ بمؤشر MGNDVI، وهو مدى أكثر اتساعاً من مدى الفترة الجافة.

وقد استطاع مؤشر OSAVI تقدير تغطية المحاصيل الكثيفة بكفاءة عالية جداً. حيث سجل نسبة قريبة جداً من المتوسط الكلي للمحاصيل الكثيفة، بلغت ٧،٢٢٪. ومع تحسن رطوبة التربة والمحاصيل أظهرت مؤشرات IPVI, NDVI,

مؤشرات المرتبة الخامسة بأنها غير ملائمة لتقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا، وقد ضمت مؤشراً واحداً فقط هو مؤشر GEMI، في الفترتين الجافة الرطبة. أما مؤشرات المرتبة السادسة فقد ضمت مؤشر نباتي غير ملائم جداً لتقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا، هو: مؤشر MGNDVI الذي يعد من أسوأ المؤشرات النباتية؛ لعدم قدرته على تقدير التغطية والكثافة النباتية للمحاصيل الزراعية في منطقة الهدا، وإعطائه نتائج غير صحيحة لا يمكن للدراسة الاعتماد عليها إطلاقاً.

الأخرى. في حين احتل المرتبة الثانية مؤشر EVI2 في الفترة الجافة، ومؤشرات NDVI, IPVI, WDRVI في الفترة الرطبة، في مدى ملائمتها لتقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا. كما تميزت مؤشرات المرتبة الثالثة متوسطة الملاءمة في الفترة الجافة بضمها لمؤشري OSAVI, TSAVI2، وفي الفترة الرطبة ضمها لمؤشري EVI2, TSAVI2، ورغم انخفاض قدرتهما على الفصل بين التربة والمحاصيل، وتمييز فئات الكثافة النباتية للمحاصيل في منطقة الدراسة، فإنهما يعدان مؤشران متوسطا الملاءمة لتقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا. في حين ضمت المرتبة الرابعة في الفترة الجافة مؤشرات IPVI, NDVI, WDRVI، وهي تعد مؤشرات نباتية منخفضة الملاءمة لتقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية. كما صنفت

جدول (٥) دقة ملاءمة المؤشرات النباتية لتقدير تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا.

الفترة الرطبة ٢٠١١م		المؤشر النباتي	الفترة الجافة ٢٠١٠م		المؤشر النباتي	درجة الملاءمة	المرتبة
معامل كبا	النسبة المئوية (%)		معامل كبا	النسبة المئوية (%)			
0,907	93,03	MSAVI1	0,888	91,11	MSAVI1	ملائمة جداً	الأولى
0,887	91,59	OSAVI	0,876	90,14	WDVI		
0,871	90,14	WDVI					
0,813	86,06	NDVI	0,867	89,42	EVI2	ملائمة	الثانية
0,807	85,58	IPVI					
0,807	85,58	WDRVI					
0,794	84,13	EVI2	0,754	80,53	OSAVI	متوسطة الملاءمة	الثالثة
0,759	81,97	TSAVI2	0,724	77,64	TSAVI2		
0	0	-	0,667	73,56	IPVI	منخفضة الملاءمة	الرابعة
0	0	-	0,667	73,56	NDVI		
0	0	-	0,663	73,32	WDRVI		
0,631	69,95	GEMI	0,510	61,54	GEMI	غير ملائمة	الخامسة
0,196	38,70	MGNDVI	0,165	33,65	MGNDVI	غير ملائمة جداً	السادسة

الذاتية:

النباتية الطيفية؛ وذلك لتفاوت فاعليتها في فصل التربة عن المحاصيل، إذ قد يعطي الاعتماد على مؤشر نباتي واحد فقط نتائج مضللة أو خاطئة عن واقع المحاصيل الزراعية في المنطقة، خصوصاً في المناطق الزراعية في وسط وشمال المملكة العربية السعودية. وضرورة الاستفادة من المؤشرات النباتية الملائمة جداً، في تقدير الخواص البيوفيزيائية الأخرى للمحاصيل الزراعية في منطقة الهدا، كمؤشر مساحة الورقة، والكتلة الحيوية الخضراء، والامتصاص الجزئي للإشعاع عن طريق التمثيل الضوئي (fAPAR)، والإنتاج الزراعي، باستخدام بيانات أقمار صناعية متعددة.

المراجع:

- البلادي، عاتق غيث (١٤٠٠هـ)، معجم معالم الحجاز، الجزئين الخامس والتاسع، دار مكة، مكة المكرمة.
- 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.
- هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، (١٤٣٠هـ)، خارطة المملكة العربية السعودية الإدارية، هيئة المساحة الجيولوجية السعودية، المملكة العربية السعودية، جدة.
- 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.
- Aparicio, N.; Villegas, D.; Casadesus, J.; Araus, J.L. and Royo, C., (2000), Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield, *Agronomy Journal*, 92, pp.83- 91.
- Bannari, A. and Asalhi, H., (2004), Sensitivity 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>>
- Bannari, A.; Morin, D.; Bonn, F. and Huete, A. R. (1995), A review of vegetation indices, *Remote Sensing Reviews*, 13, pp.95 -120.

تختلف كفاءة المؤشرات النباتية فيما بينها عند تقدير خصائص المحاصيل الزراعية في أي منطقة تطبق عليها تلك المؤشرات النباتية. لذلك قامت الدراسة بتقييم كفاءة ١٠ مؤشرات نباتية طيفية في تقدير المحاصيل من خلال بيانات القمر الصناعي SPOT-5، وذلك في منطقة جبلية معقدة تضاريسياً تقع شمال جبال السروات. وتتميز هذه المنطقة الجبلية باختلاف تغطية وكثافة المحاصيل الزراعية بها التي يصعب تقديرهما بدون استخدام أدوات وأساليب تقنية الاستشعار عن بعد. وقد اعتمدت الدراسة لتحقيق ذلك على بيانات القمر الصناعي SPOT-5، وقد خضعت البيانات للمعالجة في برامج ERDAS IMAGINE9.1, Idrisi Taiga16.0, ArcGIS9.2 Regress, باستخدام وظائف Spatial modeler, Operator, Classification, Overlay, Accuracy assessment, Spatial analyst. وقد توصلت الدراسة إلى اختلاف كفاءة المؤشرات النباتية في تحديد مساحة تغطية المحاصيل في منطقة الدراسة، حيث تراوحت نسبة التغطية النباتية ما بين ٦٠,٠٢٪ إلى ٠,٧٠٪ في الفترة الجافة، في حين زادت هذه النسبة في الفترة الرطبة لتتراوح ما بين ٦٠,٦٦٪ إلى ١,٧٣٪. كما اتضح انخفاض كفاءة مؤشرات IPVI, NDVI, WDRVI في الفترة الجافة، مضافاً لها مؤشرات OSAVI, TSAVI2 في الفترة الرطبة، لتقدير تغطية المحاصيل الزراعية، وعدم قدرتها على فصل انعكاس التربة عن انعكاس المحاصيل في منطقة الهدا. كما تبين تمكن مؤشرات EVI2, GEMI, MSAVI1, WdVI في الفترة الجافة، ومؤشر GEMI في الفترة الرطبة تقدير التغطية النباتية بكفاءة. كما اتضح تفاوت كفاءة المؤشرات النباتية في الفصل بين فئات كثافة المحاصيل الزراعية، وفصل انعكاسها عن انعكاس التربة. وتوصلت الدراسة إلى أن مؤشري MSAVI1, WdVI في الفترة الجافة، ومؤشرات MSAVI1, OSAVI, WdVI في الفترة الرطبة، هي أفضل المؤشرات النباتية الملائمة لمنطقة الدراسة، في حين أن مؤشر MGNDVI هو أسوأ المؤشرات النباتية. وأوصت الدراسة في نهايتها بضرورة أخذ أكثر من مؤشر نباتي طيفي عند استخدام المؤشرات النباتية الطيفية في تقدير أي خاصية من خصائص المحاصيل الزراعية في المناطق التي لم تختبر فيها كفاءة المؤشرات

biophysical characteristics of vegetation, **Journal of Plant Physiology** 161, pp.165 -173.

- Gumz, M. and Weller, S., C.(2005), Using Spectral Vegetation Indices to Differentiate Weeds and Mint in Remote Sensing Images, **Site Specific Management Center Newsletter**, Purdue University, April, 2005.

- Haboudane, D.; Miller, J.R.; Tremblay, N.; Zarco-Tejada, P.J. and Dextraze, L., (2002), Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture, **Remote Sensing of Environment**, 81, pp.416- 426.

- Haboudane, D ; Miller, J.R.; Pattey, E.; Zarco-Tejada, P.J. and Strachan I.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.

- 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** (032006/07/), no 181 (57 p.), pp. 31 -37.

- Huete, A.; Justice, C.; and Leeuwen, W. V., (1999), MODIS vegetation index (MOD 13): algorithm theoretical basis document (ATBD), Version 3. <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf>

- Jackson, R.D. and Huete, A.R., (1991), Interpreting vegetation indices, **Preventive Veterinary Medicine**, 11, pp.185 -200. Elsevier Science Publishers B. Y., Amsterdam.

- Ji, L. and Peters, A J., (2007), Performance evaluation of spectral vegetation indices using a statistical sensitivity function, **Remote Sensing of Environment**, 106, pp.59- 65

- Jiang, Zhanangyan; Huete, Alfredo R.; Kamel,

- 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.

- Chopping, M.; Su, L.; Rango, A.; Martonchik, J.; Peters, D. and Laliberte, A., (2008), Remote sensing of woody shrub cover in desert grasslands using MISR with a geometric-optical canopy reflectance model, **Remote Sensing of Environment**, 112 , pp. 19–34.

- 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.

- Colditz, R. R.; Conrad, C.; Wehrmann, T.; Schmidt, M. and Dech, S., (2007), Analysis of the quality of collection 4 and 5 vegetation index time series from MODIS, <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/2-C43/www.itc.nl/issdq2007/proceedings/Session%20420%20Geo%20Information%20Theory/paper%20colditz.pdf>>

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

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

- 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.
- Vincini, M.; Frazzi, E. and D'Alessio, P., (2007), Narrow-band vegetation indexes from hyperion and directional chris/proba data for canopy chlorophyll density estimation in maize, **Proc. 'Envisat Symposium 2007'**, Montreux, Switzerland.
- Wardlow, B.D., Egbert, S.L. and Kastens, J.H., (2007), Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains, **Remote Sensing of Environment**, 108, pp.290-310.
- Wu, J.; Wang, D. and Bauer, M. 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.
- Yang, Z., Willis, P. and Mueller, R., (2008), Impact of band-ratio enhanced a WIFS image to crop classification accuracy, **Future of Land Imaging Conference**, 18 -20 November. 2008, Denver, Colorado.
- Zhao, D.; Huang, L.; Li, J. and Qi, J., (2007), A comparative analysis of broadband and narrowband derived vegetation indices in predicting LAI and CCD of a cotton canopy, **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 62, pp.25-33
- 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.
- 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.
- Kogan, F.; Gitelson, A.; Zakarin, E.; Spivak, L. and Lebed, L., (2003), AVHRR-based spectral vegetation index for quantitative assessment of vegetation state and productivity: calibration and validation, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 69, 8, pp. 899 -906.
- 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 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.
- 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.
- Teillet, P. M.; Staenx, K. and Williams, D. J., (1997), Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions, **Remote Sensing of Environment**, 61, pp.139- 149.