مراجعات الاستشعار عن بعد، 1995، المجلد. 13 ، ص 95-120- التصوير يسمح به رخصة فقط

Harwood Academic Publishers 1995 © - طبع في ماليزيا

نظرة عامة علي مؤشرات الغطاء النباتي

أ.بنري.د. مورن& ف. بون - مركز تطبيقات وبحوث الاستشعار عن بعد (CARTEL) ، جامعة شيربروك ،شيربروك ، كيبيك ، كندا

أ. ر. هويت- قسم علوم التربة والمياه ، جامعة أريزونا ، 429 شانتس ، مبنى رقم 38 ، توكسون ، أريزونا، الولايات المتحدة الأمريكية

- ترجمة: د. غادة محمد علي هويدي. محاضر بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية. كلية الآداب والعلوم/ درنة/ جامعة عمر المختار.

Dr: Ghada Muhammad Ali Huwaidi. Lecturer, Department of Geography and Geographic Information Systems. College of Arts and Sciences/ Darnah/ Omar Al-Mukhtar University.
Email: Ghadah-ahweedi@yahoo.com.

الملخص : في مجال تطبيقات الاستشعار عن بعد، طور العلماء مؤشرات نباتية (Vegetation indices) (VI) من أجل تقييم الغطاء النباتي نوعيًا وكميًا باستخدام القياسات الطيفية. فالاستجابة الطيفية في صور الأقمار الصناعية للمناطق المزروعة تقدم مزيجًا معقدًا من الغطاء النباتي ، سطوع التربة ، الآثار البيئية ، الظل ، التربة، اللون والرطوبة. علاوة على ذلك ، يتأثر المؤشر النباتي (VI) بالتغيرات المكانية والزمانية للغلاف الجوي. وقد تم تطوير أكثر من أربعين مؤشرا للغطاء النباتي خلال العقدين الماضيين من أجل تعزيز استجابة الغطاء النباتي وتقليل آثار العوامل الموضحة أعلاه. هذه الورقة تشير وتناقش معظم مؤشرات الغطاء النباتي الموجودة وتصنيف المؤشرات وتقترح تجميعها في تصنيف

الكلمات المفتاحية: الغطاء النباتي ، المؤشرات ، الاستشعار عن بعد.

Abstract:

In the field of remote sensing applications, scientists have developed vegetation indices (VI) for qualitatively and quantitatively evaluating vegetative covers using spectral measurements. The spectral response of vegetated areas presents a complex mixture of vegetation, soil brightness, environmental effects, shadow, soil color and moisture. Moreover, the VI is affected by spatial-temporal variations of the atmosphere. Over forty vegetation indices have been developed during the last two decades in order to enhance vegetation response and minimize the effects of the factors described above. This paper summarizes, refers and discusses most of the vegetation indices found in the literature. It presents different existing classifications of indices and proposes to group them in a new classification.

Keywords: vegetation, Indices, Remote sensing.

المقدمة: منذ إطلاق أول قمر صناعي لموارد الأرض في عام 1972، بذلت جهود ملحوظة لإقامة علاقة وثيقة بين الاستجابة الإشعاعية والأغطية النباتية. يعد برنامج "رصد التقدم النمطي وإعادة نمو النباتات الطبيعية" التابع لناسا من أوائل البرامج في هذا المجال ، إما في مجال القياسات الأرضية أو في استغلال الجيل الأول من صور الأقمار الصناعية (ام اس اس) في لاندسات (MultiSpectral Scanner)Landsat- MSS (ماسح متعدد الأطياف) (Rouse 1972 and 1973; Rouse et al., 1974)،وبرنامج أمريكي آخر يسمى LACIE (تجربة جرد مساحة كبيرة) سمح له بالمضي قدماً في هذا المجال (Baret, 1986). هذه البحوث قد أظهرت أن استخدام النطاق الأحمر والأشعة تحت الحمراء القريبة في أجهزة الاستشعار على متن الأقمار الصناعية، مناسب بشكل خاص لدراسة الغطاء النباتي. عموما ، هذه النطاقات موجودة فيا لأرصاد الجوية و رصد الأرض بالأقمار الصناعية

وغالبًا ما تحتوي على أكثر من 90٪ من المعلومات المتعلقة بالغطاء النباتي(Baret et al.,1986; 1988 and 1989). وتسمى المجموعات المختلفة بين هذه النطاقات مؤشرات الغطاء النباتي.

المؤشر النباتي هو رقم يؤهل لكثافة ظاهرة معقدة للغاية بحيث لا يمكن تقسيمها إلى معلمات معروفة. وعلى الرغم من أنه من الممكن تحديد جزء من تأثير العديد من العوامل عندما يكون ذلك في بيئة جيدة التوثيق ومسيطر عليها جيدًا ، إلا أنه من الصعب عمومًا إجراء هذا التحلل للإشارات التي يتم رصدها على صور الاستشعار عن بُعد. يتم تكييف فكرة مؤشر الغطاء النباتي بشكل جيد لتأهيل الغطاء النباتي على مساحات واسعة ، على سبيل المثال أكثر المساحات التي تغطي بكسل الصورة. مؤشرات الغطاء النباتي هي قياسات كمية تشير إلى قوة الغطاء النباتي .(Campbell, 1987). حيث أنها تظهر حساسية أفضل من الطيف الفردي للنطاقات للكشف عن الكتلة الحيوية (Asrar et al., 1984). يكمن أهمية هذه المؤشرات في فائدتها في تفسير صور الاستشعار عن بُعد ؛حيث أنها تشكل بشكل ملحوظ وسيلة للكشف عن التغيرات في استخدام الأراضي (بيانات متعددة الجنسيات) ، وتقييم كثافة الغطاء النباتي ، وتمييز المحصول والتنبؤ بالمحاصيلBaret) (1986,، و في مجال الخرائط الموضوعية ، يكمن اهتمام معظم هذه المؤشرات في تحسين التصنيفات (Asrar et al., 1984; Bariou et al., 1985a and 1985b; Qi et al., 1991; McNairn and Protz, 1993)

يمكن تمييز الأغطية النباتية المختلفة وفقًا لسلوكها الطيفي الفريد عن العناصر الأرضية الكلية (Tucker, 1979)،حيث يتم امتصاص الإشعاع المرئي اللون الأحمر (630-690 نانومتر) بواسطة الكلوروفيل في النبات، بينما الأشعة تحت الحمراء القريبة (760-900 نانومتر) تنعكس بشدة من التركيب الخلوي للأوراق.

عند فحص منحنى الانعكاس العام للنباتات، فإن الانحراف الملحوظ بين الأشعة تحت الحمراء وشبه الحمراء يشكل متغيرًا حساسًا لوجود النباتات الخضراء. وترتبط الاستجابة الطيفية للنباتات في اللون الأحمر بقوة بتركيز الكلوروفيل، بينما يتم التحكم في الاستجابة الطيفية في الأشعة تحت الحمراء القريبة بواسطة مؤشر مساحة الورقة وكثافة النباتات الخضراء (Major et al., 1990) . ان الجمع بين هذين المجالين الطيفيين يسمح بالتمييز بين الغطاء النباتي والتربة وتحديد الكتلة الحيوية النشطة ضوئيًا من خلال كثافة الغطاء النباتي (Deering et al. 1975; Richardson and Wiegand,1977; Tucker and Miller ,1977; Tucker ,1979; Jackson et al. 1980 and 1985; , Huete,1984, 1989).

الهدف من هذه الورقة هو تقديم استعراض لمعظم مؤشرات الغطاء النباتي الموجودة من 1972 إلى اليوم. حيث يتم مناقشة تاريخ المؤشرات والظروف التي ادت إلى تطورها وكذلك مزاياها وعيوبها. كذلك يتم التركيز أيضًا على االمؤثرات التي تؤثر على مؤشرات الغطاء النباتي ، أي تأثير تدهور معايرة المستشعر ، والغلاف الجوي ، وسطوع التربة ، ولون التربة ، والاختلافات في الاستجابات الطيفية للمستشعر والآثار ثنائية الاتجاه. علاوة على ذلك ، نقدم التصنيفات المختلفة التي وضعها علماء مختلفون ونقترح تصنيفًا جديدًا لمؤشرات الغطاء النباتي.

2. مؤشرات الغطاء النباتي

يوفر التركيب الطيفي للإشعاع المنبعث من سطح الأرض معلومات حول الخصائص الفيزيائية للتربة والمياه والميزات النباتية في البيئات الأرضية. وقدتم تصميم تقنيات الاستشعار عن بُعد والنماذج والمؤشرات لتحويل هذه المعلومات الطيفية إلى نماذج يمكن تفسيرها بسهولة. ومع ذلك ، يجب فهم التفاعلات الأساسية للطاقة المشعة مع سطح الأرض من أجل تطبيق الاستشعار عن بعد بكفاءة(Huete, 1989)، و أن يتحقق نطاق ، وقابلية ، وقيود قياسات الاستشعار عن بعد بشكل عام ، وبشكل أكثر تحديداً مؤشرات الغطاء النباتي في حل المشكلات البيئية.

في مجال التطبيقات والبحوث في مجال الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية، تم تطوير أكثر من أربعين مؤشرا للغطاء النباتي خلال العقدين الأخيرين. يقدم الجدول (1) ملخصًا زمنيًا لمعظم مؤشرات الغطاء النباتي الموجودة، و يمكن ملاحظة أن العديد من العلماء قاموا بتطوير بعض المؤشرات التي تتعلق بمجال بحث محدد. وقد أظهرت بعض مؤشرات الغطاء النباتي ارتباطًا قويا بعدة عوامل مختلفة منها إنتاجية الحقول المزروعة أو مناطق الغابات ومحتواها من الكتلة الحيوية (Perry and Lautenschlager, 1984; Baret, 1986)،وتقوم الخلافات بين مختلف المؤلفين حول مزايا وعيوب أحد المؤشرات النباتية وتربطها أساسًا بالظروف التجريبية ومجالات التطبيق. وقد تم تطوير المؤشرات الأولى باستخدام الأرقام الخام للأقمار الصناعية الرقمية (DN)، دون الرجوع إلى الانعكاسات وتصحيحات الغلاف الجوي ومعايرة المستشعر.

يعتبر بيرسون وميلر(1972) Pearson and Miller رائدين في تاريخ مؤشرات الغطاء النباتي، حيث قد طورا أول مؤشرين في شكل نسب: "مؤشر الغطاء النباتي" (RVI) و "رقم مؤشر الغطاء النباتي" (VIN)، لتقدير ومراقبة الأغطية النباتية.

1- مؤشر الغطاء النباتي" (RVI)= النطاق الاحمر/ الاشعة تحت الحمراء $RVI = \frac{R}{NIR}$

2- رقم مؤشر الغطاء النباتي" (VIN)= الاشعة تحت الحمراء / النطاق الاحمر $VIN = \frac{NIR}{R}$

(حيث R هو الانعكاس النطاق الاحمر ، NIR هي الانعكاس في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة).

هذه المؤشرات تعزز التباين بين الأرض والغطاء النباتي، فهي أقل تأثراً بظروف الإضاءة، ولكنها حساسة للخصائص البصرية الأرضية (Baret and Guyot, 1991)،وتسمح العلاقة بين انعكاسات نطاقين بالقضاء على الاضطرابات الناجمة عن العوامل التي تؤثر بنفس الطريقة على كل نطاق (Holben and Justice, 1981).

وفقا لجاكسون وآخرون. (Jackson et al,1983) ، فأن مؤشر RVI حساس للتأثيرات الجوية وقدرته التمييزية ضعيفة عندما يكون الغطاء النباتي أقل كثافة من (50 ٪) ، بينما يكون أفضل عندما يكون الغطاء النباتي كثيفًا. كما ذكر روسف(Rousv,1973) و روسف واخرون(Rouse et al, 1974) الذي وضعوا "مؤشر فرق الغطاء النباتي " Normalized Difference Vegetation Index) (NDVI):

حيث MSS5 هو انعكاس النطاق الاحمر في لاندسات ام اس اس Landsat-MSS5 ، MSS6 هو انعكاس نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة في لاندسات ام اس اسLandsat-MSS6 ، MSS7 هو انعكاس نطاق الأشعة تحت الحمراء المتوسطة في لاندسات ام اس اس7 Landsat-MSS. ويمكن الإشارة إلى NDVI على أنها قد تكون(MSS6)NDVI أو (MSS7) NDVI وفقًا للنطاق الطيفي المستخدم (MSS6 أو MSS7).واستبدال النطاقMSS7 بالنطاق MSS6يكون صالحا في وجود الكتلة الأحيائية الخضراء المنخفضة (Tucker and Miller,1977) ، لكنه يفضل استخدام نطاق MSS7 في حالات الكتلة الحيوية الخضراء الكثيفة (Tucker, 1979).

يعتبرMSS6صالحًا في وجود الكتلة الحيوية الخضراء المنخفضة (Tucker and Miller, 1977) ، بينما يفضل استخدام نطاق MSS7 في حالات الكتلة الحيوية الخضراء الكثيفة (Tucker ,1979). المؤشر حساس لوجود النباتات الخضراء (Sellers ,1985) ؛ ويسمح بالتنبؤ بالمحاصيل الزراعية (Tucker and Sellers, 1986; Bullock, 1992) وهطول الأمطار في المناطق شبه القاحلة (Kerr et al., 1989; Nicholson et al., 1990). وفقًا لذلك ، يتم استخدامه في العديد من التطبيقات الإقليمية والعالمية لدراسة حالة الغطاء النباتي (Prince and Tucker, 1986; Townshend and Justice, 1986; Collet and Abednego, 1987; Deblonde and Cihlar, 1993).

إن نجاح NDVI باعتباره واصفًا للتغيرات النباتية على الرغم من التأثيرات الجوية (Kaufman, 1984; Fraser and Kaufman, 1985) وتدهور الإشعاع في النطاقين الأحمر و الأشعة تحت الحمراء القريبة (Holben et al., 1990) ،يقلل من تأثير تدهور معايرة المستشعر بنسبة تقارب 6٪ من القيمة الإجمالية للمؤشر(Holben et al., 1990; Kaufmanand Holben, 1993). ويميل البحث الذي قام به (Holbenand Fraser ,1984) إلى إظهار أن NDVI حساس للمشاهدة والإضاءة الهندسية خاصة بالنسبة للأغطية منخفضة الكثافة، وتجدر الإشارة أيضًا إلى أنه يمثل عيبا التقدير الزائد لنسبة الغطاء النباتي في بداية موسم النمو وانخفاض تقديره في نهاية الموسم، (Cyr ,1993).المؤشران، VIN و NDVI ، متكافئان وظيفيا ، أي أن هناك علاقة ايجابية تسمح بالانتقال من واحدة إلى أخرى(Perry and Lautenschlager, 1984):

NDVI= VIN-1/VIN+2

حول روس والمتعاونون (NDVI,(1974 إلى "مؤشر الغطاء النباتي المحول" (TVI) بإضافة 0.5 إلى قيمةNDVI، لتجنب القيم السلبية. يمكن صياغة هذا التحول على النحو التالي:

$$TVI\ (MSS6) = \sqrt{VNDVI\ (MSS6)\ + 0.5}$$

على الرغم من هذا التحول الأول ، أجريت تجربة أخرى من قبل بيري ولاوتنشلاغر(1984)، لا تزال تظهر القيم السلبية، ولمعالجة هذه المشكلة اقترح المؤلفان إصدارًا جديدًا من TVI يمكن صياغته على النحو التالي:

$$TVI\ (MSS6) = NDVI(MSS6)+0.5\sqrt{VNDVI\ (MSS6)\ + 0.5}NDVI(MSS6)+0.5/$$

يقترح عدد لا بأس به من الباحثين الجمع في مختلف طرق انعكاسات النطاقات المختلفة للتخلص من الاضطرابات الناتجة عن العوامل الخارجية، (معايرة المستشعر ، الغلاف الجوي ، هندسة العرض والإضاءة)، والتي تؤثر بنفس الطريقة الإشعاعية في كل قناة. وقد تم تطوير هذه المجموعات الخطية أو نسب القناة من أجل تلبية تطبيقات محددة تمامًا في مجال الاستشعار عن بُعد: إنتاج المحاصيل، استغلال الغابات، إدارة الغطاء النباتي، اكتشاف الغطاء النباتي في المناطق المغمورة ، إلخ. على سبيل المثال للصيغ، انظر الجدول (1):

الجدول (1) جدول زمني لمؤشرات النباتات الموجودة من 1972 إلى 1994

أ. مؤشرات الجيل الأول			
المؤشر	**الصيغة**	**الاختصار**	**المؤلف والسنة**
مؤشرنسبة الغطاء النباتي Ratio Vegetation-Index	RVI	R/NIR	بيرسون وميلر، 1972 Pearson and Miller, 1972
رقم مؤشر الغطاء النباتي Vegetation Index Number	VIN	NIR/R	بيرسون وميلر، 1972 Pearson and Miller, 1972
مؤشر الغطاء النباتي المحول Transformed Vegetation Index	TVI	$\sqrt{NDVI + 0.5}$	روس واخرين ، 1974 Rouse et al., 1974
مؤشر الغطاء النباتي الاخضر Green Vegetation Index	GVI	(-0.283MSS4 - 0.660MSS5 + 0.577MSS6 + 0.388MSS7)	كوث وتوماس ، 1976 Kauth and Thomas, 1976
مؤشر سطوع التربة Soil Brightness Index	SBI	(0.332MSS4 + 0.603MSS5 + O.675MSS6 + 0.262MSS7)	كوث وتوماس ، 1976 Kauth and Thomas, 1976
مؤشر الغطاء النباتي الأصفر Yellow Vegetation Index	YVI	(-0.899MSS4 + 0.428MSS5 + 0.076MSS6 - 0.041MSS7)	كوث وتوماس ، 1976 Kauth and Thomas, 1976
ليس هذا المؤشر Non Such Index	NSI	(-0.016MSS4 + 0.131MSS5 - 0.425MSS6 + 0.882MSS7)	كوث وتوماس ، 1976 Kauth and Thomas, 1976
خط خلفية التربة Soil Background Line	SBL	(MSS7 - 2.4MSS5)	ريتشاردسون وويجاند ، 1977 Richardson and Wiegand, 1977
مؤشر الفروقات النباتية Difference Vegetation Index	DVI	(2.4MSS7-MSS5)	ريتشاردسون وويجاند ، 1977 Richardson and Wiegand, 1977
مؤشر سطوع التربة ميسرا Misra Soil Brightness Index	MSBI	(0.406MSS4 + 0.600MSS5 + 0.645MSS6 + 0.243MSS7)	1977، ميسرا واخرون Misra et al., 1977
مؤشر ميسرا للنباتات الخضراء Misra Green Vegetation Index	MGVI	(-0.386MSS4 - 0.530MSS5 + 0.535MSS6 + 0.532MSS7)	1977، ميسرا واخرون Misra et al., 1977
مؤشر ميسرا للنباتات الصفراء Misra Yellow Vegetation Index	MYVI	(0.723MSS4 - 0.597MSS5 + 0.206MSS6 - 0.278MSS7)	1977، ميسرا واخرون Misra et al., 1977
غير هذا المؤشر لميسرا Misra Non Such Index	MNSI	(0.404MSS4 - 0.039MSS5 - 0.505MSS6 + 0.762MSS7)	1977، ميسرا واخرون Misra et al., 1977
مؤشر الغطاء النباتي العمودي Perpendicular Vegetation Index	PVI	PVI=1/sqrt(a2+1) x (NIR – aR + b)	ريتشاردسون وويجاند ، 1977 Richardson and Wiegand, 1977
مؤشر أشبورن للغطاء النباتي Ashburn Vegetation Index	AVI	(2.0MSS 7 - MSS5)	آشبورن ، 1978 Ashburn, 1978
الاخضرار فوق التربة العارية Greenness Above Bare Soil	GRABS	(GV I - 0.09178SB I + 5.58959)	هاي وآخرون ، 1979 Hay et al., 1979
مؤشر الغطاء النباتي المتعدد الزمن Multi-Temporal Vegetation Index	MTVI	(NDVI(date 2) –(NDVI(date 1)	يزداني وآخرون ، 1981 Yazdani et al., 1981
اخضرار النباتات و سطوع التربة Greenness Vegetation and Soil Brightness	GVSB	GVI/SBI	بدهور ، 1981 Badhwar, 1981
مؤشر سطوع التربة المعدل	ASBI	(YVI 2.0)	جاكسون وآخرون ، 1983

Adjusted Soil Brightness Index			Jackson et al., 1983
مؤشر الغطاء النباتي الأخضر المعدل Adjusted Green Vegetation Index	AGVI	GV I - (1 + 0.018GVI)YVI - NSI/ 2	جاكسون وآخرون ، 1983 Jackson et al., 1983
مؤشر الغطاء النباتي المحول Transformed Vegetation Index	TVI	√(NDVI +0,5)	بيري ولاوتنشلاغر ، 1984 Perry and Lautenschlager,1984
Difference Vegetation Index مؤشر الفرق النباتي	DVI	(NIR-R)	Clevers, 1986 كليفرز ،1986
Normalized Difference Greenness Index مؤشر تطبيع فرق الاخضرار	NDG I	(G-R)/(G + R)	Chamard et al., 1991 تشامارد وآخرون ،1991
Redness Index مؤشر الاحمرار	RI	(R-G)/(R + G)	Escadafal and Huete, 1991 اسكادافال وهويت ،1991
Normalized Difference Index مؤشر الفرق الطبيعي	ND I	(NIR-MIR)/ (NI R + MIR)	McNairn and Protz, 1993 مكنيرنوبروتز ، 1993

الجدول (2) جدول زمني لمؤشرات النباتات الموجودة من 1972 إلى 1994

ب. مؤشرات الجيل الثاني			
المؤشر	الصيغة	الاختصار	المؤلف والسنة
مؤشر فرق الغطاء النباتي Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	(NI R - R) / (NI R + R)	روس وآخرون ، 1974 Rousse et al., 1974
مؤشر الغطاء النباتي العمودي Perpendicular Vegetation Index	PVI	$\frac{NIR - aR - b}{\sqrt{a2} + 1}$	جاكسون وآخرون ،1980 Jackson et al., 1980
مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة Soil Adjusted Vegetation Index	SAVI	(NI R - R)/ (NI R + R + L)* (1 + L)	هويت ، 1988 Huete, 1988
المتحول SAVI Transformed SAVI	TSAVI	B(NIR−B·R−A) / RED+B(NIR−A)	باريت وآخرون ، 1989 Baret et al., 1989
المتحول SAVI Transformed SAVI	TSAVI	B(NIR−B·R−A) / RED+B(NIR−A)+X(1+B2)	باريت وآخرون ،1991 Baret et al., 1989
مؤشر الغطاء النباتي المقاوم للغلاف الجوي Atmospherically Resistant Vegetation Index	ARVI	(NI R - RB)/ (NI R + RB)	كوفمانوتانر ، 1992 Kaufman and Tanre, 1992
مؤشر رصد البيئة العالمية Global Environment Monitoring Index	GEM I	(n(1−0.25n)−RED−0.1251−RED) n = (2 * (NIR ^2 - RED ^2) + 1.5 * NIR+ 0.5 * RED / (NIR + RED + 0.5)	بينتي وفيرستراتي ، 1992 Pinty and Verstraete, 1992
المعدل SAVI Modified SAVI	MSAVI	(NIR-Red)/(NIR+Red+L)*(1+L)	تشي وآخرون ، 1994 Qi et al., 1994
مؤشر الغطاء النباتي الزاوي Angular Vegetation Index	AVI	$AVI = \tan^{-1}\left(\frac{A_1}{NIR-R}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{A_2}{G-R}\right)$	بلامر وآخرون. ، 1994 Plummer et al. , 1994

- الفهرس المقترح من قبل آشبورن (1978) لقياس الغطاء النباتي الأخضر في مرحلة النمو ، تسمى "مؤشر أشبورن للغطاء النباتي" أو "مؤشر الغطاء النباتي الزراعي" (AVI).

- مؤشر الغطاء النباتي متعدد الجنسيات (MTVI) الذي وضعه يزداني وآخرون. (1981) هو الطرح البسيط بين القيم من تاريخين مختلفين، وقد تم تصميم المؤشر لرصد التغيرات في ظروف الغطاء النباتي بين تاريخين وتصنيف أنواع المحاصيل. علاوة على ذلك ، يسمح بالكشف عن التغيرات في الغطاء الحرجي الناجم عن الحرائق أو تطهير الأراضي (يزداني وآخرون ، 1981).

- كان مؤشر اللون الأخضر المسمى "مؤشر اختلاف الفرق الطبيعي" (NDGI)، المحسوب باستخدام كل من النطاقين الأحمر (R) والأخضر (G)، مفيدًا للغاية في تحديد ورسم تشكيلات الغطاء النباتي النشطة المختلفة في المناطق المغمورة (Chamard etal,1991).

- لإقامة العلاقة بين الانعكاس الطيفي والسطح المغطى ببقايا محاصيل الذرة ولتطوير منهجية لرسم هذه المخلفات ، اقترح ماكنيرنوبروتز (1993) "مؤشر الفرق المعياري" (NDI). يشبه الفهرس NDVI، ولكنه يستخدم الأشعة تحت الحمراء على الموجة القصيرة بدلاً من النطاق الأحمر فهي غير حساسة لمحتوى المواد العضوية في التربة ولكنها حساسة للغاية لبقايا الذرة وأنواع التربة.

أظهر تاريخ مؤشرات الغطاء النباتي في مرحلة التطوير الأولى اعتمادها بشكل فريد على توليفات خطية (فرق أو مبلغ) أو نسب شريط خام، دون النظر إلى العوامل الخارجية الأخرى، حيث لا يتم النظر في التفاعلات بين التربة والنباتات. وتستند مرحلة المفاهيم الثانية إلى معرفة الظواهر الفيزيائية التي تفسر التفاعلات بين الإشعاع الكهرومغناطيسي والغلاف الجوي والغطاء النباتي وخلفية التربة، وتمثل هذه المرحلة الثانية نقطة انطلاق لاكتساب المعرفة والأساليب النظرية التي تسمح باستخدام موارد الاستشعار عن بعد والتخصصات العلمية الأخرى ذات الصلة لحل المشكلات المتعلقة بمؤشرات الغطاء النباتي التي لا تزال بحاجة إلى حل. ومع ذلك ، لإيجاد مؤشر الغطاء النباتي المثالي ، يجب أولاً تحديد العوامل التي تؤثر على هذه المؤشرات.

3. العوامل المؤثرة على مؤشرات الغطاء النباتي

من الناحية النظرية، يمكن تعريف مؤشر الغطاء النباتي المثالي بالطريقة التالية (Jackson et al. ,1983):

"هو المؤشر الذي يكون حساسًا بشكل خاص للأغطية النباتية، وغير حساس لسطوع التربة والوانها، ويتأثر قليلاً بالتأثيرات الجوية والآثار البيئية وهندسة الإضاءة الشمسية وظروف مشاهدة المستشعر".

بصرف النظر عن هذا التعريف النظري، ركز العديد من الباحثين على العوامل التي تؤثر على مؤشرات الغطاء النباتي. حيث تنتمي هذه العوامل إلى مجالين مختلفين ولكنهما متكاملان (Baret,1986): مجال بيولوجي ومجال فيزيائي.

عند النظر في منطقة مغطاة بالنباتات، تتطور خواصها البصرية عبر الزمن فيما يتعلق بالعوامل المختلفة التي تميز حالة الغطاء النباتي: المحتوى المائي والعمر ونقص المعادن والهجمات الطفيلية (Guyot,1989)، هندسة الغطاء، تباعد الصفوف و التوجه، وكذلك توزيع الأوراق في الغطاء النباتي (Chance, 1981; Aase et al., 1984; Jackson, 1986)،هذه العوامل تؤثر علي انعكاس الغطاء النباتي وبالتالي علي مؤشر الغطاء النباتي. ويجب ان يلاحظ أن هذه العوامل ترتبط ارتباطًا وثيقًا بتركيب الغطاء النباتي والجوانب البيولوجية، وأنها لا تشكل هدفًا لدراستنا. ويجب أن تضاف إلى هذه العوامل الاضطرابات في النظام المادي التي أدخلها الغلاف الجوي والتي تعتمد على الطول الموجي (Slater, 1980) ، اختلافات خصائص التربة، السطوع والتلوين (Huete, 1984; Huete et al., 1985; Huete and Jackson, 1987; Escadafal and Huete, 1991) ، هندسة الإضاءة الشمسية وظروف مشاهدة المستشعر (Jackson et al., 1979; Asrar et al., 1985; Huete, 1987)، وتأثير المستشعر المستحدث ذاتيًا (Price, 1987) و لمعالجة هذه المشاكل، تم تطوير العديد من المؤشرات الأخرى.

وفيما يلي ، نناقش آثار سطوع التربة ولونها، والغلاف الجوي وتدهور أجهزة الاستشعار، قياس الإشعاع ، والاختلافات في الاستجابات الطيفية والآثار ثنائية الاتجاه على مؤشرات الغطاء النباتي.

3.1. سطوع التربة

سطوع التربة له تأثير كبير على حساب مؤشرات الغطاء النباتي، وقد تم تحليل هذا التأثير في العديد من الدراسات التي تستخدم مؤشرات النسب ، RVI أو NDVI (Colwell, 1974; Huete, 1985; Huete et al., 1985; Huete, 1989; Escadafal, 1989a)، ومع ذلك ، فقد تم تطوير العديد من مؤشرات الغطاء النباتي للتحكم في التباين الطيفي الذي يعزى إلى الغطاء النباتي وخلفية التربة(Kauth and Thomas, 1976; Richardson and Wiegand, 1977; Tucker, 1979; Huete, 1984)، حيث يختلف انعكاس خلفية التربة والبيئة من حيث المكان بالنسبة إلى بنية التربة، والملمس، واللون، والمواد، وكذلك رطوبة التربة(Colwell, 1974; Rao et al., 1979; Kollenkark et al., 1982; Huete et al., 1984; Major et al., 1990)،وعلى الرغم من هذا التنوع الكبير في التربة، فغالبًا ما يتم تطبيق مؤشرات الغطاء النباتي على البيانات الإشعاعية بطريقة عامة و بشكل مستقل عن جميع هذه العوامل الخارجية. ووفقًا لـتاكر(Tucker ,1979) تظهر مؤشرات النسبية عدم وجود تحليل مفصل، وتعاني أكثر المؤشرات المتعامدة من الاضطرابات الخارجية. فعندما يتم تشتيت الغطاء النباتي، تكون هناك زيادة كبيرة في الإشعاع في اللون الأحمر بسبب سطح

الأرض وانخفاض في الأشعة تحت الحمراء القريبة (Guyot, 1984; Huete et al., 1984; Huete, 1984 and 1987; Heilman and Kress, 1987)،ومع ذلك، عندما يكون الغطاء النباتي قليلا لكثافة، لا يمكن لمؤشرات النسب أو المؤشرات المتعامدة تقديم وصف مناسب للسلوك الطيفي للنباتات (Huete,1988)، لهذه الأسباب فقد تم تطوير مؤشرات نباتية جديدة لوصف أكثر ملاءمة لنظام التربة والنباتات والغلاف الجوي (Huete, 1988; Baret et al., 1989b; Kaufman and Tanre, 1992)،باستخدام النطاقات الأربع لمستشعر ام اس اس لاندساتLandsat-MSS ، طور كوث وتوماس(Kauth and Thomas,1976`) أربعة مؤشرات جديدة، تسمى هذه المؤشرات ب"مؤشر سطوع التربة" (SBI)، و "مؤشر الغطاء النباتي الأخضر" (GVI)، و "مؤشر الغطاء النباتي الأصفر" (YVI) ، و "مؤشر غير المماثل" (NSI)،والاسم المتصل بكل ملحق له علاقة مباشرة مع المتغير الذي من المفترض أن يقيسه.

$$SBI = 0.332MSS4 + 0.603MSS5 + 0.675MSS6 + 0.262MSS7$$

$$GVI = -0.283MSS4 - 0.660MSS5 + 0.577MSS6 + 0.388MSS7$$

$$YVI = -0.899MSS4 + 0.428MSS5 + 0.076MSS6 - 0.041MSS7$$

$$NSI = -0.016MSS4 + 0.131MSS5 - 0.452MSS6 + 0.882MSS7$$

غير أن تطوير هذه المؤشرات يعتمد على طرق تجريبية لا تأخذ في الاعتبار التفاعلات بين الغلاف الجوي والتربة والغطاء النباتي، وبالنسبة لحالة معينة من الغطاء النباتي، يمكن أن يكون للخصائص البصرية للتربة تأثير غير مهم على قيمة مؤشر الغطاء النباتي الأخضر(GVI) (Huete et al., 1984; Baret, 1986) ، حيث أثبت أول مؤشرين "مؤشر سطوع التربة" و "مؤشر الغطاء النباتي الأخضر" فائدتهما في تقييم سلوك الغطاء النباتي والتربة العارية باستخدام بيانات لاندسات(Kauth et al., 1979; Thompson and Wehmanen, 1980; Jackson, 1983; Jackson et al., 1983a). فمع بيانات Landsat-MSS، يُظهر مؤشر GVI ارتباطًا مهمًا مع أنواع مختلفة من الأغطية النباتية (Richardson and Wiegand,1977).

ومع ذلك ، فقد ذكر كاوث وآخرون(Kauth et al,1979)، أن مؤشر (NSI) يحتوي في الغالب على ضوضاء ، ووفقا لجاكسون وآخرون(Jackson et al ,1983a and 1983b)، فأن كلا المؤشري(YVI) و (NSI) غير حساسين نسبيًا للتغيرات في الغطاء النباتي، لكنهما حساسان للضباب والامتصاص بواسطة بخار الماء في الغلاف الجوي. وقد اشار جاكسون وآخرون (1983b) إلى أن هذين المؤشرين (NSI و YVI) يمكن أن يعملا من أجل تقييم الامتصاص الناجم عن بخار الماء وتصحيح الآثار الجوية التي تؤثر على مؤشرات (SBIو GVI).

يسمح هذا الاقتراح بمعالجة كل بكسل في الصورة كلها من تأثيرات الجوية، وقد تولد مؤشرين جديدين للغطاء النباتي هما "مؤشر سطوع التربة المعدل" (ASBI) و "مؤشر الغطاء النباتي الأخضر المعدل" (AGVI) (Jackson et al., 1983b)).

استنادًا إلى تحليل المكونات الرئيسية التي أجريت على صور لاندسا تام اس اس Landsat-MSS، قام ويلر واخرون Wheeler et al., 1976) و ميسرا (Misra et al., 1977) بحساب العوامل المضاعفة الجديدة لهذه المؤشرات والتي أصبحت بعد ذلك: "مؤشر ميسرا لسطوع التربة" (MSBI) ، و مؤشر ميسر للغطاء النباتي الأخضر(MGVI) ، و مؤشر ميسر للغطاء النباتي الأصفر(MYVI) ، و مؤشر غير المماثل لميسرا(MNSI) ،ويمكن ملاحظة تشابه معين بين هذه العوامل وتلك التي حددها كوث وتوماس (1976) (الجدول 1).

قام تهاي والمعاونون (Hayet al., 1979) بتطوير مؤشر للنباتات النشطة يسمى "مؤشر الاخضرار فوق التربة العارية " (GRABS)وقد تم تطوير هذا المؤشر من مؤشرين (GVI و SBI) اللذين اقترحهما كوث وتوماس (1976).

فعندما تكون مساهمة سطوع التربة أقل من 10٪ ، فإن المؤشر يقدم نفس النتائج مثل (GVI)،(Lautenschlager and Perry, 1981a and 1981b; Perry and Lautenschlager, 1984)،وتم اقتراح مؤشر " النباتات الخضراء و سطوع التربة" (GVSB) ، وهو نسبة بسيطة بين مؤشرات GVI و SBI ، وضعت من قبل (Badhwar,1981) للتمييز في المحاصيل.

قام كاوث وتوماس (1976) بتحليل التباين الطيفي للتربة العارية في فضاء ذي أربعة أبعاد يتوافق مع النطاقات الطيفية الأربعة لمستشعر LandsatMSS، وأشاروا إلى أن معظم التباين في إشارة التربة العارية يمكن أن يعزى إلى سطوعها حيث يمكن العثور

على معظم البيانات الطيفية المتعلقة بالتربة العارية على خط مستقيم يبدأ من الأصل. هذا المستقيم كان اسمه "خط التربة" أو "خط سطوع التربة" (11). كما لاحظ ريتشاردسون وويجاند (Richardson and Wiegand, 1977) أن بيكسلات التربة العارية كانت محاذاة بشكل عام على طول خط مستقيم عندما تم تمثيلهما في النطاق الأحمر والأشعة تحت الحمراء القريبة. وقد أدت هذه الملاحظة إلى تطوير مؤشر "خط خلفية التربة" (SBL) والذي يسمح بالتمييز بين التربة العارية والغطاء النباتي بالنسبة الى هذان المؤلفان. وكانت النقاط التي تمثل بكسل المياه دائما تقع على يمين خط التربة العاري والتي كانت تمثل وحدات البيكسل دائمًا إلى اليسار، و كلما زادت كثافة الغطاء النباتي زادت المسافة بين خط التربة وبكسل النباتات.

$$NIR = aR + b$$

حيث a هو خط ميل التربة العارية ، b هو الإحداثي عند أصل خط التربة العاري.

أصبح مفهوم خط التربة مقبولًا إلى حد كبير في تحليل وتفسير الصور الجوية و صور الأقمار الصناعية (Jackson et al., 1980; Thompson and Wehmanen, 1980; Wiegand and Richardson, 1982; Huete et al., 1984; Baret et al., 1993)، و على الرغم من أن خط التربة قد يتغير مع ظروف الغلاف الجوي وعوامل معايرة الأقمار الصناعية ، فقد افترض بشكل عام أن هناك خط تربة "عالمي" يشمل مجموعة واسعة من أنواع التربة وظروف سطح التربة. ومع ذلك، قد لا يكون مفهوم خط التربة "العالمي" تمثيلًا مناسبًا للتباين الطيفي للتربة العارية (Huete, 1989). فتنوع التربة والظروف السطحيةتؤدي إلى تباين في ميل وأصل خط التربة العارية، وبالتالي يغير مؤشر الغطاء النباتي (Huete et al. ,1984)،حيث يؤكد حساب معلمات خط التربة في المواقف أو المواقع المختلفة هذه الفرضية (Baret et al., 1989b)، و لكي لا يكون مؤشر الغطاء النباتي غير حساس لأنواع التربة وظروف رطوبة التربة ، يجب على المرء حساب خط التربة المجرد من العديد من العينات واعتماد المتوسط الحسابي.

فالمفهوم الأساسي لـ "مؤشر الغطاء النباتي العمودي" هو مراعاة تأثير التربة العارية. يختلف مؤشر PVI عن مؤشر النسبة في أن خطوط التساوي "للون الأخضر" لا تتقارب عند الأصل، ولكنها تظل موازية للمحور الرئيسي للتنوع الطيفي للتربة، أو خط التربة ، ويتم حساب متجه الاخضرار المتعامد لخط التربة ، لتشمل الحد الأقصى لإشارات النباتات الخضراء أثناء حمل خلفية التربة، ويستخدم إسقاط الأطياف المركبة على هذا المتجه لاحقًا كمقياس للغطاء النباتي. صيغت النسخة الأولى من PVI التي طورها ريتشاردسون وويجاند (Richardson and Wiegand,1977) على النحو التالي:

$$PVI = \sqrt{(Psoil-Pveg)R2+(Psoil-Pveg)NIR2}$$

(Psoil - Pveg) هو الفرق بين الانعكاسات "للتربة العارية والنباتات" في النطاق الطيفي المقابل الأحمر والأشعة تحت الحمراء القريبة.

استنادا إلى نظرية خط التربة العارية (الانحدار والأصل) ، جاكسون وآخرون (1980) طورت نسخة محسّنة من "مؤشر الغطاء النباتي العمودي". أظهر المؤلفون بطريقة مقنعة أنه ، على عكس الأرقام القياسية للنسب فإن الإصدار الجديد من الـ PVI يعبر عن النسبة المئوية لسطح الأوراق بشكل مستقل عن رطوبة التربة والسطوع. ومع ذلك ، فان البحوث النظرية والتجريبية قد أظهرت أنه على عكس البيان الذي أدلى به جاكسون والمتعاونون (1980) ، انه لا يمكن اعتبار (PVI) مستقلة عن سطوع التربة،(Huete et al., 1985; Major et al., 1990; Baret and Guyot, 1991; Cyr, 1993)).وإنه أقل من تقدير مؤشر مساحة الورقة على التربة الرطبة بسبب سطوعها. فهو مؤشر ضعيف لضغط النباتات. فتأثير إشعاع المسار الجوي على(PVI)يقدم خطأ نسبيًا في حدود 10٪ -12٪ من الجو الصافي إلى الجو المعكر (Jackson et al.,1983a)، لذلك يكون(PVI) أقل تأثراً بالتربة بسطوع التربة في مقابل نسبة المؤشرات (Huete ,1984)، النسخة المعدلة من PVI هي كما يلي:.

$$PVI = \frac{NIR - aR - b}{\sqrt{a2}+1}$$

كما طور جاكسون (Jackson, 1983) الطريقة المبنية من مزيج خطين من النطاقات الطيفية "n" لحساب المؤشرات في الفضاء "البعد-n". ومؤشر الغطاء النباتي المتعامد (PVI) المحسوب من ريتشارد ووجيندWiegand(Richardson and)في فضاء ذي بعدين (D-2) ، ومؤشر كيث وثوماس(Kauth andThomas) المحسوبين في مسافة ذات أربعة ابعاد (D-4)، وكذلك البعد السادس (D-6). و يعد تحليل نطاقات لاندسات TM(Crist and Cicon, 1984)حالات خاصة فقط في هذه المؤشرات ذات الابعاد (D-)(n)

n ، حيث ان هذه الطريقة لا تراعي تأثيرات الغلاف الجوي ولا معايرة أجهزة الاستشعار الإشعاعية و يستند هذا النموذج إلى النماذج الرياضية الخاصة بـ Gram-Schmidt (Freiberger ,1960)، التي تعتمد علي التعامد بين المتجهات: متجه التربة العارية و متجه الغطاء النباتي .. إلخ، و يمكن تعميمها عن طريق حساب "m" باستخدام النطاقات "n" (m ≤n) ، (Jackson 1983). فتكون الصيغة العامة لمؤشر ال (Im)mth في بعد المساحة-nهيما يلي:

$$Im = Am, 1X1 + Am,2X2+.....Am, nXn$$

Ami هي معاملات مؤشر mth

$$Ami = \frac{ti}{T}$$

Tهو مصطلح التطبيع

$$T=\sqrt{\sum_{i=1}^{n} ti}\ 2$$

$$ti= (pK- ps)i- (Dm,1A1,i+ DM, 2A2,i +.....+ Dm,zAz, i$$

$$Dk,z = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(pk - ps)iAz, i}$$

حيث ps هي انعكاس للتربة الجافة، pk هي انعكاس للنباتات الخضراء، لعينةk، و يتراوح kمن 1 إلى m (m عدد المؤشرات التي سيتم تحديدها) ،z يتراوح من 1 إلى k - 1 ، و i من 1 إلى n .

في الواقع، إن الزيادة في عدد النطاقات التي تدخل في حساب مؤشرات الغطاء النباتي لا تسهم كثيرًا مقارنة باستخدام نطاقات الأشعة الحمراء و الأشعة تحت الحمراء القريبة فقط (Wiegand and Richardson, 1982; Perry and Lautenschlager, 1984; Elvidge and Lyon, 1985).

وقد أظهر (Huete ,1988) أن هناك تناقض بين الطريقة التي تتبعها مؤشرات NDVI و PVI في وصف السلوك الطيفي للنباتات وخلفية التربة. وبالتالي قام بتطوير مؤشر الغطاء النباتي الجديد يسمى "مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة" (SAVI) والذي يعتبر إلى حد ما حلاً وسطًا بين مؤشرات النسب (NDVI) والمؤشرات المتعامدة (PVI). تكمن اهمية هذا المؤشر في إنشاء نموذج بسيط يسمح بوصف نظام الغطاء النباتي بشكل مناسب، ويمكن تعريف SAVI بالمعادلة التالية:

$$SAVI = \frac{NIR-R}{NIR+R+L}(1+L)$$

حيث L عامل ضبط التربة. واستنادًا إلى نموذج إشعاعي مبسط منقول، أظهر (Huete,1988) أن القيمة L = 0.5،تسمح بأفضل ضبط والتالي تقليل التأثير الخلفي الثانوي للإشعاعات الخلفية المنقولة بواسطة مظلة الاشجار إلى أدنى حد. فإذا كانت قيمة L هي صفر (L = 0)، فإن SAVI تساوي NDVI.

وقد أوضح كلا من كاي واخرون عامي (1994) Qi et al. (1993) and Qi,، أن عامل الضبط L ليس ثابتًا، لكنه دالة تختلف بشكل عكسي مع مقدار الغطاء النباتي الموجود. ولتقليل تأثير التربة العارية على SAVI، اقترحوا تعديلًا، وهو "مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة" :

$$MSAVI = \frac{2NIR+1-\sqrt{(2NIR+1)2-8(NIR-R)}}{2}$$

تم تطوير ثلاثة إصدارات جديدة من SAVI بواسطة مايجور واخرون،(Major et al. (1990 وهي SAVI2SAVI3 , و SAVI4. وتعتمد هذه التحولات على اعتبارات نظرية حتى يتمكن SAVI من مراعاة حقيقة منها اختلاف زاوية ميل الشمس وأن التربة قد تكون رطبة أو جافة.

وقد تم تعريف "مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة" (TSAVI) من باريت واخرون(Baret et al, 1989a)، "علي انه SAVIالمتحول ". ويستند TSAVI إلى نفس المبادئ التي درسها هيوت ومايجور1990 .Major et al ; Huete,1988()، خاصة فيما يتعلق بخط التربة، حيث يتم إدخال معلمات الخط (الميل والمنشأ) في حساب هذا الملحق مما يمنحه طابعًا عالميًا ، أي أنه يتطلب استخدام ملحق واحد فقط لتطبيقات مختلفة بدلاً من استخدام ملحق محدد لكل تطبيق محدد (Baret et al, 1988). وقد تم إعادة ضبط الإصدار الأول من (TSAVI)(Baret et al ,1989a) لتقليل تأثيرات سطوع التربة إلى الحد الأدنى عن طريق إضافة قيمة "X" والتي تساوي 0.08 (Baret and Guyot,1991). هذه النسخة الجديدة المحسنة منTSAVI هي التالية:

$$TSAVI= \frac{\{a(NIR-aR-b)}{\{(R+aNIR-ab+x(1+a2)\}}$$

حيث انa و b هي معلمات خط التربة المحسوبة باستخدام الصيغة (NIR = aR + b)، حيث يمكن تحديد معادلة خط التربة على الصورة إذا كان هناك ما يكفي من بكسيلات التربة العارية مع مجموعة ديناميكية كافية. ومع ذلك، قد يكون من الممكن استخدام خط التربة المقدّر من صورة سابقة لنفس المنطقة. وفقًا لـ (Baret and Guyot,1991) ، تساوي TSAVI المحسوبة من هذه الصيغة 0 في حالة التربة العارية وتقترب من 0.70، لأغطية الغابات الكثيفة للغاية. ويقدم كل من SAVI و TSAVI ميزة وصف كل من التغييرات في الغطاء النباتي وخلفية التربة، و نوع المستشعر المستخدم.

في سياق إنتاج خريطة استخدام الأراضي لدراسة التآكل اللامركزي في مستجمع مائي يقع في منطقة شبه قاحلة ، أثبتت TSAVI أنها مرضية لتحديد موقع الغطاء النباتي الذي يتميز بانخفاض الغطاء النباتي (Anys, 1991)، نظرًا لأنه يأخذ في الاعتبار خط التربة العارية، فإن TSAVI يعد مؤشرًا أفضل من مؤشر NDVI للأغطية النباتية المنخفضة وهو أكثر حساسية لوجود الغطاء النباتي الخفيف (Cyr ,1993).

3.2. لون التربة

هناك عامل آخر يؤثر على مؤشرات الغطاء النباتي، بالإضافة إلى سطوع التربة، هو لونها. حيث يفترض مفهوم مؤشرات الغطاء النباتي أن اختلافات الملحق هي دالة للنباتات فقط. في الواقع أثبتت العديد من الدراسات أن هذه الفرضية لا يتم التحقق منها دائمًا، وأن قيم مؤشر الغطاء النباتي التي يتم الحصول عليها في التربة العارية أو التربة ذات الكثافة النباتية المنخفضة، تختلف كثيرًا عن هذا الافتراض النظري ((Richardson and Wiegand, 1977; Escadafal, 1989a; Escadafal et al.,1989 and 1990; Escadafal and Huete, 1991). وتوفر هذه الأشكال الثانوية للتربة(اللون)عرض خط التربة. واعتمادًا على محاور الطول الموجي قد يشبه خط التربة الشكل الإهليجي أو المستوي.

استخدم كاوث وتوماس مفهوم مستوي التربة (Kauth and Thomas, 1976) لوصف السلوك الطيفي الثانوي للتربة في لاندسات MSS رباعي النطاق، وقد نسبوا هذا المكون الثاني للتربة، للتربة حمراء وصفراء اللون، واصبح حجم هذه الانحرافات أمرًا مهمًا في تحليل الغطاء النباتي إذا ما تداخلت مصادر التباين الطيفي مع تلك التي تنسب عادةً للغطاء النباتي. حيث قد يضيف هذا المحور الثانوي لتغير التربة الي مساحة الطول الموجي، ضوضاءً إلى إشارة الغطاء النباتي ويجعل من الصعب حدوث انعكاس للتربة بشكل طبيعي. إن اللون يشكل الضوضاء التي تعيق الكشف عن الأغطية النباتية منخفضة الكثافة (Huete, 1984; Huete et al.,1985, Bannari et al., 1995).وعادة ما تزيد الضوضاء في مؤشر الغطاء النباتي بسبب التغيرات في الخواص الطيفية للتربة، وليس زيادة في معدل الغطاء النباتي.

أكد هويتي وآخرون (Huete et al. 1984)، أن لون التربة له تأثير كبير على انعكاس المدرجات النباتية منخفضة الكثافة، وأن هذه الحقيقة يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند حساب مؤشرات الغطاء النباتي في البيئات القاحلة. واكتشف هويتي وتوكر Huete and (Tucker ,1991)، انه بهذه الطريقة تستكشف القطع الأثرية المستندة إلى قيم NDVI المستمدة من بيانات NOAA-AVHRR فوق الصحراء. ويشير المؤلفون إلى أن الضوضاء الناتجة عن التربة مرتبطة باللون، و قد أظهر اسكدفال (b andEscadafal,1989a1989)، أن العلاقة بين قيم الانعكاس في نطاقاتTM2 و TM3 ترتبط بتشبع اللون ، أو بـ "درجة ارتباطها" في حالة التربة القاحلة ولمعالجة هذه المشكلة وضع هويتي واسكدفال(Escadafal and Huete,1991) مؤشر تلوين ، "مؤشر احمرار" (RI) الذي هو عامل تصحيح لتأثير لون التربة على مؤشرات الغطاء النباتي. وفقًا لهذين الباحثين فإن الاختلافات الناتجة عن لون التربة تعيق بشكل كبير اكتشاف معدلات الغطاء النباتي المنخفضة. هذا العامل يأتي في المرتبة الثانية بعد سطوع التربة.

وبالتالي فإن مؤشر تلوين التربة هو تصحيح يسمح بمضاعفة حساسية مؤشرات الغطاء النباتي (Escadafal and Huete،1991). وعن طريق قياسNDVI، يتم تعريف هذا الملحق بالمعادلة التالية:

$$RI = \frac{R-G}{R+G}$$

حيث R هو الانعكاس المتوسط في النطاق الاحمر ، G هي الانعكاس المتوسط في النطاق الاخضر.

وقدتم تصميم طريقة بسيطة لتصحيح مؤشرات النباتات من "الضوضاء" المرتبطة بلون التربة ؛ حيث يستخدم المعلومات المقدمة من النطاق الاخضر، وتستخدم طريقة الميل "k" للعلاقة الخطية بين RI ومؤشر الغطاء النباتي (VI) للحصول على مؤشر الغطاء النباتي الصحيح ، VI *:

$$* VI = VI-kRI$$

إن تصحيح مؤشري الغطاء النباتي ، NDVI و SAVI ، من "الضوضاء " المرتبطة بلون التربة، يضاعف حساسية هذه المؤشرات(Escadafal and Huete،1991). حيث أن استخدام الاستشعار عن بعد في المناطق الأحيائية القاحلة وشبه القاحلة والبيئات غير المتجانسة جزء مهم من دراسات بيئة الأرض (Verstraete and Pinty، 1991) ، من المتوقع أن يؤدي تطوير تقنيات تصحيح "الضوضاء" في التربة إلى تحسين مراقبة التغيرات العالمية بشكل كبير باستخدام مؤشرات الغطاء النباتي (Escadafal, 1993).

3.3. الغلاف الجوي

يمكن للتغيرات التي تحدثها التأثيرات الجوية كالامتصاص والانتشار، أن تقلل إلى حد كبير من دقة تفسير صورة الاستشعار عن بعد، خاصةً عند الكشف عن ت الغطاء النباتي على سطح الأرض.

أن الإشعاعات المقاسة بواسطة أجهزة الاستشعار (الستالايت) أو المحمولة جواً، في النطاقات المرئية والأشعة تحت الحمراء القريبة في الطيف الكهرومغناطيسي، تتأثر بشدة بهذه التغيرات الجوية (Slater, 1980; Kaufman, 1988)، قبل الوصول إلى المستشعر، حيث يجب أن ينتقل الإشعاع الكهرومغناطيسي عبر الغلاف الجوي فتكون الجسيمات المعلقة (سواء الصلبة أو السائلة أو الغازية) عرضة لتعديل الإشعاع بشكل كبير. وقد أظهرت دراسة مكانية وزمنية أجريت باستخدام الصور الجوية والأقمار الصناعية (SPOT) تأثير الغلاف الجوي على مؤشرات الغطاء النباتي(Qi et al,1991 and 1993)، وفقًا لكوفمان وسندرا (1988) ،أن المؤثرات الموجودة في الغلاف الجوي تؤثر على مؤشرات الغطاء النباتي بالطريقة التالية: بالنسبة لسطح موحد يكون تأثير الغلاف الجوي بدون السحب يجعل السطح ساطعًا مشرقًا (الرمال ، والغطاء النباتي)، في الاشعة تحت الحمراء وجعله سطح مشرقًا مظلم (الماء ، الغطاء النباتي) في النطاق المرئي. أن الزيادة في السطوع ناتجة عن زيادة الاشعاع في الغلاف الجوي والذي لم ينعكس من سطح الأرض ، ويكون الانخفاض في السطوع ناتج عن الامتصاص، ويزيد هذا التأثير على تزايد السطوع على الغطاء النباتي في الجزء الأحمر من الطيف ويقلل من الإشعاع في الاشعاع تحت الحمراء وبالتالي علي مؤشر الغطاء النباتي (Rouquet, 1984).

وقد أفاد فريزر وكوفمان (Fraser and Kaufman, 1985) عن "انعكاس السطح الحرج" حيث يضل الإشعاع ثابتًا مع تباين السُمك البصري. نظرًا لأن خلفية التربة تؤثر بشدة على السطوع الكلي للستائر المزروعة جزئيًا ، لذلك فإن التعديل الجوي للظواهر المنعكسة على المظلات النباتية سيعتمد بشدة على الخصائص البصرية للتربة (Huete، 1989). ووفقا لبيتس وآخرون (Pitts ,1974 et al) ، يمكن أن يقلل الامتصاص من محتوى البيانات في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة بأكثر من 20٪.

وقد طور كلا من جوند وفولبين (Gond and Phulpin,1990) نهجًا يستند إلى صور محمولة بالهواء تم الحصول عليها على ارتفاعات وتواريخ مختلفة، توضح آثار الغلاف الجوي على مؤشرات الغطاء النباتي، وقدروا أن الاضطرابات المرتبطة بامتصاص بخار الماء والانتشار إلى 5.5 ٪ من قيمة المؤشر. ووفقا لجاكسون وآخرون (b1983) ، فان التعكر في الغلاف الجوي يمكن أن يحد من قياس الغطاء النباتي كما تعيق الكشف عن اجهاد الغطاء النباتي. وتستخدم دراسة هذه الظواهر الجوية لتطوير التقنيات التشغيلية و لتصحيح آثارها ضرورة في الاستشعار عن بعد، إذا ما خطط المرء لتطبيق بيانات الأقمار الصناعية بكفاءة

في مجالات البحث مثل فحص الغطاء الأرضي القائم على مؤشرات الغطاء النباتي (Tanre, 1982; Holben and Fraser, 1984; Holben et al., 1986; Lee and Kaufman, 1986).

قام كوفمانوتانر (Kaufman and Tanre ,1992) بتطوير مؤشر نباتي جديد يسمى "مؤشر الغطاء النباتي المقاوم للغلاف الجوي" (ARVI) وهو إصدار جديد من NDVI،يتم من خلاله تحقيق مقاومة (ARVI)للآثار الجوية مقارنة مع NDVI ، من خلال عملية التصحيح الذاتي للتأثير الجوي على الطيف الاحمر. فالفرق في الإشراق بين النطاقين الزرقاء والحمراء، ينتج قناة حمراء زرقاء جديدة (RB)؛ هذا المزيج يقلل من آثار الانتشار الجوي الناجم عن الهباء الجوي في الطيف الاحمر و تُظهر المحاكاة التي تستخدم حسابات النقل الإشعاعي على أطياف السطح والطبيعية لمختلف الظروف الجوية، أن (ARVI) له نطاق ديناميكي مماثل لنطاق NDVI، لكنه أقل أربعة أضعاف في التأثيرات الجوية
منNDVI (Kaufman and Tanre, 1992). وعلى غرار NDVI ، يتم تعريف ARVI على النحو التالي

$$ARVI = \frac{(NIR-RB)}{(NIR+RB)}$$

[RB = R-ɼ[R-B]

ɼ=/[pa-b - Pa-r]rPa -

حيث B هي الانعكاس الظاهر في الطيف الازرق ، RB هي الانعكاس الظاهر المشترك لكل من الطيفين الازرق والاحمر ، pa-r هو مكون الانعكاس الجوي في الطيف الاحمر ، pa-b هو مكون الانعكاس الجوي في الطيف الا زرق.

يكونɼعامل تصحيح ذاتي للغلاف الجوي يعتمد على أنواع الهباء الجوي، وتعتمد مقاومة (ARVI) للتأثيرات الجوية على نجاح تحديد هذه المعلمة. بالنسبة لقيمة ɼ= 0، فإن ال(ARVI) تساوي (NDVI) (Tanre et al., 1985)، أظهر كوفمانوتانر (Kaufman and Tanre, 1992) أنه عندما يكون الغطاء النباتي متناثر والبيانات الجوية غير معروفة (أبعاد الهباء الجوي)، والقيمة ɼ= 1.0 تسمح بتعديل أفضل لمعظم تطبيقات الاستشعار عن بعد، ما لم يكن نموذج الهباء الجوي معروفًا مسبقًا.

وقد اقترح بناري وآخرون (Bannari et al.1994)، تحسين معادلة خط التربة العارية التي اقترحها ريتشاردسون وويجاند (1977) لجعلها مقاومة للآثار في الغلاف الجوي، "خط التربة المقاوم للتأثيرات الجوية" (SLRA).و في المعادلة استبدلوا الطيف الاحمر بالطيف الاحمر الازرق التي اقترحها كوفمانوتانر (1992).

NIR = arbRB + brb

حيث a_{rb} هو خط ميل التربة العاري في الطيف RB / NIR،و brbهو إحداثي عند أصل خط التربة العارية في الفضاء RB / NIR.

وعلى غرار الدراسة التي أجراها كوفمانوتانر (1992) ، لتقليل آثار الغلاف الجوي وسطوع التربة ولونها على TSAVI ، فقد تم إدخال المنحدر والمنشأ الأصلي لـ arb و brbفي SLRA وTSAVI وكذلك الطيف الازرق لاشتقاق نسخة جديدة من ملحق: "مؤشر الغطاء النباتي المحول للتربة في الغلاف الجوي" (TSARVI)، يوضح هذا النموذج الجديد حساسية ضئيلة للتربة العارية ولونها (± 2٪) ، لكنه يعكس ارتفاع درجة الدقة من (TSAVI)ويكثف الغطاء النباتي (Bannari et al., 1994). و من المهم جدًا ملاحظة أن مجال التحقق من صحة هذا الخط سيغطي جميع المؤشرات التي تستغل الطيف الاحمر والازرق بدلاً من الطيف الاحمر، ووفقًا لذلك يصبح TSARVI:

$$TSARVI = \frac{\{arb(NIR-arb\ RB-brb)}{\{(BR+arb\ NIR-arb\ brb\ +x(1+a2rb)\}}$$

ونظرًا لأن مؤشرات النسب مثل VIN و NDVI ، حساسة للتأثيرات الجوية ، فإن فيرستريت وبينتي (Verstraete andPinty 1992a)، يقترحان مؤشرًا جديدًا للغطاء النباتي غير الخطي، للمراقبة العالمية للبيئة على أساس صور الأقمار الصناعية. ووفقاً للمؤلفين يسمح هذا المؤشر بتقليل التأثير النسبي للتأثيرات الجوية دون تغيير المعلومات المتعلقة بالغطاء النباتي والحفاظ على نطاق ديناميكي كبير مماثل لمؤشرات VIN و NDVI للحصول على غطاء منخفض الكثافة وكثافة منخفضة على التوالي. هذا المؤشر الجديد يسمى "مؤشر رصد البيئة العالمي "(GEMI) ويتم صياغته على النحو التالي:

$$GEMI = \eta(R - 0.125) - (l - 0.25) / - (l - R)$$

$$\eta = [2(NIR2 - R2) + 1.5NIR + 0.5R]/(NIR + R + 0.5)$$

على الرغم من أن الهدف من (GEMI)هو تقييم البيئة وإدارتها عالميًا دون أن تتأثر بالغلاف الجوي، إلا أنها تتأثر بدرجة كبيرة بسطوع التربة ولونها، وبالتالي لم يتم تكييفها بشكل جيد للنباتات الكثيفة المتناثرة أو المعتدلة (Bannari et al., 1994; Plummer et al., 1994).

3.4. تأثير معايرة المستشعر

أن عملية تشكيل صورة الاستشعار عن بعد بالدقة الطيفية والمكانية والإشعاعية المطلوبة تكون وفقا لنظام الاكتساب المستخدم، حيث يلعب التحليل الطيفي دورًا مهمًا في التمييز بين فئات الغطاء الأرضي المختلفة. ويؤثر القرار المكاني على تحليل البيانات عن طريق زيادة الضوضاء غير المتجانسة بسبب العناصر المختلفة الموجودة على الأرض داخل البكسل نفسه، وبين وحدات البكسل المجاورة بالنسبة إلى الاستبانة الراديومترية(Forster, 1983; Bonn et al., 1989; Bonn and1992,Rochon) .

يتم معايرة أجهزة استشعار الأقمار الصناعية قبل إطلاقها الي الفضاء، ثم يتم مراقبتها بعناية من أجل تطوير المعايرة إذا لزم الأمر. وفقًا لبرايس (Price،1987) ، تنتج إجراءات الإطلاق عبر الأقمار الصناعية اختلافات مهمة في المكونات الإلكترونية والبصرية للمستشعر والتي قد تغير دقتها الإشعاعية، وبالتالي ضرورة المعايرة الكاملة. علاوة على ذلك، يمكن أيضًا أن تحدث الاختلافات في الفضاء حسب العوامل الخارجية للقمر الصناعي، مثل الاحتكاك في الغلاف الجوي والإشعاع الشمسي الذي يمارس على القمر الصناعي في أجزاء المدار المعرضة للشمس (Cnes,1976).

تسمح المعايرة الإشعاعية بتحويل ارقام الأقمار الصناعية الخام أو الأرقام الرقمية المحمولة جواً (DN) إلى وحدات مطلقة وبالتالي القضاء على الحالات الشاذة المحددة للمستشعر، أو بعبارة أخرى، لإقامة علاقة بين استجابة المستشعر والمعلومات التي يتلقاها من الخارج والتي هي مقدار القياس (كولويل ، 1983). هذه المعايرة ذات أهمية كبيرة من ناحية ،لمراقبة الغطاء النباتي باستخدام مؤشرات الغطاء النباتي، ومن ناحية أخرى، للمقارنة الموحدة لمؤشرات الغطاء النباتي عندما يتم تسجيل البيانات بواسطة أجهزة استشعار مختلفة(Price،1987). وفقًا لكوفمانوهولبين (Kaufman and Holben، 1993) ، فإن التدهور الإشعاعي لمستشعر AVHRR (مقياس إشعاع متقدم عالي الدقة للغاية) عبر الزمن، كان يقدم خطأ نسبيًا بحوالي 9٪ في حساب مؤشر الغطاء النباتي، وهو ما يتفق مع عمل هولبان واخرون (Holbenet al.1990). وتعد متعددة مصادر البيانات (Landsat-MSS، TM، SPOT، AVHRR ، وما إلى ذلك) بمثابة نعمة للبحث ولكنها تعقد الإجراءات التشغيلية لتقييم الغطاء النباتي. ويوضح الاستخدام المستمر لمؤشرات الغطاء النباتي لرصد التغيرات العالمية والإقليمية في الغطاء النباتي الحاجة إلى معلومات أفضل عن معلمات معايرة أجهزة قياس الإشعاع الستلايتية.

3.5. أثر الاختلافات في الاستجابات الطيفية للمستشعر

قد لا يكون مؤشر الغطاء النباتي المحسوب من البيانات التي تم الحصول عليها من نفس الهدف و باستخدام مستشعرات مختلفة هو نفسه، لأن وظائف استجابة الطيف لكل هدف تكون مختلفة الدقة المكانية و مجالات الرؤية عادة ما تكون مختلفة (Teillet et al., 1994; Kong and Madjar, 1988). إن الكاشفات والمرشحات المستخدمة لقياس الضوء في فترة معينة من الطول الموجي هي فريدة لكل أداة. ووظيفة الاستجابة لطيف معين هي مزيج من كاشف يعتمد على الطول الموجي واستجابة المرشح. على سبيل المثال، تتمتع كل من مستشعرات Landsat-TM و SPOT و NOAA-AVHRR وMODISو EOSبطيف أحمر وطيف للأشعة تحت الحمراء ، واستجابة كل منهما مختلفة في كلا النطاقين.

يمكن تقييم تأثير وظائف الاستجابة المختلفة على قيم مؤشر الغطاء النباتي من خلال حساب متوسط عوامل الانعكاس لكل طيف وكل اداة (Jackson and Huete, 1991). و يتم تحقيق ذلك من خلال دمج ناتج وظيفة الاستجابة وقيم الأطياف على الأطوال الموجية عندما تكون وظائف الاستجابة لا تساوي صفر، والقسمة على كامل وظيفة الاستجابة خلال نفس فترة الطول الموجي (Slater, 1980; Jackson and Huete, 1991).

3.6. آثار ثنائية الاتجاه

تمارس زاويتا المشاهدة وذروة الاشعة الشمسية تأثيرًا كبيرًا على قياسات الانعكاس ثنائية الاتجاه لأسطح الأرض الطبيعية. نظرًا لأن السطوح الأرضية ليست من نوع لامبرت (انعكاس لامبرت هو الخاصية التي تحدد "سطح غير لامع" مثالي أو سطح عاكس).بمعني انها ليست كلها عاكسة، وبالتالي يجب أن تؤخذ الخصائص ثنائية الاتجاه في الاعتبار عند التركيب، وتوجد نماذج للتصحيحات ثنائية الاتجاه (Suits، 1972؛ Franklin and Turner، 1992؛ Pinty and Verstraete، 1992b) ، لكن معظمها يتطلب معلومات حول الغطاء النباتي (ارتفاع الغطاء النباتي، على سبيل المثال)، والتي عادة ما تكون غير متوفرة من قياسات الاستشعار عن بعد. علاوة على ذلك ، لتصحيح تأثير ثنائي الاتجاه على مؤشرات الغطاء النباتي ، يحتاج المرء إلى النظر في كل من زاوية ذروة المشاهدة وزاوية زاوية السمت او ذروة الشمس. فإذا كان مؤشر الغطاء النباتي متماثلًا مع مشاهدة النظير(وهي النقطة المعاكسة للذروة)، فلن يتم احتساب زوايا مشاهدة الذروة فقط، فآثر زاوية تشويه الشكل الهندسي للبكسل، يؤثر على الدقة المكانية والطاقة المتكاملة المنعكسة من السطح. والعكس عندما تصبح زوايا ذروة المشاهدة أكبر، ستزداد أحجام مؤشرات الغطاء النباتي وتتحد الأشكال العامة لمؤشرات الغطاء النباتي، مما يعني أن الحد الأدنى للقيم قد حدث عند أو بالقرب من زاوية مشاهدة النظير (Qi ,1991).

من خلال التكوين الهندسي، يمكن تصحيح مؤشرات الغطاء النباتي لعامل جيب التمام، وعامل التمام هو بسيط

يعمل علي تصحيح تجريبي للآثار ثنائية الاتجاه:

$$VI^* = Vl\cos(\theta v)$$

حيث (θv) هي زاوية مشاهدة المستشعر، VI * هو مؤشر الغطاء النباتي الذي تم تصحيحه من التأثيرات ثنائية الاتجاه.

4. تصنيف مؤشرات الخضروات

قام كل من باري و لاتنشلغر (Lautenschlager and Perry, 1981b) بتصنيف مؤشرات الغطاء النباتي إلى فئتين كبيرتين، تقوم الفئة الأولى بإعادة تجميع الأرقام القياسية بناءً على النطاقات الطيفية في لاندسات5MSSوMSS7 وهي مؤشرات (AVI،NDVI7، PVI7، TVI7 RVI7 (7/5)). بينما تجمع الفئة الثانية جميع المؤشرات التي تستخدم نطاقات الاطياف في القمر لاندسات MSS5 و MSS6وهي(NDVI6، TVI6، PVI6 RVI6(6/5)) بالإضافة إلى مؤشرات أخرى تتضمن ثلاثة أو أربعة اطياف (MGVI،GVI،GRABS).

بينما صنف باريو وآخرون (aBariou et al1985,)، مؤشرات الغطاء النباتي إلى فئتين رئيسيتين: المؤشرات التي تم إنشاؤها من مزيج من اثنين من النطاقات الطيفية، لا سيما الأحمر والأشعة تحت الحمراء القريبة، والمؤشرات التي تم إنشاؤها من مزيج من ثلاثة أو أربعة نطاقات طيفية.

قام هويت(Huete, 1984 and 1989) بتصنيف مؤشرات الغطاء النباتي إلى فئتين كبيرتين: نسبة المؤشر والمؤشر المتعامد. تضم نسبة المؤشر للغطاء النباتي استخدام طيفين أسهل من تلك التي تستخدم مجموعات من الاطياف أكثر تعقيدًا. والمؤشرات الأكثر استخدامًا هي (NDVI،VIN،RVI). التي تستخدم طيف الاشعة تحت الحمراء القريبة والطيف الاحمر، ويتم عرض هذه المؤشرات بشكل بياني بواسطة تزايد سفوح الانحراف للنباتات عن الأصل. بينما تشمل مؤشرات الغطاء النباتي المتعامد مؤشر الغطاء النباتي المتعامد (PVI) لريتشاردسون وويغان (Richardson and Wiegand , 1977) ، ومؤشر الغطاء النباتي الأخضر المكون من أربع قنوات (GVI) لكاوث وتوماس (Kauth and Thomas 1976) ، والمؤشر الطيفي المؤلف من ست اطياف لكرست وسايكون(Crist and Cicone, 1984) ومؤشر الطيف "البعد-n" لجاكسون (Jackson, 1983).

أن المفاهيم الأساسية لهاتين الفئتين من المؤشرات متناقضة مع بعضها البعض في وصف السلوك الطيفي لغطاء النباتي و التربة. حيث تختلف مؤشرات التعامد عن مؤشرات النسب في أن خطوط التساوي ذات "اللون الأخضر" لا تتقارب عند الأصل، ولكنها تظل موازية للمحور الرئيسي لخط التربة، كما يعمل الأول عن طريق القياس المباشر بينما يعمل الثاني عن طريق القياس غير المباشر، وبالتالي تجدر الإشارة إلى أن الفرق بين مؤشرات النسب ومؤشرات المتعامد هو الفرق في "الهدف" بين المؤشرات.

كما قام بارت وجيوت (Baret and Guyot,1991)، بتصنيف المؤشرات إلى فئتين تميزان الأغطية النباتية وفقًا للانحدار مثل مؤشرات (RVI، NDVI، SAVI، TSAVI) أو بواسطة المسافة العمودية فيما يتعلق بخط التربة العارية على سبيل المثال:(PVI، GVI).

نجد أنه من المنطقي تصنيف المؤشرات إلى مجموعتين: مؤشرات الجيل الأول ومؤشرات الجيل الثاني. ومن المهم أولاً ملاحظة أن الجدول (1)قد عرض العديد من إصدارات المؤشر نفسه. من أجل تغيير بسيط في مجال التطبيق أو المستشعر أو عامل التعدد ، وستلاحظ في الجدول المعني والمؤلف وتغيير الاختصار، ولكنه يحتفظ بجميع الأسباب العملية و بنفس الصيغة الرياضية ؛ يمكن الإشارة إلى هذه المؤشرات على أنها مؤشرات الجيل الأول، على سبيل المثال: المؤشران اللذان طورهما ريتشاردسون وويغان (1977)، مؤشر "خط خلفية التربة" (SBL) و "مؤشر الغطاء النباتي المختلف" (DVI) وكذلك مؤشر(DVI) اقترحه كليفرز (1986)، انظر الجدول (1).

وقد تم تحديد مؤشرات الجيل الأول بطرق تجريبية دون الإشارة إلى التأثيرات الجوية، وسطوع التربة ولونها. ولهذه المؤشرات قيودًا محددة لأنها مصممة لمستشعر معين وهو لاندسات ام اس اس (Landsat-MSS) وللتطبيقات المحددة بوضوح والتي لا تتحقق من صحة العوامل المضاعفة للمناطق الأخرى. ومع ذلك وخلال السنوات الستة الماضية تم تطوير مؤشرات أخرى تقترح تحسينات ملحوظة على المؤشر الأصلي مع حساب رياضيو المنطق الحسي والوضع التجريبي المنطقي، وكذلك عن طريق المحاكاة. ويمكن الإشارة اليها على أنها مؤشرات الجيل الثاني (PVI و SAVI و MSAVI و TSAVI و TSARVI و ARVI و GEMI و AVI و NDVI). والتي تستند بشكل عام إلى قيم الانعكاس وتصحيحها لمعايرة أجهزة الاستشعار وتأثيرات الغلاف الجوي.

وعلى الرغم من تطوير العديد من مؤشرات النباتات الجديدة التي تم تكييفها مع سلوك التربة ، فإن المؤشر الأكثر استخدامًا هو مؤشر (NDVI). فعند استعراض الأبحاث والدراسات التي تتناول تطبيقات الاستشعار عن بُعد يظهر هذا المؤشر في أغلب هذه الدراسات، و إن استخدامه في كثير من الأحيان كمرجع لتقييم سلوك المؤشرات الجديدة المطورة و باستخدام صور الأقمار الصناعية والقياسات الأرضية أو عن طريق المحاكاة ، يمنحها مكانًا مهمًا بين مؤشرات الجيل الثاني.

5. الخلاصة

أن مؤشرات الغطاء النباتي هي قياسات كمية تشير إلى قوة الغطاء النباتي، وهي تظهر حساسية أفضل فالنطاقات الطيفية الفردية والتي تكشف عن الغطاء النباتي الأخضر، وتكمن فائدتها في المساعدة علي تفسير صورة الاستشعار عن بعد ، والكشف عن التغيرات في استخدام الأراضي، وتقييم كثافة الغطاء النباتي، والغابات، والتمييز بين المحاصيل والتنبؤ بالمحاصيل.

بشكل عام ، يمكن ملاحظة أن مؤشرات الغطاء النباتي ليس لها قيمة عالمية قياسية، فقد أظهرت الأبحاث في كثير من الأحيان نتائج مختلفة، فالغلاف الجوي ومعايرة المستشعر وظروف المشاهدة للمستشعر وهندسة الإضاءة الشمسية ورطوبة التربة واللون والسطوع كلها عوامل تؤثر تأثيراً خطيراً على مؤشرات الغطاء النباتي. علاوة على ذلك وجود مزيج من الغطاء النباتي والعناصر الأرضية الأخرى في البيئة غير المتجانسة في البكسل الواحد، فتصبح دراسة مؤشرات الغطاء النباتي أكثر تعقيدًا. ومع ذلك، فإن اختيار مؤشر الغطاء النباتي بدلاً من الآخر لأي تطبيق يكون دقيقًا للغاية وفعالاً فكل بيئة لها خصائصها الخاصة وكل مؤشر هو مؤشر على الغطاء النباتي الأخضر في حد ذاته.

ويُظهر تاريخ مؤشرات الغطاء النباتي مرحلة التطوير الأولى التي اعتمدت فقط على مجموعات خطية أو أرقام ستالايتية خام (DN). واعتمدت المرحلة الثانية على معرفة الظواهر الفيزيائية التي تفسر التفاعلات بين الإشعاع الكهرومغناطيسي والغلاف الجوي والغطاء النباتي وخلفية التربة، وذلك لحل المشكلات المتعلقة بالمؤشرات النباتية والتي لا يزال يتعين حلها. وقد أظهرت الأبحاث أن مؤشرات الجيل الثاني أقل حساسية للتأثيرات الجوية ولسطوع التربة من مؤشرات الجيل الأول. وفقًا لذلك، فإن المؤشرات التي يتم تحديدها بواسطة عمليات المحاكاة على أساس معادلة النقل الإشعاعي، في الظروف المثالية، تكون دائمًا أكثر دقة من المؤشرات الأخرى.

ولكن هل يمكنهم الحفاظ على نفس الحساسية للغطاء النباتي في الظروف العادية باستخدام صور الأقمار الصناعية أو الصور الجوية ؟ لا يمكن إلا للبحوث التجريبية تقديم الإجابات ووضع الأساس لتطوير مؤشر الغطاء النباتي المثالي لتطبيقات محددة.

شكر وتقدير

قدم المؤلفون الشكر لمجلس العلوم الطبيعية والهندسة في كندا على دعمهم المالي (Grant OGP 000 5252)، و " Ministère des Affaires Internationales du Québec" لتمويل إقامة السيد Bannari في جامعة أريزونا، توسون . كما شكروا السيد بول غانيون على دعمه اللغوي وكذلك اقتراحاته المثمرة والمفيدة.

المراجع

-**Aase, J. K., Siddoway, E H. and Millard, J. P.** (1984) Spring wheat leaf phytomass and yield estimates from airborne scanner and hand-held radiometer measurements. International Journal of Remote Sensing 5: 771-781.

- **Anys, H.**(1991)Utilisation des données de Télédétection dansunsy stèmed' in formation géogra phique pour l'étude de l'érosionh ydrique du bassin versant d'ouedAricha, (Settat, Maroc). Mémoire de maîtrise en télédétection, Département de géographieettélédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada, 100.

-Ashburn, P. (1978) The vegetative index number and crop identification. The LACIE Symposium, Proceedings of the Technical Session, Houston, TX, USA, Volume II, 843-856.

-Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E. T. and Hatfield, J. L. (1984) Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. Agron. Journal 76: 300-306.

Asrar, G., Kanemasu, E. T. and Yoshida, M. (1985) Estimates of leaf area index from spectral reflectance of wheat under different cultural practices and solar angle. Remote Sensing of Environment 17: 1-11.

Badhwar, G. D. (1981) The Use of Parameters to Separate and Identify Spring Small Grains.Quarterly Technical Interchange Meeting, NASA-JSC, Houston, TX, USA.

Bannari, A., Morin, D. and He, D. C. (1994) High spatial and spectral resolution remote sensing for the management of the urban environment. First International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Strasbourg, France, vol. III, 247-260.

Bannari, A., Huete, A. R., Morin, D. and Zagolski, F. (1995) Effets de la couleuret de la brillance du sol sur les indices de végétation. 17th Canadian Symposium on Remote Sensing, Saskatoon, Saskatchewan, Canada (accepted).

Baret, F. (1986) Contribution au suiviradiométrique de cultures de céréales. Thèse de Doctorat, Université Paris-SudOrsay, France, 182.

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

Baret, E, Guyot, G., Begue, A., Morel, P. and Podaire, A. (1986) Etude de la complémentarité du moyeninfrarouge avec le visible et le procheinfrarouge pour le suivi de la végétation. Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, Les Arcs, France, 409-412.

Baret, E, Guyot, G., Teres, J. M. and Rigal, D. (1988) Profil spectral et estimation de la biomasse. Proceedings of the 4th International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, Aussois, France, 93-98.

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

Baret, F., Guyot, G. and Major, D. J. (1989b) Crop biomass evaluation using radiometric measurements.Photogrammetria (PRS) 43: 241-256. Baret, E, Jacquemoud, S. and Hanocq, J. E (1993) The soil line concept in remote sensing. Remote Sensing Reviews 7 (1): 65-82. **Bariou, R., Lecamus, D. and Henaff, F.** (1985a) Indices de végétation.Dossiers de télédétection, Centre régional de télédétection, Université de Rennes 2, Rennes, France, 80.

Bariou, R., Lecamus, D. and Henaff, F. (1985b) Réponsespectrale des végétaux. Dossiers de télédétection, Centre régional de télédétection, Université de Rennes 2, Rennes, France,71.

Bonn, F. and Rochon, G. (1992) Précis de télédétection: AUPELF-UREF, 485.

Bonn, F., Charbonneau, L. and Brochu, R. (1989) Analyse de l'utilisation du sol à partir des données SPOT et TM: aspects méthodologiques. Télédétection en francophonie, Éd.AUPELF-UREF, Paris, France, 83-92.

Bullock, P. R. (1992) Operational estimates of western Canadian grain production using NOAAAVHRR LAC data. Canadian Journal of Remote Sensing 18 (1): 23-28.

Campbell, J. B. (1987) Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press, New York, USA, 551.

Chamard, P., Courel, M. F., Ducousso, M., Guénégou, M. C., Le Rhun, J., Levasseur, J. E., Loisel, C. and Togola, M. (1991) Utilisation des bandesspectrales du vert et du rouge pour unemeilleureévaluation des formations végétales actives. TélédétectionetCartographie, Éd. AUPELF-UREF, 203-209.

Chance, J. E. (1981) Crop identification and leaf area index calculation with Landsat multispectral data. International Journal of Remote Sensing 2: 1-14.

Clevers, J. P. W. (1986) The application of a vegetation index in correcting the infrared reflectance for soil background. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Balkema, Rotterdam, Boston 26 (1): 221-226.

C.N.E.S. (1976) Problèmesassociés à l'orbite.Centre national d'étudesspatiales, Toulouse, France, 20.

Collet, K. P. and Abednego, B. (1987) L'évaluation d'un paysageurbainétudié à l'aide d'un indice de végétation.Télédétectionsatellitaireetespaceurbain, Sociétégéographique de Liège, Belgique, notes de recherches 9: 3-16.

Colwell, J. E. (1974) Grass canopy bidirectional reflectance. Proceedings of 9th International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Ann Arbor, USA, 1061-1065.

Colwell, R. N. (ed.) (1983) Manual of Remote Sensing, 2nd edition. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Virginia, USA, 2440.

Crist, E. P. and Cicone, R. C. (1984) Application of the tasseled cap concept to simulated thematic mapper data. Photogrammetric. Eng. and Remote Sensing 50: 343-352.

Cyr, L. (1993) Apport des indices de végétation pour l'évaluation de la couverture du sol en vued'unemodélisationspatiale de l'érosioaMémoire de maîtrise en télédétection, Département de géographieettélédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec), Canada, 160.

Deblonde, G. and Cihlar, J. (1993) A multiyear analysis of the relationship between surface environmental variables and NDVI over the Canadian landmass. Remote Sensing Reviews 7: 151-177.

Deering, D. W., Rouse, J. W., Haas, R. H. and Schell, H. H. (1975) Measuring "forage production" of grazing units from Landsat-MSS data. Proceedings of the Tenth International Symposium on Remote Sensing of the Environment. ERIM, Ann Arbor, Michigan, USA, 1169-1198.

Elvidge, C. D. and Lyon, J. P. (1985) Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass. Remote Sensing of Environment 17: 265-279.

Escadafal, R. (1989a) Remote sensing of arid soil surface color with Landsat Thematic Mapper. Adv Space Res. 9 (1): 1159-1163.

Escadafal, R. (1989b) Caractérisation de la surface des sols arides par observations de terrain et par télédétection. Thèse de Doctoratd'Etat, Université de Paris VI, Paris, France, 317.

Escadafal, R. (1993) Remote sensing of soil color: principles and applications. Remote Sensing Reviews 7: 261-279.

Escadafal, R. and Huete, A. R. (1991) Étude des propriétésspectrales des sols aridesappliquée à l'amélioration des indices de végétationobtenus par télédétection. CR Acad. Sci. Paris 312 (2): 1385-1391.

Escadafal, R., Girard, M. C and Courault, D. (1989) Munsell soil color and soil reflectance in the visible spectral bands of Landsat MSS and TM data. Remote Sensing of Environment 27: 37-46.

Escadafal, R., Huete, A. R. and Post, D. (1990) Estimating soil spectral properties (visible and NIR) from color and roughness field data. Proceedings of the 23rd International Symposium on Remote Sensing of Environment, Bangkok, Thailand.

Forster, B. (1983) Some Urban Measurements from Landsat data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 49: 1693-1707.

Franklin, J. and Turner, L. (1992) The applications of a geometric optical canopy reflectance model to semiarid shrub vegetatioa IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 30: 293-301.

Fraser, R. S. and Kaufman, Y. J. (1985) The relative importance of scattering and absorption in remote sensing. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 23: 625-633.

Freiberger, W. F. (ed.) (1960) The International Dictionary of Applied Mathematics. Van Nostrand, Princeton, NJ, 412.

Gond, V. and Phulpin, T. (1990) Analyse des variations temporelles du NDVI à partir d'un radiomètreaéroporté à haute résolution. Bulletin de la SociétéFrançaise de PhotogrammétrieetTélédétection 120: 27-31.

Guyot, G. (1984) Caractérisationspectrale des couvertsvégétauxdans le visible et le procheinfrarouge; application à la télédétection. Bulletin de la SociétéFrançaise de Photogrammétrieet de Télédétection 95 (3): 5-22.

Guyot, G. (1989) Signatures spectrales des surfaces naturelles. Télédétectionsatellitaire, tome 5.Paradigme, Caen, France, 165.

Guyot, G. and Baret, F. (1988) Utilisation de la haute résolutionspectrale pour suivrel'état des couvertsvégétaux. Proceedings of the 4th International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, Aussois, France, 279-286.

Guyot, G. and Baret, F. (1989) La haute résolutionspectrale.Comptesrendus du óèmeCongrès de l'Association Québécoise de Télédétection, 197-209.

Hay, C. M., Kuretz, C. A., Odenweller, J. B., Scheffner, E. J. and Wood, B. (1979) Development of AI procedures for dealing with the effects of episodal events on crop temporal spectral response.AgRISTARS SR-B9-00434, Contract NASA 9-14565.

Heilman, J. L. and Kress, M. R. (1987) Effects of vegetation on spectral irradiance at the soil surface. Agron. Journal 79: 765-768.

Holben, B. N. (1986) Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. International Journal of Remote Sensing 7: 1417-1434.

Holben, B. N. and Justice, C. O. (1981) An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. International Journal of Remote Sensing 2: 115-133.

Holben, B. N. and Fraser, R. S. (1984) Red and near-infrared sensor response to off-nadir viewing. International Journal of Remote Sensing 5: 145-160.

Holben, B. N., Kimes, D. and Fraser, R. S. (1986) Directional reflectance response in AVHRR red and near-infrared bands for three cover types and varying atmospheric conditions. Remote Sensing of Environment 19: 213-236.

Kong, X. N. and Madjar, D. V. (1988) Effet de la résolutionspatialesur des propriétésstatistiques des images satellites: uneétude de cas. International Journal of Remote Sensing 9 (8): 1315-1328.

Lautenschlager, L. F. and Perry, G R. (1981a) An empirical, graphical and analytical study of the relationship between vegetation indices. Lyndon.B. Johnson Space Center (eds.) (NASA), Houston, Texas, USA.

Lautenschlager, L. F and Perry, C. R. (1981b) Comparison of vegetation indices based on satelliteacquired spectral data. American Statistical Association. Proceedings of the Section on Survey Research Methods, Michigan, USA, 77-82.

Lee, T. Y. and Kaufman, Y. J. (1986) Non-lambertian effects on remote sensing and vegetation index. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing GE-24: 699-707.

Major, D. J., Baret, F. and Guyot, G. (1990) A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. International Journal of Remote Sensing 11 (5): 727-740.

McNairn, H. and Protz, R. (1993) Mapping corn residue cover on agricultural fields in Oxford County, Ontario, using Thematic Mapper. Canadian Journal of Remote Sensing 19 (2): 152-159.

Misra, P. N., Wheeler, S. G. and Oliver, R. E. (1977) Kauth-Thomas brigthness and greenness axes. Contract NASA 9-14350, RES 23-46.

Nicholson, S. E., Davenport, M. L. and Malo, A. D. (1990) A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using NDVI from NOAA AVHRR. Climate Change 17: 209-214.

Pearson, R. L. and Miller, L. D. (1972) Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. Proceedings of the 8th International Symposium on Remote Sensing of the Environment II: 1355-1379.

Perry, C. R. and Lautenschlager, L. F. (1984) Functional equivalence of spectral vegetation indices. Remote Sensing of Environment 14: 169-182.

Pinty, B. and Verstraete, M. M. (1992a) GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites.Vegetatio 101: 15-20.

Pinty, B. and Verstraete, M. M. (1992b) On the design and validation of surface bidirectional reflectance and albedo models. Remote Sensing of the Environment 41: 155-167.

Pitts, D. E., McAllum, W. E. and Dillinger, A. E. (1974) The effect of atmospheric water vapor on automatic classification of ERTS data. Proceedings of the Ninth International Symposium on Remote Sensing of the Environment, ERIM, Ann Arbor, Michigan, USA, 483-497.

Price, J. C (1987) Calibration of satellite radiometers and comparison of vegetation indices. Remote Sensing of Environment 21: 15-27.

Prince, S. D. and Tucker, C. J. (1986) Satellite remote sensing of rangelands in Botswana. II. NOAA AVHRR and herbaceous vegetation. International Journal of Remote Sensing 7: 1555-1570. **Plummer, S. E., North, P. R. and Briggs, S. A.** (1994) The angular vegetation index: anatmospherically resistant index for the second along track scanning radiometer (ATSR-2). Proceedings of the Sixth International Symposium Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Val d'Isère, France.

Qi, J. (1993) Compositing multitemporal remote sensing data.Ph.D dissertation, Department of Soil and Water Science, University of Arizona, Arizona, USA, 200.

Qi, J., Moran, M. S., Huete, A. R., Jackson, R. D. and Chehbouni, A. (1991) View-atmospheresoil effect on vegetation indices derived from SPOT images. Proceedings of the 5th International Symposium Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Courchevel, France 2, 785- 790.

Qi, J., Huete, A. R., Moran, M. S., Chehbouni, A. and Jackson, R. D. (1993) Interpretation of vegetation indices derived from multi-temporal SPOT images. Remote Sensing of Environment 44: 89-101.

Qi, J., Chehbouni, A. ,Huete, A.R., Kerr, Y.H. and Sorooshian, S. (1994) A modified soil adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment 47: 1-25.

Rao, V. R., Brach, E. J. and Mack, A. R. (1979) Bidirectional reflectance of crops and the soil contribution. Remote Sensing of Environment 8: 115-125.

Richardson, A. J. and Wiegand, C. L. (1977) Distinguishing vegetation from soil background information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 43 (12): 1541-1552.

Rouquet, M. C. (1984) Correction de l'influence de l'atmosphèresur des donnéesacquises en télédétection des ressourcesterrestres.Thèse de Doctorat, Laboratoired'OptiqueAtmosphérique, Université des sciences et techniques de Lille, France, 113.

Rouse, J. W. (1972) Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetatioa NASA/GSFCT Type I Report, Greenbelt, MD, USA.

Rouse, J. W. (1973) Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFCT Type II Report, Greenbelt, MD, USA.

Rouse, J. W., Haas, R. W., Schell, J. A., Deering, D. W. and Harlan, J. C. (1974) Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetatioa NASA/GSFCT Type III Final Report, Greenbelt, MD, USA.

Sellers, P. J. (1985) Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. International Journal of Remote Sensing 6: 1335-1372. Slater, P. N. (1980) Remote Sensing: Optics and Optical Systems.Addison-Wesley, Reading, MA, USA.

Suits, G. H. (1972) The calculation of the directional reflectance of a vegetation canopy. Remote Sensing of Environment 2:117-125.

Tanré, D. (1982) Interaction rayonnement-aérosols: applications à la télédétectionet au calcul du bilanradiatif. Thèse de Doctoratd'État, Laboratoired'optiqueatmosphérique, Université des sciences et techniques de Lille, France, 258.

Tanré, D., Deroo, C, Dahaut, P., Herman, M. and Morcrette, J. J. (1985) Effetsatmosphériques en télédétection, logiciel de simulation du signal satellitairedans le spectresolaire. Proceedings of the 3rd International Colloquium on Spectral Signatures of Objects in Remote Sensing, Les Arcs, France, 315-319.

Teillet, P. M., Staenz, K. and Williams, D. J. (1994) Effects of spectral and spatial resolution on NDVI. Canada Centre for Remote Sensing, Ottawa, Ontario, Canada, 10.

Thompson, D. R. and Wehmanen, O. A. (1980) Using Landsat digital data to detect moisture stress in corn-soybean growing regions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 46: 1087-1093.

Townshend, J. R. G. and Justice, C. O. (1986) Analysis of the dynamics of African vegetation using the normalized difference vegetation index. Internationaljournal of Remote Sensing 7: 1435-1445.

Tucker, C. J. (1979) Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment 8: 127-150.

Tucker, C J. and Miller, L. D. (1977) Soil spectra contributions to grass canopy spectral reflectance. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 43 (6): 721-726.

Tucker, C. J. and Sellers, P. J. (1986) Satellite remote sensing of primary production. International Journal of Remote Sensing 7: 1395-1416.

Verstraete, M. M. and Pinty, B. (1991) The potential contribution of satellite remote sensing to the understanding of arid land processes. Vegetatio 91: 59-72.

Wheeler, S. G., Misra, P. N. and Holmes, A. Q. (1976) Linear dimensionality of Landsat agricultural data with implications for classifications. Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, LARS, Purdue University, Indiana.

Wiegand, C. L. and Richardson, A J. (1982) Comparisons among a new soil index and other 2 and 4 dimensional vegetation indices.Technical papers of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Denver, CO, USA, 210-227.

Yazdani, R., Ryerson, A. R. and Derenyi, E. (1981) Vegetation change detection in an area—a simple approach for use with geo-data base. Proceedings of the 7th Canadian Symposium on Remote Sensing, Winnipeg, Manitoba, Canada, 88-92.