

دقة تقدير التغطية النباتية في مشهد الانعكاس الطيفي بمعايرة مركبات الأدلة الطيفية

ناصر طرّاف إبراهيم*

الملخص

تم دراسة تغيرات القيم الطيفية للغطاء النباتي بنسب مساهمة مختلفة مع التربة بمشهد الانعكاس (0، 25، 50 و 100% تغطية نباتية) باستخدام المجالين الأحمر وتحت الأحمر القريب وفق قيم كل من الطيف العائد (radiance) والمنعكس (Reflectance)، ثم تطبيقهما في القرينتين النباتيتين NDVI و RVI الأكثر استخداماً في مراقبة الغطاء النباتي وتغيراته بما يزيد من دقة تقدير الشواهد الفسيولوجية النباتية طيفياً عند المعالجة الرقمية لمشهد الانعكاس الطيفي المركب. تكون العلاقة بين الطيف الأحمر وتحت الأحمر القريب ولكل من العائد والمنعكس في المشهد النقي سواء تربة جرداء تماماً أو تغطية نباتية كاملة فقط ذات منحى خطي موجب، بينما تكون العلاقة الطيفية لنسب التغطية النباتية المتغيرة خطية سلبية ومماثلة تماماً للمنحى العام الخطي السلبي المبني وفق جميع نسب التغطية معاً، وبالتالي يفضل في حالات التوصيف الكمي الدقيق للتربة أو الغطاء النباتي أن تتم الدراسة على مستوى العلاقات الجزئية لكل نسبة تغطية بعد دراسته على المستوى الكلي. تكون قيمة الفرق لقيم القرينة النباتية NDVI بين المحسوب وفق قيم الطيف العائد وبين المحسوب وفق المنعكس كبيرة في الترب الجرداء، وتنخفض بزيادة مساهمة التغطية النباتية حتى التغطية الكاملة، بينما تكون قيمة الفرق تلك حسب قيم القرينة النباتية RVI كبيرة في الترب الجرداء ونسبة التغطية المكتملة أيضاً لتتخفض بتغير نسبة التغطية بينهما. يكون الكم الإشعاعي العائد عن التربة الجرداء في مجال

* مدير بحوث- الهيئة العامة للاستشعار عن بعد- دمشق.

الطيف الأحمر أكبر منه في مجال الطيف تحت الأحمر القريب بينما يكون الانعكاس الإشعاعي عكس ذلك أي أنه في مجال الأشعة تحت الحمراء أكبر منه في مجال الأشعة الحمراء. يفيد تطبيق المعادلة العامة المستخدمة في تحديد نسب مساهمات عناصر الانعكاس في المشهد باستخدام الإنعكاس الطيفي وفق مجالات الطيف مباشرة أكثر من استخدام الأدلة الطيفية الداخل في تركيبها نفس تلك القنوات الطيفية.

الكلمات المفتاحية: إشعاع، معايرة طيفية، أدلة طيفية نباتية، مشهد انعكاس.

Accuracy of the vegetative estimation in the spectral scene by calibration components of the spectral indices

Nasser Tarraf Ibrahim*

Abstract

In a scene reflectance, spectral values of different green vegetation areas that integrated with the soil (0, 25, 50, 75 and 100% green vegetation cover of a scene reflectance Area) were studied. Red and near-infrared bands according to the values of each of radiance and Reflectance were used, and then applied in the vegetation indices NDVI and RVI. The aim is improving the accuracy of estimating the plant vegetation from the spectral data of the reflectance scene. The relationships between red and near infrared spectrum for both radiance and reflectance in the pure scene area either bare soil (0% vegetation) or complete green area (100% vegetation) were a linear positive trend. While, the relationships with the different areas (25, 50, 75% vegetation) were linear negative trend that also similar to the general linear passive trend (which built according to all percent vegetation probability). Results refer in accuracy estimation the green areas by spectral data should be: studying from general up to detailed case, calibration the spectral components of the vegetation indices, and applying the vegetation indices (as NDVI) which more better under various soils.

Key words: radiance, spectral calibration, vegetative coverage, spectral scene.

*Director of Researches. General Organization of Remote Sensing

المقدمة

تحتاج جميع الطرق وبأغلب المنهجيات إلى عمليات معايرة مرحلية لترابط العلاقات وتفسيرها علمياً من أجل رفع دقة المعلومات المستنبطة، حيث تعتمد المعالجة الرقمية للإنعكاسات الطيفية في برامج تقدير الإنتاجية المحصولية والكتلة الحية النباتية الخضرية على القيم الطيفية لقنوات محددة أو تلك القيم الطيفية لقنوات مدمجة (fusion) بصورة قرائن طيفية نباتية - وفق صيغ رياضية بمفهوم فيزيائي - تؤمن نتائج أفضل من تلك المستخلصة عن مركبات الدليل الداخل في تركيبه بحد ذاتها. إن مراقبة النمو النباتي وتغيراته يستمر لموسم نمو فيقع بذلك تحت تأثير عامل الزمن، بالدرجة الأولى، مع تغيرات مشهد الإنعكاس بحد ذاته في وحدة المساحة الناتج عن تغير حجم مساهمة الغطاء النباتي بفعل النمو، وثانياً تغيرات الكم الإشعاعي القادم من الشمس من يوم لآخر وخاصة بين فصول السنة، عدا عن ثالثاً المتمثل بتغيرات كمية هذا النمو في وحدة المساحة الأرضية النباتية المعبر عنها بمؤشرات فسيولوجية عدة تؤول إلى الإنتاجية المحصولية النهائية. لذلك من الأهمية أن تكون هذه القنوات الطيفية أو الأدلة الطيفية المستخدمة، بحد ذاتها، ثابتة مع نفسها بمرور الوقت في توحيد رصد تغيرات النمو ضمن عامل الزمن لتثبيت تأثير الزمن قدر الإمكان في مراقبة تغيرات الكتلة الحية والإنتاجية في الوحدة المساحة. من أجل ذلك، يتم الرصد وفق قيم الإنعكاس ثنائي الاتجاه عند قنوات طيفية محددة ليتم لاحقاً استخدام الأدلة الطيفية والتي تحتاج بدورها إلى معايرة محددة وحسب الهدف المرصود لرفع دقة النتائج خاصة عند تغير سلوك الهدف بحد ذاته مع الزمن بالنمو وصولاً لنقلها من المرحلة المعيارية إلى المرحلة التطبيقية على الصور الفضائية التي تحوي كافة تلك الاحتمالات من توافق الحالات المعيارية، فمهما بلغت دقة الدقة المكانية (Spatial resolution) لمشهد الإنعكاس الطيفي فإنه يظل ليترافق ضمنه أكثر من سمة، وخاصة المشاهد المحيطية للأهداف النقية وغيرها، عند استخدام الصور الفضائية المتعددة (Multispectral) وفائقة الدقة الطيفية (Hyperspectral).

يهدف البحث إلى دراسة تغيرات القيم الطيفية للغطاء النباتي بنسب مساهمة مختلفة مع التربة بمشهد الإنعكاس باستخدام قنوات طيفية وفق قيم الطيف العائد والمنعكس، ثم أدلة نباتية طيفية أكثر استخداماً في مراقبة الغطاء النباتي وتغيراته بما يزيد من دقة تقدير الشواهد الفسيولوجية النباتية طيفياً في مشهد الإنعكاس الطيفي المركب.

المنهجية

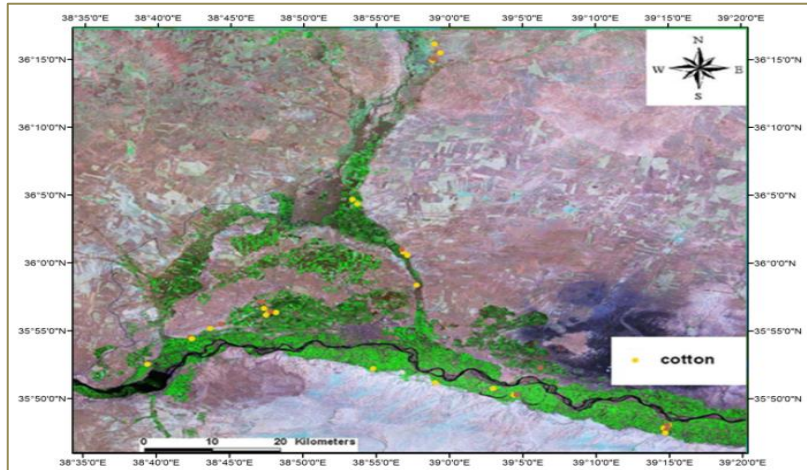
1- الأسس النظرية

يُعرف الإشعاع القادم من الشمس ($ir = irradiance$) بالإشعاع الوارد، فعندما يسقط على جسم ويرتد عنه يسمى ذلك الجزء من الإشعاع بالإشعاع العائد ($r = radiance$). تسمى نسبة الإشعاع العائد على الإشعاع الوارد بالإشعاع المنعكس ($R = Reflectance$). تتغير قيمة الإشعاع العائد حسب مكان ووقت تسجيل القراءة الطيفية؛ فمن حيث المكان أي حسب إحداثيات المكان الجغرافي على الأرض وزاوية سقوط الأشعة الشمسية وزاوية جهاز مستقبل الطيف، وأما من حيث الوقت أي حسب ساعة تسجيل القراءة التي يختلف الكم الإشعاعي القادم من الشمس من لحظة لأخرى وحسب زاوية الورد، إن حساب الإشعاع المنعكس يقلل من تلك التغيرات اللحظية مع المحافظة على كم المعلومات المطلوب وفق دالة توزع الإنعكاس ثنائي الإتجاه ($Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF)$). يتم تقدير القيمة الطيفية عند كل طول موجي حسب نسبة التغطية النباتية ودرجة مساهمة التربة بالمعادلة الطيفية العامة التالية (Smith, 2006): $Pixel = xA + yB + zC$. (حيث: x, y, z والنسب المئوية المكونة للمشهد الإنعكاسي للمواد A, B و C وفق قيمها الطيفية كل على حدا). يُسهّم التحليل الطيفي بنماذج ثنائية البعد للنظم المحصولية في دقة تقدير الإنتاجية (Ibrahim, 2007). تعتمد دقة النتائج المتحصل عليها لنماذج التنبؤ الطيفي بالإنتاجية المحصولية وبدرجة كبيرة على الظروف المحلية والإقليمية لكل منطقة مما يعني وجوب محاكاة النماذج المصممة للبيئة التي ستطبق فيها وحسب المستوى المطلوب من المحلي إلى الإقليمي وفق معاملات معايرة تساهم في رفع دقة التقدير

والنتيـؤ. تم تقدير إنتاجية محصول القطن من بيانات الصور الفضائية وفق نموذج رياضي طيفي في منطقة إختبارية من محافظة الرقة (إبراهيم، 2015). تجدر الإشارة إلى أن برامج تقدير الإنتاجية فضائياً القائمة في الدول المالكة لتكنولوجيا الفضاء قد إنطلقت من مقاربات طيفية تحاكي نماذج الإنتاجية المحصولية مثل برنامج LACIE الأمريكي من قبل NASA (MacDonald،1984) وبرنامج MARS،AgRISTARS الأوروبية (Ferguson،1982).

2- مواد وطرق العمل

تم تسجيل القراءات الطيفية الحقلية لمحصول القطن (*Gossypium sp.* (cotton). حيث يصنف القطن نباتياً ضمن العائلة الخبازية *Malvaceae* ذات الأوراق متوسطة الحجم. إذ يُعد القطن أهم محصول استراتيجي صناعي صيفي في سوريا. 2-1- مكان الدراسة: حقول زراعية واسعة وكبيرة في محافظة الرقة (شكل 1). حيث تم تسجيل القراءات ضمن المرحلة الثانية (2009-2016) لمشروع "مسح الموارد الطبيعية والزراعية باستخدام الاستشعار عن بعد" في وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي بالتعاون مع الهيئة العامة للاستشعار عن بعد.

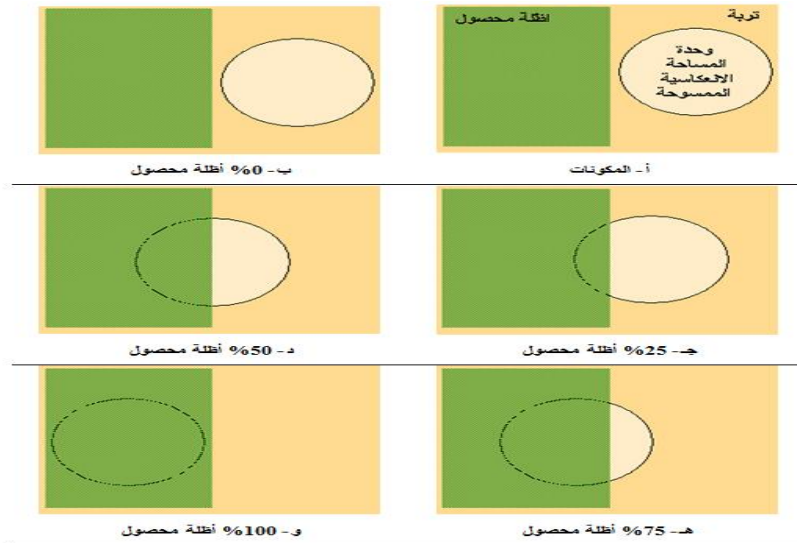


الشكل (1) موقع الحقول في محافظة الرقة

2-2- عوامل الدراسة ومستوياتها

أ- نسب تغطية نباتية مختلفة: 0% (تربة جرداء)، 25% [25% أظلة محصول (Crop Canopy)]، 50% (50% أظلة محصول) و100% (تغطية كاملة لأظلة محصول) وفق المخطط المرفق (الشكل 2):

ب- تقدير كل من الإشعاع المنعكس (R) والعائد (r) عند الأطوال الموجية (350 إلى 2500 نانومتر) بواسطة جهاز السبيكتروراديوومتر المحمول حقيلاً Field SpecPro لتسجيل البيانات الطيفية لكل من الإشعاع العائد والمنعكس والذي يقوم الجزء المستشعر فيه بتسجيل الانعكاسات الطيفية بأطوال موجية من 350 إلى 2500 نانومتر بفواصل طيفي 1 نانومتر.



الشكل (2) مخطط تجربة معايرة قيم الانعكاس الطيفي لمساحة أظلة محصولية متداخلة مع الخلفية الترابية بنسب مختلفة أوج النمو

ثم تتضيد البيانات الطيفية بما يماثل تلك القنوات في المستشعر الصناعي ASTER (كمستشعر معروف في التطبيقات الزراعية) وفق أطواله الموجية التالية:

دقة تقدير التغطية النباتية في مشهد الإنعكاس الطيفي بمعايرة مركبات الأدلة الطيفية

المجال الموجي (نانومتر)	القناة الطيفية	رقم القناة الطيفية
600-520	VI- G	Band1
690-630	VI- R	Band2
860-780	NIR	Band3
1700-1600	SWIR	Band4
2185-2145	SWIR	Band5
2225-2185	SWIR	Band6
2285-2235	SWIR	Band7
2363-2295	SWIR	Band8
2430-2360	SWIR	Band9

حيث تم استخدام القناتين الحمراء (Red) وتحت الحمراء القريبة (NIR) فقط.

ثم حساب أهم الأدلة الطيفية النباتية التالية وفق كل من الطيف العائد والمنعكس:

Normalized difference vegetation index (NDVI), (Rouse et al. 1973)

$$NDVI = [NIR - Red] / [NIR + Red]$$

Ratio vegetation index (Red/NIR): RVI = RED / NIR (Tucker, 1979)

2-3- مراحل العمل الحقلية

تم استخدام رافعة متغيرة الارتفاع لتسجيل القيم الطيفية بجهاز السيكتروراديومتر وفق زاوية مسح 25⁰ من ارتفاع 9 م لتأمين التسجيل الطيفي في وحدة المساحة (12.5 م²) لتقليل تأثير زاوية الورقة وأية عوامل نباتية أو زراعية أخرى (Yبراهيم، 2010) كما في المخطط (2) حيث توضح صور الأشكال 3، 4 و5 تنفيذ ذلك المخطط.



الشكل (3) تحديد الارتفاع



الشكل (4) تحديد المسافة الأرضية



الشكل (5) تحديد المساحة المستهدفة بالمسح الطيفي وتسجيل القراءات

تم قياس الإشعاع الطيفي العائد والمنعكس عند كل طول موجي (من 350 إلى 2500 نانومتر عند كل 1 نانومتر) ولكل نسبة تغطية نباتية. تم القياس الطيفي عند دليل مساحة أوراق أعظمي لمحصول القطن لدراسة القيم الطيفية والقرائن النباتية الناتجة لمعرفة نمط التغير، ثم إيجاد العلاقات الرياضية لكل منهما تحت كافة الظروف

المحصولية وتكاملها مع التربة، وبعدها إجراء المقارنة فيما بين الطيف العائد مع الطيف المنعكس والأدلة الطيفية الناتجة عن كل منهما تحت تلك الظروف، هذا من جهة، وللتحديد العلمي الصحيح للعلاقات القائمة فيما بينها من جهة ثانية، خاصةً عند إدراج هذه المدخلات في بناء نماذج امتصاص طيفي مستخدم في عملية التمثيل الضوئي.

النتائج

1- العلاقات الطيفية لتغطية نباتية متباينة

1-1-1- علاقات الطيف المنعكس لتغطية نباتية متباينة

يبين الشكل (6) علاقات الطيف تحت الأحمر القريب المنعكس مقابل الطيف الأحمر المنعكس لكل نسبة تغطية نباتية مدروسة (0% ، 25% ، 50% و 100%). يتم توصيف التربة الطيفي وفق ما يسمى خط التربة الطيفي الأساس الذي يمثل هنا حالة عدم وجود غطاء نباتي (نسبة التغطية النباتية 0%).

ترتسم العلاقة الخطية الموجبة للطيف تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر المنعكس للتربة وفق خط التربة الطيفي الأساس بثوابت معادلة (قيمة الإنحدار وثابت النقاط مع المحور الشاقولي) تختلف حسب صفات الترب، والتي تتحدد بالعلاقة [1] في حالة الدراسة وبمعامل تحديد عالي جداً ($R^2 = 0.9038$):

$$\text{NIR_R} = 2.3305 \text{ Red_R} - 0.3634 \quad (R^2 = 0.9038, n = 32) \quad [1]$$

حيث: NIR_R نسبة الطيف تحت الأحمر القريب المنعكس NIR، بينما Red_R نسبة الطيف الأحمر المنعكس Red.

بينما ترتسم العلاقة الخطية السالبة للطيف تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر المنعكس لغطاء نباتي أخضر يشغل 25% من مشهد الإنعكاس وبمعامل تحديد عالي جداً ($R^2 = 0.9037$). وفق العلاقة [2]:

$$\text{NIR_R} = -0.8554 \text{ Red_R} + 0.6781 \quad (R^2 = 0.9037, n = 32) \quad [2]$$

كما ترسم علاقة خطية سالبة للطيف تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر المنعكس لغطاء نباتي أخضر يشغل 50% من مشهد الإنعكاس لكن بمعامل تحديد متوسط ($R^2 = 0.4525$). وفق العلاقة [3]:

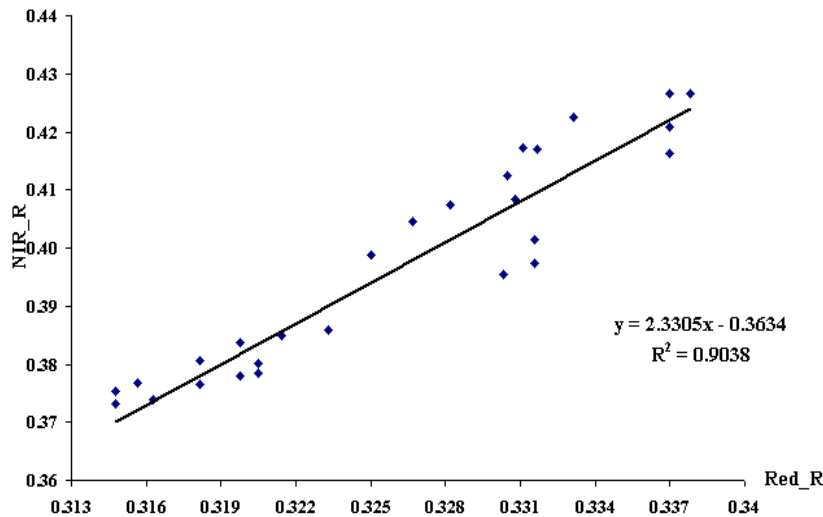
$$\text{NIR}_R = -0.7007 \text{Red}_R + 0.6623 \quad (R^2 = 0.4525, n = 32)$$

كذلك ترسم علاقة خطية سالبة للطيف تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر المنعكس لغطاء نباتي أخضر يشغل 75% من مشهد الإنعكاس وبمعامل تحديد عالي ($R^2 = 0.8285$). وفق العلاقة [4]:

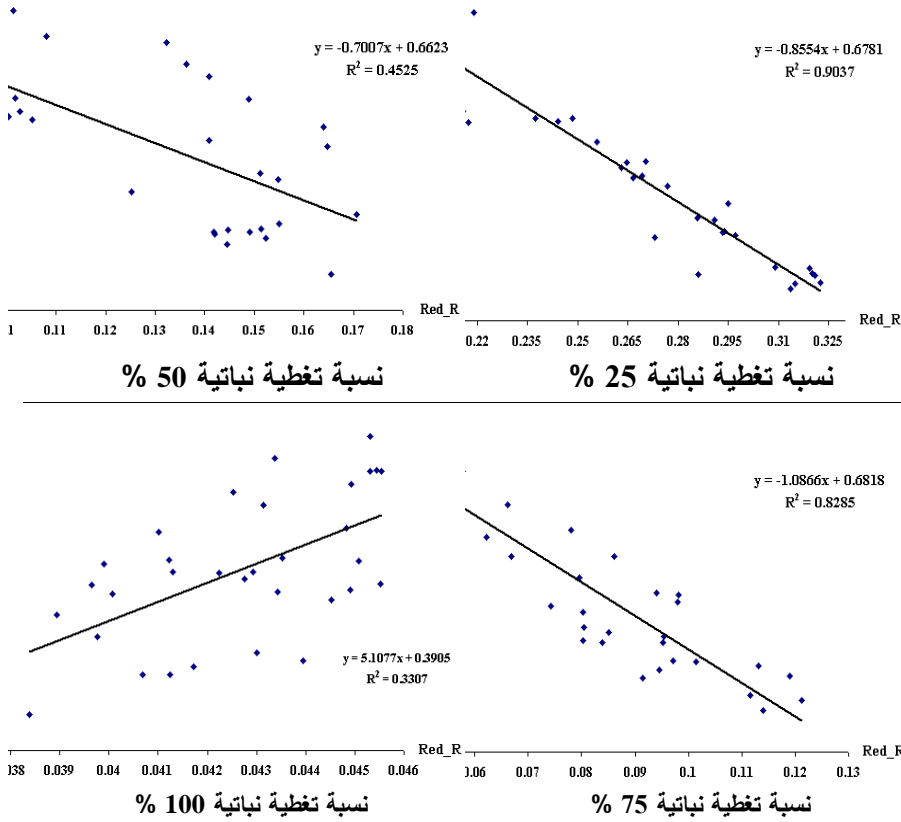
$$\text{NIR}_R = -1.0886 \text{Red}_R + 0.6818 \quad (R^2 = 0.8285, n = 32) \quad [4]$$

بينما عادت ترسم العلاقة الخطية الموجبة للطيف تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر المنعكس لغطاء نباتي أخضر مكتمل في أوج نموه (تغطية نباتية 100%) لكن بمعامل تحديد متوسط ($R^2 = 0.3307$) وفق العلاقة [5]:

$$\text{NIR}_R = 5.1077 \text{Red}_R + 0.3905 \quad (R^2 = 0.3307, n = 32) \quad [5]$$



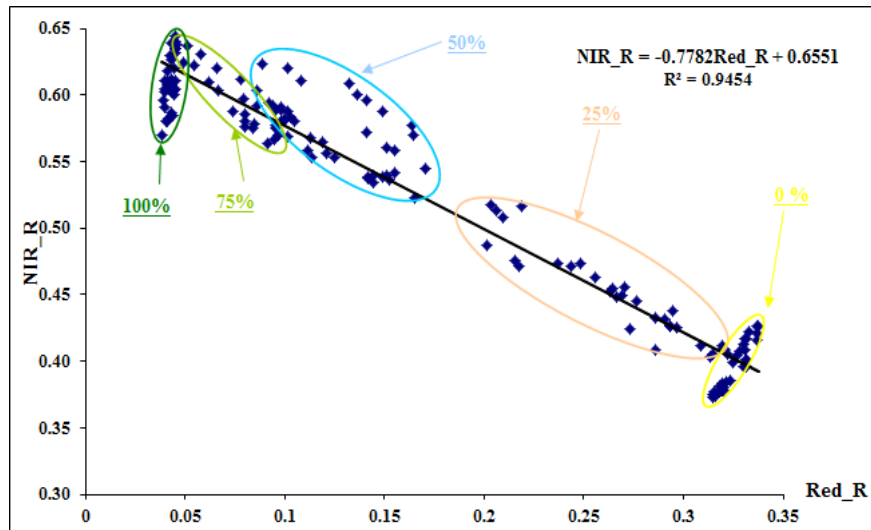
خط التربة الأساس الطيفي



الشكل (6) قيم الطيف المنعكس تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر لكل نسبة تغطية نباتية مدروسة

إن مشهد إنعكاس يحوي جميع تلك الحالات يؤدي بموجبه إلى المعادلة العامة لجميع الإحتمالات المدروسة التي تمثل جميع نسب التغطية النباتية التي يمكن توажدها وما ينتج من توافق فيما بينها. يبين الشكل (7) علاقات الطيف المنعكس وفق قيم تحت الحمراء القريبة مقابل الأشعة الحمراء لجميع نسب التغطية النباتية المدروسة. حيث سادت العلاقة الخطية السالبة العامة الكلية رغم وجود علاقات موجبة في جزئياتها بمعامل تحديد عالي جداً ($R^2 = 0.9454$) وفق العلاقة [6]:

$$\text{NIR_R} = -0.7782 \text{ Red_R} + 0.6551 \quad (R^2 = 0.9454, n = 160) \quad [6]$$



الشكل (7) قيم الطيف المنعكس تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر لنسب تغطية نباتية مختلفة

1-2- علاقات الطيف العائد لتغطية نباتية متباينة

يبين الشكل (8) علاقات الطيف العائد وفق قيم تحت الحمراء القريبة مقابل الأشعة الحمراء لكل نسبة تغطية نباتية مدروسة (0% ، 25% ، 50% و 100%). كما في مناقشة علاقات الطيف المنعكس فقد تم تتبع نفس الخطوات. حيث تم توصيف خط التربة الطيفي الأساس بالعلاقة الخطية الموجبة للطيف تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر العائد للتربة وفق خط التربة الطيفي الأساس، والتي تتحدد بالعلاقة [7] وبمعامل تحديد جيد ($R^2 = 0.8206$):

$$\text{NIR}_r = 0.6208 \text{ Red}_r + 1536.7 \quad (R^2 = 0.8206, n = 32) \quad [7]$$

حيث: NIR_r كمية الطيف تحت الأحمر القريب العائد NIR ، و Red_r كمية الطيف الأحمر العائد Red .

العلاقة الخطية السالبة للطيف تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر العائد لغطاء نباتي أخضر يشغل 25% من مشهد الإنعكاس وبمعامل تحديد عالي ($R^2 = 0.8989$). وفق العلاقة [8]:

$$\text{NIR}_r = -0.6851 \text{Red}_r + 12153 \quad (R^2 = 0.8989, n = 32) \quad [8]$$

العلاقة الخطية السالبة للطيف تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر العائد لغطاء نباتي أخضر يشغل 50% من مشهد الإنعكاس لكن بمعامل تحديد متوسط ($R^2 = 0.7982$). وفق العلاقة [9]:

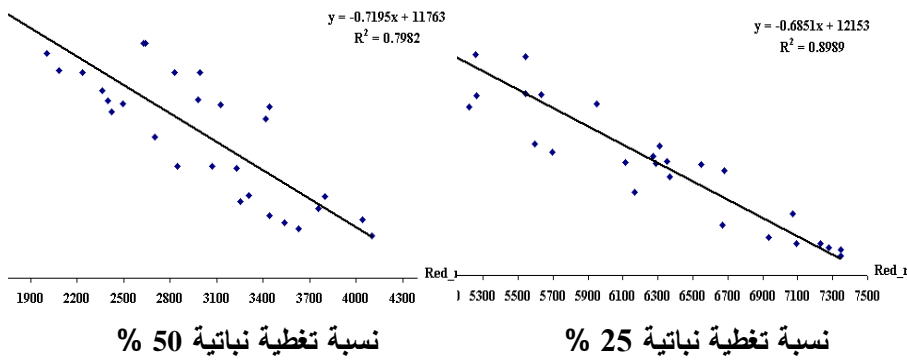
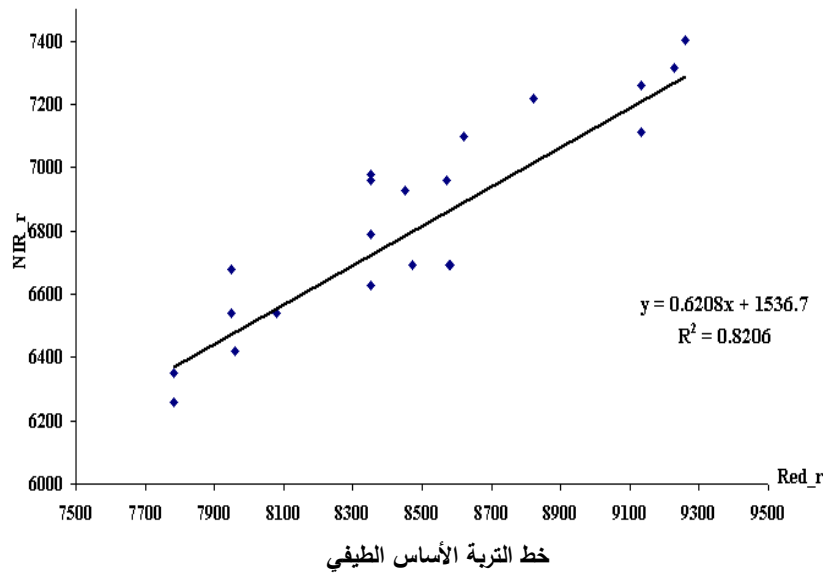
$$\text{NIR}_r = -0.7195 \text{Red}_r + 11763 \quad (R^2 = 0.7982, n = 32) \quad [9]$$

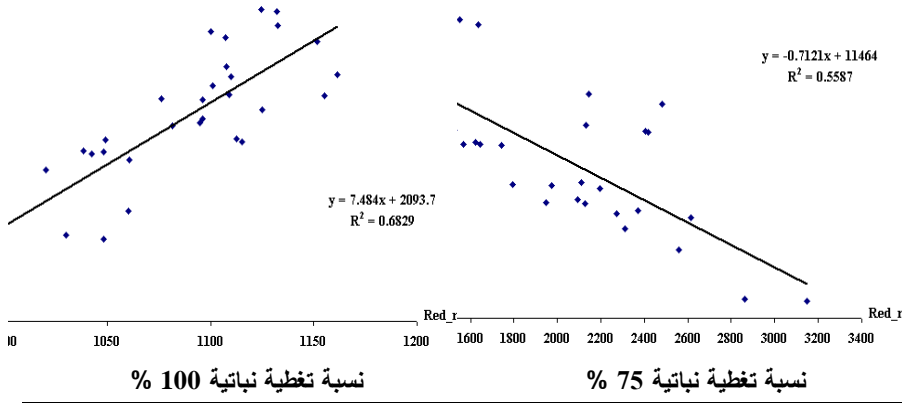
العلاقة الخطية السالبة للطيف تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر العائد لغطاء نباتي أخضر يشغل 75% من مشهد الإنعكاس وبمعامل تحديد متوسط ($R^2 = 0.5587$). وفق العلاقة [10]:

$$\text{NIR}_r = -0.7121 \text{Red}_r + 11464 \quad (R^2 = 0.5587, n = 32) \quad [10]$$

العلاقة الخطية الموجبة للطيف تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر العائد لغطاء نباتي أخضر مكتمل في أوج نموه لكن بمعامل تحديد متوسط ($R^2 = 0.3307$) وفق العلاقة [11]:

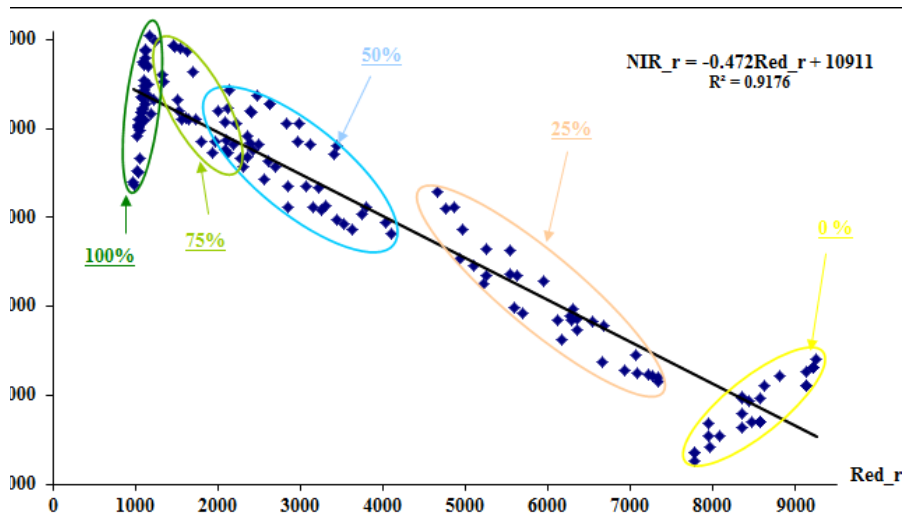
$$\text{NIR}_r = 7.484 \text{Red}_r + 2093.7 \quad (R^2 = 0.6829, n = 32) \quad [11]$$





الشكل (8) قيم الطيف العائد تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر لكل نسبة تغطية نباتية مدروسة

كما سبق فإن مشهد إنعكاس يحوي جميع تلك الحالات يؤدي بموجبه إلى المعادلة العامة لجميع الإحتمالات المدروسة التي تمثل جميع نسب التغطية النباتية التي يمكن تواجدها وما ينتج من استمرارية فيما بينها. يبين الشكل (9) علاقات الطيف العائد وفق قيم تحت الحمراء القريبة مقابل الأشعة الحمراء لجميع نسب التغطية النباتية المدروسة.



الشكل (9) قيم الطيف العائد تحت الأحمر القريب مقابل الطيف الأحمر لنسب تغطية نباتية مختلفة

سادت العلاقة الخطية السالبة العامة الكلية رغم وجود علاقات موجبة في جزئياتها لكن بمعامل تحديد عالي ($R^2 = 0.9176$) وفق العلاقة [12]:

$$\text{NIR}_r = -0.472 \text{Red}_r + 10911 \quad (R^2 = 0.9176, n = 160) [12]$$

1-3- مقارنة علاقات الطيف العائد والمنعكس لتغطية نباتية متباينة

إن جميع المعادلات المستنبطة للعلاقة بين الطيف الأحمر وتحت الأحمر القريب ولكل من العائد والمنعكس لمستويات مختلفة من التغطية النباتية كانت ذات منحنى خطي بالشكل العام التالي:

$$Y = \alpha X + \beta$$

وثنابت المعادلات لجميع نسب التغطية وفق العلاقة الطيفية بين الطيف الأحمر وتحت الأحمر القريب.

الجدول (1) منحنى وثنابت معادلات نسب التغطية النباتية وفق العلاقة الطيفية بين الطيف الأحمر

وتحت الأحمر القريب لكل من العائد والمنعكس

التغطية النباتية (%)	الطيف	ثوابت المعادلة		معامل التحديد	عدد البيانات	توصيف المعادلة
		α	β			
0 (تربة)	المنعكس	2.3305	-0.3634	0.9038	32	خطية موجبة
	العائد	0.6208	1536.7	0.8206	32	خطية موجبة
25	المنعكس	-0.8554	0.6781	0.9037	32	خطية سالبة
	العائد	-0.6851	12153	0.8989	32	خطية سالبة
50	المنعكس	-0.7007	0.6623	0.4525	32	خطية سالبة
	العائد	-0.7195	11763	0.7982	32	خطية سالبة
75	المنعكس	-1.0886	0.6818	0.8285	32	خطية سالبة
	العائد	-0.7121	11464	0.5587	32	خطية سالبة
100 (مكتملة)	المنعكس	5.1077	0.3905	0.3307	32	خطية موجبة
	العائد	7.484	2093.7	0.6829	32	خطية موجبة
100-0 (العامة)	المنعكس	-0.7782	0.6551	0.9454	160	خطية سالبة
	العائد	-0.472	10911	0.9176	160	خطية سالبة

يتبين من الجدول (1) أن منحى الإنحدار العام سلبى تبعاً لنسبة التغطية النباتية، إذ تنخفض قيم الأشعة الحمراء وتزداد الأشعة تحت الحمراء (العائد والمنعكس) بزيادة نسبة التغطية النباتية من التربة الجرداء حتى التغطية النباتية الكاملة. إن العلاقة بين الأشعة تحت الحمراء والحمراء عندما يكون المشهد نقياً فقط سواء أكانت تربة جرداء تماماً أو تغطية نباتية مكتملة عندها تكون العلاقة خطية موجبة. بمعنى أنه بزيادة الكم النباتي بعد إكمال التغطية النباتية تتراد الأشعة تحت الحمراء بزيادة الأشعة الحمراء في كل من العائد والمنعكس، وبالمثل تكون العلاقة على الترب الجرداء مع كل من الطيف العائد والمنعكس أيضاً، بينما تكون العلاقة الطيفية لنسب التغطية النباتية المتغيرة سلبية ومماثلة تماماً للمنحى العام، بمعنى أنه تنخفض قيم الأشعة الحمراء وتزداد الأشعة تحت الحمراء (العائد والمنعكس) بزيادة نسبة التغطية النباتية، وبالعكس أيضاً تزداد قيم الأشعة الحمراء وتنخفض الأشعة تحت الحمراء بزيادة نسبة التربة في مشهد الإنعكاس.

رغم الدقة العالية للمعادلة العامة (وفق مؤشر معامل التحديد)، إلا إن دقتها في تسجيل الحالة الكمية عند كل نسبة تغطية تنخفض خاصة عند القيم الحدية العظمى (التي توصف كمية الغطاء النباتي المعبر فسيولوجياً بدليل مساحة الأوراق) والصغرى (التي

توصف حالة التربة)، لوجود الحالة الموجبة الجزئية ضمن الحالة السالبة الكلية. وبالتالي في حالات التوصيف الكمي الدقيق للتربة أو الغطاء النباتي فإنه يفضل الدراسة على مستوى العلاقات الجزئية بعد دراسته على المستوى الكلي.

2- المعايرة الطيفية عائد- منعكس

حسب ما تقرر في الإطار النظري ولتغير قيمة الإشعاع العائد عن المنعكس حسب مكان ووقت تسجيل القراءة الطيفية، سيتم مقارنة قيم الطيف والقراءات النباتية الناتجة من تسجيل قيم الطيف العائد مع تلك المسجلة من قيم الطيف المنعكس لمعرفة نمط التغير بينهما (تحت كافة الظروف المحصولية وتكاملها مع التربة)، من جهة، وللتحديد العلمي الصحيح للعلاقات القائمة فيما بينهم من جهة ثانية، لإدراج هذه المدخلات في بناء النماذج التالية:

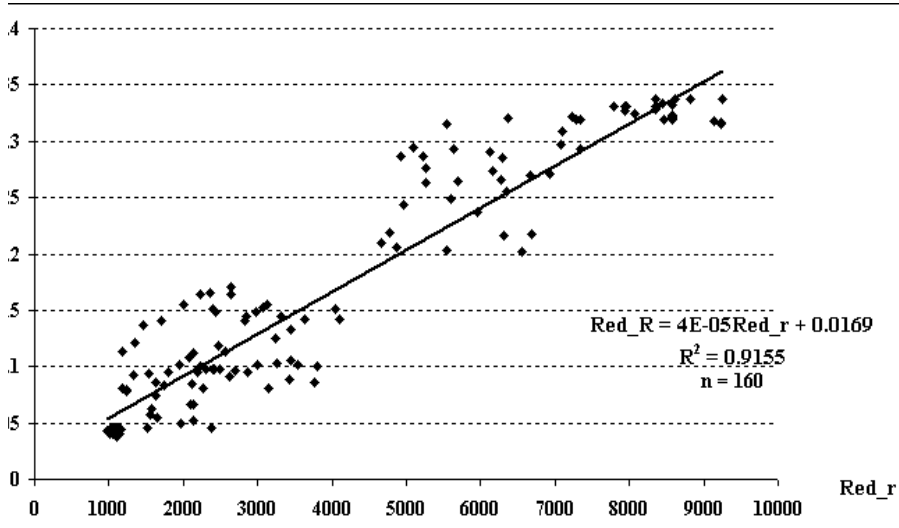
2-1- النماذج الرياضية لمعايرة الطيف عائد-منعكس

فيما يلي النماذج الرياضية لمعايرة واستنتاج قيم الطيف المنعكس من قيم الطيف العائد في المجال الأحمر Red (شكل 10) والمجال تحت الأحمر القريب NIR (شكل 11) والقرينة النباتية NDVI (شكل 12) والقرينة النباتية النسبية Red/NIR (شكل 13) لمشهد طيفي يحوي نسب التغطية النباتية المختلفة:

أ- نموذج معايرة المجال الأحمر لقيم الإنعكاس بقيم العائد:

$$\text{Red}_R = 4E-05\text{Red}_r + 0.0169 \quad (R^2 = 0.9155, n = 160) \quad [13]$$

حيث: Red_R نسبة الطيف المنعكس و Red_r كمية الطيف العائد في المجال الأحمر

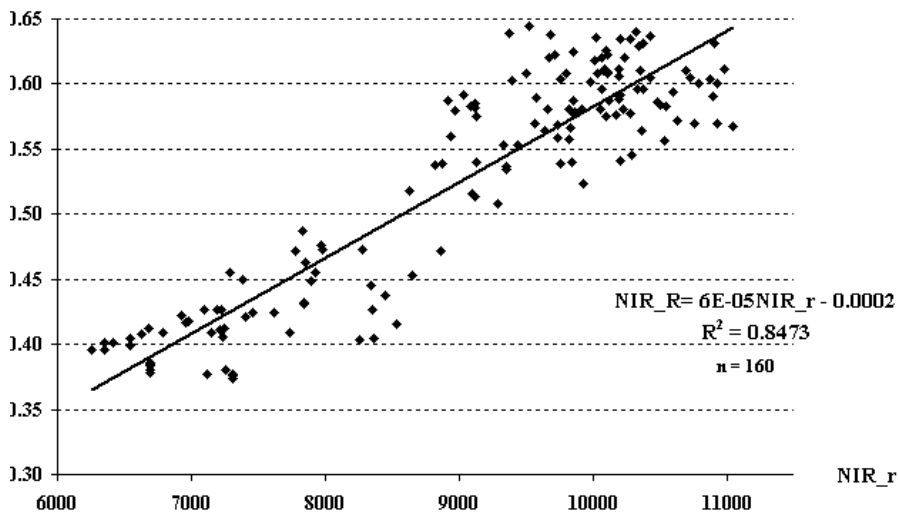


الشكل (10) معايرة الطيف الأحمر المنعكس Red_R بالعائد Red_r لنسب تغطية نباتية مختلفة

ب- نموذج معايرة المجال تحت الأحمر القريب لقيم الإنعكاس بقيم العائد:

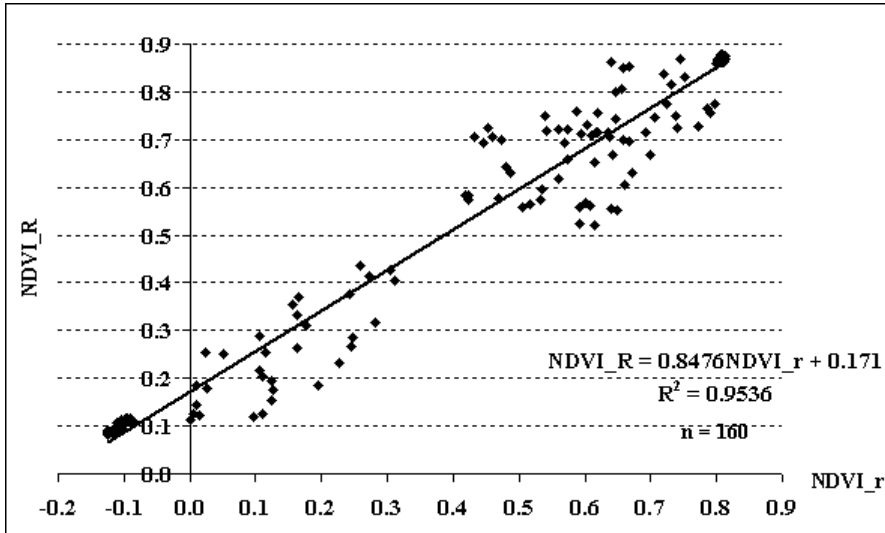
$$NIR_R = 6E-05NIR_r - 0.0002 \quad (R^2 = 0.8473, n = 160) \quad [14]$$

حيث: NIR_R نسبة الطيف المنعكس و NIR_r كمية الطيف العائد في المجال تحت الأحمر القريب. الشكل (11).



الشكل (11) معايرة الطيف تحت الأحمر القريب المنعكس NIR_R بالعائد NIR_r لنسب تغطية نباتية مختلفة

ج- نموذج معايرة القرينة النباتية NDVI المحسوب بقيم الطيف المنعكس مع العائد:
 $NDVI_R = 0.8476NDVI_r + 0.171$ ($R^2 = 0.9536$, $n = 160$) [15]
 حيث: NDVI_R قيمة القرينة النباتية NDVI وفق قيم نسبة الطيف المنعكس و
 NDVI_r قيمته وفق قيم كمية الطيف العائد، الشكل (12).



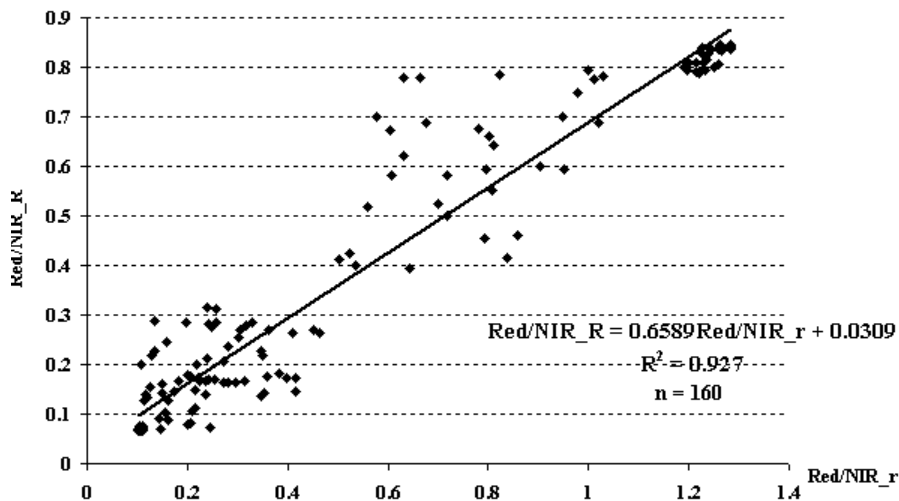
الشكل (12) معايرة NDVI المحسوب من قيم الطيف المنعكس بالمحسوب من قيم الطيف العائد لنسب تغطية نباتية مختلفة

د- نموذج معايرة القرينة النباتية Red/NIR المحسوب بقيم الطيف المنعكس مع العائد:

$$Red/NIR_R = 0.6589Red/NIR_r + 0.0309$$

$$(R^2 = 0.927, n = 160) \quad [16]$$

حيث: Red/NIR_R قيمة القرينة النباتية Red/NIR وفق قيم نسبة الطيف المنعكس و Red/NIR_r قيمته وفق قيم كمية الطيف العائد، الشكل (13).



الشكل (13) معايرة Red/NIR المحسوب من قيم نسبة الطيف المنعكس بالمحسوب من قيم الطيف العائد لنسب تغطية نباتية مختلفة

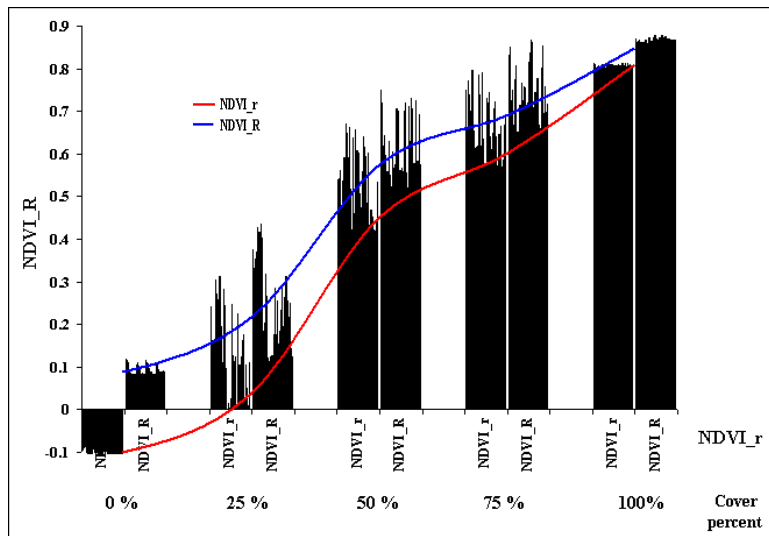
2-2- الأدلة النباتية وفق الطيف العائد والمنعكس

يُظهر الشكل (14) قيم القرينة النباتية $NDVI_r$ المحسوب من الطيف العائد والقرينة النباتية $NDVI_R$ المحسوب من المنعكس لنسب تغطية محصولية مختلفة (0، 25، 50، 75 و 100 %)، حيث يتضح أن قيم القرينة النباتية $NDVI$ سواء المحسوب من الطيف العائد أو من المنعكس تزداد بزيادة نسبة التغطية النباتية، وأن قيم القرينة النباتية $NDVI_R$ تكون أكبر منها بتلك المقاسة بالطيف العائد عند جميع نسب التغطية المحصولية. لكن من الواضح أن قيم $NDVI_r$ المسجل عن تربة جرداء تكون أقل من الصفر، وهذا لا يتفق مع قيم القرينة النباتية $NDVI_R$ التي تتسجم عن كونها تعبر عن قيم دليل نباتي $NDVI$ لتربة وإنما لماء أو مادة أخرى ذات نتائج دليل نباتي سالب، ويعود حقيقة ذلك إلى أن عملية حساب $NDVI_r$ من الإشعاع العائد تعود إلى ان القيم الداخلة في الحساب هي قيمة مطلقة وليس نسبة من الأصل وحيث ان كمية الإشعاع في مجال الأشعة الحمراء أكبر منه في مجال الأشعة تحت الحمراء القريبة فستكون النتيجة بمعادلة القرينة النباتية سالبة (كما يتضح من الشكل). سبب ذلك

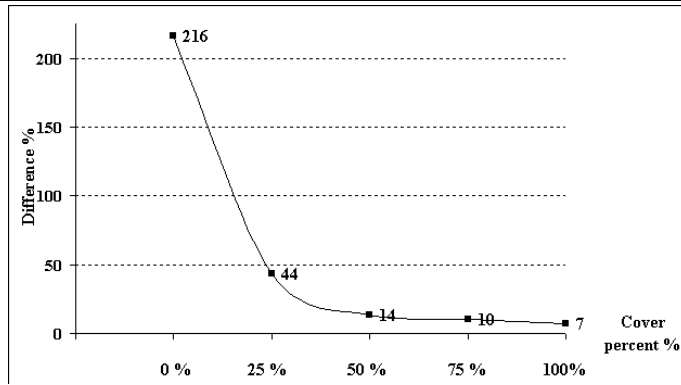
أن هذه التربة تعكس حوالي 8500 و 7000 واط/م²، من الأصل القادم البالغ حوالي 15200 و 10100 واط/م²، على التوالي أيضاً.

كذلك يتضح من الشكلين (14 و 15) ان قيمة الفرق بين قيم القرينة النباتية NDVI_R وقيم NDVI_r تكون كبيرة في الترب الجرداء، حيث تبلغ النسبة المئوية للفرق حوالي 216% من قيمة القرينة النباتية NDVI_R، وتتخفض بزيادة مساهمة التغطية النباتية حتى التغطية الكاملة حيث تبلغ قيمة الفرق عندئذ 7% من قيمة NDVI_R عند نفس نسبة التغطية. تم حساب النسبة المئوية للفرق بالعلاقة:

$$\text{Difference \%} = (\text{NDVI}_R - \text{NDVI}_r) / \text{NDVI}_R * 100$$

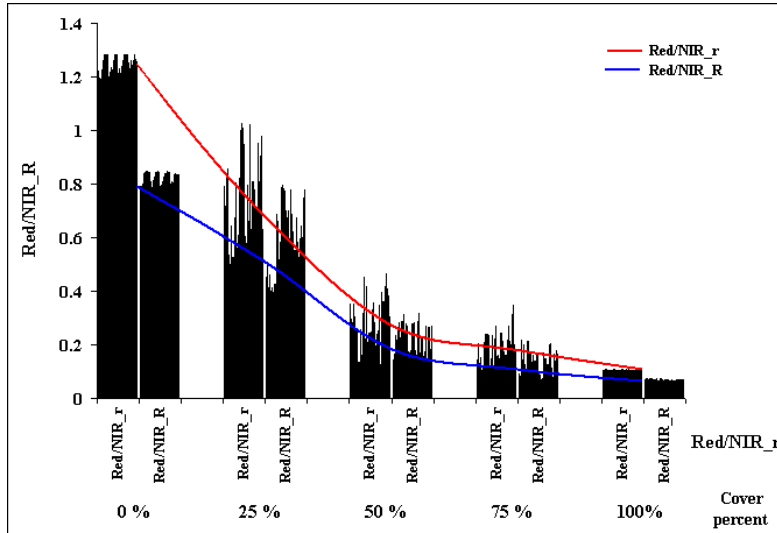


الشكل (14) قيم NDVI المحسوب من قيم الطيف المنعكس (NDVI_R) والعاقد (NDVI_r) لنسب تغطية نباتية مختلفة



الشكل (15) النسبة المئوية للفرق بين قيم القرينة النباتية (NDVI_r) و (NDVI_R) عند كل نسبة تغطية نباتية

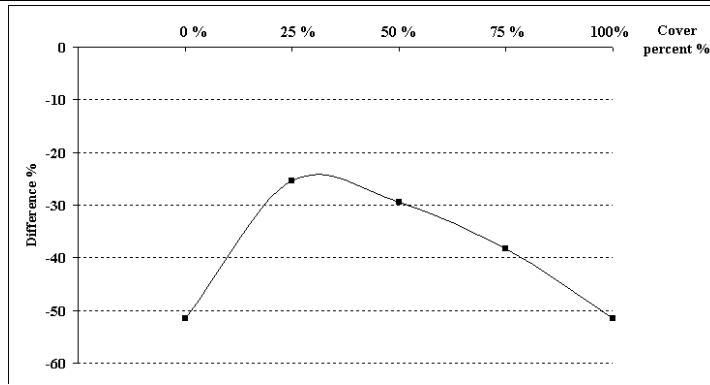
بينما يُظهر الشكل (16) قيم القرينة النباتية Red/NIR_r المحسوب من الطيف العائد بقيم القرينة النباتية Red/NIR_R المحسوب من المنعكس لنفس نسب التغطية المحصولية (0، 25، 50، 75 و 100%)؛ والذي يأخذ منحى عكسي مقارنة مع القرينة النباتية NDVI، حيث تنخفض قيم القرينة النباتية Red/NIR بزيادة نسبة التغطية النباتية، وأن قيم Red/NIR_r تكون أكبر من تلك المقاسة بالطيف المنعكس عند جميع نسب التغطية المحصولية.



الشكل (16) قيم Red/NIR المحسوب من قيم الطيف المنعكس (Red/NIR_R) والعائد (Red/NIR_r) لنسب تغطية نباتية مختلفة

أيضاً يتضح من الشكلين (16 و 17) ان قيمة الفرق بين قيم القرينة النباتية Red/NIR_R وقيم Red/NIR_r تكون كبيرة في الترب الجرداء حيث تبلغ حوالي 50% (تشير الإشارة السالبة إلى تفوق Red/NIR_r على Red/NIR_R) من قيمة القرينة النباتية NDVI_R وتنخفض بزيادة مساهمة التغطية النباتية حتى تغطية 50-75% من التربة ثم تعود قيمة الفرق للزيادة عند انعدام التغطية النباتية لتبلغ أيضاً حوالي 50% من قيمة NDVI_R عند نفس نسبة التغطية، اعتماداً على العلاقة:

$$\text{Difference \%} = (\text{Red/NIR}_R - \text{Red/NIR}_r) / \text{Red/NIR}_R * 100$$

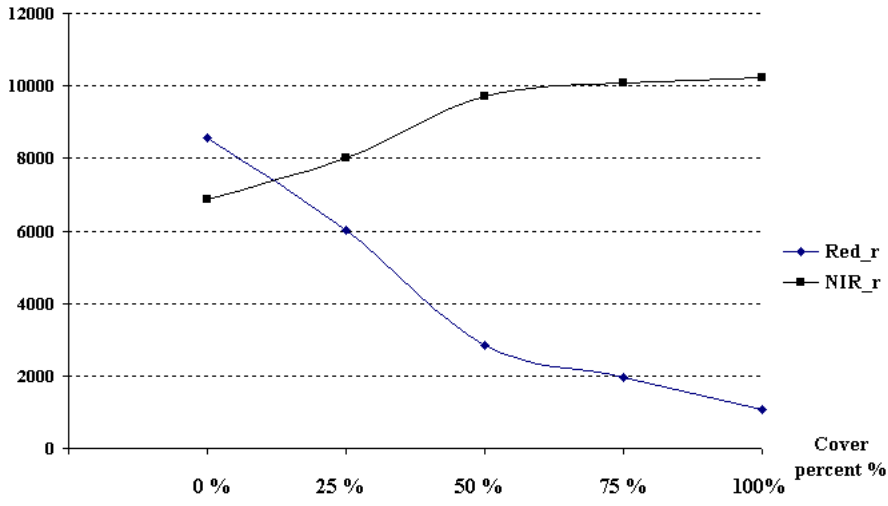


الشكل (17) النسبة المئوية للفرق بين قيم القرينة النباتية (Red/NIR_R) و (Red/NIR_r) عند كل نسبة تغطية نباتية

3-2- العلاقة بين المجالين الأحمر وتحت الأحمر القريب في بيانات الطيف عائد-

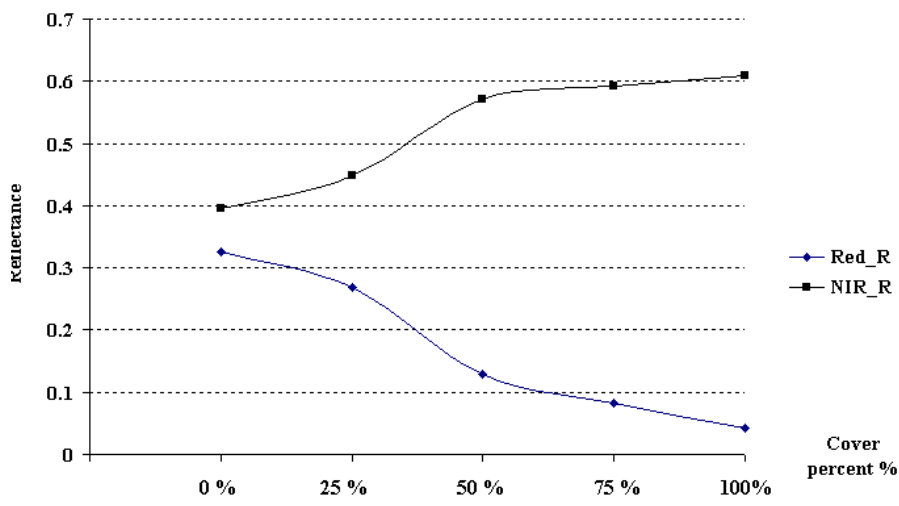
منعكس

يبين الشكلين (18 و 19) قيم العائد والمنعكس عند المجالين الأحمر وتحت الأحمر القريب لنسب تغطية نباتية (0، 25، 50، 75 و 100 %)، حيث يلاحظ من الشكل (18) ان الكم الإشعاعي عن التربة الجرداء في مجال الطيف الأحمر أكبر منه في مجال الطيف تحت الأحمر القريب. بينما يوضح الشكل (19) ان الانعكاس الإشعاعي عن التربة الجرداء أيضاً يكون عكس ذلك أي أنه في مجال الأشعة تحت الحمراء أكبر منه في مجال الأشعة الحمراء. سبب ذلك أن هذه التربة تعكس حوالي 33% ، 40% من أصل الكم الإشعاعي القادم في مجال الأشعة الحمراء و تحت الحمراء، على التوالي، حيث بلغ الكم الإشعاعي العائد (كقيم مطلقة) حوالي 8500 و 7000 واط/م²، من الأصل القادم البالغ حوالي 15200 و 10100 واط/م²، على التوالي أيضاً. ووفق نسب الانعكاس تلك لهذه التربة نعرف مقدار الكم الإشعاعي العائد ضمن كل مجال موجي، وهنا أيضاً يتضح حقيقة ظهور القيم السالبة للدليل النباتي NDVI وذلك عندما يُحسب هذا الدليل على أساس الكم الإشعاعي العائد وليس المنعكس في المجال الطيفي الأحمر وتحت الأحمر.



الشكل (18) قيم الطيف العائد الأحمر وتحت الأحمر القريب لنسب تغطية نباتية مختلفة

تزداد قيمة كل من الإشعاع العائد والمنعكس في المجال تحت الأحمر القريب (الشكلين 18 و 19) بزيادة نسبة التغطية النباتية، مما يعني أنه كلما زادت نسبة التغطية النباتية زاد الكم الإشعاعي العائد وبالتالي زادت نسبة المنعكس من قبل خلايا وأنسجة النبات والمحتوى المائي (Tucker، 1979؛ Colwell، 1983) لتصل إلى عكس كامل هذا الطول الموجي تقريباً لقلّة الإمتصاص في هذا المجال الطيفي من قبل الأظلة النباتية المحصولية. بينما تنخفض قيمة كل من الإشعاع العائد والمنعكس في المجال الأحمر (شكل 18 و 19) بزيادة نسبة التغطية النباتية، مما يعني أنه كلما زادت نسبة التغطية النباتية قل الكم الإشعاعي العائد وبالتالي إنخفضت نسبة المنعكس نتيجة الامتصاص الفعال لهذه الأشعة في عملية البناء الضوئي من قبل اليخضور (Tucker، 1979؛ Colwell، 1983) في أوراق الأظلة النباتية.



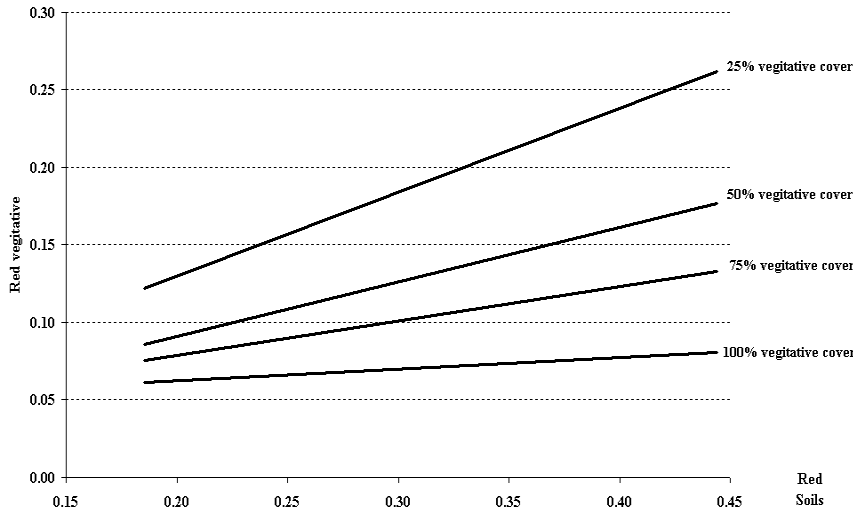
الشكل (19) قيم الطيف المنعكس الأحمر وتحت الأحمر القريب لنسب تغطية نباتية مختلفة

3- تقدير التغطية النباتية من علاقاتها الطيفية الانعكاسية

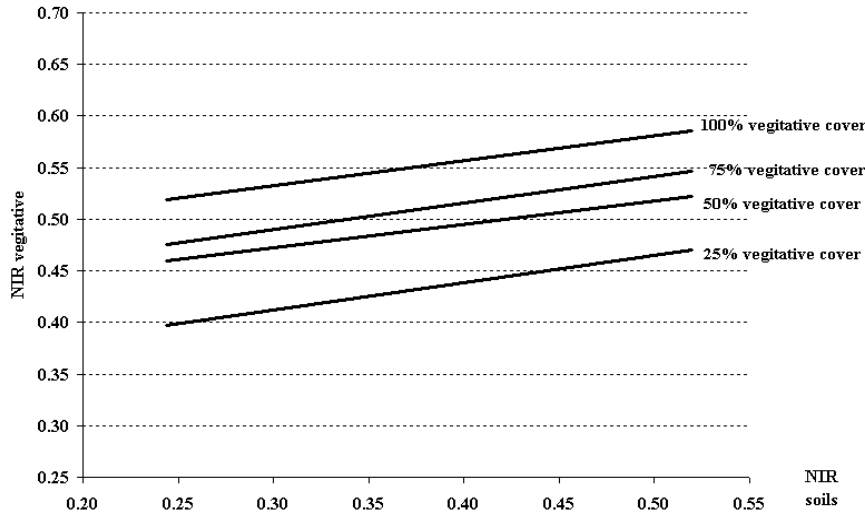
تتضح العلاقات التي تقدر نسبة التغطية النباتية بمعرفة القيم الطيفية عند كل طول موجي لكل من التربة والغطاء النباتي وخاصة في المجالين الأحمر وتحت الأحمر القريب، وكذلك القرينة النباتية NDVI وفق المعادلة الطيفية العامة المذكورة في الأسس النظرية في الأشكال 20، 21 و 22. يبين الشكل (20) أن الخطوط البيانية لنسب التغطية النباتية ذات إنحدارات مخلفة وبالتالي تتقاطع رياضياً عند نقطة بيانية واحدة. مما يعني تداخل إمكانية تقدير نسب التغطية فيما بينها، أي من الناحية التطبيقية عدم دقة القيمة الرقمية المستتبطة في تحديد نسبة التغطية باستخدام الأشعة الحمراء (بسبب وجود احتمال تداخل بين النسب). لقد رفع الإنعكاس الطيفي في المجال تحت الأحمر القريب من دقة التقدير عنه في المجال الأحمر، حيث يتضح ذلك رياضياً من الخطوط البيانية المتوازية لنسب التغطية (الشكل 21) لكن بانحدار محدد، وهذا ما يجعل وجود تداخل بسيط في إمكانية التقدير بين نسب التغطية، بينما يبين (الشكل 22) باستخدام القرينة النباتية أن الخطوط البيانية لنسب التغطية أصبحت متوازية (رياضياً، عدم وجود تقاطع بين الخطوط البيانية) وبإنحدار شبه معدوم (رياضياً، إنحدار معادلة خطية بقيمة

تقترب من الصفر). أي لكل نسبة تغطية قيمة على المحور الشاقولي لا تتغير بتغير القيم على المحور الأفقي، والتي تتمثل بتغير قيم إنعكاسية التربة يقابلها ثبات القيمة الإنعكاسية لكل نسبة تغطية على المحور الشاقولي، مما يعني أن تقدير كل نسبة تغطية يكون مستقل عن نسب التغطية الأخرى. عندئذ تكون العلاقات باستخدام NDVI أكثر استقراراً بتغيرات الخلفية الترابية ولكافة نسب مساحات التغطية النباتية الخضراء. وهذا ما يجعل من القرينة النباتية NDVI - كمعادلة فيزيائية مباشرة (بدون ثوابت تجريبية) - الأكثر استقراراً في رصد تغيرات الغطاء النباتي تحت تنوع الترب.

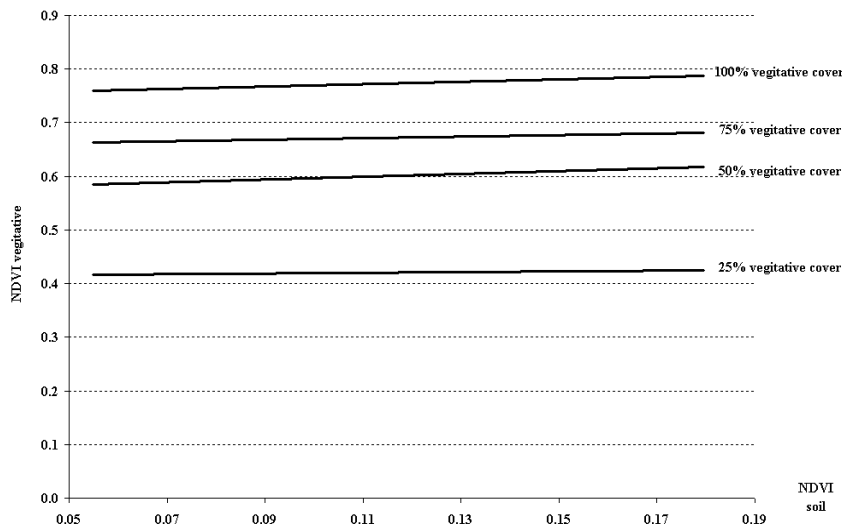
يجب معايرة القنوات الطيفية إلى حالة الإنعكاس (R) ثم تطبيقها في القرائن النباتية، وليس حساب تلك القرائن من تلك القنوات قبل المعايرة (حالة العائد I) وبعدها استخدام تلك القرائن الناتجة أو حتى إجراء عملية معايرة عليها قبل استخدامها. كما يجب في حالات التوصيف الكمي الدقيق - طيفياً - للتربة والغطاء النباتي أن تتم الدراسة على مستوى العلاقات الجزئية لكل نسبة تغطية (معادلة كل نسبة تغطية)، بعد دراسته على المستوى الكلي (المعادلة العامة).



الشكل (20) التغطية النباتية حسب قيم الإنعكاس الطيفي في المجال الأحمر للتربة والغطاء النباتي



الشكل (21) التغطية النباتية حسب قيم الانعكاس الطيفي في المجال تحت الأحمر القريب للتربة والغطاء النباتي



الشكل (22) التغطية النباتية حسب قيم القرينة النباتية NDVI للتربة والغطاء النباتي

المراجع

1. ابراهيم، ناصر طرّاف. 2010. وحدة المساحة المستهدفة طيفياً لمحاصيل كبيرة الأوراق- الشوندر السكري. الاستشعار عن بعد، مجلة الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، دمشق، سورية. 27-22:15.
2. ابراهيم، ناصر طرّاف. 2015. تقدير إنتاجية حقول القطن من مرحلة نمو مبكرة باستخدام الصور الفضائية في منطقة اختبارية-قرية الكالطة. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، 31 (1). 266-251.
3. Colwell، R. N. 1983. Manual of Remote Sensing. (Second edition)، pp. 2111-2227. American Society of Photogrammetry.
4. Ferguson، M. C.، 1982. Evaluation of trends in yield models: Agristars supporting research, SR J1-04157, JSC-17428.
5. Ibrahem, N.T. 2007. Application of Space Technology for Food Security: Cropping Systems Analysis. UN/IAF Seventeenth Workshop on Space Technology for Sustainable Development Towards Food Security. India.
6. MacDonald, R. B., 1984. A summary of history of development of automated remote sensing of agricultural applications. IEEE Transaction in Geoscience and Remote Sensing, GE-22. 473-481.
7. Rouse, J.W.; R.H., Haas; J.A., Schell; D.W., Deering and J.C., Harland. 1973. Monitoring the vernal advancement of natural vegetation. NASA/GSFC Final Report, Greenbelt, MD, USA, pp: 371.
8. Smith, R. 2006. Introduction to Hyperspectral imaging. MicroImage, Inc.
9. Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. R.S. of Environment, V8. pp. 127-150.

تاريخ ورود البحث: 2016/10/30

تاريخ قبول البحث: 2017/4/10