



تقدير مؤشر المسطح الورقي (LAI) لمجموعات الصنوبر البروتي *Pinus brutia* Ten. في مواقع التشجير الاصطناعي في منطقة جبلة (سورية) باستخدام الصور الفضائية

Estimation of the Leaf Area Index of the (*Pinus brutia* Ten.) Stands in Jableh (Syria) Using Satellite Images

م. ريم محمد⁽¹⁾

د. ايلين محفوض⁽¹⁾

د. غالب شحادة⁽¹⁾

Ghaleb Chehadeh

Ilene Mahfoud

Reem Mohammad

(1) قسم الحراج والبيئة، كلية الزراعة، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

الملخص

يهدف البحث إلى تقدير مؤشر المسطح الورقي (LAI) لمجموعات الصنوبر البروتي *Pinus brutia* Ten. في مواقع التشجير الاصطناعي في منطقة جبلة (محافظة اللاذقية/سورية)، بدلالة مؤشر الاختلاف النباتي المعدل (NDVI) المحسوب اعتباراً من الصور الفضائية. نُفذت 29 عينة حقلية خلال صيف العام 2013، و 13 عينة حقلية خلال شتاء العام 2014، التُقطت 12 صورة فوتوغرافية للكتلة الورقية لمجموعات الصنوبر البروتي في كل عينة، وحُسب مؤشر الـ (LAI) بتطبيق تقانة التصنيف المراقب، والاعتماد على الوصمة الطيفية الممثلة للأوراق، وذلك باستخدام 348 صورة فوتوغرافية ملتقطة خلال الصيف، و 156 صورة فوتوغرافية مأخوذة خلال فصل الشتاء. أما مؤشر الـ NDVI فقد حُسب باستخدام صورتين فضائيتين من نوع 8 Landsat بدقة 30 م، الأولى مأخوذة في 2013/7/4، والثانية بتاريخ 2014/2/13. تم إيجاد العلاقة التي تسمح بتقدير مؤشر الـ LAI لمجموعات الصنوبر البروتي بدلالة مؤشر الـ NDVI باستخدام 27 عينة حقلية، كما تم اختبار جودة العلاقة الناتجة باستخدام 15 عينة حقلية منفذة في فصلي الدراسة.

أظهرت النتائج أن قيمة مؤشر LAI للعينات المدروسة تراوحت بين 0.11 و 0.55 في فصل الصيف و 0.21 إلى 0.47 في فصل الشتاء، كما تراوحت قيمة مؤشر الـ NDVI للعينات بين 0.04 و 0.29 في فصل الصيف و 0.15 إلى 0.28 في فصل الشتاء. كما أكدت نتائج البحث وجود علاقة خطية بين مؤشري الـ LAI والـ NDVI في منطقة الدراسة، إذ بلغت قيمة معامل التحديد $0.88(R^2)$ ، كما بلغت قيمة المتوسط النسبي لخطأ الموديل $(\bar{e} \%) (0.993 \%)$ ، أما الانحراف المعياري النسبي لمتوسط خطأ الموديل $(Se \%)$ ، والنسبة المئوية لدقة الموديل $(m \%)$ فقد بلغا 0.51% و 0.003% على التوالي، وتشير قيم جميع هذه الاختبارات إلى دقة ممتازة للموديل الناتج في منطقة الدراسة، مما قد يسمح لاحقاً بالوصول إلى موديل يسمح بتقدير مؤشر المسطح الورقي للصنوبر البروتي في مختلف أنحاء سورية.

الكلمات المفتاحية: مؤشر المسطح الورقي، مؤشر الاختلاف النباتي المعدل، الصنوبر البروتي، صور فضائية.

Abstract

This research aims to estimate the (LAI) for *Pinus brutia stands* (Jableh /Syria) using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which is calculated from the satellite images. The 29 field samples were carried out during the summer of 2013 and 13 field samples during the winter of 2014, the 12 photographs of pine leaf mass were taken in each sample.

The LAI was calculated by application of supervised classification using of leaf spectral signature, using (348) photographs taken in the summer and (156) ones in the winter. The NDVI was calculated from 2 images of Landsat 8, with spatial resolution of 30 m, the first one was taken on 4 /07/2013, the other one was taken on 13/02/2014. The model which allows to estimate the LAI using NDVI was found by using 27 samples, and this model was tested by using 15 samples.

The results showed that the (LAI) value of the *P. brutia* samples ranged between (0.11 - 0.55) in the summer and between (0.21- 0.47) in the winter, the NDVI value of the *P. brutia* samples ranged between (0.04 - 0.29) in the summer and between (0.15 - 0.28) in the winter. The results also confirmed the presence of a linear relationship between the indices (LAI) and (NDVI). In the study area, the (R^2) value reached 0.88, the model bias error ($\theta\%$) was about (0.993%). The relative standard deviation of the average error Model ($S_e\%$) and the accuracy Model ($m\%$) were about (0.51%) and (0.003%) respectively; that expresses a good accuracy of the obtained model, which in turn allows to realize a model permitting the estimation of the leaf area index of *P. brutia* stands at the Syria scale.

Keywords: Leaf Area Index, NDVI, *Pinus brutia*, Satellite images.

المقدمة

تُعد مساحة الكتلة الورقية من أهم العوامل التي تؤثر في العديد من وظائف النبات الفيزيولوجية والبيئية، مثل عملية التركيب الضوئي والنمو والإنتاجية وديناميكية الغطاء النباتي... إلخ (Persson, 2014)، كما أن تقدير مساحة الكتلة الورقية يُعد مهماً في دراسات وتطبيقات الإدارة الحراجية، ولاسيما أن الغطاء الورقي يترجم إلى حد كبير الظروف المناخية والبيئية السائدة في الموقع (Arias وزملاؤه، 2007).

إن استخدام مؤشر المسطح الورقي Leaf Area Index (LAI) يُعد من أسهل الطرائق المستخدمة في تقدير مساحة الكتلة الورقية، والذي يُعرف بأنه مساحة الكتلة الورقية في وحدة المساحة الأرضية (Ross, 1981).

أكد Moskal و Zheng (2009) الأهمية الكبيرة لمؤشر المسطح الورقي (LAI) في فهم بعض الظواهر البيئية والفيزيولوجية، ما يبرر ضرورة التقدير الدقيق له. تختلف قيم مؤشر المسطح الورقي وفقاً للنوع والعمر والفصل وشروط الموقع وأعمال الإدارة المتبعة في الموقع (Jonckheere وزملاؤه، 2003)، فعلى سبيل المثال تتراوح قيم LAI بين 0.40 في حالة نوع *Quercus petraea* (Le Dantec وزملاؤه، 2000)، و 14 في حالة نوع *Pseudo-tsuga menziesii* (Turner وزملاؤه، 2000).

يقدّر مؤشر المسطح الورقي (LAI) وفق طريقتين، طريقة مباشرة تتمثل بقياس مساحة الورقة بشكل مباشر، وطريقة غير مباشرة تتمثل بتقدير مساحة الورقة باستخدام مؤشرات سهلة القياس، مثل قطر الأشجار أو ارتفاعها... إلخ (Kussner و Mosandl، 2000).

يُعد تقدير مؤشر المسطح الورقي في بعض الحالات أمراً صعباً كما في حالة الأوراق الإبرية للمخروطيات، أو الأوراق المجعدة والمفوفة عند عريضات الأوراق، كما أن هذا التقدير يكون في غاية الصعوبة تبعاً للمستويين المكاني والزمني، لذلك اقترح العديد من الباحثين اللجوء إلى تقانة الاستشعار عن بعد التي تعد من أهم التقانات الحديثة التي يمكن الاستفادة منها في مواجهة تلك الصعوبات (Murphy، 2009)، إذ تقدم مجموعة من المعطيات والمنهجيات التي تمكن من قياس مؤشر المسطح الورقي.

يسمح الاستشعار عن بعد بتقدير غير مباشر لمؤشر المسطح الورقي على مستويات مكانية مختلفة انطلاقاً من مستوى المجموعة الحراجية وصولاً إلى المستوى العالمي (Bréda، 1999)، إذ أن الانعكاس الطيفي الناتج عن الطبقة السائدة في الغطاء الحراجي يُستفاد منه في تطوير مجموعة من المؤشرات النباتية (Guérif وزملاؤه، 1997)، وأهم هذه المؤشرات: مؤشر الاختلاف النباتي المعدل (Normalized Difference Vegetation (NDVI) Index، والمؤشر النباتي المحسن (Enhanced Vegetation Index (EVI)).

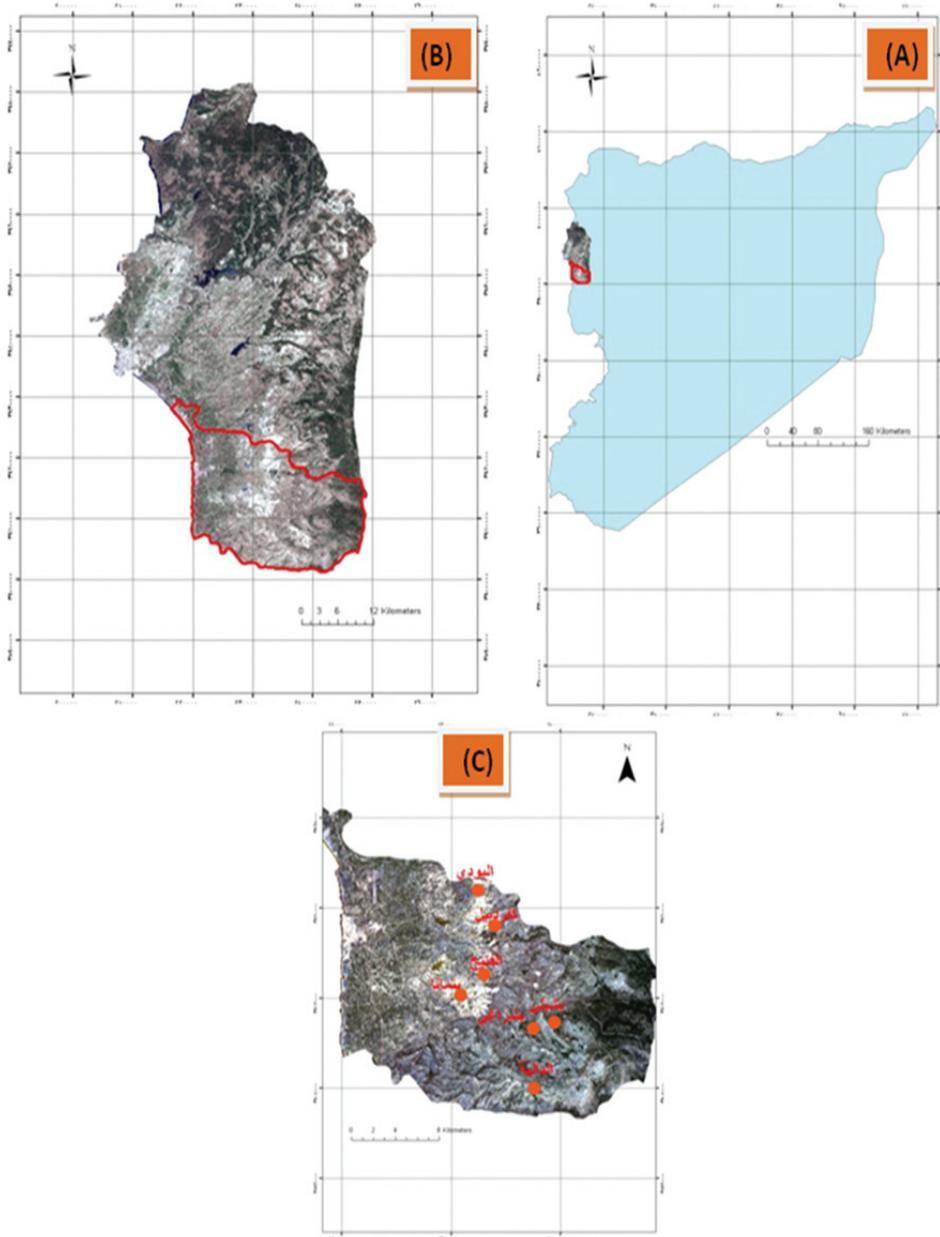
تُعد المؤشرات النباتية المحسوبة اعتباراً من الصور الفضائية مهمة جداً في تقدير مؤشر المسطح الورقي (LAI)، إذ تم الحصول على علاقة ارتباط قوية بين مؤشر المسطح الورقي ومؤشر ال NDVI المحسوبين للغابات متساقطة الأوراق جنوبي السودان (Persson، 2014). كما تم اللجوء أيضاً إلى مؤشر الاختلاف النباتي المعدل (NDVI) بهدف الحصول على موديل رياضي يربط بينه وبين مؤشر المسطح الورقي (LAI) بالاعتماد على قياسات حقلية لمؤشر ال LAI. وذلك لغابات الخيزران (*Bambusa vulgaris*) المنتشرة في البرازيل (Mannschatz وزملاؤه، 2014).

إن صعوبة استخدام الطريقة التقليدية في حساب مؤشر المسطح الورقي لدى الصنوبر البروتي *Pinus brutia* Ten. الذي يُعد من أهم الأنواع الحراجية المنتشرة في الساحل السوري، يبرز ضرورة الاستفادة من المنهجيات التي تقدمها تقانة الاستشعار عن بعد في تقدير هذا المؤشر. إذ هدفت هذه الدراسة إلى وضع موديل رياضي يسمح بتقدير مؤشر المسطح الورقي (LAI) للصنوبر البروتي في مواقع التشجير الاصطناعي في منطقة جيلة، التابعة لمحافظة اللاذقية (سورية)، باستخدام مؤشر الاختلاف النباتي المعدل (NDVI) المحسوب اعتباراً من الصور الفضائية.

مواد البحث وطرائقه

منطقة الدراسة:

تشمل منطقة الدراسة معظم مواقع التشجير الاصطناعي للسنوبر البروتي في منطقة جيلة التابعة لمحافظة اللاذقية. يوضح الشكل 1 موقع منطقة الدراسة بالنسبة لسورية ولحافظه اللاذقية، وكذلك التوزع المكاني للمواقع المدروسة ضمن منطقة جيلة وهي البودي، كزدييل، بتماننا، الدالية، الفتيح، بشيلي وبشراغي.



الشكل 1. خارطة موقع منطقة الدراسة بالنسبة لسورية (A) وبالنسبة لمحافظة اللاذقية (B)، والمواقع المدروسة ضمن منطقة جيلة (C).

تتوزع هذه المواقع على ارتفاعات تتراوح بين 190 و 1200 م، ضمن الطوابق البيومناخية شبه الرطبة والرطبة، وضمن الطوابق النباتية المتوسطة الحرارية والعلوية والجبلية، وتتراوح مساحة هذه المواقع بين 10 هكتارات كما في الفتيح و 130 هكتاراً كما في بشيلي (الجدول 1).

الجدول 1. خصائص مواقع التحريج الاصطناعي للسنوبر البروتي المشمولة في الدراسة.

موقع التحريج	الارتفاع عن سطح البحر (م)	سنة التشجير	مساحة الموقع (هكتار)	الطابق البيومناخي	الطابق النباتي
بتماننا	190 - 250	1975 - 1987	50	شبه الرطب الحار	المتوسطي الحراري
الفتيح	200-250	1975 - 1980	10	شبه الرطب الحار	المتوسطي الحراري
كفردبيل	250 - 300	1975 - 1987	114	شبه الرطب الحار	المتوسطي الحراري
البودي	300-350	1975 - 1980	15	شبه الرطب الحار	المتوسطي الحراري
بشيلي	700 - 1000	1975 - 1980	130	الرطب البارد	المتوسطي العلوي
بشراغي	800 - 1000	1975 - 1980	85	الرطب البارد	المتوسطي العلوي
الدالية	1000 - 1200	1975 - 1980	20	الرطب جداً البارد جداً	المتوسطي الجبلي

المصدر: سجلات شعبة حراج جبلة (2012).

العمل الحقلية:

تم تنفيذ العمل الحقلية في 29 عينة حقلية مربعة الشكل أبعادها 50x50 م خلال فصل الصيف لعام 2013 (في أشهر أيار/مايو وحزيران/يونيو وتموز/يوليو)، إذ وُزعت العينات على كامل مواقع الدراسة بحيث غطت هذه العينات كل الاختلافات التي تمت ملاحظتها في مواقع الدراسة، من حيث كثافة وعمر الأشجار والانحدار والمعرض. أُعيد أخذ 13 عينة حقلية منها خلال فصل الشتاء لعام 2014 (في شهري كانون الأول/ديسمبر وكانون الثاني/يناير) موزعة على أربعة مواقع كما هو موضح في الجدول 2.

الجدول 2. توزع العينات في مواقع الدراسة خلال فصلي الصيف و الشتاء.

رقم الموقع	اسم الموقع	عدد عينات فصل الصيف	عدد عينات فصل الشتاء
1	بتماننا	5	5
2	الفتيح	1	1
3	كفردبيل	10	5
4	البودي	2	2
5	بشيلي	4	-
6	بشراغي	4	-
7	الدالية	3	-
المجموع		29	13

سُجلت في كل عينة الإحداثيات الجغرافية لمركز العينة باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي (GPS) Global Position System. تم مدّ شريطين أحدهما من الشمال إلى الجنوب بطول 50 م، والآخر من الشرق إلى الغرب مروراً بمركز العينة بطول 50 م، إذ التقطت صور فوتوغرافية للكثلة الورقية للأشجار كل 10 متر (الشكل 2). استُخدمت كاميرا من نوع Olympus، تبلغ أبعاد العدسة فيها (2816x2112) مم، وكانت شروط التصوير في جميع العينات واحدة، إذ تم تثبيت الكاميرا على ارتفاع 1 م عن الأرض باستخدام حامل ثلاثي الأبعاد، ووضعت الكاميرا باتجاه الشمال بالنسبة للمتقط الصورة، وأخذت الصور بزاوية للعدسة قدرها 180° (مستوى أفقي للكاميرا). كما تم أخذ الصور خلال ساعات النهار بين 11.30 و 20 في فصل الصيف و 8.30 و 14 في فصل الشتاء، وقد تم استبعاد الصور التي ظهر فيها تأثير أشعة الشمس بشكل واضح. تم الحصول على 12 صورة فوتوغرافية في كل عينة حقلية موزعة كما في الشكل 2، تضمنت تسمية الصور التي تم

الحصول عليها في العينات المعلومات التالية بالترتيب: اسم الموقع، رقم العينة، تاريخ أخذ الصورة (يوم/شهر/سنة)، ووقت أخذ الصورة، ورقم الصورة ضمن العينة، كما في المثال التالي (6-18-4-13-5-18-2-kafardabil).



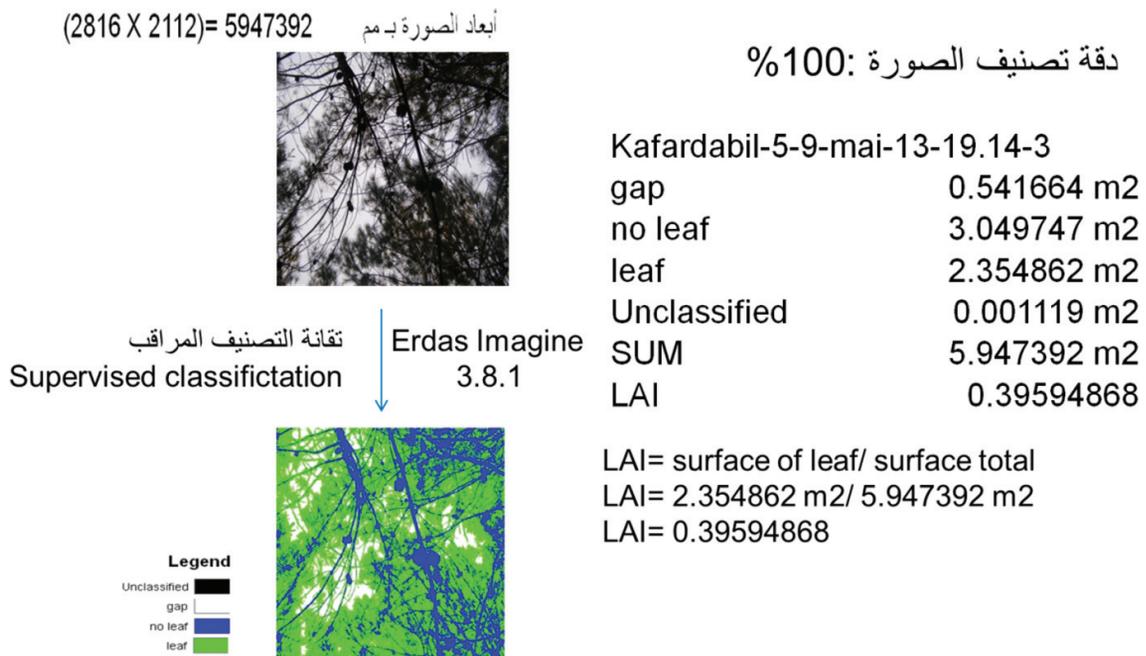
الشكل 2. طريقة التقاط الصور في العينات.

حساب مؤشر المسطح الورقي (LAI):

اعتمد Jonckheere وزملاؤه (2003) على الصور نصف الكروية (Hemispherical photographs) في حساب مؤشر المسطح الورقي (LAI)، واستخدم هؤلاء الباحثون برامج مخصصة لحساب مساحة البكسلات السوداء التي تمثل الأجزاء النباتية، ومساحة البكسلات البيضاء التي تمثل الفجوات (مناطق الإضاءة)، وحُسب مؤشر المسطح الورقي بنسب مساحة البكسلات السوداء الى مساحة الصورة. إن عدم توفر الكاميرات ذات العدسات نصف الكروية في سورية أدى إلى استخدام كاميرا ذات عدسات مسطحة من نوع Olympus، والحصول على صور فوتوغرافية، تم استخدامها في حساب مؤشر المسطح الورقي بالاعتماد على اختلاف الوصمة الطيفية لمختلف الظواهر الموجودة في الصورة الفوتوغرافية (الأوراق، الفجوات والأجزاء النباتية الأخرى) وذلك لأول مرة في هذا البحث. إن القياس الدقيق لمؤشر ال LAI يعتمد على التحديد الدقيق للمساحة التي تشغلها الأوراق ضمن مساحة معينة. في الواقع، إن الدقة العالية لتقانة التصنيف المراقب (Supervised Classification)، التي تطبق لمعالجة الصور بشكل عام في تحديد المساحات التي تشغلها ظاهرة ما (كالأوراق مثلاً) والتي يمكن الحصول عليها عند استخدام الوصمة الطيفية للأوراق، تضمن الحصول على مساحة دقيقة للمسطح الورقي في كل صورة. ما يميز هذه الطريقة الجديدة والمعتمدة في هذا البحث هو استبعاد الأجزاء النباتية غير الورقية من حساب مؤشر المسطح الورقي مقارنةً باستخدام الصور نصف

الكروية. إلا أنها لم تأخذ بعين الاعتبار تراكم الأوراق ضمن الحيز المكاني الذي تشغله، والتي لم تأخذ بعين الاعتبار أيضاً الصور نصف الكروية.

تم الحصول على 348 صورة فوتوغرافية خلال فصل الصيف و 156 صورة فوتوغرافية خلال فصل الشتاء، وقد تم الحصول على مساحة الكتلة الورقية في الصور باستخدام برنامج (Erdas Imagine 8.3.1)، إذ تم الاعتماد على الوصمة الطيفية في تصنيف كل صورة إلى 3 صفوف (أوراق، وفراغات، وأجزاء نباتية غير ورقية). أعد لكل صورة ملف طيفي يجمع العينات الطيفية للصفوف الثلاثة انطلاقاً من الصورة المراد تصنيفها، ثم طبقت تقانة التصنيف المراقب، استُخدمت دقة تصنيف كل صف من الصفوف السابقة لتصحيح نسبة الاختلاط بين الصفوف والحصول على العدد الفعلي للبيكسلات الممتلئة لكل صف، ومن ثم حساب عدد البيكسلات الفعلي لصف الأوراق الذي استُخدم لاحقاً في حساب المساحة الممتلئة للكتلة الورقية. أما حساب مؤشر المسطح الورقي فقد تم بتقسيم مساحة الكتلة الورقية على المساحة الكلية التي تمثلها الصورة وهي 5.947392 م²، و يوضح الشكل 3 طريقة حساب مؤشر LAI في العينات.



الشكل 3. طريقة حساب مؤشر المسطح الورقي اعتباراً من الصور الفوتوغرافية.

حساب مؤشر الاختلاف النباتي المعدل (NDVI):

يُعرف مؤشر ال NDVI بأنه فرق الانعكاس بين القنوات الحمراء وتحت الحمراء القريبة مقسوماً على حاصل جمع الانعكاس في القنوات نفسها، ويحسب وفق العلاقة (Sellers, 1989):

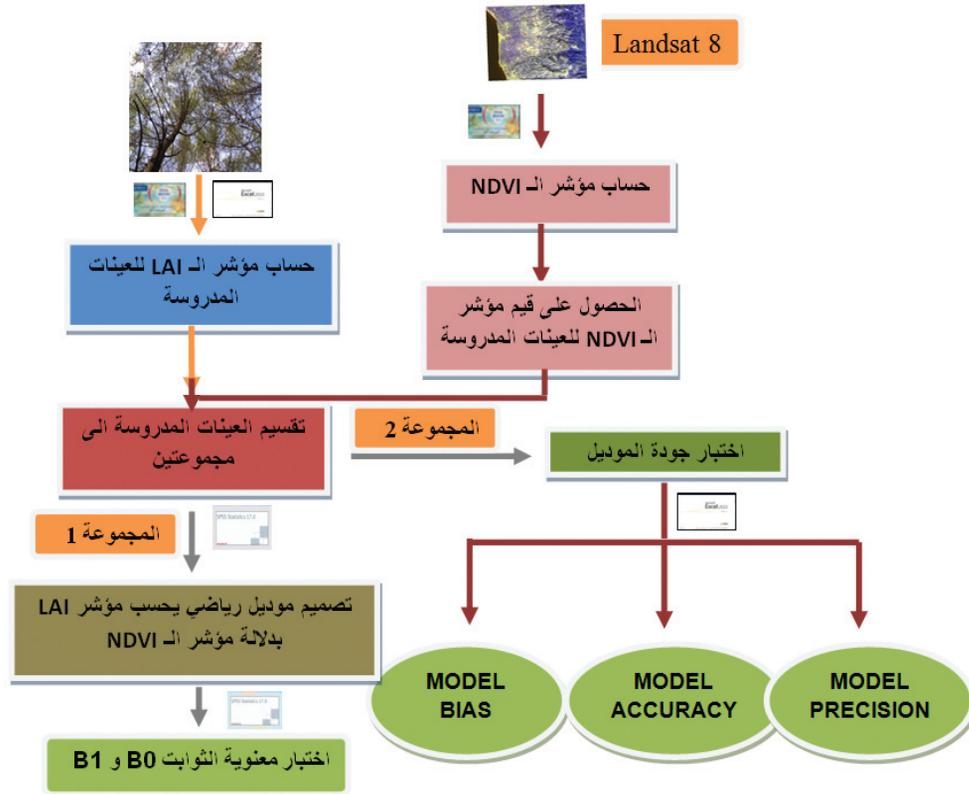
$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

حيث:

NIR يمثل الانعكاس في القناة تحت الحمراء القريبة، و R يمثل الانعكاس في القناة الحمراء.

تم حساب مؤشر الاختلاف النباتي المعدل (NDVI) لمجموعات الصنوبر البروتي في مواقع الدراسة اعتباراً من صورتين Landsat 8 باستخدام برنامج Erdas Imagine 8.3.1، الصورة الأولى مأخوذة في 2013/7/4 بدقة 30 م، والصورة الثانية مأخوذة بتاريخ 2014/2/13 بدقة 30 م أيضاً، تحتوي كلتا الصورتين على 11 قناة طيفية، إذ تمثل القنوات 4 و 5 القنوات الحمراء وتحت الحمراء القريبة على التوالي. تم إسقاط العينات الحقلية على خريطتي ال NDVI الناتجتين بهدف الحصول على قيم المؤشر الموافقة لعينات الدراسة، والتي تم حساب مؤشر المسطح الورقي لها خلال فصل الصيف للعام 2013. وفصل الشتاء للعام 2014.

تصميم الموديل الرياضي الذي يربط بين مؤشر المسطح الورقي (LAI)، ومؤشر الاختلاف النباتي المعدل (NDVI) واختبار كفاءته؛ يوضح الشكل 4 المراحل الأساسية لإنتاج الموديل الرياضي واختبار جودته، وقد تم تصميم الموديل باستخدام 27 عينة حقلية، 19 منها منفذة في فصل الصيف و 8 عينات في فصل الشتاء.



الشكل 4. مراحل إيجاد العلاقة الرياضية بين مؤشري LAI و NDVI

تم إيجاد الثوابت B0 و B1 واختبار معنويتها باستخدام برنامج SPSS، ثم تم إخضاع الموديل الناتج لاختبارات الجودة باستخدام 15 عينة حقلية 10 منها منفذة في فصل الصيف و 5 عينات في فصل الشتاء، وذلك باستخدام برنامج EXCEL، إذ تم اختبار جودة الموديل حسب Pretzsch (2009) كما يلي:

1 - المتوسط المطلق لخطأ الموديل (Model Bias):

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)$$

حيث تمثل \hat{y}_i القيمة المحسوبة لمؤشر المسطح الورقي في العينة باستخدام الموديل الناتج.
 y_i : القيمة الفعلية لمؤشر المسطح الورقي في العينة.
 n : عدد العينات المستخدمة في اختبار كفاءة الموديل.

2 - المتوسط النسبي لخطأ الموديل (Model Bias%):

$$\bar{e}\% = \frac{\bar{e} * 100}{\bar{y}}$$

حيث \bar{e} تمثل المتوسط المطلق لخطأ الموديل.
 \bar{y} المتوسط الحسابي للقيم الفعلية لمؤشر المسطح الورقي.

3 - الانحراف المعياري المطلق لمتوسط خطأ الموديل (Model Precision):

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n-1}}$$

حيث \bar{e} : المتوسط المطلق لخطأ الموديل.

e : خطأ الموديل في حساب مؤشر المسطح الورقي في العينة (i).
 n : عدد العينات المستخدمة في اختبار كفاءة الموديل.

4 - الانحراف المعياري النسبي لمتوسط خطأ الموديل (Model Precision%):

$$S_e = \frac{S_e * 100}{\bar{y}}$$

حيث S_e : الانحراف المعياري المطلق لمتوسط خطأ الموديل.
 \bar{y} : المتوسط الحسابي للقيم الفعلية لمؤشر المسطح الورقي.

5 - دقة الموديل (Model Accuracy):

$$m_x = \sqrt{S_e + \bar{e}^2}$$

حيث S_e : الانحراف المعياري المطلق لمتوسط خطأ الموديل.
 \bar{e} : المتوسط المطلق لخطأ الموديل.

6- النسبة المئوية لدقة الموديل (Model Accuracy%):

$$m_x \% = \frac{m * 100}{\bar{y}}$$

حيث m_x : دقة الموديل.

\bar{y} : المتوسط الحسابي للقيم الفعلية لمؤشر المسطح الورقي.
كما تم حساب معامل التحديد R^2 للموديل باستخدام العلاقة التالية:

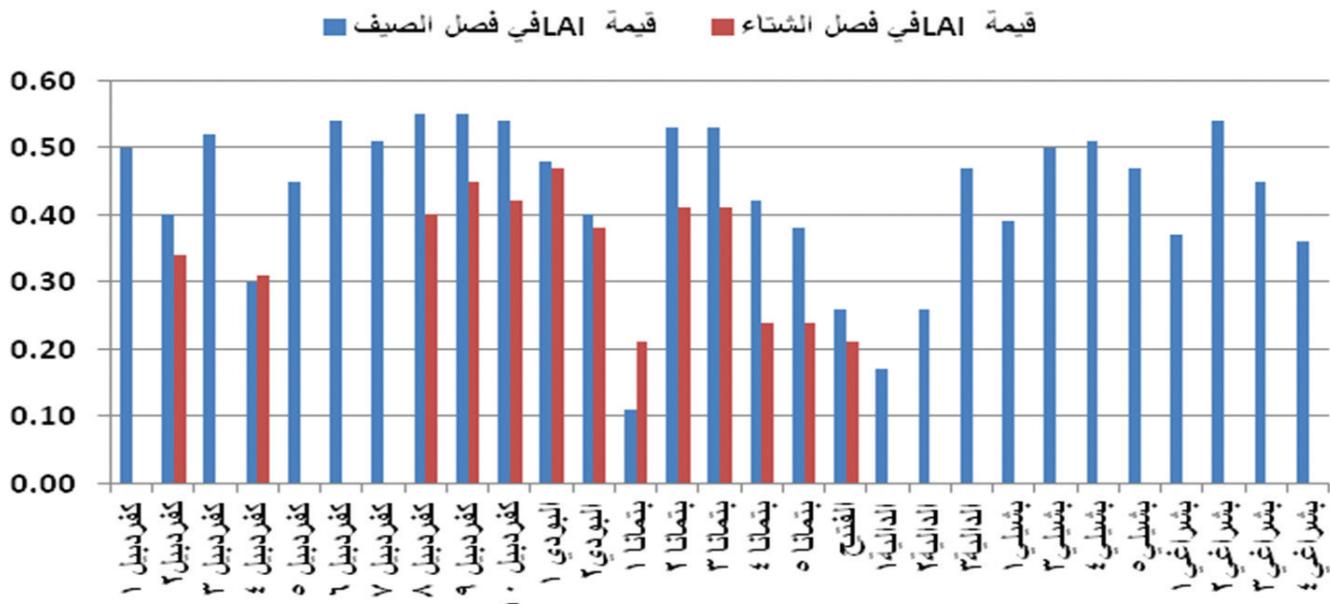
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}$$

النتائج والمناقشة

1 - حساب مؤشر المسطح الورقي (LAI) للعينات المدروسة:

يوضح الشكل 5 أن قيمة مؤشر المسطح الورقي (LAI) لعينات الصنوبر البروتي المدروسة تراوحت بين 0.11 و 0.55 في فصل الصيف، وبين 0.21 و 0.47 في فصل الشتاء، إذ تقع القيم التي تم الحصول عليها لمؤشر الـ LAI ضمن المجال الذي أشارت إليه الدراسات العالمية بالنسبة للمخروطيات، إذ أشار Breurer وزملاؤه (2003) إلى أن قيمة مؤشر المسطح الورقي (LAI) المحسوب للغابات المخروطية تتراوح عادة بين 0.2 و 0.9، وفي دراسة أخرى قام بها Lopes وزملاؤه (2014) وجدوا أن قيمة LAI المحسوبة للصنوبر البحري (*Pinus pinaster*) تراوحت بين 0.34 و 0.64. وتعد القيم التي تم الحصول عليها منخفضة مقارنة بـ القيم التي يمكن الحصول عليها في حالة عريضة الأوراق، وهذا يعود لطبيعة أوراق المخروطيات الإبرية. كما يلاحظ أن قيمة مؤشر الـ LAI في فصل الشتاء كانت أدنى من قيمته في فصل الصيف في 84.6% من العينات، وهذا يعود لتساقط الأوراق الإبرية القديمة شتاءً كاستجابة فيزيولوجية لنقص ساعات التعرض للضوء، وبسبب البرد الشديد، وهذا ما يؤكد Cristiano وزملاؤه (2014) عندما وجدوا انخفاضاً في قيم LAI في الفصل البارد عند النوع *Pinus tedeia*. بلغ متوسط قيم الـ LAI لمجموعات الصنوبر البروتي المدروسة في الصيف نحو 0.43، في حين انخفض في الشتاء إلى 0.35، أي أنه انخفض

بنسبة 19%. وهذا يقترب من نتائج دراسة Manninen وزملائه (2010) الذين وجدوا أن قيمة متوسط LAI للمخروطيات تبلغ 0.28 في الصيف و 0.16 في الشتاء.



الشكل 5 . قيم مؤشر المسطح الورقي (LAI) في فصلي الصيف والشتاء.

2- حساب مؤشر الـ NDVI للعينات المدروسة:

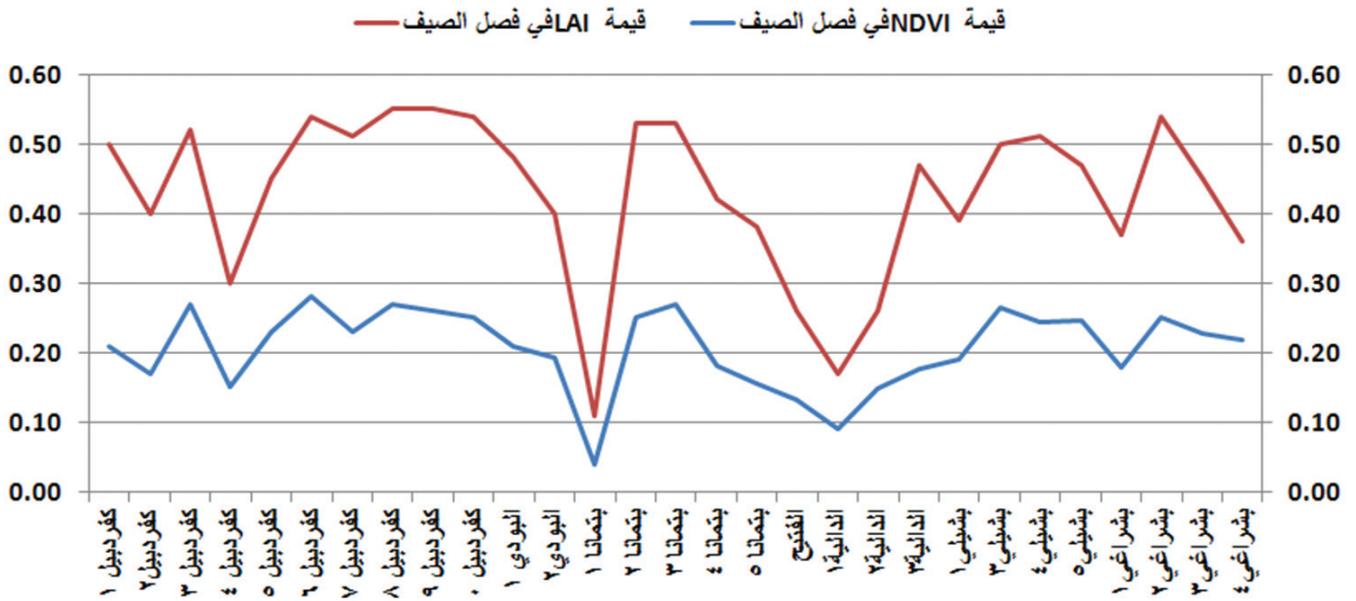
تراوحت قيمة مؤشر الاختلاف النباتي المعدل الـ NDVI لمجموعات الصنوبر البروتي في هذه الدراسة بين 0.04 و 0.29 صيفاً وبين 0.15 و 0.28 شتاءً (الجدول 3 والشكلان 6 و 7).

بلغت القيمة المتوسطة لـ NDVI المحسوب لـ 30 عينة مأخوذة صيفاً 0.21 ولـ 13 عينة مأخوذة شتاءً 0.22، في حين بلغت القيمة المتوسطة لمؤشر الـ NDVI صيفاً لعينات الشتاء نفسها 0.21. وجد Cristiano وزملاؤه (2014) أن قيمة مؤشر الـ NDVI لمجموعات صنوبر *Pinus tedeia* تراوحت بين 0.3 و 0.9، ولاحظوا أن قيمة مؤشر الـ NDVI المحسوب للغابات الصنوبرية حافظت على قيمة ثابتة على مدار العام وكانت بحدود 0.65، أما Castillo وزملاؤه (2014) فقد لاحظوا أن قيم المتوسط السنوي لـ NDVI للصنوبر الحلبي *Pinus halepensis* تفاوتت بشكل ملحوظ (0.082 ± 0.34)، ويلاحظ اقتراب قيم الـ NDVI للصنوبر البروتي في هذه الدراسة مع قيمته للصنوبر الحلبي، إلا أن القيم التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة تعد منخفضة مقارنة بالدراسات العالمية المذكورة أعلاه، ويعود هذا الانخفاض إلى انخفاض الكثافة والعمر في المواقع المدروسة.

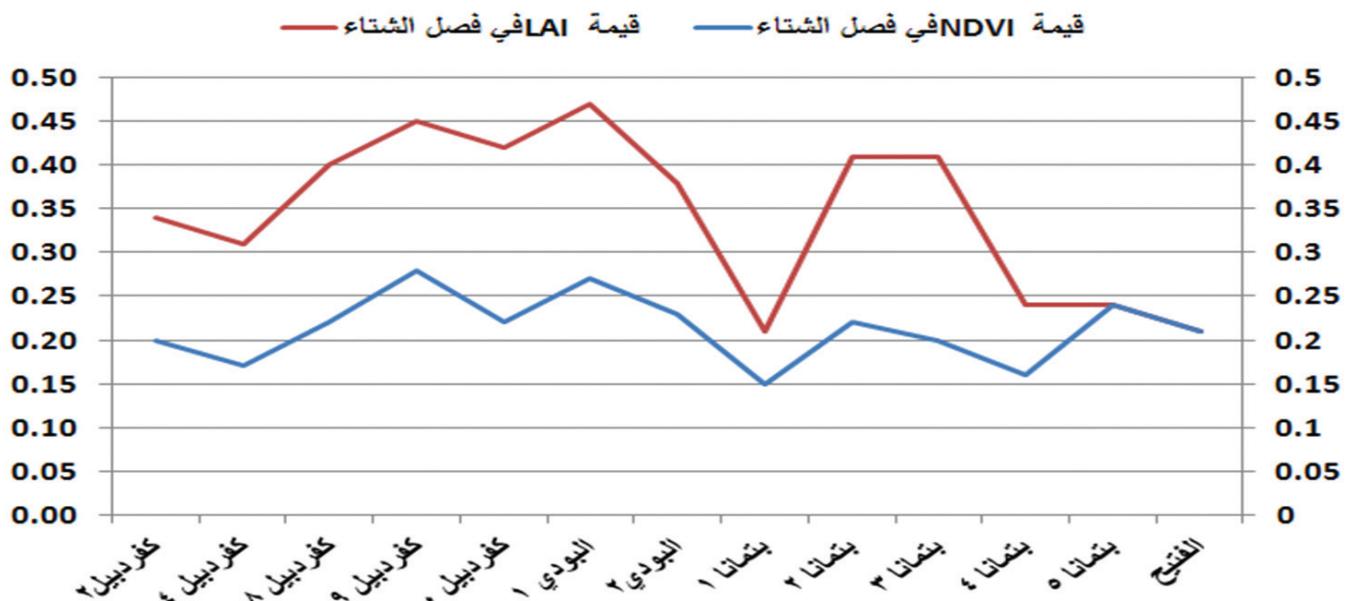
في الواقع يفترض أن تكون قيمة الـ NDVI شتاءً أقل مما هي عليه صيفاً، وذلك لانخفاض الكتلة الورقية شتاءً، إلا أنه في هذه الدراسة يلاحظ ارتفاع طفيف في قيمة الـ NDVI المحسوب شتاءً عما هو عليه صيفاً على الرغم من انخفاض LAI شتاءً عن قيمته خلال الصيف، وهذا يعود إلى أن جميع عينات الشتاء تقع ضمن الطابق النباتي المتوسطي الحراري، وبالتالي خضعت مجموعات الصنوبر للدفع المبكر الذي ساعد على ظهور نموات جديدة في شهر شباط/فبراير (فترة النقاط الصورة الفضائية المستخدمة في الدراسة)، ما أدى إلى ارتفاع قيمة الـ NDVI شتاءً من جهة، ومن جهة أخرى تخضع مجموعات الصنوبر البروتي في شهر يوليو للإجهاد المائي، مما تسبب في انخفاض قيم الـ NDVI المحسوبة صيفاً مقارنة بالشتاء. بلغت قيمة الـ NDVI في فصل الصيف أعلى ما يمكن في موقع كفر دبيل في العينة 6 (0.29)، في حين سُجلت أدنى قيمة في موقع بتمانا في العينة 1 (0.04)، أما في فصل الشتاء فقد بلغت قيمة الـ NDVI أدنى قيمة في موقع بتمانا في العينة 1 أيضاً (0.15)، في حين سُجلت أعلى قيمة لـ NDVI في موقع كفر دبيل في العينة 9 (0.28). يعود ذلك بشكل أساس إلى كون المجموعات الحرجية في موقع كفر دبيل مغلقة وذات تغطية نباتية مرتفعة، أما في بتمانا فهي مجموعات مفتوحة ذات تغطية نباتية منخفضة، إذ كانت التربة المكشوفة في المجموعات المفتوحة تعكس الأشعة في مجال القناة الحمراء أكثر من تحت الحمراء القريبة، وهذا أدى إلى انخفاض قيمة الـ NDVI في هذه المجموعات المفتوحة. يوضح الجدول 3 توافق انخفاض وارتفاع المؤشرين المدروسين في فصلي الدراسة، كما يلاحظ من الشكلين 6 و 7 وجود توافق كبير في سلوك مؤشر المسطح الورقي (LAI) ومؤشر الـ NDVI صيفاً وشتاءً، مما يعني وجود علاقة ارتباط قوية بين المؤشرين، وهذا يتوافق مع الدراسة التي قام بها Serrano وزملاؤه (2010) الذين وجدوا علاقة ارتباط قوية بين LAI و NDVI عند *Pinus halepensis* المنتشر في الغابات المتوسطة الخاضعة للمناخ الجاف.

الجدول 3. القيم الدنيا والعليا لمؤشري LAI و NDVI خلال فصلي الصيف والشتاء.

الفصل	القيمة	LAI	NDVI
الصيف	الحد الأدنى	0.11	0.04
	الحد الأعلى	0.55	0.29
الشتاء	الحد الأدنى	0.22	0.15
	الحد الأعلى	0.47	0.28



الشكل 6. قيم NDVI و LAI في فصل الصيف.



الشكل 7. قيم NDVI و LAI في فصل الشتاء.

3- إنتاج الموديل الرياضي الذي يربط بين LAI و NDVI :

تم إيجاد الموديل الرياضي باستخدام 19 عينةً حقليةً من فصل الصيف و 8 عينات حقلية من فصل الشتاء باستعمال الانحدار الخطي البسيط لتقدير ثوابت المعادلة الخطية باستخدام برنامج SPSS، إذ كانت العلاقة بين LAI و NDVI علاقة خطية، وقد بلغ معامل التحديد ($R^2 = 0.88$) (الجدول 4)، وأن قيمة ثوابت المعادلة (B_1 و B_0) هي على التوالي -0.007 و 2.012، وكان اختبار معنوية الثوابت (B_1 و B_0) عند مستوى المعنوية 0.05 غير معنوي لـ B_0 ، وذا معنوية عالية لـ B_1 (الجدول 4).

الجدول 4. معامل التحديد، واختبار معنوية الثوابت B_1 و B_0 والموديل عند مستوى المعنوية 0.05.

Model	R ²	Std. Error of the Estimate	B0	Sig	B1	Sig
LAI = 2.012NDVI - 0.007	0.88	.044609	-.007	.829	2.012	.000

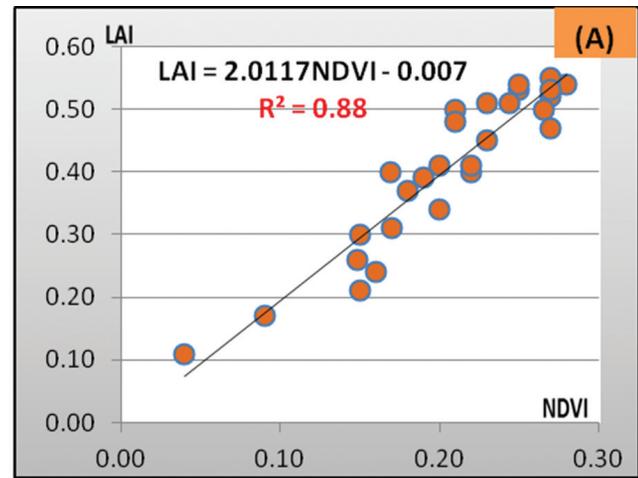
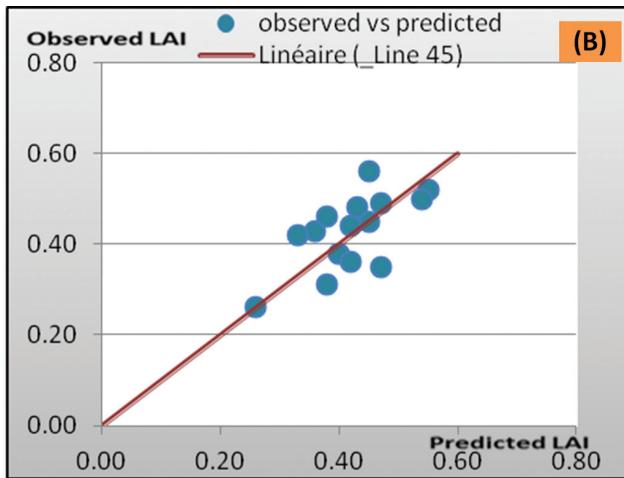
بالتالي فإن الموديل الذي يربط بين LAI و NDVI يأخذ الشكل التالي:

$$LAI = 2.012NDVI - 0.007$$

يوضح الشكل 8A التوزيع المتجانس للنقاط التي تمثل مؤشر المسطح الورقي في المواقع المدروسة حول الموديل الذي تم الحصول عليه، كما يُلاحظ غياب أي حالات شاذة يمكن أن تؤثر في دقة الموديل الناتج. يشير معامل التحديد ($R^2 = 0.88$) إلى وجود علاقة قوية بين مؤشر المسطح الورقي ومؤشر الـ NDVI، إذ أن الموديل يفسر 88% من التباين الموجود في القيم الحقيقية للعينات المدروسة. كما تشير قيمة المتوسط النسبي لخطأ الموديل (\bar{e} %) والتي كانت بحدود 0.001% (الجدول 5) إلى أن الموديل ينحرف عن الحقيقة بمقدار 0.993% فقط، وهذا يعني أن قيمة المتوسط النسبي لخطأ الموديل منخفضة جداً. كما بلغ الانحراف المعياري النسبي لمتوسط خطأ الموديل 0.51%، أي أن تشتت خطأ الموديل لا يتجاوز الـ 0.6%، أما دقة الموديل فقد بلغت 0.003%، ما يعني أن 95% من القيم المقدرة لا تنحرف أكثر من 0.003% عن القيم الحقيقية. ويُلاحظ إذاً أن قيم المتوسط النسبي لخطأ الموديل، والانحراف المعياري النسبي لخطأ الموديل، ودقة الموديل تشير إلى كفاءة ممتازة للموديل الناتج حسب Pretzsch (2009).

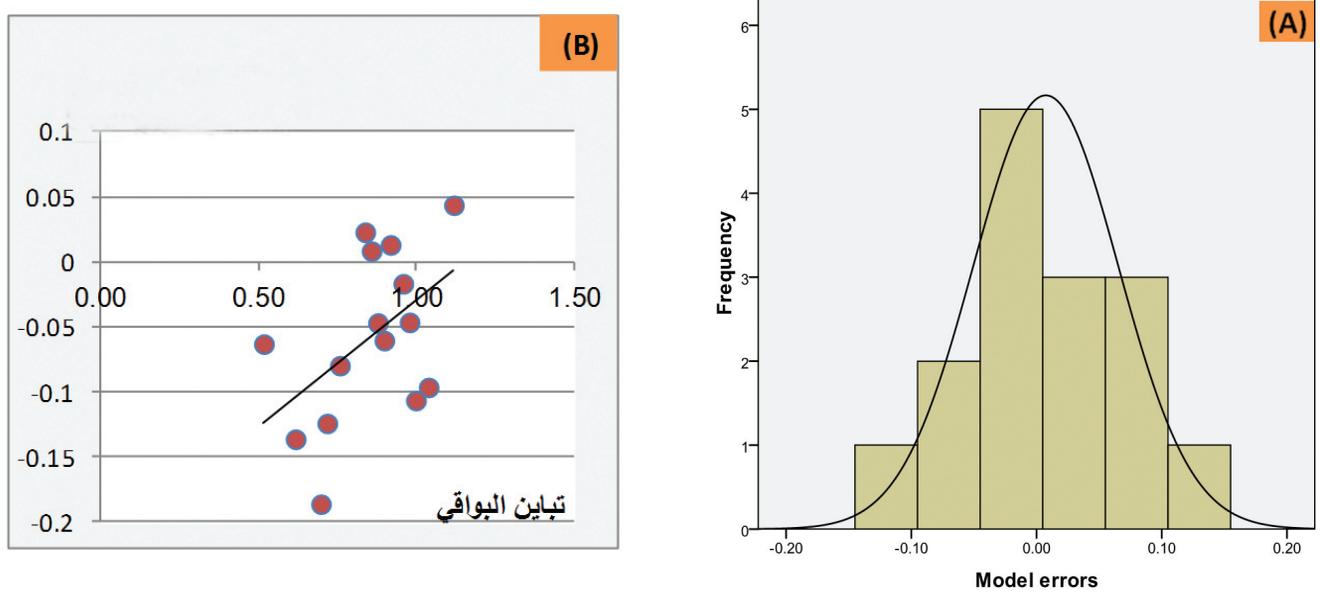
الجدول 5. الخطأ في قيمة مؤشر المسطح الورقي المحسوبة باستخدام الموديل.

Model	R ²	BIAS		Model Precision		Model Accuracy	
		%	m ²	%	m ²	%	m ²
LAI = 2.012NDVI - 0.007	0.88	0.993	0.004	0.51	0.002	0.003	0.000



الشكل 8. (A) العلاقة بين مؤشر الـ NDVI ومؤشر المسطح الورقي LAI، (B) العلاقة بين مؤشر المسطح الورقي المحسوب حقلية والمحسوب عن طريق الموديل.

كما يوضح الشكل 8B التوزيع المتجانس للعينات التي تم فيها تقدير مؤشر المسطح الورقي باستخدام مؤشر الـ NDVI وفق الموديل الناتج وذلك حول خط الـ 45، حيث يُلاحظ أن القيم المقدرة قريبة جداً من القيم الحقيقية. يلاحظ من الشكل (9A) أن توزيع أخطاء الموديل الذي تم الحصول عليه قريب جداً من التوزيع الطبيعي، وعند حساب انحراف البواقي عن متوسطها لوحظ أنها لم تكن واحدة مقابل القيم المتوقعة لمؤشر المسطح الورقي (المحسوبة باستخدام الموديل الناتج)، إذ تراوحت بين -0.18 و 0.04 (الشكل 9B).

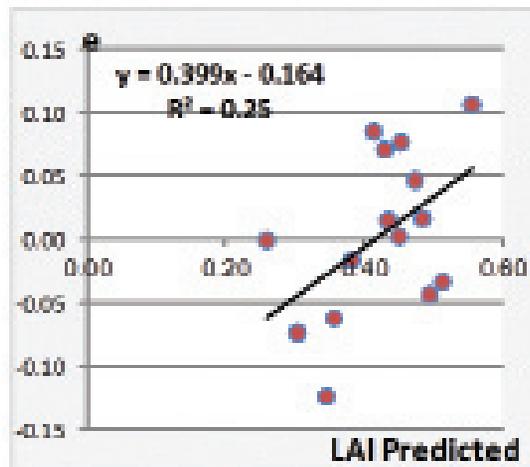


الشكل 9. (A) التوزيع الطبيعي لأخطاء الموديل، (B) انحراف البواقي عن متوسطها.

يلاحظ من الشكل 10 أن العلاقة بين قيم مؤشر المسطح الورقي المحسوبة باستخدام الموديل الناتج والأخطاء الناتجة عن استخدام الموديل كانت خطية إلى حد ما ولكنها ضعيفة، فبلغ معامل التحديد (R^2) 0.25 (الجدول 6)، وكانت قيمة ثوابت المعادلة (B_0 و B_1) -0.164 و 0.399 على التوالي، وكان اختبار معنوية الثوابت (B_0 و B_1) عند مستوى المعنوية 0.05 غير معنوي للثابتين B_0 و B_1 الجدول 6.

الجدول 6. معامل التحديد واختبار معنوية الثوابت B_0 و B_1 عند مستوى المعنوية 0.05.

Model	R^2	Std. Error of the Estimate	B_0	Sig	B_1	Sig
$Y = 0.399 X - 0.164$	0.25	.059	-0.164	.071	0.399	.057



الشكل 10. العلاقة بين قيم مؤشر المسطح الورقي المحسوبة باستخدام الموديل الناتج والأخطاء الناتجة عن استخدام الموديل.

الاستنتاجات والمقترحات

أفضت الدراسة إلى تحديد قيمة مؤشر المسطح الورقي (LAI) لمجموعات الصنوبر البروتي في مواقع الدراسة حقلياً في فصلي الصيف والشتاء، إذ أكد البحث انخفاض متوسط قيمة المؤشر شتاءً مقارنةً بقيمته صيفاً بمعدل 19%، كما تم التوصل من خلال الدراسة إلى تحديد مؤشر الاختلاف النباتي المعدل (NDVI) لمجموعات الصنوبر المدروسة في فصلي الصيف والشتاء عن طريق الصور الفضائية. أكدت الدراسة أيضاً وجود علاقة خطية تسمح بتقدير مؤشر المسطح الورقي لمجموعات الصنوبر البروتي في منطقة جيلة بدلالة مؤشر الاختلاف النباتي المعدل الذي تم حسابه بالاعتماد على الصور الفضائية. وتشير قيم جميع الاختبارات إلى دقة ممتازة للموديل الناتج في منطقة الدراسة، مما قد يسمح لاحقاً بالوصول إلى موديل يسمح بتقدير مؤشر المسطح الورقي للصنوبر البروتي في مختلف أنحاء سورية. يُنصح بمقارنة قيم LAI المقاسة حقلياً وفق المنهجية الجديدة المتبعة في هذا البحث بالطرائق التقليدية الأخرى كتلك التي تعتمد مثلاً على شدة الإضاءة. كما ينصح أيضاً بإجراء تحديثات مستمرة للموديل الناتج تأخذ بعين الاعتبار القيم السنوية للمؤشرين المدروسين، وتشمل أيضاً قيم هذين المؤشرين في فصلي الربيع والخريف، كما يُقترح اختبار الموديل الناتج على المجموعات الطبيعية من الصنوبر البروتي، ودراسة تأثير تغيرات العناصر المناخية في هذا الموديل، كما يُقترح أيضاً السعي للحصول على موديل ملائم في المناطق المجاورة لمنطقة الدراسة للوصول إلى موديل رياضي يسمح بتقدير مؤشر المسطح الورقي للصنوبر البروتي على مستوى سورية.

المراجع

- سجلات شعبة حراج جيلة. 2012. سورية.

- Arias, D., J. Calvo-Alvarado, and A. Dohrenbusch. 2007. Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 247: 185-193.
- Bréda, N. 1999. L'indice foliaire des couverts : mesure, variabilité et rôle fonctionnel. *Revue Forestière Française*, 2:135-150.
- Breurer, L., K. Eckhardt, and H.G.Frede. 2003. Plant parameter values for models in temperate climates. *Ecol Model* 169:237-293.
- Castillo, J., J. Voltas, and J.P. Ferrio. 2014. Carbon isotope discrimination, radial growth, and NDVI share spatiotemporal responses to precipitation in Aleppo pine. *Springer*, 2014.
- Cristiano, P.M., N. Madanes, P.I. Campanello, D. Francescantonio, S.A. Rodríguez, Y.J. Zhang, L.O. Carrasco, and G. Goldstein. 2014. High NDVI and Potential Canopy Photosynthesis of South American Subtropical Forests despite Seasonal Changes in Leaf Area Index and Air Temperature. *Forests* 5: 287-308.
- Guérif, M., J.P. Lagouarde, and H. Nicolas. 1997. Variables de fonctionnement des couverts végétaux issues des données de télédétection dans les domaines optiques et infrarouge thermique. In : Actes de l'école- Chercheurs, INRA en Bioclimatologie, Le Croisic, 25-29 mars 1996. Tome 2 : du couvert végétal à la région. Département de bioclimatologie INRA Ed., 1997 : 81-108.
- Jonckheere, I., S. Fleck, K. Nackrester, B. Muys, and P. Coppin. 2003. Methods for Leaf Area Index Determination. Part I : Theories, Techniques and Instruments. Leuven University, Belgium, 42p.
- Kussner, R and R. Mosandl. 2000. Comparison of direct and indirect estimation of leaf area index in mature Norway spruce stands of eastern Germany. *Canadian journal of forest research* 30(3):440-447.
- Le Dantec, V., E. Dufrene, and B. Saugier. 2000. Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands. *Forest Ecology and Management*, vol. 134 (1-3): 71-81.
- Lopes, D., L. Nunes, N. Walford, J. Aranha, C. Jr Sette, and H. Viana. 2014. A simplified methodology for the correction of Leaf Area Index (LAI) measurements obtained by ceotometer with reference to Pinus Portuguese forests, 7 : 186-192.
- Manninen, T., L. Korhonen, P. Voipio, P. Lahtinen, P. Stenberg. 2010. Airborne estimation of Boreal Forest LAI in winter

- condiuous: comparison with summer and winter ground truth. University of EASTERN FINLAND.
- Mannschatz, T., B. Pflug, E. Borg, K.H. Feger and P. Dietrich. 2014. Uncertainties of LAI estimation from satellite imaging due to atmospheric correction. *Remote Sensing of Environment*, 153: 24-39.
 - Murphy, G. 2009. New Sensor Technologies for Forest Data Collection. IUFRO Division 4.01 Conference – Mount Gambier, South Australia: 1-30.
 - Persson, S. 2014. Estimating leaf area index from satellite data in deciduous forests of southern Sweden. Department of Physical Geography and Ecosystems Science Lund University: 1-30.
 - Pretzsch, H. 2009. Forest dynamics, growth and yield from measurement to model. 12 :508-512.
 - Ross, J. 1981. The radiation regime and architecture of plant stands. Kluwer academic publishers, 357p.
 - Sellers, P.J. 1989. Vegetation - canopy spectral reflectance and biophysical processes. In *Theory and Applications of optical Remote Sensing*: 279-335.
 - Serrano, S.M.V., T. Lasanta, and C. Gracia. 2010. Aridification determines changes in forest growth in *Pinus halepensis* forests under semiarid Mediterranean climate conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 614- 628.
 - Turner, D.P., S.A. Acker, J.E. Means, and S.L. Garman. 2000. Assessing alternative allometric algorithms for estimating leaf area of Douglas-fir trees and stands. *Forest Ecology and Management*, 126 : 61-76.
 - Zheng, G, and M. Moskal. 2009. Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. *Sensor*, 9: 2719-2745.

N° Ref: 577