مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

معايرة بعض الموديلات الرياضية لتقدير ارتفاع أشجار الصنوبر البروتي *Pinus brutia* Ten. في موقع تحريج كفردبيل- جبلة

د.زهير شاطر [1]
د.وائل علي [2]
د.ابراهيم نيصافي [3]
لانا صالح [4]

(تاريخ الإيداع 29 / 8 / 2016. قبل للنشر في 29 / 11 / 2016)

□ ملخّص □

هدفت هذه الدراسة إلى تقدير ارتفاع أشجار الصنوبر البروتي *P.brutia* في موقع تحريج كفردبيل في ريف جبلة انطلاقاً من أقطارها وذلك عبر معايرة ثمانية موديلات رياضية عالمية (Michailoff, Prodan, Petterson, Parabel, Korsun, Logarithmic, Freese, Chapman-Richards).

تم في العام 2015 تحديد 15 عينة حراجية موزعة على كامل الموقع بحيث تغطي التباين في الارتفاع عن سطح البحر، المعرض، الانحدار، الكثافة. ثم تم قياس قطر 330 شجرة على ارتفاع الصدر (dbh)، قيس ارتفاع 165 منها. استُخدامت 116 شجرة من بين الأشجار الـ 165 المُقاسة (70% منها) لمعايرة ثوابت الموديلات، في حين استُخدمت بقية الأشجار 49 شجرة (30%) لإجراء عدد من الاختبارات الإحصائية لجودة تلك الموديلات.

بينت النتائج أن أعلى قيمة لمعامل التحديد Coefficient of Determination (R^2= 0.53) وأدنى قيمة للنسبة المئوية لدقة الموديل (m_x %) (17.665%) كانت في الموديل Parabel وذلك يعني أنه الموديل الأفضل لحساب الارتفاع باستخدام القطر على ارتفاع الصدر نظراً لتفوقه في معظم اختبارات الجودة. يمكن لهذا الموديل أن يوفر الكثير من الجهد والوقت على الحراجيين عند وضع خطط التنظيم والإدارة للموقع المدروس.

الكلمات المفتاحية : صنوبر بروتي، موديل رياضي، منحني الارتفاع، القطر على ارتفاع الصدر، موقع كفردبيل.

[1] أستاذ - قسم الحراج و البيئة - كلية الزراعة – جامعة تشرين - اللاذقية- سورية.
[2] مدرس - قسم الحراج و البيئة - كلية الزراعة – جامعة تشرين - اللاذقية- سورية.
[3] أستاذ مساعد - قسم الحراج و البيئة - كلية الزراعة – جامعة تشرين - اللاذقية- سورية.
[4] طالبة دكتوراه - قسم الحراج و البيئة - كلية الزراعة – جامعة تشرين - اللاذقية- سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

Calibration Of some Mathematical Models To Estimate Tree Height Of Pinus brutia Ten. In Site Of Kfardabeel Stand- Jableh

Dr. Zuheir Shater[1]
Dr. Wael Ali[2]
Dr. Ibrahem Nesafi[3]
Lana Saleh[4]

(Received 29 / 8 / 2016. Accepted 29 / 11 /2016)

□ ABSTRACT □

This study aimed to estimate the height of the *Pinus brutia* trees in Kafardabeel forested area- Jableh. Eight mathematical forms (Michailoff, Prodan, Petterson, Parabel, Korsun, Logarithmic, Freese, Chapman-Richards) were used.

In 2015, the diameter of 330 trees at breast height (dbh) were measured, and only heights of 165 of them were taken. Measurements were carried out in 15 sample plots all over the study area to cover site variations in altitude, exhibition, gradient and density. Data were split into two parts: 116 tree (70%) were used for model constrction, while the remaining trees 49 tree (30%) were used for model validation.

The Results showed that, Parabel had the highest value for the Coefficient of Determination (R^2=0.53) and the lowest value of the relative accuracy (mx%) (17.665%). That means it was the the best model to calculate tree height using diameter at breast height. This model can help foresters in forest management planning for study area and similar sites.

Key words: *Pinus brutia*, mathematical model, height curve, dbh, Kfardabeel site.

[1] **Professor, Department of Forestry and Ecology, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[2] **Assistant Professor, Department of Forestry and Ecology, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[3] **Associate Professor, Department of Forestry and Ecology, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[4] **Postgraduate student, Department of Forestry and Ecology, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria**

مقدمة

تشكل غابات الصنوبر البروتي .Ten *Pinus brutia* المكون الأساسي للمنظر الطبيعي في منطقة شرق المتوسط، كما تلعب دوراً بيئياً، اقتصادياً واجتماعياً رئيساً. وكمعظم أراضي حوض المتوسط المُشجرة، تعدُّ غابات الصنوبر البروتي في سوريا أنظمة بيئية متعددة الأغراض، حيث تقدم العديد من الخدمات والمنتجات الخشبية (Tolunay *et al*., 2008) وغير الخشبية (Satil *et al*., 2011). كما تتميز بأهميتها الاقتصادية العظيمة في قطاع الغابات خصوصاً أنها المصدر الرئيسي للمنتجات الخشبية في بعض البلدان المتوسطية (Palahi *et al*., 2008). لكن كما هو الحال في معظم الأنظمة البيئية لمنطقة حوض المتوسط، فإن غابات الصنوبر البروتي هشة وضعيفة حيث تأثرت عبر الزمن بالضغط البشري الهائل وبالشروط المناخية القاسية، وهذا ما يؤكد الضرورة الملحة لإدارتها بشكل مستدام للحفاظ على قدراتها الإنتاجية وقابليتها للتجدد بشكل مناسب وملائم لتلبية المتطلبات الاجتماعية من الفوائد والخدمات الحراجية على كافة المستويات (المحلية، الإقليمية، العالمية) (FAO, 2013)، فضلاً عن تنوعها الحيوي العالي والإرث الطبيعي الثمين الذي تشكل خلال آلاف السنوات الماضية (Shater *et al*., 2011).

وانطلاقاً من أهمية هذا النوع تبرز ضرورة القياس الدقيق لنمو وإنتاجية تلك الغابات وتحديد العوامل المؤثرة فيها للوصول إلى الإدارة الفعالة لمواردها بشكل مستدام. يعتمد تقييم نمو الغابة عبر الزمن بشكل عام على دقة العلاقة قطر–ارتفاع (Temesgen and Gadow, 2004)، حيث تتطلب العديد من نماذج النمو والإنتاجية إدخال كل من القطر والارتفاع كمتغيرات أساسية، مع (كل أو جزء) من ارتفاع الشجرة المُتوقع من الأقطار المقاسة (Huang *et al*., 1992).

يعدُّ القطر على ارتفاع الصدر (dbh) أحد أهم القياسات المستخدمة في تقدير المخزون الخشبي للغابة والذي يحتاجه الحراجيّ سواء في أعمال التربية والتنمية أو في دراسة العوامل المؤثرة في نمو الغابة وتقييم هذا النمو. يمتلك هذا المتغير العديد من الميزات المفيدة والإيجابية فهو: سهل القياس (Zhang *et al*., 2014)، يمكن من خلاله تقدير حجم الشجرة، له علاقات ارتباط وثيقة بخصائص الشجرة الأخرى كارتفاعها ، قطر تاجها، وعمرها على ارتفاع الصدر. وقد أصبح المكون الأبرز في تقنيات التحليل، النماذج الرياضية والأدوات الإحصائية التي تسمح يالتقييم السريع للحجم الهائل من البيانات (Turan, 2009). أما الارتفاع فهو متغير هندسي أساسي بالنسبة لأشجار الغابة، لكن معظم الطرق المستخدمة في قياسه تعتمد على المراقبة البصرية وتعدُّ في معظمها منحرفة عن الحقيقة. ومن المعروف حراجياً بأن قياس الارتفاع أكثر صعوبةً وكلفةً كما يستغرق وقتاً أطول من الزمن مقارنة مع قياس القطر خصوصاً في الغابات الكثيفة والأماكن الوعرة التي يصعب فيها رؤية قمة الشجرة (Obeyed, 2014). لذلك يمكن أن تستخدم النماذج (قطر–ارتفاع) للتنبؤ بالارتفاع عندما تكون قياسات الارتفاع غير ممكنة لأهداف النمذجة حيث يمكن أن نحسب الارتفاع المفقود من خلال استخدام النموذج قطر–ارتفاع المناسب (Temesgen and Gadow, 2004).

تُعرف النمذجة الرياضية بأنها استخدام معادلات أللومترية تمكِّن من حساب كلية المتعضي كوزن أو حجم الشجرة من خلال أحد أبعاده كالقطر أو الارتفاع أوغيره (كالعمر، قطر التاج، المساحة قاعدية– معامل الشكل ...الخ) (عباس وشاطر، 2005)، فعند إدخال تلك الأبعاد في نماذج رياضية مناسبة يمكن التوصل إلى علاقات تربطها ببعضها أو تشير إلى دليلٍ ما، فالعلاقة (ارتفاع–عمر) تشكل دليلاً جيداً للخصوبة وتشكل عنصراً أساسياً لتحسين النمو السنوي للمجموعات الحراجية المتجانسة.

تعدُّ النمذجة الرياضية مفهوم حديث نسبياً في بلادنا ومازال استخدامها ضمن نطاق ضيق وعلى أنواع حراجية محددة، فقد قام كل من (Shater *et al.,* 2011) و(ديوب، 2013؛ سليمان، 2013؛ برهوم، 2014) بتجريب عدة موديلات رياضية عالمية لحساب ارتفاع أشجار الصنوبر البروتي بدلالة القطر على مستوى الصدر، كما توصل كل من عربي وآخرون (2014) إلى إمكانية استخدام العلاقة (أقطار الأشجار– حجومها) في حساب الحجم لأي شجرة صنوبر ثمري *Pinus pinea* في السويداء انطلاقاً من القياس الأسهل وهو قطرها على ارتفاع الصدر 130سم. جرب كذلك المحمود وآخرون (2015) 11 نموذجاً رياضياً لتقدير الارتفاع الكلي لأفرع السنديان العادي *Quercus calliprinos* Webb. بدلالة القطر على ارتفاع 30سم على السفح الشرقي للجبال الساحلية في سوريا، كما تمكن جيرودية (2005) من حساب ارتفاع أشجار جنس السنديان *Quercus* Spp. بالاعتماد على أقطارها على ارتفاع الصدر في الجولان السوريّ. لذلك وانطلاقاً من أهمية النمذجة في العلوم الحراجية لا بدَّ من التوسع باستخدامها ومحاولة تطويرها بهدف توفير الكثير من الجهد والوقت على الحراجيين لا سيما في قياس الارتفاع الذي يعدُّ المشكلة الرئيسية التي تواجه أعمالهم وأبحاثهم.

أهمية البحث وأهدافه

يحتاج الحراجيون والمهتمون بدراسة نمو الأشجار الحراجية وتقدير مخزونها الخشبي إلى قياس أقطار وارتفاعات الأشجار الحراجية في أعمالهم المختلفة. إنّ قياس القطر عملية سهلة وتتم بسرعة وسهولة ووقت قصير في حين أن قياس الارتفاع لجميع الأشجار الحراجية يحتاج إلى الكثير من الوقت والجهد والمال ويشكل عائقاً حقيقياً أمام الدراسات التي تحتاج إلى تقديره. لحل هذه المشكلة تلجأ الدراسات إلى بناء موديلات رياضية تسمح بتقدير الارتفاع اعتباراً من قياس القطر وتوفر بالتالي الكثير من الوقت والجهد والمال. ومن هنا يهدف هذا البحث إلى اختبار بعض الموديلات الرياضية المعروفة عالمياً والتي تمكننا من حساب ارتفاع الأشجار الحراجية بدلالة القطر على ارتفاع الصدر وذلك على أشجار الصنوبر البروتي في موقع تحريج كفرديبل (ريف جبلة) ويسمح بالتالي بدراسة نمو هذا النوع وإنتاجيته في الموقع المدروس وتحديد العوامل المؤثرة في هذا النمو والإنتاجية خاصةً وأنه يتعرض للتلوث الناجم عن غبار المقالع القريبة منه.

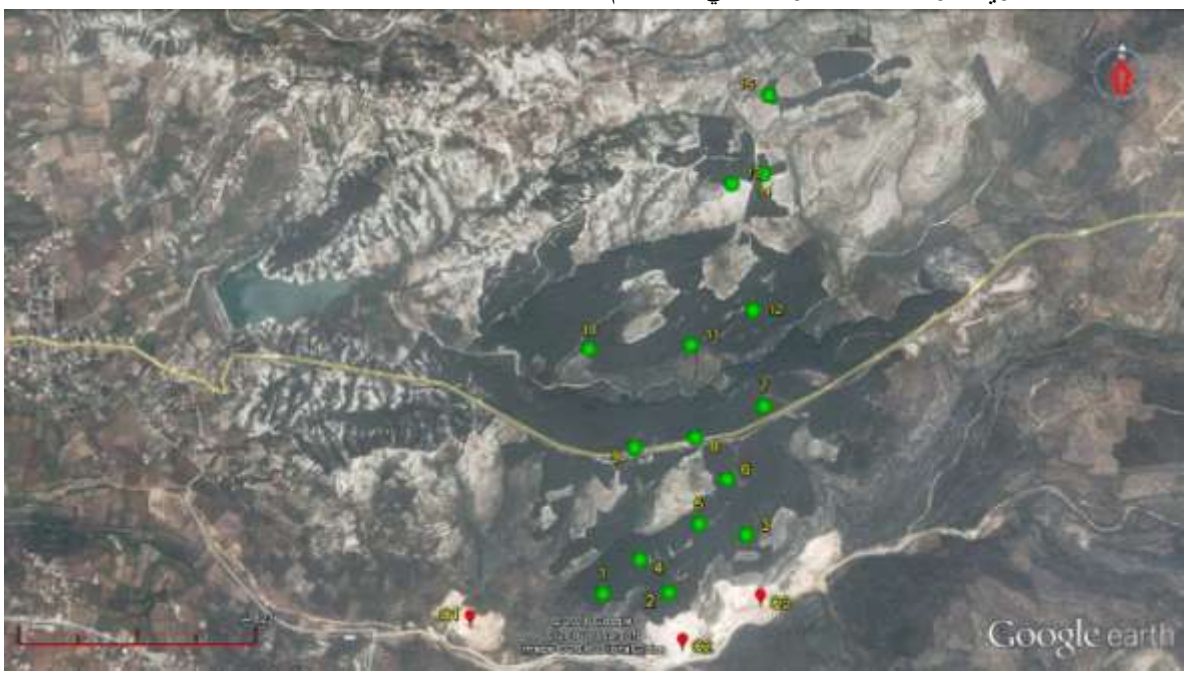
طرائق البحث و موادهـ:

العمل الحقلي ومواقع الدراسة

تقع غابة الصنوبر البروتي في منطقة جبلية صخرية شرق مدينة جبلة بحوالي 13 كم بالقرب من طريق جبلة– حرف المسيترة، على ارتفاع يتراوح بين 204–320 م عن سطح البحر، وقد تم تشجيرها من قبل الدولة بين عامي (1974–1978) وتقدر مساحتها بـ (119 هكتار تقريباً).

تم اقتطاع 15 عينة دائرية بمساحة 200 م^2 لكل منها، وتم توزيعها بحيث تغطي التباين الإحصائي ضمن الموقع من حيث الكثافة الشجرية، الارتفاع عن سطح البحر، المعرض، الانحدار، خصوبة التربة للحصول على أفضل النتائج (شكل 1)، وفي كل عينة تم قياس أقطار جميع الأشجار بواسطة شريط متري (ديكا متر) إضافة إلى قياس ارتفاع 11 شجرة: الأشجار الخمسة الأكبر قطراً والأشجار الثلاثة الأصغر قطراً بالإضافة إلى ثلاثة أشجار متوسطة القطر بواسطة جهاز الهاغا، وبشكل عام بلغ العدد الكلي للأشجار المُقاسة القطر على ارتفاع الصدر (dbh= 130

cm) 330 شجرة في موقع الدراسة، في حين بلغ عدد الأشجار المُقاسة القطر (dbh) والارتفاع 165 شجرة. أُخذت العينات خلال شهري تشرين الأول وتشرين الثاني من العام 2015.



شكل (1): صورة فضائية لموقع تحريج كفردبيل تظهر أماكن أخذ العينات

العمل المكتبي

تم إدخال البيانات إلى برنامج الإكسل وترتيبها بالشكل المناسب تمهيداً لاستخدامها في موديلات رياضية عالمية، حيث تم تقسيمها إلى قسمين 70% (116 قيمة) منها لمعايرة ثوابت الموديلات و 30% (49 قيمة) لاختبار جودة تلك الموديلات.

تم تجريب ثمانية موديلات وهي معادلات رياضية غير خطية (Nonlinear Regression) (أسية، لوغاريتمية، نيبرية، ومعادلات من الدرجة الثانية) واستنتاج منحنيات الارتفاع لكل منها بدلالة القطر على ارتفاع الصدر (Ali, 2009) (جدول 1):

جدول (1): الموديلات الرياضية المستخدمة في تقدير ارتفاع أشجار الموقع اعتماداً على القطر على ارتفاع الصدر.

رقم و اسم المعادلة	المعادلة
1- Michailoff	$H=1.3+a_0*EXP(a_1/dbh)$
2- Parabel	$H=a0+a1*dbh+a_2*dbh^2$
3-Prodan	$H=1.3+dbh^2/(a_0+a_1*dbh+a_2*dbh^2)$
4-Petterson	$H=1.3+(dbh/(a_0+a_1*dbh))^2$
5-Korsun	$H=Exp(a_0+a_1*ln(dbh)+a_2*(ln(dbh))^2)$
6- Logarithmic	$H=a_0+a_1*ln(dbh)$
7-Freese	$H=EXP(a_0+a_1*ln(dbh)+a_2*dbh)$
8- Chapman-Richards	$H=a_0*(1-exp(-a_1*dbh))\wedge a_2$

حيث a_0, a_1, a_2 ثوابت المعادلة، H: الارتفاع الكلي للشجرة، dbh: القطر على ارتفاع الصدر، وقد أُجريت عملية معايرة الثوابت بالاعتماد على مبدأ مجموع المربعات الصغرى لأخطاء الموديل (**O**rdinary **L**east **S**quares, OLS) باستخدام الحالل (Solver) في البرنامج Excel.

وللمفاضلة بين الموديلات تم حساب معامل التحديد R^2 (Coefficient of Determination) لكل منها فالموديل الذي يملك أعلى قيمة لـ R^2 يكون المرشح الأقوى لاختياره:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \overline{Y}_i)^2}$$

Y_i هي القيمة الفعلية لارتفاع الأشجار في العينة الحراجية التي ترتيبها (i)، $\hat{Y}_i$ القيمة المحسوبة أو المقدرة من خلال الموديل لارتفاع الأشجار في العينة الحراجية التي ترتيبها (i)، $\overline{Y}_i$ المتوسط الحسابي للقيم الحقيقية i= 1, 2, 3.....n.

تراوحت أقطار الأشجار المستخدمة في معايرة الموديلات بين 5.1 و 34.7 سم (جدول 2)، في حين تراوحت أقطار الأشجار المستخدمة في اختبار جودة الموديلات بين 7.6 و 29.9 سم (جدول 3).

جدول (2): خصائص المتغيرات الداخلة في معايرة ثوابت الموديلات الرياضية

المتغير	الحد الأدنى	المتوسط والانحراف المعياري	الحد الأعلى
الارتفاع الكلي (م)	6	12.5 ± 3.2	20.7
القطر على ارتفاع الصدر dbh (سم)	5.1	17.9 ± 5.8	34.7

جدول (3): خصائص المتغيرات الداخلة في اختبار جودة الموديلات الرياضية

المتغير	الحد الأدنى	المتوسط والانحراف المعياري	الحد الأعلى
الارتفاع الكلي (م)	6.6	18.5 ± 5.5	20.5
القطر على ارتفاع الصدر dbh (سم)	7.6	12.5 ± 3.5	29.9

اختبارات جودة الموديلات (Model validation)

تم اختبار جودة الموديلات باستخدام عدة طرائق إحصائية مأخوذة عن Pretzsch (2001) وتشمل:

Model Bias ($\overline{e}$) و هو المتوسط المطلق لخطأ الموديل:

$$\overline{e} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - Y_i)$$

Model Bias % ($\overline{e}$ %) و هو المتوسط النسبي لخطأ الموديل:

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

Model Precision (S_e) و هو الانحراف المعياري المطلق لمتوسط خطأ الموديل:

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

%Model Precision (S_e %) و هو الانحراف المعياري النسبي لمتوسط خطأ الموديل:

$$S_e\% = \frac{S_e * 100}{\bar{Y}}$$

Model Accuracy (m_x) وهي دقة الموديل:

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

% Model Accuracy (m_x %) و هي النسبة المئوية لدقة الموديل:

$$m_x\% = \frac{m_x * 100}{\bar{Y}}$$

حيث أن: n هي عدد القيم الفعلية.

Y_i هي القيمة الفعلية لارتفاع الأشجار في العينة الحراجية التي ترتيبها (i).

$\hat{Y}_i$ القيمة المحسوبة أو المقدرة من خلال الموديل لارتفاع الأشجار في العينة الحراجية التي ترتيبها (i).

$\bar{Y}_i$ المتوسط الحسابي للقيم الحقيقية i= 1, 2, 3, …..n.

النتائج والمناقشة

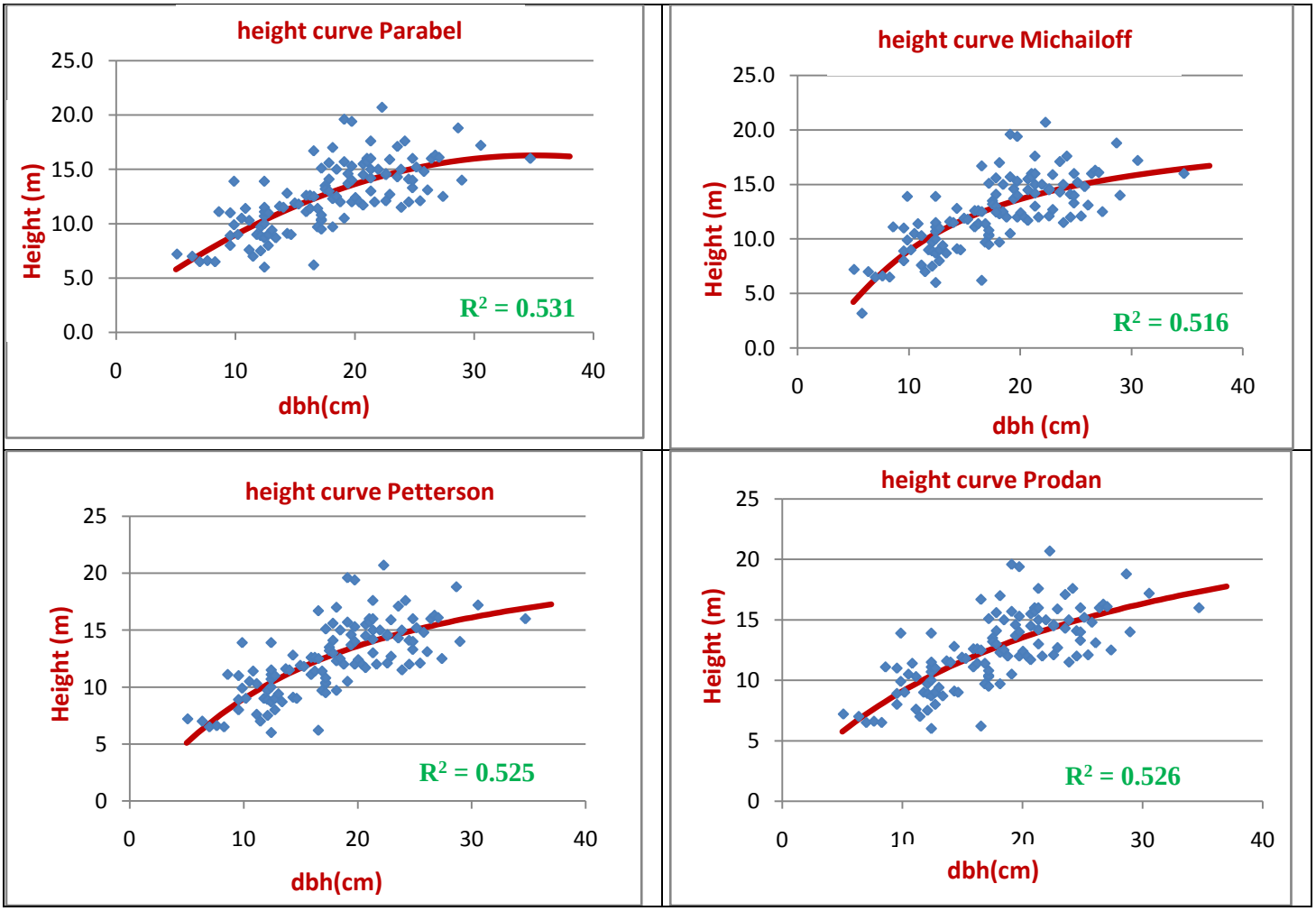
معايرة الموديلات Models Calibration

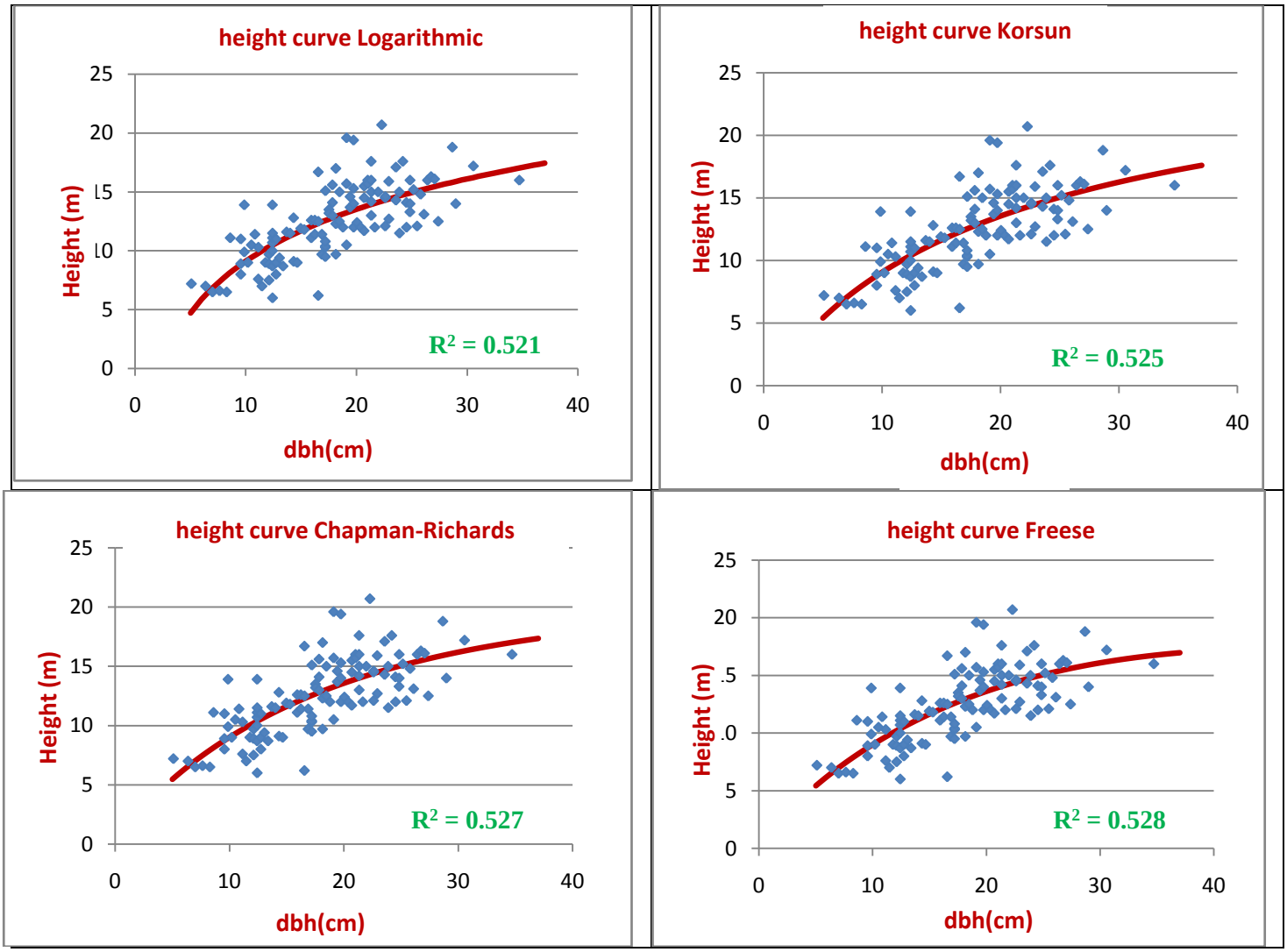
تراوحت قيم معامل التحديد (Coefficient of Determination) (R^2) للموديلات الثمانية بين 0.516 للموديل **Michailoff** و 0.531 للموديل **Parabel** (جدول 4)، كما تم رسم منحنيات الارتفاع لكل الموديلات المدروسة حيث تعبر تلك المنحنيات عن العلاقة بين المتغير التابع وهو الارتفاع والمتغير المستقل وهو القطر (dbh) (شكل 2).

جدول 4: قيم ثوابت الموديلات مع قيم معامل التحديد R^2

رقم و اسم المعادلة	R^2	ثوابت المعادلة		
		a_0	a_1	a_2
1- Michailoff	0.516	20.018	-9.657	
2- Parabel	0.531	2.039	0.811	-0.012

3–Prodan	0.526	0.223	0.899	0.036
4–Petterson	0.525	1.520	0.209	
5–Korsun	0.525	0.049	1.210	−0.119
6– Logarithmic	0.521	−5.505	6.360	
7–Freese	0.528	0.396	0.861	−0.018
8– Chapman–Richards	0.527	19.981	0.051	0.870





شكل (2): منحنيات الارتفاع بدلالة dbh

كما هو واضح من (شكل 2) تعبر النقط عن القيم الحقيقية المقاسة حقلياً في حين يعبر المنحني عن القيم المحسوبة عن طريق الموديل حيث تقاربت المنحنيات بشكلها إلى حد كبير، وعلى الرغم من أن قيمة معامل التحديد لموديل Parabel هي الأعلى إلا أن قيمه كانت متقاربة جداً لجميع الموديلات وهذا ما استدعى ضرورة إجراء اختبارات لجودة الموديلات للمفاضلة بينها بشكل أكثر دقة.

أظهرت نتائج اختبارات جودة الموديل أن أقل قيمة للمتوسط المطلق لخطأ الموديل ($\bar{e}$) (0.260) وللمتوسط النسبي لخطأ الموديل ($\%\bar{e}$ = 2.084%) كانت في الموديل الثالث Prodan (جدول 5)، في حين كانت أدنى قيمة للانحراف المعياري المطلق لمتوسط خطأ الموديل (S_e=2.188)، وللانحراف المعياري النسبي لمتوسط خطأ الموديل ($\%S_e$= 17.535%)، وللنسبة المئوية لدقة الموديل ($\%m_x$ = 17.665%) في الموديل Parabel (جدول 5) وذلك يعني بأنه الموديل الأفضل لحساب الارتفاع بدلالة القطر على ارتفاع الصدر نظراً لتفوقه في معظم اختبارات الجودة، حيث بلغت قيمة المتوسط النسبي لخطأ الموديل ($\%\bar{e}$ = 2.145%) (جدول 5) أي أن هذا الموديل ينحرف عن الحقيقة بمقدار 2.145% وهو انحراف صغير نسبياً. في حين كانت النسبة المئوية لدقة الموديل ($\%m_x$=

17.665%) وهذا يعني أنه: على فرض أن توزع خطأ الموديل كان توزعاً طبيعياً فإن 95 % من القيم المقدرة لن تنحرف أكثر من 17.665% عن القيم الحقيقية (أو المقاسة) و بالتالي فإن دقة هذا الموديل تعدُّ عاليةً نسبياً وفق معايير (Pretzsch، 2001).

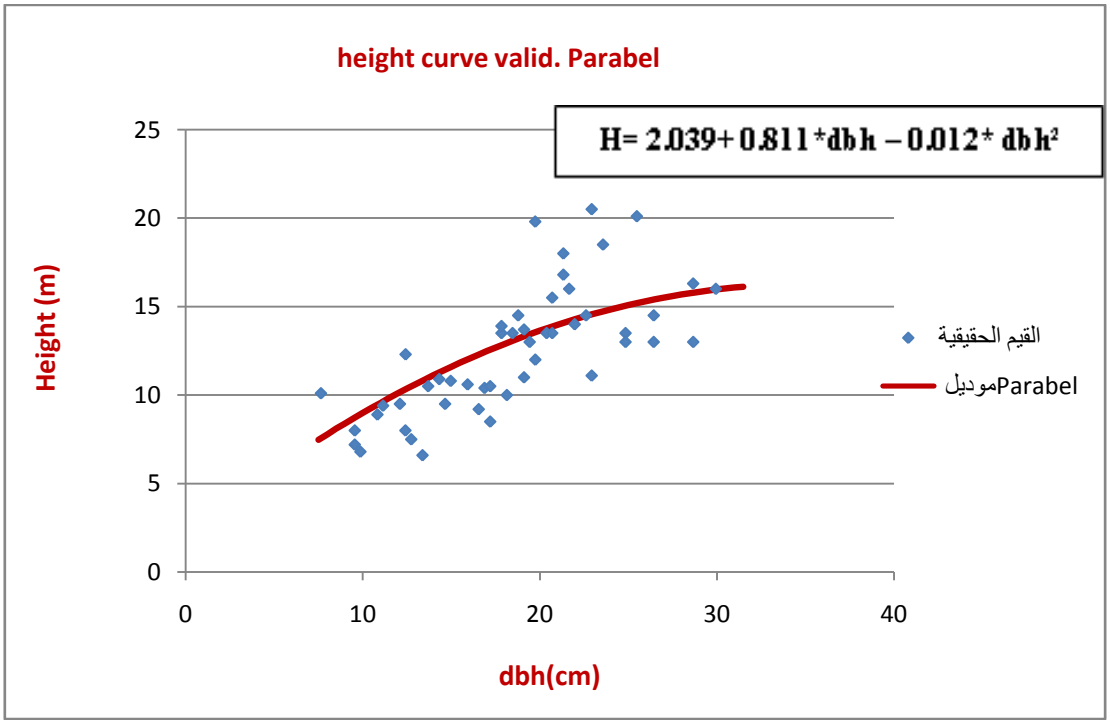
وبعد تعويض الثوابت في موديل Parabel يكون شكله النهائي كالتالي:

$$H = 2.039 + 0.811 * dbh - 0.012 * dbh^2$$

وبالتالي يستطيع هذا الموديل تفسير 53% من التباين الموجود في القيم الحقيقية، كما يظهر من (شكل 3) تقارب القيم الحقيقية والقيم المحسوبة باستخدام موديل Parabel.

جدول (5): نتائج اختبارات جودة الموديلات

رقم و اسم المعادلة	Model bias (ē)	Model bias % (ē %)	Model precision (Se)	Model precision % (Se %)	Model accuracy (mx)	Model accurecy% (mx %)
1- Michailoff	-0.269	-2.154	2.486	19.926	2.501	20.042
2- Parabel	0.268	2.145	2.188	17.535	2.204	17.665
3-Prodan	0.260	2.084	2.212	17.729	2.227	17.851
4-Petterson	0.264	2.115	2.218	17.776	2.234	17.901
5-Korsun	0.263	2.105	2.217	17.767	2.232	17.892
6- Logarithmic	0.269	2.157	2.243	17.974	2.259	18.103
7-Freese	0.266	2.131	2.205	17.670	2.221	17.798
8- Chapman-Richards	0.266	2.131	2.205	17.670	2.221	17.798



شكل (3): القيم الحقيقية (النقاط) والقيم المحسوبة (الخط) للارتفاع باستخدام موديل Parabel.

وكنتيجة نهائية أثبتت هذه الدراسة إمكانية اعتماد موديل Parabel في تقدير ارتفاع أشجار الصنوبر البروتي في موقع تحريج كفردبيل (ريف جبلة) باستخدام متغير وحيد وهو القطر على ارتفاع الصدر، وفي دراسات مماثلة على نفس النوع الحراجي قام برهوم (2014) بتجريب نفس الموديلات المستخدمة في هذه الدراسة لتصميم منحنيات الارتفاع للصنوبر البروتي في سهل الغاب في سورية وأكدت نتائجه اعتماد موديل Parabel أيضاً حيث تمكن هذا الموديل من تفسير 84% من القيم الحقيقية للعينات المدروسة. أما نتائج سليمان (2013) وبعد تجريب نفس الموديلات فقد أظهرت اعتماد موديل Prodan لنمذجة ارتفاع أشجار الصنوبر البروتي في منطقة ربيعة (اللاذقية)، حيث تمكن من تفسير 67% من القيم الحقيقية للعينات المدروسة، وفي نفس المنطقة وعلى نفس النوع قام ديوب (2013) باختبار أربعة موديلات رياضية عالمية لتقدير ارتفاع أشجار الصنوبر البروتي بدلالة القطر على ارتفاع الصدر، وكانت معادلة Prodan أيضاً هي الأنسب للاستخدام لأنها تمكنت من تفسير 81% من التباينات (أي الانحرافات الكلية في قيم الارتفاع) في المجموعة الحرجية المعمرة و 78% منها في المجموعة الحرجية الفتية. وفي دراسة أخرى على السنديان العادي .*Quercus calliprinos* Webb قام المحمود (2015) بانتقاء 11 معادلة رياضية يمكن من خلالها تقدير الارتفاع الكلي للأفرع بدلالة القطر على ارتفاع 30سم بدرجة مقبولة من الدقة، وأكدت نتائجه إمكانية استخدام تلك المعادلات بشكل تطبيقي في حساب ارتفاع الأفرع في ماكي السنديان العادي على السفح الشرقي للجبال الساحلية السورية، حيث كانت قيم اختبارات جودة هذه المعادلات متقاربة فيما بينها بشكل عام.

الاستنتاجات والتوصيات:

- أظهر موديل Parabel كفاءة عالية في تقدير ارتفاع أشجار االصنوبر البروتي في موقع الدراسة وذلك اعتماداً على dbh.
- إمكانية تطبيق هذا الموديل على نفس النوع في مواقع مشابهة، ما يساهم في اختصار الكثير من الوقت والجهد.
- إمكانية حساب بارامترات أخرى خاصة بموقع الدراسة انطلاقا من الارتفاع كالمخزون الخشبي والذي يعطي فكرة عن الأهمية الاقتصادية للغابة وإمكانية استثمارها.
- توصي هذه الدراسة بالتوسع في استخدام النمذجة الرياضية على كافة التشكيلات الحراجية في سوريا بهدف تقييمها ووضع خطط الإدارة المناسبة لها للحفاظ عليها والاستفادة منها بشكل مستدام.

المراجع

1. برهوم، أنس. *تقييم نجاح بعض مواقع التحريج الاصطناعي في سهل الغاب في سورية* . رسالة ماجستير، جامعة تشرين، 2014، 78ص.

2. جيرودية، أحمد. *دراسة تحليلية للعلاقة بين قطر أشجار السنديان وارتفاعها في الجولان* . منشورات مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، 21 (1)، 2005، 139- 151.

3. ديوب، رامي. *دراسة النمو الطولي والقطري وتقدير المخزون الخشبي لغابات الصنوبر البروتي Pinus brutia Ten. الطبيعية في برادون لتحديد مدى الاستفادة منه اقتصادياً وبيئياً* . رسالة ماجستير، جامعة تشرين، 2013، 65ص.

4. سليمان، تمام. *نمذجة مؤشر جودة الموقع وتقدير الكتلة الحيوية لغابات الصنوبر البروتي Pinus brutia Ten. في منطقة ربيعة- اللاذقية*. رسالة ماجستير، جامعة تشرين، 2013، 62ص.

5. عباس، حكمت. شاطر، زهير. *تنظيم وإدارة الغابات*، منشورات جامعة تشرين، 2005، 320ص.

6. عربي، كندة. جيرودية، أحمد. قريصة، محمد. *دراسة تحليلية للعلاقة بين القطر والحجم لأشجار الصنوبر الثمري Pinus pinea في محافظة السويداء*. منشورات مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية 30 (1)، 2014، 177-187.

7. المحمود، فادي. علي، وائل. زهوة، سليم. شاطر، زهير. *معايرة بعض معادلات (القطر- الارتفاع) في ماكي السنديان العادي Quercus calliprinos Webb. على السفوح الشرقية للجبال الساحلية في سورية*. 2015، (قبول للنشر).

8. ALI, W. *Modelling of Biomass production Potentional of Poplar in short Rotation Plantions on Agriculture Lands of Saxony,* Germany, Doctoral thesis, TU Dresden, Tharandt, Institute of Forest Growth and Forest Computer Sciences. 2009, 130 P.

9. FAO, *State of Mediterranean forests*. Rome, 2013, 177p.

10. HUANG, S., TITUS, S. J., WIENS, D. P. *Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species.* Can J For Res, 1992, 22:1297–1304.

11. OBEYED, M. H. *Predictive models between diameter, height, crown diameter and age of Pinus brutia ten.in Zawita and Atrush Districts*. G .J. B. B., 2014, VOL.3 (2) :203- 210.

12. PALAHI, M., MAVSAR, R., GRACIA, C., BIROT, Y. *Mediterranean forests under focus.* International Forestry Review Vol. 10(4), 2008, 13p.

13. PRETZSCH, H. *Modellierung des Waldwachstums*. Parey Buchverlag Berlin, 2001, 341 pp.

14. SATIL F., SELVI S., POLAT R. *Ethnic uses of pine resin production fromPinus brutia by native people on the Kazdağ Mountain (Mt. Ida) in western Turkey*. Journal of Food,Agriculture & Environment, 2011, 9(3-4): 1059-1063.

15. SHATER, Z., DE-MIGUEL, S., KRAID, B., PUKKALA, T., PALAHI, M. *A growth and yield model for even-aged Pinus brutia Ten. stands in Syria.* Annals of Forest Science, 68, 2011, 149-157.

16. TEMESGEN, H. GADOW, K. V. *Generalized height-diameter models an application for major tree species in complex stands of interior British Columbia*. Eur. J. For. Res, 2004, 123: 45-51.

17. TOLUNAY, A., AKYOL, A., ÖZCAN., M. *Usage of trees and forest resources at household level: a case study of Açagl Yumrutaç Village from the West Mediterranean Region of Turkey*. Res J Forest, 2008, 2(1):1– 14.

18. TURAN, S. *Diameter at breast height-crown diameter prediction models for Picea orientalis*. African Journal of Agricultural Research, 2009, Vol. 4 (3), pp. 215-219.

19. ZHANG, L., PENG, C., DANG, Q. *Individual-tree basal area growth models for jack pine and black spruce in northern Ontario*. Forestry Chronic, 2004, 80: 366-374.