



نمذجة الكتلة الحيوية الخشبية لماكي السنديان العادي *Quercus calliprinos* Webb. على السفح الشرقي للجبال الساحلية في سورية

Modelling of the Woody Biomass of *Quercus calliprinos* Webb. Maquis in the Eastern Versant of the Syrian Coastal Mountains

م. فادي المحمود⁽¹⁾ د. وائل علي⁽¹⁾ د. سليم زهوة⁽²⁾ د. زهير الشاطر⁽³⁻¹⁾
Eng. F. Al-Mahmoud⁽¹⁾ Dr. W. Ali⁽¹⁾ Dr. S. Zahoueh⁽²⁾ Dr. Z. shater⁽¹⁻³⁾

zuheirshater@yahoo.com

- (1) قسم الحراج والبيئة، كلية الزراعة، جامعة تشرين، سورية.
(1) Department of Forestry and Ecology, Faculty of Agriculture, University of Tishreen, Latakia, Syria.
(2) منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، دمشق، سورية.
(2) FAO, Syria.
(3) المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة/أكساد.
(3) The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands/ACSAD.

الملخص

تعدّ الكتلة الحيوية الخشبية من المواضيع التي حظيت باهتمام كبير خلال العقد الأخير بسبب ارتباطها بموضوع الطاقة من جهة، وبمخزون الكربون والتغيرات المناخية من جهة أخرى. ويعدّ التقدير الدقيق للكتلة الحيوية الحراجية في الوقت الحالي شرطاً أساسياً في تقييم أعمال إدارة وتنظيم الغابات، ومدى انسجامها مع مفهوم الإدارة المستدامة.

يهدف هذا البحث إلى إعداد معادلات أوميترية تسمح بتقدير الكتلة الحيوية الخشبية في ماكي السنديان العادي *Quercus calliprinos* Webb. من خلال قياسات بسيطة لمؤشرات تتعلق بالأخلاف النامية على الأرومات، مما يمكن أن يشكل الخطوة الأولى في الإدارة المستدامة لهذه التكوينات النباتية.

تمت الدراسة خلال العام 2014 على السفح الشرقي للجبال الساحلية السورية، إذ تم اختيار 45 فرعاً تمثل صفوف الأقطار المختلفة وتنمو على أرومات مختلفة متوزعة على كامل منطقة الدراسة بحيث تغطي التباين في الأقطار، والارتفاعات، والكثافة، وخصوبة التربة. تم استخدام 30 فرعاً منها لتصميم الموديل الرياضي، واستخدمت الأفرع الباقية (15 فرعاً) لاختبار جودة الموديل. تم قياس قطر كل فرع من الأفرع (على ارتفاع 30 سم) وارتفاعه، ثم تم قطعه من سطح الأرض ووزنه في الحالة الرطبة. من أجل حساب الكتلة الحية الجافة، تم وزن عينات من الساق الرئيسة ومن بقية الأجزاء، ثم تجفيفها في فرن على حرارة 105 درجة مئوية حتى ثبات الوزن وتحديد نسبة الرطوبة فيها.

تم اختبار أشكال مختلفة من المعادلات غير الخطية لحساب الكتلة الحيوية الجافة فوق الأرضية باستخدام متحول واحد (القطر على ارتفاع 30 سم) أو متحولين (القطر والارتفاع الكلي)، ولكن تم الاختيار المبدئي لتلك التي تجاوزت قيم R^2 أو R^2_{adj} فيها 0.90 فقط وهي 17 معادلة. تم تقدير ثوابت الموديلات في برنامج Excel باستخدام الـ Solver.

أظهرت اختبارات جودة الموديل تفوق معادلة أسية بدليل القطر والارتفاع بقيمة بلغت 0.967 R^2_{adj} وبمتوسط نسبي لخطأ الموديل قدره 3.44 %، وانحراف معياري نسبي لمتوسط خطأ الموديل قدره 12.5 % وبدقة قدرها 12.96 %.

يمكن لهذه المعادلة أن تكون ذات فائدة كبيرة للحراجيين أثناء وضع خطط التنظيم والإدارة في منطقة الدراسة، وكذلك لتقدير مخزون الكربون على المستوى الوطني.

الكلمات المفتاحية: سنديان عادي، كتلة حيوية حراجية، معادلات أوميترية، السفح الشرقي، سورية.

Abstract

The woody biomass has been receiving considerable attention during the last decade, because of its association with energy, carbon stock and climate changes. The accurate estimation of the woody biomass is a pre-requisite for the evaluation of forest management and its compatibility with the concept of sustainability.

The aim of this research to prepare allometric equations to estimate the woody biomass in the oak Maquis forests (*Quercus calliprinos* Webb.) by conducting simple measurement of parameters on selected shoots. This estimation constitutes the first step in the sustainable management of this type of forests.

The study was carried out during 2014 in the eastern versant of the Syrian coastal mountains. 45 shoots from different stumps covering all sizes ranges, spread overall the study area, were selected. The sampled shoots represented various diameters, altitudes, densities and soil fertility. 30 shoots were used for model construction and 15 shoots for model validation.

Diameters of each shoot (at 30 cm height - D0.3) and its height (H) were measured then cutted from soil surface to determine the fresh weight of each shoot and the dry matter content; samples of different parts of the shoots were dried in an oven operated at a temperature of 105 °c until they reached a constant weight. Different forms of non-linear regression equations were tested to estimate the aboveground dry biomass using diameter (D0.3) and/or height (H) as predictor variables, but only 17 equations having R² or R²adj values above 0.90 were pre-selected. The models constants were calculated in Excel using the Solver.

The best equation had an exponential relation and used (D0.3), and (H) as predictor variables, with R²adj= 0.967. The relative Bias, the relative Precision, and the Accuracy of this model were 3.44 %, 12.5% and 12.96%, respectively.

The identified equation is of great importance for the design and implementation of sustainable forest management plans in the studied area and for carbon stocks estimation at the national level.

Keywords: *Quercus calliprinos*, Woody biomass, Allometric equations, Eastern versant, Syria.

المقدمة

يقصد بالكتلة الحيوية الخشبية (Woody Biomass) الأشجار بأجزائها المختلفة والنباتات الخشبية التي تنمو في بيئة الغابات والأراضي الحراجية والمراعي وتلك التي تنتج عن إدارة الغابة (USFS، 2008).

تعدّ الكتلة الحيوية الخشبية من المواضيع التي حظيت باهتمام كبير خلال العقد الأخير بسبب ارتباطها بدورة الكربون وانبعاثاته، فالكربون هو الأول بين غازات الدفيئة، وله القدرة الكامنة على التأثير في نماذج المناخ على سطح الأرض (Brown، 2002)، كما يعزى نحو 60 % من التغير المناخي الملحوظ إلى الزيادة في تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو (Grace، 2004). تؤدي النظم البيئية الغابوية دوراً مهماً جداً في دورة الكربون الأرضية من خلال حجز كميات كبيرة من CO₂ الموجود في الغلاف الجوي وتخزينها في الأنسجة النباتية وفي الفرشة الغابية والترية، وتعدّ بالتالي من أهم الخزانات التي تمتص وتخزن الكربون في النظم البيئية الأرضية (Jayakumar و Vashum، 2012). كما يقدر بأن نحو 86 % من الكربون الأرضي الموجود فوق سطح الأرض و 73 % من الكربون الأرضي الموجود في التربة مخزن في الغابات (Rodger، 1993). تقوم الغابات إذاً من خلال تخزين الكربون في الأشجار والتربة بالتخفيف من تأثير التغير المناخي على مستوى الأرض (Ruiz-Peinado وزملاؤه، 2012). من ناحية أخرى، ترتبط الكتلة الحيوية الخشبية بموضوع الطاقة، إذ تستخدم الكتلة الحيوية الخشبية لإنتاج ثلاثة أشكال من الطاقة الحيوية هي الطاقة الحرارية، والطاقة الكهربائية والوقود الحيوي، كما أن نحو 80 % من الخشب المقطوع من الغابات الطبيعية في البلدان المتطورة يستخدم لأغراض الطاقة (Aguilar وزملاؤه، 2012). من مميزات هذه الكتلة الحيوية أنها ثروة متجددة ومادة عضوية غير غذائية لا تنافس الاهتمامات الزراعية لإنتاج المحاصيل الغذائية، كما أن لها فوائد إيجابية على البيئة لأن متطلبات الطاقة لصناعة منتجاتها أقل من تلك التي تتطلبها بعض المواد غير الخشبية الشبيهة، ويمكن كذلك أن تخفف من خطر الحرائق عندما تزال من الغابات أو من على الحدود بين المدينة والحراج المحيطة بها (Shelly، 2008a).

يوجد الكربون في النظم البيئية الأرضية في خمسة مجاميع أساسية، هي الكتلة الحيوية فوق الأرضية (Above-Ground Biomass)، والكتلة الحيوية تحت الأرضية (الجدور)، والخشب الواقف «ميتاً» مع السوق والأفرع «المقطوعة» والبقايا الخشبية، والكتلة الميتة في المادة العضوية (الفرشة العضوية)، إضافة للمادة العضوية في التربة (Eggleston وزملاؤه، 2006). من بين هذه المجاميع فإن الكتلة الحيوية فوق الأرضية للأشجار تشكل مجموع الكربون الأكثر أهمية في النظم البيئية الغابوية الأرضية، وهي تتأثر بشكل مباشر بإزالة الغابات وتدهورها (Jibbs وزملاؤه، 2007؛ Ravindranath و Ostwald، 2008). من أهم مصادر الكتلة الحيوية الخشبية قطع الأشجار لأغراض غير خشبية

(إزالة الأشجار الميتة، وأشجار المدن غير المرغوبة)، والقطع ضمن إطار عمليات التربية والتنمية (تنظيف، وتفريد، وتقليم)، وبقياء قطع واستثمار الأشجار الحراجية (الأخشاب ذات الأقطار الصغيرة غير القابلة للبيع، بما في ذلك الأغصان والأشجار ذات الأقطار الصغيرة والأنواع غير المرغوبة تجارياً)، ومنتجات إدارة وتربية التكوينات الخشبية الشجرية (ماكي، وغاريك، وشايرال) من خلال إزالة النباتات الشجرية الكثيفة لتخفيض خطر الحريق، أو لأي هدف إدارة آخر، إضافةً للمجموعات الحرجية المخصصة أساساً لإنتاج الكتلة الحيوية، مثل مشاجر الأنواع سريعة النمو المزروعة خصيصاً لإنتاج الكتلة الحيوية كالحور. *Populus Sp.*، والأوكالبتوس *Eucalyptus Sp.* (2008b, Shelly).

يعدّ التقدير الدقيق للكتلة الحيوية الحراجية في الوقت الحالي من المتطلبات المهمة على عدة مستويات، فهو يعدّ من المعايير الأساسية في تقييم أعمال إدارة وتنظيم الغابات، ومدى انسجامها مع مفهوم الاستدامة، (Albert وزملاؤه، 2014)، كما يطلب من إدارة الغابات أن تأخذ بعين الاعتبار مواضيع الكربون والكتلة الحية، وأصبحت الموديلات الرياضية التي تسمح بالتنبؤ بالكتلة الحية، ومخزون الكربون لكل الأنواع الحراجية المعروفة مطلوبة بشدة في الوقت الحالي (De Miguel وزملاؤه، 2014).

يكتسب تقدير الكتلة الحيوية أهمية إضافية في الغابات المتوسطة، إذ تمتلك المنتجات والخدمات الحراجية غير المباشرة (الموجودة خارج حدود السوق) قيمة أكبر بكثير من المباشرة منها، وبالتالي فإن إداريي الغابة يطلبون أدوات دقيقة لتقدير مخزونات الكربون لإدخال هذا الجانب في إدارة وتنظيم الغابات (Ruiz-Peinado وزملاؤه، 2012). من ناحية أخرى، يمكن تقدير الكتلة الحيوية الشجرية من تقدير كمية CO₂ التي يمكن أن يتم احتجازها من الجو من قبل هذه الغابة، ويعطي فكرة عن الكمية المحتملة (الكامنة) من الكربون التي يمكن أن تبعث على شكل CO₂ عندما يتم قطع الغابة أو حرقها، (Houghton، 2005). كما يسمح تقدير الكتلة الحيوية بتقدير ومتابعة التغيرات في مخزونات الكربون على مستوى الغابة وعلى مستوى الأرض، وهو من المتطلبات المذكورة في الاتفاق الإطاري للأمم المتحدة حول التغيرات المناخية وبروتوكول كيوتو، إذ تتطلب السياسات الحالية أن يتم ذكر الانبعاثات ومصادرها، وتغيرات مخزون الكربون في الغابات بشكل شفاف وحقيقي، ما استدعى تطوير طرائق مناسبة لفعل ذلك من قبل البلدان المختلفة (Cienciala وزملاؤه، 2008).

تعدّ المعادلات الألويمترية (Allometric Equations) من الأدوات الأكثر استخداماً لتقدير الكتلة الحيوية الشجرية، وهي معادلات تعبر عن مكونات الكتلة الحيوية بواسطة متغيرات سهلة القياس، مثل القطر، والارتفاع، ومتغيرات أخرى (كطول الناج وقطره وعمر الشجرة)، ويمكن لهذه المعادلات أن تستخدم بشكل مباشر على مستوى الشجرة، أو كمكونات لعوامل الكتلة الحية والمصممة لتطبيق على مستوى المجموعة الحرجية (Cienciala وزملاؤه، 2008؛ Vashum و Jayakumar، 2012).

يعد السنديان العادي *Quercus calliprinos Webb.* من الأنواع الحراجية المهمة في غابات شرقي المتوسط (Quézel وزملاؤه، 1999)، إذ يشكل هذا النوع المكون الرئيس لمساحات واسعة من الغابات التي تغطي الجبال الساحلية في سورية، وبشكل خاص على السفح الشرقي منها، حيث تحول الجزء الأكبر من هذه الغابات بفعل الضغط البشري إلى تكوينات نباتية متدهورة بدرجات مختلفة على شكل «ماكي» يشابه في تركيبه نظام المنسفة (Coppice).

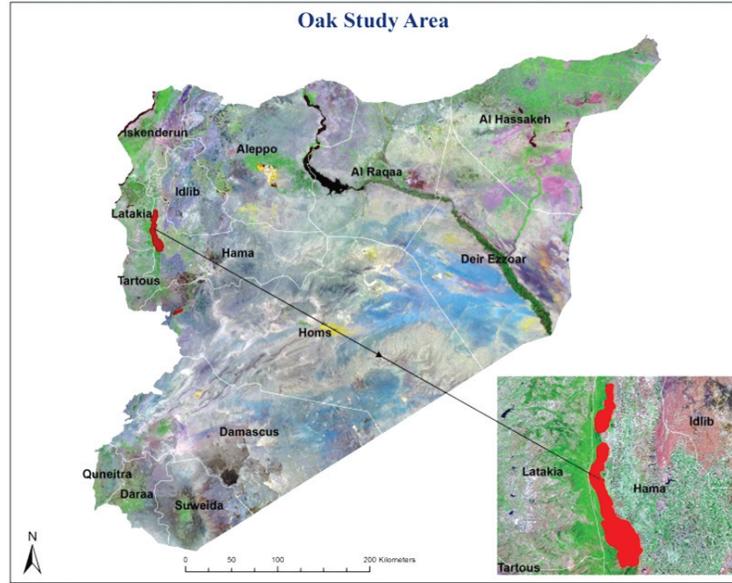
تعدّ السنديانيات بشكل عام *Quercus Sp.* من الأنواع المرغوبة من قبل المستهلك للفحم ولخشب الوقيد بشكل خاص، بسبب خصائص احتراقها الجيدة (خشب قاسي بطيء الاشتعال)، ومن قبل المنتج بسبب قدرتها على إعطاء الأخلاف (الإشطاء) التي تسمح بدورات قطع قصيرة نسبياً، وبالرغم من عدم توفر احصائيات عالمية فإن خشب الفحم وخشب الوقيد هي من أهم المنتجات الخشبية المشتقة من جنس السنديان في تلك البلدان (Aguilar وزملاؤه، 2012). إن الرغبة الكبيرة بأخشاب السنديان لاستخدامها في الوقيد في سورية، والاستخدام المكثف لها في السنوات الثلاث الأخيرة بفعل النقص الحاد في مصادر الطاقة الأخرى، قد زاد بشكل كبير من الضغط البشري على ماكي السنديان العادي على السفح الشرقي للجبال الساحلية السورية، وأبرز الحاجة الماسة إلى وضع خطط فعالة لإدارة هذه الثروة الحراجية بشكل علمي ومستدام يسمح بتوفيرها لسكان المنطقة والمناطق المجاورة دون أن يؤثر ذلك في نموها. إن وضع أدوات فعالة لتقدير الكتلة الحيوية الحراجية في هذه التكوينات الحراجية هو الخطوة الأولى في إدارتها، إذ يلاحظ غياب شبه كامل للمعلومات الأساسية المتعلقة بنمو هذه المجموعات ومخزونها من الكتلة الحيوية. يذكر Nahal و Zahoueh (2005) أن كمية الكربون المثبتة في الغابات السورية، بحسب تقديرات وزارة الزراعة السورية لعام 2003، بلغت 130500 طن قدرت قيمتها بـ 2610000 يورو، مع تأكيد الباحثين على أن هذه الأرقام قد خضعت لتقديرات تقريبية وغير دقيقة ما يؤكد ضرورة توفر طريقة علمية دقيقة لدعم هذه التقديرات والحصول على معلومة مقنعة عن القدرة الحراجية على تثبيت الكربون. يؤكد Aguilar وزملاؤه (2012) على ضرورة وجود موديلات خاصة لحساب الكتلة الحيوية للسنديانيات الموجودة على شكل منسفة لعدم إمكانية تطبيق الموديلات الخاصة بنظم الغابة العالية عليها، وذلك بسبب اختلاف الهندسة الشكلية للأخلاف في المنسفة عن الأشجار في الغابة العالية.

هدف البحث: يهدف هذا البحث إلى إيجاد معادلات رياضية تسمح بتقدير الكتلة الحيوية الخشبية في ماكي السنديان العادي على السفح الشرقي للجبال الساحلية السورية من خلال قياسات بسيطة للأخلاف النامية على الأرومات، مما يمكن أن يشكل الخطوة الأولى في إدارة هذه التكوينات بشكل مستدام في المستقبل.

مواد البحث وطرائقه

موقع الدراسة:

تم تنفيذ الدراسة على السفح الشرقي للجبال الساحلية في سورية، حيث تنتشر مجموعات السنديان العادي المتدهورة والمعروفة باسم «ماكي السنديان العادي» ضمن ظروف بيئية متباينة من حيث الانحدار والارتفاع عن سطح البحر والمعرض (الشكل 1).



الشكل 1. خارطة موقع الدراسة.

اختيار العينات:

من بين الطرائق المختلفة لتقدير الكتلة الحيوية الشجرية على مقياس مكاني واسع يأتي اختيار عينات شجرية تغطي مجالاً واسعاً من التباينات على كامل المنطقة المدروسة، والتي يمكن أن ينجم عند تطبيقها إعداد موديلات رياضية تسمح بتنبؤات دقيقة وتضمن عينات غير منحرفة (Jenkins وزملاؤه، 2003). يعدّ قطع العينات الشجرية الطريقة الأكثر دقة لإنتاج بيانات مناسبة لتقدير الكتلة الحيوية (Henry وزملاؤه، 2011).

تم في هذه الدراسة خلال العام 2014 قطع 45 فرعاً متنوعة الأحجام تنمو على أرومات مختلفة متوزعة على كامل منطقة الدراسة بحيث تغطي التباين في المؤشرات التالية: الأقطار، والارتفاعات، والكثافة، وخصوبة التربة. تم استخدام 30 فرعاً منها لتصميم الموديل الرياضي (الجدول 1)، واستخدم الباقي (15 فرعاً) (الجدول 2) لاختبار جودة الموديل.

الجدول 1. ملخص للبيانات المستخدمة في نمذجة الكتلة الحية الهوائية (فوق الأرضية).

القيمة الأعلى	المتوسط	القيمة الأدنى	المتغير
20.6	11.0 ± 1.6	5.2	القطر على ارتفاع 30 سم (سم)
5.5	3.7 ± 0.3	2.3	الارتفاع الكلي (م)
125.8	28.6 ± 10.7	3.5	الكتلة الحيوية الجافة الكلية (كغ)

الجدول 2. ملخص للبيانات المستخدمة في اختبارات جودة الموديل.

القيمة الأعلى	المتوسط	القيمة الأدنى	المتغير
18.6	10.0 ± 2.1	5.4	القطر على ارتفاع 30 سم (سم)
5.2	3.6 ± 0.4	2.2	الارتفاع الكلي (م)
87.9	22.1 ± 12.4	3.2	الكتلة الحيوية الجافة الكلية (كغ)

تم قياس قطر كل فرع من الأفرع على ارتفاع 30 سم بواسطة متر حراجي يعطي القطر مباشرةً. تم بعد ذلك قطع الفرع من سطح الأرض وقياس وزنه الرطب بواسطة ربيعة حديثة ذات نابض. من أجل حساب الكتلة الحيوية الجافة تم وزن 10 عينات مأخوذة من جميع أجزاء النبات المقطوعة (الساق الرئيسية وغيرها)، وتراوحت أوزانها بين 85 و1000 غ بمتوسط قدره 510.6 غ، ثم تم تجفيفها في فرن على حرارة 105 م° حتى ثبات الوزن وتحديد نسبة الرطوبة فيها. تم حساب الوزن الجاف لمجموع الأجزاء الهوائية من خلال جداء متوسط المحتوى من نسبة المادة الجافة لمجموع الأجزاء (0.63) بالوزن الرطب الموافق لكل شجرة مقطوعة. بلغ الانحراف المعياري لقيم أوزان العينات المجففة عن المتوسط 0.015 لمجموع الأجزاء الهوائية، أي أن نسبة الرطوبة قد تشابهت كثيراً في العينات المجففة.

المعادلات المستخدمة في تقدير الكتلة الحية:

تم تجريب عدد كبير من المعادلات الرياضية غير الخطية (Nonlinear Regression) (أسية، ولوغاريتمية، ونبيرية، ومعادلات الدرجة الثانية)، للتنبؤ بقيمة الكتلة الحيوية الجافة، بالاعتماد على قطر الفرع على ارتفاع 30 سم بمفرده أو مع ارتفاعه الكلي. وتم الاختيار المبدئي لسبع عشرة معادلة (الجدول 3) بالاعتماد على قيمة معامل التحديد (R^2) عند وجود متحول واحد، أو معامل التحديد المعدل (R^2_{adj}) عند وجود أكثر من متحول والذي تم حسابه وفق المعادلة (Weisberg، 2005):

$$(1) \quad R^2_{adj} = R^2 - \frac{K \cdot (1 - R^2)}{n - K - 1}$$

حيث:

R^2 : معامل التحديد، n : عدد القيم المقاسة أو الفعلية أو الحقيقية للكتلة الحيوية الجافة، k : عدد المتحولات الداخلة في تركيب الموديل. تم اختيار المعادلات التي تزيد فيها قيمة معامل التحديد، أو معامل التحديد المعدل عن 0.90.

الجدول 3. المعادلات المعتمدة ومصادرها. (D: القطر على ارتفاع 30 سم، H: الارتفاع الكلي).

رقم المعادلة	المعادلة	المصدر
2	$Y = a_0 \cdot D^{a1}$	2005, Zianis
3	$Y = a_0 + a_1 \cdot D^{a2}$	2005, Zianis
4	$Y = a_0 \cdot D^{a1} \cdot H^{a2}$	2005, Zianis
5	$Y = a_0 \cdot D^{a1} + a_2 \cdot H$	تجريبي
6	$Y = a_0 + a_1 \cdot D^{a2} + a_3 \cdot H$	تجريبي
7	$Y = a_0 \cdot D^{a1} + a_2 \cdot H^{a3}$	تجريبي
8	$Y = a_0 + a_1 \cdot D^{a2} + a_3 \cdot H^{a4}$	تجريبي
9	$Y = a_0 + a_1 \cdot D^{a2} + a_3 \cdot \ln H$	تجريبي
10	$Y = e^{a_0 + a_1 \cdot D}$	de Miguel وزملاؤه، 2014
11	$Y = e^{a_0 + a_1 \cdot (D/D + a_2)}$	de Miguel وزملاؤه، 2014
12	$Y = e^{a_0 \cdot D + a_1 \cdot H}$	تجريبي
13	$Y = e^{a_0 + a_1 \cdot D + a_2 \cdot H}$	تجريبي
14	$Y = e^{a_0 + a_1 \cdot D + a_2 \cdot H}$	تجريبي
15	$Y = e^{-a_0 + a_1 \cdot (D/D + a_2) + a_3 \cdot H}$	de Miguel وزملاؤه، 2014
16	$Y = e^{-a_0 + a_1 \cdot \ln D}$	Canadell وزملاؤه، 1988
17	$Y = e^{a_0 + a_1 \cdot D + a_2 \cdot \ln H}$	تجريبي
18	$Y = a_0 + a_1 \cdot D + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot DH$	2005, Zianis

تم تقدير ثوابت جميع الموديلات المجربة بالاعتماد على مبدأ مجموع المربعات الصغرى لأخطاء الموديل (OLS, Ordinary Least Squares) في برنامج Excel باستخدام الحائل (Solver).

اختبارات جودة الموديل:

تم اختبار جودة الموديلات باستخدام العديد من المعايير والطرائق الإحصائية والمأخوذة عن Pretzsch (2001) وهي:
- المتوسط المطلق لخطأ الموديل \bar{e} Model Bias = \bar{e} :

$$(19) \quad \bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)$$

- المتوسط النسبي لخطأ الموديل $\bar{e}\%$ Model Bias %:

$$(20) \quad \bar{e}\% = \frac{\bar{e} * 100}{\bar{Y}}$$

- الانحراف المعياري المطلق لمتوسط خطأ الموديل S_e Model Precision = S_e :

$$(21) \quad S_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n-1}}$$

- الانحراف المعياري النسبي لمتوسط خطأ الموديل $S_e\%$ Model Precision %:

$$(22) \quad S_e\% = \frac{S_e * 100}{\bar{Y}}$$

- دقة الموديل m_x Model Accuracy = m_x :

$$(23) \quad m_x = \sqrt{S_e^2 + \bar{e}^2}$$

- النسبة المئوية لدقة الموديل $m_x\%$ Model Accuracy %:

$$(24) \quad m_x\% = \frac{m_x * 100}{\bar{Y}}$$

حيث:

n: عدد القيم الفعلية، Y_i : القيمة الفعلية للكتلة الحيوية الجافة للشجرة التي ترتيبها (i)، \hat{Y}_i : القيمة المحسوبة أو المقدرة من خلال الموديل للكتلة الحيوية الجافة للشجرة التي ترتيبها (i). \bar{Y}_i : المتوسط الحسابي للقيم الحقيقية (i=1.....n).

معيار أكايكا الإحصائي (معيار المعلومة) Akaike's Criterion Information (AIC):

تقانة اختيار الموديل الجيد هي التي توازن بين الجودة والتعقيد، والموديلات الأكثر تعقيداً تكون أكثر قدرة على تكييف شكلها ليطابق البيانات، ولكن مع الموديلات المعقدة يكون شرح النتائج أكثر صعوبة.

يمكن أن تستخدم عدة طرائق لاختيار الموديل الأفضل تمثيلاً للبيانات، والذي يخفض من تعقيد بنية الموديل للحد الأدنى، ومن الطرائق الأكثر استخداماً لذلك معيار أكايكا الإحصائي (Ali, 2009) والذي يحسب بالمعادلة:

$$(25) \quad AIC = n \log(\hat{\sigma}^2) + 2k$$

$$\hat{\sigma}^2 = \sum \frac{\hat{\epsilon}_i^2}{n} \text{ حيث:}$$

وحيث $\hat{\epsilon}_i^2$ مجموع مربعات الانحرافات المقدرة و n : عدد العينات و k : عدد المتحولات الداخلة في تركيب الموديل. تمت المفاضلة بين الموديلات المستخدمة على أساس قيمة AIC ، إذ أن الموديل الأفضل حسب هذه الطريقة هو الذي يملك أقل قيمة لـ AIC.

النتائج والمناقشة

من بين الموديلات الكثيرة المجربة تم الانتقاء المبدئي للموديلات التي تملك قيمة أعلى من 0.90 لمعامل التحديد (R^2) أو لمعامل التحديد المعدل (R^2_{adj}) والتي يبلغ عددها 17 موديلاً (معادلة من 2 إلى 18 ، الجدول 4) ، وذلك بهدف استكمال اختبارات الموديلات عليها. تنوعت الموديلات المجربة (الجدول 4) بين الأسية (2 إلى 8) ، اللوغارتمية (9) والنيربية (10 إلى 17) والمعادلة من الدرجة الثانية (18) . تراوحت قيم معامل التحديد (R^2) بين 0.909 و 0.968 ، في حين تراوحت قيم معامل التحديد المعدل (R^2_{adj}) بين 0.902 و 0.968 وكان نحو 82 % من قيم هذا المعامل (14 معاملاً) أكبر من 0.95.

أظهرت المعادلة رقم 11 (الجدول 4) ، وهي معادلة نيبرية ، أفضل قيمة لمعامل التحديد R^2 (0.966) عند تقدير الكتلة الحية بدليل متغير واحد (القطر 0.3 D) ، في حين أظهرت المعادلة رقم 8 (الجدول 4) ، وهي معادلة أسية ، أفضل قيمة لمعامل التحديد المعدل R^2_{adj} (0.968) عند تقدير الكتلة الحيوية الكلية بدليل متغيرين (القطر 0.3 D والارتفاع H). تظهر الدراسة إذاً تقارباً كبيراً في قيمة معامل التحديد باستخدام متغير واحد (D0.3) أو متغيرين (D0.3 ، H) ما يستدعي إجراء اختبارات لجودة الموديل والمفاضلة بين هذه الموديلات أكثر. أظهرت اختبارات جودة الموديل أن أقل قيمة للمتوسط المطلق لخطأ الموديل \bar{e} (-0.07) وللمتوسط النسبي لخطأ الموديل \bar{e} (-0.30) كانت في المعادلة رقم 8 (الجدول 5) ، في حين كانت أقل قيمة للانحراف المعياري المطلق لمتوسط خطأ الموديل S_e (2.67) ، وللانحراف المعياري النسبي لمتوسط خطأ الموديل S_e (12.5 %) ، ولدقة الموديل m_x (2.87) ، وللنسبة المئوية لدقة الموديل m_x (12.96 %) في المعادلة رقم 4 (الجدول 5) .

بالنظر إلى عدم تفوق أية معادلة من المعادلات المدروسة بالاختبارات المطبقة جميعها ، بالرغم من تفوق المعادلة 4 بالعديد منها ، فقد تم اللجوء إلى اختبار Akaike's Information Criterion (AIC) لاختيار المعادلة الأفضل. تراوحت قيم AIC بين 17.3 (المعادلة 4 ، الجدول 5) و 30.27 (المعادلة 14 ، الجدول 5) ، وكانت أغلب قيم AIC في المعادلات الباقية بين 20 و 22 (الجدول 5) .

يمكن القول إذاً بأن المعادلة رقم 4 (الجدول 5) التي تقدر الكتلة الحيوية بدليل القطر على ارتفاع 30 سم (D0.3) والارتفاع الكلي (H) هي الأفضل لتفوقها في أغلب اختبارات جودة الموديل ، إذ بلغت قيمة المتوسط النسبي لخطأ الموديل \bar{e} = 3.44 % (الجدول 5) ، وهذا يعني أن الموديل بشكل عام ينحرف عن الحقيقة بمقدار 3.44 % . كما بلغ انحراف أخطاء الموديل عن متوسطها ، والذي يمثل النسبة المئوية لدقة الموديل S_e 12.5 % ، وهذا يعني أنه على فرض أن توزع خطأ الموديل كان توزيعاً طبيعياً فإن 95 % من القيم المقدرة لن تنحرف أكثر من 12.5 % عن القيم الحقيقية وهو يعدّ انحرافاً مقبولاً (Pretzsch, 2001) ، كما أن قيمة AIC لهذا الموديل كانت أصغر من قيمه لبقية الموديلات بشكل واضح ما يسمح باقتراحه موديلاً لتقدير الكتلة الحيوية الجافة للسنديان العادي الموجود على شكل ماكي على السفح الشرقي للجبال الساحلية في سورية ، وفيما يلي شكل الموديل بعد تعويض الثوابت المحسوبة له (معادلة 26) :

$$(26) \quad Y = 0.03 * D0.3^{2.26} * H^{0.82}$$

حيث:

Y: الكتلة الحيوية الجافة الكلية للسنديان العادي.

D0.3: قطر الساق (سم) على ارتفاع 30 سم من سطح التربة.

H: الارتفاع الكلي للساق.

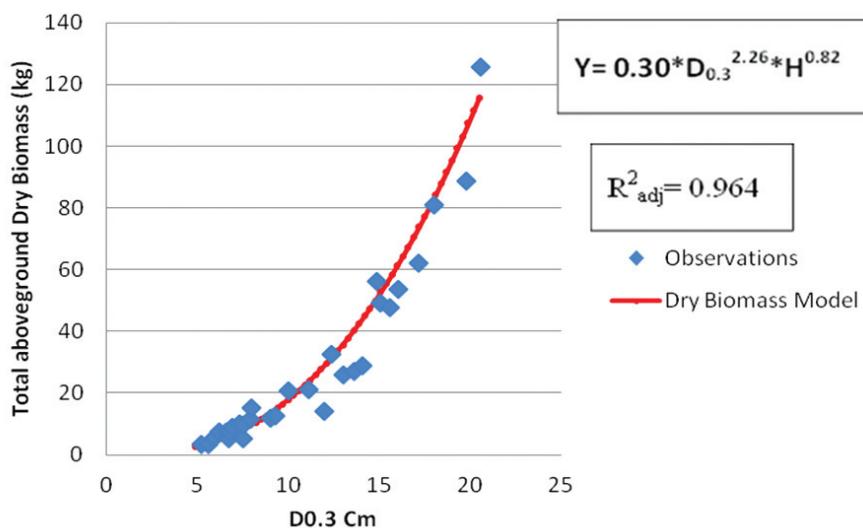
يستطيع هذا الموديل (الشكل 2) تفسير 96.4 % من التباين الموجود في القيم الحقيقية ، كما يظهر الشكل 3 التوزيع المتجانس للعينات التي تم فيها تقدير الكتلة الحيوية الكلية الجافة باستخدام الموديل المعتمد حول خط الـ 45 ، إذ يلاحظ أن القيم المقدرة قريبة جداً من القيم الحقيقية.

الجدول 4. الموديلات المعتمدة لإجراء الاختبارات مع ثوابتها.

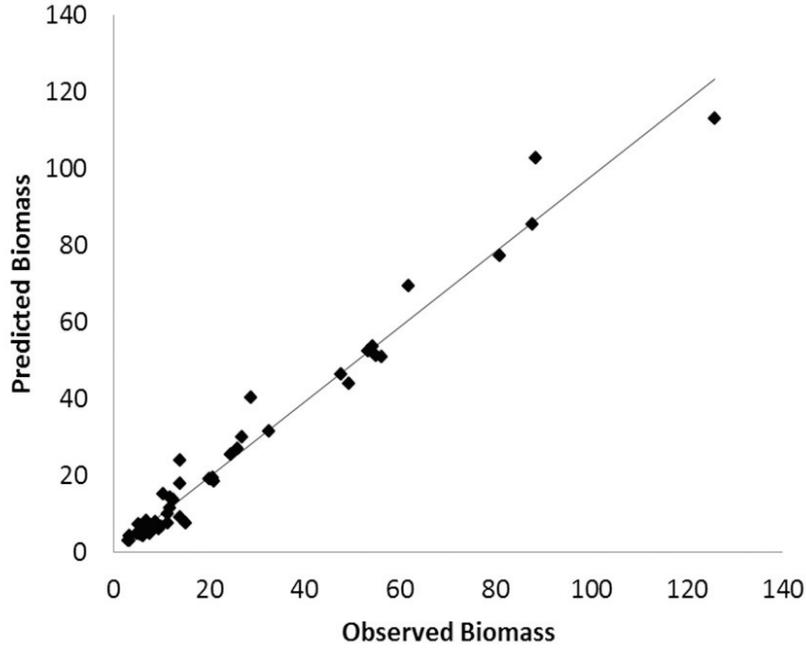
رقم المعادلة	المعادلة	R ²	R ² _{adj}	ثوابت المعادلة				
				a0	a1	a2	a3	a4
2	$Y=a_0*D_{0.3}^{a1}$	0.960	-	0.021	2.843	-	-	-
3	$Y=a_0+a_1*D_{0.3}^{a2}$	0.965	0.963	4.821	0.005	3.306	-	-
4	$Y= a_0*D_{0.3}^{a1}*H^{a2}$	0.967	0.964	0.030	2.260	0.820	-	-
5	$Y=a_0*D_{0.3}^{a1}+a_2*H$	0.968	0.965	0.003	3.421	1.783	-	-
6	$Y=a_0+a_1*D_{0.3}^{a2}+a_3*H$	0.968	0.965	0.010	0.003	3.421	1.780	
7	$Y=a_0*D_{0.3}^{a1}+a_2*H^{a3}$	0.968	0.965	0.042	2.535	0.00003	8.068	-
8	$Y=a_0+a_1*D_{0.3}^{a2}+a_3*H^a$	0.970	0.968	3.532	0.008	3.116	0.001	5.8
9	$Y=a_0+a_1*D_{0.3}^{a2}+a^3*Ln H$	0.967	0.965	0.0001	0.004	3.412	4.870	
10	$Y =e^{a0+a1*D}$	0.964	-	0.925	0.187	-	-	-
11	$Y =e^{a0+a1*(D/D+a2)}$	0.966	-	0.244	18.316	62.874	-	-
12	$Y =e^{a0*D+a1*H}$	0.950	0.946	0.143	0.344	-	-	-
13	$Y =e^{a0+a1*D+a2H}$	0.966	0.963	0.774	0.166	0.107	-	-
14	$Y =e^{a0+a1*D*a2H}$	0.934	0.929	2.019	0.059	0.419	-	-
15	$Y =e^{-a0+a1*(D/D+a2)+a3*H}$	0.967	0.964	0.0001	18.283	58.789	0.490	
16	$Y =e^{-a0+a1*LnD}$	0.960	-	3.874	2.843	-	-	-
17	$Y =e^{a0+a1*D+a2*lnH}$	0.964	0.962	0.00001	0.148	1.020	-	-
18	$Y=a_0+a_1*D+a_2*D^2+a_3*DH$	0.909	0.902	0.00001	0.00001	0.223	0.00001	-

الجدول 5. اختبارات جودة الموديلات.

	المعادلة	Model Bias	Model Bias %	Model Precision	Model Precision %	Model Accuracy	Model Accuracy %	AIC
2	$Y=a_0*D_{0.3}^{a1}$	0.98	4.41	4.31	19.51	4.42	20.00	20.59
3	$Y=a_0+a_1*D_{0.3}^{a2}$	-0.50	-2.26	3.95	17.87	3.98	18.02	19.45
4	$Y= a_0 *D_{0.3}^{a1}*H^{a2}$	0.76	3.44	2.76	12.50	2.87	12.96	17.3
5	$Y=a_0*D_{0.3}^{a1}+a_2*H$	-0.38	-1.71	3.68	16.65	3.70	16.73	20.6
6	$Y=a_0+a_1*D_{0.3}^{a2}+a_3*H$	-0.38	-1.71	3.68	16.65	3.70	16.73	20.6
7	$Y=a_0*D_{0.3}^{a1}+a_2*H^{a3}$	0.60	2.69	3.07	13.87	3.12	14.13	18.41
8	$Y=a_0+a_1*D_{0.3}^{a2}+a_3*H^{a4}$	-0.07	-0.30	3.15	14.25	3.15	14.26	18.51
9	$Y=a_0+a_1*D_{0.3}^{a2}+a_3*LnH$	-0.35	-1.58	3.76	17.02	3.78	17.09	20.87
10	$Y =e^{a0+a1*D}$	-0.71	-3.21	4.36	19.74	4.42	20.00	20.94
11	$Y =e^{a0+a1*(D/D+a2)}$	-0.21	-0.97	4.01	18.14	4.02	18.16	19.66
12	$Y =e^{a0*D+a1*H}$	1.71	7.74	5.23	23.65	5.50	24.88	25.81
13	$Y =e^{a0+a1*D+a2H}$	-0.72	-3.26	4.01	18.15	4.08	18.44	21.87
14	$Y =e^{a0+a1*D*a2H}$	-1.27	-5.75	7.66	34.67	7.77	35.15	30.27
15	$Y =e^{-a0+a1*(D/D+a2)+a3*H}$	-0.49	-2.22	3.97	17.97	4.00	18.11	21.63
16	$Y =e^{-a0+a1*LnD}$	0.97	4.39	4.33	19.57	4.43	20.05	20.59
17	$Y =e^{a0+a1*D+a2*LnH}$	0.07	0.33	4.32	19.54	4.32	19.54	22.61
18	$Y =a_0+ a_1*D+a_2*D^2 +a_3*DH$	-3.79	-17.13	5.87	26.54	6.98	31.59	29.01



الشكل 2. القيم المسجلة (النقاط) والمحسوبة (الخط) للكتلة الحيوية الكلية فوق الأرضية الجافة باستخدام الموديل المعتمد.



الشكل 3. توزيع القيم المقاسة والمقدّرة باستخدام الموديل حول خط ال-45.

تبين هذه النتائج أهمية استخدام الارتفاع للتنبؤ بالكتلة الحية إضافة للقطر في ماكي السنديان العادي، وتؤكد المشاهدة الحقلية ذلك، إذ تتشابه الأقطار في أفرع الأرومة الواحدة بشكل كبير في حين تختلف الارتفاعات بشكل واضح. يذكر Wirth وزملاؤه (2004) زيادة إمكانية تطبيق الموديل على طيف أوسع من المجموعات الحرجية عندما يؤخذ الارتفاع كمتغير إضافة للقطر، وذلك لما يقدمه الارتفاع من معلومة إضافية عن النمو وظروف الموقع، كما يؤكد Chave وزملاؤه (2005) أهمية استخدام القطر والارتفاع في تقدير الكتلة الحية في المحاكاة عندما يكون هناك عدة نظم ممكنة للمعالجة لأن استنتاج الجذع (Stem taper) والنسبة (d/h) يعكسان ظروف النمو السابقة للشجرة. في حين، يرى كل من Ter-Mikaelian و Korzukhin (1997) و Aguilar وزملائه (2012) عدم ضرورة أخذ الارتفاع كمتغير ثانٍ عند بناء المعادلات الألويمترية لتقدير الكتلة الحيوية لأفرع المنسفة لأنه لا يحسن من دقة الموديل إلا بنسبة صغيرة جداً.

بالرغم من كثرة الدراسات التي تهتم بتقدير الكتلة الحيوية للأنواع الحرجية الرئيسية في العالم، ومنها السنديانيات فإن أغلب هذه الدراسات تهتم بالمجموعات الحرجية الموجودة على شكل غابة عالية في حين أن الدراسات التي تتناول تقدير هذه الكتلة الحيوية في المجموعات الموجودة على شكل منسفة، ولاسيما السنديانيات منها نادرة، وتكاد تقتصر على الأنواع المشجرة بقصد الحصول على الكتلة الحيوية الخشبية كأوكالبتوس والهور بشكل أساس. لقد تمكن Ruiz-Peinado وزملاؤه (2012) مثلاً من تقدير الكتلة الحيوية في أجزاء مختلفة من خمسة أنواع من جنس السنديان (*Quercus*) مستخدمين العديد من الموديلات الأسية باستخدام القطر مفرداً أو مع الارتفاع. كما قام Aguilar وزملاؤه (2012) باستخدام المعادلات الأسية البسيطة بدلالة القطر لتقدير الكتلة الحيوية فوق الأرضية وبدرجة عالية من الدقة لنوعين من السنديان موجودين على شكل منسفة بسيطة في المكسيك.

إن الدراسات التي تتناول تقدير الكتلة الحيوية للأنواع الحرجية الرئيسية في سورية قليلة جداً ولم تبدأ إلا حديثاً. فبعد الدراسة التي أجراها مركز الأبحاث الحرجية في بوقا في ستينيات القرن الماضي والتي وضع فيها جداول لتقدير الكتلة الحية الرطبة للشجرة ولبعض مكوناتها في الصنوبر البروتي *Pinus brutia* في شمالي اللاذقية اعتباراً من المساحة القاعدية والارتفاع (نحال، 1982) لم تكن هناك دراسة معروفة في سورية عن هذا الموضوع حتى السنوات الأخيرة حيث قام سليمان (2013) ببناء موديل رياضي (أسي) لحساب الكتلة الحيوية الكلية الجافة للصنوبر البروتي في منطقة ربيعة (اللاذقية) بدلالة القطر على مستوى الصدر (DBH) اعتباراً من عينة تحوي 10 أشجار، وبالرغم من القيمة الممتازة لمعامل التحديد (0.945) فإن الدراسة المذكورة لم تختبر جودة الموديل، كما قارن الباحث نفسه نتائجه بما كان قد نشره نحال (1982) ووجد أن أرقامه تفوق بشكل عام ما كانت قد توصلت إليه الدراسة المذكورة سابقاً. قام كذلك برهوم (2014) باختبار المعادلة الأسية البسيطة لحساب الكتلة الحيوية الرطبة بدلالة القطر على ارتفاع الصدر لأشجار الصنوبر البروتي *Pinus brutia* والنمري *Pinus brutia* والأوكالبتوس المنقاري *Eucalyptus camaldulensis* في منطقة الغاب في سورية اعتباراً من عينات تراوح عددها بين 7 إلى 10 أشجار، وأظهرت نتائجه دقة جيدة للموديلات المختبرة.

كما نشر De Miguel وزملاؤه (2014) دراسة لتقدير الكتلة الحيوية الكلية الجافة للسنوبر البروتي وبعض مكوناته (جذع، أغصان، أوراق) في سورية ولبنان اعتباراً من 201 شجرة من أعمار وأحجام ومواقع مختلفة، وتم اقتراح العديد من الموديلات ذات الجودة الممتازة لتقدير الكتلة الحيوية لهذا النوع في سورية آخذين بعين الاعتبار تأثير بعض العوامل ضمن النوع الواحد في تقدير الكتلة الحيوية، مثل كون المجموعة الحرجية موحدة العمر أو مختلفة الأعمار.

تعدّ هذه الدراسة إذاً الأولى في سورية التي تضع معادلة تسمح بتقدير الكتلة الحيوية للسنديان العادي اعتباراً من قياسات بسيطة للقطر والارتفاع وبدرجة جودة ممتازة، ولاسيما في ماكي السنديان العادي الذي يغطي مساحات واسعة على الجبال الساحلية السورية، ويقدم منتجات خشبية وخدمات متنوعة للسكان المحليين ويمكن لهذا الموديل أن يساهم بشكل كبير في حسن إدارة وتنظيم هذه التكوينات في المستقبل.

من الضروري تحسين القدرة التنبؤية لهذا الموديل في المستقبل من خلال زيادة عدد العينات. فبالرغم من العدد المعقول للعينات (45 عينة) في هذه الدراسة، اقتصر أغلب المعادلات التي تحسب الكتلة الحية في الأنواع الحرجية في أوروبا مثلاً على عدد عينات يراوح بين 6 و 40 عينة (Zianis وزملاؤه، 2005). إلا أن باحثين آخرين لا ينصحون بتقدير الكتلة الحية باستخدام المعادلات الألوومترية التي تستند على عدد من العينات يقل عن 100 عينة من الأشجار (Chave وزملاؤه، 2004).

كما أنه من الأفضل بناء موديلات رياضية لتقدير الكتلة الحيوية للمكونات المختلفة لشجرة السنديان (ساق رئيسية، وأغصان، وأوراق) بأخذ بنية الغابة والمعاملات التربوية في عين الاعتبار. وضمن هذا الإطار، فقد أشار De Miguel (2014) إلى ضرورة اعتبار أجزاء الشجرة وبنية الغابة والمعاملات التربوية السابقة عند الرغبة بالتنبؤ بالكتلة الحية ومخزون الكربون في أجزاء مختلفة من الغابة، ولاسيما عند استخدام القطر كمتغير وحيد في التنبؤ.

الاستنتاجات والمقترحات

- تم التوصل لبناء موديل رياضي لتقدير الكتلة الحيوية الجافة للسنديان العادي الموجود على صورة ماكي على السفح الشرقي للجبال الساحلية في سورية بدرجة ممتازة من الجودة.
- يمكن لهذا الموديل الرياضي المقترح أن يسمح للحرايين بحساب الكتلة الحيوية للسنديان العادي في المنطقة المدروسة بدلالة القطر والارتفاع، وبالتالي توفير الكثير من الجهد والوقت.
- المتابعة في استخدام هذا الموديل لحساب مخزون الكربون في هذه المجموعات.
- اختبار هذا الموديل على التكوينات الحرجية نفسها على السفح الغربي للجبال الساحلية.
- إعداد موديلات لتقدير الكتلة الحيوية لمكونات السنديان العادي (أغصان، أوراق، ثمار...) لما لها من استخدامات أخرى متنوعة.

المراجع

- برهوم، أنس. 2014. تقييم نجاح بعض مواقع التحريج الاصطناعي في سهل الغاب في سورية. رسالة ماجستير، جامعة تشرين، 80 ص.
- سليمان، تمام. 2013. نمذجة مؤشر جودة الموقع و تقدير الكتلة الحيوية لغابات السنوبر البروتي. *Pinus brutia* Ten. في منطقة ربيعية - اللاذقية. رسالة ماجستير، جامعة تشرين، 62 ص.
- نحال، إبراهيم. 1982. السنوبر البروتي *Pinus brutia* وغاباته في سورية وبلاد شرقي المتوسط، منشورات جامعة حلب، 228 ص.
- Aguilar R., A. Ghilardi, E. Vega, M. Skutsch and K. Oyama . 2012. Sprouting productivity and allometric relationships of two oak species managed for traditional charcoal making in central. *Biomass and bioenergy*, 36: 192 - 207.
- Albert K, P. Annighöfer, J. Schumacher and C. Ammer. 2014. Biomass equations for seven different tree species growing in coppice-with-standards forests in Central Germany, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (3): 210 - 221.
- Ali, W. 2009. Modelling of Biomass Production Potential of Poplar in Short Rotation Plantations on Agricultural Lands of Saxony, Germany, Doctoral thesis, TU Dresden, Tharandt, Institute of Forest Growth and Forest Computer Sciences. 130 P.
- Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ Pollut* 116: 363 - 372.
- Canadell J., M. Riba and P. Andres, 1988. Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny Massif, Northeastern Spain. *Forestry*, 61 (2): 137 - 147.
- Chave J., C. Andalo, S. Brown, M.A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J.-P. Lescure, B. W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riera and T. Yamakura. 2005. Tree allometry and improved The Arab Journal for Arid Environments 11 (1 - 2) 2018

- estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 87 - 99.
- Cienciala E., J. Apltauer, Z. Exnerová and F. Tatarinov. 2008. Biomass functions applicable to oak trees grown in Central-European forestry. *Journal of Forest Science*, 54(3): 109 - 120.
 - De-Miguel, S. T. Pukkala N. Assaf and Z. Shater. 2014. Intra-specific differences in allometric equations for aboveground biomass of eastern Mediterranean *Pinus brutia*, *Annals of Forest Science*, (71)1: 101 - 112.
 - Eggleston R.A., L. Buendia, K. Miwa, T. Nagara and K.Tanabe. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas inventories volume- IV Agriculture, Forestry and other Land uses, Institute of Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.
 - Grace J., 2004. Understanding and managing the global carbon cycle. *J. Ecol.*, 92:189 - 202.
 - Harrington RA., and JH. Fownes. 1993. Allometry and growth of planted versus coppice stands of 4 Fast-growing tropical tree species. *For. Ecol. Manage.* 56:315 - 27.
 - Henry M., N. Picard, C. Trotta, R.J. Manlay, R. Valentini, M. Bernoux and L. Saint-André. 2011. Estimating tree biomass of Sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations. *Silva Fenn*, 45: 477 - 569.
 - Houghton R.A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Glob. Change Biol.*, 11:945 - 958.
 - Jenkins J. C., D. C. Chojnacky, L. S. Heath and R. A. Birdsey. 2003. National-Scale Biomass Estimators for United States Tree Species. *Forest Science*, 49(1): 12 - 35.
 - Gibbs H.K. S. Brown, J.O. Niles and J.A. Foley. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environment Research Letters*, 2: 1 - 13.
 - Nahal I., and S. Zahoueh, 2005. Valuing Mediterranean Forests, Towards Total Economic Value, (12-Syria), eds. M. Merlo and L. Croitoru, CABI Publisher, 406p.
 - Pretzsch H., 2009. Forest dynamics, growth and yield. From Measurement to Model. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 664p.
 - Pretzsch, H. 2001. Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag Berlin, 341 pp.
 - Quézel P., R. Médail, R. Loisel and M. Barbero. 1999. Biodiversity and conservation of forest species in the Mediterranean basin. *Unasylva*, 50, 197: 11p.
 - Ravindranath N.H., and M. Ostwald, 2008. Methods for estimating above-ground biomass. In N.H. Ravindranath and M. Ostwald, Carbon inventory Methods: Handbook for greenhouse gas inventory, carbon mitigation and roundwood production projects. Springer Science+ Business Media B.V.:113 - 114.
 - Rodger A.S., 1993. The carbon cycle and global forest ecosystem. *Water, Air and Soil Pollution*, 70: 295 - 307.
 - Ruiz-Peinado R., G. Montero and M. del Rio. 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *Forest Systems*, 21(1): 42 - 52
 - Shelly, J.R . 2008 a. Biomass utilization reduces the wildfire hazard in southern California. In: Woody biomass utilization: challenges and opportunities. Proceedings of the Forest Products Society 60th International Convention. June 26, 2006. J.R. Shelly, M. E. Puettmann, K.E. Skog, H.S. Han, ed. Newport Beach, CA. Forest Products Society : 85 - 87.
 - Shelly J. R., 2008 b. Woody biomass: what is it. What do we do with it University of California Berkely 8p.
 - Ter-Mikaelian MT., and M.D. Korzukhin, 1997. Biomass equations for sixtyfive North American tree species. *For. Ecol. Manage.*, 97:1 - 24
 - USFS, 2008. Woody Biomass Utilization. Accessed November 17, 2014. <http://www.fs.fed.us/woodybiomass/whatis.shtml>.
 - Vashum K. T., and S. Jayakumar, 2012. Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests-A review. *J. Ecosyst. Ecogr.*, 2(4): 7p.
 - Weisberg S., 2005. Applied Linear Regression, Third Edition. 310 pp.
 - Wirth C., J. Schumacher and E.D.Schulze. 2004. Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe – a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiol.* 24: 121 - 139.
 - Zianis D., P. Muukkonen, R. Mäkipää and Mencuccini, M. 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fenn Monographs*, 4, 63 p.

N° Ref: 590