

نمذجة الكتلة الحيوية للصنوبر البروتي *Pinus brutia* Ten. في موقع تحريج كفردبيل - منطقة جبلة باستخدام الصور الفضائية Sentinel-2

حنان خنيصة* (1) وإيلين محفوض (1) وعلي ثابت (2)

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

(2). قسم الموارد الطبيعية المتجددة والبيئة، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حلب، حلب، سورية.

(*للمراسلة: م. حنان خنيصة، البريد الإلكتروني: hanankhnaiseh@gmail.com).

تاريخ الاستلام: 2023/09/30 تاريخ القبول: 2023/12/24

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى نمذجة الكتلة الحيوية فوق الأرضية الرطبة لأشجار الصنوبر البروتي *Pinus brutia* Ten. في موقع تحريج كفردبيل في منطقة جبلة بالاعتماد على المؤشرات النباتية الطيفية المحسوبة من الصور الفضائية. نُفذت الدراسة في صيف عام 2019، حيث أُخذت 20 عينة مربعة الشكل بمساحة 3600 م² لكل منها موزعة على كامل الموقع بشكل عشوائي والذي تبلغ مساحته 114 هكتار. تمّ قياس القطر (dbh) لجميع الأشجار في العينات المدروسة. كما تمّ قطع 10 أشجار (ممثلة لجميع صفوف الأقطار) ووزنها من أجل تقدير كتلتها الحيوية، ومن ثم استخدمت قياساتها لتشكيل النموذج الرياضي من الشكل قوة لتقدير الكتلة الحيوية بالاعتماد على القطر على مستوى العينات. تمّ حساب مجموعة من المؤشرات النباتية الطيفية بهدف دراسة ارتباطها مع الكتلة الحيوية وهي NDVI، RDVI، LCI، NDMI، OSAVI و NDRE. حُسبت هذه المؤشرات من صورة Sentinel-2 باستخدام برنامج Arc gis 10.3، ومن ثم صُممت نماذج خطية تسمح بتقدير الكتلة الحيوية بالاعتماد على قيم تلك المؤشرات النباتية الطيفية. توصلت الدراسة لوجود ارتباط قوي بين مؤشري NDVI و OSAVI مع الكتلة الحيوية، في حين لم يستطع النموذج الخطي المعتمد على مؤشر NDMI تمثيل الكتلة الحيوية بشكل دقيق.

الكلمات المفتاحية: الصنوبر البروتي *Pinus brutia*، نموذج رياضي، الكتلة الحيوية فوق الأرضية، المؤشرات النباتية الطيفية، موقع تحريج كفردبيل.

المقدمة:

تُعرف الكتلة الحيوية الخشبية Woody biomass بأنها الأشجار والنباتات الخشبية بأجزائها المختلفة (متضمنة الجذور والأغصان والأوراق...) التي تنمو في الغابات والأراضي الحراجية والمراعي وتلك التي تنتج عن إدارة الغابة (USFS, 2008). وتُشكل الكتلة الحيوية فوق الأرضية ما بين 70-90% من إجمالي الكتلة الحيوية للغابات (Cairns et al., 1997). تُعد الغابات من بين أهم الموارد الأرضية التي يمكن استخدامها لإدارة الاحتباس الحراري، لأنها تقوم بحجز الكربون من الغلاف الجوي في الكتلة الحيوية من خلال عملية التمثيل الضوئي (Favero et al., 2020). وتبلغ كمية الكربون المحجوزة في الغابات 47.5-50% من الكتلة الحيوية الجافة للغابات (Cairns et al., 2003). إذًا تشكل الكتلة الحيوية للغابات مصدراً أساسياً للمعلومات، من أجل فهم وتقدير أفضل لدورة الكربون العالمية، وتعتبر مكوناً حاسماً في إدارة الغابات وتخطيط التنمية الوطنية (Khan et al., 2020).

2021). كما تلعب الكتلة الحيوية دوراً هاماً في موضوع الطاقة المتجددة (Kumar et al., 2015)، إذ تُستخدم لإنتاج الطاقة الحيوية بأشكالها المختلفة الوقود والغاز الحيوي، الحرارة والكهرباء (Davis et al., 2014). بالإضافة إلى ذلك، يشكل تقدير الكتلة الحيوية أهمية كبيرة في خطط حرائق الغابات، إذ تعتبر الكتلة الحيوية للغابات وخاصة الكتلة الحيوية للتاج والبقايا الجافة عوامل مهمة في أي نموذج للتنبؤ بحرائق الغابات (Kumar and Mutanga, 2017). فالتقدير الدقيق لكمية الكتلة الحيوية أمر ضروري في الإدارة المستدامة للغابات وتجارة خشب الوقيد (Knoke et al., 2021)، وتقييم حالة الموائل وقدرتها الإنتاجية (Kovac et al., 2020)، كما أن مراقبة التغيرات في كمية الكتلة الحيوية، والعمليات الأساسية التي تؤدي إلى تغييرها (الحرائق، قطع الأشجار، العواصف، وتغير استعمال الأراضي...) أمر مطلوب أيضاً في خطط إدارة الغابات الاستراتيجية وتثبيت الكربون.

تُعد طرائق القياس الحقلية التقليدية لتقدير الكتلة الحيوية هي الأكثر دقة، ولكنها تغدو عملية صعبة عند ضرورة تقديرها على مساحات واسعة بسبب الكلفة العالية للقياسات الحقلية والوقت الطويل الذي تستغرقه، في حين تتمتع تقنيات الاستشعار عن بُعد، مقارنة مع هذه الطرائق بالعديد من الميزات في تقدير الكتلة الحيوية، حيث تسمح هذه التقنيات بتقديرها وفق مقاييس مختلفة تتراوح من المستوى المحلي إلى الإقليمي، مع توفير كبير في الكلفة والعمالة والوقت (Kumar et al., 2015). وبالتالي فإن استخدام الصور الفضائية المتوفرة حديثاً والتي تتميز بدقات مكانية وزمنية وطيفية عالية (مثل Sentinel-2)، في نمذجة الكتلة الحيوية، من خلال تطبيق علاقات الانحدار الخطي البسيط، وبالاعتماد على مؤشرات نباتية طيفية تعكس القيم الطيفية للغطاء النباتي في مختلف القنوات الطيفية المكونة للصورة، يقدم حلاً مستقبلياً مهمة لكل الصعوبات التي تعيق الحصول على تقدير دقيق للكتلة الحيوية.

وعليه يهدف هذا البحث إلى نمذجة الكتلة الحيوية لأشجار الصنوبر البروتي *Pinus brutia* Ten. في موقع تحريج كفريديل في جبلة بالاعتماد على مجموعة من المؤشرات النباتية الطيفية المحسوبة من صور Sentinel-2.

استخدام الاستشعار عن بُعد في تقدير الكتلة الحيوية

إنَّ الإمكانات التي تتميز بها بيانات الأقمار الصناعية مثل المعالجة السريعة والتحليل والتوافق مع نظم المعلومات الجغرافية والاستمرارية، جعلت منها مزوداً ممتازاً للمعلومات الحراجية (Pande et al., 2021). حيث تُعد النماذج التي تم تطويرها بالاستناد إلى العلاقات بين بيانات الكتلة الحيوية المقاسة حقلياً، وبيانات الاستشعار عن بُعد المستمدة من القنوات الطيفية ومؤشرات الغطاء النباتي ذات أهمية كبيرة لإعداد خرائط الكتلة الحيوية (Castillo et al., 2017).

تُستخدم الانعكاسات الطيفية لفهم طبيعة خصائص الغطاء النباتي، ومع ذلك فهي تتأثر بعوامل مختلفة مثل تكوين النباتات، وخصائص التربة، والظروف الجوية، والتضاريس ومحتوى الرطوبة (Chen and Wang, 2008). ومؤشرات الغطاء النباتي هي عبارة عن علاقات رياضية تعبر عن الانعكاس الطيفي للغطاء النباتي في القنوات الطيفية المختلفة والذي يُستخدم في تفسير الكتلة الحيوية للغطاء النباتي (Rahman et al., 2003; Patel et al., 2007). يستند المفهوم الأساس لفهم مؤشرات الغطاء النباتي إلى أنَّ الغطاء النباتي له انعكاس عالٍ للأشعة تحت الحمراء القريبة وذلك بسبب التشتت الناتج عن بنية الخلايا الورقية، وانعكاس منخفض للأشعة الحمراء بسبب الامتصاص بواسطة صبغة الكلوروفيل. وتستخدم هذه المؤشرات لتقييم العديد من خصائص الغطاء النباتي مثل مساحة الأوراق والكتلة الحيوية والأنشطة الفيزيولوجية الأخرى (Baret and Guyot, 1991). كما تُستخدم مؤشرات

الغطاء النباتي لإزالة التباينات التي تحدث في قياس الانعكاس الطيفي في أثناء قياس الخصائص الفيزيائية الحيوية والنتيجة عن التربة والتأثيرات الشمسية والظروف الجوية (Lu, 2006).

يعتمد تقدير الكتلة الحيوية من هذه البيانات عادةً على نماذج الانحدار بالاعتماد على النطاقات الطيفية بحد ذاتها أو مؤشرات الغطاء النباتي. تُطبق هذه الأساليب بشكل أكبر على النظم البيئية ذات الكتلة الحيوية المنخفضة مثل الغابات المتوسطة، حيث لا يكون تشبع قيم الاستشعار عن بُعد شائعاً كما هو الحال في النظم البيئية الاستوائية (Galidaki et al., 2017).

تُعد صور Sentinel-2 من بيانات الأقمار الصناعية ذات الدقة المهمة، تختلف هذه الصور عن الصور الفضائية الأخرى مثل Landsat أو MODIS أو غيرها، بوجود ثلاثة نطاقات طيفية إضافية للنباتات في منطقة الحافة الحمراء (RE) ونطاق ضيق قريب من الأشعة تحت الحمراء (NNIR)، وكلاهما بدقة 20 متراً (Forkuor et al., 2018)، تُقدم مناطق الانعكاس هذه بصمات طيفية غير مسبقة فهي تُعد شديدة الحساسية للاستجابات الفيزيائية والكيميائية الحيوية للنباتات الضرورية لقياس خصائص الغطاء النباتي مثل الكتلة الحيوية (Pandit et al., 2018). ومع ذلك، فإن الغطاء السحابي المستمر يقلل من توفر الملاحظات الواضحة، كما تتعرض هذه الصور لمشاكل تشبع البيانات فوق مناطق الغابات ذات الكتلة الحيوية المرتفعة. يحدث التشبع في المواقع التي يغطي فيها الغطاء النباتي المنطقة بالكامل إذ تزداد الكتلة الحيوية بينما تبقى قيمة المؤشر الطيفي ثابتة، وذلك نتيجة الانعكاس العالي للأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والامتصاص الأقصى للأشعة الحمراء (R) بنسبة 100% (Imran et al., 2020).

يُعد مؤشر اختلاف الغطاء النباتي القياسي (NDVI) الأكثر استخداماً من بين مؤشرات الغطاء النباتي، ويتم تطبيقه عادةً لتحليل الغطاء النباتي وتغيراته الزمنية على المستويات المحلية والإقليمية (Ali et al., 2018). كما يوجد عدد من مؤشرات الغطاء النباتي المعدلة لأثر التربة والتي تُستخدم لتقليل تأثير انعكاس التربة. فقد طوّر Rondeaux وآخرون (1996) مؤشر الغطاء النباتي المحسن المضبوط وفق التربة (OSAVI) والذي أعطى نتائج مرضية بشأن الحد من اشعاع التربة في ظروف الغطاء النباتي ذو الكثافة المنخفضة والعالية. قد يختلف استخدام مؤشر الغطاء النباتي الأنسب بناءً على الهدف من الدراسة والمواقع الجغرافية ونوع غابات المنطقة المدروسة، وبالتالي فإن اختيار المؤشر المناسب يحتاج إلى دراسة معمقة لفهم المعالجة الأنسب التي يمكن تطبيقها في بيئات مختلفة (Das and Singh, 2012).

غالباً ما تم استخدام مؤشرات الغطاء النباتي، وخاصة مؤشر الغطاء النباتي القياسي (NDVI)، مع نتائج نجاح مختلفة. ففي دراسة لـ Imran وآخرون (2020) في باكستان لمجموعة من المؤشرات الطيفية، كان ارتباط مؤشر (NDVI) ضعيفاً بمعامل تحديد 0.51 وكان ذلك بسبب تشبع البيانات بسبب البنية المعقدة للغابة المدروسة. كما أفادت دراسة لـ Foody وآخرون (2001) وجود علاقة ضعيفة بين (NDVI) والكتلة الحيوية. بينما وجدت علاقة ارتباط جيدة بين مؤشر (NDVI) ومؤشر الغطاء النباتي المحسن (EVI)، وتغيرات الكتلة الحيوية لغابة متوسطة من السنديان الأخضر *Quercus ilex* في إسبانيا Ogaya et al., (2015).

كما توصل Singh و Das (2012) إلى أنَّ مؤشرات الغطاء النباتي (OSAVI, MSAVI, RVI, MSR, RDVI, NDVI) لها ارتباطات موجبة مع الكتلة الحيوية فوق الأرضية. وفي دراسة لـ Askar وآخرون (2018) لتقدير الكتلة الحيوية في اندونيسيا باستخدام صور Sentinel-2 وبالاعتماد على مجموعة من المؤشرات النباتية الطيفية أعطت جميع المؤشرات علاقة جيدة مع الكتلة الحيوية. وفي دراسة أخرى لـ Nguyen و Nguyen (2021) في فيتنام لـ 27 مؤشر وباستخدام نوعين من الصور

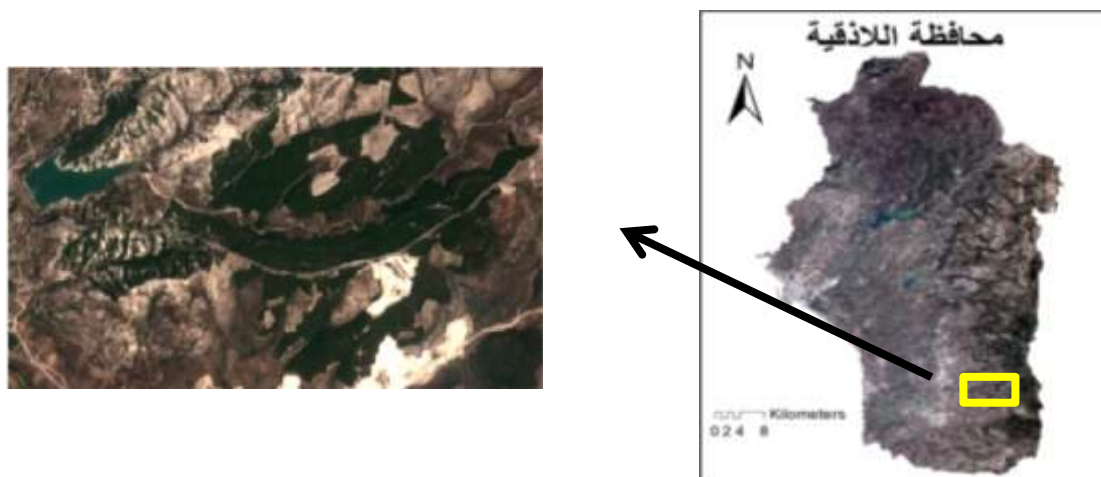
Landsat-8 و Sentinel-2 تبيّن وجود قيم ارتباط عالية بين بيانات الكتلة الحيوية والاستشعار عن بُعد وتحديدًا مع مؤشرات الغطاء النباتي المشتقة من Sentinel-2.

أظهرت النتائج العامة للدراسات التي تمت مراجعتها أنّ تقدير الكتلة الحيوية المعتمد على المؤشرات النباتية يتأثر بنوع الغطاء النباتي وطبقات الغابة (Calvão and Palmeirim, 2004)، وكذلك بزمن أخذ الصورة، إذ إنّ تاج الأشجار المكتمل صيفاً يسمح بالحصول على تقدير أدق (Maselli et al., 2000)، وكذلك باستخدام بيانات الأمطار (Shoshany and Karnibad, 2011). كما أظهرت الأبحاث السابقة نتائج مختلفة لمنهجيات النمذجة المستخدمة للتقدير التجريبي للكتلة الحيوية فوق الأرضية باستخدام الاستشعار عن بُعد والبيانات الحقلية، فكان من الصعب استنتاج تفوّق أحدها على الآخر. وبالتالي يجب تقييم النطاقات الطيفية والمؤشرات البصرية المستخدمة لتقدير الكتلة الحيوية عند كل تطبيق (Lu, 2006; Kasischke et al., 2014). مع أهمية مراعاة نوع الغابة، والعوامل الطبوغرافية وأهداف الدراسة (Pandit et al., 2018).

مواد البحث وطرائقه:

موقع الدراسة

يقع موقع الدراسة (موقع تحريج كفرديبل) في منطقة جبلية التابعة لمحافظة اللاذقية على ارتفاع 240-300 م عن سطح البحر وتبلغ مساحته 114 هـ (الشكل 1). تم تشجير الموقع بالصنوبر البروتي في عام 1974، وتبع التشجير عمليات ترقيع في أوائل الثمانينات من القرن الماضي. بلغت الكثافة الشجرية المتوسطة للموقع 1232 شجرة/هـ، والتغطية حوالي 90% مع غياب لطبقة تحت الغابة.



الشكل (1): صورة فضائية لمحافظة اللاذقية توضح موقع الدراسة.

طرائق العمل

أخذ العينات وإجراء القياسات الحقلية

أُخذت 20 عينة مربعة الشكل بأبعاد (60م X 60م) بمساحة 3600 م² لكل عينة خلال أشهر حزيران وتموز وأيلول من عام 2019. اختيرت العينات بشكل عشوائي مع ضمان توزيعها على كامل منطقة الدراسة بحيث تغطي جميع التباينات ضمن الموقع من حيث: الكثافة الشجرية، الارتفاع عن سطح البحر، المعرض، الانحدار، وقد غطت مساحة 7.2 هكتار من الموقع المدروس (الشكل 2).



الشكل (2) : صورة فضائية (Sentinel-2, 2019) لموقع تحريج كفربيل توضح أماكن أخذ العينات المدروسة.

تمّ قياس القطر على ارتفاع الصدر (dbh) لجميع الأشجار ضمن العينات المدروسة ابتداءً من قطر 7 سم باستخدام شريط متري قماشي، نُظمت الأقطار المقاسة ضمن صفوف أقطار.

اختيرت 10 أشجار من الصنوبر البروتي من الموقع (ممثلة لجميع صفوف الأقطار) وتمّ قطعها واسقاطها بعد قياس أقطارها (dbh). ثم تمّ وزن كل شجرة (الجذع والتاج) من أجل تقدير كتلتها الحيوية. استخدمت لاحقاً تلك الأشجار العشر ذات الأوزان والأقطار المقاسة لتصميم نموذج رياضي يسمح بتقدير الكتلة الحيوية في الموقع بدلالة أقطار الأشجار.

كما أخذت الإحداثيات في مراكز العينات باستخدام جهاز GPS واستخرج الانحدار لكل عينة باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) بدقة (12.5) متر من خلال برنامج Arc Gis 10.3.

تمّ تصحيح الانحدار في العينات المنحدرة كما في المعادلة (Lackmann, 2011): $Correction\ slope = 1 / \cos \beta$ حيث: β : زاوية الانحدار الأعظمي. ويعبّر $Correction\ slope$ عن مقدار الزيادة بالمتر التي يجب إضافتها لضلع العينة الموازي للانحدار، في حين يبقى الضلع العمودي على الانحدار ثابتاً بدون إضافة.

تقدير الكتلة الحيوية

نُظمت البيانات الخاصة بأوزان الأشجار العشر المقطوعة وأقطارها في جداول EXCEL من أجل تصميم نموذج رياضي من الشكل قوة $Biomass = a \times dbh^b$ يسمح بتقدير الكتلة الحيوية فوق الأرضية لأشجار الصنوبر البروتي بدلالة القطر (dbh) في الموقع المدروس. بلغت قيمة ثوابت النموذج a و b 0.2795 و 2.2958 على التوالي وبلغت قيمة معامل التحديد

$$R^2 = 0.99 \text{ وبالتالي أخذ النموذج الشكل التالي: } Biomass = 0.2795 \times dbh^{2.2958}$$

حساب المؤشرات النباتية الطيفية

استخدمت في هذه الدراسة صورة فضائية Sentinel-2 مأخوذة بتاريخ 2019/7/30 (تتوافق مع موعد أخذ القياسات الحقلية) بدقة مكانية من 10-60 م تتألف من 13 قناة طيفية. تمّ حساب مجموعة من المؤشرات النباتية الطيفية الموضحة بالجدول (1) بهدف دراسة ارتباطها مع الكتلة الحيوية، ويعتمد حساب هذه المؤشرات على 4 قنوات طيفية: (4، 5، 8 و 11). القناة 4. الحمراء (Red, R) بدقة 10 م، والقناة 5. الحافة الحمراء (Red Edge, RE) بدقة 20 م، والقناة 8. تحت الحمراء القريبة جداً (Near Infrared, NIR) بدقة 10 م، والقناة 11. تحت الحمراء قصيرة الموجات (Shortwave Infrared, SWIR) بدقة 20 م.

الجدول (1): المؤشرات النباتية الطيفية المدروسة.

مؤشر الاختلاف النباتي القياسي	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	(Rouse <i>et al.</i> , 1974)
مؤشر الاختلاف النباتي المعدل	Renormalized Difference Vegetation Index	RDVI	(Roujean and Breon, 1995)
مؤشر الكلوروفيل الورقي	Leaf Chlorophyll Index	LCI	(Datt, 1999)
مؤشر الاختلاف الرطوبي القياسي	Normalized Difference Moisture Index	NDMI	(Gao, 1996)
المؤشر النباتي المحسن المضبوط وفق التربة	Optimized Soil Adjusted Vegetation Index	OSAVI	(Rondeaux <i>et al.</i> , 1996)
الاختلاف القياسي للحافة الحمراء	Normalized Difference Red-Edge	NDRE	(Sims and Gamon, 2002)

ويبين الجدول (2) كل مؤشر ومعادلته ورقم القنوات الطيفية التي يعتمد عليها في الحساب.

الجدول (2): معادلات المؤشرات النباتية الطيفية المدروسة.

No.	المؤشر النباتي	المعادلة	القنوات الطيفية
1	NDVI	(NIR-Red) / (NIR+Red)	(B8-B4) / (B8+B4)
2	RDVI	(NIR-Red) / (NIR+Red) ^{0.5}	(B8-B4) / (B8+B4) ^{0.5}
3	LCI	(NIR-Red Edge) / (NIR+Red)	(B8-B5) / (B8+B4)
4	NDMI	(NIR-SWIR) / (NIR+SWIR)	(B8-B11) / (B8+B11)
5	OSAVI	(1+Y) X (NIR-Red) / (NIR+Red+Y)	(1+Y) X (B8-B4) / (B8+B4+Y)
6	NDRE	(NIR-Red Edge) / (NIR+Red Edge)	(B8-B5) / (B8+B5)

حيث Y: معامل تصحيح لانعكاس التربة، وبلغت قيمته المستخدمة 0.16.

حُسبت المؤشرات النباتية الطيفية من صورة Sentinel-2 باستخدام برنامج Arc Gis 10.3، وقد استخرجت قيمة المؤشرات الموافقة للعينات الحقلية المدروسة بعد إسقاط إحداثيات مراكز هذه العينات على خرائط المؤشرات الناتجة. تمَّ أخذ المتوسط الحسابي لقيمة كل مؤشر مدروس لمجموعة البكسلات التي تتوافق مع مساحة العينة المأخوذة حقلياً وذلك حسب كل مؤشر فقد بلغت 36 بكسل في المؤشرات NDVI, RDVI, OSAVI و 9 بكسلات في المؤشرات LCI, NDMI, NDRE باعتبار أنَّ مساحة البكسل الواحد أصغر من مساحة العينة المدروسة. يعود الاختلاف في عدد البكسلات وفقاً للمؤشر المحسوب إلى اختلاف الدقة المكانية للقنوات الطيفية المستخدمة في حساب هذه المؤشرات والتي تتراوح بين 10 إلى 20 م (حيث كانت دقة الخرائط 10 م في المؤشرات NDVI, RDVI, OSAVI و 20 م في المؤشرات LCI, NDMI, NDRE).

نمذجة الكتلة الحيوية بدلالة المؤشرات النباتية الطيفية

نُظمت قيم المؤشرات النباتية الطيفية المحسوبة مع قيم الكتلة الحيوية للعينات المدروسة في جداول EXCEL من أجل تصميم نماذج رياضية تسمح بتقدير الكتلة الحيوية بالاعتماد على قيم تلك المؤشرات النباتية الطيفية.

اختيرت النماذج الخطية لتقدير الكتلة الحيوية بدلالة المؤشرات في الموقع المدروس كما في النموذج التالي:

$$Biomass = a + b \times index$$

يجب الإشارة إلى أنَّه تمَّ استبعاد 5 عينات حقلية من الدراسة بسبب الحصول على قيم شاذة للمؤشرات الطيفية، لمعرفة هذه القيم تمَّ استخدام طريقة معروفة إحصائياً تدعى طريقة **Leave-one-out** (Sammur and Webb, 2010) وهي تتم بإخراج عينة واحدة من العينات في كل مرة يتم فيها تصميم النموذج الرياضي المناسب للبيانات وعادة يتم استخدامها في حال كان عدد البيانات قليلاً إلى حد ما. وبالتالي أصبح عدد العينات 15 عينة، قُسمت إلى قسمين 10 عينات لمعايرة النماذج الرياضية و 5 عينات

لاختبار جودة النماذج الناتجة، إذ تمَّ اختيار عينات النموذج والاختبار بشكل يراعي توزيعها ضمن جميع صفوف الكتلة الحيوية المقدر في موقع الدراسة.

اختبارات جودة النماذج الرياضية

من أجل اختبار جودة النماذج (الخاصة بتقدير الكتلة الحيوية بدلالة المؤشرات النباتية الطيفية) التي تمَّ التوصل إليها ومعرفة مدى إمكانية تطبيقها وتحديد أفضل نموذج لتقدير الكتلة الحيوية تمَّ اعتماد مجموعة من الاختبارات مأخوذة عن Pretzsch (2001): المتوسط المطلق لخطأ الموديل Model Bias ($\bar{e}$):

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

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

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

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

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

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

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

دقة الموديل Model Accuracy (m_x):

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

النسبة المئوية لدقة الموديل Model Accuracy % (m_x):

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

حيث أن: n عدد القيم المقاسة أو الحقيقة.

Y_i القيمة الحقيقية للكتلة الحيوية التي ترتيبها (i).

$\hat{Y}_i$ القيمة المحسوبة أو المقدر من خلال النموذج للكتلة الحيوية التي ترتيبها (i).

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

النتائج والمناقشة:

يوضح الجدول (3) قيم الكتلة الحيوية والمؤشرات النباتية الطيفية في العينات، حيث تمَّ حذف 5 عينات (2، 4، 12، 13، 15) بسبب قيمها الطيفية الشاذة. إنَّ المؤشرات المستخدمة في هذه الدراسة حساسة للصبغات النباتية وخاصة الكلوروفيل وبالتالي يفترض وجود علاقة طردية بين قيمة المؤشر وكمية الكلوروفيل في العينة، إذ يلاحظ أنَّ جميع المؤشرات تسجل أعلى قيمها في

العينة رقم 7 (التي سجلت أعلى قيمة بالنسبة للكتلة الحيوية) باستثناء مؤشر NDMI حيث إنَّ هذا المؤشر ذو حساسية أكبر لرطوبة الغطاء النباتي.

الجدول (3): قيم الكتلة الحيوية والمؤشرات النباتية الطيفية للعينات المدروسة.

NDRE	OSAVI	NDMI	LCI	RDVI	NDVI	BM (t/h)	Plots ID	Plots N
0.26	0.50	0.22	0.30	22.62	0.43	183.6	1	1
0.25	0.45	0.20	0.28	20.65	0.39	171.5	3	2
0.27	0.49	0.25	0.30	21.86	0.42	170.7	5	3
0.29	0.53	0.31	0.33	24.52	0.45	250.7	6	4
0.32	0.58	0.32	0.36	26.57	0.50	396.8	7	5
0.27	0.53	0.28	0.30	23.86	0.46	232.0	8	6
0.29	0.55	0.30	0.34	25.52	0.48	234.2	9	7
0.26	0.50	0.21	0.30	22.88	0.43	229.8	10	8
0.28	0.52	0.24	0.31	23.80	0.45	230.0	11	9
0.27	0.49	0.23	0.30	23.52	0.42	166.8	14	10
0.28	0.52	0.26	0.31	24.60	0.45	258.8	16	11
0.31	0.54	0.33	0.34	24.82	0.47	241.8	17	12
0.29	0.52	0.28	0.32	23.93	0.44	240.0	18	13
0.28	0.50	0.26	0.31	23.25	0.43	180.2	19	14
0.29	0.53	0.26	0.33	24.76	0.46	227.4	20	15

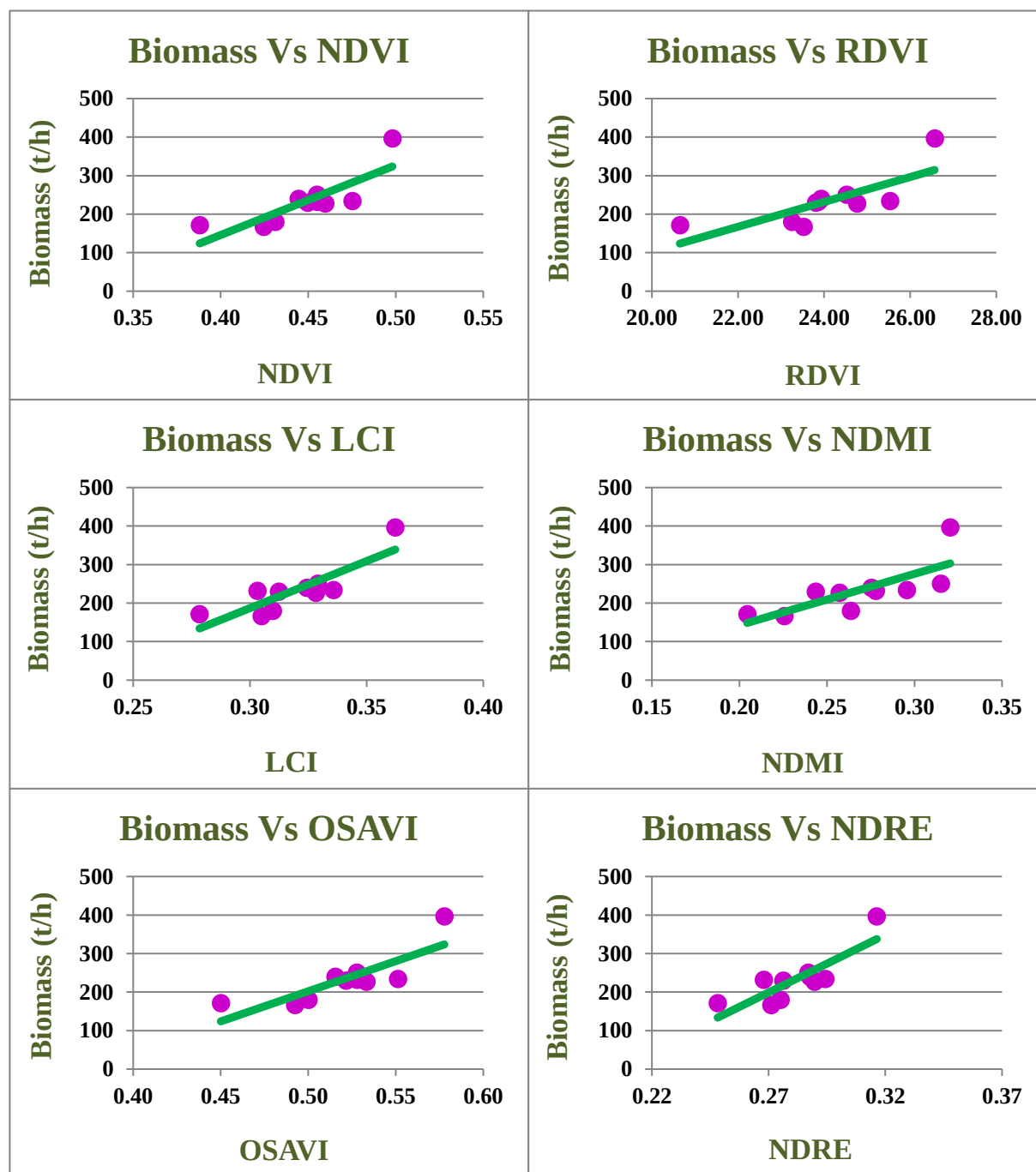
تصميم نماذج الكتلة الحيوية بدلالة المؤشرات النباتية الطيفية

تمَّ إنشاء ست معادلات خطية لتقدير الكتلة الحيوية بدلالة كل من المؤشرات الطيفية الستة المدروسة في موقع الدراسة، بلغت أعلى قيمة لمعامل التحديد 0.72 في المعادلة رقم 3 (بدلالة LCI) في حين بلغت أدنى قيمة 0.60 في المعادلة رقم 4 (بدلالة NDMI) (الجدول 4).

الجدول (4): قيم الثوابت ومعامل التحديد لمعادلات الكتلة الحيوية بدلالة المؤشرات الطيفية.

No.	المعادلة	ثوابت المعادلة		R ²
		a	b	
1	$Biomass = -579.97 + 1814.2 \times NDVI$	-579.97	1814.2	0.68
2	$Biomass = -543.13 + 32.284 \times RDVI$	-543.13	32.284	0.60
3	$Biomass = -546.02 + 2442.8 \times LCI$	-546.02	2442.8	0.72
4	$Biomass = -123.94 + 1332.8 \times NDMI$	-123.94	1332.8	0.58
5	$Biomass = -579.97 + 1564.1 \times OSAVI$	-579.97	1564.1	0.68
6	$Biomass = -608.67 + 2991.1 \times NDRE$	-608.67	2991.1	0.70

تستطيع النماذج الخطية للكتلة الحيوية بدلالة كل من المؤشرات (NDRE ,OSAVI ,NDMI ,LCI ,RDVI ,NDVI) تفسير 68% و60% و72% و60% و68% و70% (الجدول 4) على التوالي من التغيرات الموجودة في القيم الحقيقية للكتلة الحيوية، وتعد هذه القيم ذات دقة جيدة إذ نلاحظ أنَّ جميع المعادلات أعطت نتائج جيدة في تقدير الكتلة الحيوية وكانت قريبة من القيم الحقيقية المقاسة حقلياً (حيث يُمثل الخط البياني القيم المحسوبة باستخدام المعادلة، بينما تُمثل النقاط القيم الحقيقية المقاسة) (الشكل 3).



الشكل (3): المعادلات الخطية للكتلة الحيوية بدلالة المؤشرات الطيفية.

ولكن لتقييم النموذج الرياضي ومعرفة إمكانية تطبيقه وأكثر المؤشرات ارتباطاً بالكتلة الحيوية لابد من إجراء اختبارات الجودة على النماذج الناتجة لاختيار الأنسب منها والأكثر قابلية للتطبيق على أرض الواقع.

اختبارات نماذج الكتلة الحيوية

بالاعتماد على النماذج الرياضية الستة التي تمّ التوصل إليها تمّ تقدير الكتلة الحيوية في العينات الخمسة المعدة للاختبار والتي لم تستخدم في تصميم النماذج من أجل اختبار دقة تلك النماذج.

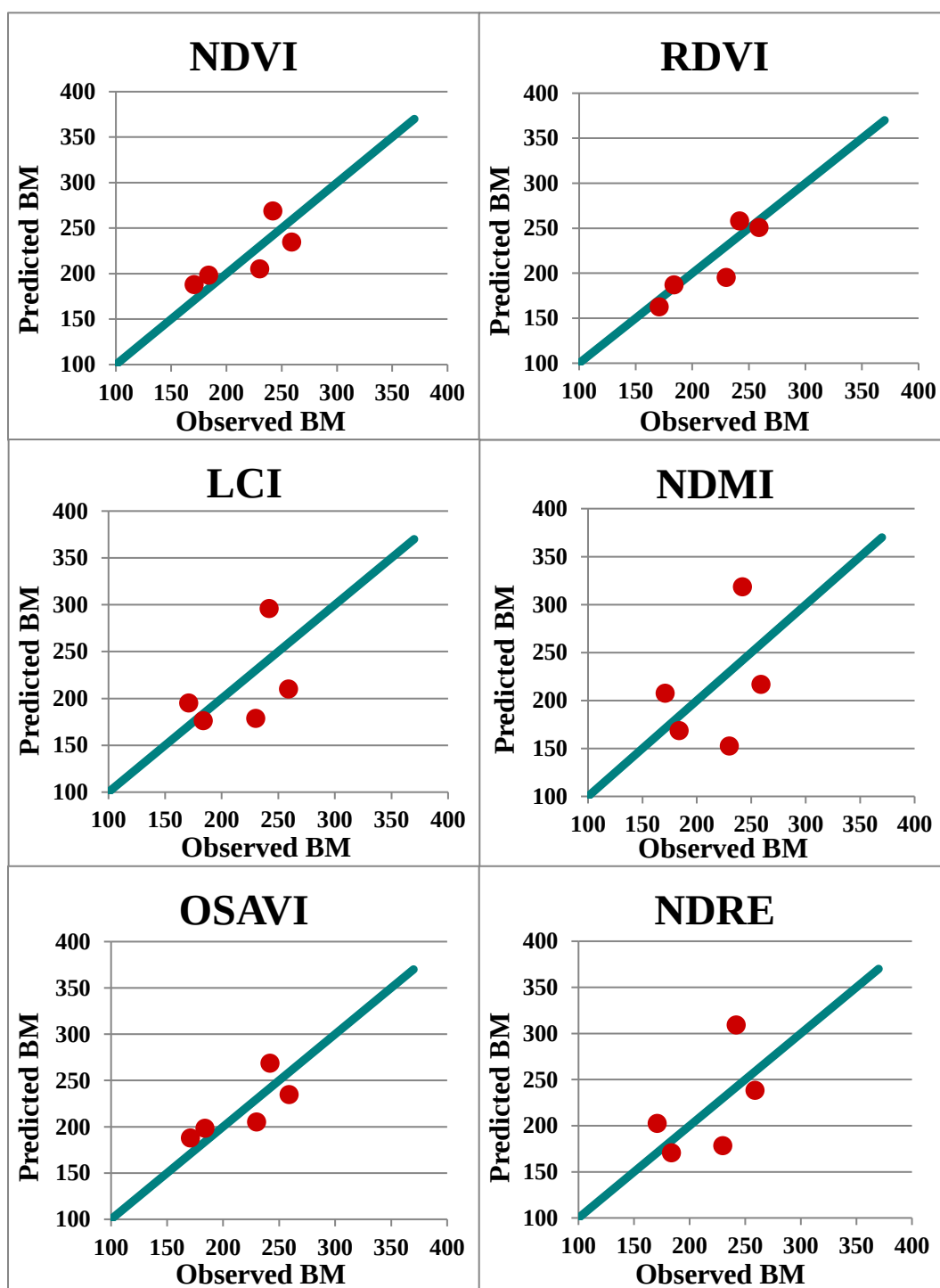
تشير نتائج الاختبارات إلى تفوق المعادلة 1 (بدلالة NDVI) بجميع الاختبارات أي كانت القيم بحدّها الأدنى بالمقارنة مع بقية المعادلات (الجدول 5). إذ بلغت قيمة المتوسط النسبي لخطأ النموذج -0.997% وهذا يعني أنّ النموذج ينحرف عن الحقيقة بمقدار -0.997% وهي قيمة منخفضة، وكان الانحراف المعياري النسبي لمتوسط خطأ النموذج 6.033% أي إنّ تشتت خطأ

النموذج 6.033% فقط، في حين بلغت النسبة المئوية لدقة النموذج 6.115% أي إنّه إذا كان توزع العينات توزع طبيعي فإن 95% من القيم المقدرة لن تنحرف أكثر من 6.115% عن القيم الحقيقية وبالتالي تشير هذه القيم إلى أداء مميز للنموذج في تقدير الكتلة الحيوية. نلاحظ أيضاً تفوق المعادلة 5 (بدلالة OSAVI) بجميع الاختبارات وبقيم مماثلة وقريبة جداً لنتائج اختبارات المعادلة 1 (الجدول 5) مما يدل على أداء مميز أيضاً لهذا النموذج، وعليه يعد مؤشري NDVI و OSAVI الأكثر ارتباطاً مع الكتلة الحيوية وبالتالي تعد المعادلتين 1 و 5 أفضل معادلتين لتقدير الكتلة الحيوية حسب هذه الدراسة. كما أشارت النتائج إلى أنّ دقة المعادلة 4 (بدلالة NDMI) منخفضة مقارنة مع المعادلات الأخرى المجربة في هذه الدراسة فقد سجلت قيمة مرتفعة إلى حد ما في أغلب الاختبارات (الجدول 5)، وهذا يعني انخفاض دقة هذا النموذج في تقدير الكتلة الحيوية. وتليها المعادلتين 3 (بدلالة LCI) و 6 (بدلالة NDRE) بدقة منخفضة نسبياً أيضاً. بينما كانت المعادلة 2 (بدلالة RDVI) بدقة جيدة نسبياً (الجدول 5).

الجدول (5): نتائج اختبارات جودة معادلات الكتلة الحيوية.

No	Models	Model bias ($\bar{e}$)	Model bias % ($\bar{e} \%$)	Model precision (Se)	Model precision % (Se %)	Model accuracy (mx)	Model accuracy % (mx %)
1	NDVI	-2.164	-0.997	13.089	6.033	13.267	6.115
2	RDVI	6.089	2.807	10.017	4.617	11.722	5.403
3	LCI	5.539	2.553	24.492	11.290	25.111	11.575
4	NDMI	4.002	1.845	32.883	15.158	33.126	15.270
5	OSAVI	-2.187	-1.008	13.088	6.033	13.270	6.117
6	NDRE	-3.172	-1.462	24.964	11.507	25.165	11.600

يوضح الشكل (4) توزع القيم الحقيقية والمقدرة للكتلة الحيوية حول الخط 45، حيث إنّ انطباق هذه القيم على الخط 45 يدل على التقدير الدقيق للكتلة الحيوية باستخدام النموذج. وكما أظهرت نتائج الاختبارات نلاحظ توزع القيم بشكل متجانس حول هذا الخط في النماذج المعتمدة على المؤشرات NDVI، OSAVI و RDVI، في حين كانت مقبولة في النماذج المعتمدة على مؤشري LCI و NDRE، بينما كان التقدير أقل دقة فيما يخص النموذج المعتمد على مؤشر NDMI.



الشكل (4): توزيع القيم الحقيقية والمقدرة للكتلة الحيوية حول الخط 45.

الخلاصة

تفوقت المؤشرات NDVI و OSAVI و RDVI والمحسوبة من القنوات الطيفية العريضة التقليدية R و NIR ذات الدقة 10 م على المؤشرات الأخرى المختبرة في هذه الدراسة في تقدير الكتلة الحيوية، وأثبتت ملائمتها لطبيعة الغابة المدروسة، حيث لم تكن مشكلة تشبع البيانات موجودة (قيم المؤشرات لم تصل للحد الأعلى لها). كما كان لدقة الخرائط الناتجة والتي تبلغ 10 م الدور الكبير في زيادة دقة النتائج.

في حين أظهر المؤشران LCI و NDRE والمحسوبان من قنوات RE الضيقة ذات الدقة 20 م، دقة أقل نسبياً. إذ تُستخدم هذه القنوات عادةً في الغابات ذات الكتلة الحيوية المرتفعة جداً لتقادي مشكلة التشبع (Mngadi et al., 2021; Wai et al., 2022). كما أنَّ دقة الخرائط الناتجة والبالغة 20 م أدت إلى انخفاض دقة النتائج.

أظهر مؤشر NDMI دقة منخفضة جداً حيث اشتق هذا المؤشر من قنوات SWIR ذات الدقة 20 م والتي أثبتت نجاحها في الغابات المتساقطة ذات الغطاء التاجي الخفيف (Wai et al., 2022). ربما لم تلائم هذه القنوات طبيعة الغابة دائمة الخضرة وذات الكثافة العالية إلى حد ما، بالإضافة لدقة الخريطة الناتجة والتي تبلغ 20 م.

فكلما زادت دقة الصورة الفضائية تصبح المعلومة الطيفية أكثر تمثيلاً للهدف المدروس ويقل اختلاط البصمة الطيفية مع أهداف أخرى.

الاستنتاجات:

- ❖ أظهرت نتائج هذه الدراسة ارتباط قوي بين مؤشري NDVI و OSAVI مع الكتلة الحيوية فوق الأرضية، في حين لم يستطع النموذج المعتمد على مؤشر NDMI تمثيل الكتلة الحيوية بشكل دقيق.
- ❖ إمكانية تقدير الكتلة الحيوية للصنوبر البروتي في الموقع المدروس بدقة عالية باستخدام النماذج الخطية بدلالة المؤشرات NDVI، OSAVI و RDVI باستخدام صور Sentinel-2 مما يوفر كثيراً من الوقت والجهد والتكلفة.
- ❖ يُمكن تقدير الكتلة الحيوية باستخدام مؤشري LCI و NDRE بدقة جيدة نسبياً.

التوصيات:

- ❖ استخدام المؤشرات النباتية الطيفية NDVI و OSAVI في تقدير الكتلة الحيوية للصنوبر البروتي في الموقع المدروس.
- ❖ اختبار إمكانية تطبيق هذه الموديلات في مواقع حراجية أخرى للصنوبر البروتي في منطقة جبلة كونها متشابهة بالأعمار والكثافات.
- ❖ استخدام النتائج التي تم التوصل إليها في إدارة هذه الغابات والاستفادة من مواردها بشكل مستدام.
- ❖ تجريب هذه النماذج في تقدير كمية الكربون في الغابات وفي نماذج التنبؤ بالتغيرات المناخية.
- ❖ تقدير الكتلة الحيوية لغابات الصنوبر البروتي باستخدام بيانات Lidar في حال توفرها ومقارنتها مع النتائج التي تم التوصل إليها مع بيانات Sentinel-2.

المراجع:

- Ali, A.; S. Ullah; S. Bushra; N. Ahmad; A. Ali; and M. A. Khan (2018). Quantifying forest carbon stocks by integrating satellite images and forest inventory data. *Aust. J. For. Sci.* 135(2): 93–117, 25p.
- Askar; N. Nuthammachot; W. Phairuang; P. Wicaksono; and T. Sayektiningsih (2018). Estimating Aboveground Biomass on Private Forest Using Sentinel-2 Imagery. *Journal of Sensors*. 11p.
- Baret, F.; and G. Guyot (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*. 35, 161–173.
- Cairns, M. A.; I. Olmsted; J. Granados; J. Argaez (2003). Composition and aboveground tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Forest Ecology and Management*. 186(1-3): 125-132.
- Cairns, M. A.; S. Brown; E. H. Helmer; and G. A. Baumgardner (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*. 111, 1–11.

- Calvão, T.; and J. Palmeirim (2004). "Mapping Mediterranean Scrub with Satellite Imagery: Biomass Estimation and Spectral Behaviour." *International Journal of Remote Sensing*. 25(16): 3113–3126.
- Castillo, J. A. A.; A. A. Apan; T. N. Maraseni; and S.G. Salmo (2017). Estimation and mapping of above-ground biomass of mangrove forests and their replacement land uses in the Philippines using Sentinel imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 134, 70-85.
- Chen, G.; and J. W. Wang (2008). Spectral reflectance and aboveground biomass estimation of the grassland under protection condition. *Journal of Yunnan Agricultural University*. 23, 462-467.
- Das, S.; and T. P. Singh (2012). Correlation analysis between biomass and spectral vegetation indices of forest ecosystem. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. Vol. 1(5): 2278-0181.
- Datt, B. A. (1999). New Reflectance Index for Remote Sensing of Chlorophyll Content in Higher Plants: Tests using Eucalyptus Leaves. *J. Plant Physiol*. 154, 30–36.
- Davis, S. C.; W. Hay; and J. Pierce (2014). *Biomass in the energy industry: an introduction*. London, United Kingdom, 117 P.
- Favero, A.; A. Daigneault; and B. Sohngen (2020). Forests: Carbon sequestration, biomass energy, or both?. *Science Advances* 6(13): 6792.
- Foody, G. M.; M. E. Cutler; J. Mcmorrow; D. Pelz; H. Tangki; D. S. Boyd; and I. Douglas (2001). Mapping the biomass of Bornean tropical rain forest from remotely sensed data. *Global Ecol. Biogeogr*. 10(4): 379-387, 9p.
- Forkuor, G.; K. Dimobe; I. Serme; and J. E. Tondoh (2018). Landsat-8 vs. Sentinel-2: Examining the Added Value of Sentinel-2's Red-Edge Bands to Land-Use and Land-Cover Mapping in Burkina Faso. *GIScience Remote Sens*. 55, 331–354.
- Galidaki, G.; D. Zianis; L. Gitas; K. Radoglou; V. Karathanassi; M. Tsakiri–Strati; L. Woodhouse; and G. Mallinis (2017). Vegetation biomass estimation with remote sensing: focus on forest and other wooded land over the Mediterranean ecosystem. *International Journal of Remote Sensing*. 38(7): 1940–1966.
- Gao, B. C. (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 58(3): 257–266.
- Imran, A. B.; K. Khan; N. Ali; N. Ahmad; A. Ali; and K. Shah (2020). Narrow band based and broadband derived vegetation indices using Sentinel-2 Imagery to estimate vegetation biomass. *Global J. Environ. Sci. Manage*. 6(1): 97-108.
- Kasischke, E. S.; S. Goetz; M. C. Hansen; M. Ozdogan; Rogan; S. L. Ustin; C. E. Woodcock (2014). *Remote Sensing for Natural Resource Management and Environmental Monitoring*, 3rd ed.; John and Wiley and Sons. Inc.: Hoboken, NJ, USA.
- Khan, I. A.; W. R. Khan; A. Ali; and M. Nazre (2021). Assessment of above-ground biomass in Pakistan forest ecosystem's carbon pool: A review. *Forests*. 12(5): 586.
- Knoke, T.; M. Kindu; T. Schneider; and T. Gobakken (2021). Inventory of forest attributes to support the integration of non-provisioning ecosystem services and biodiversity into forest planning—from collecting data to providing information. *Current Forestry Reports*. 7(1): 38-58.
- Kovac, M.; P. Gasparini; M. Notarangelo; M. Rizzo; I. Cañellas; L. Fernández-De-Uña; and I. Alberdi (2020). Towards a set of national forest inventory indicators to be used for assessing

- the conservation status of the habitats directive forest habitat types. *Journal for Nature Conservation*. 53, 125747.
- Kumar, L.; and O. Mutanga (2017). Remote Sensing of Above-Ground Biomass. *remote sensing*. 9, 935, 8P.
- Kumar, L.; P. Sinha; S. Taylor; and A. F. Alqurashi (2015). Review of the use of remote sensing for biomass estimation to support renewable energy generation. *Journal of Applied Remote Sensing*. Vol. 9.
- Lackmann, S. (2011). Good Practice in Designing a Forest Inventory. *Capacity Development for Sustainable National Greenhouse Gas Inventories*. 1-75.
- Lu, D. (2006). The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*. 27(7-10): 1297-1328.
- Maselli, F.; A. Rodolfi; L. Bottai; S. Romanelli; and C. Conese (2000). "Classification of Mediterranean Vegetation by TM and Ancillary Data for the Evaluation of Fire Risk." *International Journal of Remote Sensing*. 21(17): 3303–3313.
- Mngadi, M.; J. Odindi; and O. Mutanga (2021). The Utility of Sentinel-2 Spectral Data in Quantifying above-Ground Carbon Stock in an Urban Reforested Landscape. *Remote Sens*. 13, 4281.
- Nguyen, H.-H.; and T. T. H. Nguyen (2021). Above-ground biomass estimation models of mangrove forests based on remote sensing and field-surveyed data: Implications for C-PFES implementation in Quang Ninh Province, Vietnam. *Regional Studies in Marine Science*. 48, 101985.
- Ogaya, R.; A. Barbeta; C. Başnou; and J. Peñuelas (2015). Satellite data as indicators of tree biomass growth and forest dieback in a Mediterranean holm oak forest. *Annals of Forest Science*. 72, 135–144.
- Pande, C. B.; K. N. Moharir; S. K. Singh; A. M. Varade; A. Elbeltagi; S. F. R. Khadri; and P. Choudhari (2021). Estimation of crop and forest biomass resources in a semi-arid region using satellite data and GIS. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 20(5): 302- 311.
- Pandit, S.; S. Tsuyuki; and T. Dube (2018). Estimating Above-Ground Biomass in Sub-Tropical Buffer Zone Community Forests, Nepal, Using Sentinel 2 Data. *Remote Sens*. 10, 601, 18p.
- Patel, N. K.; R. K. Saxena; and A. Shiwalkar (2007). Study of fractional vegetation cover using high spectral resolution data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 35, 73-79.
- Pretzsch, H. (2001). *Modellierung des Waldwachstums*. Parey Buchverlag Berlin, 341.
- Rahman, A. F.; J. A. Gamon; D. A. Sims; and M. Schmidts (2003). Optimum pixel size for hyperspectral studies of ecosystem function in southern California chaparral and grassland. *Remote Sensing of Environment*. 84, 192-207.
- Rondeaux, G.; M. Steven; and F. Baret (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sens. Environ*. 55, 95– 107.
- Rougean, J. L.; and F. M. Breon (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sens. Environ*. 51, 375– 384.
- Rouse, J. W.; R. H. Haas; J. A. Schell; D. W. Deering; and J. C. Harlan (1974). Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. *Greenbelt, MD, USA: NASA/GSFC, Type III Final Report*, 1-371.
- Sammut, C.; and G. I. Webb (2010). Leave-one-out cross-validation. In *Encyclopedia of Machine Learning*. p. 600–601.

- Shoshany, M.; and L. Karnibad (2011). "Mapping Shrubland Biomass along Mediterranean Climatic Gradients: the Synergy of Rainfall-Based and NDVI-Based Models." International Journal of Remote Sensing. 32(24): 9497–9508.
- Sims, D. A.; and J. A. Gamon (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. Remote Sensing of Environment. 81, California State University LA, Los Angeles, USA, 337– 354.
- USFS (2008). Woody Biomass Utilization.
- Wai, P.; H. Su; and M. Li (2022). Estimating Aboveground Biomass of Two Different Forest Types in Myanmar from Sentinel-2 Data with Machine Learning and Geostatistical Algorithms. Remote Sens. 14, 2146, 27p.

Modelling the Biomass of *Pinus Brutia* Ten. in Kfardabeel Afforestation Site, Jableh Region Using Sentinel-2 Imagery

Hanan Khnaisheh* ⁽¹⁾, Ilene Mahfoud ⁽¹⁾ and Ali Thabeet ⁽²⁾

(1). Department of Forestry and Ecology, Faculty of Agriculture Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

(2). Departement of renewable natural resources and ecology, Faculty of Agriculture Engineering, Aleppo University, Aleppo, Syria.

(*Corresponding author: Hanan Khnaisheh, E-Mail: hanankhnaisheh@gmail.com).

Received: 30/09/2023

Accepted: 24/12/2023

Abstract:

This study aimed to model the wet above-ground biomass of *Pinus brutia* Ten. in Kfardabil afforestation site in the Jableh region, based on the Spectral Vegetation Indices calculated from satellite images. The study was carried out in the summer of 2019, 20 square samples were taken with an area of 3600 square meters each distributed randomly over the entire site, which has an area of 114 hectares. The diameter (dbh) for all trees in the studied samples were measured. Also, Ten trees (covering all diameters classes) were cut and weighed in order to estimate their biomass, and then their measurements were used to form the mathematical power model to estimate the biomass based on the diameter at the sample level. A set of spectral vegetation indices were calculated in order to study their association with biomass, namely NDVI, RDVI, LCI, NDMI, OSAVI and NDRE. These indices were calculated from the Sentinel-2 image using Arc Gis 10.3 software, and then linear models were designed that allow estimating of the biomass based on the values of those spectral vegetation indices. The study concluded that there is a strong correlation between the NDVI and OSAVI indices with biomass, while the linear model based on the NDMI index could not accurately represent the biomass.

Key words: Brutia pine (*Pinus brutia*), Mathematical Model, Above-ground Biomass, Spectral Vegetation Indices, Kfardabeel afforestation site.