

## بررسی پتانسیل تصاویر سنتینل-۲ در برآورد زی توده جنگلی

سعید ورامش<sup>۱\*</sup>، سهراب محترم عنبران<sup>۲</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

\* ایمیل نویسنده مسئول: varameshs@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۶

### چکیده

زی توده اکوسیستم‌های جنگلی مخزن مهمی برای جذب و ذخیره کربن اتمسفری هستند و نقش ویژه‌ای در چرخه جهانی کربن دارند. بنابراین اندازه‌گیری زی توده موجود در اکوسیستم‌های جنگلی اهمیت زیادی دارد. با این وجود این اندازه‌گیری باید با روشی انجام گیرد که کم‌ترین هزینه و زمان را داشته و بدون تخریب نیز باشد. استفاده از تصاویر مختلف ماهواره‌ای و روش‌های مبتنی بر سنجش از دور با تخمین‌های مناسبی از زی توده هوایی جنگل و دارا بودن شرایط فوق در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین در این پژوهش به منظور برآورد زی توده هوایی بخشی از جنگل-های فندقلو اردبیل با استفاده از تصویر سنتینل-۲ ابتدا در مشخصات کمی درختان در قطعات نمونه زمینی اندازه‌گیری شدند، سپس شاخص‌های AVI، NDVI، DVI، SI، RVI، IPVI، SAVI و BI محاسبه شدند. در نهایت، بین مقادیر زی توده اندازه‌گیری شده زمینی و اعداد متناظر هر شاخص در هر قطعه نمونه، مدل رگرسیونی برقرار شد و با استفاده از مقادیر ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا، ارزیابی دقت انجام شد. نتایج نشان داد که شاخص SAVI با ضریب تبیین ۰/۷۸ و مجذور میانگین مربعات خطای ۲/۴۵ نسبت به دیگر شاخص‌ها از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. مقدار زی توده منطقه مورد مطالعه نیز ۱۳۲/۴۳۳ تن در هکتار برآورد گردید. نتایج این پژوهش توانایی تصویر سنتینل-۲ در برآورد زی توده هوایی را ثابت کرد و نشان داد شاخص‌های پوشش گیاهی مانند شاخص SAVI که ضرایب خاک را در نظر می‌گیرند، از دقت بالاتری نسبت به شاخص‌هایی که این ضرایب را در نظر نمی‌گیرند، برخوردار هستند.

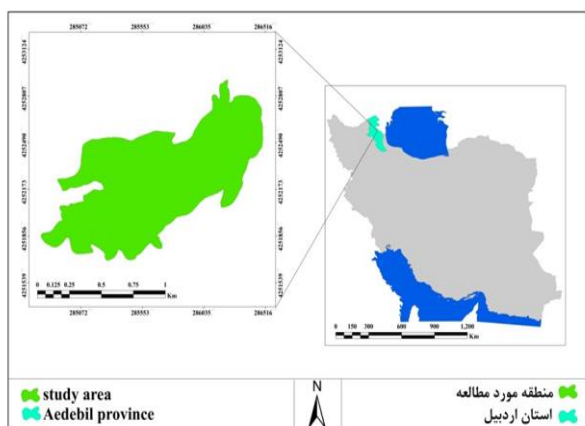
### کلمات کلیدی

" جنگل فندقلو"، " زی توده هوایی"، " سنجش از دور"، " شاخص‌های گیاهی".

### ۱- مقدمه

تغییر کاربری و پوشش اراضی، مخصوصاً تخریب اراضی جنگلی یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش انتشار کربن اتمسفری می‌باشد که تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی را در پی داشته است (Hese et al., 2011; Varamesh et al., 2005). از طرف دیگر، اکوسیستم‌های جنگلی نقش مهمی در جذب و حفظ تعادل کربن جهانی دارند (Yu et al., 2019). زی توده جنگلی نیز حدود ۹۰٪ زی توده پوشش گیاهی کره زمین را تشکیل داده و پارامتر مهمی برای ارزیابی میزان کربن جذب شده توسط جنگل محسوب می‌شود (Varamesh et al., 2014; Waring, 2007). بنابراین در شرایط فعلی که تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی بحران‌های زیست محیطی زیادی ایجاد کرده است، ارزیابی نحوه عملکرد و میزان پتانسیل اکوسیستم جنگلی نیازمند برآورد دقیق زی توده و تغییرات آن می‌باشد (Le Toan et al., 2011). زی توده کل شامل زی توده هوایی (درختان، درختچه‌ها و ...) و زیرزمینی (ریشه‌های زنده و ...) می‌باشد که به دلیل اختلاف نظر در نحوه برآورد زی توده زیرزمینی، بیشتر پژوهش‌های زی توده در بخش زی توده هوایی متمرکز شده (Lu et al., 2014) و روش‌های مختلفی برای برآورد آن ارائه شده است. دقیق‌ترین روش بر اساس اندازه‌گیری‌های زمینی است، اما تخریب و هزینه‌های اقتصادی اندازه‌گیری زمینی خیلی زیاد بوده و برای اندازه‌گیری در مقیاس بزرگ مناسب نیست (Wang et al., 2016). در سال‌های اخیر پژوهش‌های مختلفی در خصوص برآورد

بنابراین روش‌های مبتنی بر سنجش از دور که فقط به تعداد کمی قطعه نمونه در جنگل برای اندازه‌گیری زمینی نیاز داشته و شامل استفاده از انواع سنجنده‌ها، تصاویر، داده‌ها و الگوریتم‌های مختلف پردازش بوده و نتایج قابل قبولی نیز با صرف هزینه و زمان بسیار پایین از میزان زی توده جنگل ارائه می‌دهد، می‌تواند برای این منظور مورد استفاده قرار گیرد (Gleason and Im, 2011). مدل‌های پیش‌بینی زی توده مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان از داده‌های رادار، باندهای چند طیفی و شاخص‌های پوشش گیاهی بدست آورد (به عنوان مثال، شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده NDVI) و متغیرهای بیوفیزیکی پوشش گیاهی مثل شاخص سطح برگ). این مدل‌ها را می‌توان با یا بدون داده‌های موضوعی فرعی (به عنوان مثال ارتفاع) توسعه داد (Dube and Mutanga, 2015; Dusseux et al., 2015). با راه‌اندازی ماهواره سنتینل قابلیت‌های جدیدی برای پایش و تهیه نقشه زی توده در مناطق مختلف فراهم شده است (Castillo et al., 2017). تصویر سنتینل-۲، ۱۳ باند چندطیفی دارد که شامل سه باند لبه قرمز و دو باند مادون قرمز، علاوه بر باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک می‌باشد (Team, 2015). بنابراین می‌توان برای تهیه نقشه و نظارت بر مناطق جنگلی و اندازه‌گیری ساختارهای بیوفیزیکی پوشش گیاهی مانند زی توده هوایی و شاخص سطح برگ از تصاویر سنتینل-۲ استفاده کرد (Majasalmi and Rautiainen, 2016).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

### • داده‌های زمینی

ابتدا با انجام جنگل‌گردشی، ویژگی‌های توده از نظر مساحت، توپوگرافی، همگنی و ناهمگنی و تراکم مورد بررسی قرار گرفت. سپس ابعاد شبکه آماربرداری ۱۵۰×۱۰۰ متر و ابعاد قطعات نمونه ۲۰×۲۰ متر در نظر گرفته شد که به دلیل بالا بودن تراکم توده مورد بررسی در این پژوهش و با در نظر گرفتن همه قطعات نمونه، تعداد ۳۰ تا ۳۵ پایه در هر قطعه نمونه قرار گرفت (Zobeiry, 2002; Varamesh et al., 2011). با در نظر گرفتن موارد مذکور و برای محاسبه مقادیر زی‌توده، تعداد ۱۴ قطعه نمونه مربعی شکل با ابعاد ۲۰×۲۰ متر به روش تصادفی-سیستماتیک با استفاده از دستگاه GPS پیاده شد (شکل ۲). سپس اطلاعات مربوط به درختان از جمله نوع گونه، قطر با استفاده از کالیپر و نوار قطرسنج و ارتفاع با استفاده از سونتو برداشت شده و در فرم‌های آماربرداری و سپس در اکسل وارد شد. در مرحله بعد به دلیل شاخه‌زاد بودن درختان، وزن قطری هر جست گروه به صورت جذر مجموع مجذور قطر در ارتفاع نیم متر تمام جست‌های هر جست گروه به دست آمد (Pourhashemi et al., 2014) در نهایت حجم سرپا با استفاده از رابطه (۱) و مقادیر زی‌توده هوایی (AGB) با استفاده از رابطه (۲) بر حسب تن در هکتار محاسبه گردید (Varamesh et al., 2011).

$$\text{درخت (m}^2\text{)} \times \text{درخت ارتفاع (m)} \times \text{سرپا حجم} = 0.54 \text{ (m}^3\text{)} \quad (1)$$

مقطع سطح

$$\text{چگالی (gr/cm}^3\text{)} \times \text{درخت حجم (m}^3\text{)} = \text{هوایی زی‌توده} \quad (2)$$

زی‌توده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. Li et al. (2010) از داده‌های لندست ۵ برای تخمین زی‌توده تنه درختان در جنگل‌های تروپیکال در Altamira برزیل استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های ساختاری پوشش گیاهی تا حد زیادی انعکاس طیفی آن‌ها را تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. همچنین نتایج پژوهش‌های Gao et al. (2018) در استان Zhejiang، چین با استفاده از تصاویر لندست ۵ و مدل رقومی ارتفاع نشان داد که روش رگرسیون خطی هنوز یک ابزار مهم برای مدل‌سازی زی‌توده هوایی می‌باشد. Gasparri et al. (2010) نیز در منطقه نیمه خشک Chaco در شمال غربی آرژانتین از داده‌های سری زمانی لندست ۷ برای برآورد زی‌توده استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های طیفی در فصل پاییز همبستگی بیشتری نسبت به دیگر فصل‌ها دارند. همینطور Soenen et al. (2010) در پارک استانی Kananaskis کانادا از سنسور چند طیفی ماهواره اسپات-۵ برای انجام محاسبات زی‌توده استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که شاخص MFM از صحت بیشتری نسبت به SMA و NDVI در برآورد زی‌توده برخوردار است. Sabbaghzadeh et al. (2017) نیز مقادیر زی‌توده گیاه تاغ را در محدوده بیرجند با استفاده از ترکیبی از اندازه‌گیری مشخصات کمی درختان و شاخص‌های گیاهی مستخرج شده از تصاویر ماهواره‌ای برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که شاخص‌هایی که ضرایب خاک را در نظر می‌گیرند، از دقت بالاتری برخوردارند. باتوجه به مطالب مذکور در خصوص اهمیت زی‌توده اکوسیستم‌های جنگلی، هدف از این پژوهش برآورد زی‌توده هوایی بخشی از جنگل‌های فندقلوی استان اردبیل با استفاده از اندازه‌گیری زمینی، شاخص‌های پوشش گیاهی و مدل رگرسیونی و همچنین بررسی کارایی تصاویر سنتینل-۲ در این خصوص می‌باشد.

### ۲- روش انجام تحقیق

#### • محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل‌های فندقلو با مساحت ۱۰۱ هکتار می‌باشد که، در فاصله ۲۴ کیلومتری شمال شرقی شهرستان اردبیل و در ۹ کیلومتری شهرستان نمین، در طول جغرافیایی ۵۱° ۳۲' ۴۸۵ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶° ۲۳' ۳۸۵ شمالی با ارتفاع ۱۴۳۵ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی و متوسط دمای منطقه به ترتیب ۳۷۸ میلی‌متر و ۸/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و براساس طبقه‌بندی دوماترن، اقلیم منطقه مدیترانه‌ای است (Teimoorzadeh et al., 2015).

• تجزیه و تحلیل اطلاعات و برآورد مقدار زی توده

ابتدا نرمال بودن داده‌های زمینی با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی آنها با آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی رابطه بین میزان زی توده محاسبه شده زمینی با ارزش هر قطعه نمونه در شاخص‌های فوق از مدل رگرسیون خطی استفاده شد (رابطه ۳). به طوریکه زی توده اندازه‌گیری شده در هر پلات با داده‌های زمینی به عنوان متغیر وابسته (Y) و اعداد استخراج شده از شاخص‌های محاسبه شده به عنوان متغیر مستقل (X) وارد مدل شدند و به وسیله مدل رگرسیون خطی میزان زی توده متناظر با هر یک از شاخص‌ها به دست آمد. در ادامه به منظور ارزیابی صحت بین مقادیر زی توده اندازه‌گیری شده و برآورد شده از مقدار ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید (رابطه ۴) (Akbarifard et al., 2017; Vafaei et al., 2017; Hosseini et al., 2015; Clerici et al., 2016; Noorian et al., 2016; Wang et al., 2013)، لازم به ذکر است که با ۸۰ درصد از داده‌ها مدلسازی و با ۲۰ درصد ارزیابی صحت انجام شد. در نهایت پس از ارزیابی صحت، نقشه زی توده منطقه با استفاده از شاخص SAVI تهیه شد (شکل ۳).

$$Y = a + bX \quad (3)$$

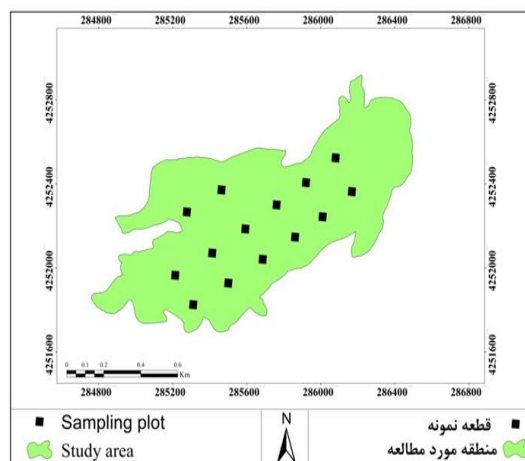
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad (4)$$

۳- نتایج

پس از برقراری مدل رگرسیون خطی بین مقادیر زی توده اندازه‌گیری شده و ارزش متناظر هر یک از شاخص‌ها میزان ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا برای تمامی مدل‌های به دست آمده محاسبه شد (جدول ۲ و شکل ۴).

جدول ۲- مدل رگرسیون خطی برای شاخص‌ها و میزان ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)

شاخص	مدل	R <sup>2</sup>	RMSE (T.H)
AVI	Y = 1.611X - 85.08	0.759	2.612
NDVI	Y = 517.2X - 416.5	0.706	2.885
DVI	Y = 266.1X - 112.0	0.763	2.590
RVI	Y = 8.929X - 82.83	0.737	2.731
SI	Y = 0.047X - 26749	0.909	7.496
IPVI	Y = 1034X - 933.7	0.706	2.904
SAVI	Y = 316.1X - 195.5	0.787	2.458
BI	Y = 11784X - 46.18	0.604	3.352



شکل ۲- موقعیت قطعات نمونه در سطح منطقه مورد مطالعه

• داده‌های ماهواره‌ای

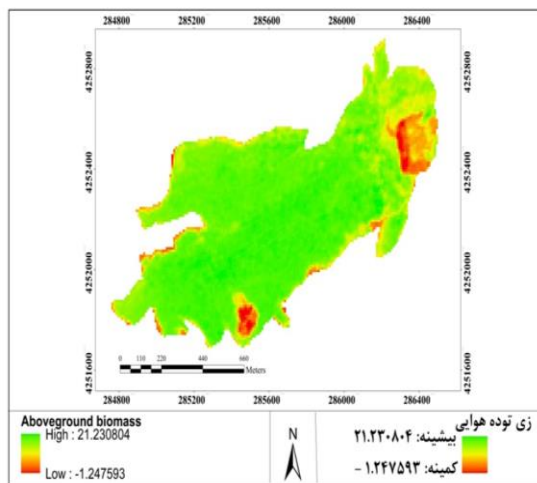
به منظور انجام این پژوهش، تصویر بدون ابر ماهواره سنتینل ۲- به تاریخ ۲۰۱۹/۰۶/۱۰ تهیه شد (تیر ماه ۱۳۹۸). برای انجام این پژوهش از نرم افزارهای Arc GIS 10.3، QGIS 3.10، SPSS و Google Earth استفاده شد. برای اطمینان از کیفیت داده‌ها و باندها، تصویر مورد استفاده در این تحقیق از نظر خطاهای اتمسفری با استفاده از روش Dark Object Subtraction (DOS) در محیط نرم افزار QGIS 3.10 تصحیح گردید و در ادامه شاخص‌های AVI، NDVI، DVI، SI، RVI، IPVI، SAVI و BI طبق جدول ۱ محاسبه شدند.

جدول ۱- معادله‌های شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش

نام شاخص	معادله	بازه تغییرات
AVI	$[(NIR + 1) \times (256 - RED) \times (NIR - RED)]^{1/3}$	
NDVI	$(NIR - RED) / (NIR + RED)$	[-1, +1]
DVI	NIR - RED	.....
RVI	NIR / RED	[0, ∞)
SI	$[(256 - BLUE) \times (256 - GREEN) \times (256 - RED)]^{1/3}$	
IPVI	$NIR / (NIR + RED)$	[0, 1]
SAVI	$(NIR - RED) / [(NIR + RED) \times (1 + 0.5)]$	[-1, +1]
BI	$[(RED^2 + GREEN^2 + RED^2)^{1/2}]^{1/2}$	[-1, +1]

9	3.685	5.460
10	3.939	7.616
11	7.515	11.020
12	11.339	11.175
13	12.054	12.114
14	19.784	13.072

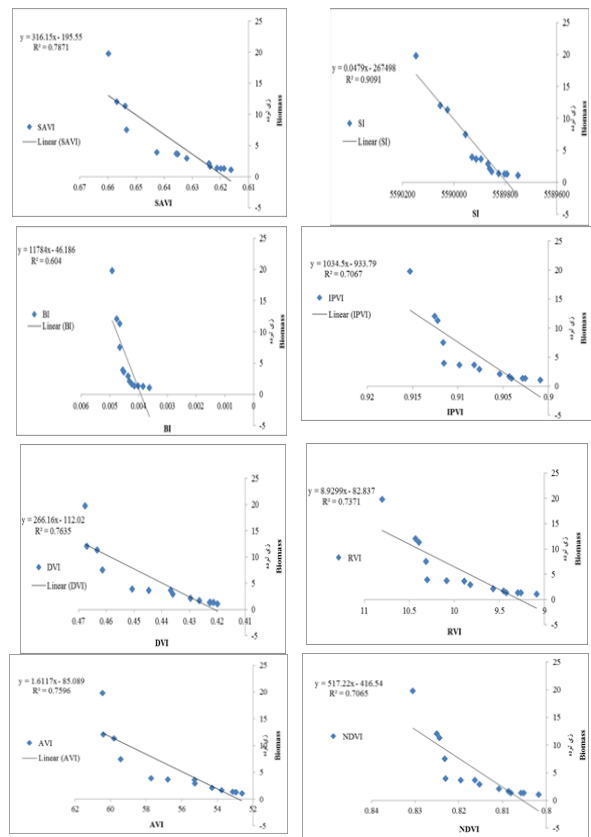
در نهایت نقشه زی توده منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص SAVI تهیه گردید (شکل ۵).



شکل ۵- نقشه زی توده منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص SAVI

### ۳- بحث

یکی از مدل‌های معمول برای برآورد زی توده، مدل رگرسیون خطی می‌باشد (Lu et al., 2014). زیرا با استفاده از داده‌های محدود و زمان کمتر نسبت به دیگر مدل‌ها نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد، همچنین به دلیل ساده بودن و عملکرد نسبتاً خوب آن، این روش اغلب در تخمین زی توده برای اکوسیستم‌های مختلف مانند جنگل‌های گرمسیری، نیمه گرمسیری و معتدل استفاده شده است (Feng et al., 2017). در این رابطه Gao et al. (2018) در پژوهشی به منظور مقایسه دقت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، نزدیکترین همسایه (KNN) و رگرسیون خطی (LR) در برآورد زی توده هوایی جنگل گرمسیری به این نتیجه رسیدند که مدل رگرسیون خطی هنوز یک ابزار مهم برای برآورد زی توده هوایی جنگل، بخصوص در محدوده ۱۲۰-۴۰ Mg/ha می‌باشد، که نتایج این پژوهش نیز با ضریب تبیین بین ۰/۶۰ تا ۰/۹۰ و مجذور میانگین مربعات خطا بین ۲/۴۵ تا ۷/۴۹ این امر را تایید می‌کند. یکی از روش‌های دقیق محاسبه زی توده



شکل ۴- رابطه بین زی توده اندازه‌گیری شده و ارزش متناظر شاخص‌ها

بعد از ارزیابی دقت، نتایج مقادیر زی توده برای هر قطعه نمونه با استفاده از شاخص SAVI به دلیل خطای پایین و ضریب تبیین مناسب، برآورد شد (جدول ۳) و همچنین مقدار زی توده منطقه نیز ۱۳۲/۴۳۳ تن در هکتار به دست آمد.

جدول ۳- مقادیر زی توده برآورد شده با شاخص SAVI

شماره قطعه	زی توده اندازه-گیری شده	زی توده برآورد شده
1	1.104	-0.681
2	1.339	0.0391
3	1.345	0.451
4	1.351	0.864
5	1.681	1.648
6	2.133	1.771
7	2.929	4.278
8	3.637	5.305

زی توده زمینی اندازه‌گیری شده نسبت به بقیه شاخص‌ها دارد. Shekhar and Kumar (2015) هم گزارش دادند که شاخص SAVI به دلیل در نظر گرفتن ضرایب خاک می‌تواند تخمین دقیقی داشته باشد. چگونگی اندازه‌گیری و برآورد موجودی ذخایر کربن درختان جنگلی از مهم‌ترین موضوع‌های پژوهشی محققان اکولوژی است، زیرا درختان جنگلی، از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین مخازن کربن در اکوسیستم‌های جنگلی به شمار می‌روند و سهم بسزایی در کاهش انتشار کربن اتمسفری دارند (Mahdavi and Mirzaei, 2020). در این پژوهش نیز با استفاده از مدل رگرسیون خطی حاصل از شاخص SAVI میزان زی توده منطقه مورد مطالعه ۱۳۲/۴۳۳ تن در هکتار برآورد شد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

اکوسیستم‌های جنگلی از بزرگترین مخازن کربن در کره زمین هستند و نقش مهمی در چرخه جهانی کربن دارند. همچنین زی توده هوایی جنگل یکی از داده‌های اولیه مورد نیاز برای ارزیابی چرخه کربن اتمسفری در مطالعات مربوط به ارزیابی پتانسیل اکوسیستم‌های جنگلی در تعدیل تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی می‌باشد. بنابراین اندازه‌گیری و برآورد زی توده هوایی جنگل باید به روشی باشد که کمترین زمان و هزینه را داشته و بدون تخریب باشد، که امروزه روش‌های سنجش از دور با تخمین‌های مناسبی از زی توده هوایی جنگل و دارا بودن شرایط فوق در اولویت قرار گرفته است. نتایج این پژوهش توانایی مدل رگرسیون خطی و تصویر سنتینل-۲ در برآورد زی توده هوایی را ثابت کرد. همچنین نشان داد که شاخص‌های پوشش گیاهی مانند شاخص SAVI که ضرایب خاک را نیز در نظر می‌گیرند از دقت بالاتری نسبت به شاخص‌هایی که این ضرایب را در نظر نمی‌گیرند، برخوردار هستند. در نهایت با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان پیشنهاد نمود که با توجه به اهمیت موضوع مورد مطالعه در این تحقیق و همچنین دقت قابل قبول روش‌های مبتنی بر سنجش از دور، به منظور توسعه این روش‌ها، از تصاویر سنجنده‌های دیگر با قدرت تفکیک‌های متفاوت و همچنین الگوریتم‌های دیگر نیز استفاده شود.

جنگل، قطع کامل درخت و انجام اندازه‌گیری‌های متعدد است که علاوه بر صرف زمان و هزینه‌بر بودن، باعث تخریب نیز می‌شود (Bakhtiari and Sohrabi, 2012). امروزه با پیشرفت تکنولوژی، روش‌های جدید با صرف هزینه و زمان کمتر جایگزین روش‌های قبلی شده‌اند، که یکی از این روش‌های پرکاربرد روش‌های مبتنی بر سنجش از دور و کاربرد داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد (Hosseini et al., 2015). با این وجود، فقط تعداد محدودی از روش‌های سنجش از دور به دلیل همبستگی زیاد آن‌ها با میزان زی-توده، مفید هستند (Gao et al., 2018). در واقعیت، نقش باندها و بافت‌های طیفی در مدل سازی زی توده هوایی به پیچیدگی ساختار جنگل بستگی دارد (Lu, 2005). (Baloloy et al. 2018). در پژوهشی برای برآورد زی توده هوایی جنگل مانگرو در Zambales از سه نوع تصویر PlanetScope, Rapideye و سنتینل-۲ استفاده کردند و با برقراری مدل رگرسیون خطی نشان دادند که تصویر سنتینل-۲ با ضریب تبیین ۰/۹۲ و مجذور میانگین مربعات خطا ۸/۷۹ از دقت بالایی نسبت به دو تصویر دیگر برخوردار می‌باشد. همچنین Puliti et al. (2021) برای برآورد زی توده هوایی جنگل داده‌های سنتینل-۲ و لندست را با هم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که داده‌های سنتینل-۲ تخمین‌های دقیق‌تری از زی توده هوایی نسبت به داده‌های لندست تولید می‌کنند. که این می‌تواند تا حدی به وضوح فضایی بالاتر (Mascorro et al., 2015)، طیفی و تفکیک زمانی داده‌های سنتینل-۲ در مقایسه با داده‌های لندست نسبت داده شود. در این پژوهش نیز برای برآورد زی توده هوایی جنگل بوسیله شاخص‌های گیاهی از تصویر سنتینل-۲ استفاده شد که شاخص SAVI با ضریب تبیین ۰/۷۸ و مجذور میانگین مربعات خطا ۲/۴۵ نتایج قابل قبولی را نسبت به شاخص‌های AVI، NDVI، DVI، SI، RVI، IPVI و BI ارائه داد. همچنین Ahmed and Imran (2018) در پژوهشی به منظور تعیین پتانسیل شاخص‌های طیفی لندست-۸ برای برآورد زی توده جنگلی از شاخص‌های NDVI، DVI، ARVI، SAVI و PVI استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که شاخص SAVI بیشترین همبستگی (R2 = ۰/۶۸) را با

#### منابع

- Akbarifard, S.; Qaderi, K.; Alinnejad, M. Parameter Estimation of the Nonlinear Muskingum Flood-Routing Model Using Water Cycle Algorithm. *J. Watershed Manag. Res.* 2018, 8 (16), 34–43. <https://doi.org/10.29252/jwmr.8.16.34>.
- Bakhtiarvand-Bakhtiari, S.; Sohrabi, H. Allometric Equations for Estimating above and Below-Ground Carbon Storage of Four Broadleaved and Coniferous Trees. *Iran. J. For. Poplar Res.* 2012, 20 (3), 481–492.
- Balidoy Baloloy, A.; Conferido Blanco, A.; Gumbao Candido, C.; Jay Labadisos Argamosa, R.; Bart Lovern Caboboy Dumalag, J.; Lee Carandang DImapilis, Lady; Camero Paringit, E. ESTIMATION of MANGROVE FOREST ABOVEGROUND BIOMASS USING MULTISPECTRAL BANDS, VEGETATION INDICES and BIOPHYSICAL VARIABLES DERIVED from OPTICAL SATELLITE IMAGERIES: RAPIDEYE, PLANETSCOPE and SENTINEL-2. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2018, 4 (3), 29–36. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-29-2018>.

- Castillo, J. A. A.; Apan, A. A.; Maraseni, T. N.; Salmo, S. G. Estimation and Mapping of Above-Ground Biomass of Mangrove Forests and Their Replacement Land Uses in the Philippines Using Sentinel Imagery. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2017, 134, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.10.016>.
- Clerici, N.; Rubiano, K.; Abd-Elrahman, A.; Posada Hoestettler, J.M.; Escobedo, F.J. Estimating aboveground biomass and carbon stocks in periurban Andean secondary forests using very high resolution imagery. *Journal of Forests*, 2016, 7(138), p.17.
- Dube, T.; Mutanga, O. Investigating the Robustness of the New Landsat-8 Operational Land Imager Derived Texture Metrics in Estimating Plantation Forest Aboveground Biomass in Resource Constrained Areas. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2015, 108, 12–32. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.06.002>.
- Dusseux, P.; Hubert-Moy, L.; Corpetti, T.; Vertès, F. Evaluation of SPOT Imagery for the Estimation of Grassland Biomass. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2015, 38, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.12.003>.
- Feng, Y.; Lu, D.; Chen, Q.; Keller, M.; Moran, E.; dos-Santos, M.N.; Bolfe, E.L.; Batistella, M. Examining effective use of data sources and modeling algorithms for improving biomass estimation in a moist tropical forest of the Brazilian Amazon. *Int. J. Digit. Earth* 2017, 10, 996–1016.
- Gao, Y.; Lu, D.; Li, G.; Wang, G.; Chen, Q.; Liu, L.; Li, D. Comparative Analysis of Modeling Algorithms for Forest Aboveground Biomass Estimation in a Subtropical Region. *Remote Sens.* 2018, 10 (4), 627. <https://doi.org/10.3390/rs10040627>.
- Gasparri, N. I.; Parmuchi, M. G.; Bono, J.; Karszenbaum, H.; Montenegro, C. L. Assessing Multi-Temporal Landsat 7 ETM+ Images for Estimating above-Ground Biomass in Subtropical Dry Forests of Argentina. *J. Arid Environ.* 2010, 74 (10), 1262–1270. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.04.007>.
- Gleason, C.; Im, J. A Review of Remote Sensing of Forest Biomass and Biofuel: Options for Small-Area Applications. *GIScience Remote Sens.* 2011, 48 (2), 141–170. <https://doi.org/10.2747/1548-1603.48.2.141>.
- Hese, S.; Lucht, W.; Schmullius, C.; Barnsley, M.; Dubayah, R.; Knorr, D.; Neumann, K.; Riedel, T.; Schröter, K. Global Biomass Mapping for an Improved Understanding of the CO<sub>2</sub> Balance - The Earth Observation Mission Carbon-3D. *Remote Sens. Environ.* 2005, 94 (1), 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.09.006>.
- Hosseini, S. Z.; Abbasi, M.; Bakhtiarvand, S.; Salehi, M. Proper Models to Estimate Aboveground Biomass Using Quickbird Satellite Imagery in Plantation Areas of Isfahan's Mobarakeh Steel Company. *Iran. J. For. Poplar Res.* 2015, 23 (1).
- Hosseini, S.Z.; Abbasi, M.; Bakhtiarvand, S.; Salehi, M. Proper models to estimate aboveground biomass using Quickbird satellite imagery in plantation areas of Isfahan's Mobarakeh Steel Company. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 2015, 23(1):143-153. (In Persian)
- Imran, A. B.; Ahmed, S. Potential of Landsat-8 Spectral Indices to Estimate Forest Biomass. *Int. J. Hum. Cap. Urban Manag.* 2018, 3 (4), 303–314.
- Kumar, D.; Shekhar, S. Statistical Analysis of Land Surface Temperature-Vegetation Indexes Relationship through Thermal Remote Sensing. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2015, 121, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.004>.
- Le Toan, T.; Quegan, S.; Davidson, M. W. J.; Balzter, H.; Paillou, P.; Papathanassiou, K.; Plummer, S.; Rocca, F.; Saatchi, S.; Shugart, H.; Ulander, L. The BIOMASS Mission: Mapping Global Forest Biomass to Better Understand the Terrestrial Carbon Cycle. *Remote Sens. Environ.* 2011, 115 (11), 2850–2860. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.03.020>.
- Li, H.; Mausel, P.; Brondizio, E.; Deardorff, D. A Framework for Creating and Validating a Non-Linear Spectrum-Biomass Model to Estimate the Secondary Succession Biomass in Moist Tropical Forests. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2010, 65 (2), 241–254. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.01.002>.
- Lu, D. Aboveground Biomass Estimation Using Landsat TM Data in the Brazilian Amazon. *Int. J. Remote Sens.* 2005, 26 (12), 2509–2525. <https://doi.org/10.1080/01431160500142145>.

- Lu, D.; Chen, Q.; Wang, G.; Liu, L.; Li, G.; Moran, E. A Survey of Remote Sensing-Based Aboveground Biomass Estimation Methods in Forest Ecosystems. *Int. J. Digit. Earth* 2016, 9 (1), 63–105. <https://doi.org/10.1080/17538947.2014.990526>.
- Mahdavi, A.; Mirzaei, M. Estimation of Leaf Biomass, Leaf Carbon Sequestration and Leaf Area Index of *Cercis Siliquastrum* L. in Forest Reserve, Ilam. *J. Plant Res. (Iranian J. Biol.* 2020, 33 (1), 202–212.
- Majasalmi, T.; Rautiainen, M. The Potential of Sentinel-2 Data for Estimating Biophysical Variables in a Boreal Forest: A Simulation Study. *Remote Sens. Lett.* 2016, 7 (5), 427–436. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2016.1149251>.
- Noorian, N.; Shataee-Jouibary, SH.; Mohammadi, J.. Assessment of Different Remote Sensing Data for Forest Structural Attributes Estimation in the Hyrcanian Forests. *Journal of Forest Systems*, 2016, 25(3), p.19.
- Pourhashemi, M. Structural Characteristics of Oak Coppice Stands of Marivan Forests. *J. Plant Res. (Iranian J. Biol.* 2015, 27 (5), 766–776.
- PULITI, Stefano, et al. Above-ground biomass change estimation using national forest inventory data with Sentinel-2 and Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 265: 112644.
- Sabaghzade, S.; Zare, M.; Mokhtari, M. H. Estimating Biomass Using Landsat Satellite Images (Case Study: Marak, Birjand). *J. Range Watershed Manag.* 2017, 69 (4), 907–920.
- Soenen, S. A.; Peddle, D. R.; Hall, R. J.; Coburn, C. A.; Hall, F. G. Estimating Aboveground Forest Biomass from Canopy Reflectance Model Inversion in Mountainous Terrain. *Remote Sens. Environ.* 2010, 114 (7), 1325–1337. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.12.012>.
- SUHET. SENTINEL-2 User Handbook Sentinel-2 User Handbook SENTINEL-2 User Handbook Title Sentinel-2 User Handbook Issue 1 Revision 1 SENTINEL-2 User Handbook. ESA Stand. Doc. Date 2013, 1 (1), 1–64.
- Teimourzadeh, A.; Ghorbani, A.; hossein Kavianpour, A. Study on the Flora, Life Forms and Chorology of the South Eastern of Namin Forests (Asi-Gheran, Fandoghloo, Hasani and Bobini), Ardabil Province. *J. Plant Res.* 2015, 28 (2), 265–275.
- Vafaei, S.; Soosani, J.; Adeli, K.; Fadaei, H.; Naghavi, H. Estimation of aboveground biomass using optical and radar images (Case study: Nav-e Asalem forests, Gilan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 2017, 25(2): 320-331. (In Persian)
- Varamesh, S.; Hosseini, S. M.; Abdi, N. Estimating potential of Urban Forests for Atmospheric Carbon Sequestration. *Iran. J. Environ. Stud.* 2011, 37, 113–120.
- Varamesh, S.; Hosseini, S. M.; Abdi, N. The effect of afforestation of hardwood species on soil carbon sequestration in Cheetgar Forest Park. *Soil and Water Sciences.* 2011. 25 (3), 187-196.
- Varamesh, S.; Hosseini, S.M.; Sefidi, K. Assessment of carbon sequestration content in biomass, *Robinia pseudoacacia* and *Cupressus arizonica* stands around Tehran. *Journal of Environmental Science and Technology* 2014, 16 (1), 396-404. Wang, G.; Zhang, M.; Gertner, G. Z.; Oyana, T.; McRoberts, R. E.; Ge, H. Uncertainties of Mapping Aboveground Forest Carbon Due to Plot Locations Using National Forest Inventory Plot and Remotely Sensed Data. *Scand. J. For. Res.* 2011, 26 (4), 360–373. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.564204>.
- Wang, X.; Shao, G.; Chen, H.; Lewis, B.J.; Qi, G.; Yu, D.; Zhou, L.; Dai, L. An Application Data in Mapping Landscape-Level Forest Biomass for Monitoring the Effectiveness of forest policies in Northeastern China. *Environmental Management*, 2013, 52: 612–620.
- Waring, R. H.; Running, S. W. *Forest Ecosystems: Analysis at Multiple Scales*; 2007. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370605-8.X5001-4>.
- Yu, X.; Ge, H.; Lu, D.; Zhang, M.; Lai, Z.; Yao, R. Comparative Study on Variable Selection Approaches in Establishment of Remote Sensing Model for Forest Biomass Estimation. *Remote Sens.* 2019, 11 (12), 1437. <https://doi.org/10.3390/rs11121437>.
- Zobeiri, M. *Forest Biometry*; University of Tehran Press ; 2002; Vol. 8.

## Investigation of the Potential of Sentinel-2 Images in Estimation of Forest Biomass

Saeid Varamesh<sup>1\*</sup> ; Sohrab Mohtaram Anbaran<sup>2</sup>

\*1- Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2- M.Sc. of Forest science and engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

\*Email Address : varameshs@uma.ac.ir

### Abstract

#### Introduction

land use/cover Change, especially the destruction of forest lands, is one of the most important factors in increasing atmospheric carbon emissions, resulting in global warming and climate change. On the other hand, forest ecosystems play an important role in absorbing and maintaining the global carbon balance. Because forest biomass constitutes about 90% of the biomass of the earth's vegetation and is considered an important parameter for evaluating the amount of carbon absorbed by the forest. Therefore, in the current situation where climate change and global warming have caused many environmental crises, evaluating the functioning of the forest ecosystem requires an accurate estimation of biomass and its changes, which should be done with minimum cost and time and without destruction. The total biomass includes Aboveground (trees, shrubs, etc.) and underground (living roots, etc.) Biomass research is concentrated in the Aboveground biomass sector. Various methods have been provided to estimate it. The most accurate method is based on ground measurements, but the destruction and economic costs of ground measurements are very high and it is not suitable for large-scale measurements. Remote sensing-based measurement methods, in addition to having the mentioned advantages, also make suitable estimates of forest Aboveground biomass possible. Because, the methods based on remote sensing, only require a small number of samples in the forest for ground measurement and include the use of various sensors, images, data, and different processing algorithms, the results have acceptable. Biomass prediction models based on satellite images can be obtained from radar data, multi-spectral bands, and vegetation indices (for example, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and variables Vegetation biophysics such as leaf area index). These models can be developed with or without secondary thematic data (e.g. height). Therefore, this study aims to estimate the aboveground biomass of part of Ardabil Fandoghlo forests using vegetation indices and regression models and to evaluate the efficiency of Sentinel-2 images in estimating the aboveground biomass of the forest.

#### Methodology

First, by conducting a forest tour, the characteristics of the mass in terms of area, topography, homogeneity and heterogeneity, and density were investigated. Then, the dimensions of the statistical network were determined to be 150 x 100 meters and the dimensions of the sample pieces were 20 x 20 meters. Taking into consideration the above-mentioned matters and to calculate the amount of biomass, 14 square samples with dimensions of 20 x 20 meters were established in a random-systematic way using a GPS device. Then, the information about the trees, including the species, diameter using a caliper and diameter measuring tape, and height using Suunto, were collected and entered into statistical forms and then into Excel. In the next step, due to the branching of the trees, the diameter weight of each group was obtained as the square root of the sum of the square of the diameter at the height of half a meter of all the trees of each group. Finally, the amount of aboveground biomass (AGB) was calculated in terms of tons per hectare. In order to carry out this research, the cloud-free image of the Sentinel-2 satellite was prepared on June 2019. QGIS 3.10, Arc GIS 10.3, SPSS, and Google Earth software were used to conduct this research. Then, to ensure the quality of the data and bands, the image used in this research was corrected for atmospheric errors using the Dark Object Subtraction (DOS) method in the QGIS 3.10 software environment, and then AVI, NDVI, DVI, SI, RVI, IPVI, SAVI, and BI indicators were calculated. A linear regression model was used to investigate the relationship between the calculated amount of biomass and the value of each sample plot in the above indices. So that the biomass measured in each plot with ground data as



the dependent variable (Y) and the numbers extracted from the calculated indices as the independent variable (X) were entered into the model by means of the linear regression model. The amount of biomass corresponding to each of the indicators was obtained. In the following, in order to evaluate the accuracy between the measured and estimated biomass values, the coefficient of determination (R<sup>2</sup>) and the root-mean-square-error (RMSE) was used. It should be noted that with 80% of the data, modeling and Accuracy assessment were done with 20%. Finally, after evaluating the accuracy, the biomass map of the region was prepared using the SAVI index.

### **Conclusion**

The results showed that the SAVI index with a coefficient of determination of 0.78 and a root-mean-square-error of 2.45 compared to other indices calculated in this study is more accurate in estimating aboveground biomass. For this reason, the biomass map of the study area was prepared using the SAVI index. Also, the amount of biomass in the area was estimated at 132.443 tons per hectare. The results also showed that the linear regression model is one of the common models for estimating biomass using ground data and the value of vegetation indices extracted from satellite images. Because it uses more limited data and less time than other models to provide more accurate results. It is still an important tool for estimating forest aboveground biomass. In addition, the high potential of remote sensing methods in estimating forest biomass with less time and cost was confirmed in this study. However, only a limited number of these methods are useful due to their high correlation with biomass content. It can be said that the role of bands and spectral textures in modeling aboveground biomass depends on the complexity of the forest structure. Forest aboveground biomass is one the essential data to evaluate the role of carbon storage in studies related to climate change and global warming. Therefore, measuring and estimating forest aboveground biomass using different methods based on remote sensing is possible with the least cost and time and is also without degradation. Finally, based on the results of this study, it can be said that Sentinel-2 images have acceptable accuracy in estimating aboveground biomass of forest ecosystems and also vegetation indices such as the SAVI index, which consider soil coefficients, are more accurate than Indicators that do not take these coefficients into account.

### **Keywords**

Aboveground biomass; Fandoghlo forest; Remote Sensing; Vegetation Index.