

## برآورد زی توده چوبی روی زمینی توده‌های راش در جنگل‌های شمال ایران با استفاده از داده‌های سنجنده OLI (مطالعه موردی: بخش‌های گرازبن و نم‌خانه، جنگل خیرود)

قاسم رونود<sup>۱</sup>، علی اصغر درویش صفت<sup>۲\*</sup>، منوچهر نمیرانیان<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۲. استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۱

### چکیده

در این پژوهش قابلیت داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ برای برآورد زی توده چوبی روی زمینی درختان توده‌های راش هیرکانی بررسی شده است. کیفیت تصاویر از نظر وجود خطاهای هندسی و نیز لکه‌های ابر بررسی شد. پردازش‌هایی مانند تحلیل مؤلفه اصلی، تبدیل تسلدکپ، نسبت‌گیری و ادغام به دو روش تحلیل مؤلفه اصلی و تبدیل فضای رنگ بر روی تصویر منطقه تحقیق انجام گرفت. ۶۵ قطعه نمونه مربع‌شکل، هر کدام به ابعاد ۴۵×۴۵ متر در جنگل برداشت شد و از ۴۵ قطعه نمونه برای مدلسازی با استفاده از روش آماری پارامتریک رگرسیون چندمتغیره خطی به روش گام‌به‌گام استفاده شد. اعتبارسنجی با استفاده از ۲۰ قطعه نمونه باقی‌مانده انجام گرفت. بررسی ضریب همبستگی پیرسون بین زی توده روی زمینی در قطعه‌های نمونه زمینی و ارزش‌های طیفی متناظر در باندهای اصلی و محاسباتی نشان می‌دهد که مؤلفه اول حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی بر روی باندهای ۱ تا ۷، بیشترین همبستگی را با زی توده روی زمینی دارد. اجرای رگرسیون چندمتغیره خطی به روش گام‌به‌گام بین زی توده روی زمینی و تمام متغیرهای دورسنجی نشان داد که این مؤلفه، مؤثرترین متغیر در برآورد زی توده چوبی روی زمینی توده‌های راش در جنگل‌های منطقه تحقیق است. مدل یک‌متغیره خطی شامل این مؤلفه، دارای مقدار ضریب تعیین تعدیل‌شده ۰/۱۲۲، درصد مجذور میانگین مربع خطای محاسبه‌شده ۱۴/۳ درصد و انحراف ۱/۱۸ درصد است. از آنجا که برآورد و پایش زی توده به‌طور اجرایی به‌طور معمول در سطوح کوچک جنگل متداول نیست، خطای مدل را می‌توان برای برآورد زی توده در سطوح به نسبت وسیع مانند حوضه‌های آبخیز قابل قبول دانست.

واژه‌های کلیدی: توده راش، رگرسیون خطی چندمتغیره، زی توده روی زمینی، لندست ۸.

### مقدمه

آلاینده‌ها دارد. بوم‌سازگان‌های جنگلی در کاهش گاز دی‌اکسید کربن نقش مهمی دارند [۱]. گیاهان و به‌ویژه درختان به‌وسیله فرایند فتوسنتز، طی مراحل چرخه کالوین<sup>۱</sup>، دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر را به مولکول‌های قند تبدیل کرده و از آن برای تولید زی توده در اجزای مختلف درخت استفاده می‌کنند. بخش اصلی

امروزه مسئله گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، نگرانی بسیار جدی برای ساکنان کره زمین محسوب می‌شود. انباشتگی گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر سبب افزایش دمای کره زمین و در نتیجه تغییر اقلیم می‌شود. در این میان گاز دی‌اکسید کربن ( $CO_2$ ) نقش بسزایی در میان دیگر

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۱۶۴۰۹۴۴

زی توده بوم‌سازگان‌های جنگلی، زی توده چوبی است. برآورد و پایش این زی توده از جنبه‌های مختلفی مانند بررسی مقدار کربن ذخیره‌شده، محاسبه مقدار تولید اولیه، مطالعه رفتار و شدت آتش و ارزیابی زیست‌محیطی جنگل‌ها و طرح‌های جنگلداری اهمیت دارد [۲].

در طی چند دهه اخیر، تخریب منابع جنگلی روند افزایشی پیدا کرده و به‌عنوان یکی از مباحث بحرانی در دنیا و به‌ویژه ایران مطرح شده است. نگرانی‌های اخیر در مورد تغییرات جهانی اقلیم و وضعیت بوم‌سازگان‌ها، تلاش برای برآورد زی توده با صحت زیاد و پایش پویایی آن را ایجاب می‌کند [۳]. روش‌های اندازه‌گیری مستقیم و آماربرداری زمینی برای تعیین مقدار زی توده و پایش آن از صحت زیادی برخوردارند، اما جمع‌آوری و بهنگام‌سازی این داده‌ها مستلزم صرف هزینه، نیروی کار و زمان زیاد است که مقرون‌به‌صرفه نیست [۴]. به‌علاوه، گستردگی سطح جنگل‌ها و دسترسی دشوار به بخش‌های کوهستانی آنها، کارایی روش‌های میدانی را با چالش‌های جدی روبه‌رو کرده است [۵]. از این‌رو در سه دهه اخیر، استفاده از روش‌های دورسنجی در برآورد زی توده و دیگر مشخصه‌های جنگلی اهمیت بسیار زیادی یافته [۶] و تحقیقات متعددی در این زمینه انجام گرفته است. جنگل‌های هیرکانی، نقش مهمی در ذخیره زی توده دارند و از بااهمیت‌ترین و غنی‌ترین رویشگاه‌های جنگلی کشور از نظر تنوع و موجودی هستند، چراکه در حدود ۸۰ گونه درختی و ۵۰ گونه درختچه‌ای به‌صورت طبیعی در این جنگل‌ها یافت می‌شود [۷]. به همین دلیل برآورد زی توده در این جنگل‌ها با روش‌های دورسنجی اهمیت زیادی دارد و باید قابلیت داده‌های مختلف سنسجش از دور و روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل آنها برای برآورد زی توده بررسی شود.

در ایران پژوهش‌های اندکی در زمینه برآورد زی توده و کربن انجام گرفته، اما در زمینه برآورد مشخصه‌هایی از جمله حجم، رویه زمینی و تعداد در هکتار، پژوهش‌های متعددی صورت پذیرفته است. در دو پژوهش قابلیت داده‌های سنجنده

SPOT-HRG به‌ترتیب برای امکان برآورد ذخیره کربن و زی توده روی زمینی در جنگل آموزشی-پژوهشی دارابکلای ساری بررسی شد [۸، ۵]. در تحقیقی دیگر مدل‌سازی برآورد زی توده جنگل‌های شمال ایران با استفاده از داده‌های نوری و راداری انجام گرفت و مشخص شد که بهترین مدل برآورد، معادلات رگرسیونی چندمتغیره با ضریب تعیین  $0.731$  و  $RMSE=13/88$  تن در هکتار است [۹]. رستمی اندارگلی (۲۰۰۸) در بخشی از جنگل‌های منطقه آستارا در استان گیلان با داده‌های سنجنده HRG ماهواره اسپات ۵ به برآورد زی توده چوبی پرداخت و نشان داد که باند مادون قرمز نزدیک با مدل خطی ساده که ضریب تعیین آن  $0.73$  است، در برآورد زی توده معنی‌دار شناخته شد (در این تحقیق حجم سرپا معادل زی توده در نظر گرفته شد) [۱۰]. برآورد زی توده در جنگل‌های غرب کشور نیز با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و OLI انجام گرفت است و مشخص شد که این داده‌ها قابلیت متوسطی برای برآورد زی توده شاخه و برگ درختان دارند [۱۱]. خرمی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی قابلیت داده‌های سنجنده Landsat ETM+ برای برآورد حجم سرپای توده‌های خالص و رو به شمال راش دریافتند که برپایه ضریب همبستگی پیرسون، داده‌های باند مادون قرمز و باند مادون قرمز نزدیک ادغام‌شده با باند Pan بیشترین مقدار همبستگی را با موجودی سرپا به‌ترتیب با  $r=0.7$  و  $r=0.72$  - نشان داده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان از این داده‌ها برای برآورد حجم سرپا استفاده کرد [۱۲]. در خارج از کشور تحقیقات بسیار زیادی در زمینه برآورد زی توده انجام گرفته است. Yadav and Nandy (۲۰۱۵) در استفاده از تصاویر LISS-III برای برآورد زی توده روی زمینی در جنگل‌های تیملی هندوستان دریافتند که به‌کارگیری روش آماری K-NN<sup>۱</sup> با تابع فاصله‌سنجی ماه‌الانویس نتیجه قابل قبولی ( $RMSE=42/25$  مگاگرم در هکتار) را ارائه می‌دهد [۱۳]. Wijaya و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که داده‌های

1. K-Nearest Neighbor (K-NN)

امروزه روش‌های برآورد زی‌توده روی زمینی بوم‌سازگان‌های جنگلی با استفاده از علم سنجش از راه دور بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و تحقیقات اساسی در سه دهه اخیر در این زمینه صورت پذیرفته است. با این حال هنوز هم به‌طور قطعی مشخص نشده است که در چه شرایط رویشی، کدام داده‌های دورسنجی با کدام آماری، دقیق‌ترین مقدار برآورد زی‌توده را ارائه خواهد داد. باید توجه داشت که برای ایجاد یک مدل برآورد با صحت زیاد، به اجرای صحیح گام‌های فرایند برآورد زی‌توده و در نتیجه کاهش عدم قطعیت‌ها نیاز داریم و از این‌رو تحقیقات پیوسته در این زمینه ضروری است.

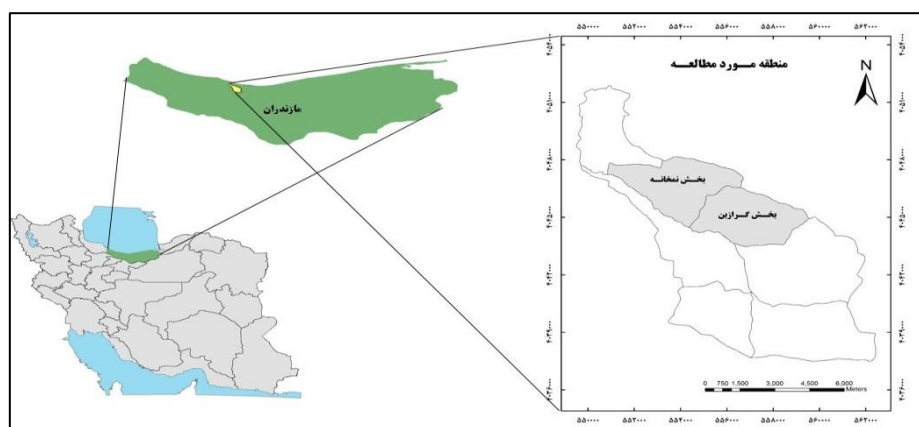
از آنجا که ماهواره لندست ۸ با ویژگی‌های خاص به‌تازگی در مدار قرار گرفته است و همچنین به‌دلیل اهمیت جنگل‌های شمال ایران از لحاظ تنوع و موجودی و نقش مهم این جنگل‌ها در ذخیره زی‌توده، هدف اصلی این پژوهش بررسی قابلیت داده‌های جدید سنجنده OLI<sup>۳</sup> در برآورد مقدار زی‌توده راش در جنگل‌های شمال ایران است.

### مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق با مساحت تقریبی ۵۰۰ هکتار بخشی از جنگل آموزشی-پژوهشی خیرود است. جنگل خیرود مساحتی در حدود ۸۰۰۰ هکتار دارد که در ۷ کیلومتری شهرستان نوشهر در استان مازندران بین ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه طول جغرافیایی شرقی و ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه و ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی قرار دارد [۱۸، ۱۹]. پژوهش حاضر با توجه به هدف آن در راشستان‌های خالص موجود در بخش‌های گرازبن و نم‌خانه (شکل ۱) جنگل مذکور صورت گرفت. در این تحقیق، توده‌هایی خالص در نظر گرفته شدند که بیشتر از ۸۰ درصد گونه‌های آنها را گونه راش در بر گیرد.

سنجنده ETM+ در شرایط جنگل‌های کالیفاتای اندونزی و به‌کارگیری روش رگرسیون چندمتغیره خطی گام‌به‌گام، زی‌توده را ۰/۱۲۸ گیگاتن کمتر برآورد کرده‌اند [۱۴]. Fuchs و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی با عنوان برآورد کربن روی زمینی ذخیره‌شده در جنگل‌های توندرا، از داده‌های ماهواره‌های ASTER و QuickBird استفاده کردند [۱۵]. نتایج نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره QuickBird و روش ناپارامتریک K-NN با مقادیر  $RMSE=6/42$  تن در هکتار،  $r=0/66$  و  $RMSEr=0/44$  نتیجه بهتری را نسبت به داده‌های ASTER ارائه می‌دهد. Hall و همکاران (۲۰۰۶) در جنگل‌های غرب ایالت آلبرتا، امکان مدلسازی مشخصه‌های ارتفاع و تاج‌پوشش درختان با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ برای تهیه نقشه‌های زی‌توده روی زمینی و حجم چوب را بررسی کردند [۱۶]. Zheng و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهش خود به برآورد زی‌توده روی زمینی با استفاده از داده‌های ETM+ در ویسکانسین آمریکا پرداختند [۱۷]. این پژوهش نشان داد که برآورد زی‌توده در جنگل‌های پهن‌برگ رابطه قوی با سن توده و بازتاب‌های مادون قرمز نزدیک ( $R^2=0/95$ ) دارد، درحالی که زی‌توده جنگل‌های سوزنی‌برگ رابطه قوی با شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده تصحیح‌شده<sup>۲</sup> ( $R^2=0/86$ ) Lu (۲۰۰۵) در پژوهشی زی‌توده روی زمینی مناطقی از شرق و غرب جنگل‌های آمازون را با استفاده از داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست کردند. این پژوهش نشان داد که تصاویر TM لندست برای برآورد زی‌توده در جنگل‌های پیشگام از لحاظ توالی نسبت به جنگل‌های بالغ مناسب‌تر است [۶]. بر اساس نتایج تحقیقات یاد شده و دیگر مطالعات و با توجه به تفاوت‌های چشم‌گیر رویشگاه‌های مختلف، ضروری است که تحقیقات در این زمینه ادامه یابد تا بتوان قابلیت داده‌های ماهواره‌ای در برآورد زی‌توده را با اطمینان بیشتری بیان کرد.

1. Relative Root Mean Square Error (rRMSE)  
2. NDVI- Corrected



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق در ایران و استان مازندران (جنگل خیرود)

زمینی [۲۰] که توسط سازمان خواربار جهانی [۲۱] نیز ارائه شده است (رابطه ۱)، مقدار زی توده در هر قطعه نمونه (تن در هکتار) برآورد شد.

$$AGB(Ton/ha) = Volume \times WD \quad (1)$$

Volume، حجم چوب به متر مکعب در هکتار و  $(m^3/ha)$  و WD، چگالی بحرانی<sup>۱</sup> متوسط چوب به تن در متر مکعب  $(ton/m^3)$  است. چگالی بحرانی متوسط چوب گونه راش در توده‌های راش منطقه تحقیق برابر با ۰/۵۶ تن در متر مکعب است [۲۲].

قبل از به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای، کیفیت آنها از نظر وجود خطاهای هندسی و رادیومتری مانند پیکسل‌های تکراری و وجود لکه‌های ابر بررسی شد. به‌منظور استخراج هرچه بهتر اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان آنها را مورد پردازش‌های بارزسازی متعدد قرار داد. این پردازش‌ها که جنبه آماده‌سازی داده‌ها برای تجزیه و تحلیل را دارند، باید متناسب با هدف، منطقه تحقیق و نوع داده‌ها تعیین و اجرا شوند. پردازش‌های انجام‌گرفته در این پژوهش عبارت‌اند از نسبت‌گیری، تحلیل مؤلفه اصلی ( $PCA^2$ )، تبدیل تسلدکپ و

در این پژوهش از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ به شماره گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۵ مربوط به تاریخ ۲۷ مرداد ۱۳۹۳ هجری شمسی و نقشه‌های دوبعدی (2D) برای کنترل کیفیت هندسه تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. قطعات نمونه به روش انتخابی در توده‌های خالص راش بخش‌های نم‌خانه و گرازین جنگل آموزشی-پژوهشی خیرود در مرداد ۱۳۹۳ پیاده‌سازی و برداشت شدند. اندازه تفکیک مکانی داده‌های چندطیفی استفاده‌شده در این پژوهش ۳۰ متر است. برای استفاده توأم باندهای چندطیفی با باند پانکروماتیک، اندازه تفکیک مکانی آنها از ۳۰ متر به ۱۵ متر تبدیل شد؛ به‌همین دلیل قطعات نمونه به‌شکل مربع و با ابعاد  $45 \times 45$  متر (مساحت ۲۰۲۵ متر مربع) تعیین شد. در ضمن فاصله بین مراکز قطعات نمونه در حدود ۱۵۰ متر در نظر گرفته شد (مضربی از ۱۵). در این پژوهش قطعات نمونه روی سطوح بدون شیب یا کم‌شیب انتخاب شدند تا اثر زیادی بر بازتاب وجود نداشته باشد. در مجموع ۶۵ قطعه نمونه در منطقه تحقیق برداشت شد. در تمامی قطعات نمونه، نوع گونه و قطر برابر سینه همه درختان قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. حجم سرپای تک‌تک درختان با استفاده از جدول حجم یک‌عامله (تاریف) محاسبه و مجموع حجم درختان سرپای موجود در قطعه نمونه به‌دست آمد و با استفاده از ضریب سیلو (۰/۹) [۱۸، ۱۹] به واحد متر مکعب تبدیل شد. با استفاده از معادله تبدیل حجم به زی توده روی

۱. چگالی بحرانی (پایه) عبارت است از نسبت وزن خشک چوب در رطوبت صفر به حجم اشباع از آب همان چوب. برای تعیین زی توده درختان جنگلی از چگالی بحرانی استفاده می‌شود. چوب سرپا به‌عنوان چوب اشباع در نظر گرفته می‌شود [۲۳].

تطابق هندسی دارند، چراکه برای تصحیح هندسی تصاویر لندست ۸ علاوه بر استفاده از نقاط کنترل زمینی<sup>۲</sup> از مدل رقومی ارتفاع<sup>۳</sup> برای تصحیح اورتو<sup>۴</sup> استفاده شده است که موجب شده تطابق هندسی بی نظیری با پدیده‌های زمینی داشته باشد [۲۵]. روی هم گذاری لایه وکتوری جاده‌ها و انطباق بسیار خوب آن بر تصویر در این تحقیق نیز مؤید این نکته است.

کمترین مقدار زی توده روی زمینی در قطعات نمونه زمینی، برابر با ۱۹۲/۴۹ تن در هکتار، بیشترین مقدار آن برابر ۴۶۷/۴۴ و میانگین آن ۲۹۴/۶۷ تن در هکتار است. تحلیل همبستگی پیرسون بین زی توده روی زمینی در قطعات نمونه زمینی و ارزش‌های طیفی متناظر در باندهای اصلی و محاسباتی نشان می‌دهد که مؤلفه اول حاصل از تحلیل PCA کل باندهای اصلی (PCA1-7) بیشترین مقدار همبستگی (۰/۳۷۷) را با زی توده روی زمینی دارد که در سطح ۹۵ درصد اطمینان نیز معنی دار است. در همین سطح اطمینان، به ترتیب مؤلفه اول حاصل از تحلیل PCA باندهای ۵ و ۶ (r=۰/۳۷۵)، باند مادون قرمز نزدیک (r=۰/۳۶۷) و مؤلفه سبزینگی (r=۰/۳۵) همبستگی به نسبت بیشتری با زی توده روی زمینی دارند (جدول ۱). مثبت بودن این همبستگی نشان می‌دهد که هرچه تاج پوشش بیشتر باشد، بازتاب انرژی از پوشش گیاهی بیشتر است که در نتیجه نشان می‌دهد زی توده روی زمینی بیشتر است. ادغام باندها با باند پانکروماتیک به غیر از ادغام بر روی باند مادون قرمز نزدیک، همبستگی معنی داری را ایجاد نکرده است. مطالعات دیگری نیز همبستگی معنی دار بین حجم سرپا (از طریق محاسبه حجم سرپا، زی توده روی زمینی برآورد می‌شود)، زی توده و باند مادون قرمز نزدیک ادغام شده را نشان داده است [۱۲، ۱۱]. وضعیت اشکوب بندی

ادغام به دو روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و تبدیل فضای رنگ.

برای بررسی همبستگی بین زی توده روی زمینی و ارزش‌های طیفی متناظر، از تحلیل همبستگی پیرسون استفاده شد. مدلسازی به روش رگرسیون چندمتغیره خطی گام به گام<sup>۱</sup> انجام گرفت. به منظور اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی، حدود ۳۰ درصد داده‌ها (۲۰ قطعه نمونه) به صورت تصادفی انتخاب و به عنوان مجموعه داده‌های اعتبارسنجی از کلیه تجزیه و تحلیل‌ها کنار گذاشته شدند. با در اختیار داشتن مقادیر برآورد شده (AGBi) و مقادیر مشاهده شده زی توده روی زمینی ( $\overline{AGBi}$ )، با استفاده از آماره مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) اعتبار مدل‌های رگرسیونی انتخاب شده ارزیابی شدند (رابطه ۲). مقدار درصد مجذور میانگین مربعات خطا براساس رابطه ۳ محاسبه شد [۲۴]. مقادیر اریبی (Bias) و درصد آن نیز محاسبه شد (رابطه‌های ۴ و ۵).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (AGBi - \overline{AGBi})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (AGBi - \overline{AGBi})^2}{n}} \times 100 \quad (3)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (AGBi - \overline{AGBi})}{n} \quad (4)$$

$$Bias \% = \frac{\sum_{i=1}^n (AGBi - \overline{AGBi})}{\overline{AGBi}} \times 100 \quad (5)$$

$AGBi$ ،  $\overline{AGBi}$  و  $\overline{AGB}$  به ترتیب زی توده روی زمینی برآورد شده، مشاهده شده و متوسط مشاهده شده در هر قطعه نمونه و  $n$  تعداد مشاهدات است. در مدلسازی به روش آماری پارامتریک باید باقی مانده‌های مدل رگرسیونی نرمال باشند؛ از این رو نرمال بودن باقی مانده‌ها با استفاده از روش کولموگروف-اسمیرنوف نیز بررسی شد.

## نتایج و بحث

تصاویر ماهواره لندست ۸ کیفیت به نسبت زیادی از لحاظ

2. Ground Control Point (GCP)  
3. Digital Elevation Model (DEM)  
4. Orthorectification

1. Stepwise Regression

نکته مهم در این مدل این است که از میان تمام متغیرهای استفاده شده، مؤلفه اول حاصل از تحلیل PCA باندهای یک تا هفت معنی دار شناخته شده است و دیگر متغیرها وارد مدل نهایی نشده‌اند، از این رو مدل حاصل، مدل رگرسیونی یک متغیره خطی ساده است.

نتایج تجزیه واریانس برای برآورد زی توده روی زمینی نشان می‌دهد که مدل رگرسیونی در سطح ۹۵ درصد ( $P < 0.05$ ) معنی دار است (شکل ۲ و جدول‌های ۳ و ۴).

راشستان‌های بررسی شده به گونه‌ای بود که ثبت بازتاب پوشش کف جنگل یا خاک توسط سنجنده، به کمترین مقدار ممکن می‌رسد؛ بنابراین مشاهده می‌شود که با افزایش اندازه تاج پوشش، بازتاب آن نیز بیشتر می‌شود.

تحلیل رگرسیون خطی چندمتغیره به روش گام به گام بین زی توده روی زمینی و تمام متغیرهای دورسنجی اعم از باندهای اصلی و محاسباتی، نشان داد که مدل حاصل (جدول ۲) با مقدار ضریب تعیین تعدیل شده  $0.122$  و خطای معیار  $63/5$  تن در هکتار مناسب‌ترین مدل است.

جدول ۱. نتایج تحلیل همبستگی میان زی توده روی زمینی و باندهای اصلی و محاسباتی

متغیر دورسنجی	R	متغیر دورسنجی	R
b1	$-0.42^{ns}$	PCA (5,6)	$0.375^*$
b2	$0.07^{ns}$	PCA (6,7)	$0.362^*$
b3	$0.357^*$	Fus (OLI b1)	$-0.094^{ns}$
b4	$0.316^*$	Fus (OLI b2)	$-0.087^{ns}$
b5	$0.368^*$	Fus (OLI b3)	$0.021^{ns}$
b6	$0.367^*$	Fus OLI (b4)	$-0.018^{ns}$
b7	$0.325^*$	Fus (OLI b5)	$0.329^*$
b8	$0.234^{ns}$	Fus (OLI b6)	$0.148^{ns}$
VI	$0.328^*$	Fus (OLI b7)	$0.055^{ns}$
NDVI	$0.341^*$	Fus (colsp7)	$0.263^{ns}$
Greenness	$0.35^*$	Fus (colsp5)	$0.321^*$
PCA (1-7)	$0.377^*$	Fus (colsp4)	$0.067^{ns}$
PCA (1-4)	$0.197^{ns}$		

\*: همبستگی معنی دار در سطح ۹۵ درصد. ns نبود همبستگی معنی دار (1-8-OLI): باندهای یک تا هشت سنجنده OLI، VI: شاخص ساده گیاهی، NDVI: شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده، Greenness: مؤلفه سبزیگی تبدیل تسلدکپ، PCA (1-7): مؤلفه اول حاصل از پردازش PCA بر روی داده‌های باندهای طیفی ۱ تا ۷ سنجنده OLI، PCA (1-4): مؤلفه اول حاصل از پردازش PCA بر روی داده‌های باندهای طیفی ۱ تا ۴ سنجنده OLI، PCA (5,6): مؤلفه اول حاصل از پردازش PCA بر روی داده‌های باندهای طیفی ۵ و ۶ سنجنده OLI، PCA (6,7): مؤلفه اول حاصل از پردازش PCA بر روی داده‌های باندهای طیفی ۶ و ۷ سنجنده OLI، Fus (OLI1-7): باندهای ادغام یافته با باند PAN به روش PCA، Fuscol (7,5,4): باندهای ۴، ۵ و ۷ ادغام یافته با باند PAN به روش تبدیل فضای رنگ

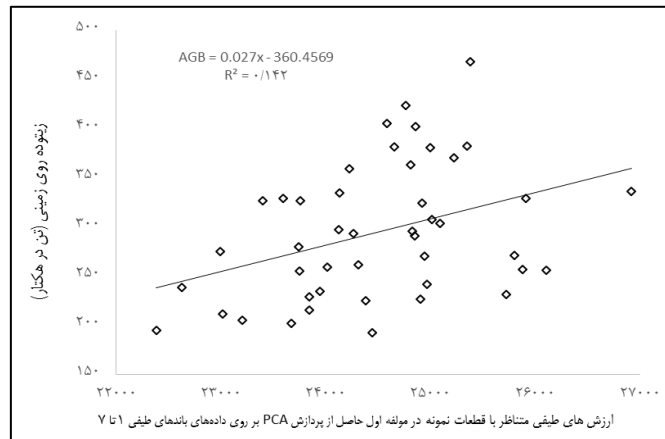
جدول ۲. نتایج تحلیل رگرسیونی خطی برای برآورد زی توده

نوع مدل	ضریب تعیین ( $R^2$ )	ضریب تعیین تعدیل شده ( $R^2_{adj}$ )	خطای معیار برآورد (SEE)	مدل
رگرسیون خطی	$0.142$	$0.122$	$63/5$	$AGB = 0.027 PCA_{17} - 360/456$

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس رگرسیون یک متغیره خطی ساده بین زی توده و مؤلفه اول حاصل از تحلیل PCA روی همه باندها

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
رگرسیون	$28717/765$	۱	$28714/765$	$7/122$	
باقی مانده	$173259/782$	۴۳	$4031/623$		$0.011$
کل	$202074/546$	۴۴			

متغیر وابسته: زی توده روی زمینی (AGB)



شکل ۲. ابر نقاط بین زی توده روی زمینی و ارزش های طیفی مؤلفه اول حاصل از پردازش PCA روی همه باندهای طیفی

جدول ۴. ضرایب رگرسیون یک متغیره خطی ساده بین زی توده و مؤلفه اول حاصل از تحلیل PCA روی همه باندها و آزمون معنی دار بودن آن

مدل	ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استاندارد شده	
	B	خطای معیار	Beta	آماره t
عدد ثابت	-۳۶۰/۴۵۶	۲۴۵/۶۰۷		-۱/۴۶۸
PCA (1-7)	۰/۰۲۷	۰/۰۱	۰/۳۷۷	۲/۶۶۹

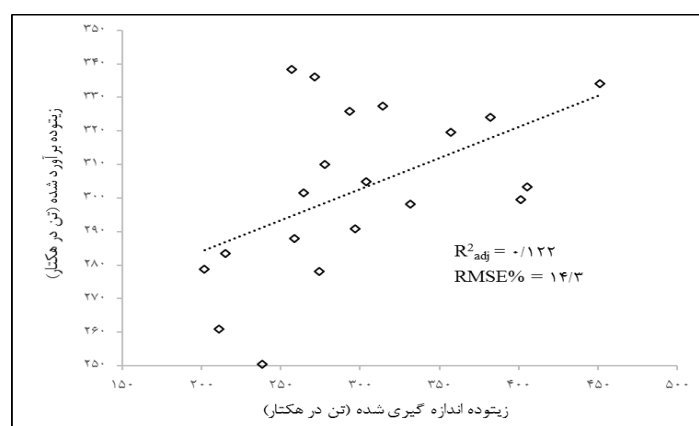
متغیر وابسته: زی توده روی زمینی (AGB)

به دست آمده ۶/۰۴۴ است (Bias%=۱/۱۸) که نشان دهنده کیفیت و روش اندازه گیری خوب است. ابر نقاط مقادیر زی توده اندازه گیری شده در برابر مقادیر زی توده برآورد شده با رابطه رگرسیونی خطی حاصل در شکل ۳ آمده است. نتایج بررسی نرمالیت باقی مانده ها با استفاده از روش کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که باقی مانده های مدل رگرسیونی این تحقیق نرمال (مقدار p برابر ۰/۸۵) هستند.

در فرایند مدلسازی برآورد زی توده روی زمینی توده های جنگلی، عوامل مختلفی سبب افزایش مقدار خطای برآورد می شوند که باید در جهت درک، کمی سازی و رفع این عوامل تلاش کرد [۴]. خطای اندازه گیری قطر برابر سینه درختان در آماربرداری، خطای GPS در تعیین مختصات قطعات نمونه، خطا در محاسبه مقدار زی توده براساس حجم و تداخل بازتاب های پدیده های مجاور، بازتاب گونه هایی نظیر ممرز که در قطعات نمونه حضور دارند از جمله منابع عدم قطعیت ها و مقدار ضریب تبیین اصلاح شده کم در پژوهش حاضرند.

Lu (۲۰۰۵) رابطه بین پاسخ های طیفی TM (از جمله باندهای اصلی، شاخص های گیاهی، تبدیل های خطی مانند تحلیل PCA و تبدیل تسلدکپ) و زی توده را بررسی کرد و دریافت که شاخص های گیاهی، همبستگی ضعیفی با زی توده دارند، اما مؤلفه اول حاصل از تحلیل PCA باندهای اصلی در شرایط جنگلی با ساختار چنداشکوبه بیشترین همبستگی را با زی توده دارد [۶]. در پژوهش حاضر نیز توده های راش بررسی شده چنداشکوبه است و ساختار چنداشکوبه آن کم و بیش همانند شرایط جنگل های پژوهش [۶] و نتایج آن همسو با نتایج این تحقیق است. نتایج این پژوهش این دیدگاه را تقویت می کند که پردازش PCA یکی از متغیرهای مهم در برآورد زی توده روی زمینی در چنین توده هایی است؛ چراکه در کنار متغیرهایی مانند باندهای مادون قرمز نزدیک (باند ۵) و میانی اول (باند ۶) و مؤلفه سبزینگی، بیشترین همبستگی را با زی توده روی زمینی در محل قطعات نمونه دارد.

براساس اعتبارسنجی مقدار  $RMSE=42/38$  تن در هکتار ( $RMSE\% = 14/3$ ) و مقدار انحراف (Bias) مدل



شکل ۳. مقادیر زی توده اندازه گیری شده در برابر مقادیر زی توده برآورده شده

### نتیجه گیری

ممرز) ارزیابی کرد. در صورت کسب نتایج قابل قبول در توده‌های خالص، می‌توان این هدف را در توده‌های آمیخته نیز بررسی کرد. از سوی دیگر، نتایج این رویکرد به نوع سنجنده و داده‌های میدانی نیز وابسته است. از این رو نمی‌توان نتایج این پژوهش را با دیگر تحقیقات داخلی (هرچند تعداد آنها اندک است) و خارجی مقایسه کرد. به‌طور کلی نتایج مدلسازی برآورد زی توده در این تحقیق نشان داد که مدل رگرسیونی حاصل دارای ضریب تعیین تعدیل شده کمی است ( $R^2_{adj} = 0.122$ ) که ممکن است به دلیل تأثیرگذار بودن عواملی همچون فرم درختان، ساختار توده‌ها، وجود سایه، و پوشش گیاهی کف جنگل در نقاط باز که سبب افزایش عدم قطعیت می‌شوند، باشد.

اعتبارسنجی مدل حاصل (مقدار و درصد مناسب RMSE و مقدار انحراف کم مدل)، ایده امکان برآورد زی توده روی زمینی توده‌های خالص راش این جنگل‌ها را با استفاده از داده‌های سنجنده OLI تقویت کرد، اگرچه ضریب تبیین مقدار کمی دارد. ایجاد چنین مدل‌هایی براساس داده‌های سنجنش از دوری متداول است، ولی به مناطق دیگر تعمیم‌پذیر نیست. در ضمن این‌گونه مدلسازی‌ها حتی در توده‌های راش خالص و در شرایط رویشگاهی مشابه هم باید تکرار شود تا از اتفافی نبودن نتایج اطمینان حاصل شود. در ادامه، این رویکرد را می‌توان در توده‌های راش خالص در شرایط رویشگاهی متفاوت و همچنین دیگر توده‌های خالص (مانند بلوط و

### References

- [1]. Zahedi Amiri, Gh., and Zargham, N. (2015). Carbon Sequestration in Terrestrial Ecosystems. University of Tehran Press, Tehran.
- [2]. Lu, D., Chen, Q., Wang, G., Liu, L., Li, G., and Moran, E. (2016). A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. International Journal of Digital Earth, 9(1): 63-105.
- [3]. Le Toan, T., Quegan, S., Davidson, M.W.J., Balzter, H., Paillou, P., Papathanassiou, K., Plummer, S., Rocca, F., Saatchi, S., Shugart, H., and Ulander, L. (2011). The Biomass mission: Mapping global forest biomass to better understand the terrestrial carbon cycle. Remote Sensing of Environment, 115(1): 2850-2860.
- [4]. Wang, G., Zhang, M., Gertner, G.Z., Oyana, T., McRoberts, R.E., and Ge, H. (2011). Uncertainties of mapping aboveground forest carbon due to plot locations using national forest inventory plot and remotely sensed data. Scandinavian Journal of Forest Research, 26(4): 360-373.
- [5]. Amini Baneh, S. (2013). Investigation on the possibility to estimation of forest above ground biomass using SPOT HRG sensor data and different algorithm of weighted K-Nearest Neighbor approach. M.Sc. Thesis. Department of Forestry at Sari Agriculture and Natural Resource University, 75p, (Persian).



- [6]. Lu, D. (2005). Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 26(12): 2509-2525.
- [7]. Marvie Mojadjer, M.R. (2011). *Silviculture*. University of Tehran Press, Tehran.
- [8]. Fatolahi, M. (2013). Estimation of forest carbon stocks using SPOT-HRG sensor data. M.Sc. Thesis. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 70p, (Persian).
- [9]. Amini, J., and Sadeghi, Y. (2013). Optical and radar images in modeling the forests biomass in north of Iran. *Remote Sensing & GIS*, 16(4): 69-82.
- [10]. Rostami Andargoli, M. (2008). Estimation of aboveground woody biomass stand forests using SPOT5 satellite data. M.Sc. Thesis. University of Guilan, 94p, (Persian).
- [11]. Hatami Jarabad, M. (2015). Feasibility of estimating the foliage biomass using satellite images. M.Sc. Thesis. University of Kurdistan, 75p, (Persian).
- [12]. Khorrami, R., Darvish Sefat, A.A., and Namiranian, M. (2008). Investigation on the Capability of Landsat7 ETM+ data for Standing Volume Estimation of Beech Stands. *Journal of the Iranian Natural Resources*, 60(4): 1281-1289.
- [13]. Yadav, B.K., and Nandy, S. (2015). Mapping aboveground woody biomass using forest inventory, remote sensing and geostatistical techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5): 1-12.
- [14]. Wijaya, A., Kusnadi, S., Gloaguen, R., and Heilmeyer, H. (2010). Improved strategy for estimating stem volume and forest biomass using moderate resolution remote sensing data and GIS. *Journal of Forestry Research*, 21(1): 1-12.
- [15]. Fuchs, H., Magdon, P., Kleinn, C., and Flessa, H. (2009). Estimating aboveground carbon in a catchment of the Siberian forest tundra: Combining satellite imagery and field inventory. *Remote Sensing of Environment*, 113(3): 518-531.
- [16]. Hall, R.J., Skakun, R.S., Arsenault, E.J., and Case, B.S. (2006). Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of aboveground biomass and stand volume. *Forest Ecology and Management*, 225(1): 378-390.
- [17]. Zheng, D., Rademacher, J., Chen, J., Crow, T., Bresee, M., Le Moine, J., and Ryu, S.R. (2004). Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. *Remote Sensing of Environment*, 93(3): 402-411.
- [18]. Faculty members of Forestry and Forest Economics Department. (2013). 2th namkhaneh district revision forestry project, experimental and research forest Tehran University (Kheyroud Forest). Department of Natural Resources, 500p.
- [19]. Faculty members of Forestry and Forest Economics Department. (2010). Gorazbon district revision forestry project, experimental and research forest Tehran University (Kheyroud Forest). Department of Natural Resources, 500p.
- [20]. Brown, S., and Lugo, A.E. (1992). Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volume. *Science*, 223: 1290-1294.
- [21]. FAO. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer*, FAO Forestry, 134p.
- [22]. Tarmian, A., Remond, R., Faezipour, M., Karimi, A., and Perre', P. (2009). Reaction wood drying kinetics: tension wood in *Fagus sylvatica* and compression wood in *Picea abies*. *Wood Science and Technology*, 43(1-2): 113-130.
- [23]. Enayati, A.A. (2011). *Wood Physics*. University of Tehran Press, Tehran.
- [24]. Rezaei, A., and Soltani, A. (2003). *Introduction to applied regression analysis*. Isfahan University of Technology Press, Isfahan.
- [25]. Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R., Scambos, T.A., Schaaf, C.B., Schott, J.R., Sheng, R., Vermote, E.F., Belward, A.S., Bindshadler, R., Cohen, W.B., Gao, F., Hipple, J.D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C.O., Kilic, A., Kovalsky, V., Lee, Z.P., Lymburner, L., Masek, J.G., McCorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J., Wynne, R.H., and Zhu, Z. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145: 154-172.

**Estimation of aboveground woody biomass of *Fagus orientalis* stands in Hyrcanian forest of Iran using OLI data  
(Case study: Gorazbon and Namkhaneh Districts, Kheyroud Forest)**

**GH. Ronoud**; M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

**A.A. Darvishsefat\***; Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

**M. Namiranian**; Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

(Received: 13 February 2016, Accepted: 02 October 2016)

**ABSTRACT**

In the current study, the capability of OLI-Landsat 8 data was investigated for estimating the tree above-ground woody biomass (AGWB) in Hyrcanian *Fagus orientalis* stands. The quality of images in term of geometric error and existing cloud was surveyed. Principle component analysis (PCA), tasseled cap transformation, rationing and fusion in both PCA and color transform approaches were employed on the images. 65 square sample plots (45×45 m<sup>2</sup>) were established in the study area and 45 sample plots were used for modeling with multiple linear regression (MLR) as stepwise. The model was validated with remaining 20 sample plots. Pearson correlation results showed most relationship between tree AGWB and corresponding spectral responds from PCA on spectral bands of 1 to 7. The same result was observed using MLR. So, this component was the most efficient variable in tree AGWB estimation in pure *Fagus* stands in the study area with adjusted-R<sup>2</sup>= 0.122, RMSE=14.3%, and bias=1.8%. The error of this model can be accepted on the large scale such as watersheds.

**Keywords:** Above-Ground Woody Biomass, *Fagus orientalis* Stand, Landsat 8, Multiple linear regression (MLR).

---

\* Corresponding Author, Email: adarvish@ut.ac.ir, Tel: +989121640944