دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هفدهم، شماره‌ی ۶۰
زمستان۱۳۹۶، صفحات ۱۲۹-۱۱۷

قاسم رنود[۱]
*علی‌اصغر درویش‌صفت[۲]

برآورد زیست توده درختی توده‌های راش جنگل‌های شمال ایران با داده‌های ماهواره لندست ۵ (مطالعه موردی: جنگل خیرود)

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۹/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰٤/۰۱

چکیده

در دهه‌های اخیر برآورد و محاسبه میزان زیست توده چوبی در توده‌های جنگلی با روش‌های سنجش از دوری از اهمیت زیادی برخوردار شده است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست ۵ به برآورد زیست توده روی زمینی (AGB) درختان راش در بخشی از جنگل‌های شمال ایران پرداخته شده است. پیش‌پردازش و پردازش‌های مورد نیاز بر روی تصاویر منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. برای محاسبه زمینی مقدار زیست توده تعداد ٦٥ قطعه نمونه با ابعاد ٤٥×٤٥ متر در راشستان‌های خالص سری‌های گرازبن و نم‌خانه جنگل خیرود برداشت شد. در قطعات نمونه، قطر برابر سینه درختان قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر برداشت و در نهایت میزان زیست توده در هر قطعه نمونه محاسبه شد. تعداد ٤٥ قطعه نمونه برای مدل‌سازی، ۲۰ قطعه نمونه برای اعتبارسنجی و از روش آماری پارامتریک رگرسیون خطی چندمتغیره برای مدل‌سازی استفاده شد. بررسی همبستگی پیرسون بین زیست توده روی زمینی در قطعات نمونه زمینی و ارزش‌های طیفی متناظر در باندهای اصلی و مصنوعی نشان داد که باند مادون قرمز نزدیک (باند٤)، بیش‌ترین میزان همبستگی را با زیست توده روی زمینی دارد و ضریب همبستگی آن ۰/٤۲۷ در سطح ۹۹ درصد اطمینان است. اجرای رگرسیون خطی چند متغیره به روش گام‌به‌گام بین زیست توده روی زمینی و تمام متغیرهای دورسنجی اعم از باندهای اصلی و مصنوعی، نشان داد که مدل AGB=6/682b4 -206/693 (همانند

۱- دانشجوی دکتری، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
*۲- گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. (نویسنده مسئول). E-mail: adarvish@ut.ac.ir

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

رگرسیون خطی ساده بین زیست توده و باند مادون‌قرمز نزدیک) با مقدار ضریب تعیین تعدیل شده ۰/۱٦٤ و درصد مجذور میانگین مربعات خطا برابر با ۱۵/٤درصد، مناسب‌ترین مدل برای برآورد زیست توده روی زمینی توده‌های راش جنگل‌های منطقه مورد مطالعه این تحقیق است. بر پایه خطای برآورد به نسبت کم مدل، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با استفاده از چنین داده‌هایی، زیست توده را در توده‌های راش خالص می‌توان به نسبت خوب برآورد کرد.

کلید واژه‌ها: برآورد زیست توده، راش خالص، رگرسیون، سنجنده TM، مادون‌قرمز نزدیک.

مقدمه

در دهه‌های اخیر فعالیت‌های انسانی باعث انتشار آلاینده‌های مختلفی از جمله گاز دی‌اکسیدکربن به درون اتمسفر شده است که انباشته شدن آن در جو موجب افزایش دمای هوای کره زمین و تغییرات اقلیمی با پیامدهای منفی شده است. اکوسیستم‌های جنگلی با جذب کربن و ذخیره آن به‌صورت زیست توده، نقش مهم و مثبتی را در تعدیل تغییرات اقلیم جهانی زمین ایفا می‌کنند. بخش اصلی زیست توده اکوسیستم‌های جنگلی، زیست توده چوبی می‌باشد. برآورد و پایش این زیست توده از جنبه‌های مختلفی از قبیل بررسی میزان کربن ذخیره شده، محاسبه میزان تولید اولیه، مطالعه رفتار و شدت آتش و ارزیابی زیست‌محیطی جنگل‌ها و طرح‌های جنگلداری اهمیت دارد (Lu et al, 2014: 23). از سوی دیگر شناسایی منابع موجود، نظارت بر روند تغییرات و دسترسی به آمار و اطلاعات به‌هنگام از عوامل کلیدی در برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و مدیریت در هر زمینه می‌باشد.

نگرانی‌های اخیر در مورد تغییرات جهانی و اکوسیستم‌ها، تلاش برای برآورد زیست توده با صحت بالا و پایش پویایی آن را ایجاب می‌کند (Le Toan et al, 2011: 2857). روش‌های برآورد زیست توده جنگلی مبتنی بر اندازه‌گیری‌های میدانی دارای بیش‌ترین صحت هستند، اما جمع‌آوری داده از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی بسیار زمان‌بر، پرزحمت و پرهزینه است و آماربرداری در سطوح وسیع جغرافیایی عملا امکان‌پذیر نیست (Wang et al, 2011: 373). از این‌رو، در سه دهه اخیر تحقیقات زیادی با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور در زمینه برآورد زیست توده انجام شده است. با این‌حال متغیرهای مناسب داده‌های دورسنجی و مدل‌های برآورد مناسب برای مطالعات زیست توده به ندرت فراهم شده‌اند.

جنگل‌های شمال ایران از لحاظ تنوع و موجودی با اهمیت‌ترین جنگل‌های کشور محسوب می‌شوند و نقش مهمی را در ذخیره زیست توده دارند. این جنگل‌ها باقی‌مانده جنگل‌های دوران سوم زمین‌شناسی دوران (Tertoary) می‌باشند. همچنین از نظر تعداد گونه درختی و درختچه‌ای جزو جنگل‌های غنی از گونه محسوب می‌شوند و تقریبا ۸۰ گونه درختی و ۵۰ گونه درختچه‌ای به‌صورت طبیعی در این جنگل‌ها یافت می‌شود (Marvie Mojadjer, 2011: 43). از این‌رو ضرورت پژوهش در زمینه‌های مختلف علوم جنگل از جمله برآورد زیست توده با روش‌های سنجش از دوری در این جنگل‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

با توجه به جنبه‌های منفی برآورد زیست توده با استفاده از روش‌های مستقیم و مخرب استفاده از روش‌های دورسنجی می‌تواند مناسب‌تر باشد، البته ضروری است که ابتدا قابلیت داده‌های مختلف سنجش از دوری و روش‌های مختلف تجزیه‌وتحلیل آن‌ها برای برآورد زیست توده مورد بررسی قرار گیرد.

مطالعات اندکی در مورد برآورد زیست توده در کشور صورت گرفته است. Amini Baneh (2013: 70) امکان برآورد میزان زیست توده روی زمینی جنگل را با داده‌های سنجنده SPOT-HRG در توده‌های خالص راش جنگل آموزشی-پژوهشی دارابکلای ساری مورد بررسی قرار داده است. نتایج این تحقیق نشان داد که سنجنده یاد شده قابلیت برآورد زیست توده در این چنین توده‌هایی را با دقت مناسبی دارد. Amini and Sadeghi (2013: 69-82) در مدل‌سازی برآورد زیست توده جنگل‌های شمال ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نوری و راداری، به برآورد زیست توده در ۲۵۰۰۰۰ هکتار از جنگل‌های منطقه رضوان‌شهر استان گیلان پرداخت. در این پژوهش با بررسی میزان همبستگی بازتاب باندهای مختلف دریافتند که بهترین مدل برآورد با استفاده از این آنالیز بر اساس گونه درخت، معادلات رگرسیونی چند متغیره با ضریب تعیین ۰/۷۳۱ و RMSE=۱۳/۸۸ تن در هکتار می‌باشد. (Rostami Andargoli, 2008: 94) در بخشی از جنگل‌های منطقه آستارا در استان گیلان با داده‌های سنجنده HRG ماهواره اسپات ۵ به برآورد زیست توده چوبی در ۱۸۵۰ هکتار از جنگل‌های این منطقه پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که بر اساس ضریب همبستگی پیرسون باند مادون‌قرمز نزدیک (NIR[3]) و شاخص پوشش گیاهی (SR[4]) به‌ترتیب ۰/۸- و ۰/۷۹- بیش‌ترین میزان همبستگی را با زیست توده چوبی از خود نشان دادند. همچنین تحلیل رگرسیونی این تحقیق نشان داد که باند مادون‌قرمز نزدیک با مدل خطی ساده که ضریب تعیین آن ۰/٦۳ است، در برآورد زیست توده چوبی معنی‌دار شناخته شده است. Khorrami et al (2008: 1281-1289) به بررسی قابلیت داده‌های سنجنده Landsat ETM+ در برآورد حجم سرپای توده‌های خالص و رو به شمال راش در بخشی از جنگل‌های تحت پوشش شرکت چوب فریم با وسعتی بیش از ۲۰۰۰ هکتار پرداختند. در این تحقیق با بررسی روابط رگرسیونی میان میزان حجم در هکتار و ارزش‌های رقومی باندهای طیفی دریافتند که بر پایه ضریب همبستگی پیرسون، داده‌های باند مادون‌قرمز و باند مادون‌قرمز نزدیک ادغام شده با باند Pan بیش‌ترین میزان همبستگی را با موجودی سرپا به‌ترتیب با r= -۰/۰۷ و r= -۰/۷۲ نشان داده‌اند. همچنین دریافتند که در تحلیل رگرسیونی بیش‌ترین میزان ضرایب همبستگی مربوط به مدل‌های خطی ساده و سهمی با لگاریتم موجودی سرپا می‌باشد. این ضرایب برای باند مادون‌قرمز نزدیک به‌ترتیب برابر با ۰/۷٤- و ۰/۷٦- و برای باند ٤ ادغام یافته به‌ترتیب ۰/۷۷- و ۰/۸۰- به‌دست آمده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان از این داده‌ها برای برآورد حجم سرپا در این چنین شرایطی استفاده نمود. در خارج از کشور مطالعات بسیار زیادی در برآورد زیست توده انجام شده است. (Yadav and Nandy 2015: 1-12) در استفاده از تصاویر LISS-III برای برآورد زیست توده روی زمینی در جنگل‌های تیملی هندوستان،

3- Near Infra-Red (NIR)
4- Simple Ratio (SR)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

دریافتند که به‌کارگیری روش آماری K-NN[5] با تابع فاصله‌سنجی ماهالانوبیس نتیجه قابل قبولی را ارائه می‌دهد. Wijaya et al (2010: 10) نشان دادند که داده‌های سنجنده +ETM در شرایط جنگل‌های کالیمانتای اندونزی و به‌کارگیری روش رگرسیون چندمتغیره خطی گام‌به‌گام زیست توده را به مقدار ۰/۱۲۸ گیگاتن کم‌تر برآورد کرده‌اند. Heiskanen (2005: 1135-1158) زیست توده روی زمینی و شاخص سطح برگ را با استفاده از داده‌های ASTER و روش تحلیل رگرسیونی خطی و غیرخطی مورد بررسی قرار داد. این مطالعه در چهار رویشگاه یک کیلومتر مربعی جنگل‌های آمیخته توس در شمال فنلاند انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که باند مادون قرمز نزدیک همبستگی مثبت معنی‌داری با زیست توده (۰/۸۱۲) و شاخص سطح برگ (۰/۸۲۷) دارد. همچنین درصد مجذور میانگین مربعات خطا در برآورد زیست توده ٤١ درصد و در برآورد شاخص سطح برگ ۳۷ درصد حاصل شد (ضریب تعیین مدل‌ها بالای ۰/۸۵). (Muukkonen and Heiskanen, 2005: 434-447) نشان دادند که زیست توده برآورد شده در جنگل‌های بوره‌آل با استفاده از تصاویر ASTER و به‌کارگیری روش‌های آماری رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی، تقریبا برابر با مقادیر زیست توده برآوردی توسط سازمان ملی جنگل فنلاند است. (Makela and Pekkarinen, 2004: 255) با تحقیق در جنگل‌های فنلاند دریافتند که برآوردهای زیست توده حاصل از داده‌های سنجنده TM و روش آماری KNN دقت کافی برای اهداف مدیریتی جنگل در سطح توده جنگلی را ندارند. 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 زیست توده را با اطمینان بیش‌تری بیان کرد.

فرضیه تحقیق حاضر این است که با داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست ۵ می‌توان زیست توده روی زمینی توده‌های خالص راش در جنگل‌های شمال ایران را برآورد کرد، لذا هدف اصلی این پژوهش بررسی قابلیت داده‌های ماهواره لندست ۵ در برآورد میزان زیست توده راش در بخشی از جنگل‌های شمال ایران است.

- معرفی منطقه

منطقه مورد مطالعه به مساحت حدود ۵۰۰ هکتار بخشی از جنگل آموزشی-پژوهشی خیرود، واقع در ۷ کیلومتری شهرستان نوشهر در استان مازندران بین ´۳۲ ۵۱ تا ´٤۳ ۵۱ طول جغرافیایی شرقی و ´۲۷ ۳٦ تا ´٤۰ ۳٦ عرض شمالی قرار دارد. این جنگل دارای مساحتی حدود ۸۰۰۰ هکتار، حداقل ۵۰ و حداکثر ۲۲۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. این پژوهش با توجه به هدف آن، در راشستان‌های خالص موجود در سری‌های گرازبن و نم‌خانه این جنگل صورت گرفت (شکل۱) (Faculty Members of Forestry and Forest Economics Department, 2013: 500; Faculty Members of Forestry and Forest Economics Department, 2010: 500).

5- K-Nearest Neighbor (K-NN)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست ۵ به شماره‌گذر ۱۶۵ و ردیف ۳۵ مربوط به تاریخ ۲۰ مرداد ماه سال ۱۳۹۰ هجری شمسی (۱۱ آگوست ۲۰۱۱ میلادی) و از نقشه‌های دو بعدی (2D) برای کنترل کیفیت هندسه تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. برای تجزیه‌وتحلیل رقومی، پردازش تصاویر ماهواره‌ای، از نرم‌افزار Idrisi Taiga، برای استخراج مختصات قطعات نمونه برداشت شده از نرم‌افزار MapSource، برای طراحی و انطباق قطعات نمونه و قرائت نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcGIS 9.3 و Arcview3.2a ، برای تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Microsoft Excel و SPSS Ver20 استفاده شد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه پستی و بلندی منطقه

در این تحقیق با توجه به اندازه تفکیک ۳۰ متر داده‌های چندطیفی، قطعات نمونه زمینی به شکل مربع و با ابعاد ٤٥m×٤٥m (با مساحت ۲۰۲۵ متر مربع) تعیین شد. ضمنا در انتخاب قطعات نمونه سعی شد که بین مراکز آن‌ها حدودا ۱۵۰ متر (مضربی از ۱۵) فاصله باشد. جمعا تعداد ٦٥ قطعه نمونه در منطقه مورد مطالعه برداشت شد. در تمامی قطعات نمونه، نوع گونه و قطر برابر سینه همه‌ی درختان و درختچه‌های قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت شد. حجم سرپای تک‌تک درختان با استفاده از جدول تاریف محلی (Namiranian ,Zobeiry (31: 2006 (2009: 79) محاسبه و مجموع حجم درختان سرپای موجود در قطعه نمونه به‌دست آمد و با استفاده از ضریب سیلو (۰/۹) به واحد مترمکعب تبدیل شد. به‌دلیل این‌که تصاویر مورد استفاده مربوط به مرداد سال (۱۳۹۰) است (۳ سال

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

قبل‌تر از زمان آماربرداری)، لذا باید حجم سرپا در این تاریخ محاسبه شود. با توجه به اطلاعات دقیق کتابچه طرح منطقه مورد مطالعه و مطالعات کتابخانه‌ای و مشاهدات میدانی مشخص شد که در طی سه سال گذشته هیچ‌گونه بهره‌برداری در قطعات نمونه این تحقیق صورت نگرفته است. از آنجایی که میزان رویش در این توده‌ها حدود ٤ مترمکعب در هکتار است (Bayat et al, 2014: 39-50)، به ازای هر سال به همین میزان از حجم برآورد شده در مرداد سال (۱۳۹٤) کاسته شد و مقدار حجم سرپا در سال (۱۳۹۰) محاسبه شد. پس از این‌که مقدار حجم چوب سرپا در قطعات نمونه محاسبه شد، با استفاده از معادله تبدیل حجم به زیست توده روی زمینی (Brown and Lugo, 1984: 1292) که توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO, 1997) نیز ارائه شده است، میزان زیست توده در هر قطعه نمونه (تن در هکتار) برآورد شد که معادله آن به شرح ذیل است (رابطه ۱):

$$AGB\ (Mg/ha) = Volume \times WD$$ رابطه (۱)

که در آن Volume، حجم چوب به مترمکعب در هکتار (m^3/ha) و WD، چگالی بحرانی[٦] متوسط چوب به تن در مترمکعب (ton/m^3) است. چگالی بحرانی متوسط چوب گونه راش در توده‌های راش منطقه مورد مطالعه برابر با ۰/٥٦ تن در مترمکعب است (Tarmian et al, 2009: 121). قبل از به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای، کیفیت آن‌ها از نظر وجود خطاهای هندسی و رادیومتری مانند پیکسل‌های تکراری و وجود لکه‌های ابر مورد بررسی قرار گرفت. به منظور استخراج هر چه بهتر اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان آن‌ها را مورد پردازش‌های بارزسازی متعدد قرار داد. این پردازش‌ها که جنبه آماده‌سازی داده‌ها برای تجزیه‌وتحلیل دارند، باید متناسب با هدف، منطقه‌ی مورد مطالعه و نوع داده‌ها تعیین و اجرا شوند. پردازش‌های انجام شده در این تحقیق عبارتند از: نسبت‌گیری، تحلیل مولفه اصلی (PCA[٧]) و تبدیل تسلدکپ. برای بررسی نرمال بودن متغیرها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و جهت بررسی همبستگی بین زیست توده روی زمینی و ارزش‌های طیفی متناظر، از تحلیل همبستگی پیرسون استفاده شد. مدل‌سازی به روش رگرسیون چندمتغیره خطی گام‌به‌گام (Stepwise Regression) انجام شد. به منظور اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی، حدود ۳۰ درصد داده‌ها (۲۰ قطعه نمونه) به صورت تصادفی انتخاب و به‌عنوان مجموعه داده‌های اعتبارسنجی از کلیه تجزیه‌وتحلیل‌ها کنار گذاشته شدند. با در اختیار داشتن مقادیر برآوردی (AGBi) و مقادیر واقعی زیست توده روی زمینی ($\widehat{AGBi}$)، با استفاده از آماره مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، اعتبار مدل‌های رگرسیونی انتخاب شده مورد ارزیابی قرار گرفتند (رابطه ۲) (Rezaei and Soltani, 2003: 294). همچنین مقادیر اریبی (Bias) و درصد آن نیز محاسبه شد (رابطه ٤ و ٥).

٦- چگالی بحرانی (پایه) عبارتست از نسبت وزن خشک چوب در رطوبت صفر به حجم اشباع از آب همان چوب. برای تعیین زیتوده درختان جنگلی از چگالی بحرانی استفاده می‌شود. چوب سرپا به عنوان چوب اشباع در نظر گرفته می‌شود (Enayati, 2013).

7- Principal Component Analysis (PCA)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

رابطه (۳)
$$RMSE_r = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(AGBi - \widehat{AGBi})^2}{n}}}{\overline{AGB}} \times 100$$

رابطه (٤)
$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^{n}(AGBi - \widehat{AGBi})}{n}$$

رابطه (٥)
$$Bias\ \% = \frac{\frac{\sum_{i=1}^{n}(AGBi - \widehat{AGBi})}{\boldsymbol{n}}}{\overline{AGB}} \times 100$$

که در آن AGBi، $\widehat{AGBi}$ و $\overline{AGB}$ به‌ترتیب زیست توده روی زمینی برآورد شده، مشاهده شده و متوسط مشاهده شده در هر قطعه نمونه هستند. n تعداد مشاهدات و K تعداد متغیرهای مستقل استفاده شده در مدل می‌باشد.

یافته‌ها و بحث

با روی هم گذاری لایه وکتوری جاده بر روی تصویر منطقه مشخص شد که تصویر مورد استفاده دارای یک جابجایی سیستماتیک به میزان ۳۵ متر به سمت غرب است که با تغییر مختصات تصویر در محور X به اندازه یاد شده این مشکل برطرف شده و دیگر نیازی به تصحیح هندسی تکمیلی ندارد. نتایج آزمون کولموگروف–اسمیرنوف نشان داد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد، تمام متغیرهای به‌کار رفته در تحقیق از توزیع نرمال برخوردارند. کم‌ترین مقدار زیست توده روی زمینی در قطعات نمونه زمینی، برابر با ۱۸۰/۸٤ تن در هکتار و بیش‌ترین مقدار آن برابر ٤٤۸/۷۵ تن در هکتار است. متغیرهای مستقل متعددی قابلیت استفاده شدن در مدل‌سازی برآورد زیست توده را دارا می‌باشند، ولی به دلیل رابطه ضعیف با زیست توده برای مدل‌سازی مناسب نیستند. تحلیل همبستگی پیرسون بین زیست توده روی زمینی در قطعات نمونه زمینی و ارزش‌های طیفی متناظر در باندهای اصلی و مصنوعی نشان می‌دهد که ضریب همبستگی همه‌ی متغیرهای دورسنجی استفاده شده مثبت است. در این میان، باند مادون قرمز نزدیک (باند ٤) بیش‌ترین میزان همبستگی را با زیست توده روی زمینی دارد (۰/٤۲۷) که در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. در همین سطح اطمینان به ترتیب مولفه سبزینگی[8] (۰/٤۱٦)، شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI[9]) (۰/٤۰۵) و شاخص ساده پوشش گیاهی (۰/۳۹۳) همبستگی نسبتا بیش‌تری با زیست توده روی زمینی دارند. تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره به روش گام‌به‌گام بین زیست توده روی زمینی و تمام متغیرهای دورسنجی اعم از باندهای اصلی و مصنوعی، نشان داد که مدل تشریح شده در (جدول ۱) با مقدار ضریب تعیین تعدیل شده ۰/۱٦٤ و اشتباه معیار ٦۰/٤ مناسب‌ترین مدل است. نکته قابل ملاحظه در این مدل این است که از میان تمام متغیرهای استفاده شده، باند مادون قرمز نزدیک (باند ٤) معنی‌دار شناخته شده است و سایر متغیرها وارد مدل نهایی نشده‌اند.

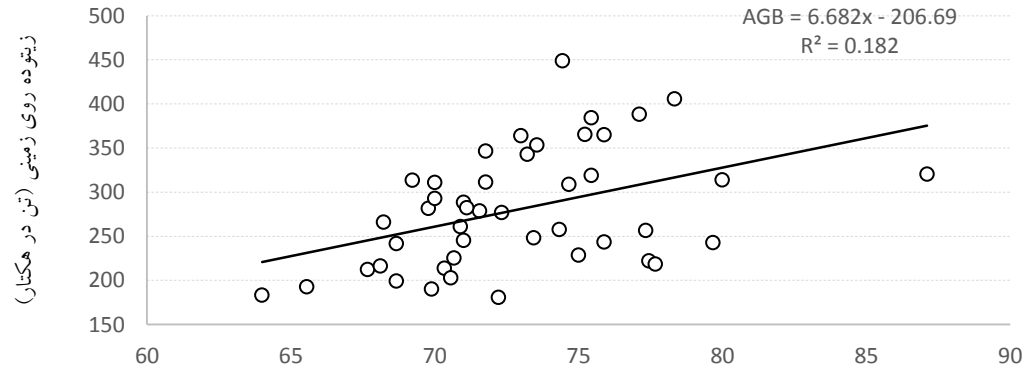
8- Greenness
9- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ۱- نتایج تحلیل رگرسیونی خطی چندمتغیره به روش گام‌به‌گام برای برآورد زیست توده (همانند رگرسیون یک متغیره خطی ساده بین زیست توده و باند مادون قرمز نزدیک)

نوع مدل	ضریب تعیین (R^2)	ضریب تعیین تعدیل شده (R^2_{adj})	اشتباه معیار برآورد (SEE)	مدل
رگرسیون چند متغیره خطی گام‌به‌گام	۰/۱۸۳	۰/۱۶۴	۶۰/۴	AGB= ۶/۶۸۲b۴ -۲۰۶/۶۹۳

ابر نقاط بین زیست توده روی زمینی و ارزش‌های طیفی باند مادون قرمز نزدیک (باند ٤) در محل قطعات نمونه به همراه خط برازش میان آن‌ها در (شکل ۲) قابل مشاهده است.



شکل ۲: ابر نقاط بین زیست توده روی زمینی و ارزش‌های طیفی باند٤ به همراه خط برازش آن

نتایج تجزیه واریانس برای برآورد زیست توده روی زمینی نشان می‌دهد که مدل رگرسیونی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است (P<۰/۰۱) (جدول ۲). نتیجه آزمون تساوی ضریب رگرسیونی با صفر (H1≠0 یا H0=0) نشان داد که ضریب رابطه‌ی حاصله برای برآورد زیست توده مخالف صفر و برابر با مقدار محاسبه شده در جدول است (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس رگرسیون خطی چند متغیره به روش گام‌به‌گام برای برآورد زیست توده (همانند رگرسیون یک متغیره خطی ساده بین زیست توده و باند مادون‌قرمز نزدیک)

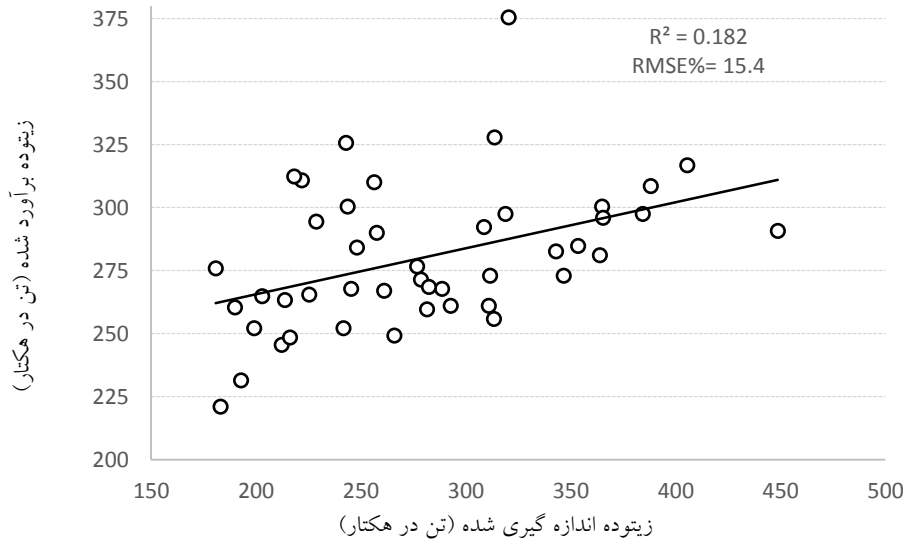
مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
رگرسیون	۳۵۰۲۸/٤	۱	۳۵۰۲۸/٤	۹/٦۰٤	۰/۰۰۳
باقیمانده	۱٥٦۸۳۲/۳٥۲	٤۳	۳٦٤۷/۲٦٤		
کل	۱۹۱۸٦۰/۷٦۱	٤٤			
متغیر وابسته: زیست توده روی زمینی (AGB)					

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

جدول ۳- ضرایب رابطه‌ی رگرسیون خطی چند متغیره به روش گام‌به‌گام برای برآورد زیست توده (همانند رگرسیون یک متغیره خطی ساده بین زیست توده و باند مادون قرمز نزدیک) و آزمون معنی‌داری آن

مدل رگرسیونی خطی یک متغیره	ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استاندارد شده	آماره t	سطح معنی‌داری
	B	خطای معیار	Beta		
عدد ثابت	-۲۰۶/۶۹۳	۱۵۷/۳۹		-۱/۳۱۳	۰/۱۹۶
b4	۶/۶۸۲	۲/۱۵۶	۰/۴۲۷	۳/۰۹۹	۰/۰۰۳
متغیر وابسته: زیست توده روی زمینی (AGB)					

همان‌طور که قبلا نیز بیان شد، اعتبارسنجی این تحقیق با استفاده از ۲۰ قطعه نمونه شاهد و با استفاده از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) صورت گرفت. بر اساس این اعتبارسنجی مقدار RMSE=۴۳/۲۱ تن در هکتار (RMSE % = ۱۵/۴) است. مقدار انحراف (Bias) مدل به‌دست آمده برابر با ۶۶/۹۲ است (Bias%=۱۳/۷). ابر نقاط مقادیر زیست توده اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر زیست توده برآورد شده با رابطه رگرسیونی خطی چند متغیره به‌دست آمده در این پژوهش مدل تشریح شده در (جدول ۳) در (شکل ۳) آمده است.



شکل ۳: مقادیر زیست توده اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر زیست توده برآورد شده

نتیجه‌گیری

برآورد و پایش زیست توده روی زمینی برای مطالعات تغییر اقلیم، تولید، چرخه کربن، تخصیص مواد غذایی و انباشت سوخت، رفتار آتش و غیره در اکوسیستم‌های زمینی خصوصا اکوسیستم‌های جنگلی ضروری است. فنون

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

دورسنجی به محققان اجازه می‌دهند که این‌چنین ویژگی‌ها و فرآیندهای اکوسیستم را در مقیاس‌های مختلف و با صرف زمان و هزینه به نسبت اندک مورد بررسی قرار دهند، چرا که سامانه‌های ماهواره‌ای می‌توانند داده در مقیاس وسیع و با تکرار زیاد فراهم نمایند.

در این تحقیق رابطه بین بازتاب‌های طیفی ثبت شده در باندهای سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و زیست توده روی زمینی در توده‌های خالص راش بخشی از جنگل‌های شمال ایران به منظور تعیین قابلیت این داده سنجش از دوری برای مدل‌سازی برآورد زیست توده مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که قبلا بیان شد باند مادون قرمز نزدیک (باند٤) بیش‌ترین میزان همبستگی را با زیست توده روی‌زمینی دارد و ضریب همبستگی آن مثبت و برابر با ۰/٤۲۷ بوده است. یکی از دلایل همبستگی به نسبت بیش‌تر این باند در مقایسه با باندهای دیگر با زیست توده این است که طیف مادون قرمز نزدیک کم‌تر تحت تاثیر پخش اتمسفری قرار می‌گیرد؛ لذا انرژی بازتاب شده از پوشش گیاهی با سهولت بیش‌تری به سنجنده می‌رسد. در مطالعات متعددی همبستگی معنی‌دار بین بازتاب‌های طیفی در این طول موج و مشخصه‌های کمی توده‌های خالص راش به اثبات رسیده است (Khorrami et al, 2008: 1281-1289, Amini Baneh, 2013: 70؛ Rostami Andargoli, 2008: 94). پس از باند NIR، به‌ترتیب مولفه سبزینگی، شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده و شاخص ساده پوشش گیاهی حاصل از باندهای سنجنده TM به‌ترتیب دارای همبستگی به نسبت بیش‌تری با زیست توده روی زمینی هستند. مثبت بودن این همبستگی نشان می‌دهد که هر قدر زیست توده روی زمینی بیش‌تر باشد، بازتاب انرژی از پوشش گیاهی بیش‌تر است. توده‌های راش مورد مطالعه در این تحقیق در مرحله سنی جوانی تا میان‌سالی قرار دارند، دو تا سه آشکوبه هستند و تاج پوشش نسبتا بسته‌ای دارند و بازتاب پوشش کف جنگل یا بازتاب خاک، به دلیل تراکم بالای تاج پوشش قابل ثبت توسط سنجنده نیست، لذا میزان بازتاب از این درختان با افزایش زیست توده بیش‌تر می‌شود. در مجموع انتظار می‌رود توده‌های جوان که معمولا زیست توده در هکتار کم‌تری دارند، بازتاب کم‌تری نسبت به توده‌های مسن با زیست توده در هکتار زیاد داشته باشند، اما وجود کرک در سطح برگ درختان راش به‌ویژه در درختان جوان‌تر، باعث افزایش بازتاب آن‌ها می‌شود، لذا این نکته می‌تواند کاهش صحت مدل‌ها را در پی داشته باشد.

نتایج به‌دست آمده از تحلیل رگرسیونی بین زیست توده روی زمینی و ارزش‌های طیفی متناظر در این تحقیق، ایده امکان برآورد زیست توده روی زمینی توده‌های خالص راش این جنگل‌ها را با استفاده از داده‌های سنجنده TM تقویت نمود. در فرآیند برآورد زیست توده جنگل، منابع عدم قطعیت متعددی وجود دارد که می‌توانند در مدل‌سازی برآورد زیست توده، انباشته و گسترده گردند. از جمله منابع خطا که منجر به افزایش مقدار RMSE می‌شود، می‌توان به مواردی همچون خطای اندازه‌گیری قطر برابر سینه درختان در آماربرداری، خطای GPS برای تعیین مختصات قطعات نمونه، خطا در محاسبه میزان زیست توده بر اساس حجم، اختلاف زمانی هر چند اندک بین آماربرداری زمین و تصاویر و تداخل بازتاب‌های پدیده‌های مجاور به دلیل ناهمواری منطقه مورد مطالعه اشاره کرد. درک،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

کمی‌سازی و رفع عدم قطعیت‌ها برای کاهش مقدار RMSE، افزایش مقدار ضریب تعیین تعدیل شده و در نتیجه بهبود مدل‌های برآورد ضروری است (Wang et al, 2011: 360-373؛ Lu et al, 2012: 1-16).

در این تحقیق از تحلیل رگرسیون چندمتغیره به‌عنوان یکی از روش‌های مدل‌سازی تجربی برای برآورد زیست توده استفاده شد. هرچند که ایجاد چنین مدل‌هایی بر اساس داده‌های سنجش از دوری متداول است، ولی قابل تعمیم به دیگر مناطق نیست. ضمنا این چنین مدل‌سازی‌ها حتی در توده‌های نظیر (راش خالص) در شرایط رویشگاهی مشابه هم باید تکرار شود، تا از اتفاقی نبودن نتایج اطمینان حاصل شود. در ادامه، این رویکرد باید در توده‌های راش خالص در شرایط رویشگاهی متفاوت و سپس دیگر توده‌های خالص (نظیر بلوط، ممرز و ...) ادامه یابد. در صورت کسب نتایج قابل قبول در توده‌های خالص، می‌توان این هدف را در توده‌های آمیخته نیز مورد بررسی قرار داد. از سویی دیگر نتایج این رویکرد وابسته به نوع سنجنده و داده‌های میدانی است. لذا بنا به نکات یاد شده، نمی‌توان نتایج این تحقیق را با دیگر تحقیقات داخل کشور، هرچند که تعداد آن‌ها اندک است، و خارج مقایسه کرد. به‌طور کلی نتایج اعتبارسنجی مدل حاصله برای برآوردهای کلی زیست توده در این تحقیق حاکی از مناسب بودن آن در منطقه مورد مطالعه است، اما کم بودن نسبی ضریب تعیین تعدیل شده مدل، نشان‌دهنده‌ی تاثیرگذار بودن سایر عوامل بر میزان بازتاب در این توده‌ها است. از آنجا که برآورد و پایش زیست توده معمولا در سطوح کوچک مانند پارسل و حتی بخش ضروری و متداول نیست، خطای مدل (RMSE%=۱۵/٤) را می‌توان برای برآورد زیست توده در سطوح به نسبت وسیع مانند حوضه‌های آبخیز قابل قبول دانست. پیشنهاد می‌شود در مطالعات تکمیلی، برای بهبود برآورد زیست توده روی زمینی از داده‌های دورسنجی با توان تفکیک مکانی و طیفی بیش‌تر و روش‌های آماری ناپارامتریک استفاده شود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

References

- Amini, J., Sadeghi, Y., (2013), "Optical and radar images in modeling the forests biomass in north of Iran", ***Remote Sensing & GIS***, 16 (4): 69-82.
- 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. [In Persian].
- Bayat, M., Namiranian, M., Zobeiri, M., Omid, M., Pukkala, T., (2014), "Growth and yield models for uneven-aged and mixed broadleaf forest (case study: Gorazbon district in Kheyroud forest, north of Iran)", ***Iranian Journal of Forest and Poplar Research***, 22(1):39-50.
- Brown, S., Lugo, A. E., (1984), "Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volume", ***Science***, 223: 1290-1293.
- Enayati, A. A., (2011), "***Wood Physics***", University of Tehran Press, Tehran. [In Persian].
- Faculty Members of Forestry and Forest Economics Department., (2013), "2th Namkhaneh district revision forestry project, experimental and research forest Tehran University (Kheyrud Forest)", Department of Natural Resources, 500p. [In Persian].
- Faculty Members of Forestry and Forest Economics Department., (2010), "Gorazbon district revision forestry project, experimental and research forest Tehran University (Kheyrud Forest) ", Department of Natural Resources, 500p. [In Persian].
- FAO, (1997), "Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A primer", FAO Forestry: 134 p.
- Heiskanen, J., (2005), "Estimating aboveground tree biomass and leaf area index in a mountain birch forest using ASTER satellite data", ***International Journal of Remote Sensing***, 27 (6): 1135–1158.
- Khorrami, R., Darvish Sefat, A. A., 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.
- 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., (2011), "The biomass mission: mapping global forest biomass to better understand the terrestrial carbon cycle", ***Remote Sensing of Environment***, 115: 2850-2860.
- Lu, D., Chen, Q., Wang, G., Liu, L., Li, G., Moran, E., (2014), "A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems", ***International Journal of Digital Earth***, 1-43.
- Lu, D., Chen, Q., Wang, G., Moran, E., Batistella, M., Zhang, M., Vaglio Laurin, G., Saah, D., (2012), "Aboveground forest biomass estimation with Landsat and LiDAR data and uncertainty analysis of the estimates", ***International Journal of Forestry Research***, 1-16.
- Mäkelä, H., Pekkarinen, A., (2004), "Estimation of forest stand volumes by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data", ***Forest ecology and management***, 196 (2): 245-255.
- Marvie Mojadjer, M. R., (2011), "***Silviculture***", University of Tehran Press, Tehran.
- Muukkonen, P., Heiskanen, J., (2005), "Estimating biomass for boreal forests using ASTER satellite data combined with standwise forest inventory data", ***Remote Sensing of Environment***, 99: 434–447.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]

- Namiranian, M., (2006), "***Measurment of the tree and forest biometry***", University of Tehran Press: Tehran. [In Persian].
- Rezaei, A., Soltani, A., (2003), "***Introduction to applied regression analysis***", Isfahan University of Technology Press, Isfahan.
- Rostami Andargoli, M., (2008), "Estimation of aboveground woody biomass stand forests using SPOT5 satellite data", M.Sc. Thesis. University of Guilan, 94p. [In Persian].
- Tarmian, A., Remond, R., Faezipour, M., Karimi, A., 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.
- Wang, G., Zhang, M., Gertner, G. Z., Oyana, T., McRoberts, R. E., 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: 360-373.
- Wijaya, A., Kusnadi, S., Gloaguen, R., Heilmeier, 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.
- Yadav, B. K., Nandy, S., (2015), "Mapping aboveground woody biomass using forest inventory, remote sensing and geostatistical techniques", ***Environmental monitoring and assessment***, 187 (5): 1-12.
- Zobeiry, M., (2009), "***Forest Inventory, Measurement of Tree and Forest***", University of Tehran Press: Tehran. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-29]