

## برآورد زی توده روی زمینی جنگل‌های هیرکانی با استفاده از داده‌های راداری Alos-Palsar (مطالعه موردی: شصت کلاته گرگان)

مریم پورعظیمی<sup>۱\*</sup>، شعبان شتایی جویباری<sup>۲</sup>، سارا عطارچی<sup>۲</sup>، جهانگیر محمدی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۴. استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۶

### چکیده

کمی سازی مشخصه‌های بیوفیزیکی جنگل مانند زی توده در مقیاس‌های محلی، ناحیه‌ای و جهانی در ارزیابی، پایش و مدیریت وضعیت انتشار و ترسیب کربن ضروری است. تصاویر راداری پلاریزه شده با طول موج بلند با توجه به قدرت نفوذشان به تاج پوشش جنگل و اخذ اطلاعات تنه، در برآورد زی توده روی زمینی جنگل‌ها استفاده شده‌اند. این پژوهش با هدف بررسی قابلیت داده‌های راداری Alos-Palsar در برآورد زی توده روی زمینی درختان در بخشی از جنگل‌های آمیخته پهن برگ طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا انجام گرفت. زی توده روی زمینی درختان در ۳۰۸ قطعه نمونه ۱۰ آری با استفاده از معادلات آلومتریکی محلی محاسبه شد. در این بررسی از داده‌های راداری که پیش پردازش رادیومتری و هندسی شده بودند استفاده شد و براساس آن ضرایب بازپخش نرمال شده پلاریزاسیون‌های HH و HV، نسبت و تفاضل آنها، مؤلفه‌های آلفا و ایتروپی حاصل از روش تجزیه هدف Cloud-Pottier به همراه ویژگی‌های بافت محاسبه شده از ماتریس سطوح خاکستری هم‌رخداد از تصاویر راداری Alos-Palsar تهیه و مقادیر آنها در محل قطعات نمونه استخراج شد. مدل سازی با استفاده از ۷۰ درصد قطعات نمونه با الگوریتم‌های ناپارامتریکی K-NN، رگرسیون بردار پشتیبان و جنگل تصادفی، همچنین رگرسیون چندمتغیره خطی صورت گرفت و ارزیابی برآوردها با استفاده از ۳۰ درصد قطعات نمونه باقی مانده انجام پذیرفت. براساس نتایج، الگوریتم K-NN نسبت به دیگر الگوریتم‌ها عملکرد به نسبت بهتری در برآورد زی توده روی زمینی درختان داشت. مجذور میانگین مربعات خطای ۵۷/۱۸۹ درصد و ضریب تبیین تعدیل شده ۰/۰۳۲ عملکرد ضعیف این رویکرد را در برآورد زی توده روی زمینی درختان نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم‌های ناپارامتریکی، جنگل‌های هیرکانی، داده‌های راداری Alos-Palsar، زی توده روی زمینی درختان.

به‌شمار می‌روند و تخمین زده می‌شود که در حدود ۸۰

درصد ذخایر کربن کره خاکی را در زی توده روی زمینی پوشش گیاهی جای داده‌اند [۱]. در طی دهه‌های اخیر،

مقدمه

اکوسیستم‌های جنگلی، مؤلفه‌ای مهم در چرخه جهانی کربن

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۳۳۹۴۹۵۳۴۲

Email: m.poorazimy@yahoo.com

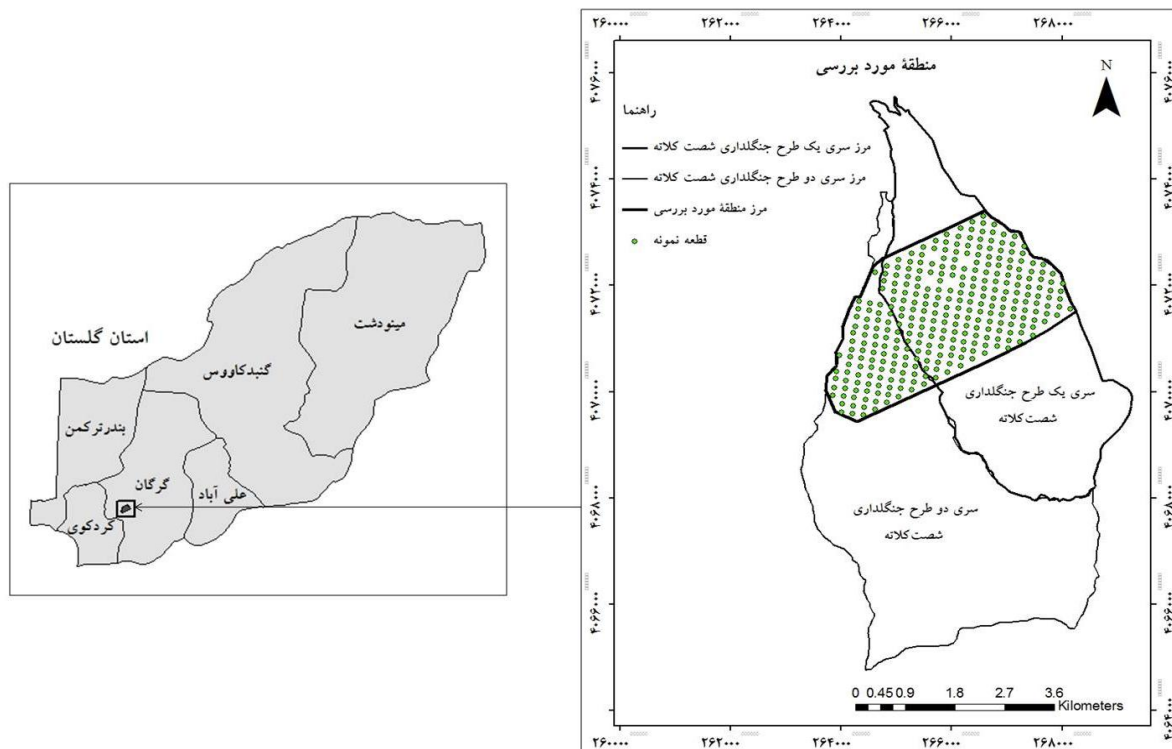
فرکانس‌های مختلف، به‌منظور برآورد زی‌توده و ذخیره کربن روی زمینی جنگل‌ها انجام گرفته است. برای مثال، در بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای نوری و راداری ماهواره Alos-Palsar در مدلسازی زی‌توده جنگل‌های گیلان با استفاده از آنالیز رگرسیون چندمتغیره براساس گونه درخت، بهترین مدل برآورد زی‌توده با ضریب تبیین تعدیل‌شده  $0.731$  و مجذور میانگین مربعات خطای  $13/88^3$  مگاگرم در هکتار حاصل شد [۱۱]. همچنین در تحقیقی نشان داده شد که استفاده از مجموعه باندهای طیفی ETM+ و مشخصه‌های داده‌های دو پلاریزاسیونی Alos-Palsar شامل ویژگی‌های بافت حاصل از ماتریس سطوح خاکستری هم‌رخداد<sup>۴</sup>، مشخصه‌های پلاریمتری حاصل از روش تجزیه هدف Cloud-Pottier و ضرایب بازپخش، سبب بهبود برآورد زی‌توده روی زمینی جنگل‌های لوه به مجذور میانگین مربعات خطای  $12/68$  درصد و ضریب تبیین تعدیل‌شده  $0.76$  شد [۱۲]. ترکیب ویژگی‌های مناسب بافت و ضرایب بازپخش و نسبت‌های آنها در مدلسازی کربن زی‌توده روی زمینی جنگل‌های حاره‌ای سوماترای مرکزی با استفاده از داده‌های سنجنده Alos-Palsar سبب بهبود تخمین‌ها و کاهش عدم قطعیت به  $28$  مگاگرم در هکتار شد [۱۰].

تحقیقات اندکی در زمینه به‌کارگیری داده‌های راداری به‌منظور برآورد زی‌توده روی زمینی در جنگل‌های شمال کشور انجام گرفته است و با توجه به تفاوت اکوسیستم‌های جنگلی، تحقیقات بیشتر برای برآورد زی‌توده روی زمینی و بررسی قابلیت این داده‌ها در جنگل‌های شمال کشور ضروری به‌نظر می‌رسد. این تحقیق نیز در این زمینه و با هدف برآورد زی‌توده روی زمینی درختان جنگلی در بخشی از جنگل‌های پهن‌برگ طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته گرگان) با استفاده از داده‌های دوپلاریزاسیونی Alos-Palsar و روش‌های مدلسازی ناپارامتریک و پارامتریک انجام گرفت.

برنامه‌های بین‌المللی مانند REED<sup>۱</sup> و الزامات ارائه گزارش که از طرف پروتکل کیوتو بنیان نهاده شده است، نیاز به اطلاعات درباره وضعیت زی‌توده و ذخیره کربن جنگل‌ها را افزایش داده است [۲، ۳]. با توجه به اینکه جمع‌آوری داده‌های آماربرداری زمینی جنگل به‌صورت جامع و بهنگام، به‌ویژه برای مناطق وسیع و دور از دسترس پرهزینه و زمان‌بر است [۳-۵]، روش‌های مبتنی بر داده‌های دورسنجی به‌عنوان راهکار جایگزین مطرح شده‌اند. داده‌های نوری رایج‌ترین منابع دورسنجی مورد استفاده در برآورد زی‌توده روی زمینی هستند و در این زمینه مطالعاتی [۶، ۷] در جنگل‌های هیرکانی صورت پذیرفته است. با توجه به اینکه اساساً پاسخ‌های طیفی ثبت‌شده در تصاویر نوری به‌دلیل روابط متقابل تابش‌های خورشیدی با تاج‌پوشش جنگل است، قابلیت این داده‌ها در برآورد دقیق و قابل اطمینان مشخصه‌های بیوفیزیکی جنگل در تحقیقات مختلف تأیید نشده است. در مقابل سامانه‌های فعال راداری فضابرد نسبت به سامانه‌های نوری به‌دلیل قابلیت نفوذشان در پوشش ابر، تأثیرپذیری کمتر از شرایط آب‌وهوایی، حساسیت به آب موجود در ساختار گیاهی و فراهم‌آوری پوشش گسترده، با توجه زیادی مواجه شده‌اند [۳، ۸، ۹]. ارسال و دریافت امواج در فرم‌های پلاریمتری در سامانه‌های رادار با گشودگی مصنوعی<sup>۲</sup>، امکان اندازه‌گیری‌های مستقیم مرتبط با هندسه اهداف را فراهم می‌کند [۹]. به‌علاوه فرکانس عملیاتی سیستم‌های رادار و قابلیت نفوذی که به محیط‌های پخش حجمی از جمله تاج‌پوشش دارند، به‌ویژه برای طول موج‌های بلند با فرکانس کوتاه مانند باندها L (محدوده‌ی ۱-۲GHz؛ ۱۵-۳۰cm)، رویکردی امیدبخش را در برآورد مشخصه‌های بیوفیزیکی جنگل مانند زی‌توده و ذخیره کربن روی زمینی جنگل‌ها فراهم آورده است [۸، ۱۰]. به‌تازگی مطالعات زیادی با سامانه‌های هوابرد و فضابرد SAR در

3. Root Mean Square Error (RMSE)  
4. Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)

1. REDD (Reduce Emission from Deforestation and forest Degradation)  
2. Synthetic Aperture Radar (SAR)



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق

استفاده از دستگاه GPS تفاضلی با خطای کمتر از ۱۰ سانتی متر ثبت شد.

#### داده‌های دورسنجی

در این پژوهش از داده‌های دوپلاریزاسیونی<sup>۱</sup> Alos-Palsar به کاررفته در تحقیق عطارچی [۱۴] با پلاریزه‌های HH و HV در مد مشاهده‌ای با قدرت تفکیک مکانی زیاد<sup>۲</sup> (۱۲/۵ متر به طور متوسط) با سطح پردازش<sup>۳</sup> ۱.۱ استفاده شد. این داده‌ها با زاویه پهلونگری ۳۴/۳ درجه در تاریخ ۱۳۸۹/۰۶/۱۸ اخذ شد (جدول ۱). مدل رقومی ارتفاع مورد استفاده در پیش‌پردازش تصاویر راداری با اندازه پیکسلی ۹۰ متر که به ابعاد ۱۵ متر باز نمونه‌گیری شدند، از داده‌های SRTM<sup>۴</sup> تهیه شده بود.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه تحقیق و داده‌های زمینی

منطقه تحقیق در بخشی از سری یک و دو طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا با طول جغرافیایی ۵۴°۲۴' تا ۵۴°۲۵' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶°۳۸' تا ۳۶°۴۲' شمالی در حوضه آبخیز ۸۵ اداره کل منابع طبیعی استان گلستان و در جنوب شرقی شهرستان گرگان واقع شده است (شکل ۱).

پوشش گیاهی غالب منطقه تحقیق، درختان پهن‌برگ خزان‌کننده است و منطقه با مساحت ۱۱۰۰ هکتار در دامنه ارتفاعی ۲۹۹ تا ۷۳۱ متر قرار دارد. در پژوهش حاضر، از اطلاعات قطعات نمونه تحقیق محمدی [۱۳] استفاده شد. این نمونه برداری در سال ۱۳۸۹ به روش منظم با شروع تصادفی و با ابعاد شبکه ۱۵۰×۲۰۰ متر انجام گرفت و در مجموع ۳۰۸ قطعه نمونه دایره‌شکل به مساحت ۱۰ آر برداشت شد. موقعیت مراکز تمامی قطعات نمونه نیز با

1. Advanced Land Observing Satellite-Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (Alos-Palsar)  
 2. Fine Beam Dual Polarization (FBD)  
 3. Single Look Complex (SLC)  
 4. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

## جدول ۱. برخی مشخصات کلی داده‌های دورسنجی به کاررفته در این پژوهش

داده‌های دورسنجی	تاریخ اخذ داده	قدرت تفکیک مکانی
Alos-Palsar (پلاریزاسیون HH و HV باند L)	۸۹/۰۶/۱۸	بازنمونه‌گیری شده به ۱۵ متر
مدل رقومی ارتفاع (حاصل از SRTM)		بازنمونه‌گیری شده به ۱۵ متر

## محاسبه زی توده روی زمینی درختان

ممرز (رابطه ۲)، انجیلی (رابطه ۳)، خرمندی (رابطه ۴) و دیگر گونه‌ها (رابطه ۵) برحسب کیلوگرم در مترمربع تخمین زده شد. در نهایت مقادیر زی توده تمامی درختان در هر قطعه نمونه و در هکتار بر حسب مگاگرم در هکتار محاسبه شد.

معادلات آلومتریک تهیه شده برای سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام نیا [۱۵]، به منظور محاسبه زی توده روی زمینی گونه‌های درختی در قطعات نمونه استفاده شد. زی توده کل روی زمینی گونه‌های راش (رابطه ۱)،

- $$(1) \quad R^2 = 0.86 \quad (\text{ارتفاع درخت}) + 0.238 + (\text{قطر برابر سینه}) + 0.835 + 11/453 = \text{زی توده کل روی زمینی راش}$$
- $$(2) \quad R^2 = 0.88 \quad (\text{قطر برابر سینه}) + 0.66 + (\text{ارتفاع درخت}) + 0.4 + 10/299 = \text{زی توده کل روی زمینی ممرز}$$
- $$(3) \quad R^2 = 0.94 \quad (\text{ارتفاع درخت}) + 0.107 + (\text{قطر برابر سینه}) + 0.919 + 10/109 = \text{زی توده کل روی زمینی انجیلی}$$
- $$(4) \quad R^2 = 0.38 \quad (\text{ارتفاع درخت}) + 0.289 + (\text{قطر برابر سینه}) + 0.397 + 10/956 = \text{زی توده کل روی زمینی خرمندی}$$
- $$(5) \quad R^2 = 0.87 \quad (\text{ارتفاع درخت}) + 0.253 + (\text{قطر برابر سینه}) + 0.738 + 10/64 = \text{زی توده کل روی زمینی دیگر گونه‌ها}$$

اعمال زاویه برخورد محلی در فرمت  $Y^{\circ}$  برای هر دو کانال پلاریزاسیون صورت گرفت. مشخصه نسبتی داده‌های  $Y^{\circ}_{HH}$  به  $Y^{\circ}_{HV}$  و  $Y^{\circ}_{HH} / Y^{\circ}_{HV}$  و تفاضل بین  $Y^{\circ}_{HH}$  و  $Y^{\circ}_{HV}$  ( $Y^{\circ}_{HH} - Y^{\circ}_{HV}$ ) نیز براساس تحقیق [۱۶] محاسبه شد. دو مؤلفه آلفا و ایتروپی نیز براساس روش تجزیه هدف Cloud-Pottier از داده‌های پلاریزه حاصل شد. همچنین ویژگی‌های بافتی با استفاده از ماتریس سطوح خاکستری هم‌رخداد (GLCM) با ابعاد پنجره‌های  $3 \times 3$ ،  $5 \times 5$ ،  $7 \times 7$ ،  $9 \times 9$  و  $11 \times 11$  پیکسل و با زاویه اعمال ۴۵ درجه برای هر دو کانال پلاریزاسیونی که به ضرایب بازپخش نرمال شده‌شان تبدیل شده بودند ( $Y^{\circ}_{HH}$  و  $Y^{\circ}_{HV}$ )، محاسبه شد [۱۰-۱۲، ۱۷]. نتایج اولیه مدل‌سازی حاصل از به‌کارگیری الگوریتم جنگل تصادفی<sup>۲</sup> با ویژگی‌های بافتی هر یک از ابعاد پنجره به‌تنهایی نشان داد که ابعاد پنجره  $11 \times 11$  مناسب‌ترین برای برآورد زی توده روی زمینی درختان در منطقه تحقیق است. بنابراین داده‌های حاصل از آنالیز بافت با ابعاد پنجره  $11 \times 11$  در مدل‌سازی‌ها استفاده شد.

کمترین مقدار زی توده روی زمینی درختان در قطعات نمونه،  $8/233$ ؛ بیشترین مقدار آن،  $455/811$ ؛ و میانگین و انحراف از معیار آنها به ترتیب  $110/47$  و  $67/387$  مگاگرم در هکتار است که بیانگر دامنه تغییرات زیاد زی توده روی زمینی درختان در منطقه تحقیق است.

## پردازش تصاویر Alos-Palsar

در پیش پردازش اولیه داده‌های راداری توسط عطارجی [۱۴]، به منظور بهبود قدرت تفکیک رادیومتری و همچنین ایجاد پیکسل‌های مربع‌شکل، تصاویر دامنه هر دو پلاریزاسیون HH و HV، یک بار در رنج و هشت بار در آزیموت مولتی‌لوک<sup>۱</sup> شدند و به منظور کاهش مقدار نویز لکه‌ای، فیلتر لی بهبودیافته با ابعاد پنجره  $7 \times 7$  بر روی داده‌ها اجرا شد. همچنین با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، کانال‌های پلاریمتریک با ابعاد ۱۵ متر زمین مرجع شدند. بر این اساس، نرمال‌سازی رادیومتری برای جبران اثر توپوگرافی که به بروز مشکل در ارزیابی مشخصه‌های بازپخش راداری منجر می‌شود [۵]، با

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2 / n} \quad (6)$$

$$RMSE\% = RMSE / \bar{Y}_i \times 100 \quad (7)$$

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i) / n \quad (8)$$

$$\bar{D}\% = \bar{D} / \bar{Y}_i \times 100 \quad (9)$$

در معادلات ذکر شده  $\hat{Y}_i$  مقادیر برآورد شده و  $Y_i$  مقادیر مشاهده شده است. بدیهی است مقادیر کم RMSE و  $\bar{D}$ ، به یک مدل با برازش خوب اشاره می‌کند.

### نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج به کارگیری الگوریتم‌های ناپارامتریک و رگرسیون چندمتغیره خطی را در برآورد زی توده روی زمینی درختان منطقه تحقیق با استفاده از مشخصه‌های داده‌های راداری Alos-Palsar نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، الگوریتم K-NN همانند دو الگوریتم رگرسیون بردارپشتیبان و جنگل تصادفی، با مجذور میانگین مربعات خطای ۵۷/۱۸۹ درصد و میانگین تفاوت‌های ۰/۲۷۸- مگاگرم در هکتار نسبت به الگوریتم رگرسیون چندمتغیره خطی عملکرد به نسبت بهتری در برآورد زی توده روی زمینی درختان دارد. شکل ۲ نمودارهای مقادیر برآورد شده در مقابل مشاهده شده زی توده روی زمینی درختان با استفاده از تمامی الگوریتم‌های ناپارامتریک و پارامتریک را نشان می‌دهد.

بررسی میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده زی توده روی زمینی درختان با استفاده از داده‌های رادار و الگوریتم‌های ناپارامتریک و پارامتریک نشان داد که الگوریتم K-NN دارای کمترین انحراف از معیار مقادیر تفاوت‌ها است و به همراه دو الگوریتم رگرسیون بردارپشتیبان و رگرسیون چندمتغیره خطی زی توده روی زمینی درختان را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند؛ درحالی که با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده است.

### مدلسازی و برآورد ذخیره کربن روی زمینی درختان

مدلسازی با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک K-NN<sup>۱</sup>، رگرسیون بردارپشتیبان SVR<sup>۲</sup> و جنگل تصادفی RF و روش پارامتریک رگرسیون چندمتغیره خطی<sup>۳</sup> به منظور برقراری ارتباط بین زی توده روی زمینی درختان در قطعات نمونه به‌عنوان متغیر وابسته و  $Y_{HH}^{\circ}$ ،  $Y_{HH}^{\circ}/Y_{HV}^{\circ}$ ،  $Y_{HV}^{\circ}$ ،  $Y_{HH}^{\circ}$  و  $Y_{HV}^{\circ}$ ، آلفا، ایتروپی و ویژگی‌های بافت  $Y_{HH}^{\circ}$  و  $Y_{HV}^{\circ}$  به‌عنوان متغیر مستقل به کار گرفته شد. در این پژوهش مدلسازی با ۷۰ درصد قطعات نمونه (۲۰۶ قطعه نمونه) که به صورت تصادفی منظم و با در نظر گرفتن توزیع مناسب قطعات نمونه در سرتاسر رویشگاه انتخاب شده بودند انجام گرفت. ارزیابی اعتبار نتایج با استفاده از ۳۰ درصد قطعات نمونه (۱۰۲ قطعه نمونه) انجام پذیرفت. تشخیص داده‌های پرت<sup>۴</sup> و بررسی نرمالیت باقی مانده‌ها از ملزومات بررسی تطبیق مدل‌های پارامتریک به داده‌هاست که الگوریتم‌های ناپارامتریک به آن حساس نیستند. به همین منظور برای رگرسیون چندمتغیره خطی نمودار باقی مانده‌ها در مقابل مقادیر برآورد شده رسم شد. با توجه به نرمال نبودن داده‌ها و تطابق نداشتن نمودار فوق با تابع رگرسیون خطی، لگاریتم طبیعی مقادیر کربن محاسبه شد و به این ترتیب توزیع باقی مانده‌ها و مشخصه مورد بررسی در سطح اطمینان ۹۵ درصد نرمال شده ( $P_{value} > 0.05$ ) و به روش گام به گام آنالیز شد. با توجه به وجود تعداد زیاد متغیرهای مستقل، هم‌خطی<sup>۵</sup> میان متغیرها (درجه زیاد همبستگی میان آنها) نیز با شاخص VIF<sup>۶</sup> بررسی شد [۱۸]. به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها، مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین تفاوت‌ها<sup>۷</sup> به صورت مطلق و نسبی برای تمامی مدل‌های ناپارامتریک و رگرسیون چندمتغیره خطی محاسبه شد (روابط ۶ تا ۹).

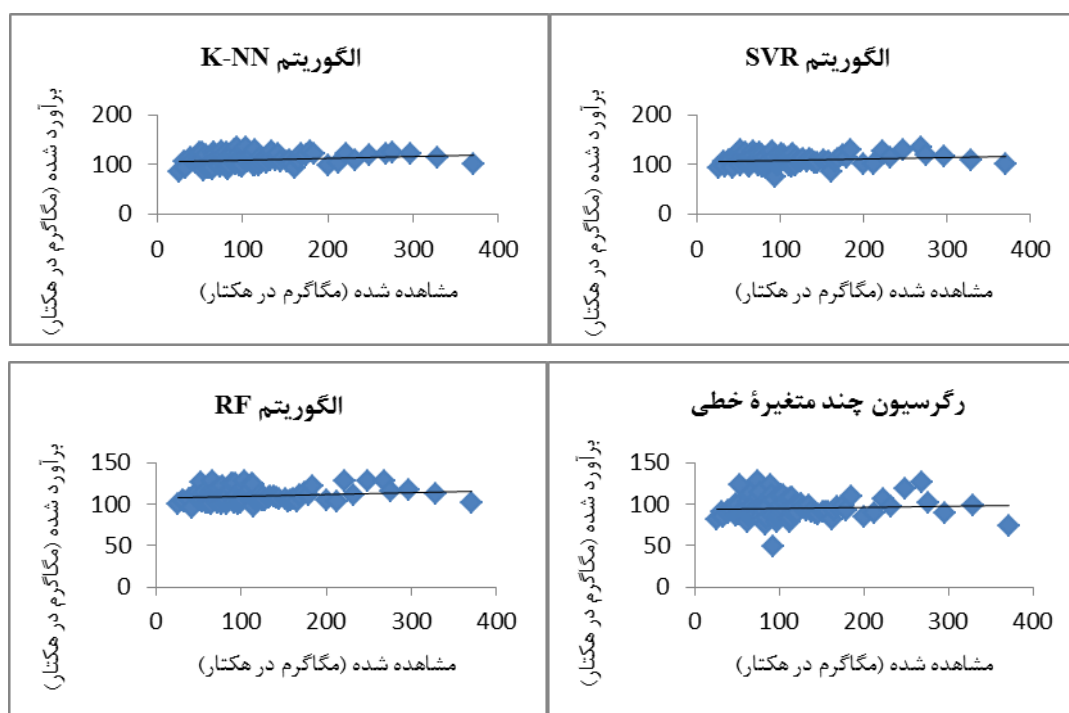
1. K-Nearest Neighbor (K-NN)
2. Support Vector Machine Regression (SVR)
3. Multiple Linear Regression (MLR)
4. Outlier
5. Multicollinearity
6. Variance Inflation Factor (VIF)
7. Mean Difference ( $\bar{D}$ )

همچنین تفاوت مقادیر برآوردشده الگوریتم‌های K-NN، رگرسیون بردارپشتیبان و جنگل تصادفی با مقادیر واقعی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نیست و به این ترتیب قابلیت بیشتر الگوریتم‌های ناپارامتریک نسبت به رگرسیون چندمتغیره خطی در برآورد زی توده روی زمینی درختان در منطقه تحقیق نشان داده شد (جدول ۳).

جدول ۲. مقایسه نتایج الگوریتم‌های ناپارامتریک و رگرسیون چندمتغیره خطی در برآورد زی توده روی زمینی درختان با استفاده از

مشخصه‌های داده‌های راداری Palsar

الگوریتم	مجدور میانگین مربعات خطا ( $Mg.ha^{-1}$ )	درصد مجذور میانگین مربعات خطا	میانگین تفاوت‌ها ( $Mg.ha^{-1}$ )	درصد میانگین تفاوت‌ها	ضریب تبیین تعدیل‌شده
K-NN	۶۲/۶۸۶	۵۷/۱۸۹	-۰/۲۷۸	-۰/۲۵۲	۰/۰۳۲
رگرسیون بردارپشتیبان	۶۳/۲۹۶	۵۷/۷۴۶	-۰/۵۹۵	-۰/۵۴۱	۰/۰۱۳
جنگل تصادفی	۶۳/۱۹۱	۵۷/۶۵۱	۰/۲۹۷	۰/۲۷۲	۰/۰۱۷
رگرسیون چندمتغیره خطی	۶۵/۷۹۲	۶۰/۰۲۳	-۱۴/۸۷۴	-۱۳/۵۶۸	۰/۰۰۷



شکل ۲. نمودارهای مقادیر برآوردشده در مقابل مشاهده‌شده زی توده روی زمینی درختان

جدول ۳. میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی و برآوردشده زی توده روی زمینی درختان با استفاده از مشخصه‌های داده‌های راداری Palsar و الگوریتم‌های ناپارامتریک و رگرسیون چندمتغیره خطی

الگوریتم	میانگین واقعی ( $Mg.ha^{-1}$ )	میانگین برآوردشده ( $Mg.ha^{-1}$ )	میانگین تفاوت‌ها ( $Mg.ha^{-1}$ )	آماره t	سطح معنی‌داری	انحراف از معیار تفاوت‌ها ( $Mg.ha^{-1}$ )
K-NN	۱۰۹/۶۱۱	۱۰۹/۳۳۳	-۰/۲۷۸	-۰/۰۴۴	NS	۶۲/۹۹۴
رگرسیون بردارپشتیبان	۱۰۹/۶۱۱	۱۰۹/۰۱۶	-۰/۵۹۵	-۰/۰۹۴	NS	۶۳/۶۰۶
جنگل تصادفی	۱۰۹/۶۱۱	۱۰۹/۹۰۸	۰/۲۹۷	۰/۰۴۷	NS	۶۳/۵۰۲
رگرسیون چندمتغیره خطی	۱۰۹/۶۱۱	۹۴/۷۳۷	-۱۴/۸۷۴	-۲/۳۳۲	*	۶۴/۴۰۵

NS: معنی‌دار نبودن در سطح اطمینان ۹۵ درصد

\*: معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش قابلیت داده‌های راداری باند L حسگر Alos-Palsar برای برآورد مقادیر زی‌توده روی زمینی درختان در بخشی از جنگل‌های شمال ایران بررسی شد. با وجود مشخصه‌های منحصربه‌فرد تصاویر راداری، منابع خطا و عدم قطعیت‌هایی برآوردها را تحت تأثیر قرار داده است. برای مثال بخش عمده‌ای از عدم قطعیت‌ها ناشی از معادلات آلومتریکی است که برای برآورد زی‌توده روی زمینی درختان استفاده شد. درختان با قطر کمتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر سهم زیادی از مقادیر زی‌توده روی زمینی درختان را دارند و لحاظ نکردن آنها در این پژوهش با توجه به اثرگذاری آنها بر بازپخش‌های رادار، از منابع عدم قطعیت به‌شمار می‌رود. به‌علاوه قدرت تفکیک مکانی ضعیف مدل رقومی ارتفاع مورد استفاده در تصحیحات توپوگرافی، ممکن است بخشی از عدم قطعیت‌ها را شامل شود. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان‌دهنده قابلیت بسیار اندک این سطح از داده‌های راداری و رویکرد مورد استفاده در برآورد زی‌توده روی زمینی درختان در منطقه تحقیق است. به‌کارگیری داده‌های تمام پلاریمتریک راداری، اجرای پیش‌پردازش‌های دقیق بر روی این تصاویر از جمله استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع با دقت زیاد و تلفیق آنها با داده‌های نوری، استفاده از روابط بسیار دقیق آلومتریکی به‌منظور محاسبه زی‌توده روی زمینی درختان برای تمامی گونه‌های موجود درختی و همچنین بررسی اثرگذاری طرح نمونه‌برداری و ابعاد قطعات نمونه را می‌توان در تحقیقات آتی برای بهبود برآوردهای زی‌توده روی زمینی درختان در نظر گرفت.

### سپاسگزاری

داده‌های راداری مورد استفاده در این پژوهش تحت پروپوزال زیر دریافت شده است:

"Evaluating the potential of SAR data to support Public Sustainable Forest Management (SFM) in tropical rain forest sites (ID 6242)" through the European Space Agency (ESA) Third Party Mission.

به‌طور کلی مشخصه‌های داده‌های راداری به‌ویژه شدت و پلاریمتری به‌تنهایی همبستگی ضعیفی با زی‌توده روی زمینی درختان برقرار کردند که ممکن است به‌دلیل ساختار افقی و عمودی پیچیده جنگل‌های منطقه تحقیق، وضعیت توپوگرافی و ماهیت و دقت پردازش داده راداری استفاده‌شده در این پژوهش از جمله قدرت تفکیک مکانی ضعیف مدل رقومی ارتفاع باشد. در این زمینه بررسی اثر اندازه قطعه نمونه بر شدت روابط داده‌های راداری با زی‌توده روی زمینی درختان نشان داد که در توده‌هایی با تنوع زیستی زیاد و ساختار پیچیده، قطعات نمونه بزرگ‌تر، روابط بین زی‌توده و داده‌های راداری را بهتر نشان می‌دهند [۱۹]. در تحقیقی با استفاده از متغیرهای مستقیم Palsar شامل ضرایب بازپخش، مشخصه‌های تجزیه هدف Cloud-Pottier و ویژگی‌های بافتی که بیشترین همبستگی با زی‌توده روی زمینی را نشان دادند، به  $RMSE = 21/90$  درصد در منطقه لوه رسیدند [۱۲]. با وجود تفاوت توپوگرافی شدید جنگل‌های لوه نسبت به منطقه تحقیق ما، دلیل بخشی از تفاوت‌ها در کسب نتایج متفاوت را می‌توان اندازه قطعات نمونه  $0/36$  هکتاری نسبت به قطعات نمونه  $0/1$  هکتاری این تحقیق و ساختار ساده‌تر جنگل‌های لوه به‌دلیل اعمال شیوه پناهی دانست که بر ضرایب بازپخش اثرگذار بوده است. در تحقیقی قابلیت بیشتر مدل‌های ایتروفرمتری باند C و L راداری را با  $RMSE = 35/7$  درصد نسبت به مدل‌های تنها مبتنی بر ضرایب بازپخش نرمال‌شده باند C (HH, HV, VH) و باند L (HH) و HV راداری با  $RMSE$  به‌ترتیب  $53/6$  و  $44$  درصد در برآورد زی‌توده روی زمینی جنگل‌های معتدله سوزنی‌برگ کانادا نشان دادند [۳]. ناهمگنی کمتر جنگل‌های سوزنی‌برگ و فرم تاجی آنها، ممکن است دلیل برآوردهای بهتر باند L تنها با متغیرهای شدت، نسبت به برآوردهای این پژوهش در توده‌های آمیخته که مشخصه‌های تجزیه هدف و بافت را نیز شامل می‌شد باشد.

## References

- [1]. Wani, A.A., Joshi, P.K., and Singh, O. (2015). Estimating biomass and carbon mitigation of temperate coniferous forests using spectral modeling and field inventory data. *Ecological Informatics*, 25: 63-70.
- [2]. Carreiras, J.M.B., Vasconcelos, M.J., and Lucas, R.M. (2012). Understanding the relationship between aboveground biomass and ALOS PALSAR data in the forests of Guinea-Bissau (West Africa). *Remote Sensing of Environment*, 121: 426-442.
- [3]. Tsui, O.W., Coops, N.C., Wulder, M.A., Marshall, P.L., and Mc Cardle, A. (2012). Using multi-frequency radar and discrete-return LiDAR measurements to estimate aboveground biomass and biomass components in a coastal temperate forest. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 69: 121-133.
- [4]. LU, D. (2006). A Review-The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 27(7): 1297-1328.
- [5]. Tsui, O.W., Coops, N.C., Wulder, M.A., and Marshall, P.L. (2013). Integrating airborne LiDAR and space-borne radar via multivariate kriging to estimate above-ground biomass. *Remote Sensing of Environment*, 139: 340-352.
- [6]. Mosavi, B. (2015). Comparison of high resolution (Quickbird) and medium resolution (Landsat8-OLI) satellite images capability in estimation of trees aboveground biomass. A thesis of Master Student in forest science, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, 132p.
- [7]. Ronoud, Gh. (2016). Estimating aboveground woody biomass of *Fagus orientalis* stands in Hyrcanian forest of Iran using Landsat 8 satellite data (Case study: Khyroud forest). A thesis of Master Student in forest science, University of Tehran, 103p.
- [8]. Lu, D., Chen, Q., Wang, G., Liu, L., Li, G., and Moran, E. (2014). A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. *International Journal of Digital Earth*, 9(1): 63-105.
- [9]. Chowdhury, T.A., Thiel, Ch., and Schmillius, Ch. (2014). Growing stock volume estimation from L-band ALOS PALSAR polarimetric coherence in Siberian forest. *Remote Sensing of Environment*, 155: 129-144.
- [10]. Thapa, R.B., Watanabe, M., Motohka, T., and Shimada, M. (2015). Potential of high-resolution ALOS-PALSAR mosaic texture for aboveground forest carbon tracking in tropical region. *Remote Sensing of Environment*, 160: 122-133.
- [11]. Amini, J., and Sadeghi, J. (2011). Optical and radar images in northern forests of Iran biomass estimation. *Remote sensing and GIS*, 4(4): 69-82.
- [12]. Attarchi, S., and Gloaguen, R. (2014). Improving the Estimation of Above Ground Biomass Using Dual Polarimetric PALSAR and ETM+ Data in the Hyrcanian Mountain Forest (Iran). *Remote Sensing*, 6(5): 3693-3715.
- [13]. Mohammadi, J. (2013). Improving in Estimation of Some Forest Structure Quantitative Characteristics by Combining the Lidar and Digital Aerial Images in Shastkalateh Hardwood Forests of Gorgan. A thesis of PhD student in forest science, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, 287p.
- [14]. Attarchi, S. (2014). Complex land cover classification and physical properties retrieval of the hyrcanian forest: A Multi-Source Remote Sensing approach. A thesis of PhD student, TU Bergakademie Freiberg, 130p.
- [15]. Shamsi Jamkhaneh, S. (2012). Estimation of tree biomass using some environmental factors by emphasize on soil characteristics. A thesis of Master Student in forest science, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, 166p.
- [16]. Dong, J., Xiao, X., Sheldon, S., Biradar, C., and Xie, G. (2012). Mapping tropical forests and rubber plantations in complex landscapes by integrating PALSAR and MODIS imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 74: 20-33.
- [17]. Pizaña, M.G., López-Caloca, J., Penélope López-Quiroz, A., Silván-Cárdenasa, J.L., and Couturier, S. (2014). Modeling the spatial distribution of aboveground carbon in Mexican coniferous forests using remote



sensing and a geostatistical approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 30: 179-189.

- [18]. Mesdaghi, M. (2004). *Regression methods for research in agriculture and natural resources*. University of Emam Reza press, Mashhad.
- [19]. Saatchi, S., Marlier, M., Chazdon, R.L., Clark, D.B, and Russell, A.E. (2011). Impact of spatial variability of tropical forest structure on radar estimation of aboveground biomass. *Remote Sensing of Environment*, 115(11): 2836-2849.

## Estimation of aboveground biomass using Alos-Palsar data in Hyrcanian forests (Case study: ShastKalateh, Gorgan)

**M. Poorazimy\***; M.Sc. Student, Forestry Department, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, I.R.Iran.

**Sh. Shataee**; Asso. Professor, Forestry Department, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, I.R.Iran.

**S. Attarchi**; Assist. Professor, Remote Sensing and Geographical Information System Department, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, I.R.Iran.

**J. Mohammadi**; Assist. Professor, Forestry Department, Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, Gorgan, I.R.Iran.

(Received: 22 July 2016, Accepted: 25 January 2017)

### ABSTRACT

Quantifying the forest biophysical variables such as biomass in local, zonal, and regional scales is necessary for evaluation, monitoring, and management of carbon sequestration conditions. Polarized SAR images in L band (like Alos-Palsar) have been used for estimating AGB due to its ability in penetration into canopy and extracting the trunk information. The capability of Alos-Palsar data for above-ground biomass estimation of trees was studied in some part of mixed hardwood forest of Dr. Bahramnia forestry plan. The aboveground biomass of trees was computed in 308 0.1 circular sample plots using local allometric equations. In this study, we used radiometric and geometric processed radar data and according that, normalized backscatter coefficients in HH and HV polarization, ratio and difference of them, alpha and entropy components from Cloud-Pottiers target decomposition approach and GLCM texture features were extracted from Alos-Palsar images on sample plots. Biomass modeling and estimation were done using 70 percent of sample plots by KNN, SVR and Random Forest nonparametric algorithms as well as multiple linear regression algorithms. The validity assessment was done by using the remaining 30 percent samples. According to the results, KNN algorithm had better performance than the other algorithms in estimation of aboveground biomass of trees. RMSE (57.189%) and adjusted  $R^2$  (0.032) showed the weak performance of this approach in aboveground biomass estimation of trees.

**Keywords:** Nonparametric algorithm, Hyrcanian forests, Dual polarization Alos-Palsar data, Trees aboveground biomass.

---

\* Corresponding Author, Email: m.poorazimy@yahoo.com, Tel: +989339495342