

بررسی تأثیر جهت دامنه توپوگرافی و نوع قطبش داده‌های راداری در برآورد برخی مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از داده‌های ALOS-2 PALSAR-2 (مطالعه موردی: جنگل شصت کلاته گرگان)

مژگان ظهریان حساری^۱، شعبان شتابی جویباری^{۲*}، یاسر مقصودی^۳، جهانگیر محمدی^۴

۱. دانش آموخته دکتری جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲. استاد، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳. دانشیار، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۴. استادیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۲

چکیده

داده‌های راداری به‌طور گسترده‌ای برای برآورد مشخصه‌های جنگلی کاربرد دارند. این داده‌ها برای تخمین مشخصه‌های جنگل در مناطق مسطح قابلیت‌های خوبی دارند، اما در مناطق کوهستانی به محدودیت‌ها و مشکلاتی مانند تأثیر توپوگرافی بر بازپراکنش‌های داده‌های راداری دچارند. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر جهت دامنه توپوگرافی هم‌سو و غیرهم‌سو با ارسال امواج راداری و همچنین نوع قطبش داده‌ها در برآورد برخی مشخصه‌های کمی جنگل شامل ارتفاع توده، حجم سرپا و رویه زمینی درختان با استفاده از داده‌های با قطبش دوگانه (HV، HH) سنجنده PALSAR-2 در سه حالت بدون در نظر گرفتن جهت دامنه، در جهت‌های هم‌سو با امواج ارسالی و در جهت غیرهم‌سو با جهت ارسال امواج در بخشی از جنگل شصت کلاته گرگان انجام گرفت. نتایج همبستگی بین دامنه بازپراکنش‌های سنجنده PALSAR-2 و مشخصه‌های کمی نشان داد که در جهت هم‌سو، همبستگی برای مشخصه‌های رویه زمینی و حجم معنی‌دار بوده، ولی برای مشخصه ارتفاع لوری معنی‌دار نبوده است. در حالی که در جهت غیرهم‌سو، همبستگی برای هر سه مشخصه بسیار ضعیف بوده و معنی‌دار نبوده است. همچنین نتایج مدل‌سازی نشان داد که قطبش HV و روش ماشین بردار پشتیبان حساسیت متوسطی به مشخصه‌های ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم به ترتیب با r و $RMSE$ (۰/۱۴، -۰/۴۴)، (۰/۴۸، -۰/۳۵) و (۰/۴۴، -۰/۳۶) در جهت هم‌سو با امواج نشان داده است. در حالی که حساسیتی بسیار کمتر و به ترتیب (۰/۱۸، -۰/۱۴)، (۰/۰۵، -۰/۳۵) و (۰/۰۴، -۰/۳۸) در جهت غیرهم‌سو دارد.

واژه‌های کلیدی: توپوگرافی، قطبش، مشخصه‌های جنگل، مدل‌سازی، PALSAR-2.

مقدمه

جنگل‌های هیرکانی ایران بسیار حائز اهمیت است [۱، ۲]. با توجه به شرایط توپوگرافی و کوهستانی بودن جنگل‌های هیرکانی، روش‌های اندازه‌گیری زمینی بسیار هزینه‌بر و وقتگیر است و همچنین با توجه به شرایط این جنگل‌های

داشتن اطلاعات دقیق و جامع از مشخصه‌های کمی جنگل‌ها مانند ارتفاع تاج‌پوشش، رویه زمینی، حجم و زیست‌توده برای برنامه‌ریزی و مدیریت جنگل‌ها به‌ویژه

در دسترس بودن آن از مأموریت ALOS با سنجنده PALSAR^۵ افزایش پیدا کرده است. از این تصاویر در تحقیقات برآورد برخی مشخصه‌های کمی توده‌های جنگل‌های هیرکانی استفاده شده است [۱۴-۲۱]. در تحقیقی به رابطه بین زیست‌توده و داده‌های PALSAR-2 با شرایط مسطح و بدون شیب پرداخته شد [۱۴]. در تحقیقات دیگر نیز مشخصه‌های کمی جنگل در قسمتی از جنگل‌های هیرکانی با شرایط توپوگرافی شدید و کوهستانی تخمین زده شده است [۱۵-۲۱]؛ اما در این تحقیقات تأثیر مشخصه‌های توپوگرافی در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل در نظر گرفته نشده است.

برخی از تحقیقات در خارج از کشور بررسی کرده‌اند که در نظر گرفتن اثرهای توپوگرافی در مناطق کوهستانی در دقت تخمین زیست‌توده با استفاده از داده‌های راداری مفید است [۲۲، ۲۳]. در تحقیقات نتیجه‌گیری شد که عامل توپوگرافی در مقادیر بازپراکنش^۶ از داده‌های راداری تأثیر می‌گذارد و روابط پیچیده‌ای بین مقادیر مشخصه‌های کمی جنگل و میزان بازپراکنش داده‌های راداری ایجاد می‌کنند؛ بنابراین باید میزان بازپراکنش از داده‌های راداری در تخمین مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از داده‌های راداری در نظر گرفته شود [۲۴-۲۹]. در پژوهشی بررسی شد که تغییرات در زاویه بروز^۷ داده‌های رادار ناشی از تغییرات توپوگرافی مانند شیب زمین ممکن است تأثیرات زیادی بر داده‌های راداری داشته باشد [۲۳]. در تحقیق دیگری نتیجه‌گیری شد که در نظر گرفتن متغیرهای توپوگرافی مثل جهت شیب دامنه در دقت تخمین مشخصه زیست‌توده تأثیرگذار است [۱۳]. نتایج این تحقیقات حاکی از آن است که در نظر گرفتن پارامترهای توپوگرافی

انبوه و متراکم، دسترسی به همه قسمت‌های آن امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین، امروزه استفاده از داده‌های دورسنجی^۱، روشی مقرون‌به‌صرفه و سریع برای تخمین مشخصه‌های کمی در جنگل‌ها به شمار می‌رود [۳].

در میان داده‌های دورسنجی، تصاویر راداری^۲ با روزنه مصنوعی (SAR)^۳ برای برآورد مشخصه‌های کمی جنگل کاربرد گسترده‌ای دارند [۴-۶]. این داده‌ها به دلیل توانایی تصویربرداری در شب و حساس نبودن به آب‌وهوا، به منظور پایش پدیده‌های در حال تغییر سریع و نظارت در نواحی ابری نسبت به داده‌های نوری^۴ ارجح‌اند [۷، ۸]. تصاویر راداری با روزنه مصنوعی در طول‌موج‌های ۰/۴۴ تا ۱۰ گیگاهرتز به دست می‌آیند. این تصاویر در طول‌موج‌های کوتاه مانند باندهای X (۱۰ گیگاهرتز) و C (۵/۳ گیگاهرتز) توسط سطح تاج‌پوشش و شاخه‌های کوچک پراکنده می‌شوند [۹]، در حالی که در طول‌موج‌های بلند مانند باندهای L (۱/۲۵ گیگاهرتز) و P (۰/۴۴ گیگاهرتز) نفوذ عمیق‌تری در تاج‌پوشش درختان دارند و حاوی اطلاعاتی درباره عوارض زیر تاج‌پوشش، شاخه‌ها و تنه‌ها هستند که در دقت نتایج برآورد مشخصه‌های کمی جنگل اثرگذار است [۱۰]. افزون‌بر قدرت نفوذ عمیق داده‌های راداری در طول‌موج‌های L و P، امکان تهیه تصاویر راداری با روزنه مصنوعی در قطبش‌های مختلف (HH, HV, VH, VV)، بر قابلیت این داده‌ها در زمینه دستیابی به اطلاعات بیشتر از مشخصه‌های کمی جنگل افزوده است [۱۱]. در میان داده‌های راداری، تصاویر راداری با روزنه مصنوعی در قطبش HV و باندهای L و P در تخمین مشخصه‌های کمی اطلاعات مفیدتری دارند [۱۲، ۱۳].

در دهه‌های اخیر استفاده از تصاویر راداری با روزنه مصنوعی باند L، به دلیل حساسیت آن به ساختار جنگل و

5. Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar
6. Backscatter
7. Incidence angle

1. Remote sensing
2. Radio Detection and Ranging
3. Synthetic Aperture Radar (SAR)
4. Optical

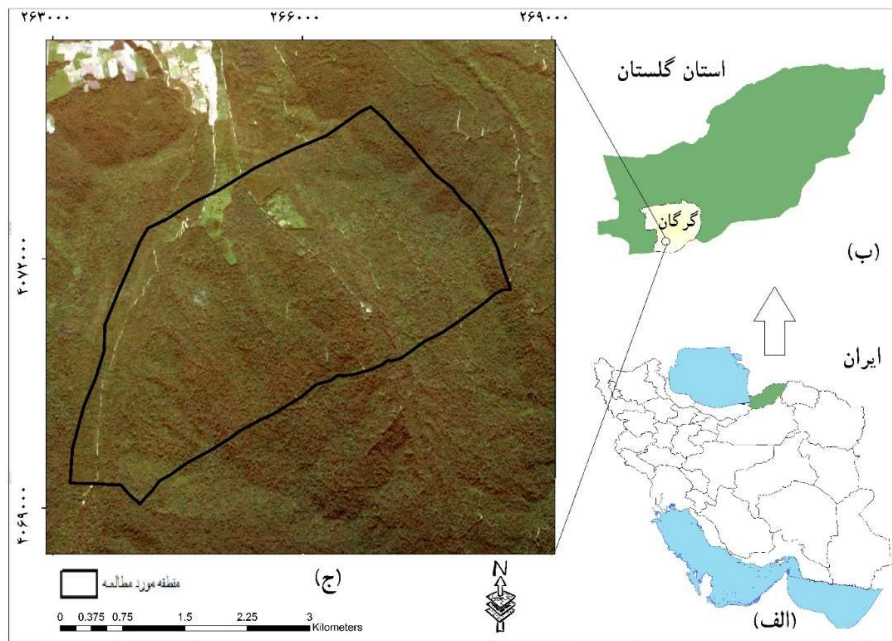
ماهواره ALOS-2 در برآورد های یادشده نیز به‌عنوان هدف فرعی بررسی می‌شود. در این بررسی از دو نوع مدل سازی پارامتریک (رگرسیون خطی) و غیر پارامتریک (ماشین بردار پشتیبان)^۱ به‌عنوان یکی از کاراترین الگوریتم های به کاررفته در تحقیقات مختلف [۱، ۱۶] استفاده و نتایج آنها مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

تحقیق در بخشی از سری یک و دو طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته) در حوزه آبخیز ۸۵ جنگلی و به‌عنوان یکی از حوزه‌های تحت مدیریت اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان در جنوب شرقی گرگان با طول جغرافیایی ۲۱° ۵۴' تا ۲۴° ۵۴' شرقی و عرض جغرافیایی ۴۴° ۳۶' تا ۴۶° ۳۶' شمالی انجام گرفت (شکل ۱).

در زمینه تخمین مشخصه‌های کمی جنگل به‌علت حساسیت زیاد این داده‌ها به شرایط توپوگرافی مؤثر است. تا کنون در تحقیقات صورت گرفته در جنگل های هیرکانی ایران، تأثیر ویژگی های توپوگرافی به‌ویژه جهت شیب و دامنه در تخمین مشخصه‌های کمی جنگل و داده‌های راداری بررسی نشده است. از این رو با توجه به شرایط توپوگرافی و کوهستانی بودن جنگل‌های هیرکانی، در نظر گرفتن اثر جهت شیب در تخمین مشخصه‌های کمی می‌تواند بسیار مفید باشد. هدف اصلی این تحقیق بررسی ارتباط اثر جهت دامنه توپوگرافی بر امواج بازگشتی توده‌های جنگلی در کل منطقه و همچنین تفاوت آن در جهت دامنه‌های همسو و مخالف (غیرهمسو) با توجه به مسیر شمالی- جنوبی گذر ماهواره راداری (مدار قطبی) و پهلوگیری غربی در برآورد مشخصه‌های ارتفاع درختان، حجم سرپا و رویه زمینی است. همچنین تأثیر این تفاوت‌ها در باندهای قطبش دوگانه (HH, HV) باند L از



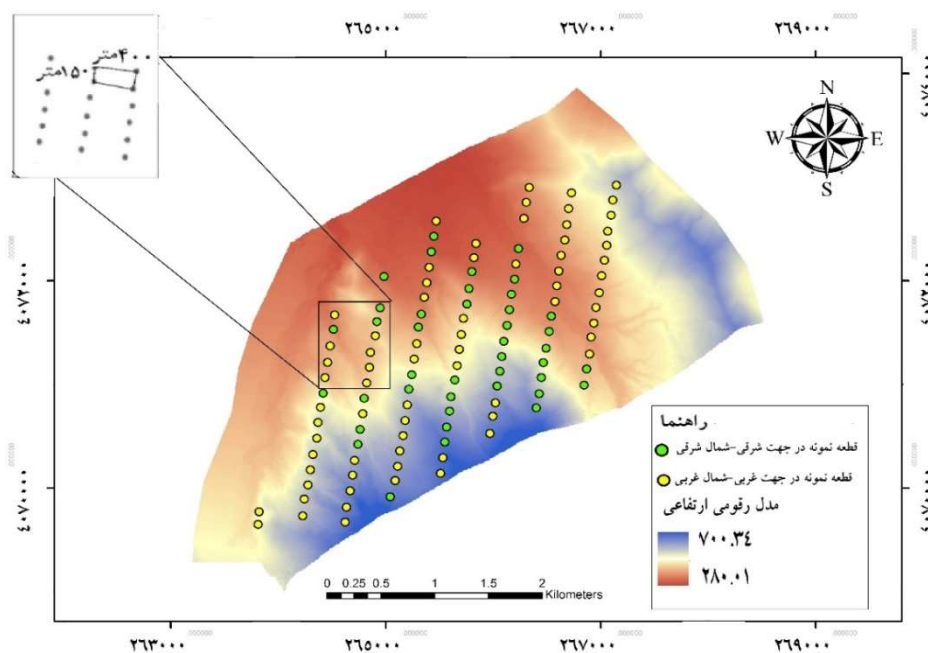
شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق در ایران (الف)، استان گلستان (ب) و جنگل آموزش و پژوهشی شصت‌کلاته گرگان روی تصویر رنگی GeoEye (ج)

داده‌های زمینی با استفاده از روش نمونه برداری تصادفی - منظم با ابعاد شبکه ۱۵۰ در ۴۰۰ متر (شکل ۲) انجام گرفت. از این تعداد، با توجه به سهم دامنه‌ها در منطقه، ۷۱ قطعه نمونه در جهت غربی - شمال غربی (همسو با جهت امواج ارسال ماهواره) و ۴۱ قطعه نمونه در جهت شرقی - شمال شرقی (غیرهمسو با جهت امواج) قرار گرفتند. موقعیت دقیق مکانی مرکز قطعه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه GPS تفاضلی به روش پردازش بعد از برداشت PPK^۱ با دقت کمتر از ۱۰ سانتی متر ثبت شد. نقشه مرکز و محدوده قطعات نمونه به شعاع ۱۷٫۸۴ متر (۱۰ آر) تهیه شد.

پوشش گیاهی غالب منطقه تحقیق، درختان پهن برگ خزان‌کننده است و منطقه تحت مطالعه با مساحت ۱۱۰۰ هکتار در محدوده ارتفاعی بین ۲۸۰ تا ۷۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. جهت‌های اصلی و غالب دامنه منطقه تحقیق، غربی - شمال غربی و شرقی - شمال شرقی است (شکل ۲).

داده‌های زمینی

در تحقیقی برای بررسی قابلیت فنون تداخل سنجی - پلاریمتری داده‌های راداری در برآورد مشخصه‌های ارتفاعی، ۱۱۲ قطعه نمونه دایره‌ای با مساحت ۱۰ آر (۱۰۰۰ متر مربع) در تابستان ۱۳۹۶ برداشت شد [۳۰]. برداشت



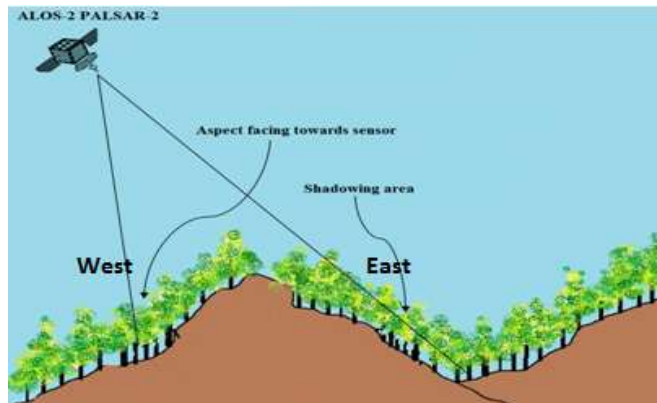
شکل ۲. موقعیت قطعات نمونه روی مدل رقومی ارتفاع منطقه

محاسبه شد. همچنین ارتفاع توده (ارتفاع لوری با توجه به ناهمسال بودن توده) با استفاده از رابطه ۱ برای هر قطعه نمونه محاسبه شد.

$$h_L = \frac{\sum g_i \cdot h_i}{G} \quad (1)$$

در هر قطعه نمونه، اطلاعات نوع گونه، قطر برابر سینه درختان با قطر بیشتر از ۱۲٫۵ سانتی متر و ارتفاع درختان با دستگاه بسیار دقیق ورتکس لیزری ثبت شد. موجودی سرپا با استفاده از جدول حجم دوعامله و رویه زمینی با استفاده از قطر برابر سینه در قطعه نمونه برحسب هکتار

را در دو قطبش عمود بر هم که به‌طور معمول H و V هستند، منتشر کرده و امواج بازپراکنش را در همان دو قطبش دریافت می‌کنند. این داده‌ها در شناسایی و تعیین سازوکارهای پراکنش قابلیت زیادی دارند. هنگامی که موج منتشر می‌شود و به هدف برخورد می‌کند، ممکن است سازوکارهای پراکنش مختلفی پیش آید [۳۱]. بسته به میزان و نوع پوشش گیاهی، ساختار پوشش، وضعیت توپوگرافی و رطوبت پدیده این سازوکار تشدید یا تقلیل می‌یابد. یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در شدت و میزان بازپراکنش داده‌های راداری جهت دامنه توپوگرافی است که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود. نمای شماتیک از انتشار سیگنال سنجنده PALSAR-2 ماهواره ALOS-2 در منطقه‌ای کوهستانی (با پوشش گیاهی در دو جهت سایه و هم‌جهت با ارسال امواج ماهواره) در شکل ۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۳. طرح کلی از جهت ارسال امواج راداری سنجنده ALOS-2 PALSAR-2 در دامنه‌های همسو (غربی) و غیرهمسو (شرقی) در نیمکره شمالی

جذب نور آفتاب، عامل اصلی و مؤثر در میزان رطوبت خاک، استقرار پوشش گیاهی، وضعیت تخریب و فرسایش دامنه است. از این رو قطعه‌نمونه‌ها با توجه به قرارگیری بیشتر آنها در جهت‌های شرقی-شمال شرقی (مخالف جهت امواج و در جهت سایه) و غربی-شمال غربی (همسو با جهت امواج راداری ماهواره)، به دو جهت کلی یادشده تقسیم شدند.

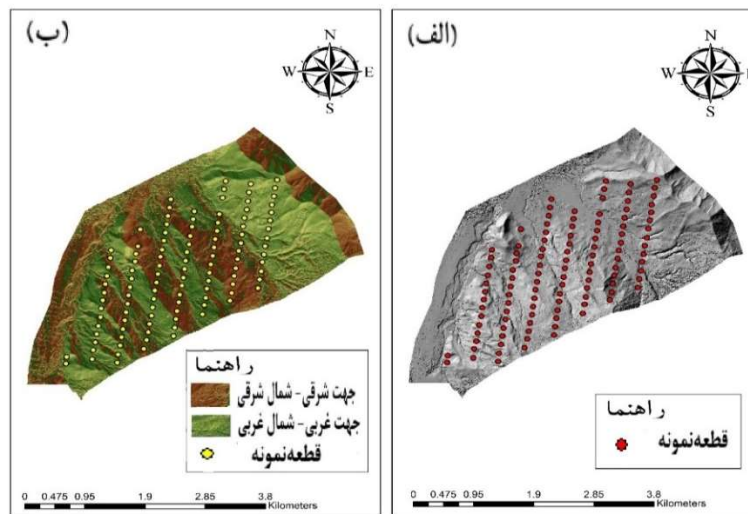
h_L ارتفاع لوری به متر، g_i رویه زمینی، h_i ارتفاع برای هر درخت به متر در هر قطعه‌نمونه و G مجموع رویه زمینی (متر مربع) در هر قطعه‌نمونه است.

داده راداری

در این تحقیق از تصویر ماهواره ALOS-2 با سنجنده PALSAR-2 در بانده L ($1/2$ گیگاهرتز، طول موج 22.9 سانتی‌متر) استفاده شد که از آژانس پژوهش‌های هوافضای ژاپن (JAXA) تهیه شده بود. این تصویر مربوط به تاریخ ۱۳ آوریل ۲۰۱۷ مطابق با ۲۴ فروردین ۱۳۹۶ با زاویه برخورد 27.5 درجه، حالت تصویربرداری نواری^۲ و قدرت تفکیک مکانی 6 متر است. در این تاریخ، به دلیل دامنه ارتفاعی متوسط منطقه، درختان در فصل رویش و دارای برگ کامل‌اند. مسیر گذر ماهواره در این منطقه و به‌طور کلی شمالی-جنوبی است. داده‌های راداری قطبش‌سنجی^۳ دوگانه ALOS-2، امواج

داده توپوگرافی

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی حاصل از داده‌های لیدار هوایی با دقت 1 متر، نقشه جهت شیب و نقشه سایه‌روشن برای نشان دادن وضعیت توپوگرافی منطقه تهیه شد (شکل ۴). جهت شیب دامنه از خصوصیات مهم زمین است که اهمیت زیادی در ویژگی‌های افقی و عمودی جنگل دارد و از نظر



شکل ۴. نقشه پراکنش قطعات نمونه روی نقشه‌های سایه‌روشن (الف) و نقشه جهت شیب (ب) در منطقه تحقیق با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی به دست آمده از لیدار هوایی [۲]

روش تحقیق

داده‌های راداری تحت تأثیر عوامل مختلف، دچار برخی خطا‌های رادیومتری و هندسی می‌شوند. به منظور پیش‌پردازش داده‌های راداری ابتدا داده‌های راداری طبق معادله ۲ کالیبره شدند [۳۲].

$$\sigma^{\circ} = 10 \log_{10} (I^2 + Q^2) + CF - A \quad (2)$$

I و Q بخش‌های حقیقی^۱ و موهومی^۲ تولید تصویر SLC^۳ (سطح ۱/۱) و A فاکتور تبدیل برابر با ۱۰/۳۲ است. CF فاکتور کالیبراسیون، ۸۳/۲ برای قطبش HH و ۸۰/۲ برای قطبش HV است.

بعد از فرایندهای کالیبراسیون رادیومتری مقدار ضرایب باز پراکنش برای داده‌های ALOS-2 در دو قطبش (HH و HV) در نرم‌افزار SNAP^۴ تولید شد. با توجه به اینکه در این نوع سطح تصحیحات هیچ‌گونه پردازشی در تصاویر انجام نگرفته است، به منظور افزایش کیفیت رادیومتری، فیلتر شبه‌نوئیز اسپیکل با استفاده از فیلتر لی [۳۳] و ابعاد پنجره ۷ در ۷ انجام گرفت. تصحیح هندسی به منظور

تبدیل برد مایل^۵ به برد زمینی^۶ با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی لیدار هوایی با دقت ۱ متر انجام گرفت. سپس میانگین ضرایب بازپراکنش برای قطبش‌های HH و HV در هر قطعه-نمونه استخراج شد. مدل‌سازی مشخصه‌های کمی جنگل شامل ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم سرپا با استفاده از میانگین بازپراکنش داده‌های ALOS-2 و به‌کارگیری دو روش مدل‌سازی رگرسیون خطی و ماشین بردار پشتیبان انجام گرفت. مدل‌سازی در سه حالت بدون تفکیک جهت (غربی-شمال غربی و شرقی-شمال شرقی)، در جهت همسو (غربی-شمال غربی) و در جهت غیرهمسو (شرقی-شمال شرقی) انجام گرفت. برای اعتبارسنجی نتایج مدل‌های ایجادشده از روش اعتبارسنجی تقاطعی^۷ استفاده شد. برای ارزیابی دقت مدل‌های رگرسیونی ایجادشده، از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطای نسبی (درصد) و ضریب همبستگی استفاده شد. آزمون معنی‌داری نتایج در سطح ۹۵ درصد انجام گرفت.

5. Slant range
6. Ground range
7. Leave-one-out

1. Real part of single look complex (SLC) product (level 1.1)
2. Imaginary part of SLC product (level 1.1)
3. Single Look Complex
4. Sentinel Application Platform

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های زمینی

بررسی آماره‌های توصیفی مشخصه‌های ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم در کل قطعات نمونه (جهت‌های غربی-شمال غربی و شرقی-شمال شرقی) نشان می‌دهد که دامنه تغییرات این مشخصه‌ها زیاد است که بیانگر ناهمگنی ساختار توده‌های جنگلی منطقه است (جدول ۱). میانگین و دامنه تغییرات هر سه مشخصه در جهت غربی-شمال غربی بیشتر از جهت شرقی-شمال شرقی است.

رابطه بین مشخصه‌های کمی جنگل و دامنه بازپراکنش‌ها در قطبش‌ها و کل منطقه

نتایج همبستگی بین دامنه بازپراکنش‌های ALOS-2 و دو مشخصه رویه زمینی و حجم در کل منطقه و بدون تفکیک قطعات نمونه در جهت‌های مختلف دامنه در هر دو قطبش

HH و HV معنی‌دار است، ولی برای ارتفاع لوری معنی‌دار نیست (جدول ۲). این همبستگی‌ها در قطبش HV نسبت به HH برای مشخصه‌های ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم حدود ۰/۰۲ تا ۰/۰۴ بیشتر است. تحقیقات متعددی نیز حساسیت بین زیست‌توده و بازپراکنش قطبش HV را تأیید کرده‌اند [۱۲، ۱۳، ۳۴، ۳۵]. مدل‌سازی به دو روش رگرسیون خطی و ماشین بردار پشتیبان با استفاده از داده‌های میدانی مشخصه‌های ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم و بازپراکنش از دو قطبش HH و HV انجام گرفت. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با درصد جذر میانگین مربعات خطای کمتر (حدود ۲ درصد) نسبت به روش رگرسیون خطی، عملکرد بهتری در برآورد مشخصه‌های ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم دارد.

جدول ۱. آماره‌های توصیفی مشخصه‌های کمی در کل منطقه و جهت دامنه‌ها

آماره‌های توصیفی	ارتفاع لوری (متر)		رویه زمینی (متر مربع در هکتار)		حجم (متر مکعب در هکتار)	
	شرقی-شمال	غربی-شمال	شرقی-شمال	غربی-شمال	شرقی-شمال	غربی-شمال
انحراف معیار	۳/۱۴	۲/۹۹	۸/۰۹	۸/۴۹	۱۰۷/۸۸	۹۲/۳۸
حداقل	۱۷/۵۷	۱۷/۵۷	۶/۶۰	۶/۶۰	۵۵/۲۶	۵۵/۲۶
میانگین	۲۳/۸۴	۲۳/۶۸	۲۲/۵۸	۲۵/۴۵	۲۶۵/۵۴	۲۳۸/۵۴
حداکثر	۳۲/۵۱	۳۲/۵۱	۴۸/۷۷	۵۴/۷۷	۶۹۲/۵۳	۵۱۵/۳۳

جدول ۲. نتایج مدل‌سازی مشخصه‌های کمی جنگل در کل منطقه بدون تفکیک دامنه

مشخصه ساختاری	قطبش	R همبستگی	درصد جذر میانگین مربعات خطا	
			رگرسیون خطی	ماشین بردار پشتیبان
ارتفاع لوری (متر)	HH	-۰/۱۳ ^{ns}	۱۳/۲۶	۱۳/۱۲
	HV	-۰/۱۵ ^{ns}	۱۳/۲۲	۱۳/۱۰
رویه زمینی (متر مربع در هکتار)	HH	-۰/۳۰*	۳۳/۷۷	۳۲/۵۰
	HV	-۰/۳۴*	۳۳/۳۵	۳۱/۵۷
حجم (متر مکعب در هکتار)	HH	-۰/۳۲*	۳۹/۲۷	۳۷/۹۴
	HV	-۰/۳۵*	۳۸/۹۱	۳۶/۸۶

^{ns} معنی‌دار نبودن، * معنی‌دار در سطح $p > 0/05$

رابطه بین مشخصه‌های کمی جنگل و دامنه بازپراکنش‌ها

در جهت غربی - شمال غربی

در جهت غربی - شمال غربی که رو به امواج ارسالی سنجنده ALOS-2 PALSAR-2 بوده است، نتایج همبستگی بین ضرایب بازپراکنش و همه مشخصه‌های کمی ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم نشان داد که همبستگی برای دو متغیر حجم و رویه زمینی معنی دار است و برای ارتفاع لوری

معنی دار نیست. همچنین قطبش HV همبستگی بیشتری (حدود ۰/۰۲ تا ۰/۰۴) نسبت به قطبش HH برای دو مشخصه حجم و رویه زمینی دارد. نتایج مدل‌سازی نیز نشان داد که روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به روش رگرسیون خطی، عملکرد بهتری با درصد جذر میانگین مربعات خطای کمتر (حدود ۱ درصد) در برآورد مشخصه‌های ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم دارد (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج مدل‌سازی مشخصه‌های کمی جنگل در جهت غربی - شمال غربی (همسو)

درصد جذر میانگین مربعات خطا		R	قطبش	مشخصه ساختاری
ماشین بردار پشتیبان	رگرسیون خطی	همبستگی		
۱۲/۳۵	۱۲/۷۰	-۰/۱۵ ^{ns}	HH	ارتفاع لوری (متر)
۱۲/۴۴	۱۲/۷۱	-۰/۱۴ ^{ns}	HV	
۳۰/۵۴	۳۰/۸۹	-۰/۴۴*	HH	رویه زمینی (متر مربع در هکتار)
۲۹/۳۵	۳۰/۲۰	-۰/۴۸*	HV	
۳۶/۴۵	۳۷/۶۳	-۰/۴۲*	HH	حجم (متر مکعب در هکتار)
۳۶/۴۰	۳۷/۱۶	-۰/۴۴*	HV	

^{ns} معنی دار نبودن، * معنی دار در سطح $p > 0/05$

داد که در این دامنه، همبستگی در هر یک از مشخصه‌ها بسیار ضعیف بوده و معنی دار نیست. به هر حال این همبستگی در بازپراکنش‌های قطبش HV کمی بیشتر (حدود ۰/۰۱ تا ۰/۰۸) بود و نتایج برآوردها نشان داد که برآوردها با داده‌های بازپراکنش این قطبش، دارای میزان جذر میانگین مربعات خطای کمتری (حدود ۲ درصد) نسبت به برآوردهای بازپراکنش‌های قطبش HH بود (جدول ۴). همچنین بین دو روش مدل‌سازی، روش ماشین بردار پشتیبان نتایج بهتری داشت (جدول ۴). جدول ۴ بهترین نتایج برآورد‌های متغیرها با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در دامنه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

رابطه بین مشخصه‌های کمی جنگل و بازپراکنش‌ها

جهت دامنه شرقی - شمال شرقی

در این منطقه به طور کلی جهت شرقی - شمال شرقی، مخالف جهت امواج ارسالی راداری سنجنده ALOS-2 PALSAR-2 بوده و همچنین با توجه به زاویه تابش خورشید در زمان اخذ تصاویر توسط سنجنده دارای سایه بود (شکل ۳). از کل قطعه نمونه‌های برداشتی، ۴۱ قطعه نمونه در دامنه‌های شرقی - شمال شرقی (خلاف جهت دید سنجنده) واقع شده‌اند (شکل ۴). نتایج همبستگی بین دامنه بازپراکنش‌های داده‌های ALOS-2 و مشخصه‌های کمی ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم نشان

جدول ۴. نتایج مدل‌سازی مشخصه‌های کمی جنگل در جهت دامنه غیرهمسو (شرقی - شمال شرقی)

درصد جذر میانگین مربعات خطا		R	قطبش	مشخصه ساختاری
ماشین بردار پشتیبان	رگرسیون خطی	همبستگی		
۱۴/۱۶	۱۴/۶۷	-۰/۱۰ ^{ns}	HH	ارتفاع لوری (متر)
۱۴/۱۴	۱۴/۶۰	-۰/۱۸ ^{ns}	HV	
۳۶/۶۵	۳۷/۳۱	-۰/۰۲ ^{ns}	HH	رویه زمینی (متر مربع در هکتار)
۳۵/۸۵	۳۷/۲۹	-۰/۰۵ ^{ns}	HV	
۳۸/۹۶	۴۰/۴۰	-۰/۰۳ ^{ns}	HH	حجم (متر مکعب در هکتار)
۳۸/۴۰	۴۰/۳۷	-۰/۰۴ ^{ns}	HV	

^{ns} معنی دار نبودن، * معنی دار در سطح $p > 0/05$

جدول ۵. نتایج مدل‌سازی مشخصه‌های کمی جنگل با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در دامنه‌های مختلف

مشخصه ساختاری	قطبش	درصد جذر میانگین مربعات خطا		
		غربی- شمال غربی	شرقی- شمال شرقی	کل منطقه
ارتفاع لوری (متر)	HH	۱۲٫۳۵	۱۴٫۱۶	۱۳٫۱۲
	HV	۱۲٫۴۴	۱۴٫۱۴	۱۳٫۱۰
رویه زمینی (متر مربع در هکتار)	HH	۳۰٫۵۴	۳۶٫۶۵	۳۲٫۵۰
	HV	۲۹٫۳۵	۳۵٫۸۵	۳۱٫۵۷
حجم (متر مکعب در هکتار)	HH	۳۶٫۴۵	۳۸٫۹۶	۳۷٫۹۴
	HV	۳۶٫۴۰	۳۸٫۴۰	۳۶٫۸۶

انحراف معیار بیشتر مقادیر زمینی متغیرهای حجم سرپا و رویه زمینی، همبستگی بیشتر و درصد جذر مربعات خطای کمتری نسبت به قطعه‌نمونه‌های جهت شرقی-شمال شرقی داشتند. همبستگی بیشتر در دامنه‌های غربی-شمال غربی (همسو) به دلیل تأثیر بیشتر ویژگی‌های کمی توده در بازپراکنش امواج ارسالی سنجنده و دریافت آن در مقایسه با دیگر پارامترهای مؤثر بر میزان انرژی و مقدار بازپراکنش‌ها همانند حجم بازپراکنش‌های دریافتی به امواج ارسالی [۳۶] و اثر سایه و اثر بازپراکنش‌های چندگانه زمین و درخت نسبت به دامنه‌های شرقی-شمال شرقی (غیرهمسو) بوده است. در تحقیقی دیگر در جنگل ذخیره‌گاهی در هند با استفاده از داده‌های PALSAR-2 نیز دریافتند که جهت شیب شاخصی تأثیرگذار در تخمین زیست‌توده است [۱۳]. به طوری که جهت رو به سنجنده نسبت به خلاف دید سنجنده دقیق‌تر بود که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. از این رو جداسازی جهت‌های شیب سبب دقت بیشتر نتایج مشخصه زیست‌توده نسبت به قبل از جداسازی شد. افزون‌بر این، در نظر نگرفتن جهت‌های شیب، سبب برآورد بیشینه و کمینه مشخصه‌های کمی می‌شود. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که تأثیرات توپوگرافی در بین مشخصه‌های کمی بر مشخصه حجم و رویه زمینی ملموس‌تر از مشخصه ارتفاع لوری بوده است.

اختلاف نتایج این تحقیق با یافته‌های تحقیقات دیگر [۲۱-۱۴] ممکن است در نتیجه تفاوت داده‌ها و پردازش آنها، نوع ویژگی‌های راداری استخراج‌شده، اختلاف در وضعیت توپوگرافی مناطق و همچنین تفاوت در مناطق تحت بررسی باشد. همچنین علی‌رغم شرایط توپوگرافی شدید و کوهستانی در جنگل‌های هیرکانی، در تحقیقات گذشته تأثیر مشخصه‌های توپوگرافی در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل نیز در نظر گرفته نشده است. از آنجا که داده‌های راداری، بسیار از شرایط توپوگرافی منطقه و به‌ویژه دامنه‌های همسو و غیرهمسو با امواج ارسالی و دریافتی تأثیر می‌پذیرند، در نظر گرفتن پارامترهای توپوگرافی و اصلاح و کاهش اثر آنها در تخمین مشخصه کمی بسیار اثرگذار است. در این تحقیق مشخصه‌های کمی جنگل در جهت‌های شیب شرقی-شمال شرقی (خلاف دید سنجنده)، غربی-شمال غربی (جهت دید سنجنده) و در دو جهت به صورت ترکیبی تخمین زده شدند. نتایج این تحقیق مشخص کرد که تخمین مشخصه‌های کمی در جهت دید سنجنده (غربی-شمال غربی) بسیار اطمینان‌بخش‌تر از جهت شرقی-شمال شرقی (خلاف دید سنجنده) است و همبستگی و مقادیر درصد خطا، در جهت غربی-شمال غربی و شرقی-شمال شرقی با هم اختلاف چشمگیری داشتند. همچنین جهت شرقی-شمال شرقی، رابطه معنی‌داری بین متغیرها با مقادیر بازپراکنش یافت نشد. از این رو، قطعه‌نمونه‌هایی که در جهت شیب غربی-شمال غربی بودند، با وجود

نتیجه گیری

کسب اطلاعات از مشخصه‌های کمی جنگل عاملی مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار جنگل‌هاست. بیشتر تحقیقات در زمینه تخمین مشخصه‌های کمی با استفاده از داده‌های سنجش از دور، در مناطق مسطح انجام گرفته یا مشخصه‌های توپوگرافی مانند جهت شیب یا دامنه در آنها در نظر گرفته نشده است. از طرفی، داده‌های راداری، به‌شدت از شرایط توپوگرافی منطقه تأثیر می‌پذیرند. از این‌رو هدف این تحقیق، بررسی اثر جهت شیب در برآورد مشخصه‌های کمی در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران با شرایط توپوگرافی پیچیده بوده است. نتایج مشخص کرد

که تخمین مشخصه‌های کمی در جهت دید سنجنده (غربی) تا حدی بهتر از جهت شرقی (خلاف دید سنجنده) است؛ بنابراین، جدا سازی در دو دامنه جهت دید سنجنده (غربی) و جهت شرقی (خلاف دید سنجنده) سبب بهبود دقت (۲ تا ۶ درصد) در نتایج برآورد مشخصه‌های ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم شد. همچنین بازپراکنش‌های با قطبش HV عملکرد بهتری نسبت به بازپراکنش‌های HH در برآورد مشخصه‌های ارتفاع لوری، رویه زمینی و حجم داشتند. با توجه به نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده اثر توپوگرافی مانند جهت شیب، در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از داده‌های راداری مدنظر قرار گیرد.

References

- [1]. Zahriban, M., Fallah, A., Shataee, S., and Kalbi, S. (2015). Estimating quantitative forest attributes using Pleiades satellite data and non-parametric algorithms in Darabkola forests, Mazandaran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(3): 1735-0883.
- [2]. Mohammadi, J., Shataee, S., Namiranian, M., and Næsset, E. (2017). Modeling biophysical properties of broad-leaved stands in the hyrcanian forests of Iran using fused airborne laser scanner data and UltraCam-D images. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 61: 32-45.
- [3]. Järnstedt, J., Pekkarinen, A., Tuominen, S., Ginzler, C., Holopainen, M., and Viitala, R. (2012). Forest variable estimation using a high-resolution digital surface model. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 74: 78-84.
- [4]. Tsui, O. W., Coops, N. C., Wulder, M. A., and Marshall, P. L. (2013). Integrating airborne LiDAR and spaceborne radar via multivariate kriging to estimate above-ground biomass. *Remote Sensing of Environment*, 139: 340-352.
- [5]. Askne, J. I., Soja, M. J., and Ulander, L. M. (2017). Biomass estimation in a boreal forest from TanDEM-X data, lidar DTM, and the interferometric water cloud model. *Remote Sensing of Environment*, 196: 265-278.
- [6]. Soja, M. J., Quegan, S., d'Alessandro, M. M., Banda, F., Scipal, K., Tebaldini, S., and Ulander, L. M. (2020). Mapping above-ground biomass in tropical forests with ground-cancelled P-band SAR and limited reference data. *Remote Sensing of Environment*, 112153.
- [7]. Akhtar, A. M., Qazi, W. A., Ahmad, S. R., Gilani, H., Mahmood, S. A., and Rasool, A. (2020). Integration of high-resolution optical and SAR satellite remote sensing datasets for aboveground biomass estimation in subtropical pine forest, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (9): 1-17.
- [8]. Hirschmugl, M., Deutscher, J., Sobe, C., Bouvet, A., Mermoz, S., and Schardt, M. (2020). Use of SAR and optical time series for tropical forest disturbance mapping. *Remote Sensing*, 12 (4): 727.
- [9]. Pulliainen, J. T., Heiska, K., Hyypä, J., and Hallikainen, M. T. (1994). Backscattering the C-and X-bands. *IEEE Transactions on Geoscience properties of boreal forests at and Remote Sensing*, 32 (5): 1041-1050.
- [10]. Tanase, M.A., Santoro, M., de La Riva, J., Fernando, P., and Le Toan, T. (2010). Sensitivity of X-, C-, and L-band SAR backscatter to burn severity in Mediterranean pine forests. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(10): 3663-3675.

- [11]. Wu, S. T., and Sader, S. A. (1987). Multi polarization SAR data for surface feature delineation and forest vegetation characterization. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, (1): 67-76.
- [12]. Rignot, E., Way, J., Williams, C., and Viereck, L. (1994). Radar estimates of aboveground biomass in boreal forests of interior Alaska. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32 (5): 1117-1124.
- [13]. Lone, J. M., Sivasankar, T., Sarma, K., Qadir, A., and Raju, P. (2017). Influence of slope aspect on above ground biomass estimation using ALOS-2 data. *International Journal of Science and Research*, 6 (6): 1422-1428.
- [14]. Golshani, P., Maghsoudi, Y., and Sohrabi, H. (2019). Relating ALOS-2 PALSAR-2 parameters to biomass and structure of temperate broadleaf Hyrcanian forests. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(5): 749-761.
- [15]. Vafaei, S., Soosani, J., Adeli, K., Fadaei, H., Naghavi, H., Pham, T. D., and Tien Bui, D. (2018). Improving accuracy estimation of Forest Aboveground Biomass based on incorporation of ALOS-2 PALSAR-2 and Sentinel-2A imagery and machine learning: A case study of the Hyrcanian forest area (Iran). *Remote Sensing*, 10 (2): 172.
- [16]. Yazdani, M. Shataee, Sh., Mohammadi, J.; and Maghsoudi, Y. (2020). Comparison of different machine learning and regression methods for estimation and mapping of forest stand attributes using ALOS/PALSAR data in complex Hyrcanian forests. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14 (2): 024509.
- [17]. Sharifi, A., and Amini, J. (2015). Forest biomass estimation using synthetic aperture radar polarimetric features. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9 (1): 097695.
- [18]. Ramezani, M. R., and Sahebi, M. R. (2015). Forest biomass estimation using SAR and optical images. *Journal of Geospatial Information Technology*, 3: 15-26.
- [19]. Amini, J., and Sadeghi, Y. (2013). Performance of SAR and optical images in modeling forest biomass. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 4: 69-82.
- [20]. Nouri, M., Shataee, S. S., and Mohammadi, J. (2020). Capability of Alos-Palsar-2 radar quad polarization data for estimation of structural quantitative characteristics of planted forest, Arabdagh region, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 27 (4):451-463
- [21]. Ataee, M.S., Maghsoudi, Y., Latifi, H., and Fadaie, F. (2019). Improving estimation accuracy of growing stock by multi-frequency SAR and multi-spectral data over Iran's heterogeneously-structured broadleaf Hyrcanian forests. *Forests*, 10 (8): 641.
- [22]. Austin, J. M., Mackey, B. G., and Van Niel, K. P. (2003). Estimating forest biomass using satellite radar: a exploratory study in a temperate Australian Eucalyptus forest. *Forest Ecology and Management*, 176 (1-3): 575-583.
- [23]. Sun, G., Ranson, K. J., and Kharuk, V. I. (2002). Radiometric slope correction for forest biomass estimation from SAR data in the western Sayani Mountains, Siberia. *Remote Sensing of Environment*, 79 (2-3): 279-287.
- [24]. Kim, C. (2012). Quantitative analysis of relationship between ALOS PALSAR backscatter and forest stand volume. *Journal of Marine Science and Technology*, 20 (6): 624-628.
- [25]. Luckman, A. J. (1998). The effects of topography on mechanisms of radar backscatter from coniferous forest and upland pasture. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36 (5): 1830-1834.
- [26]. Rauste, Y. (1990). Incidence-angle dependence in forested and non-forested areas in Seasat SAR data. *International Journal of Remote Sensing*, 11(7): 1267-1276.
- [27]. Van Zyl, J. J. (1993). The effect of topography on radar scattering from vegetated areas, *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 31 (1): 153-160.
- [28]. Soenen, S. A., Peddle, D. R., Hall, R. J., Coburn, C. A., and Hall, F. G. (2010). Estimating aboveground forest biomass from canopy reflectance model inversion in mountainous terrain. *Remote Sensing of Environment*, 114 (7): 1325-1337.
- [29]. Van Zyl, J. J. (1993). The effect of topography on radar scattering from vegetated areas. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 31(1): 153-160.

- [30]. Zahriban Hesari, M., Shataee, Sh., Maghsoudi, Y., Mohammadi, J., Fransson, J. E. S., and Persson, H.J. (2020). Forest variable estimations using TanDEM-X data in Hyrcanian forests. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 46 (2): 166–176.
- [31]. Lee, J., and Pottier, E. (2009). Introduction to the polarimetric target decomposition concept. *Polarimetric Radar Imaging: From Basics to Applications*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1-422.
- [32]. JAXA. (2014). Calibration Result of ALOS-2/PALSAR-2 JAXA Standard Products. Japan Aerospace Exploration Agency, Earth Observation Research Center. https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/calval/calval_index.htm.
- [33]. Lee, J. S. (1994). Jurkevich, L., Dewaele, P., Wambacq, P., and Oosterlinck, A. Speckle filtering of synthetic aperture radar images: A review. *Remote Sensing Reviews*, 8 (4): 313-340.
- [34]. Mitchard, E. T., Saatchi, S. S., Woodhouse, I. H., Nangendo, G., Ribeiro, N., Williams, M., Ryan, C. M., Lewis, S. L., Feldpausch, T., and Meir, P. (2009). Using satellite radar backscatter to predict above-ground woody biomass: A consistent relationship across four different African landscapes. *Geophysical Research Letters*, 36, L23401.
- [35]. Carreiras, J. M., 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.
- [36]. Yu, Y., and Saatchi, S. (2016). Sensitivity of L-band SAR backscatter to aboveground biomass of global forests. *Remote Sensing*, 8(6): 522.

Effect of topographic aspect and polarization in estimation of some forest variables using ALOS-2 data (Case study: Shastkalateh forest, Gorgan)

M. Zahriban Hesari; Graduated Student, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

Sh. Shataee Jouibary*; Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

Y. Maghsoudi; Assoc., Prof., Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, Khajeh Nasir Toosi University of Technology, Tehran, I.R. Iran.

J. Mohammadi; Assist., Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

(Received: 08 October 2020, Accepted: 21 January 2021)

ABSTRACT

SAR data have been widely used for the estimation of forest variables. These data have a high potential in flat terrain; however, there are some problems such as the effect of topography on backscatters in mountainous regions. The goal of this study was to evaluate the effect of oriented and non-oriented aspect slopes and polarization in the estimation of stand Loery height, volume, and basal area variables using dual-polarization (HH, HV) data of ALOS-2 PALSAR-2 in a part of Shastkalateh forest of Gorgan. Modeling was performed in three modes including without considering the aspect slope, in the slope-aspect orientated with the transmitted waves and non-orientated with waves, and also in the polarizations as separately using linear regression and support vector machine methods. The results of correlation between the backscattering of the PALSAR-2 and Lorey's height, basal area, and volume variables showed that in the slope-aspect orientated with the transmission, the correlations were significant for basal area and volume, but it was not significant for Lorey's height. However, in the non-orientated slopes, the correlation rate was very low for all variables and not significant. Also, the results showed that the HV polarization and the support vector machine method were very sensitive to the Loery height, basal area, and volume variables with r and relative RMSE (-0.14, 12.44), (-0.48, 29.35), and (-0.44, 36.40), in the area in the direction of alignment with the waves, respectively; while the lower sensitivity is (-0.18, 14.14), (-0.05, 35.85), and (-0.04, 38.40), respectively, in the non-orientated with waves.

Keywords: Forest variables, Modeling, Oriented, Polarization, Slope-aspect, PALSAR-2.

* Corresponding Author, shataee@gau.ac.ir, Tel: 09113231517