# برآورد ساختار جنگل کاج با استفاده از تصاویر راداری

**علی شمس‌الدینی***

**استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تربیت‌مدرس، تهران، ایران**

**دریافت: ۹۳/۱۱/۱۳** **پذیرش: ۹۴/۶/۹**

## چکیده

**در این تحقیق، جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل کاج، از داده‌های چندزمانه تصاویر رادار با روزنه مصنوعی[1] به‌دست‌آمده از ماهواره ALOS[2]-PALSAR[3]، پس از انجام تصحیحات هندسی و کاهش لکه (اسپکل[4])، خصوصیات مربوط به ضرایب بازپخش[5] و نیز اطلاعات بافتی، در پنجره‌هایی با اندازه‌ها و جهات مختلف، با استفاده از روش GLCM[6] استخراج شد. سپس با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره گام به گام[7]، مدل‌های تخمین برای نمونه‌های جمع‌آوری‌شده در طی عملیات زمینی به‌دست آمد. نتایج حاصل نمایانگر بهبود عملکرد مدل‌هایی بود که از داده‌های چندزمانه استفاده کرده بودند، همچنین این تحقیق نشان داد در حالی‌که ارتفاع متوسط درختان با خطای ۲۰/۷ درصد قابل تخمین است. خطای حاصل برای سایر پارامترهای ساختاری بیش از ۳۰ درصد است. در این تحقیق تأثیر سن درخت و شیب اراضی بر عملکرد مدل‌ها نیز به‌صورت آماری بررسی شده است.**

**واژه‌های کلیدی: تصاویر راداری، پارامترهای ساختاری، جنگل کاج، رگرسیون چند متغیره**

## ۱- مقدمه

امروزه آمار برداری و تهیه اطلاعات مربوط به توزیع و ساختار جنگل‌ها امری اجتناب ناپذیر جهت درک فرایندهای مربوط به اکوسیستم، و نیز چرخه‌های مهم کره زمین نظیر چرخه کربن و چرخه

*.نویسنده مسئول مقاله: E-mail: ali.shamsoddini@modares.ac.ir

1. Synthetic Aperture Radar (SAR)
2. Advanced Land Observing Satellite
3. Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
4. Speckle
5. Backscatter coefficient
6. Grey level co-occurrence matrix
7. Stepwise multiple-linear regression

هیدرولوژی است. از سوی دیگر، برآورد متغیرهای مربوط به ساختار جنگل‌ها با دقت مناسب می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های مربوط به محافظت از جنگل‌ها و مدیریت پایدار آن‌ها در سطح محلی و جهانی کمک شایان توجهی کند (بوید و دانسون[1]، ۲۰۰۵). از آن‌جایی‌که روش‌های سنتی برداشت اطلاعات در رابطه با ساختار جنگل‌ها زمان‌بر و مستلزم صرف هزینه‌های بسیاری بوده و در بیشتر مواقع نیازمند قطع درختان است (هیپیا و همکاران[2]، ۲۰۰۰)؛ بنابراین امروزه استفاده از داده‌های سنجش از دور به‌عنوان روشی اقتصادی و سریع جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل‌ها و نیز به‌روزرسانی این اطلاعات، مطرح شده است (لی توان و همکاران[3]، ۲۰۰۴).

در میان انواع داده‌های سنجش از دور، تصاویر رادار با روزنه مصنوعی به‌صورت گسترده‌ای جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل، به ویژه حجم سبز[4] جنگل، مورد استفاده قرار گرفته‌اند (رنسون و سان[5]، ۱۹۹۴). در حالی‌که تصاویر رادار با روزنه مصنوعی در طول موج‌های ۳-۶۹ سانتی‌متر به‌دست می‌آیند، در طول موج‌های بلند مانند باند L (۲۳ سانتی‌متر) و P (۶۹ سانتی‌متر)، قابلیت نفوذ در تاج پوشش درختان را داشته و به همین دلیل داده‌های رادار با روزنه مصنوعی حامل اطلاعاتی مربوط به عوارض زیر تاج پوشش[6] نظیر شاخه‌ها، برگ‌ها، و تنه درختان است که این می‌تواند به دقت برآوردهای ساختاری جنگل کمک کند (لی‌توان و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه‌بر قدرت نفوذ امواج بلند راداری، امکان تهیه تصاویر رادار با روزنه مصنوعی در قطبش‌های[7] مختلف، بر قابلیت این داده‌ها جهت ثبت اطلاعات بیشتر از جنگل‌ها افزوده است (سانتورو و همکاران[8]، ۲۰۰۹). در میان انواع داده‌های راداری، تصاویر رادار با روزنه مصنوعی به‌دست‌آمده از طول موج‌های بلند مانند L و P و قطبش[9] HV از سایر تصاویر رادار با روزنه مصنوعی جهت تهیه اطلاعات مربوط به ساختار جنگل‌ها سودمندتر است (ریگنوت و همکاران[10]، ۱۹۹۴). اگرچه رابطه میان مقادیر ضرایب بازپخش و حجم سبز درختان مثبت است،

1. Boyd and Danson
2. Hyyppä et al.
3. LeToan et al.
4. Biomass
5. Ranson and Sun
6. Canopy cover
7-Polarization
8. Santoro et al.
9. Horizontal-vertical
10. Rignot et al.

ولی این رابطه محدود به نقطه اشباع[1] می‌شود (دابسون و همکاران[2]، ۱۹۹۵). نقطه اشباع به مقدار عددی اطلاق می‌شود که در آن نقطه، افزایش میزان حجم سبز منجربه افزایش میزان بازپخش در تصاویر رادار با روزنه مصنوعی نمی‌شود (کاسیس‌چکه و همکاران، ۱۹۹۷). نقطه اشباع وابسته به طول موج و نیز هر عامل موجب کاهش دقت اندازه‌گیری حجم سبز توسط تصاویر راداری است (ایمهوف[3]، ۱۹۹۵، کاسیس‌چکه و همکاران، ۱۹۹۷). از جمله عوامل تأثیرگذار بر عملکرد تصاویر رادار با روزنه مصنوعی جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل، زاویه برخورد سیگنال راداری است. داده‌های راداری به پستی و بلندی‌های زمین حساس بوده و وجود ناهمواری در سطح زمین موجب ایجاد اعوجاجات رادیومتریک و هندسی در تصاویر رادار با روزنه مصنوعی می‌شود (مکنایل و پیرمن[4]، ۲۰۰۵). تصاویر رادار با روزنه مصنوعی معمولاً جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل در مناطق صاف و یا تقریباً صاف، مناسب است (لاکمن[5]، ۱۹۹۸)، همچنین تصاویر رادار با روزنه مصنوعی علاوه‌بر اطلاعات مربوط به جنگل، حامل اطلاعات مربوط به دیگر عوارض زمین از جمله خاک، رطوبت تاج پوشش، و توپوگرافی سطح است (نئومن و همکاران، ۲۰۱۲) که این مسئله منجربه تشکیل سیگنال‌های پیچیده پس پراکنده شده از سطح می‌شود که تفسیر آن‌ها را دشوار می‌سازد.

در این تحقیق، قابلیت تصاویر رادار با روزنه مصنوعی چند زمانه به‌دست‌آمده از سنجنده ALOS-PALSAR جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل کاج (گونه ***Pinus radiata***) مورد ارزیابی قرار گرفته است. رنسون و سان (۱۹۹٤) نشان دادند که نسبت بین ضرایب پس‌پراکندگی داده‌های راداری حاصل از طول موج‌های بلندتر (نظیر L) به داده‌های راداری حاصل از طول موج‌های کوتاه‌تر (نظیر C) می‌تواند منجربه کاهش تأثیرات توپوگرافی و زاویه برخورد و در نتیجه افزایش نقطه اشباع گردد. با توجه به این تحقیق و تحقیات مشابه، در این مقاله هدف بررسی استفاده از داده‌های راداری است که در یک باند خاص (باند L) ولی با قطبش‌ها و زمان‌های متفاوت از منطقه مورد مطالعه با درجات شیب متفاوت به‌دست آمده است. در واقع چهارچوب نظری این تحقیق بر این مبنا قرار گرفته است که با توجه به این‌که تصاویری که در زمان‌ها و

1. Saturation point
2. Dobson et al.
3. Imhoff
4. McNeil and Pairman
5. Luckman

قطبش‌های متفاوت از یک ناحیه به نسبت مشابه تحت تأثیر برخی از عوامل نظیر شیب منطقه قرار می‌گیرند؛ بنابراین استفاده از نسبت‌های این تصاویر می‌تواند تا حد بسیاری این تأثیرات را کاهش داده و دقت برآورد پارامترهای ساختاری را افزایش دهد. گونه کاج *Pinus radiata* به‌عنوان مهم‌ترین گونه کاج دست کاشت در دنیا محسوب می‌شود که در حال حاضر بیشترین وسعت زیر کشت را در دنیا در میان دیگر گونه‌های تجاری کاج به خود اختصاص داده است (یان و همکاران[1]، ۲۰۰٦). با توجه به آن‌که بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با تخمین پارامترهای ساختاری جنگل‌ها در رابطه با مناطق کم شیب صورت گرفته است. در این تحقیق قابلیت تصاویر رادار با روزنه مصنوعی در رابطه با برآورد پارامترهای ساختاری جنگل کاج، شامل ارتفاع متوسط، قطر تنه در ارتفاع ناحیه سینه درخت[2] (در این مقاله به اختصار قطر تنه نامیده می‌شود)، حجم درختان در واحد سطح[3] (به اختصار حجم) و تراکم درختان در واحد سطح[4] (به اختصار تراکم درختان)، در نواحی دارای شیب متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. اگرچه عملکرد نسبت‌های تصاویر راداری به‌دست‌آمده از باندها و قطبش‌های مختلف جهت برآورد ساختار جنگل مورد بررسی قرار گرفته، تحقیق چندانی در رابطه با ارزیابی عملکرد نسبت تصاویر رادار با روزنه مصنوعی به‌دست‌آمده در زمان‌های مختلف صورت نگرفته و انجام آن به‌عنوان یکی از اهداف این مقاله است. این مقاله به مقایسه عملکرد اطلاعات بافتی و داده‌های ضرایب بازپخش جهت تخمین پارامترهای ساختاری جنگل کاج پرداخته است. در پایان علاوه‌بر ارزیابی آماری تأثیر شیب، تأثیر سن درختان نیز تخمین پارامترهای جنگل مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شامل ۵۰۰۰ هکتار اراضی تحت کشت درختان کاج (گونه *Pinus radiata*) است که در طول جغرافیایی ۱٤۷ درجه و ۵۸ دقیقه و ٤۸ ثانیه تا ۱٤۸ درجه و ٤ دقیقه و ۲ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۳ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵۸ ثانیه جنوبی قرار گرفته است. با توجه به این‌که این تحقیق بر مبنای پژوهش میدانی

1. Yan et al.
2. Diameter at breast height (DBH)
3. Stand volume
4. Stocking

در خارج از کشور صورت گرفته است، منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل‌های منطقه گرین هیلز[1] در نزدیکی شهر بتلو[2] در ایالت نیوساوث ولز[3] استرالیاست. در این تحقیق تبیین قابلیت‌های تصاویر راداری و نیز تکنیک مدل‌سازی هدف بوده، منطقه مورد مطالعه به‌عنوان میدان آزمون مطرح بوده است.

داده‌های زمینی مربوط به این مطالعه شامل ٦١ پلات است که در سپتامبر ۲۰۰۸ از منطقه مورد مطالعه به‌صورت تصادفی برداشت شد. پلات‌ها در سه کلاس شیب صفر تا ۱۰ درجه، ۱۰–۲۰ درجه و شیب بیش از ۲۰ درجه برداشت شد، همچنین این پلات‌ها دو کلاس سنی درختان شامل ۱۰–۲۰ سال و بیش از ۲۰ سال را شامل می‌شدند. طی عملیات زمینی، ارتفاع و قطر تنه مربوط به ۹۷۸ درخت اندازه‌گیری شد. موقعیت مراکز پلات‌ها و نیز هر یک از درختان توسط تئودولیت لیزری[4] (Leica 2 s T1100 total station) و سیستم تعیین موقعیت جغرافیایی تفریقی[5] با خطای کمتر از ۵ سانتی‌متر تعیین شد. جهت اجتناب از تأثیر عوارض نامربوط، پلات‌ها به صورت تصادفی و با فاصله کمینه ۵۰ متری از جاده‌ها و ساختمان‌ها، و نیز درختان اکالیپتوسی که در منطقه به‌صورت طبیعی رویش کرده بودند، برداشت گردیدند. سپس با استفاده از رابطه تبدیل ارتفاع و قطر درخت به حجم درخت (شمس‌الدینی و همکاران، ۲۰۱۵)، حجم هر درخت و حجم درختان در واحد سطح برای هر پلات و با استفاده از داده‌های مربوط به هر پلات، تراکم درختان در واحد سطح برای هر پلات محاسبه شد. جدول ۱ خلاصه اطلاعات آماری مربوط به پلات‌های برداشت شده را نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Green Hills
2. Batlow
3. New South Wales
4. Laser Theodolite
5. Differential Global Positioning System

**جدول ۱** خلاصه اطلاعات آماری مربوط به پلات‌های برداشت‌شده در این تحقیق

| پارامتر ساختاری | کمینه | بیشینه | میانگین | انحراف از معیار |
|---|---|---|---|---|
| ارتفاع متوسط (متر) | ۱۲/۲ | ۳۳/۶ | ۲۴/۰ | ۵/۷ |
| قطر متوسط تنه (سانتی‌متر) | ۱۵/۴ | ۴۶/۴ | ۳۰/۱ | ۹/۷ |
| حجم درختان (متر مکعب در هکتار) | ۱۰۶/۵ | ۷۶۰/۳ | ۲۹۶/۰ | ۱۲۸/۷ |
| تراکم درختان (درخت در هکتار) | ۱۲۱ | ۱۴۲۹ | ۵۹۵ | ۳۷۱/۱ |

داده‌های سنجش از دور مورد استفاده در این تحقیق شامل دو تصویر رادار با روزنه مصنوعی دو قطبشی (HH و HV) است که در تاریخ‌های ۹ اگوست ۲۰۰۸ و ۲۴ سپتامبر ۲۰۰۸ به‌صورت داده‌های دامنه[1] دو مشاهده‌ای[2] برداشت شده بودند، توسط آژانس اکتشاف فضایی ژاپن[3] برای این تحقیق تهیه شد و تصحیح هندسی شامل توجیه ارتفاعی تصویر[4] و حذف اثر توپوگرافی با استفاده از روش پیشنهادی توسط شیمادا[5] (۲۰۱۰) انجام شد. با توجه به زاویه برخورد سیگنال و فیزیک منطقه مورد مطالعه، چالش‌های ژئومتری راداری به‌ویژه سایه و روی‌هم‌افتادگی دارای اثر ناچیزی بوده که نادیده انگاشته شدند. از مهم‌ترین مسائل مربوط به داده‌های رادار با روزنه مصنوعی وجود لکه (اسپکل) در این تصاویر است که می‌تواند قابلیت تصاویر رادار با روزنه مصنوعی را در کاربردهای مختلف کاهش دهد (شمس‌الدینی و تریندر[6]، ۲۰۱۲). جهت کاهش تأثیر لکه (اسپکل) و نیز تا حد امکان حفظ مرزها و اطلاعات بافتی موجود در تصویر، از فیلتر UAF[7] که توسط شمس‌الدینی و تریندر (۲۰۱۲) پیشنهاد شده، مورد استفاده قرار گرفت. سپس جهت افزایش دقت هندسی تصاویر رادار با روزنه مصنوعی، این تصاویر با استفاده از ۵۰ نقطه کنترل زمینی[8] و روش چندجمله‌ای[9] درجه یک با دقت بهتر از نصف پیکسل به یک تصویر تصحیح‌شده اسپات-۵ تصحیح گردید. با توجه به آن‌که در رابطه با کاربردهای جنگل معمولاً ضرایب بازپخش مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ بنابراین مقادیر دامنه تصاویر رادار با روزنه مصنوعی، با استفاده از معادله استاندارد ارائه شده توسط سازمان اکتشافات فضایی ژاپن (رابطه ۱)، به

1. Magnitude
2. Two-look
3. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)
4. Orthorectification
5. Shimada
6-Shamsoddini and Trinder
7. UNSW Adaptive Filter
8. Ground control points
9. Polynomial

ضرایب بازپخش بی‌بعد تبدیل شد.

$$\sigma^0 = 10log_{10}(DN^2) + CF \quad (۱)$$

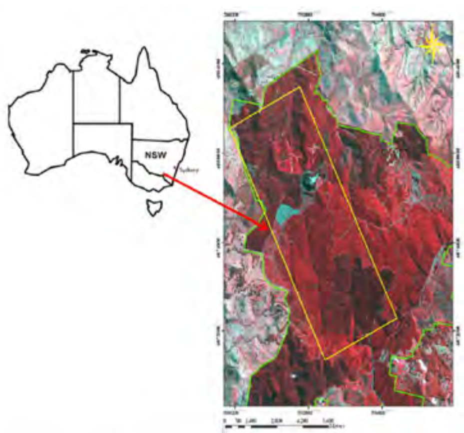
$\sigma^0$ ضریب بازپخش راداری، DN بیانگر ارزش دامنه یک پیکسل و مقدار ثابت CF برابر با ۸۳- است. پس از محاسبه مقادیر ضرایب بازپخش، خصوصیات بازپخش نشان داده شده در جدول ۲ از تصاویر استخراج شد. جهت استخراج اطلاعات بافتی، شاخص‌های GLCM، شامل همبستگی، کنتراست، همگنی، میانگین، بیشینه احتمال، فقدان تشابه، انحراف معیار، واریانس و ASM[1]، در پنجره‌هایی با چهار اندازه ۳×۳، ۵×۵، ۷×۷، و ۹×۹، و نیز چهار جهت صفر، ۴۵، ۹۰، و ۱۳۵ درجه توسط نرم‌افزار متلب برای هریک از خصوصیات بازپخش یادشده در جدول ۲ محاسبه شد تا عملکرد اطلاعات بافتی و خصوصیات بازپخش جهت برآورد پارامترهای ساختاری با یکدیگر مقایسه شود.

شکل ۱ نشان‌دهنده منطقه مورد مطالعه بر تصویر رنگی کاذب، در سه باند مادون قرمز نزدیک، قرمز و سبز به‌دست‌آمده از سنجنده اسپات-۵ است. این تصویر دارای قدرت تفکیک ۱۰ متر بوده و در ۵ آوریل ۲۰۰۸ اخذ شده است. شکل ۲ به ترتیب نشان‌دهنده تصاویر دامنه (الف) و ضریب بازپخش (ب) مربوط به تصویر قطبش HV به‌دست‌آمده در اگوست ۲۰۰۸ است. دوایر قرمز رنگ موجود بر شکل ۲-الف نشان‌دهنده موقعیت پلات‌های جمع‌آوری‌شده در این تحقیق است.

**جدول ۲** ویژگی‌های استخراج‌شده از تصاویر رادار با روزنه مصنوعی

| نوع خصوصیت | خصوصیت | علامت اختصاری |
|---|---|---|
| خصوصیات ضرایب پس پراکندگی | ضرایب بازپخش قطبش HH و HV تصویر آگوست | S1، S2 |
| | ضرایب بازپخش قطبش HH و HV تصویر سپتامبر | S3، S4 |
| | نسبت و تفریق ضرایب بازپخش قطبش‌های HH و HV تصویر آگوست | S5، S7 |
| | نسبت و تفریق ضرایب بازپخش قطبش‌های HH و HV تصویر سپتامبر | S6، S8 |
| | تفریق نرمال‌شده ضرایب بازپخش قطبش‌های HH و HV تصویر آگوست | S9 |
| | تفریق نرمال‌شده ضرایب بازپخش قطبش‌های HH و HV تصویر سپتامبر | S10 |
| | تفریق و نسبت ضرایب بازپخش قطبش HH مربوط به تصاویر آگوست و سپتامبر | S11، S13 |
| | تفریق و نسبت ضرایب بازپخش قطبش HV مربوط به تصاویر آگوست و سپتامبر | S12، S14 |

1-Angular Second Moment



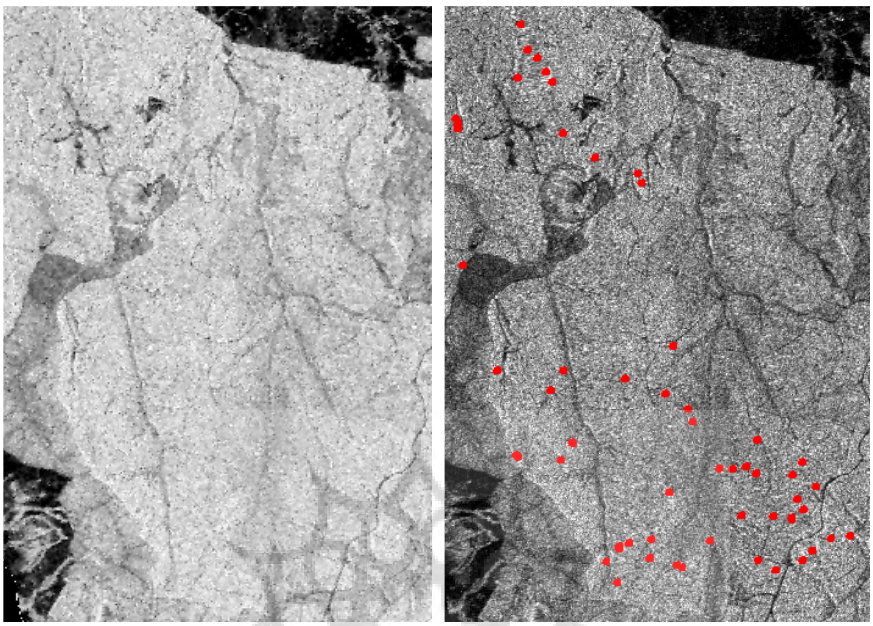

**شکل ۱** کادر زرد رنگ نشان‌دهنده منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بر تصویر تصویر رنگی کاذب[1] ماهواره اسپات- ۵

## ۳- مدل‌سازی

جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل روش‌های مدل‌سازی خطی و غیرخطی ارائه شده است که می‌توان به روش‌های رگرسیون درختی (چابی[2] و همکاران، ۲۰۰۶) و شبکه عصبی (شمس‌الدینی و همکاران، ۲۰۱۱) به‌عنوان روش‌های غیرخطی و روش رگرسیون چند متغیره (شمس‌الدینی و همکاران، ۲۰۱۳) به‌عنوان روشی خطی اشاره کرد. استفاده از روش‌های غیرخطی معمولاً جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل به دلیل نیاز این روش‌ها به تعداد پلات زیاد امکان‌پذیر نیست، زیرا برداشت پلات‌های زیاد مستلزم صرف وقت و هزینه بالاست (هاوبیکر و همکاران[3]، ۲۰۰۹). در این تحقیق با توجه به تعداد پلات‌های جمع‌آوری‌شده از منطقه مورد مطالعه، روش رگرسیون چندمتغیره گام به گام مورد استفاده قرار گرفت. مزیت روش رگرسیون چندمتغیره آن است که نیازمند تعداد پلات زیاد نبوده و معمولاً در مطالعات مربوط به جنگل از این روش به‌صورت رایج استفاده می‌شود (شمس‌الدینی وهمکاران، ۲۰۱۳).

---

1. False color
2. Chubey et al.
3. Hawbaker et al.



ب الف

**شکل ۲** تصاویر دامنه الف- ضرایب پازپخش ب- مربوط به تصویر راداری با قطبش HV اخذشده در آگوست ۲۰۰۸. دوایر قرمز رنگ نشان‌دهنده موقعیت ۶۱ پلات جمع‌آوری‌شده در این تحقیق است.

در رابطه با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره دو مسئله شامل هم‌خطی چندگانه[1] و بیش برازشی[2] مدل‌ها مورد توجه قرار گرفت. به همین منظور شاخص شرطی[3] و رواداری[4] و نیز پی- مقدار[5] برای هریک از مدل‌های به‌دست‌آمده محاسبه و مدل‌هایی که دارای شاخص شرطی بزرگ‌تر از ۳۰، مقدار رواداری کمتر از ۰/۱ و یا پی- مقدار بیشتر از ۰/۰۵ بودند به عنوان مدل‌های تحت تأثیر هم‌خطی چندگانه و یا بیش برازش‌شده شناسایی شده و حذف شد. شاخص رواداری با استفاده از مقادیر ضریب تشخیص محاسبه می‌شود، حال آن‌که جهت محاسبه مقادیر

1. Multicollinearity
2. Overfitting
3. Condition Index
4. Tolerance
5. p-level

مربوط به شاخص شرطی از مقادیر ویژه[1] استفاده می‌شود. علاوه‌بر این، مدل‌های برازش داده شده با استفاده از روش اعتبارسنجی تقاطعی[2] (افرون و تیبشیرانی[3]، ۱۹۹۳) مورد اعتبارسنجی و ارزیابی قرار گرفتند. برای نشان دادن عملکرد هریک از مدل‌های به‌دست‌آمده از دو شاخص خطای استاندارد تخمین[4] (SEE) و ضریب تشخیص[5] ($R^2$) استفاده شد، همچنین خطای مربوط به تخمین داده‌ها از طریق تقسیم کردن مقادیر خطای استاندارد تخمین (SEE) برای هر یک از پارامترهای ساختاری بر مقدار میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده برای آن پارامتر (در جدول ۱ آورده شده است)، و ضرب حاصل آن در عدد ۱۰۰، به درصد محاسبه شد.

در این تحقیق از دو نوع آزمون تی استیودنت[6] شامل آزمون تی نمونه‌های جفت‌شده[7] و آزمون تی نمونه‌های مستقل[8] جهت بررسی و تحلیل آماری نتایج حاصله استفاده شد. جهت مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های به‌دست‌آمده از داده‌های تک زمانه با مدل‌های به‌دست‌آمده از داده‌های دو زمانه، آزمون تی نمونه‌های جفت‌شده بر مقادیر مطلق باقی‌مانده[9] (بدون درنظر گرفتن مقادیر مثبت و یا منفی بودن) حاصل از اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده پارامترهای ساختاری و مقادیر برآوردشده آن‌ها اعمال شد. همچنین جهت مقایسه آماری مقادیر برآوردشده برای پلات‌های جمع‌آوری‌شده در هر یک از کلاس‌های شیب و نیز سن درخت و بررسی تأثیر تفاوت کلاس‌های شیب و سن بر دقت برآوردهای انجام‌شده، آزمون تی نمونه‌های مستقل بر مقادیر مطلق باقی‌مانده حاصل از اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده پارامترهای ساختاری و مقادیر برآورد شده برای مقایسه کلاس‌ها، مورد استفاده قرار گرفت. علاوه‌بر این آزمون تی نمونه‌های مستقل بر مقادیر واقعی باقی‌مانده[10] (با درنظر گرفتن مقادیر مثبت و یا منفی هستند) حاصل از اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده نیز اعمال شد تا بدین‌وسیله تأثیر کلاس‌های مختلف شیب و یا سن در بیش برآورد[11] و یا برآورد کم[1] پارامترهای ساختاری مشخص شود. از

---

1. Eigenvalue
2. Leave-one-out cross-validation
3. Efron and Tibshirani
4. Standard error of estimation
5. Correlation of determination
6. Student's t-test
7. Paired-samples t-test
8. Independent-samples t-test
9. Absolute residual values
10-Actual residual
11. Overestimation

میان ٦١ پلات جمع‌آوری‌شده، ٢٤ پلات در کلاس شیب کمتر از ۱۰ درجه، ۲۳ پلات در کلاس شیب بین ۱۰ تا ۲۰ درجه و ١٤ پلات در کلاس شیب بیشتر از ۲۰ درجه قرار گرفته‌اند. همچنین از کل تعداد پلات‌های مورد استفاده در این تحقیق، ۲۰ پلات شامل درختان با سن کمتر از ۲۰ سال و ٤١ پلات شامل درختان با سن بیش از ۲۰ سال بودند.

## ۴- نتایج

پس از استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره گام به گام، با توجه به شرایط عنوان شده در بند ۳ این مقاله، هیچ‌گونه رابطه‌ای بین مقادیر مربوط به پارامترهای ساختاری جنگل و خصوصیات بافتی، مربوط به تصاویر تک‌زمانه و دو زمانه، نشان داده شده در جدول ۲ به‌دست نیامد. براساس نتایج حاصله از این تحقیق برای تصویر رادار با روزنه مصنوعی به‌دست‌آمده در ماه اگوست، مقادیر بازپخش با قطبش HV ($S_2$) تنها خصوصیت بازپخش بود که در مدل‌های مربوط به برآورد ارتفاع متوسط، قطر تنه، و حجم درختان، توسط رگرسیون چند متغیره گام به گام انتخاب شد. براساس شرایط عنوان‌شده در بند ۳ این مقاله، مدل مناسبی جهت برآورد تراکم درختان با استفاده از داده‌های بازپخش تصویر رادار با روزنه مصنوعی به‌دست آمده در ماه آگوست، به‌دست نیامد. در میان پارامترهای ساختاری، مدل به‌دست‌آمده جهت برآورد ارتفاع میانگین درختان، با ضریب تشخیص ۰/۱۹ بهترین نتیجه را در بین دیگر مدل‌های به‌دست‌آمده از تصویر رادار با روزنه مصنوعی آگوست نشان می‌دهد. براساس مدل‌های به‌دست‌آمده با استفاده از خصوصیات بازپخش تصویر رادار با روزنه مصنوعی ماه سپتامبر، ضرایب تشخیص مربوط به پارامترهای ارتفاع میانگین، قطر تنه و تراکم درختان کمتر از ۰/۱۷ است و مدل مناسبی برای برآورد حجم درختان به‌دست نیامد. مهم‌ترین ویژگی بازپخش که توسط مدل‌های مربوط به تصویر رادار با روزنه مصنوعی سپتامبر انتخاب شد، خصوصیت تفریق مقادیر بازپخش مربوط به قطبش HH از قطبش HV ($S_8$) بود. نتایج و مدل‌های به‌دست‌آمده بر مبنای داده‌های بازپخش منتج از تصاویر رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان در جدول ۳ نشان داده شده است.

1. Underestimation

**جدول ۳** نتایج حاصل از برآورد پارامترهای ساختاری با استفاده از خصوصیات بازپخش تصاویر رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان

| پارامتر ساختاری | ضریب تشخیص | خطای استاندارد تخمین | پی-مقدار | خصوصیت انتخاب شده | رواداری | شاخص شرطی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ارتفاع متوسط (متر) | ۰/۳۵٦ | ٤/۷۲ | ۰/۰۰۰ | $S_8$<br>$S_{12}$<br>$S_{10}$ | ۰/۱۹<br>۰/۷۱<br>۰/۲۳ | ۱/۹<br>۱۰/۲<br>۲٤/۹ |
| قطر متوسط تنه (سانتی‌متر) | ۰/۲۲٦ | ۸/٦٦ | ۰/۰۰۱ | $S_8$<br>$S_1$ | ۰/۸۳<br>۰/۸۳ | ۷/۷<br>۲۱/۰ |
| حجم درختان (مترمکعب در هکتار) | ۰/۰۸۵ | ۱۲٤/۱ | ۰/۰۲۳ | $S_2$ | ۱/۰۰ | ۲۷/۲ |
| تراکم درختان (درخت در هکتار) | ۰/۱۲۳ | ۳۵۱ | ۰/۰۰٦ | $S_8$ | ۱/۰۰ | ۹/۷۳ |

**تذکر** در این جدول جهت نشان دادن خصوصیات انتخاب‌شده از علائمی استفاده شده است که در جدول ۲ توضیح داده شده‌اند.

براساس نتایج نشان داده‌شده جدول ۳، داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان قابلیت بهبود دقت برآورد پارامترهای ارتفاع میانگین و قطر تنه درختان را دارند. بر این اساس، ضریب تشخیص مربوط به مدل‌های برآورد پارامترهای ارتفاع میانگین و قطر تنه به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۷ با استفاده از داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان بهبود یافته است. سپس اعتبار مدل‌های به‌دست‌آمده در این تحقیق، از طریق روش اعتبارسنجی تقاطعی، مورد ارزیابی قرار گرفت. جدول ٤ نشان‌دهنده نتایج حاصل از اعتبارسنجی این مدل‌هاست. براساس جدول ٤، کمترین میزان خطا برابر با٪۲۰/۷ برای برآورد میانگین ارتفاع درختان به‌دست آمد، در حالی که خطای مربوط به برآورد پارامترهای ساختاری دیگر بیش از ۳۰٪ است. همچنین نتایج جدول ٤ نشان‌دهنده فقدان بهبود دقت برآورد پارامترهای حجم و تراکم درختان با استفاده از داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان نسبت به داده‌های رادار با روزنه مصنوعی تک‌زمانه است.

همان‌گونه که در بند ۳ اشاره شد، آزمون تی نمونه‌های جفت‌شده جهت ارزیابی آماری مدل‌های به‌دست‌آمده مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به فقدان بهبود دقت برآورد پارامترهای حجم و تراکم درختان در اثر استفاده از داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان، آزمون‌های آماری تنها برای مدل‌های مربوط به برآورد ارتفاع میانگین و قطر تنه اعمال و نتایج آن در جدول ۵ نشان داده شده است.

**جدول ۴** نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل‌های به‌دست‌آمده برای داده‌های رادار با روزنه مصنوعی تک زمانه و اخذ شده در دو زمان

| پارامتر ساختاری | مدل | خطای استاندارد تخمین | خطای برآورد (٪) |
|---|---|---|---|
| ارتفاع میانگین (متر) | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی آگوست | ۵/۳۸ | ۲۲/٤ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی سپتامبر | ۵/٦۷ | ۲۳/٦ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان | ٤/۹۷ | ۲۰/۷ |
| قطر متوسط تنه (سانتی‌متر) | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی آگوست | ۹/٦۰ | ۳۱/۹ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی سپتامبر | ۹/۱۷ | ۳۰/۵ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان | ۹/۰۳ | ۳۰/۰ |
| حجم درختان (متر مکعب در هکتار) | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی آگوست | ۱۲۷/۵ | ٤۳/۱ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی سپتامبر | _____ | _____ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان | ۱۲۷/۵ | ٤۳/۱ |
| تراکم درختان (درخت در هکتار) | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی آگوست | _____ | _____ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی سپتامبر | ۳٦۰ | ٦۰/۵ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان | ۳٦۰ | ٦۰/۵ |

براساس جدول ۵، استفاده از داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان می‌تواند به‌صورت معناداری منجربه بهبود دقت برآورد ارتفاع میانگین درختان شود (پی- مقدار برابر با ۰/۰۰۷ و ۰/۰۲۵). افزایش دقت برآورد قطر تنه درختان در اثر استفاده از داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان از نظر آماری معنادار نیست (پی- مقدار برابر با ۰/۰٦۹ و ۰/۵۳۳).

جدول ٦ نشان‌دهنده نتایج حاصل از آزمون تی نمونه‌های مستقل جهت بررسی تأثیر کلاس‌های شیب بر دقت برآورد پارامترهای ساختاری با استفاده از داده‌های مربوط به تصاویر رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان، به‌عنوان مدل‌هایی با عملکرد بهتر است، همچنین اعدادی که به‌صورت مورب[1] در جدول ٦ نشان داده شده حاصل اعمال آزمون تی نمونه‌های مستقل بر مقادیر باقی‌مانده با درنظر گرفتن علامت مثبت و یا منفی آن‌هاست. با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول ٦، کلاس‌های مختلف شیب هیچ‌گونه تأثیر مشخصی بر دقت برآوردها نداشته است. نتایج نشان داده شده به‌صورت مورب بازگوکننده این مطلب است که کلاس‌های شیب به‌صورت مشخص منجربه بیش برآورد و یا برآورد کم پارامترهای ساختاری نشده است.

**جدول ۵** مقادیر پی- مقدار حاصل از آزمون تی نمونه‌های جفت‌شده جهت مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های مبتنی‌بر داده‌های رادار با روزنه مصنوعی تک‌زمانه و اخذشده در دو زمان

| پارامتر ساختاری | مدل | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی آگوست | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی سپتامبر | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان |
|---|---|---|---|---|
| ارتفاع میانگین | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی آگوست | ـــــ | ۰/۹۵۹ | ۰/۰۰۷ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی سپتامبر | ۰/۹۵۹ | ـــــ | ۰/۰۲۵ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۲۵ | ـــــ |
| قطر متوسط تنه | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی آگوست | ـــــ | ۰/۱۵۷ | ۰/۰۶۹ |
| | داده های رادار با روزنه مصنوعی سپتامبر | ۰/۱۵۷ | ـــــ | ۰/۵۳۳ |
| | داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان | ۰/۰۶۹ | ۰/۵۳۳ | ـــــ |

(تذکر: درجه آزادی برای تمامی آزمون‌ها ٦۰ است.)

1. Italic

جدول ۷ نتایج حاصل از اعمال آزمون تی نمونه‌های مستقل را جهت بررسی تأثیر کلاس‌های سن درختان بر برآورد پارامترهای ساختاری مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که داده‌های مربوط به جدول ۷ نشان می‌دهد، دقت برآورد هیچ یک از پارامترهای ساختاری تحت تأثیر کلاس‌های سن درختان قرار نگرفته است. به عبارت دیگر دقت برآورد پارامترهای ساختاری در کلاس درختان کمتر از ۲۰ سال در مقایسه با دقت برآورد این پارامترها در کلاس درختان با سن بیش از ۲۰ سال از نظر آماری تفاوتی مشاهده نمی‌شود. اعداد مورب نشان داده شده در جدول ۷ بازگوکننده این مطلب است که علارقم فقدان تأثیر کلاس سنی درختان بر دقت برآوردها، تفاوت در سن درختان می‌تواند به صورت معناداری در بیش برآورد، و یا برآورد کم تمامی پارامترهای ساختاری جنگل تأثیرگذار باشد.

**جدول ۶** مقادیر پی- مقدار حاصل از آزمون تی نمونه‌های جفت‌شده جهت بررسی تأثیر کلاس‌های مختلف شیب بر عملکرد مدل‌های مبتنی‌بر داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان

| پارامتر ساختاری | کلاس شیب | کمتر از ۱۰ درجه | بین ۱۰ تا ۲۰ درجه | بیش از ۲۰ درجه |
|---|---|---|---|---|
| ارتفاع متوسط | کمتر از ۱۰ درجه | _____ | ۰/۴۰۲، ۰/۵۶۲ | ۰/۰۸۸، ۰/۳۳۴ |
| | بین ۱۰–۲۰ درجه | ۰/۴۰۲، ۰/۵۶۲ | _____ | ۰/۲۴۸، ۰/۶۸۶ |
| | بیش از ۲۰ درجه | ۰/۰۸۸، ۰/۳۳۴ | ۰/۲۴۸، ۰/۶۸۶ | _____ |
| قطر متوسط تنه | کمتر از ۱۰ درجه | _____ | ۰/۹۴۳، ۰/۹۰۸ | ۰/۴۷۳، ۰/۹۲۱ |
| | بین ۱۰ تا ۲۰ درجه | ۰/۹۴۳، ۰/۹۰۸ | _____ | ۰/۵۰۰، ۰/۹۹۰ |
| | بیش از ۲۰ درجه | ۰/۴۷۳، ۰/۹۲۱ | ۰/۵۰۰، ۰/۹۹۰ | _____ |
| حجم درختان | کمتر از ۱۰ درجه | _____ | ۰/۰۷۲، ۰/۳۹۱ | ۰/۰۹۰، ۰/۳۵۴ |
| | بین ۱۰–۲۰ درجه | ۰/۰۷۲، ۰/۳۹۱ | _____ | ۰/۷۳۸، ۰/۷۶۶ |
| | بیش از ۲۰ درجه | ۰/۰۹۰، ۰/۳۵۴ | ۰/۷۳۸، ۰/۷۶۶ | _____ |
| تراکم درختان | کمتر از ۱۰ درجه | _____ | ۰/۳۴۱، ۰/۹۷۱ | ۰/۲۴۸، ۰/۷۸۵ |
| | بین ۱۰–۲۰ درجه | ۰/۳۴۱، ۰/۹۷۱ | _____ | ۰/۷۲۰، ۰/۷۷۵ |
| | بیش از ۲۰ درجه | ۰/۲۴۸، ۰/۷۸۵ | ۰/۷۲۰، ۰/۷۷۵ | _____ |

(تذکر: درجه آزادی آزمون‌ها جهت مقایسه کلاس کمتر از ۱۰ درجه و کلاس ۱۰–۲۰ درجه، برابر با ۴۵، کلاس کمتر از ۱۰ درجه و کلاس بیش از ۲۰ درجه، برابر با ۳۶، و کلاس ۱۰–۲۰ درجه و کلاس بیش از ۲۰ درجه، برابر با ۳۵ است.)

با توجه به معنادار بودن تأثیر کلاس سنی درختان بر بیش برآورد و برآورد کم پارامترهای ساختاری، میانگین مربوط به باقی‌مانده‌های اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر برآوردشده پارامترهای ساختاری، با درنظر گرفتن مثبت و یا منفی بودن باقی‌مانده‌ها، محاسبه و در جدول ۸ ارائه شد. با توجه به اعداد مربوط به جدول ۸، مدل‌های مبتنی‌بر داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان مقادیر مربوط به پارامترهای ارتفاع متوسط، قطر تنه و حجم درختان را برای درختان با کلاس سنی کمتر از ۲۰ سال بیش‌برآورد کرده، درحالی که این پارامترها برای درختان با کلاس سنی بیش از ۲۰، کمتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده برآورد شده‌اند. تراکم درختان در رابطه با پلات‌هایی که شامل درختان با سن کمتر ۲۰ سال است، کمتر از میزان اندازه‌گیری‌شده برآورد شده، این پارامتر برای کلاس سنی بیش از ۲۰ سال، بیش‌برآورد شده است.

## ۵- بحث

پس از انجام مراحل پیش‌پردازش شامل تصحیح هندسی و نیز کاهش میزان اثر لکه (اسپکل) بر تصاویر رادار با روزنه مصنوعی، دو دسته داده شامل خصوصیات استخراج شده از ضرایب بازپخش و اطلاعات بافتی آن‌ها، که از تصاویر رادار با روزنه مصنوعی تک زمانه و اخذشده در دو زمان به‌دست آمده بودند، جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل کاج مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. در این میان، هیچ‌گونه رابطه معناداری میان خصوصیات مربوط به اطلاعات بافتی تصاویر و پارامترهای ساختاری، براساس روش رگرسیون چندمتغیره گام به گام حاصل نشد.

**جدول ۷** مقادیر پی- مقدار حاصل از آزمون تی نمونه‌های جفت‌شده جهت بررسی تأثیر کلاس‌های سنی درختان بر عملکرد مدل‌های مبتنی‌بر داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان

| پارامتر ساختاری | کلاس سنی درختان | کمتر از ۲۰ سال | بیشتر از ۲۰ سال |
|---|---|---|---|
| ارتفاع متوسط | کمتر از ۲۰ سال | ـــــــ | ۰/۰۰۰ ،۰/۲۳۹ |
| | بیش از ۲۰ سال | ۰/۰۰۰ ،۰/۲۳۹ | ـــــــ |
| قطر متوسط تنه | کمتر از ۲۰ سال | ـــــــ | ۰/۰۰۰ ،۰/۱۹۶ |
| | بیش از ۲۰ سال | ۰/۰۰۰ ،۰/۱۹۶ | ـــــــ |
| حجم درختان | کمتر از ۲۰ سال | ـــــــ | ۰/۰۰۰ ،۰/۲۶۶ |
| | بیش از ۲۰ سال | ۰/۰۰۰ ،۰/۲۶۶ | ـــــــ |
| تراکم درختان | کمتر از ۲۰ سال | ـــــــ | ۰/۰۰۰ ،۰/۱۸۶ |
| | بیش از ۲۰ سال | ۰/۰۰۰ ،۰/۱۸۶ | ـــــــ |

(تذکر: درجه آزادی آزمون‌ها جهت مقایسه کلاس سن کمتر از ۲۰ سال و کلاس سن بیش از ۲۰ سال برابر با ۵۹ است.)

همچنین براساس مدل‌های به‌دست‌آمده و آزمون‌های آماری انجام شده مشخص گردید که استفاده از داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان می‌تواند به‌صورت مشخص دقت برآورد ارتفاع میانگین درختان را نسبت به زمانی که داده‌های رادار با روزنه مصنوعی تک‌زمانه مورد استفاده قرار می‌گیرند، افزایش دهد (جدول ۵). اگرچه ارتفاع میانگین درختان با خطای حدود ۲۰٪ برآورد شده است، ولی در مجموع عملکرد داده‌های رادار با روزنه مصنوعی در رابطه با دیگر پارامترهای ساختاری چندان رضایت‌بخش نیست. داده‌های راداری با طول موج بلند قادر به نفوذ در تاج پوشش درختان بوده و به همین دلیل می‌توانند حامل اطلاعات مربوط به قسمت‌های زیر تاج پوشش درختان نظیر تنه درختان و نیز کف جنگل نیز باشند (لی توان و همکاران، ۲۰۰٤). اگرچه گاهی این اطلاعات می‌تواند به بهبود نتیجه برآورد پارامترهای ساختاری کمک کند، ولی تغییرات مربوط به سطح زمین مانند تغییر در جنس خاک، رطوبت و غیره می‌تواند موجب افزایش خطا در برآورد این پارامترها شود. با توجه به آن‌که داده‌های راداری استفاده شده در این تحقیق مربوط به باند **L** است، می‌توان بیان کرد این داده‌ها می‌توانند حاوی اطلاعات مربوط به سطح زیر تاج پوشش نیز باشند. داده‌های بارش روزانه که از وبگاه مربوط به اداره هواشناسی استرالیا[1] به‌دست آمد نشان داد که در روزهای پیش از تاریخ‌هایی که تصاویر رادار با روزنه مصنوعی مربوط به ماه آگوست و سپتامبر اخذ شده‌اند، به ترتیب ۱٤ و ۳۰ میلی‌متر بارش یک روز پیش از اخذ هرکدام از این تصاویر رخ داده است که نتیجه آن افزایش میزان رطوبت موجود در خاک است. ضرایب بازپخش حاوی اطلاعات مربوط به ویژگی‌های ساختاری و دی‌الکتریک[2] مؤلفه‌های گیاه و خاک است (لی توان و همکاران، ۱۹۹۲). این مسئله موجب می‌شود تا تفسیر ضرایب بازپخش و ارتباط دادن آن‌ها به پارامترهای ساختاری جنگل مشکل شود، چرا که در این حالت تغییرات ضرایب بازپخش تنها به تغییرات ساختاری وابسته نیست (درزت و کوگان[3]، ۲۰۰۷) و به ویژگی‌های خاک نیز مرتبط است. رطوبت موجود در خاک تأثیری به مراتب بیشتر از رطوبت موجود در گیاهان بر ضرایب بازپخش به‌دست‌آمده در مناطق جنگلی دارد (درزت و کوگان، ۲۰۰۷). وجود رطوبت در خاک می‌تواند به ایجاد مقادیر

---

۱. http://www.bom.gov.au/climate/data ، وبگاه اداره آب و هواشناسی استرالیا، تاریخ بازدید: ۲۰ مارس ۲۰۱۲

2. Dielectric

3. Drezet and Quegan

ضرایب بازپخش مشابه برای قسمت‌های مختلف یک جنگل که دارای مقادیری متفاوت در رابطه با پارامترهای ساختاری است، منجر شود (ونگ و همکاران[1]، ۲۰۰۰).

**جدول ۸** مقادیر میانگین باقی‌مانده‌های حاصل از اختلاف بین مقادیر برآورد شده مدل‌های مبتنی‌بر داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان و مقادیر اندازه‌گیری‌شده با در نظر گرفتن مثبت و یا منفی بودن این مقادیر

| پارامتر ساختاری | کلاس سنی درختان | میانگین باقی‌مانده‌ها (با درنظر گرفتن مثبت و یا منفی بودن) |
|---|---|---|
| ارتفاع متوسط (متر) | کمتر از ۲۰ سال | ۳/۹۸ |
| | بیش از ۲۰ سال | -۱/۸۸ |
| قطر متوسط تنه (سانتی‌متر) | کمتر از ۲۰ سال | ۸/۴۲ |
| | بیش از ۲۰ سال | -۴/۰۶ |
| حجم درختان (متر مکعب در هکتار) | کمتر از ۲۰ سال | ۹۰/۶۳ |
| | بیش از ۲۰ سال | -۴۳/۵۸ |
| تراکم درختان (درخت در هکتار) | کمتر از ۲۰ سال | -۲۴۴/۵ |
| | بیش از ۲۰ سال | ۱۱۹/۸ |

علاوه‌بر نفوذ داده‌های باند L و رطوبت خاک، عملکرد ضعیف داده‌های رادار با روزنه مصنوعی استفاده شده در این تحقیق می‌تواند مربوط به شرایط شیب زمین باشد. با توجه به این‌که اراضی مورد مطالعه دارای شیب متغیر کمتر از ۱۰ درجه تا بیش از ۲۰ درجه است، مقادیر مربوط به ضرایب بازپخش می‌تواند به‌صورت مشخصی تحت تأثیر این شرایط قرار گیرد. استفاده از روش‌های تصحیح تأثیر شیب، اگرچه تا حدودی این تأثیرات را کاهش می‌دهد، ولی قادر به بازیابی مقادیر واقعی ضرایب بازپخش نخواهند بود. شاید به همین دلیل است که در بیشتر مطالعات، تصاویر رادار با روزنه مصنوعی در مناطق بدون شیب و یا با شیب کم جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (لاکمن، ۱۹۹۸).

در میان پارامترهای ساختاری مختلف، ارتفاع متوسط درختان با کمترین خطا (۲۰/۷٪) با استفاده از داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان برآورد و خطای مربوط به

1. Wang et al.

برآورد سایر پارامترهای ساختاری بیش از ۳۰٪ بود. مطالعاتی که توسط محققان دیگر نیز بر جنگل کاج انجام شده نشان‌دهنده خطای مربوط به برآورد ارتفاع متوسط درختان به مراتب کمتر از سایر پارامترهای ساختاری مانند حجم و تراکم درختان است (هیپیا و همکاران، ۲۰۰۰؛ ارودی و مسکال[1]، ۲۰۱۰). اگرچه رطوبت خاک و نیز ناهمواری زمین عملکرد داده‌های رادار با روزنه مصنوعی را جهت برآورد پارامترهای ساختاری، در این تحقیق تحت تأثیر قرار داده بود، ولی نتایج حاصله برای برآورد ارتفاع میانگین و نیز حجم درختان در این تحقیق به مراتب بهتر از دقت‌هایی بود که هیپیا و همکاران (۲۰۰۰) جهت برآورد پارامترهای ارتفاع متوسط (خطای ٤١٪) و حجم درختان (خطای ٦٣٪) با استفاده از داده‌های راداری JERS-1[2] در جنگل سوزنی برگ به‌دست آمده بود.

با توجه به مدل‌های به‌دست‌آمده براساس داده‌های رادار با روزنه مصنوعی دو زمانه، اختلاف بین داده‌های قطبش HH و HV به‌عنوان مهم‌ترین خصوصیت حاصل از ضرایب بازپخش جهت برآورد ارتفاع متوسط، قطر تنه، و تراکم درختان توسط روش رگرسیون چندمتغیره گام به گام انتخاب شد. داده‌های مربوط به قطبش HV تصویر رادار با روزنه مصنوعی آگوست جهت برآورد حجم درختان توسط این روش در مدل مربوطه مورد استفاده قرار گرفت. براساس یافته‌های به‌دست‌آمده توسط دابسون و اولابی[3] (۱۹۸۱) و دابویس و همکاران[4] (۱۹۹۵)، تصاویر رادار با روزنه مصنوعی با قطبش تقاطعی (نظیر HV) به پوشش گیاهی و ویژگی‌های آن در مقایسه با تصاویر رادار با روزنه مصنوعی با قطبش هم‌راستا، حساسیت بیشتری دارند، همچنین داده‌های رادار با روزنه مصنوعی با قطبش HV بیشتر حاوی اطلاعات مربوط به پراکندگی حجمی[5] هستند. داده‌های رادار با روزنه مصنوعی با قطبش HH بیشتر به پراکندگی سطحی[6] مربوط است (مقدم و ساعتچی، ۱۹۹۵). در نتیجه، تفریق این داده‌ها از یکدیگر می‌تواند جهت نرمال‌سازی داده‌های رادار با روزنه مصنوعی با قطبش HV سودمند واقع شود.

براساس جدول ٦، کلاس‌های شیب دارای تأثیر معناداری از نظر آماری بر دقت برآورد، و نیز

1. Erody and Moskal
2. Japanese Earth Resources Satellite-1
3. Dobson and Ulaby
4. Dubois et al.
5. Volume scattering
6. Surface scattering

بیش‌برآورد و یا برآورد کم پارامترهای ساختاری جنگل ندارند. کسب این نتیجه می‌تواند مرتبط به دلایل زیر باشد:

– استفاده از خصوصیات ضرایب بازپخش که حاصل نسبت‌های باندی تصاویر رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان است می‌تواند در کاهش تأثیر شیب بر نتایج نهایی برآوردها، تأثیرگذار بوده و آن را کاهش دهد. کاهش تأثیر شیب در داده‌های رادار با روزنه مصنوعی با استفاده از نسبت‌های باندی در نتایج تحقیقات دیگر نیز برای جنگل‌های سوزنی و پهن برگ اشاره شده است (فودی و همکاران، ۱۹۹۷؛ سارکر و همکاران[1]، ۲۰۱۲).

– در این تحقیق تأثیرات مربوط به شیب دامنه با استفاده از روش تصحیح شیب تا حدودی کاهش یافت، هرچند که این روش‌ها قادر بازیابی مقادیر اصلی ضرایب بازپخش نیستند.

– اگرچه کلاس‌های مربوط به سن درختان به‌صورت معناداری بر دقت برآوردهای پارامترهای ساختاری جنگل تأثیرگذار نیست، نتایج مربوط به آزمون تی نمونه‌های مستقل نشان داد که بیش‌برآورد و یا برآورد کم پارامترهای ساختاری با کلاس سنی درختان به‌صورت معناداری در ارتباط است (جدول ۷). میانگین مقادیر پارامترهای ارتفاع متوسط، قطر تنه، و حجم درختان برای پلات‌های شامل درختان با سن بیش از ۲۰ سال، بیشتر از پلات‌هایی است که شامل درختانی با سن کمتر از ۲۰ سال هستند؛ این درحالی است که متوسط تعداد درختان در مناطقی با درختان مسن‌تر نسبت به مناطق حاوی درختان جوان‌تر، به دلیل عملیات قطع و کم پشت کردن درختان که با توجه به سن درختان صورت می‌گیرد، کمتر است. براین اساس مدل‌های حاصل از داده‌های مربوط به تصاویر رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان پارامترهای ساختاری را که مقادیر متوسط آن‌ها بالاست (برای نمونه بیش از مقدار میانگین اندازه‌گیری شده) کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. این درحالی است که این مدل‌ها، پارامتر ساختاری پلات‌هایی را که مقدار اندازه‌گیری‌شده پارامتر ساختاری در آن پلات‌ها کمتر از مقدار میانگین اندازه‌گیری شده است، را بیش‌برآورد می‌کند (جدول ۸).

1. Sarker et al.

## ۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، قابلیت داده‌های رادار با روزنه مصنوعی دو قطبشی تک‌زمانه و اخذشده در دو زمان ALOS-PALSAR جهت برآورد پارامترهای ساختاری جنگل کاج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق به‌صورت خلاصه عبارتند از:

– مدل‌های حاصل از خصوصیات ضرایب بازپخش تصاویر رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان می‌تواند به‌صورت معناداری به افزایش دقت برآورد ارتفاع متوسط درختان کمک کند، این درحالی است که استفاده از این مدل‌ها نمی‌تواند منجربه افزایش دقت برآورد سایر پارامترهای ساختاری به‌صورت قابل ملاحظه‌ای شود.

– در میان خصوصیات ضرایب بازپخش که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند، داده‌های رادار با روزنه مصنوعی با قطبش HV و داده‌های حاصل از تفریق تصاویر رادار با روزنه مصنوعی با قطبش HH و HV نسبت به سایر خصوصیات ضرایب بازپخش، در مدل‌سازی‌ها دارای اهمیت بیشتری بودند.

– در مجموع تأثیرات توپوگرافی و به ویژه بارش و رطوبت خاک، موجب شد که مدل‌های به‌دست‌آمده از داده‌های رادار با روزنه مصنوعی اخذشده در دو زمان، پارامترهای ساختاری مختلف را با خطای بیش از ۲۰٪ برآورد کند.

– دقت برآورد پارامترهای ساختاری مختلف تحت تأثیر کلاس‌های شیب و سن درختان به‌صورت معنادار قرار ندارد. هرچند که کلاس سنی درختان با توجه به تأثیرگذاری بر مقدار میانگین اندازه‌گیری‌شده پارامترهای مختلف موجب می‌شود تا در نواحی که مقدار پارامتر ساختاری کم است، مقادیر برآوردشده از میزان واقعی کمتر باشد، درحالی که در نواحی که مقدار پارامتر ساختاری زیاد است، بیش‌برآورد صورت می‌گیرد.

## ۷- منابع


- Boyd, D. S. & F. M. Danson, "Satellite Remote Sensing of Forest Resources: Three Decades of Research Development", *Progress in Physical Geography,* No. 29, pp. 1-26, 2005.
- Chubey, M. S., S. E. Franklin & M. A. Wulder "Object-Based Analysis of Ikonos-

علی شمس‌الدینی ـــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــــ

the Biomass of Regenerating Tropical Forests", *International Journal of Remote Sensing,* No. 18, pp. 687-694, 1997.

- Hawbaker, T. J., N. S. Keuler, A. A. Lesak, T. Gobakken, K. Contrucci & V. C. Radeloff, "Improved Estimates of Forest Vegetation Structure and Biomass with a LiDAR Optimized Sampling Design", *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences,* No. 114, pp. 11, 2009.
- Hyyppä, J., H. Hyyppä, D. Leckie, F. Gougeon, X. Yu & M. Maltamo, "Review of Methods of Small-Footprint Airborne Laser Scanning for Extracting Forest Inventory Data in Boreal Forests", *International Journal of Remote Sensing,* No. 29, pp. 1339-1366, 2008.
- Imhoff, M. L. "Radar Backscatter and Biomass Saturation: Ramifications for Global Biomass Inventory", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* No. 33, pp. 511-518, 1995.
- Kasischke, E. S., Melack, J. M., & Craig Dobson, M. "The Use of Imaging Radars for Ecological Applications: A Review", *Remote Sensing of Environment,* No. 59, pp. 141-156, 1997.
- Laclau, P., "Biomass and Carbon Sequestration of Ponderosa Pine Plantations and Native Cypress Forests in Northwest Patagonia", *Forest Ecology and Management,* No. 180, pp. 317-333, 2003.
- Le Toan, T., A. Beaudoin, J. Riom & D. Guyon, "Relating Forest Biomass to SAR Data", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* No. 30, pp. 403-411, 1992.
- Le Toan, T., Q. Shaun, I. Woodward, M. Lomas, N. Delbart & G. Picard, "Relating RADAR Remote Sensing of Biomass to Modelling of Forest Carbon Budgets", *Climate Change*, No. 67, pp. 379-402, 2004.
- Luckman, A. J., "The Effects of Topography on Mechanisms of Radar Backscatter from Coniferous Forest and Upland Pasture", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* No. 36, pp. 1830-1834, 1998.
- McNeill, S. & D. Pairman, "Stand Age Retrieval in Production Forest Stands in New Zealand Using C- and L-Band Polarimetric Radar", *IEEE Transactions on*

*Geoscience and Remote Sensing,* No. 43, pp. 2503-2515, 2005.

- Moghaddam, M. & S. Saatchi, "Analysis of Scattering Mechanisms in SAR Imagery over Boreal Forest: Results from BOREAS '93", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, No. 33, pp. 1290-1296, 1995.
- Neumann, M., S. S. Saatchi, L. M. H. Ulander & J. E. S. Fransson, "Assessing Performance of L- and P-Band Polarimetric Interferometric SAR Data in Estimating Boreal Forest above-Ground Biomass", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, No. 50, pp. 714-726, 2012.
- Ranson, K. J., & G. Sun, "Mapping Biomass of a Northern Forest Using Multifrequency SAR Data", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* No. 32, pp. 388-396, 1994.
- Rignot, E., J. Way, C. Williams & L. Viereck, "Radar Estimates of Aboveground Biomass in Boreal Forests of Interior Alaska", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* No. 32, pp. 1117-1124, 1994.
- Santoro, M., J. E. S. Fransson, L. E. B. Eriksson, M. Magnusson, L. M. H. Ulander & H. Olsson, "Signatures of ALOS PALSAR L-Band Backscatter in Swedish Forest", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* No. 47, pp. 4001-4019, 2009.
- Sarker, M. L. R., J. Nichol, B. Ahmad, I. Busu & A. A. Rahman, "Potential of Texture Measurements of Two-Date Dual Polarization PALSAR Data for the Improvement of Forest Biomass Estimation", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* No. 69, pp. 146-166, 2012.
- Shamsoddini, A., J. C. Trinder & R. Turner, "Paired-Data Fusion for Improved Estimation of Pine Plantation Structure", *International Journal of Remote Sensing*, No. 36, pp. 1995-2009, 2015.
- Shamsoddini, A. & J. C. Trinder, "Edge Detection-Based Filter for SAR Speckle Noise Reduction", *International Journal of Remote Sensing*, No. 33, pp. 2296-2320, 2012.
- Shamsoddini, A., J. C. Trinder & R. Turner, "Pine Plantation Structure Mapping Using WorldView-2 Multispectral Image", *International Journal of Remote*

*Sensing*, No. 34, pp. 3986-4007, 2013.

- Shamsoddini, A., J. C. Trinder & R. Turner, "Biophysical Parameter Estimation of a Pine Plantation from Satellite Images Using Artificial Neural Networks", *In 34th International symposia on remote sensing of environment,* pp. 1-4, 2011.
- Shimada, M. "Ortho-Rectification and Slope Correction of SAR Data Using DEM and Its Accuracy Evaluation", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, No. 3, pp. 657-671, 2010.
- Wang, Y., E. S. Kasischke, L. L. Bourgeau-Chavez, K. P. O'nell & N. H. F. French, "Assessing the Influence of Vegetation Cover on Soil-Moisture Signatures in Fire-Disturbed Boreal Forests in Interior Alaska: Modelled Results", *International Journal of Remote Sensing,* No. 21, pp. 689-708, 2000.
- Yan, H., H. Bi, R. Li, R. Eldridge, Z. Wu, Y. Li & J. Simpson, "Assessing Climatic Suitability of Pinus Radiata (D. Don) for Summer Rainfall Environment of Southwest China", *Forest Ecology and Management*, No. 234, pp. 199-208, 2006.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی