

ارزیابی قابلیت های نوین سنجش از دور در مدیریت جنگل

محمد نوروزی^{۱*}، سعید صادقیان^۲

موسسه آموزش عالی حکمت قم

(nomo1379@gmail.com)

چکیده

تکنولوژی سنجش از دوری راداری به عنوان یکی از جدیدترین فناوری های امروزی جهت پیش بینی بسیاری از مخاطرات از جمله فرونشست ها، زلزله ها، سیلاب ها، فرسایش ها، جابجایی ها و ... به کار می رود و از آن می توان مخاطرات را با دقت و صحت خوبی کنترل نمود. حال یکی از مهمترین مولفه های مدیریت پایدار در شناسایی سلامت جنگل، شناخت و دست یابی به داده های مورد نیاز از وضعیت سلامت جنگل است؛ دست یابی به این اطلاعات با توجه به این که جمع آوری اطلاعات به صورت حضور میدانی در فیلد سخت و در بعضی از مواقع نشدنی است، استفاده از فناوری های نوین نظیر سنجش از دور بسیار میتواند مفید باشد. این پژوهش با هدف، جمع آوری و مروری بر تحقیقات صورت گرفته در خصوص بررسی قابلیت فناوری سنجش از دور و داده های ماهواره ای راداری و نوری در برآورد مشخصات و مدیریت جنگل ها با استفاده از داده های لیدار و رادار و تصاویر اپتیک و تلفیق آن ها می باشد.

واژه های کلیدی: مدیریت جنگل، سنجش از دور، قابلیت نوین سنجش از دور، داده لیدار و رادار

۱- مقدمه

مفهوم مدیریت جنگل به فرآیند برنامه ریزی و اجرای شیوه ها برای اداره و استفاده از جنگل ها و سایر اراضی جنگلی با هدف دستیابی به اهداف خاص زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی اشاره دارد (Emilio Abad-Segura et al, 2022). جنگل ها برای زندگی بشر اهمیت والائی دارند و در تنظیم آب و هوا، حفاظت خاک و مسائل اقتصادی نقش مهمی دارند (مصدق، ۱۳۸۳). جنگل ها همواره از لحاظ صنعتی از اهمیت بسزایی برخوردار بوده اند، که در دهه های اخیر حفظ، دوام و بقاء آن، چاره اندیشی و تمهیدات همه جانبه را می طلبد. با تعیین مشخصه های کمی درختان، اطلاعات اولیه به منظور برنامه ریزی درباره ی آینده جنگل تولید می شود که برای مدیریت جنگل، برنامه ریزی و پایش آن ضروری است (Chen et al, 2006). از طرفی دیگر لازمه مدیریت صحیح و پایدار در بهره برداری اصولی از آن، کسب اطلاعات دقیق و به هنگام از میزان موجودی جنگل است (Koch et al, 2006). معمولا تهیه اطلاعات مشخصه های کمی ساختار جنگل نظیر متوسط موجودی حجم سرپای جنگل در هکتار، از طریق عملیات میدانی و با دقتی بالا صورت می گیرد، اما جمع آوری اطلاعات به روش زمینی، نیازمند صرف زمان و هزینه های زیادی است (Lee et al, 2010). علاوه براین، گستردگی سطح جنگل ها،

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد نقشه برداری- سنجش از دور، موسسه آموزش عالی حکمت قم

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی تهران

کوهستانی بودن عرصه ها و همچنین تغییرات شدید محیطی با فواصل زمانی کوتاه و نیاز به اطلاعات تغییر یافته، به کارگیری این روش ها را با چالش های جدی رو به رو ساخته است. این محدودیت ها به کارگیری فن آوری بهتری را در جهت حذف و یا کاهش موانع موجود به طور جدی مطرح می نماید (Lu et al, 2004). با رشد انفجاری داده های سنجش از دور، ذخیره و استفاده از داده های سنجش از دور به موضوعی داغ تبدیل شده است. از سوی دیگر، توسعه فناوری داده های بزرگ در سال های اخیر راه حل ها و ابزارهای منبع باز را برای کاربردهای داده های بزرگ سنجش از دور ارائه کرده است. با توجه به پیشرفت تقاضا و توسعه فناوری، می توان مشکل سنجش از راه دور سنتی را از طریق رویکردهای داده های بزرگ حل کرد (Chen Xu et al, 2020). سنجش از دور علم، فن و هنر کسب اطلاعات در مورد پدیده ها از راه دور و عمدتاً به عنوان فن آوری و علمی تعریف می شود که به وسیله آن می توان بدون تماس مستقیم، مشخصه های (مکانی، طیفی، زمانی) یک پدیده را تعیین، اندازه گیری و یا تجزیه و تحلیل نمود. با این وجود، فن آوری رایج در سنجش از دور، استفاده از امواج الکترومغناطیس است. در رویکرد مبتنی بر سنجش از دور برآورد مشخصه های کمی، داده های رادار (شامل باندهای L و P) و لیدار برای برآورد مشخصه ها مورد استفاده قرار گرفته اند. با توجه به این که داده های سنجش از دور اپتیک و راداری فقط اطلاعات بازتاب سطحی پدیده ها و بعد سطحی X و Y را ارائه می دهند و توانایی ثبت بعد سوم (ارتفاع پدیده ها) را ندارند. امروزه با پیشرفت علوم در طی دهه های گذشته، سنجنده های فعال بسیاری به امر برداشت اطلاعات از اشیاء و عوارض میپردازند و اطلاعات مختلفی با قدرت تفکیک های متفاوت ارائه می دهند. یکی از این داده ها، داده های لیدار هوایی است که از طریق ارسال و دریافت امواج لیزری صورت میگیرد. امروزه امکان قابلیت تلفیق و به کارگیری همزمان از داده های فاصله سنجی لیزر و سیستم موقعیت یاب جهانی در هر لحظه باعث گسترش روز افزون استفاده از داده های لیزر شده است. سیستم های لیزر اسکنر هوایی بیش از سه دهه است که در زمینه ی سنجش از دور توسعه پیدا کرده اند. لیدار سیستمی فعال است و نوع هوایی آن قادر به ایجاد ابر نقاط با تراکم بالا (چند نقطه در مترمربع) با دقت مکانی نسبتاً خوب (کمتر از ۵۰ سانتی متر در ارتفاع و کمتر از ۳۰ سانتی متر در سطح مسطحی) از زمین در مدت زمان نسبتاً کوتاهی است (Heritage & large, 2007). هولمبرگ و همکاران (۱۹۹۹) برای اولین بار با استفاده از داده های لیدار به آشکارسازی و اندازه گیری مشخصات کمی پایه ی درختی (مانند ارتفاع و قطر تاج) پرداختند. در جنگل داری، یکی از اصلی ترین کاربردهای داده های لیدار برخلاف روش های سنتی، در زمان تقریباً کوتاه با تولید لیزر و ارسال آن از ارتفاع بالای تاج پوشش جنگل به سمت درختان و دریافت و ثبت پرتوهای برگشتی، داده های سه بعدی دقیقی تولید شده که برای تعیین مشخصه های کمی از جمله ارتفاع به کار می رود. این سیستم ها قادر به تولید داده های ارتفاعی خیلی دقیق از هر پایه درختی نیز هستند (Maltamo et al, 2004). درواقع، با استفاده از سیستم های یادشده می توان حجم عملیات میدانی را برای تعیین مشخصه های کمی درختان تا حد بسیار زیادی کاهش داد اما سامانه های لیدار، در مناطقی که تاج پوشش کاملاً بسته است، همانند جنگل های بارانی تروپیکال، توانایی برای اندازه گیری های زمینی را ندارند. داده های لیدار در ترکیب با داده های دیگر، دامنه وسیعی از محصولات، از درجه ی انبوهی تاج پوشش و حجم توده های جنگلی تا نقشه های عمق سنجی، نقشه های خطر سیلاب و نمایان سازی های سه بعدی را تولید می کنند. سامانه های راداری با طول موج های بلندتر، قابلیت نفوذ در پوشش گیاهی و شناسایی پدیده های مخفی شده در زیر تاج پوشش جنگل و تحت شرایط ویژه در زیر خاک را دارند (درویش، ۱۳۹۰). مزیت عمده داده های راداری نسبت به انعکاس های نوری تصویربرداری در شرایط ابری هستند که برای سنسور های نوری مقدر نیست. فعالیت های پژوهشی در مورد ترکیب لیدار و رادار سنجش از دور در سال های اخیر افزایش یافته است. لیدار و رادار ابزارهای گسترده ای در تشخیص زیتوده، ساختار تاج پوشش و ارتفاع هستند. تلفیق داده های لیدار و رادار کاربردی برای تولید نقشه های زیتوده با وضوح بالا در جنگل های استوایی هستند که در آن از داده های رادار و ارتفاعی لیدار برای طبقه بندی پوشش گیاهی استفاده

می کنند (Mitchard et al, 2012). یکی از جنبه های اصلی ترکیب لیدار و رادار در برآورد مشخصه های آماری جنگل استفاده از مدل رقومی ارتفاع در رابطه با مدل رقومی سطح است (Askne et al, 2013). نهایتاً با توجه به محدودیت ها و قابلیت هایی که هریک از منابع داده های دور سنجی دارند بکارگیری تلفیقی داده ها به عنوان یکی از راهکارهای بهبود برآورد مشخصه های کمی ساختار جنگل مطرح می گردد (Lu et al, 2014). طی چهار دهه گذشته، در مورد سنجش از دور اعمال شده در مدیریت جنگل برای بهینه سازی خدمات اکوسیستم بود. با استفاده از یک تکنیک کتاب سنجی برای ۲۰۶۶ مقاله علمی منتشر شده بین سال های ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۹، متوجه می شویم که تولیدات علمی به ویژه در پنج سال گذشته افزایش یافته است، جایی که ۱۰۴۰ مقاله منتشر شده است که ۵۰٫۳۴٪ از کل را نشان می دهد. به عبارت دیگر، بیش از نیمی از مجموع مقالات بین سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ منتشر شده اند که موید مرتبط بودن و تأثیر جهانی این موضوع پژوهشی در جامعه دانشگاهی و علمی است (Abad-Segura et al, 2020).

۲- استفاده از تصاویر اپتیک در برآورد مشخصه های کمی جنگل

خرمی و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از داده های سنجنده ETM+ حجم سرپا را در توده های راش در جنگل های فریم واقع در استان مازندران برآورد کرد. نتایج نشان داد که باند مادون قرمز نزدیک و باند مادون قرمز ادغام یافته با باند PAN، بیشترین میزان همبستگی را با حجم سرپا به ترتیب با نتایج ۰/۷۶ و ۰/۸۰ داشته است. نتایج آنالیز رگرسیونی با استفاده از روش Backward مشخصه ی حجم را با ضریب تبیین ۰/۵۸ برآورد کرد. سهرابی و همکاران (۱۳۸۹) برآورد موجودی حجمی توده های جنگلی لیره سر، تنکابن را با استفاده از شاخص های بافتی تصاویر هوایی، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که مجذور میانگین مربعات خطا نسبی و اریب نسبی برای مشخصه حجم سرپا به ترتیب ۴۳ و ۲ درصد حاصل شد. عزیزی همکاران (۱۳۸۹) امکان برآورد حجم سرپای توده های جنگلی لیره سر تنکابن را با استفاده از داده های سنجنده Less-IV ماهواره IRS P۶ مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که میانگین مجذور خطای مربعات، اریب و میزان همبستگی برای مشخصه حجم سرپا به ترتیب برابر با ۳۲/۵ درصد، ۱۲/۶ درصد و ۰/۸۳ درصد حاصل شد. مکلا و همکاران (۲۰۰۴) برآورد حجم توده های جنگلی را با استفاده از داده های ماهواره ای TM و داده های آماربرداری در کشور فنلاند مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که درصد مجذور میانگین مربعات خطا برای حجم کل توده، حجم توده صنوبر و حجم توده کاج به ترتیب برابر با ۴۸ درصد، ۸۱ درصد و ۱۰۰ درصد می باشد. محمدی و همکاران (۲۰۰۷) امکان برآورد برخی مشخصه های کمی جنگل از جمله حجم سرپای جنگل را به منظور ایجاد مدل پیش بینی مکانی با استفاده از داده های طیفی ماهواره ی Landsat ETM+ در جنگل های بلوط لوه گرگان بررسی نمود. نتایج نشان داد که ترکیب خطی شاخص های DVI و Greenness بهتر توانستند مشخصه ی حجم سرپا را با ضریب تبیین اصلاح شده ۴۳ درصد و میانگین مربعات خطای ۹۷/۴ مترمکعب در هکتار برآورد نماید. وات و همکاران (۲۰۱۳) برآورد حجم سرپا توده های جنگل کاری صنوبر را با استفاده از سنجنده کوئیکبرد و روابط آلومتریک در چین مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ضریب تبیین حاصل شده از مدل های رگرسیونی بین ۰/۷۸ و ۰/۹۲ می باشد. شاتای و وینکر (۲۰۱۰) برآورد مشخصه های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار را با استفاده از سنجنده Aster و الگوریتم k-NN در منطقه داراب کلا، شمال ایران را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که درصد مجذور میانگین مربعات خطا حاصل شده برای حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار به ترتیب برابر است با ۲۷-۲۵ درصد و ۲۰-۱۸ درصد بوده است که با انتخاب بهترین متغیرهای مستقل از طریق روش های کاهش متغیر، مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برای حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار به ترتیب ۱۸/۷ درصد، ۱۴/۷ درصد و

۱۴/۶ درصد بوده است. برآورد مشخصه های کمی ساختار جنگل (موجودی سرپا در هکتار، رویه زمینی در هکتار و تعداد درختان در هکتار) را با استفاده از تصاویر ASTER و الگوریتم های ناپارامتریک رندوم فورست، نزدیک ترین همسایه و ماشین پشتیبان بردار رگرسیون در سری یک دارابکلا مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در برآورد موجودی سرپا در هکتار، نتایج سه الگوریتم تقریباً مشابه بوده اگر چه ماشین پشتیبان بردار رگرسیون و رندوم فورست نتایج بهتری نسبت به k-NN با مجذور میانگین مربعات خطا $۲۸/۴۵$ ، $۲۵/۸۶$ و $۲۶/۸۶$ مترمکعب در هکتار نشان داد. همچنین نتایج برای دو مشخصه رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار نشان داد که با الگوریتم رندوم فورست مجذور میانگین مربعات خطا کمتری $۱۸/۳۹$ و $۲۰/۶۴$ نسبت به ماشین پشتیبان بردار رگرسیون $۱۹/۳۵$ و $۲۲/۰۹$ و k-NN $۲۰/۲۰$ و $۲۱/۳۵$ حاصل شد.

۳- استفاده از داده های لیدار در برآورد مشخصه های کمی جنگل

خرمی و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی قابلیت داده های لیدار هوایی در برآورد ارتفاع پایه های درختی پلت و ممرز در جنگل شصت کلاته گرگان پرداختند. نتایج تحقیق آن ها نشان داد که ارتفاع درختان پلت و ممرز به ترتیب با ضرایب تبیین $۰/۹۶$ و $۰/۹۵$ و میانگین خطای نسبی ۴ و ۳ درصد برآورد شد. مقدار مجذور میانگین مربعات خطا ارتفاع برآوردی گونه های پلت و ممرز، به ترتیب $۱/۵$ متر و $۱/۸۴$ متر (۶ درصد) به دست آمد. هولئوس و همکاران (۲۰۰۷) امکان برآورد حجم سرپای جنگل را با استفاده از داده های لیدار در بخشی از جنگل های اتریش مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که متوسط حجم سرپای این منطقه ۴۶۵ متر مکعب در هکتار و مجذور میانگین مربعات خطای نسبی $۲۱/۴$ درصد بوده است. لوکی و همکاران (۲۰۱۰) امکان برآورد حجم سرپای توده های جنگلی را با استفاده از داده های لیدار در جنگل های پهن برگ غرب ژاپن بررسی کردند و نتایج حاصل دارای مجذور میانگین مربعات خطا $۱۶/۴$ درصد از میانگین حجم توده به دست آمد. وینکت و همکاران (۲۰۱۲) رویه زمینی توده های جنگلی گویان فرانسه را با استفاده از لیدار و رگرسیون مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که مجذور میانگین مربعات خطا $۹/۶$ درصد بوده است. تونولی و همکاران (۲۰۱۱) برآورد و تهیه نقشه حجم درختان جنگلی را با استفاده از داده های آماربرداری زمینی و لیدار در جنگل های هم سال ایتالیا مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. نتایج بررسی ها نشان داد که برآوردها دارای ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا $۰/۲۷$ و $۱۶/۷$ درصد به ترتیب بوده است. هوباگر و همکاران (۲۰۱۰) برآورد مشخصه های ساختاری جنگل های آمیخته را با استفاده از داده های لیدار مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ضریب تبیین حاصل شده برای حجم سرپا، میانگین ارتفاع، میانگین قطر برابر سینه، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار به ترتیب ۶۵ ، ۵۵ ، ۴۸ ، ۴۶ و ۱۳ درصد حاصل شد.

وات و همکاران (۲۰۱۳) مدل برآورد حجم سرپای توده کاج رادپاتا را با استفاده از داده های لیدار برای کشور نیوزلند مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که مشخصه حجم سرپا با استفاده از داده های لیدار دارای ضریب تبیین $۰/۸۶$ و مجذور میانگین مربعات خطا $۷۱/۶$ متر مکعب در هکتار بود. مولا و همکاران (۲۰۱۰) کاربرد داده های لیدار را در برآورد مشخصه های کمی جنگل در اسپانیا مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ضریب تبیین حاصل شده برای حجم با استفاده از روش k-NN $۰/۶۶$ حاصل شد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) مجموعه ای از معیارهای تاج پوشش به دست آمده از پروفایل های عمودی تاج پوشش، که پتانسیل کمک به درک ما از ویژگی های فیزیکی ساختار جنگل را دارد، استخراج کردند. قابلیت معیارهای استاندارد (استخراج شده از داده های ابر نقطه) و معیارهای تاج پوشش برای تخمین پارامترهای ساختاری جنگل (به عنوان مثال، DBH، ارتفاع متوسط لوری، تراکم ساقه، سطح پایه، حجم و AGB) به صورت جداگانه و ترکیبی ارزیابی شد. بر فراز یک جنگل نیمه گرمسیری در جنوب شرقی چین. علاوه بر این، یک تجزیه و

تحلیل حساس از اندازه های مختلف وکسل برای بررسی اندازه وکسل بهینه برای تخمین پارامترهای ساختاری جنگل انجام شد. نتایج نشان داد که مدل های خاص جنگل دقت نسبتاً بالاتری داشتند ($rRMSE = 5.13$ ، $Adj-R2 = 0.44-0.88$)، در مقایسه با مدل های عمومی ($rRMSE = 8.54-29.8\%$ ، $Adj-R2 = 0.39-0.77$) دقت تخمین میانگین ارتفاع لوری و AGB بالاترین، پس از آن حجم، DBH و سطح پایه بود، در حالی که تراکم ساقه نسبتاً کمتر بود.

۴- استفاده از داده های رادار در برآورد مشخصه های کمی جنگل

تاپا و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که ترکیب پارامترهای مناسب بافت و ضرایب بازپخش و نسبت هایشان در مدلسازی کربن زیتوده روی زمینی با استفاده از داده های سنجنده ی PALSAR منجر به بهبود برآورد ها و کاهش عدم قطعیت به 28 mgC/ha شد. سانتورو و همکاران (۲۰۰۶) امکان برآورد حجم سرپای جنگل را با استفاده از داده های SAR در ۵ منطقه از جنگل های فنلاند مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که متوسط حجم سرپای آنها از ۱۱۱ تا ۷۵۲ متر مکعب در هکتار و مجذور میانگین مربعات خطای نسبی در این مناطق از ۵۲ تا ۱۵ درصد متغیر بود. امینی و همکاران (۱۳۹۰) قابلیت تصاویر ماهواره های نوری و راداری ماهواره ALOS را در مدل-سازی زیتوده های جنگل های گیلان با استفاده از آنالیز رگرسیون چند متغیره بر اساس گونه درخت بررسی کردند و بهترین مدل برآورد زیتوده را با ضریب تعیین 0.731 نشان دادند. کارتوس و همکاران در (۲۰۱۲) امکان برآورد ارتفاع تاج پوشش و شاخص حجم را با استفاده از داده های ALOS در جنگل کاری های شیلی در سطح توده بررسی کردند. شاخص های ارتفاع و حجم برای ۹۱۳ توده بررسی شدند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که ضریب تبیین حاصل شده 0.7 بوده است.

۵- تلفیق داده های لیدار و رادار و اپتیکی در برآورد مشخصه های کمی جنگل

سیتهل و همکاران (۲۰۰۴) برآورد حجم توده های جنگلی پهن برگ و توده کاج را با استفاده از تلفیق داده های لیدار و ماهواره های مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مدل رگرسیونی با ضریب تبیین و کمترین مجذور میانگین مربعات خطا برای برآورد حجم در توده های پهن برگ به ترتیب 0.93 و $52/48$ متر مکعب در هکتار و برای سوزنی-برگ به ترتیب 0.38 و $47/9$ مترمکعب در هکتار بدست آمد. همچنین نتایج نشان داد که تلفیق داده های لیدار با داده های ماهواره ای باعث بهبود نتایج گردید. کارتوس و همکاران (۲۰۱۲) امکان برآورد ارتفاع تاج پوشش و شاخص حجم را با استفاده از داده های لیدار، سنجنده PALSAR ماهواره ALOS و Landsat ETM+ در جنگل کاری های شیلی در سطح توده بررسی کردند. مدل جنگل تصادفی با استفاده از داده های لیدار و سنجنده PALSAR ماهواره ALOS توسعه داده شد. شاخص های ارتفاع و حجم برای ۳۱۳ توده بررسی شدند که بازیابی آنها با داده های لیدار دقت بالایی به ترتیب با $R^2 = 0.33$ و $R^2 = 0.11$ و با سنجنده PALSAR و Landsat ETM+ به ترتیب $R^2 = 0.07$ و $R^2 = 0.51$ به همراه داشت. نتایج نشان دادند که استفاده ترکیبی از سنجنده PALSAR و Landsat ETM+ نسبت به استفاده تنهایی از آن ها دقت و بازده بالاتری را نشان می دهد. مالتامو و همکاران (۲۰۰۴) به برآورد موجودی سرپا با استفاده از داده های لیدار و عکس های هوایی با به کارگیری روش K-MSN مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که تلفیق لیدار و عکس های هوایی سبب بهبود مقدار مجذور میانگین مربعات خطا در حدود ۱۵ درصد گردید. شاتایی و همکاران (۲۰۱۰) برآورد حجم توده های جنگلی جنوب غرب آلمان را با استفاده از داده های لیدار و سنجنده TM و با به کارگیری دو روش رگرسیون درختی تقویت شده و رندوم فورست مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از مقایسه دو روش رگرسیون درختی تقویت شده و رندوم فورست با استفاده از تلفیق داده های تلفیقی لیدار و TM نشان داد که نتایج برآورد رگرسیون درختی تقویت شده با درصد

مجذور میانگین مربعات خطا $40/65$ در مقایسه با برآوردهای رندوم فورست با مقدار $42/39$ دارای نتایج بهتری بود. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که استفاده از داده های تلفیقی لیدار و ماهواره ای، نتایج بهتری در مقایسه با استفاده هر یک از این دادهها به تنهایی ارائه داده است. ناردکویست و همکاران (۲۰۱۰) تلفیق داده های ماهواره ای اسپات و داده های لیدار را برای طبقه بندی پوشش گیاهی در جنوب سوئد مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. طبقه بندی به روش حداکثر احتمال با استفاده از داده های اسپات به تنهایی و همچنین به صورت ترکیب با داده های لیدار انجام شدن تایج تحقیق نشان داد که با تلفیق دادههای لیدار و داده های طیفی اسپات، صحت کلی در مقایسه با به کارگیری داده های اسپات به تنهایی، ۱۱ درصد بهبود یافت.

۶- نتیجه گیری

هرکدام از داده های نوری، راداری و لیدار، ویژگی های مثبت و منحصر به خود را دارند و یکپارچگی صحیح آنها با یکدیگر میتواند باعث بهبود دقت برآورد مشخصه های کمی ساختار جنگل شود. سامانه های لیدار، در مناطقی که تاج پوشش کاملاً بسته است، همانند جنگل های بارانی تروپیکال، توانایی برای اندازه گیری های زمینی را ندارند اما داده های راداری ویژگی های متفاوتی نسبت به داده های نوری و لیدار دارند. داده های سنجنده های نوری اساساً ویژگی های سطح پوشش زمین را ارائه میدهند و داده های رادار خصوصاً با طول موج های بلند، می توانند تا عمق معینی در تاج پوشش های جنگلی نفوذ کرده و اطلاعاتی در مورد تنه ها، شاخه ها و لایه های زیرین جنگل اخذ کنند. از این رو اطلاعات ساختاری عمودی تر توده را برای تیپ های پوشش گیاهی فراهم می کنند. اگر داده های نوری و رادار به طور مناسبی برای ایجاد یک مجموعه داده ی جدید تلفیق شوند، می توانند اطلاعات بهتری با دقت بالاتر درباره ی ویژگی های ساختاری جنگل فراهم کنند. داده های لیدار اطلاعات بهتری از ساختار عمودی جنگل ارائه می دهند. اگرچه محدوده برداشت داده های لیدار خیلی محدود می باشد ولی استفاده از داده های طیف نوری (اپتیکال) ماهواره ای به علت سطح وسیع برداشت می تواند بعنوان یک ابزار برای تعمیم برآوردها با داده های لیدار در سطوح بزرگ بکار برده شود. قدرت داده های لیدار برای برآورد ساختار تاج پوشش، با توجه به اینکه شدت نقاط لیزری حاصل یک طول موج است، اطلاعات طیفی محدود شده ای دارند. از طرفی سنجنده های نوری اطلاعات طیفی غنی را تولید می کنند اما بازتاب طیفی، رابطه قوی با ساختار تاج پوشش ندارد. بنابراین داده های نوری و داده های لیدار به نسبت بالایی مکمل یکدیگرند. نتایج حاصل از بررسی منابع در مورد تلفیق داده های لیدار و رادار و ماهواره ای در برآورد مشخصه های کمی جنگل نشان داد که نتایج حاصل از برآورد مشخصه های کمی با تلفیق داده ها نسبت به استفاده جداگانه هر کدام از این دادهها دارای دقت بالاتری (میانگین مجذور مربعات خطای پایین) می باشند. علت این امر را میتوان به این صورت توجیه کرد که هرکدام از داده ها به تنهایی دارای معایب و مزایای منحصر به فردی می باشند که هنگام تلفیق آنها با یکدیگر سبب بهبود نتایج شده و توانایی آنها را ارتقا می دهد.

مراجع

- امینی، ج. و، صادقی ی تصاویر ماهواره ای نوری و راداری در مدل سازی زیست توده جنگلهای شمال ایران مجله سنجش از دور و GIS، ایران سال چهارم شماره چهارم ۱۳۹۰، صفحات ۸۲-۶۹
- درویش صفت ع سنجش از دور برای مدیران. GIS انتشارات دانشگاه تهران، ۷۰۱ ص، ۱۳۹۰
- خرمی، ر، درویش صفت ع و، نمیرانیان، م بررسی قابلیت دادههای ماهواره ای Landsat ETM در برآورد حجم سرپای توده های راش مجله منابع طبیعی، ایران (۱۳۸۹-۱۳۸۱-۱۳۸۶). ۱۳۸۶.

- خرمی، ر، درویش صفت، ع، طبری، م و، شتایی ش، بررسی قابلیت داده‌های لیدار هوایی در برآورد ارتفاع پایه های درختی پلت و ممرز مجله جنگل ایران، انجمن جنگل‌بانی، ایران، ۲، ۱۴۰-۱۲۷، ۱۳۹۳.
- سهرابی، حسینی، س. م و، زبیری م. برآورد موجودی حجمی جنگل با استفاده از شاخصهای بافتی تصاویر هوایی فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر، ایران، ۱۸، ۲، ۳۰۶-۲۹۷، ۱۳۸۹.
- عزیزی، ز، نجفی، ا، فاتحی، پ و، پیر باوقار م. بررسی. امکان برآورد حجم سرپای جنگل با استفاده از داده‌های سنجنده LiSS-IV ماهواره IRS P6 مطالعه موردی لیرهسر تنکابن فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۸، ۱، ۱۳۸۹
- محمدی، ج. بهبود برآورد برخی مشخصه های کمی ساختار جنگل با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر هوایی رقومی در جنگلهای پهن برگ شصت کلاته گرگان رساله دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ۱۳۹۰
- مصدق . جنگل شناسی انتشارات دانشگاه تهران ۴۸۱ صفحه ۱۳۸۳
- Askne, J.; Fransson, J.; Santoro, M.; Soja, M.; Ulander, L. Model-Based Biomass Estimation of a Hemi- Boreal Forest from Multitemporal TanDEM-X Acquisitions. *Remote Sens.* 2013, 5, 5574–5597.
- Brandtberg, T., T.A., Warner, R.E., Landenberger, and J.B. McGraw, 2003. Detection and analysis of individual leaf off tree crowns in small footprint, high sampling density LIDAR data from the eastern deciduous forest in North America, *Remote Sensing of Environment*, 85: 290-303.
- Cartus, O.; Kelldorfer, J.; Rombach, M.; Walker, W. 2012. Mapping Canopy Height and Growing Stock Volume Using Airborne Lidar, ALOS PALSAR and Landsat ETM+. *Remote Sensing* 2012, 4, 3320 -3345.
- Chen, Q., D. Baldocchi, P. Gong, and M. Kelly, 2006. Isolating individual trees in a savanna woodland using small footprint LIDAR data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(8): 923–932.
- Dalpone, M., Tonolli, S., Vescovo, L., Neteler, M., and Gianelle, D. 2010. Fusion of multispectral and lidar remote sensing data for the estimation of forest attributes in an Alpine region. The 10th International Conference on LIDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems. September 14th-17th Freiburg, Germany.
- Hawbaker, T.J., Gobakken, T., Lesak, A., Trømborg, E., Contrucci, K., Radeloff, V. 2010. Light Detection and Ranging-Based Measures of Mixed Hardwood Forest Structure. *Forest Science*. 56, 3, 313-326, 14. 15-Heritage, G.L., and Large, A.R.G. 2009. Laser scanning for the environmental sciences. Wiley-Blackwell press. 278p.
- Hollaus, H. Wagner, W. Maier, B. and Schadauer, k. 2007. Airbrne laser scanning of forest stem olume mountainous environment, *sensors*, 7:1559 – 1577.
- Holmgren, J., and M. Inkinen, 1999. Detecting and estimating attributes for single trees using laser scanner, *Photogrammetric Journal of Finland*, 16(2): 27-42.
- Ioki, K. Imanishi, J. Sasaki, T. Morimoto, Y. Kitada, K. 2010. Estimating stand volume in broad-leaved forest using discrete-return LiDAR: plot-based approach, *Landscape Ecol Eng* (2010) 6:29–36.
- Koch, B., U. Heyder, and H. Weinacker, 2006. Detection of individual tree crowns in airborne LIDAR data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(4): 357-363.
- Lee, H., K.C. Slatton, B.E. Roth, and W.P. Cropper, 2010. Adaptive clustering of airborne LIDAR data to segment individual tree crowns in managed pine forests, *International Journal of Remote Sensing*, 31(1): 117-139.
- Lu, D. Mausel, P. Brondizio E. and Moran, E. 2004. Relationships between forest stand parameters and landsat TM spectral response in the Brazilian Amazon Basin. *Forest Ecology Management*. 198:149-167.
- Lu, D., Chen, Q., Wang, G., Liu, L., Lib, G., and Moran, E. 2014. A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. *International Journal of Digital Earth*, 1-64.
- Makela, H., Pekkarinen, A. 2004. Estimation of forest stands volumes by Landsat TM imagery and stand- level field-inventory data. *Forest Ecology and Management*. 196, 245–255.

- Maltamo, M., K. Mustonen, J. Hyypä, J. Pitkänen, and X. Yu, 2004. The accuracy of estimating individual tree variables with airborne laser scanning in a boreal nature reserve, *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 1791-1801.
- Maltamo, M., Malinen, J., Packlen, P., Suvanto, A., Kangas, J. 2006, Nonparametric estimation of stem volume using airborne laser scanning, aerial photography, and stand-register data. *Canadian Journal of Forest Research*. 36(2), 426-436.
- Mitchard, E.T.A.; Saatchi, S.S.; White, L.J.T.; Abernethy, K.A.; Jeffery, K.J.; Lewis, S.L.; Collins, M.; Lefsky, M.A.; Leal, M.E.; Woodhouse, I.H.; et al. Mapping tropical forest biomass 27-with radar and spaceborne LiDAR in Lopé National Park, Gabon: Overcoming problems of high biomass and persistent cloud. *Biogeosciences* 2012, 9, 179–191.
- Mohammadi, J. 2007. Investigating estimation some quantitative characteristics for presentation location models using Landsat ETM+ satellite data. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agriculture and Natural Sciences, 78 pp.
- Mola-Yudego B., Fabra-Crespo M., Poveda-Lopez A., and Garcia-Gonzalez C. 2010. testing application of Lidar for the measurement of forest inventory parameters. *Forestsat 2010 Operational tools in forestry using remote sensing techniques*, September 2010, Spain.
- Naesset, E., and K. Bjercknes, 2001. Estimating tree heights and number of stems in young forest stands using airborne laser scanner data, *Remote Sensing of Environment*, 78: 328–340.
- Nordkvist, K., Granholm, A.H., Nilsson, M., and Holmgren, J. 2010. Combining optical satellite data and airborne laser scanner data for vegetation classification, the 10th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems, September 14th - 17th, 2010, Freiburg, Germany.
- Santoro, M. Eriksson, L. Askne, J. and Schmllius, C. 2006. Assessment of stand-wise stem volume retrieval in boreal forest from JERS-1 L-band SAR back scatter, *International Journal of Remote sensing*, 27(16): 3425-3454.
- Sithole, G., Vosselman, G. 2004. Experimental comparison of filter algorithms for bare-earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 59, 85– 101.
- Shataee, Sh., and Weinaker, H, 2010. Plot-level forest volume estimation using airborne laser scanner and TM data, comparison of boosting and random forest tree regression methods. *1st conference Spatial statistics*, 23-25 March 2011, Enschede, the Netherlands.
- Straub, C., Tian, J., Seitz, R., and Reinartz, P. 2013. Assessment of Cartosat-1 and Worldview-2 stereo imagery in combination with a LIDAR-DTM for timber volume estimation in a highly structured forest in Germany. *Forestry*. 86(4):463-473.
- 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*, xxx (2015) xxx-xxx.
- Tonolli, S., Dalponte, M., Neteler, M., Rodeghiero, M., Vescovo, L., Gianelle, D., 2011b. Fusion of airborne LiDAR and satellite multispectral data for the estimation of timber volume in the Southern Alps. *Remote Sensing of Environment* 115, 2486–2498.
- Tsui, O.W., Coops,N.C., Wulder,M.A., Marshall,P.L. and McCardle, A. 2012. Using multi-frequency radar and discrete-return LiDAR measurements to estimate above-ground biomass and biomass components in a coastal temperate forest. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 69 (2012) 121–133.
- Vincent, G., Sabatier, D., Blanc, L., Chave, J., Weissenbacher, E.,Pelissier, R., Fonty, E., Molino, J.F., Coueron P. 2012. Accuracy of small footprint airborne LIDAR in its predictions of tropical moist forest stand structure. *Remote Sensing of Environment*. 125, 23-33.
- Wang, X., Li, Z., Liu, X., Deng, G., and Jiang, Z. 2007. Estimating stem volume using QuickBird imagery and allometric relationships for open Populus xiaohai plantations. *Journal of integrative Plant Biology*. 449, 9, 1304-1312.

Watt, P., Adams, A., Marshall, H., Pont, D., Lee, J., Crawley, D., and Watt, M., 2013, Development of a national model of Pinusradiata stand volume from lidar metrics for New Zealand. *International Journal of Remote Sensing*. 34, 16, 5892-5904.

Wulder.M.A., Seemann, D., 2003. Forest inventory height update through the integration of lidar data with segmented Landsat imagery. *Can. J. Remote Sensing*, 29, pp. 536–543.

Abad-Segura, E.; González-Zamar, M.-D.; Vázquez-Cano, E.; López-Meneses, E. Remote Sensing Applied in Forest Management to Optimize Ecosystem Services: Advances in Research. *Forests* 2020, 11, 969. <https://doi.org/10.3390/f11090969>.

Xu, C.; Du, X.; Yan, Z.; Fan, X. ScienceEarth: A Big Data Platform for Remote Sensing Data Processing. *Remote Sens.* 2020, 12, 607. <https://doi.org/10.3390/rs12040607>.

Abad-Segura, E.; González-Zamar, M.-D.; Vázquez-Cano, E.; López-Meneses, E. Remote Sensing Applied in Forest Management to Optimize Ecosystem Services: Advances in Research. *Forests* 2020, 11, 969. <https://doi.org/10.3390/f11090969>.

Zhang, Z.; Cao, L.; She, G. Estimating Forest Structural Parameters Using Canopy Metrics Derived from Airborne LiDAR Data in Subtropical Forests. *Remote Sens.* 2017, 9, 940. <https://doi.org/10.3390/rs9090940>.