فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۳ شماره ۳، صفحه ۴۷۷ـ۴۶۵، (۱۳۹۴)

برآورد برخی مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از داده‌های ماهواره Pleiades و الگوریتم‌های ناپارامتریک در جنگل‌های دارابکلای مازندران

مژگان ظهریبان[1*]، اصغر فلاح[2]، شعبان شتایی[3] و سیاوش کلبی[4]

۱*- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
پست الکترونیک: mozhgan.zahriban@gmail.com

۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴- دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۰۵

چکیده

شناسایی وضعیت کمی جنگل برای مدیریت توده‌های جنگلی از اساسی‌ترین اطلاعات محسوب می‌شود. هدف از پژوهش پیش‌رو برآورد داده‌های طیفی با قدرت تفکیک مکانی زیاد ماهواره Pleiades در برآورد دو مشخصه حجم سرپا و رویه زمینی با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک در جنگل دارابکلای ساری بود. تعداد ۱۴۴ قطعه‌نمونه ۱۰ آری به روش تصادفی منظم پیاده شد و قطر برابر سینه کلیه درختان و ارتفاع برخی از آنها به‌همراه موقعیت مراکز قطعات نمونه برداشت شد، سپس حجم سرپا و رویه زمینی درختان در هکتار محاسبه شد. پس از انجام برخی پیش‌پردازش‌ها و پردازش‌های مناسب، ارزش‌های رقومی متناظر با قطعات نمونه زمینی از باندهای طیفی استخراج شدند و به‌عنوان متغیرهای مستقل درنظر گرفته شدند. حجم سرپا و رویه زمینی در هکتار نیز به عنوان متغیر وابسته درنظر گرفته شدند. مدل‌سازی با روش‌های k امین نزدیک‌ترین همسایه، ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی با ۷۰ درصد از قطعات نمونه انجام شد و نتایج با ۳۰ درصد باقیمانده قطعات نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج، بهترین برآوردها با روش ماشین بردار پشتیبان برای مشخصه حجم با درصد مجذور میانگین مربعات خطا برابر با ۴۵/۱۳ درصد و اریبی نسبی برابر با ۳/۲۱- و برای مشخصه رویه زمینی با درصد مجذور میانگین مربعات خطا برابر با ۳۸/۷۵ و اریبی نسبی برابر با ۳/۱۲ به‌دست آمد که بین این روش‌ها دارای بهترین عملکرد بود. نتایج این پژوهش نشان داد که با توجه به ناهمگنی و متراکم بودن جنگل دارابکلا، داده‌های ماهواره Pleiades دارای قابلیت متوسطی در برآورد این دو مشخصه بودند.

واژه‌های کلیدی: جنگل دارابکلای ساری، روش‌های ناپارامتریک، ماهواره Pleiades، مشخصه‌های کمی جنگل.

مقدمه

جنگل‌ها در زندگی انسان اهمیت زیادی دارند و در تنظیم آب و هوا، حفاظت خاک، اقتصاد و تغذیه انسان‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند (Mosadegh, 2004). یکی از مهمترین راه‌ها برای حفظ، مدیریت و بهره‌برداری از این جنگل‌ها داشتن اطلاع از وضعیت کمی و کیفی آنها است

(Khorami, 2004). اطلاع از وضعیت کمی جنگل بیشتر از طریق عملیات میدانی به‌دست می‌آید که به‌خاطر هزینه زیاد و زمان‌بر بودن و عدم دسترسی به همه قسمت‌های جنگل مقرون به‌صرفه نیست (Lu *et al*., 2004)، بنابراین تکنیک‌های سنجش از دور بیشتر به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای نقشه‌برداری و نظارت بر این منابع پیشنهاد شده است و در بسیاری از زمینه‌های جنگل‌داری شامل برنامه‌های محیط زیستی، بررسی تغییرات استفاده از زمین، نظارت بر میزان جنگل‌زدایی، برآورد ذخیره کربن، تشخیص استرس گیاهی (Kerr & 2003; Horning *et al*., 2010 ,Ostrovsky) و همچنین برآورد مشخصه‌های ساختاری (Leboeuf, 2012; Shataee *et al*., 2012) به‌کار گرفته شده است.

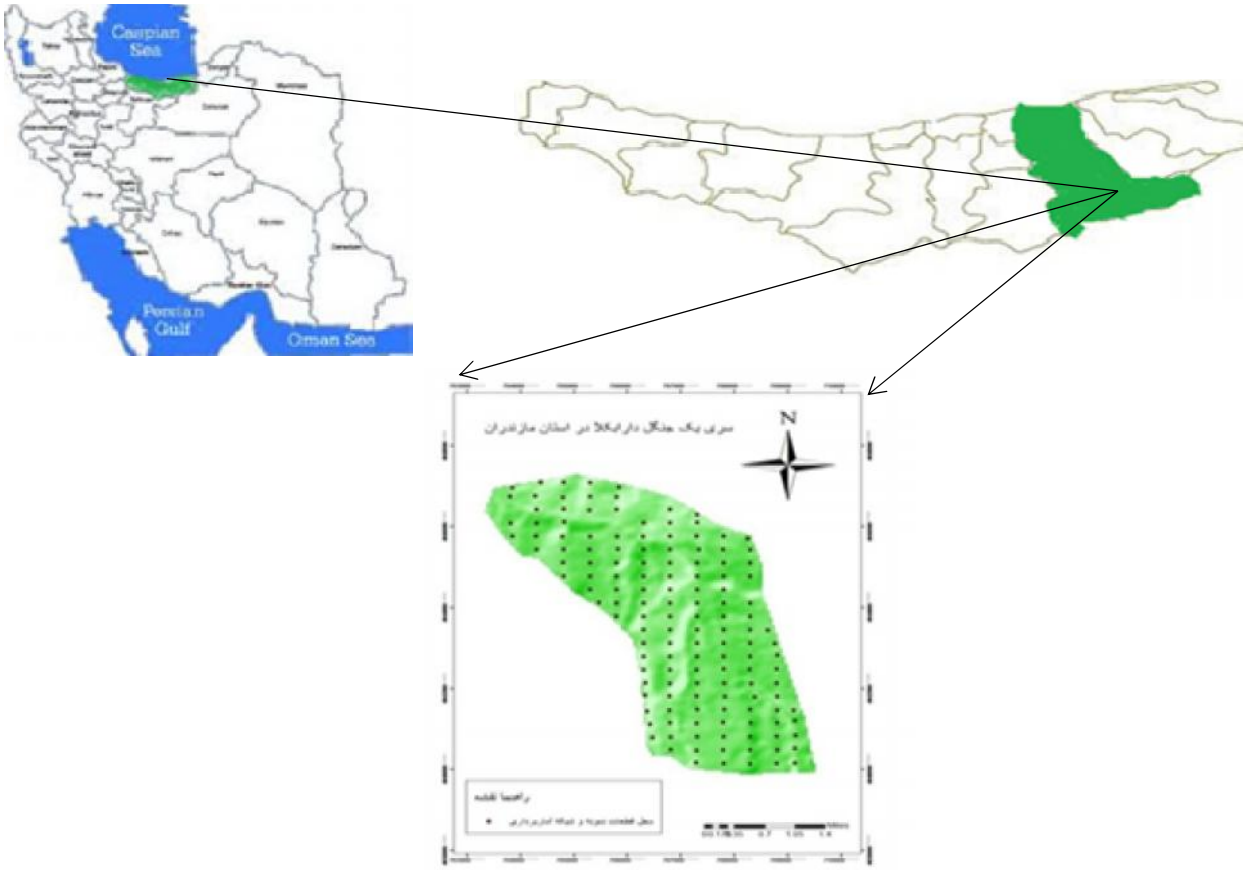
Huiyan و همکاران (۲۰۰۶) به برآورد حجم توده جنگلی با استفاده از داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای TM و روش kامین نزدیک‌ترین همسایه وزن‌دار پرداختند که نتایج بهترین مدل دارای مجذور خطای مربعات برای حجم کل توده، توده Larix، توده *Pinus koraiensis* و جنگل‌های پهن‌برگ به‌ترتیب برابر با ۴۴/۲ درصد، ۵۱/۷ درصد، ۷۱/۷ درصد و ۸۸/۱۹ درصد بود. Shataee (۲۰۱۱) مطالعه‌ای را به‌منظور برآورد مشخصه حجم و رویه زمینی با داده‌های سنجنده TM و داده‌های لیدار در قسمتی از جنگل‌های کشور آلمان انجام داد. در این مطالعه از چهار روش رگرسیون ناپارامتری شامل kامین نزدیک‌ترین همسایه وزن‌دار، ماشین‌های بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی استفاده شد. نتایج نشان داد که از میان چهار روش، روش رگرسیون ماشین‌های بردار پشتیبان برای مشخصه حجم به‌ترتیب با میزان ریشه میانگین مجذور خطا و اریبی ۱۶/۸۴ درصد و ۰/۹۶ درصد و روش نزدیک‌ترین همسایه برای رویه زمینی به‌ترتیب با میزان ریشه میانگین مجذورخطا و اریبی ۱۱/۷۹ درصد و ۰/۰۹ درصد، دارای بهترین نتیجه بود. Shataee و همکاران (۲۰۱۲) قابلیت داده‌های سنجنده ASTER و سه الگوریتم kامین نزدیک‌ترین همسایه وزن‌دار، ماشین‌های بردار پشتیبان و جنگل تصادفی را برای مشخصه حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار مورد ارزیابی قرار دادند. بهترین مدل برای برآورد مشخصه موجودی در هکتار با استفاده از روش‌های ماشین‌های بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و روش kامین نزدیک‌ترین همسایه وزن‌دار به‌ترتیب دارای ریشه میانگین مجذور خطای ۲۵/۸۶ درصد، ۲۶/۸۶ درصد و ۲۸/۵۴ درصد بود، اما ریشه میانگین مجذور خطا برای بهترین مدل در هنگام برآورد مشخصه رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار به‌ترتیب برای روش kامین نزدیک‌ترین همسایه وزن‌دار، روش جنگل تصادفی و ماشین‌های بردار پشتیبان، ۲۰/۲۰ درصد، ۲۱/۵۳ درصد، ۱۸/۳۹ درصد، ۲۰/۶۴ درصد، ۱۹/۳۵ درصد و ۲۲/۰۹ درصد محاسبه شد.

در بیشتر مطالعاتی که در داخل کشور در زمینه برآورد مشخصه‌های کمی جنگل شده است، از داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی متوسط مانند SPOT وLandsat و روش‌های پارامتری استفاده شده است. این روش‌ها محدودیت‌هایی مانند درنظر گرفتن توزیع نرمال برای متغیرهای پاسخ، یکسان بودن واریانس خطاها و حساس بودن بیشتر این مدل‌ها به مشاهده‌های گم شده و داده‌های پرت را دارند، بنابراین در پژوهش پیش‌رو سعی شد برآورد برخی مشخصه‌های ساختاری جنگل شامل حجم توده سرپا و رویه زمینی با استفاده از داده‌های طیفی ماهواره‌ای Pleiades با روش‌های آماری ناپارامتری ازجمله ماشین‌های بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و روش kامین نزدیک‌ترین همسایه انجام شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه سری یک طرح جنگل‌داری دارابکلا واقع در حوضه آبخیز ۷۴ اداره کل منابع طبیعی استان مازندران و جنوب شرقی شهر ساری می‌باشد. این سری در محدوده طول جغرافیایی ″۰۹ ′۲۷ °۵۳ تا ″۱۹ ′۳۳ °۵۳ شرقی و عرض جغرافیایی ″۷۴ ′۴۶ °۳۶ تا ″۵۷ ′۵۵ °۳۶ شمالی واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارش سالانه در این منطقه، ۹۳۸/۸ میلی‌متر است. براساس روش آمبرژه، منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم سرد و مرطوب است و جهت عمومی منطقه شمالی و مساحت آن نیز حدود ۲۶۱۲ هکتار می‌باشد (Anonymus, 1996).



شکل ۱- سری یک جنگل داربکلا در استان مازندران و شبکه آماربرداری مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده

داده‌های زمینی

برداشت قطعات نمونه با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی منظم با ابعاد شبکه ۳۳۰ × ۵۰۰ متر انجام شد. تعداد ۱۴۴ قطعه‌نمونه دایره‌ای با مساحت ۱۰ آر در تاریخ ۲۰ آبان ۱۳۹۲ برداشت شد (شکل ۱). در هر قطعه‌نمونه اطلاعات مربوط به گونه، قطر برابر سینه درختان با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر و ارتفاع دو درخت شامل نزدیک‌ترین درخت به مرکز قطعه‌نمونه و قطورترین درخت در قطعه‌نمونه ثبت شد. با داشتن قطر برابر سینه، از جدول حجم محلی (تاریف) حجم تک‌درخت محاسبه شد، سپس موجودی سرپا در قطعه‌نمونه و در هکتار برای کلیه قطعات

نمونه محاسبه شد. رویه زمینی تک‌درختان با استفاده از قطر برابر سینه و سپس رویه زمینی در قطعه‌نمونه و در هکتار کلیه قطعات نمونه محاسبه شد.

داده‌های ماهواره‌ای

در این پژوهش از تصاویر چندطیفی ماهواره Pleiades مربوط به تاریخ ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۲ استفاده شد. تصاویر Pleiades دارای چهار باند طیفی با قدرت تفکیک مکانی دو متر و یک باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ متر هستند. قدرت تفکیک رادیومتریک این تصاویر ۱۶ بیت است.

پیش‌پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر مورد استفاده در هنگام خرید در سطح 1B خریداری شد، درنتیجه پردازش‌ها توسط شرکت Spot که مسئول فروش و بازاریابی بود، انجام شده بود. قبل از استفاده از این تصاویر از عدم وجود هرگونه خطا، اطمینان حاصل شد. برای اطمینان بیشتر از تصحیح هندسی از لایه‌های برداری جاده‌ها استفاده شد و نتایج نشان داد که مطابقت زمینی به‌طور کامل مطلوب است. همچنین برای کاهش اثر نوردهی به‌دست‌آمده از ناهمواری یا جهت دامنه یا توپوگرافی بر رادیومتری تصویر، تصحیح نوردهی با استفاده از پارامترهای Sun azimuth & Sun elevation موجود در فایل سرباره و مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۱۰ متر موجود از منطقه در نرم‌افزار ERDAS 2013 انجام شد. علاوه‌بر باندهای اصلی، با اعمال پردازش‌های مناسب باندهای پردازش شده‌ای ایجاد شدند که در فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. یکی از پردازش‌های مناسب که در بیشتر مطالعات مربوط به برآورد مشخصه‌های ساختار جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد، تجزیه و تحلیل بافت است. تجزیه و تحلیل بافت به‌صورت تابعی از تغییرات مکانی، شدت روشنایی پیکسل‌ها که ویژگی‌های نرمی، زبری، همواری و منظم بودن هر سطح است را بیان می‌کند (Gonzales & Woods., 2002). در پژوهش پیش‌رو از ۱۳ مشخصه تجزیه و تحلیل بافت شامل همگنی، تباین، ناهمگنی (عدم تجانس)، میانگین، واریانس، آنتروپی، همبستگی، زاویه دوم لحظه‌ای، GLDV زاویه دوم لحظه‌ای، GLDV آنتروپی، GLDV میانگین، GLDV کنتراست و تفاضل معکوس که بیشتر مرتبط با تجزیه و تحلیل تصویر ماهواره‌ای هستند، استفاده شد. همچنین به‌منظور ایجاد شاخص‌های گیاهی از ترکیبات نسبت‌گیری مناسب در پژوهش‌های پیشین (Khorami, 2004; Mohamadi, 2007; Kalbi, 2011; Noorian, 2013) استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- ترکیبات نسبت‌گیری مورد استفاده

ترکیبات نسبت‌گیری	فرمول	منبع
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	(NIR- RED)/(NIR+NIR)	Rouse *et al.* (1973)
Relative Difference Vegetation Index (RDVI)	$\frac{(\mathrm{Nir}-\mathrm{Red})}{(\sqrt{\mathrm{Nir}+\mathrm{Red}})}$	Roujean & Breon (1995)
Difference Vegetation Index (DVI)	NIR-RED	Tucker (1979)
Green Difference Vegetation Index (GDVI)	NIR-GREEN	Tucker (1979)
Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)	(NIR-GREEN)/(NIR+GREEN)	Bell *et al.* (2004)
Normalized Ratio Vegetation Index(NRVI)	(RVI-1)/(RVI+1)	Baret & Guyot (1991)
Ratio Vegetation Index(RVI)	NIR / RED	Richardson & Wiegand (1977)

استخراج ارزش‌های طیفی

ارزش‌های طیفی معادل قطعه‌های زمینی از مشخصه‌های آنالیز بافت و شاخص‌های گیاهی ساخته شده استخراج شد و به‌عنوان یک متغیر مستقل در مدل‌سازی استفاده شد.

مدل‌سازی

الگوریتم k‌امین نزدیک‌ترین همسایه

یکی از تکنیک‌های طبقه‌بندی پرطرفدار، روش k‌امین نزدیک‌ترین همسایه است که این الگوریتم بدون هیچ‌گونه داده اضافی، قواعد طبقه‌بندی را از طریق نمونه‌های آموزشی تولید و اجرا می‌کند. این روش برای برآورد اطلاعات جنگل یک ابزار مناسب محسوب می‌شود (Holmstrom & Fransson, 2003). برای اجرای این الگوریتم سه پارامتر تعداد همسایه، اندازه فاصله و وزن‌دهی یا عدم وزن‌دهی نزدیک‌ترین همسایه‌ها مهم هستند (Shataee *et al.*, 2012). تعداد همسایه بستگی به نوع اطلاعات دارد و توسط کاربر تعیین می‌شود. تعداد همسایه بستگی به نوع اطلاعات دارد و توسط کاربر تعیین می‌شود. در بسیاری از پژوهش‌ها (Reese *et al.*, 2002; Gu *et al.*, 2006; Kutzer, 2008) بهینه تعداد همسایه بین پنج تا ۱۰، اما در تعدادی از پژوهش‌ها مانندFinely و همکاران (۲۰۰۶) بین یک تا ۵۰ و Shataee و همکاران (۲۰۱۲) بین یک تا ۳۵ گزارش شده است. یکی از پارامترهایی که باید در این روش تعیین شود، نوع فاصله است. معمول‌ترین نوع فاصله‌ها شامل اقلیدسی، مربع اقلیدسی، مان‌هاتان و چیپچف می‌باشند (Shataee *et al.*, 2012).

ماشین بردار پشتیبان

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان از دقیق‌ترین و نیرومندترین الگوریتم داده‌کاوی به‌شمار می‌رود. نتایج بکارگیری این الگوریتم به‌طور کامل به انتخاب بهترین پارامترها برای مدل‌سازی وابسته است (Shataee *et al.*, 2012). در ایجاد این مدل باید به دو گزینه انتخاب نوع کرنل و تعیین پارامترهای کرنل دقت کرد. چهار نوع کرنل متعارف شامل پایه شعاعی، چندجمله ای، سیگموئید و خطی وجود دارد که معروف‌ترین و بهترین آنها پایه شعاعی است. پارامترهای کرنل نیز شامل ظرفیت (c)، گاما (γ) و اپسیلون (ε) است که برای محاسبه گاما از رابطه ۱ استفاده شد. در این رابطه n برابر با تعداد متغیرهای مورد بررسی است (Mohamadi, 2013). برای انتخاب بهترین میزان اپسیلون و ظرفیت از روش جستجوی شبکه‌ای استفاده شد (Mohamadi, 2013). برای جستجو شبکه‌ای، طیف وسیعی از متغیرهای ورودی یک تا ۵۰ برای ظرفیت و برای اپسیلون ۰/۱ تا ۰/۵ درنظر گرفته شد.

$$\gamma = 1/n \qquad \text{رابطه (۱)}$$

جنگل تصادفی

جنگل تصادفی یکی از روش‌های غیرپارامتری و درخت پایه است که شامل انبوهی از درخت‌های کلاس‌بندی و رگرسیونی است و گسترش‌یافته مدل رگرسیون درختی می‌باشد (Breiman, 2001). طبق مطالعات Shataee و همکاران (۲۰۱۲) برای ساخت مدل جنگل تصادفی باید به سه پارامتر توجه کرد. اول نسبت زیرنمونه‌ها که برای تعیین مقدار این پارامتر نسبت‌های ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد مورد آزمایش قرار گرفت. دوم برای تعیین تعداد برآوردکننده‌ها در هر گره از جذر کل تعداد متغیرهای مستقل مورد استفاده در مدل و از ± دو استفاده شد تا k یا تعداد برآوردکننده بهینه در هرگره انتخاب شود و سوم برای تعیین تعداد بهینه درختان، ابتدا ۴۰۰ درخت برای تولید یک گراف که نشان‌دهنده تغییرات میانگین مربعات خطا در مقابل تعداد خاص درختان نمونه‌های آموزشی و ارزیابی است، مورد استفاده قرار گرفت.

اعتبار سنجی مدل‌های رگرسیونی

به‌منظور ارزیابی و برازش مدل‌های رگرسیونی، ۳۰ درصد از داده‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب و به‌عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی کنار گذاشته شدند. با استفاده از معیارهای

آماری میانگین مجذور مربعات خطا (رابطه ۲)، میانگین مجذور مربعات خطای نسبی (رابطه ۳)، اریبی (رابطه ۴) و اریبی نسبی (رابطه ۵) اعتبار مدل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت (Makela & Pekkarinen, 2004).

$$RMSe=\sqrt{\sum_{n=1}^{n}\frac{(\hat{Y}i-yi)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$RMSe\%=\frac{RMSe}{\hat{y}}*100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$Bias=\frac{\sum_{n=1}^{n}(\hat{Y}i-yi)}{n} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$Bias\%=\frac{Bias}{\hat{y}}*100 \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه‌های فوق: $\hat{Y}i$ مقدار برآورد شده، $\hat{y}$ میانگین برآورده شده؛ Yi مقدار مشاهده شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

نتایج

منطقه مورد مطالعه از دو بخش جنگل‌کاری و جنگل طبیعی تشکیل شده است. بیشتر از ۵۰ درصد درختان موجود در جنگل طبیعی، راش و بقیه آن درختان ممرز، انجیلی، خرمندی و توسکا بودند. منطقه جنگل‌کاری بیشتر از گونه‌های توسکا و افرا تشکیل شده بود.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های زمینی و مقادیر استخراج شده از باندهای طیفی

از تعداد ۱۴۴ قطعه‌نمونه برداشت شده برای کل منطقه، ۱۰۸ قطعه‌نمونه برای مدل و ۳۶ قطعه‌نمونه برای ارزیابی انتخاب شدند. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی داده‌های زمینی برداشت شده در منطقه نشان داد که میانگین حجم و رویه زمینی به‌ترتیب ۲۹۰/۹۰ مترمکعب در هکتار و ۲۳/۰۲ مترمربع در هکتار است (جدول ۲).

برآورد حجم سرپا در هکتار با استفاده از الگوریتم kامین نزدیک‌ترین همسایه

نتایج بکارگیری الگوریتم kامین نزدیک‌ترین همسایه با دامنه یک تا ۲۰ و یک تا پنج و با چهار معیار فاصله اقلیدسی، مربع اقلیدسی، مان‌هاتان و چپیچف وزن داده شده در برآورد حجم سرپا نشان داد که معیار مربع اقلیدسی با K= ۵ دارای کمترین مجذور مربعات خطا بود (جدول ۳).

جدول ۲- مشخصات توصیفی مدل، ارزیابی و کل برای مشخصه‌های حجم و رویه زمینی

	حجم (مترمکعب در هکتار)			رویه زمینی (مترمربع در هکتار)		
مشخصه	مدل	ارزیابی	کل	مدل	ارزیابی	کل
تعداد قطعه‌نمونه	۱۰۸	۳۶	۱۴۴	۱۰۸	۳۶	۱۴۴
میانگین	۲۹۰/۹	۳۰۲/۵	۲۹۳/۸	۲۳	۲۳/۹	۲۳/۲
حداقل	۱۷/۵	۴۵/۷	۱۷/۵	۳/۱۴	۷/۵۱	۳/۱۴
حداکثر	۷۶۸	۷۹۲/۵	۷۹۲/۵	۵۵/۴	۶۱/۷	۶۱/۷
دامنه	۷۵۰/۴	۷۴۶/۸	۷۷۵	۵۲/۲	۵۴/۲	۵۸/۶
چولگی	۰/۴۱	۰/۶۶	۰/۴۸	۰/۶۵	۱/۱۴	۰/۷۹
کشیدگی	-۰/۲۷	۰/۴۰	-۰/۱۰	۰/۵۱	۲/۱	۰/۹۵

جدول ۳- نتایج و ارزیابی مربوط به آنالیز **k**امین نزدیک‌ترین همسایه برای تعیین بهترین پارامترهای مشخصه حجم

اندازه	مقدار k	RMSe (m^3/ha)	RMSe%	Bias (m^3/ha)	Bias%	k بهینه
اقلیدسی وزن‌دار	۱ – ۵	۱۳۷/۶۸	۴۵/۵۰	–۳۰/۰۷	–۹/۹۴	۴
اقلیدسی وزن‌دار	۱–۲۰	۱۵۰/۱۰	۴۹/۶۱	–۱۷/۰۲	–۵/۶۲	۱۸
مربع اقلیدسی وزن‌دار	۱–۵	۱۳۷/۱۱	۴۵/۳۱	–۲۱/۳۸	–۷/۰۶	۵
مربع اقلیدسی وزن‌دار	۱–۲۰	۱۴۵/۳۵	۴۸/۰۴	–۱۲/۵۷	–۴/۱۵	۱۸
مان‌هاتان وزن‌دار	۱–۵	۱۴۲/۳۸	۴۷/۰۵	–۲۲/۱۷	–۷/۳۲	۴
مان‌هاتان وزن‌دار	۱–۲۰	۱۴۲/۸۹	۴۷/۲۲	–۱۰/۱۶	–۳/۳۵	۱۶
چپیچف وزن‌دار	۱–۵	۱۳۹/۰۵	۴۵/۹۶	–۲۳/۰۷	–۷/۶۰	۵
چپیچف وزن‌دار	۱–۲۰	۱۴۶/۶	۴۸/۴۵	–۱۹/۲۴	–۶/۳۵	۱۸

برآورد رویه زمینی در هکتار با استفاده از الگوریتم kامین نزدیک‌ترین همسایه

نتایج به‌دست‌آمده از بکارگیری الگوریتم kامین نزدیک‌ترین همسایه با دامنه یک تا پنج و یک تا ۲۰ و با چهار معیار فاصله اقلیدسی، مربع اقلیدسی، مان‌هاتان و چپیچف وزن داده شده در برآورد رویه زمینی نشان داد که معیار مربع اقلیدسی با K=۵ دارای کمترین میزان اریبی و مجذور مربعات خطا بود (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج و ارزیابی مربوط به آنالیز **k** امین نزدیک‌ترین همسایه برای تعیین بهترین پارامترهای مشخصه رویه‌زمینی

اندازه	مقدار K	RMSe (m^2/ha)	RMSE%	Bias (m^2/ha)	%Bias	K بهینه
اقلیدسی وزن‌دار	۱ – ۵	۹/۴۶	۳۹/۸۳	–۱/۰۸	–۴/۵۷	۵
اقلیدسی وزن‌دار	۱–۲۰	۱۰/۰۶	۴۲/۳۲	–۰/۷۸	–۳/۲۹	۱۸
مربع اقلیدسی وزن‌دار	۱–۵	۹/۴۴	۳۹/۷۲	–۱/۰۴	–۴/۴۰	۵
مربع اقلیدسی وزن‌دار	۱–۲۰	۹/۸۵	۴۱/۴۸	–۰/۴۸	–۲/۰۴	۱۸
مان‌هاتان وزن‌دار	۱–۵	۹/۶۷	۴۰/۷۰	–۰/۷۶	–۳/۲۰	۵
مان‌هاتان وزن‌دار	۱–۲۰	۹/۶۷	۴۰/۶۹	–۰/۲۶	–۱/۰۹	۱۶
چپیچف وزن‌دار	۱–۵	۹/۶۹	۴۰/۷۹	–۱/۲۴	–۵/۲۴	۵
چپیچف وزن‌دار	۱–۲۰	۹/۹۴	۴۱/۸۳	–۰/۹۹	–۴/۱۸	۱۸

برآورد حجم در هکتار با استفاده از الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان

نتایج به‌دست‌آمده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای برآورد حجم با استفاده از کرنل‌های مختلف نشان داد که کرنل پایه چندجمله‌ای خطی درجه یک با $C=۵۰$، $\varepsilon=۰/۰۱۱$، $\gamma=۰/۴$ دارای کمترین مجذور مربعات خطا بود (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج و ارزیابی مربوط به آنالیز ماشین بردار پشتیبان برای تعیین بهترین پارامترهای مشخصه حجم در هکتار

کرنل	Gama	Epsilon	Capacity	RMSe (m^3/ha)	RMSe%	Bias (m^3/ha)	Bias%
شعاعی	۰/۰۱۱	۰/۴	۲۱	۱۳۷/۶۳	۴۵/۴۹	-۸/۲۰	-۲/۷۱
چندجمله‌ای خطی درجه یک	۰/۰۱۱	۰/۴	۵۰	۱۳۶/۵۵	۴۵/۱۳	-۹/۸۷	-۳/۲۱
سیگموئید	۰/۰۱۱	۰/۴	۴۳	۱۳۷/۸۸	۴۵/۵۷	-۷/۲۹	-۲/۴۱
خطی	-	۰/۲	۴۹	۱۳۸/۱۵	۴۵/۶۶	-۳۲/۹۹	-۱۰/۹۰

برآورد رویه زمینی در هکتار با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

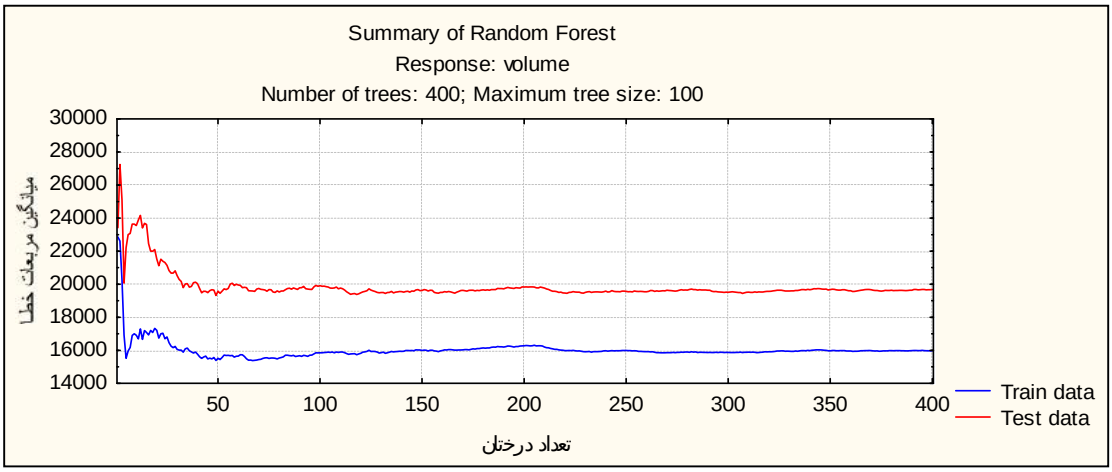
نتایج به‌دست‌آمده از بکارگیری الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان برای برآورد رویه زمینی با استفاده از کرنل‌های مختلف نشان داد که کرنل چندجمله‌ای درجه یک با $\gamma = ۰/۰۱۱$ ، $\varepsilon = ۰/۳$ ، $C = ۳۵$ دارای کمترین مجذور مربعات خطا و اریبی بود (جدول ۶).

جدول۶- نتایج و ارزیابی مربوط به آنالیز ماشین‌بردار پشتیبان برای تعیین بهترین پارامترهای مشخصه رویه‌زمینی در هکتار

کرنل	Gama	Epsilon	Capacity	RMSe (m^3/ha)	RMSe%	Bias (m^3/ha)	Bias%
شعاعی	۰/۰۱۱	۰/۵	۵۰	۱۰/۱۵	۴۲/۷۲	۰/۴۶	-۱/۹۶
چندجمله‌ای خطی درجه یک	۰/۰۱۱	۰/۳	۳۵	۹/۲۲	۳۸/۸۲	۰/۶۹	۲/۹۰
سیگموئید	۰/۰۱۱	۰/۱	۴۸	۹/۲۸	۳۹/۰۶	۰/۱۷	۰/۷۳
خطی	_	۰/۱	۴۲	۹/۲۱	۳۸/۷۵	۰/۷۴	۳/۱۲

برآورد حجم سرپا با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

در برآورد مشخصه حجم با روش جنگل تصادفی، تعداد ۴۰۰ درخت اولیه درنظر گرفته شد که نتایج نشان داد تعداد ۳۵۰ درخت دارای کمترین میانگین مربعات خطا بودند (شکل ۲).



شکل ۲- رابطه تغییر میانگین مربعات خطا در ارتباط با تعداد درختان ایجاد شده برای مشخصه حجم سرپا

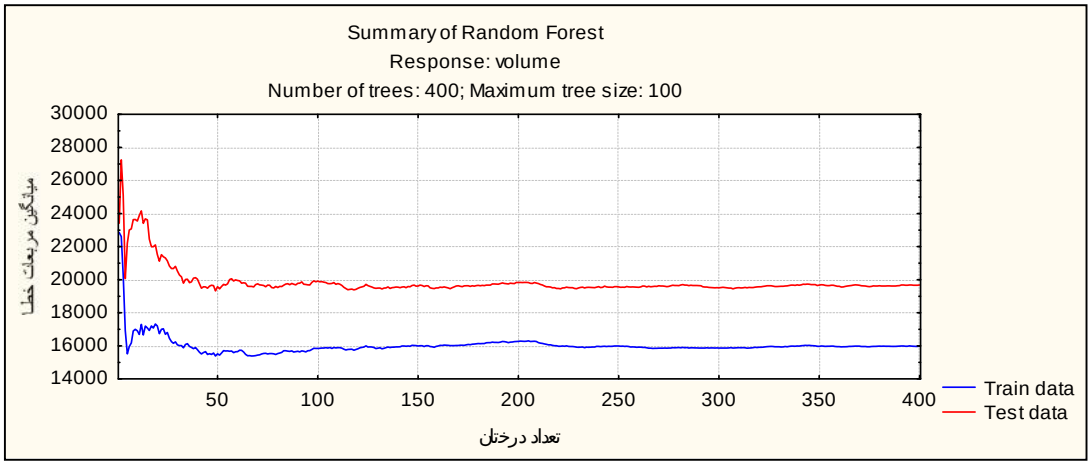
جدول ۷ نتایج معیارهای ارزیابی به‌دست‌آمده از الگوریتم جنگل تصادفی با تعداد k های مختلف در برآورد حجم سرپا را نشان می‌دهد. براساس نتایج، k =۱۰ دارای کمترین مقدار مجذور مربعات خطا بود و به‌عنوان k بهینه در برآورد حجم سرپا با استفاده از داده‌های Pleiades انتخاب شد.

برآورد رویه زمینی در هکتار با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

در برآورد مشخصه رویه زمینی با روش جنگل تصادفی، تعداد ۴۰۰ درخت اولیه درنظر گرفته شد که نتایج نشان داد تعداد ۲۲۵ درخت دارای کمترین میانگین مربعات خطا بودند (شکل ۳).

جدول ۷- نتایج و ارزیابی مربوط به تجزیه و تحلیل جنگل تصادفی برای تعیین بهترین پارامترها برای مشخصه حجم سرپا

تعداد درخت بهینه	تعداد برآوردکننده k	RMSe (m^3/ha)	RMSe%	Bias (m^3/ha)	Bias٪
۳۵۰	۷	۱۴۴/۲۳	۴۷/۶۷	-۱/۴۲	-۰/۴۶
۳۵۰	۸	۱۴۵/۱۷	۴۷/۹۸	-۳/۸۳	-۱/۲۶
۳۵۰	۹	۱۴۱/۷۵	۴۶/۸۵	-۰/۲۸	-۰/۰۹۳
۳۵۰	۱۰	۱۴۰/۹۷	۴۶/۵۹	-۱/۵۱	-۰/۵۰
۳۵۰	۱۱	۱۴۲/۴۳	۴۷/۰۷	-۲/۲۶	-۰/۷۴



شکل ۳- رابطه تغییر میانگین مربعات خطا در ارتباط با تعداد درختان ایجاد شده برای مشخصه رویه‌زمینی

جدول ۸ نتایج معیارهای ارزیابی به‌دست‌آمده از الگوریتم جنگل تصادفی با تعداد k های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که k =۱۱ دارای کمترین مقدار مجذور مربعات خطا بود و به عنوان k بهینه در برآورد رویه زمینی با استفاده از داده‌های Pleiades انتخاب شد.

در جدول ۹ نتایج ارزیابی اعتبار بهترین مدل‌ها با هر یک از الگوریتم‌ها برای دو مشخصه حجم سرپا و رویه زمینی ارائه شده است.

جدول ۸- نتایج و ارزیابی مربوط به آنالیز جنگل تصادفی برای تعیین بهترین پارامتر برای مشخصه رویه زمینی

تعداد درخت بهینه	تعداد برآوردکننده k	RMSe (m^2/ha)	RMSe%	Bias (m^2/ha)	Bias%
۲۲۵	۷	۹/۸۳	۴۱/۳۶	-۰,۰۸۷	-۰/۳۷
۲۲۵	۸	۹/۷۶	۴۱/۰۷	۰/۰۴۲	۰/۱۸
۲۲۵	۹	۹/۸۳	۴۱/۳۸	۰/۱۱	۰/۴۶
۲۲۵	۱۰	۹/۸۲	۴۱/۳۳	-۰/۱۴	-۰/۶۰
۲۲۵	۱۱	۹/۷۳	۴۰/۹۴	-۰/۱۵	-۰/۶۶

جدول ۹- بهترین نتایج به‌دست‌آمده برای مشخصه‌های حجم سرپا و رویه زمینی در هکتار

	حجم در هکتار (مترمکعب در هکتار)				رویه زمینی در هکتار (مترمربع در هکتار)			
مدل	RMSe (m^2/ha)	%RMSe	Bias (m^2/ha)	%Bias	RMSe (m^3/ha)	%RMSe	Bias (m^2/ha)	%Bias
kامین نزدیک‌ترین همسایه	۱۳۷/۱۱	۴۵/۳۱	-۲۱/۳۸	-۷/۰۶	۹/۴۴	۳۹/۷۲	-۱/۰۴	-۴/۴۰
ماشین بردار پشتیبان	۱۳۶/۵۵	۴۵/۱۳	-۹/۸۷	-۳/۲۱	۹/۲۱	۳۸/۷۵	۰/۷۴	۳/۱۲
جنگل تصادفی	۱۴۰/۹۷	۴۶/۵۹	-۱/۵۱	-۰/۵۰	۹/۷۳	۴۰/۹۴	-۰/۱۵	-۰/۶۶

بحث

هدف از پژوهش پیش‌رو برآورد برخی مشخصه‌های ساختاری جنگل (حجم و رویه‌زمینی) با استفاده از داده‌های طیفی ماهواره Pleiades و الگوریتم‌های ناپارامتریک kامین نزدیک‌ترین همسایه وزن‌دار، ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی بود. مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی در برآورد حجم به‌ترتیب با الگوریتم kامین نزدیک‌ترین همسایه وزن‌دار برابر با ۴۵/۳۱ درصد و ۷/۰۶- درصد، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برابر با ۴۵/۱۳ درصد و ۳/۲۱ درصد و الگوریتم جنگل تصادفی برابر با ۴۶/۵۹ درصد و۰/۵۰- درصد به‌دست آمد. به‌طور کلی در پژوهش پیش‌رو بین درصد مجذور میانگین مربعات خطای به‌دست‌آمده از برآورد حجم سرپا بین الگوریتم‌های ناپارامتریک تفاوت زیادی وجود نداشت (حدود دو درصد). الگوریتم ماشین بردار پشتیبان دارای کمترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (۴۵/۱۳ درصد) در برآورد مشخصه حجم سرپا بود که در مقایسه با پژوهش‌های پیشین (Tokola & Heikikkilä, 1997; Kilpelainen & Tokola, 1999; Hyyppä *et al*., 2000; Gu *et al*., 2006; Kajisa *et al*., 2008) که به‌ترتیب ۸۲، ۵۶، ۶۶/۲، ۸۸/۱۹ و ۵۰ درصد بوده است، دارای وضعیت بهتری می‌باشد که ازجمله دلایل آن می‌توان به بهتر بودن قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریک ماهواره Pleiades اشاره کرد. همچنین نسبت به نتیجه Günlü و همکاران (۲۰۱۴) با مجذور میانگین مربعات خطای ۱۵۳/۵۳ مترمکعب دارای نتیجه بهتری بود که علت آن را می‌توان به استفاده از روش‌های ناپارامتریک و بهتر بودن قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریک ماهواره Pleiades نسبت داد. نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش پیش‌رو در مقایسه با مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا در مطالعه Kalbi (۲۰۱۱) با استفاده از ماهواره Spot و Noorian (۲۰۱۳) با استفاده از سنجنده Quickbird که به‌ترتیب برابر با ۱۶/۰۲ و ۲۰/۳۵ درصد بودند، ضعیف‌تر بود که علت آن را می‌توان به ناهمگن بودن منطقه ازنظر بازتاب طیفی گونه‌ها و نوردهی و شدت آماربرداری نسبت داد. ضعیف‌تر بودن نتایج این مطالعه نسبت به نتیجه Mohamadi (۲۰۱۳) با درصد مجذور میانگین مربعات

خطای ۳۱/۴۲ درصد را نیز می‌توان به ضعیف‌تر بودن قدرت مکانی ماهواره Pleiades نسبت به داده‌های لیدار نسبت داد.

در کل نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های ماهواره Pleiades با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک نشان داد که استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با مجذور میانگین مربعات خطا ۴۵/۱۳ درصد و اریبی ۳/۲۱- درصد بهتر توانست حجم سرپا را برآورد کند و همچنین الگوریتم جنگل تصادفی با مجذور میانگین مربعات خطای ۴۶/۵۹ درصد و درصد اریبی ۰/۵۰- درصد دارای خطای به‌نسبت بیشتری نسبت به دو الگوریتم دیگر بود. درصد مجذور میانگین مربعات خطا و درصد اریبی در برآورد رویه زمینی به‌ترتیب با الگوریتم k نزدیک‌ترین همسایه وزن‌دار برابر با ۳۹/۷۲ و ۴/۴۰- درصد، با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، ۳۸/۷۵ و ۳/۱۲ درصد و با الگوریتم جنگل تصادفی، ۴۰/۹۴ و ۰/۶۶- درصد به‌دست آمد. به‌طور کلی، مجذور میانگین مربعات خطا بین الگوریتم‌های ناپارامتریک تفاوت زیادی نداشت (حدود دو درصد).

در پژوهش پیش‌رو الگوریتم ماشین بردار پشتیبان دارای کمترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (۳۸/۸۲ درصد) بود که در مقایسه با مطالعات Packalen و Maltamo (۲۰۰۷) با مجذور میانگین مربعات خطا ۸۷/۷۶ درصد در توده پهن‌برگ دارای نتیجه بهتری بود. در مقایسه با پژوهش Shataee و همکاران (۲۰۱۲) و Mohamadi (۲۰۱۳) که به‌ترتیب میزان رویه زمینی را برابر ۱۸/۳۹ و ۲۷/۱۶ درصد گزارش کردند، ضعیف‌تر است که علت آن نسبت به نتایج Shataee و همکاران (۲۰۱۲) به خاطر ناهمگن بودن منطقه و نسبت به نتایج Mohamadi (۲۰۱۳) استفاده از داده‌های لیدار و تلفیق آنها با تصاویر هوایی Ultracame D می‌باشد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که چون پژوهش پیش‌رو در یک منطقه بزرگ شامل مناطق جنگل‌کاری و جنگل طبیعی انجام شد، منطقه‌ای ناهمگن به‌شمار می‌رود. دلیل انتخاب این منطقه این بود که علاوه‌بر داده‌های طیفی سایر داده‌های کمکی مانند اقلیم، خاک و توپوگرافی نیز مورد آزمایش قرار گیرد. علاوه‌براین در هر قسمت از جنگل (جنگل طبیعی و دست کاشت) تعداد نمونه زمینی کافی نیز برداشت شد. درمجموع، گرچه نتیجه این مطالعه فاقد دقت کافی برای استفاده عملی در جنگل می‌باشد، اما برای به‌دست آوردن اطلاعات کلی از وضعیت توده مناسب است.

References

- Anonymus, 1996. Forest Management Plan of Darabkola Forest. Published by Forests, Range and Watershed Management Organization, Tehran, 82p (In Persian).
- Baret, F. and Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sensing of Environment, 55: 161-173.
- Bell, G.E., Howell, B.M., Johnson, G.V., Solie, J.B., Raun, W.R. and Stone, M.L., 2004. A comparison of measurements obtained using optical sensing with turf growth, chlorophyll content, and tissue nitrogen. Horticultural Science, 39(5):1130-1132.
- Breiman, L., 2001. Random forests. Machine Learning, 45(1): 5-32.
- Finely, A.O., McRobert, R.E. and Ek, A.R., 2006. Applying an efficient k-nearest neighbor search to forest attribute imputation. Forest Science, 52: 130-135.
- Gonzales, R.C. and woods, R.E., 2002. Digital Image Processing. Prentice Hal, 750p.
- Gu, H., Dai, L., Wu, G., Xu, D., Wang, S. and Wang, H., 2006. Estimation of forest volumes by integration Landsat TM imagery and forest inventory data. Science in China series E. Technological science, 49: 54-62.
- Günlü, A., Ercanl, I., Sönmez, T. and Zeki Başkent, E., 2014. Prediction of some stand parameters using pan-sharpened Ikonos satellite Image. European Journal of Remote Sensing, 47: 329-342.
- Holmstrom, H. and Fransson, J.E.S., 2003. Combining remotely sensed optical and radar data in K-NN estimation of forest variables. Forest Ecology and Management, 49(3):409-418.
- Horning, N., Robinson, J.A., Sterling, E.J., Turner, W. and Spector, S., 2010. Retrospective analysis of Two Northern California Wild-land Fires Via Landsat Five Satellite Imagery and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Remote Sensing for Ecology and Conservation. A Handbook of Techniques. Oxford University Press, Oxford, pp. 4-371.
- Huiyan, G., Limin, D., Gang, X., Shunzhong, W. and Hui, W., 2006. Estimation of forest volumes by integration Landsat TM imagery and forest inventory data. Science in China series E. Technological science, 49: 54-62.

- Hyyppä, J., Hyyppä, H., Inkinen, M., Engdahl, M., Linko, S. and Zhu, Y.H., 2000. Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes. Forest Ecology and Management, 128:109-120.
- Kajisa, T., Murakami, T., Mizoue, N., Kitahara, F. and Yoshida, S., 2008. Estimation of stand volumes using the k-nearest neighbors method in Kyushu, Japan. Journal of Forest Research, 13(4): 249-254.
- Kalbi, S., 2011. Capability of SPOT and ASTER data in estimation of some forest structure attributes (Case study: Darabkola's Forests). M.Sc. thesis, Department of Forestry, Sari Agricultural Sciences & Natural Resources University, 107p (In Persian).
- Kerr, J.T. and Ostrovsky, M., 2003. From space to species: Ecological applications for remote sensing. Trends in Ecology and Evolution, 18: 299–305.
- Khorami, K.R., 2004. Investigation of the potential of Landsat 7 ETM+ data in volume estimating of beech forest stands (Case study: Sangedeh area in north of Iran). M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 80p (In Persian).
- Kilpelainen, P. and Tokola, T., 1999. Gain to be achieved from stand delineation in Landsat TM image-based estimation of stand volume. Forest Ecology and Management, 124(2-3): 105-111.
- Kutzer, C., 2008. Potential of the K-NN method for estimation and monitoring off-reserve forest resources in Ghana. Ph.D. thesis, Department of Forestry and Environmental Sciences, Germany University of Albert-Ludwigs, 145p.
- Leboeuf, A., Fournier, R.A., Luther, J.E., Beaudoin, A. and Guindon, L., 2012. Forest attribute estimation of northeastern Canadian forests using QuickBird imagery and a shadow fraction method. Forest Ecology and Management, 266: 66-74.
- 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 and Management, 198:149-167.
- Makela, H. and 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.
- Mohamadi, J., 2007. Estimation of some characteristics of a forest to explore the possibility of creating spatial prediction models using satellite spectral data (Case study, oak Loveh). M.Sc. thesis, Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, 71p (In Persian).
- Mohamadi, J., 2013. Improve estimates of the quantitative characteristics of forest structure using a combination of data commonly called lidar and aerial digital images (Case Study: broadleaf forests Shastkalate Gorgan). Ph.D. thesis, Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, 241p (In Persian).
- Mosadegh, A., 2004. Silviculture. University of Tehran Press, 481p (In Persian).
- Noorian, N., 2013. Comparison of various medium (Aster and TM) and high (Quickbird) spatial resolution in estimation of a forest quantitative variables. M.Sc. thesis, Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, 120p (In Persian).
- Packalen, P., Maltamo, M., 2007. The k-MSN method for the prediction of species-specific stand attributes using airborne laser scanning and aerial photographs. Remote Sensing of Environment, 109(3): 328-341.
- Reese, H., Nilsson, M., Sandstorm, P. and Olsson, H., 2002. Applications using estimates of forest parameters derived from satellite and forest inventory data. Computers and Electronics in Agriculture, 37(1): 37-55.
- Richardson, A.J. and Wiegand, C.L., 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. Photogramnetric Engineering and Remote Sensing, 43(12): 1541-1552.
- Roujean, J.L. and Breon, F.M., 1995. Estimating PAR Absorbed by vegetation from Bidirectional reflectance measurement. Remote Sensing of Environment, 51: 375-384.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation system in the Great plains with ERTS. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Washington, DC., 10-14 Dec. 1973: 309-317.
- Shataee, Sh., 2011. Non-parametric forest attributes estimation using LIDAR and TM data. The Asian Conference on Remote Sensing, Taiwan, 3-7 Oct. 2011: 887-894.
- Shataee, Sh., Kalbi, S. and Fallah. A., 2012. Forest attributes imputation using machine-learning methods and ASTER data: comparison of k-NN, SVR and random forest regression algorithms. International Journal of Remote Sensing, 33(19): 6254-6280 (In Persian).
- Tokola, T. and Heikikkilä, J., 1997. Improving Satellite image based forest inventory by using a priori site quality information. Silva Fennica, 31: 67-78.
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8: 127-150.

Estimating quantitative forest attributes using Pleiades satellite data and non-parametric algorithms in Darabkola forests, Mazandaran

M. Zahriban[1*], A. Fallah[2], Sh. Shataee[3] and S. Kalbi[4]

1*- Corresponding author, M.Sc. Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mozhgan.zahriban@gmail.com
2- Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4- Ph.D. Student Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Received: 12.30.2014 Accepted: 04.25.2015

Abstract

Knowledge on quantitative forest attributes is a prerequisite for forest stand management. The aim of this study was to evaluate high resolution Pleiades data in estimating the standing volume and basal area using non-parametric algorithms in Darabkola forest of Sari, Mazandaran province. A sampling design of 144 plots each with area of 1000 m^2 was established using a systematic random sampling method. In each plot, information including as position of plot center, diameter at breast height of all trees within sample plot and height of selected trees were recorded, based on which the standing volume and basal area per ha were derived. The Pleiades data was preprocessed, and the pixel grey values corresponding to the ground samples were extracted from spectral bands. These were further considered as the independent variables to predict the standing volume and basal area per ha. Modeling was carried out based on 70% of sample plots as training set using K-Nearest Neighbor, support vector machine, and random forest methods. The predictions were cross-validated using the left-out 30% samples. Support vector machine comparatively retuned the best estimates for stand basal area with root mean square error of 38.75% and relative bias of 3.12, while it predicted the stand volume with root mean square error of 45.13% and relative bias of -3.21 as well. The results of study proved the average spectral and spatial capability of Pleiades data to estimate these two main, where the caveats are concluded to be mainly due to the heterogeneity and the density of forest stands across the study area.

Keywords: Darabkola Forest of Sari, non-parametric methods, Pleiades satellite, forest quantitative characteristics.