



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیستم، شماره چهارم، ۱۳۹۲

<http://jwfst.gau.ac.ir>

بررسی قابلیت داده‌های سنجنده SPOT5-HRG در برآورد برخی مشخصه‌های کمی جنگل (مطالعه موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی دارابکلا)

* سیاوش کلبی^۱، اصغر فلاح^۲ و شعبان شتایی جویباری^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۲ دانشیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۳ دانشیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۰

چکیده

هدف اصلی این پژوهش برآورد ۳ مشخصه کمی مهم جنگل شامل حجم، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار با استفاده از داده‌های سنجنده SPOT5-HRG در سری یک جنگل دارابکلا می‌باشد. پس از تصحیح هندسی تصاویر همراه با رفع اثر پستی و بلندی، پردازش‌های بارزسازی تصاویر شامل تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌گیری‌های مختلف برای ایجاد شاخص‌های مهم گیاهی انجام گردید. اطلاعات مربوط به قطر برابر سینه و ارتفاع درختان از طریق روش نمونه‌برداری خوشه‌ای تصادفی در ۱۰۰ قطعه نمونه در تپ‌های راش غالب برداشت گردید. محاسبه‌های مقادیر حجم، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار در سطح قطعاعات نمونه صورت گرفت. پس از آنالیز نرمال‌سازی داده‌ها، وجود رابطه بین داده‌های زمینی و طیفی با رگرسیون خطی مورد ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی اعتبار بهترین مدل به‌دست آمده با تعدادی قطعه نمونه و با معیارهای ارزیابی مناسب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که برای برآورد حجم سرپا، ترکیب خطی باندهای NIR و SWIR با ضریب تبیین اصلاح شده ۷۴/۵ درصد و مجذور میانگین مربعات خطای ۷۷/۱ مترمکعب در هکتار دارای نتایج بهتری نسبت به دیگر ترکیبات به‌کار گرفته شده است. برای مشخصه سطح مقطع برابر سینه، ترکیب خطی باند NIR و شاخص MSAVI2 بهترین نتایج را با مقدار ضریب تبیین اصلاح شده ۸۰/۵ و مجذور میانگین مربعات خطای ۴/۰۲ مترمربع در هکتار ارائه کرد. همچنین

* مسئول مکاتبه: s.kalbi63@gmail.com

ترکیب خطی باندها NIR و SWIR با ضریب تبیین اصلاح شده ۸۵/۷ و مجذور میانگین مربعات خطای ۴۴/۶ پایه بهتر توانست مشخصه تعداد درختان در هکتار را برآورد نماید. نتایج نشان داد که داده‌های سنجنده SPOT5-HRG دارای قابلیت به نسبت خوبی در برآورد کلی مشخصه‌های کمی حجم، سطح مقطع و تعداد در هکتار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: مشخصه‌های کمی جنگل، رگرسیون خطی، SPOT5-HRG، جنگل دارابکلا

مقدمه

جنگل‌ها نقش مهمی در چرخه کربن، تولید اکسیژن، کاهش گرد و غبار و آلاینده‌ها دارند. یکی از مهم‌ترین راه‌ها برای حفظ و مدیریت جنگل‌ها داشتن اطلاعات در مورد وضعیت کمی آن‌ها است. داشتن اطلاعات در مورد خصوصیات کمی مانند حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تعداد در هکتار به عنوان مهم‌ترین عوامل ارزیابی جنگل‌ها برای تجدید حیات، نگهداری، مدیریت و بهره‌برداری از منابع جنگلی بسیار مفید می‌باشد (لو و همکاران، ۲۰۰۵). داده‌های ماهواره‌ای به علت دارا بودن قابلیت‌های مناسب، می‌تواند فرصت مناسبی را برای جمع‌آوری اطلاعات در مورد جنگل‌ها ارائه کند. اگرچه تا به حال پژوهش زیادی در برآورد مشخصه‌های ساختاری با استفاده از داده‌های سنجنده‌هایی چون ASTER، Landsat TM/ ETM⁺ و SPOT HRV انجام شده است (آردو، ۱۹۹۲؛ گمل، ۱۹۹۵؛ هامه و همکاران، ۱۹۹۷؛ اشتینینگر، ۲۰۰۰؛ فرانکلین و همکاران، ۲۰۰۱؛ هیوانن، ۲۰۰۲؛ لو و همکاران، ۲۰۰۴؛ خرمی، ۲۰۰۴؛ محمدی، ۲۰۰۷). ولی به دلایلی هم‌چون پایین بودن قدرت تفکیک مکانی این سنجنده‌ها، اطلاعات اخذ شده برای استفاده عملی و دقیق در مدیریت جنگل‌ها چندان مفید نبوده است (تراتر و همکاران، ۱۹۹۷؛ سالوادور و پانس، ۱۹۹۸؛ کیپلایتن و تاکولا، ۱۹۹۹؛ هیپا و همکاران، ۲۰۰۰). در واقع، در بیش‌تر این مطالعات خطای برآوردی به دست آمده از این مطالعات در بیش‌تر حالت‌ها بیش از ۳۰ درصد گزارش شده است و برای استفاده در مدیریت عملی توده‌ها مناسب نمی‌باشد. هال و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از دو روش BioSTRUCT و مستقیم به وسیله داده‌های سنجنده Landsat ETM⁺، مشخصه‌های ساختاری جنگل را مدل‌سازی کردند. مدل به دست آمده برای حجم با استفاده از روش BioSTRUCT دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۷۱ درصد و مجذور میانگین مربعات خطای (RMSE) ۷۴/۷ مترمکعب در هکتار و با استفاده از روش مستقیم دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۳۰ درصد و مجذور میانگین مربعات خطای ۱۱۰/۸ مترمکعب در هکتار

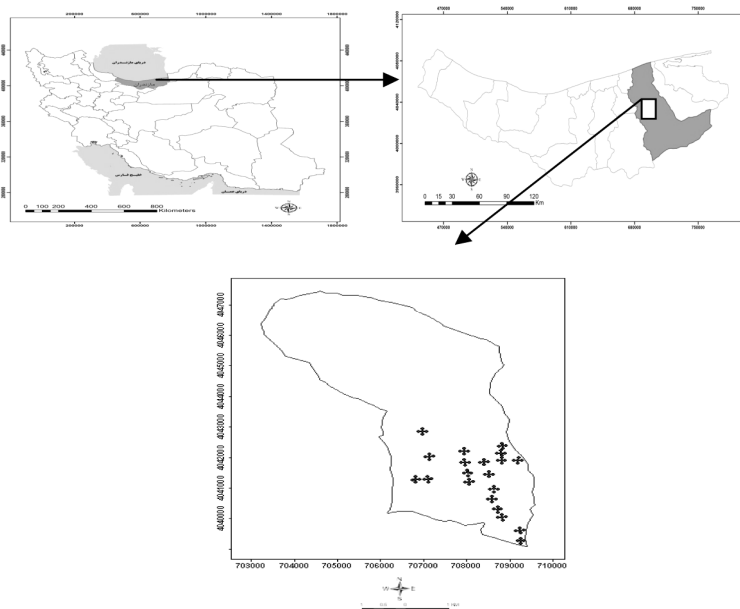
بوده است. گبرسلایس و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های ASTER مطالعه‌ای را در شمال آفریقا انجام دادند. آن‌ها این چنین نتیجه گرفتند که مشخصه‌های حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه، تعداد در هکتار و ارتفاع توده با باند مادون قرمز نزدیک و شاخص MSAVI2 ارتباط معنی‌دار بالایی به‌ترتیب با ضرایب تبیین اصلاح شده ۰/۵۱، ۰/۶۷، ۰/۶۵ و ۰/۵۳ دارند. در این مطالعه هم‌چنین در موقعی که مشخصه‌های ساختاری را با داده‌های کمکی شاخص رویشگاه و سن تلفیق شد، مقدار ضرایب مدل برآورد به‌دست آمده برای مشخصه‌های حجم، سطح مقطع و تعداد در هکتار به‌ترتیب به ۰/۸۸، ۰/۸۴ و ۰/۸۱، بهبود یافت. والتر و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های سنجنده SPOT5-HRG مطالعه‌ای را برای برآورد مشخصه‌های ساختاری جنگل انجام دادند. آن‌ها از روش رگرسیونی PLS^۱ برای مدل‌سازی مشخصه‌های ساختاری استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که سطح مقطع برآوردی برای توده سوزنی‌برگ و پهن‌برگ به‌ترتیب دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۷۴ و ۷۱ درصد و مجذور میانگین مربعات خطای ۴/۵۸ و ۲/۴۷ مترمربع در هکتار بود. در داخل کشور هم محمدی (۲۰۰۷) مطالعه‌ای را با استفاده از داده‌های سنجنده ETM⁺ در شمال ایران و در جنگل لوه مینودشت برای برآورد حجم سرپا و تراکم جنگل انجام داد. نتایج نشان داد که ترکیب خطی شاخص‌های DVI و Greenness بهتر توانستند مشخصه حجم را با ضریب تبیین اصلاح شده ۴۳ درصد و میانگین مجذور خطای ۹۷/۴ (مترمکعب در هکتار) برآورد نمایند. اما برای مشخصه تعداد در هکتار، باندهای ETM4 و ETM5 نسبت به دیگر شاخص‌ها و باندها، نتایج بهتری را ارائه دادند (RMSE= ۱۷۰/۱۳ n/ha). $R^2 = ۷۳/۴$. خرمی (۲۰۰۴) با استفاده از داده‌های سنجنده ETM⁺ حجم سرپا را در توده‌های راش در جنگل‌های تحت پوشش شرکت چوب فریم واقع در استان مازندران مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. نتایج این پژوهش نشان داد داده‌های باند مادون قرمز نزدیک و باند ۴ ادغام‌یافته با باند PAN، بیش‌ترین میزان همبستگی را با حجم سرپا نشان داد. ضریب تبیین به‌دست آمده در این مطالعه برابر ۵۸ درصد بود. پژوهش‌هایی که تاکنون انجام شده است به‌طور عمده با استفاده از داده‌های با قدرت تفکیک مکانی متوسط (۲۰-۳۰ متر) بوده است. با توجه به قدرت تفکیک مکانی به‌نسبت خوب سنجنده SPOT-HRG که در سه باند سبز و قرمز و مادون قرمز نزدیک دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر به همراه یک باند مادون قرمز میانی ۲۰ متر می‌باشد می‌تواند در پژوهش‌های برآورد مشخصه‌های کمی جنگل مورد بررسی قرار گیرد. بر همین اساس در این پژوهش توانایی سنجنده SPOT5-HRG با قدرت تفکیک ۱۰ و ۲۰ متر در برآورد سه مشخصه کمی ساختاری جنگل شامل

1- Partial Least Squares

موجودی سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار در جنگل سری یک دارابکلای ساری مورد آزمون و پژوهش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش در بخشی از جنگل آموزشی و پژوهشی دارابکلای ساری و با مساحتی حدود ۲۶۱۲ هکتار انجام گرفت که در چند سال اخیر تحت مدیریت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در کشور ایران، استان مازندران به همراه موقعیت قطعات نمونه را در روی بخشی از سری یک دارابکلا.

برداشت اطلاعات زمینی: به منظور بررسی دقیق‌تر قابلیت داده‌های SPOT5-HRG در برآورد مشخصه‌های کمی حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تعداد در هکتار سعی گردید تا اثر سایر مؤلفه‌های مؤثر بر بازتاب مشخصه‌های کمی جنگل مانند اثر نوردهی به دست آمده از شرایط متفاوت توپوگرافی و اثر ترکیب گونه‌ها در برآورد این پارامترها تا حد ممکن کاهش یابد. برای این منظور

برداشت نمونه‌ها در تابستان ۱۳۸۸ و در یک جهت جغرافیایی (جهت شمالی) و در یک تیپ جنگلی (راش غالب) انجام گردید. برداشت نمونه‌ها با استفاده از روش نمونه‌برداری خوشه‌ای و با تعداد ۲۰ خوشه ۵ تایی (شکل ۱) و نمونه‌ها به شکل مربع و با مساحت 60×60 متر (3600 مترمربع) مطابق با ابعاد ۳۶ پیکسل باندهای VNIR و یا ۹ پیکسل باند SWIR سنجنده SPOT5-HRG صورت گرفت. موقعیت مرکز قطعات نمونه با استفاده از دستگاه GPS^۱ و با روش میانگین‌گیری در یک دوره زمانی مناسب ثبت گردید و در هر قطعه نمونه اطلاعات قطر برابر سینه برای تمامی درختان با قطر بیش از $7/5$ سانتی‌متر، نوع گونه و ارتفاع ۱۰ درخت در هر قطعه نمونه (نزدیک‌ترین و قطورترین درختان در مرکز و نزدیک‌ترین و قطورترین درختان در ۴ گوشه قطعه نمونه) برداشت شد. مقادیر حجم سرپای درختان در هکتار در هر قطعه نمونه با استفاده از جدول حجم محلی محاسبه شد. همچنین مقادیر سطح مقطع و تعداد درختان در هکتار برای تمامی قطعات نمونه به هکتار محاسبه گردید.

داده‌های ماهواره‌ای: در این مطالعه داده‌های سنجنده SPOT5-HRG مربوط به تاریخ ۴ ژوئن سال ۲۰۰۹ برابر با ۱۴ خرداد ۱۳۸۸ و هم‌زمان با زمان برداشت اطلاعات با سطوح تصحیحات 1A مورد استفاده قرار گرفت. این سنجنده دارای سه نوع داده PAN، VNIR^۲ و SWIR^۳ می‌باشد. قدرت تفکیک مکانی این سه نوع داده به‌ترتیب برابر ۵، ۱۰ و ۲۰ متر می‌باشد. از داده‌های PAN این ماهواره به‌دلیل نبود قدرت تفکیک طیفی مناسب برای پدیده‌های مورد بررسی استفاده نشد.

پیش‌پردازش تصاویر: تصحیح هندسی تصاویر از نوع ارتو به‌منظور حذف اثر توپوگرافی بر هندسه تصویر با استفاده از مدل رقومی زمین منطقه (DEM)^۴ با دقت ارتفاعی ۱۰ متر و همچنین با تعداد ۲۳ نقطه کنترل زمینی (GCP)^۵ نهایی صورت گرفت. تصاویر با میزان خطای RMSE^۶ نهایی برابر با $0/37$ پیکسل برای داده‌های VNIR و برابر با $0/5$ پیکسل برای داده‌های SWIR زمین مرجع گردیدند. با عمل نمونه‌گیری دوباره و برای هماهنگ‌سازی ابعاد پیکسل‌های تصاویر مقدار ابعاد پیکسل‌های تصاویر SWIR به ۱۰ متر تبدیل گردید. برای بررسی میزان دقت تصحیحات هندسی صورت گرفته از لایه‌های برداری جاده‌ها استفاده شد و از صحت این تصحیحات اطمینان حاصل شد.

-
- 1- Global Position System
 - 2- Visible and Near Infrared
 - 3- Short Wave Infrared
 - 4- Digital Elevation Model
 - 5- Ground Control Points
 - 6- Root Mean Square Error

پردازش تصاویر: در این پژوهش از پردازش‌های مختلفی به منظور بررسی قابلیت این نوع پردازش‌ها در بارزسازی مشخصه‌های کمی در روی تصاویر طیفی استفاده گردید. یکی از مهم‌ترین پردازش‌ها، نسبت‌گیری باندها و ایجاد شاخص‌های معروف گیاهی می‌باشد. در این مطالعه از ۳۰ شاخص گیاهی مورد استفاده در پژوهش‌های مشابه استفاده شد. در جدول ۱ تعداد محدودی از این شاخص‌ها آورده شده است.

جدول ۱- تعدادی از شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در این مطالعه.

منبع	فرمول	شاخص گیاهی
Jiang et al., 2003	Red/ NIR	Stress Index (SI)
Tucker, 1979	NIR-RED	Differential Vegetation Index (DVI)
Rouse et al., 1973	NIR-Red/ NIR+Red	Normalized Differential Vegetation Index (NDVI)
Rock et al., 1986	SWIR/NIR	Moisture Stress Index (MSI)
Qi et al., 1994	$(0.5) * (2 * (NIR + 1) - \sqrt{((2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - R))})$	Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI2)
Birth and Mcvey, 1968	NIR/Red	Simple Ratio (SR)
Gao, 1996	NIR-SWIR/NIR+SWIR	Normalized Difference Water Index (NDWI)

استخراج اطلاعات و بررسی همبستگی: میانگین ارزش‌های رقومی پیکسل‌های متناظر با ابعاد قطعات نمونه (۶×۶ پیکسل)، از تمام باندها و شاخص گیاهی استخراج شد. آنالیز همبستگی بین تمامی متغیرهای مستقل انجام و با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، باندها و شاخص‌هایی که دارای کم‌ترین همبستگی با هم بودند برای مدل‌سازی استفاده گردید (ماهینی و تورنر، ۲۰۰۳). شرط استفاده از ضریب همبستگی پیرسون نرمال بودن داده‌ها می‌باشد. با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱ از نرمال بودن داده‌ها اطلاع حاصل شد ($P \text{ value} > 0/05$). سپس شاخص‌هایی برای برآورد متغیرهای مورد بررسی استفاده شد که بیش‌ترین همبستگی با مشخصه‌های ساختاری موردنظر را داشتند.

مدل‌سازی آماری و ارزیابی اعتبار برآوردها: مدل‌سازی آماری بین متغیرهای کمی مورد بررسی و ارزش‌های طیفی متناظر با قطعات نمونه در ۸۵ قطعه نمونه با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی و انتخاب بهترین متغیرهای مستقل در بررسی ارتباط بین مشخصات ساختاری توده و متغیرهای مستقل به روش انتخاب بهترین زیرمجموعه^۲ صورت گرفت. آنالیز رگرسیون بهترین زیرمجموعه مناسب‌ترین مدل‌های رگرسیونی ممکن که می‌تواند با متغیرهای پیش‌بینی ساخته شود را تعیین می‌کند. با استفاده از آنالیز

1- Kolmogorov-Smirnov

2- Best Subset

رگرسیون بهترین زیرمجموعه بهترین مدل‌ها پیش‌بینی‌کننده ممکن مورد ارزیابی قرار گرفتند و سپس به منظور انتخاب بهترین مدل، مدل‌های به‌دست آمده با استفاده از آماره‌های R^2 ، R^2_{adj} ، CP Mallow، MSE، AIC (corrected)، Schwarz's BIC^۲ مورد ارزیابی قرار گرفتند. برآورد مقدار سایر نقاط از منطقه مورد بررسی با استفاده از بهترین مدل‌های به‌دست آمده از مدل‌سازی متغیرهای حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار با ارزش‌های طیفی به‌وسیله رگرسیون چندمتغیره خطی صورت گرفت. با توجه به این‌که نتایج هر مدل‌سازی باید اعتبارسنجی شود بنابراین در این پژوهش ۱۵ درصد (۱۵ قطعه نمونه) از قطعات نمونه که در فرآیند مدل‌سازی شرکت داده نشدند، برای ارزیابی اعتبار خروجی بهترین مدل‌های به‌دست آمده مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی اعتبار برآوردها، از معیارهای RMSE، RMSE نسبی، Bias و Bias نسبی استفاده شد (ماکلا و پکارین، ۲۰۰۴). همچنین نتایج مدل‌های به‌دست آمده از نظر گرافیکی و تفاوت میانگین‌ها مورد بررسی قرار گرفتند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{N}} \quad RMSE_r = \frac{RMSE}{Y} \times 100$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)}{N} \quad Bias_r = \frac{Bias}{y} \times 100$$

که در آن، \hat{Y}_i : مقدار برآورد شده، \bar{y} : میانگین برآورده شده، Y_i : مقدار مشاهده شده و n : تعداد مشاهده‌ها می‌باشد.

نتایج

نتایج اولیه از بررسی وضعیت متغیرهای مورد بررسی در منطقه نشان می‌دهد که میانگین حجم، سطح مقطع و تراکم درختان به ترتیب ۳۸۲/۹ مترمکعب در هکتار، ۳۴/۲ مترمربع در هکتار و ۳۰۱/۴ پایه در هکتار قرار دارند. مشخصه‌های توصیفی داده‌های مدل و ارزیابی در جدول ۲ آورده شده است.

- 1- Akaike Information Criterion
- 2- Schwarz's Bayesian Information Criterion

جدول ۲- مشخصه‌های توصیفی مدل و ارزیابی مدل برای مشخصه‌های حجم، سطح مقطع و تعداد در هکتار.

	حجم (m ^۳ /ha)		سطح مقطع (m ^۲ /ha)		تراکم (n/ha)	
	مدل	ارزیابی	مدل	ارزیابی	مدل	ارزیابی
تعداد	۸۵	۱۵	۸۵	۱۵	۸۵	۱۵
میانگین	۳۸۲/۹	۳۷۲/۲	۳۴/۲	۳۱/۹	۳۰۱/۴	۳۰۲/۴
انحراف معیار	۱۳۲/۱	۱۲۱/۳	۷/۴۱	۵/۴۶	۷۲/۱۳	۵۹/۱۱
دامنه تغییرات	۵۱۱	۴۳۲/۹	۳۲	۱۸/۲	۲۸۵/۵	۱۷۷/۱
حداکثر	۶۴۳/۵	۵۹۱/۹	۵۰	۴۲	۴۴۰/۸	۴۱۰/۴
حداقل	۱۳۲/۵	۱۵۹	۱۸	۲۳/۸	۱۵۵/۳	۲۳۳/۳

در برآورد مشخصه حجم سرپا، نتایج روش انتخاب بهترین زیرمجموعه نشان داد که ترکیب خطی باندهای NIR و SWIR به‌عنوان متغیر مستقل نسبت به سایر ترکیبات باندی و شاخص‌های گیاهی به‌کار رفته در این مطالعه بهترین نتایج را داشته است. هم‌چنین مدل رگرسیونی با استفاده از این ترکیب دارای بهترین نتایج از نظر مقادیر ضریب تبیین اصلاح شده، میانگین مربعات خطا و CP مالو، معیارهای اطلاعاتی اکائیک (AIC)، اکائیک تصحیح شده و بایسین شوارتز (Schwartz BIC) می‌باشد. جدول ۳ مقادیر ضرایب مورد استفاده برای هر یک از مدل‌های مورد بررسی با استفاده از ترکیب‌های مختلف از متغیرهای مستقل را نشان می‌دهد.

جدول ۳- R^۲, R^۲_{adj}, cp مالو، میانگین مربعات خطا، AIC، AIC تصحیح شده و BIC شوارتز مقایسه شده برای برآورد حجم توده.

متغیرهای مستقل	R ^۲	R ^۲ _{adj}	CP Mallow	MSE	AIC	AIC (cor)	Schwartz BIC
NIR	۷۴/۴	۷۴/۱	۱/۶	۶۴/۲	۸۹۷/۰۴	۸۹۷/۳	۹۰۴/۱
SVR	۴۹/۴	۴۸/۸	۷۷/۵۴	۹۰/۳	۹۵۱/۶	۹۵۱/۹	۹۵۸/۷
NIR SVR	۷۵/۱	۷۴/۴	۱/۷	۶۳/۸	۸۹۷/۰۳	۸۹۷/۵	۹۰۶/۵
NIR SWIR	۷۵/۲	۷۴/۵	۱/۴	۶۳/۷	۸۹۶/۷	۸۹۷/۲	۹۰۶/۲
NIR SWIR MSAVI2	۷۵/۳	۷۴/۳	۳/۱	۶۴/۰۲	۸۹۸/۴	۸۹۹/۲	۹۱۰/۳
NIR SWIR MSAVI2 SVR	۷۵/۳	۷۴/۰	۵	۶۴/۴	۹۰۰/۳	۹۰۱/۴	۹۱۴/۶

جدول ۴ نتایج ارزیابی اعتبار مدل به دست آمده از ترکیب خطی باندهای NIR و SWIR را نشان می‌دهد که با ضریب تبیین اصلاح شده ۷۴/۵ درصد و و مجذور میانگین مربعات خطای ۷۷/۱ مترمکعب در مقایسه با دیگر ترکیبات مورد بررسی به‌عنوان بهترین مدل برای برآورد حجم سرپا انتخاب شده است. همچنین نتایج آنالیز واریانس برای مشخصه حجم سرپا نشان داد مدل رگرسیونی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد ($P < 0.001$).

جدول ۴- نتایج رگرسیون چندمتغیره بهترین مدل انتخاب شده برای برآورد حجم توده و نتایج ارزیابی اعتبار آن‌ها.

متغیر وابسته	متغیرهای مستقل	ضرایب	عدد ثابت	R^2_{adj} (درصد)	RMSE (m ³ /ha)	RMSE _r (درصد)	Bais (m ³ /ha)	Baisr (درصد)
حجم توده (m ³ /ha)	NIR SWIR	-۱۰/۹ -۴/۰۲	۲۶۴۳	۷۴/۵	۷۷/۱	۱۹/۸	-۳۱	-۸/۰۹

برای برآورد سطح مقطع در هکتار، نتایج روش بهترین زیرمجموعه نشان داد که باند NIR و شاخص MSAVI2 به‌عنوان بهترین متغیر مستقل دارای بهترین نتایج در بخش‌های R^2_{adj} ، میانگین مربعات خطا، cp، مالو، AIC، AIC تصحیح شده و BIC بودند. نتایج بهترین مدل‌ها به همراه مقادیر ضرایب در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- مقادیر R^2 ، R^2_{adj} ، cp، مالو، میانگین مربعات خطا، AIC، AIC تصحیح شده و BIC شوارتز مقایسه شده برای بهترین مدل‌های برآورد سطح مقطع در هکتار.

متغیرهای مستقل	R^2	R^2_{adj}	CP Mallow	MSE	AIC	AIC (cor)	Schwartz BIC
NIR	۷۷/۷	۷۷/۵	۱۳/۶	۳/۸	۴۷۰/۰۳	۴۷۰/۳	۴۷۷/۳
SWIR	۴۱	۴۱/۳	۱۶۸	۶/۳	۵۵۱/۸	۵۵۲/۱	۵۵۹/۱
NIR MSAVI2	۸۰/۹	۸۰/۴	۲/۳	۳/۶	۴۵۹/۱	۴۵۹/۶	۴۶۸/۸
NIR SVR SWIR	۸۱/۲	۸۰/۵	۳	۳/۶	۴۵۹/۷	۴۶۰/۵	۴۷۱/۹
NIR SVR SWIR MSAVI2	۸۱/۲	۸۰/۲	۵	۳/۶	۴۶۱/۷	۴۶۲/۸	۴۷۶/۳

مدل رگرسیونی با ترکیب خطی باند NIR و شاخص MSAVI2، دارای بهترین نتایج برای برآورد سطح مقطع در هکتار ($R^2_{adj}=80/5$ و $RMSE=4/02 m^2/ha$) در مقایسه با سایر ترکیبات باندهای سنجنده SPOT و شاخص‌های گیاهی بوده است. نتایج ارزیابی اعتبار مدل رگرسیونی سطح مقطع در جدول ۶ آورده شده است. همچنین نتایج آنالیز واریانس برای مشخصه سطح مقطع در هکتار نشان داد مدل رگرسیونی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود ($P<0/001$).

جدول ۶- نتایج آنالیز چندمتغیره برای برآورد سطح مقطع در هکتار.

متغیر وابسته	متغیرهای مستقل	ضرایب	عدد ثابت	R^2_{adj} (درصد)	RMSE (m ² /ha)	RMSE _r (درصد)	Bais (m ² /ha)	Baisr (درصد)
سطح مقطع در هکتار (m ² /ha)	NIR MSAVI2	-0/896 363	262	80/4	4/02	11/75	-1/43	-4/1

برای برآورد متغیر تعداد درختان در هکتار، ترکیب خطی باندهای NIR و SWIR دارای بهترین نتایج از نظر مقادیر ضرایب R^2 ، R^2_{adj} ، میانگین مربعات خطا، CP، مالو، AIC، AIC تصحیح شده و BIC شوارتز بوده است. مقادیر این ضرایب برای ترکیبات مختلف در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷- مقادیر R^2 ، R^2_{adj} ، cp، مالو، میانگین مربعات خطا، AIC، AIC تصحیح شده و BIC شوارتز مقایسه شده برای بهترین مدل‌های برآورد تعداد درختان در هکتار.

متغیرهای مستقل	R^2	R^2_{adj}	CP Mallow	MSE	AIC	AIC (cor)	Schwartz BIC
NIR	84/3	84/1	9/7	31/1	810/2	810/6	817/5
SVR	58/3	57/8	156/1	50/6	891/2	819/5	898/4
NIR SWIR	86/0	85/7	1/7	29/5	802/5	802/9	812/07
NIR SVR SWIR	86/1	85/6	3/4	29/6	804/2	804/9	816/9
NIR SVR SWIR MSAVI2	86/2	85/5	5	29/7	805/6	806/7	820/1

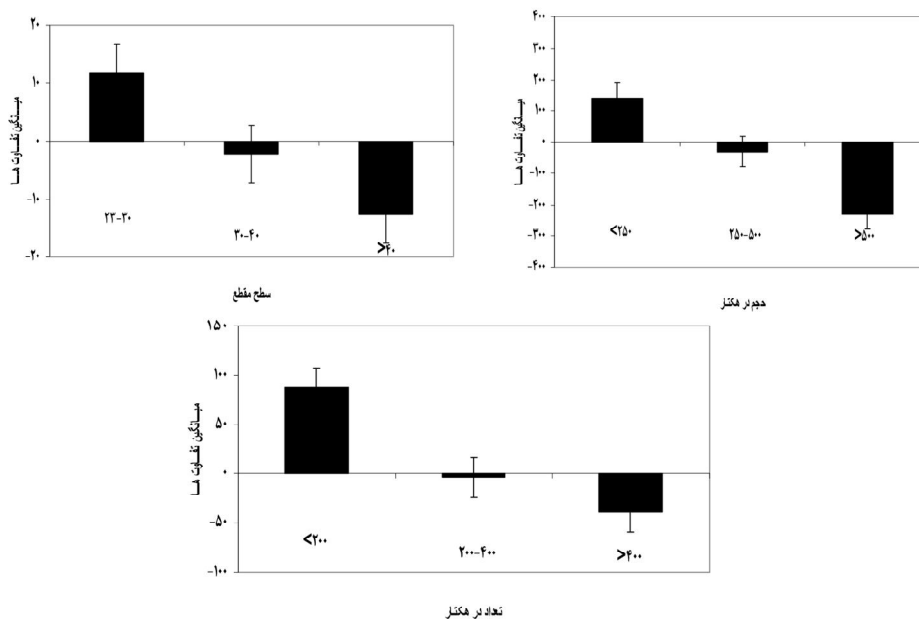
نتایج نشان داد که مدل رگرسیونی چندمتغیره با استفاده از باندهای NIR و SWIR بهترین نتیجه را در میان سایر مدل‌های رگرسیونی ارائه کرد. این مدل دارای ضریب تبیین اصلاح شده 85/7 درصد و ریشه میانگین مجذور خطای 44/6 تعداد در هکتار می‌باشد. نتایج ارزیابی اعتبار مدل بالا در جدول

۸ آورده شده است. همچنین نتایج آنالیز واریانس برای مشخصه تعداد درختان در هکتار نشان داد که مدل رگرسیونی در سطح ۹۹ درصد معنی دار می باشد ($P < 0.001$).

جدول ۸- نتایج رگرسیون چندمتغیره و ارزیابی بهترین مدل در برآورد متغیر تعداد درختان در هکتار.

متغیر وابسته	متغیرهای مستقل	ضرایب	عدد ثابت	R^2_{adj} (درصد)	RMSE (n/ha)	RMSE _r (درصد)	Bais (n/ha)	Baisr (درصد)
تعداد درختان (n/ha)	NIR SWIR	۶/۸۹ ۳/۹۱	-۱۲۶۸	۸۵/۷	۴۴/۶	۱۴/۸	۸/۳	۲/۷

بررسی تفاوت میانگین‌ها: نتایج بررسی تفاوت میانگین‌ها نشان داد که مشخصه حجم سرپا بهترین برآورد را برای توده با حجم ۲۵۰-۵۰۰ مترمکعب در هکتار دارد. همچنین مشخصه‌های سطح مقطع و تعداد در هکتار ترتیب بین ۴۰-۳۰ مترمربع و ۴۰۰-۲۰۰ پایه در هکتار دارای کمترین تفاوت میانگین‌ها بودند (شکل ۲).



شکل ۲- میانگین تفاوت‌های بین حجم سرپا (الف) و سطح مقطع (ب) و تعداد درختان در هکتار (ج).

بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه بررسی قابلیت داده‌های سنجنده SPOT5-HRG در برآورد مشخصه‌های حجم، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار در سری یک جنگل دارابکلا می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که باند مادون قرمز برای برآورد مشخصه‌های کمی جنگل بسیار مفید و مناسب می‌باشد. وجود رابطه با معنی‌داری بالا بین باند مادون قرمز نزدیک با مشخصه‌های کمی جنگل را می‌توان در نتایج (ریپلی و همکاران، ۱۹۹۱؛ نلسون، ۲۰۰۲؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ هال و همکاران، ۲۰۰۶) نیز مشاهده کرد. نتایج مدل‌سازی برای مشخصه حجم سرپای جنگل نشان داد که ترکیب خطی باندهای NIR و SWIR با ضریب تبیین اصلاح شده ۷۴/۵ درصد و میانگین مجذور خطای باقی‌مانده ۷۷/۱ مترمکعب در هکتار در مقایسه با دیگر ترکیبات مورد بررسی در این مطالعه دارای بهترین نتایج می‌باشد. نتایج نشان داد که همبستگی بین حجم سرپای و باندها و شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در این مطالعه منفی بود. از دلایل وجود این رابطه منفی این است که با افزایش حجم سرپای میزان بازتابش در طول موج‌های مختلف کاهش می‌یابد. دلیل این امر این است که با افزایش سن و رشد حجمی درختان، میزان حفرات و فضای خالی در تاج پوشش بیش‌تر می‌شود و تعداد برگ‌ها کاهش یافته و میزان سطوحی را که برگ‌ها می‌پوشانند نیز کم می‌شود و همچنین تعداد اشکوب نیز افزایش می‌یابد و باعث نفوذ انرژی تابشی به داخل جنگل و پخش و در نهایت کاهش بازتاب طیفی می‌شود. وجود رابطه منفی بین حجم سرپای و ارزش طیفی متناظر در نتایج مشابه نیز تأیید شده است (آردو، ۱۹۹۲؛ گمل، ۱۹۹۵؛ هامه و همکاران، ۱۹۹۷؛ اشتینینگر، ۲۰۰۰؛ فرانکلین و همکاران، ۲۰۰۱؛ هیوانن، ۲۰۰۲؛ لو و همکاران، ۲۰۰۴؛ خرمی، ۲۰۰۴؛ محمدی، ۲۰۰۷). مقدار ضریب تبیین اصلاح شده به‌دست آمده در این مطالعه نسبت به نتایج تراتر و همکاران (۲۰۰۹)، محمدی (۲۰۰۷)، هال و همکاران (۲۰۰۶) در هر دو حالت استفاده از روش مستقیم و با استفاده از روش BioSTRUCT و نتایج گبرسلایس و همکاران (۲۰۰۹) بدون استفاده از داده‌های کمکی، که به‌ترتیب دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۴۳، ۰/۵۸، ۰/۷۱، ۰/۳۰ و ۰/۵۱ بوده است، وضعیت بهتری دارد. دلیل این امر می‌تواند به‌علت انتخاب منطقه همگن از نظر تیپ و توپوگرافی به‌ترتیب برای کاهش اثر بازتاب گونه‌ها و اثر نوردی بر بازتاب توده در شرایط مختلف متغیرهای مورد بررسی باشد و همچنین بهتر بودن قدرت تفکیک طیفی سنجنده SPOT نسبت به سنجنده‌های TM و ETM⁺ به‌ویژه در مادون قرمز میانی می‌باشد. مطابق با نتایج هیپا و همکاران (۲۰۰۰) میزان خطا برای برآورد مشخصه‌های ساختاری برای سنجنده با قدرت تفکیک مکانی بالاتر نسبت به سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی پایین‌تر کاهش می‌یابد.

میزان خطای برآورد شده توسط مدل‌ها در این پژوهش نسبت به نتایج گبرسلایس و همکاران (۲۰۰۹) دارای ضریب تبیین اصلاح شده کم‌تری می‌باشد چون آن‌ها در پژوهش خود از داده‌های کمکی سن و شاخص رویشگاه استفاده کردند. همچنین میزان خطای نسبی ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) در این مطالعه نسبت به نتایج تاکولا و هیکیکیلا (۱۹۹۷)، کیپلین و تاکولا (۱۹۹۹)، هیپا و همکاران (۲۰۰۰)، هیوانن (۲۰۰۰)، ماکلا و پکارینن (۲۰۰۴) و موکانن و هیسکانن (۲۰۰۵) که به ترتیب برابر با ۸۲، ۵۶، ۵۰، ۴۲/۱، ۴۷/۶ و ۴۴/۶ درصد بوده است دارای وضعیت بهتری می‌باشد. با توجه به این‌که میزان خطای نسبی محاسبه شده برای برآورد حجم در هکتار در این مطالعه زیر ۲۰ درصد می‌باشد بنابراین این برآورد برای استفاده در مدیریت عملی این سری بسیار مناسب می‌باشد.

در برآورد سطح مقطع در هکتار بهترین نتایج مربوط به ترکیب خطی باند NIR و شاخص MSAVI2 می‌باشد. برای برآورد سطح مقطع، ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۸۰۴ و ریشه میانگین مجذور خطا ۴/۰۹ مترمربع در هکتار به دست آمد. وجود رابطه معنی‌دار بین باند NIR و شاخص MSAVI2 با مشخصه سطح مقطع با نتایج گبرسلایس و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. همچنین اینگرام و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که رابطه معنی‌دار بالایی بین سطح مقطع و باند مادون قرمز نزدیک وجود دارد. ضریب تبیین اصلاح شده برای برآورد سطح مقطع در این مطالعه نسبت به نتایج گبرسلایس و همکاران (۲۰۰۹) بدون استفاده از داده‌های کمکی سن و شاخص رویشگاه و والتر و همکاران (۲۰۰۹) برای توده‌های پهن‌برگ که به ترتیب دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۶۷ و ۰/۷۱ بودند دارای وضعیت بهتری بود. میزان RMSE به دست آمده در این مطالعه نسبت به نتایج گبرسلایس و همکاران (۲۰۰۹) در هر دو وضعیت (با داده‌های کمکی و بدون داده‌های کمکی) دارای وضعیت بهتری می‌باشد (با استفاده از داده‌های کمکی، $RMSE = 7/39 \text{ m}^2$ و بدون استفاده از داده‌های کمکی، $RMSE = 9/2 \text{ m}^2$).

برای ارزیابی و برآورد مشخصه تعداد در هکتار نیز بهترین ترکیب مربوط به باندهای NIR و SWIR با ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۸۵۷ و ریشه میانگین مجذور خطای ۴۴/۶ بود. ضریب همبستگی پیرسون بین مشخصه تعداد در هکتار و باندها و شاخص‌های طیفی مورد استفاده در این مطالعه مثبت بود. وجود رابطه مثبت بین مشخصه تعداد در هکتار با باندها و شاخص‌های طیفی مطابق با نتایج اسپنر و همکاران (۱۹۹۰)، لو و همکاران (۲۰۰۴)، سیوانپیلای و همکاران (۲۰۰۶)، ناصری (۲۰۰۳)، محمدی (۲۰۰۷) و گبرسلایس و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد. دلیل این امر این است که با افزایش طول موج در باند مادون قرمز، بازتاب طیفی توده‌های با تعداد درختان بیش‌تر (به‌طور عمده

توده‌های جوان که دارای تعداد پایه بیش‌تری در مقایسه با توده‌های مسن دارند) نیز افزایش پیدا می‌کند. بالا بودن همبستگی بین باند NIR و به‌خصوص باند SWIR با مشخصه تعداد در هکتار در نتایج ناصری (۲۰۰۳)، سیوانپیلای و همکاران (۲۰۰۶) و محمدی (۲۰۰۷) نیز به اثبات رسیده است. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه دارای ضریب تبیین اصلاح شده بیش‌تر و هم‌چنین میانگین مجذور خطای کم‌تری نسبت به نتایج پژوهش محمدی (۲۰۰۷) و سیوانپیلای و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از داده‌های ETM⁺ و نتایج گبرسلایس و همکاران (۲۰۰۹) (در هر دو وضعیت با و بدون داده‌های کمکی) با استفاده از داده‌های ASTER می‌باشد. دلیل بهتر بودن نتایج را می‌توان به بهتر بودن قدرت تفکیک سنجنده اشاره کرد و از جمله دلایل بهبود نتایج نسبت به نتایج گبرسلایس و همکاران (۲۰۰۹) را می‌توان به انتخاب منطقه همگن از نظر نوردهی و بازتاب طیفی گونه‌ها اشاره کرد. به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که داده‌های سنجنده SPOT-HRG قادر هستند مشخصه‌های کمی جنگل همانند حجم سرپا، سطح مقطع و تعداد در هکتار را با دقت به‌نسبت خوبی محاسبه کنند. با توجه به دقت به‌دست آمده در این پژوهش، می‌توان از این داده‌های برای برآوردهای کلی در مدیریت عملی این جنگل مورد استفاده نمود. استفاده از دیگر روش‌های مدل‌سازی ممکن است منجر به کسب نتایج بهتری گردد.

منابع

1. Ardö, J. 1992. Volume quantification of coniferous forest compartments using spectral radiance recorded by Landsat Thematic Mapper. *Inter. J. Rem. Sens.* 13: 1779-178.
2. Birth, G.S. and McVey, G.R. 1968. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agron. J.* 60: 640-643.
3. Franco-Lopez, H., Ek, A.R. and Bauer, M.E. 2001. Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbor method. *Remote Sensing of Environment*, 77: 3. 251-274.
4. Gao, B.G. 1996. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58: 257-266.
5. Gebreslasie, M.T., Ahmed, F.B., Jan, A.N. and Adrdt, V. 2009. Predicting forest structural using ancillary data and ASTER satellite data. *Inter. J. Appl. Earth Obs. Geoinfo.* doi:10.1016.
6. Gemmell, F.M. 1995. Effects of forest cover, terrain, and scale on timber volume estimation with thematic mapper data in the rocky mountain site. *Remote Sensing of Environment*, 51: 291-305.

7. Hall, R.J., Skakun, R.S., Arsenault, E.J. and Case, B.S. 2006. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM⁺ data: application to mapping of aboveground biomass and stand volume. *Forest Ecology and Management*, 225: 375-390.
8. Häme, T., Salli, A., Ersson, K. and Lohi, A. 1997. A new methodology for estimation of biomass of conifer-dominated boreal forest using NOAA AVHRR data. *Inter. J. Rem. Sens.* 18: 3211-3243.
9. Hyypä, J., Hyypä, H., Inkinen, M., Engdahi, 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.
10. Hyvonen, P. 2002. Kuvioittaisten puustotunnusten ja toimenpide-ehdotusten estimointi k-lähimmän naapurin menetelmällä Landsat TM-satelliittikuvan, vanhan inventointitiedon ja kuviotason tukianeiston avulla. *Metsätieteen Aikakauskirja*, 3: 363-379.
11. Ingram, J.C., Dawson, T.P. and Whittaker, R.J. 2005. Mapping tropical forest structure in south-eastern Madagascar using remote sensing and artificial neural networks. *Remote Sensing of Environment*, 94: 491-507.
12. Jiang, Y., Carrow, R.N. and Duncan, R.R. 2003. Correlation analysis procedures for canopy spectral reflectance data of seashore Paspalum under Traffic stress, *J. Amer. Soc. Hort.* 13: 187-208.
13. Kilpeläinen, P. and Tokola, T. 1999. Gain to be achieved from stand delineation in LandSAT TM image-based estimates of stand volume. *Forest Ecology and Management*, 124: 2-3. 105-111.
14. 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.
15. Khorrami, K.R. 2004. Investigation of the potential of Landsat7 ETM⁺ data in volume estimating of beech forest stand (Case Study: Sangdeh area in north of Iran). M.Sc. Thesis, University of Tehran, faculty of natural resources, 80p.
16. 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, 78p.
17. Mahiny, A.S. and Turner, B.J. 2003. Modeling Past change in vegetation through Remote and GIS: A Comparison of Networks and logistic Regression Methods, *Geocomputation 2003*, Southampton, UK.
18. Makela, H. and Pekkarine, A. 2004. Estimation of forest stands volumes by Landsat TM imagery and stand-Level field- inventory data. *Forest Ecology and Management*, 196: 245-255.
19. Muukkonen, P. and Heiskanen, J. 2005. Estimating biomass for boreal forests using ASTER satellite data combined with stand wise forest inventory data, 99: 434-447.

20. Naseri, F. 2003. Classification of forest type and estimation of their quantities parameters in arid and semi-arid region using satellite data (Case Study: national park of Khabr-Kerman Province). Ph.D. Thesis, university of Tehran, faculty of natural resources, 202p.
21. Nelson, B.W., Mesquita, R., Pereira, J.L.G., De Souza, S.G.A., Batista, G.T. and Couto, L.B. 1999. Allometric regression for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *For. Ecol. Manage.* 117: 149-167.
22. Pax, L.M., Woodcock, C.E., Macomber, S.A., Gopal, S. and Song, C. 2001. Forest mapping with a generalized classifier and Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 77: 3. 241-250.
23. Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H. and Sorooshian, S. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48: 119-126.
24. Ripple, W.J., Wang, S., Isaacson, D.L. and Paire, D.P. 1991. A preliminary comparison of Landsat Thematic Mapper and SPOT-1 HRV multispectral data for 30. Estimating coniferous forest volume. *Inter. J. Rem. Sens.* 12: 1971-1991.
25. Rock, B.N., Vogelmann, J.E., Williams, D.L., Vogelmann, A.F. and Hoshisaki, T. 1986. Remote detection of forest damage. *Bioscience*, 36: 439-445.
26. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, Pp: 309-317.
27. Salvador, R. and Pons, X. 1998. On the reliability of Landsat TM for estimating forest variables by regression techniques: A methodological analysis. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36: 6. 1888-1897.
28. Spanner, M.A., Pierce, L.L., Peterson, D.L. and Running, S.W. 1990. Remote sensing of temperate coniferous leaf area index: the influence of canopy closure, understory vegetation and background reflectance. *Inter. J. Rem. Sens.* 11: 95-111.
29. Steininger, M.K. 2000. Satellite estimation of tropical secondary forest above-ground biomass: data from Brazil and Bolivia. *Inter. J. Rem. Sens.* 21: 1139-1157.
30. Tokola, T. and Heikkilä, J. 1997. Improving Satellite image based forest inventory by using a priori site quality information. *Siva Fennica*, 31: 67-78.
31. Trotter, C.M., Dymond, J.R. and Goulding, C.J. 1997. Estimation of timber volume in a coniferous plantation forest using Landsat TM. *Inter. J. Rem. Sens.* 18: 10. 2209-2223.
32. Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8: 127-150.
33. Woodcock, C.E., Collins, J.B., Jakabhazy, V.D., Li, X.W., Macomber, S.A. and Wu, Y.C. 1997. Inversion of the Li-Strahler canopy reflectance model for mapping forest structure. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35: 2. 405-414.
34. Wolter, T.P., Townsend, P.A. and Sturtevant, B.R. 2009. Estimation of forest structural parameters using 5 and 10 meter SPOT-5 satellite data. *Remote Sensing*, 113: 2019-2036.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 20 (4), 2014
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Estimation of forest biophysical properties using SPOT HRG data (Case Study: Darabkola Experimental Forest)

***S. Kalbi¹, A. Fallah² and Sh. Shataei Joybari³**

¹M.Sc. Student, Faculty of Forest Science, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Faculty of Forest Science, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Associate Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 11/14/2010; Accepted: 10/12/2013

Abstract

The main objective of this study was estimation of three forest biophysical properties including volume, basal area and number per hectare using SPOT-HRG data in district 1 Darabkola's forest. Images were orthorectified to reduce relief displacement errors. Different synthetic bands were generated through principal component analysis and suitable vegetation indices were created by rationing. After take territorial information, accomplished calculation volume, basal area and number per hectare values in sample plat. Since analyze normalized data, evaluating correlation between territorial and spectral by linear regression. Cross validation getting best correlation model investigating by some sample plat and by relevant evaluation criterions. For volume estimation, results of this study showed that linear combination of NIR and SWIR bands by adjusted determination coefficient 74.5% and root mean square relative error 77.1 m³/ha were better predictors than other combination. For basal area estimation, linear combination NIR band and MSAVI2 index showed best results ($R^2_{adj}=80.5$; RMSE=4.02). Linear combination NIR and SWIR band by adjusted determination coefficient of 85.7% and root mean square relative error of 44.6 numbers per hectare could better predict the number trees per hectare. Results this study showed SPOT data has high capability for estimation biophysical properties as volume, basal area and number per hectare. Of results this study can use for operational management forest stand.

Keywords: Quantitative characteristics, Linear regression, SPOT, Darabkola forest

* Corresponding Author; Email: s.kalbi63@gmail.com

