

برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER و الگوریتم CART (منطقه مورد مطالعه: جنگل شصت کلاته گرگان)

نورالدین نوریان^{۱*}، شعبان شتایی جویباری^۲، جهانگیر محمدی^۳ و سلام یزدانی^۴

*۱- نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. پست الکترونیک: noorian.86@gmail.com

۲- دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۴- کارشناس ارشد جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۱/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

برآورد مشخصه‌های کمی جنگل در سطوح وسیع با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای اهمیت فراوانی در مدیریت پایدار جنگل دارد. هدف از این پژوهش، بررسی امکان برآورد برخی مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER در جنگل شصت کلاته گرگان است. برای این منظور تعداد ۱۱۲ قطعه نمونه زمینی مربعی به مساحت ۰/۰۹ هکتار به روش خوشه‌ای تصادفی در واحدهای همگن از نظر تیپ درختی و جهت دامنه پیاده شد و مشخصه‌های حجم، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار در هر قطعه نمونه محاسبه شد. مرکز هر یک از قطعات نمونه نیز با GPS تفاضلی ثبت شد. تصحیح هندسی و رادیومتری روی تصویر انجام شد. با استفاده از روش‌های مختلف نسبت‌گیری، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، تحلیل بافت، تبدیل تسلدکپ به همراه باندهای اصلی، مجموعه‌ای از باندهای مناسب برای تجزیه و تحلیل‌های همبستگی و مدل‌سازی فراهم شد. بررسی رابطه بین داده‌های زمینی و طیفی با استفاده از آنالیز رگرسیون درختی (CART) انجام گرفت. ارزیابی اعتبار مدل‌ها با معیارهای میانگین مجذور مربعات خطا و اریبی با استفاده از قطعات نمونه استفاده نشده در مدل انجام شد. نتایج نشان داد که بهترین مدل برای مشخصه‌های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار به ترتیب دارای ضریب تبیین تعدیل یافته ۰/۷۶، ۰/۷۳ و ۰/۸۰ است. در مدل یادشده مقادیر RMSE و اریبی به درصد به ترتیب ۴۰/۲۲ و ۱۷/۵ درصد برای حجم سرپا، ۳۸/۶۷ و هشت درصد برای رویه زمینی و ۵۸/۶۸ و ۲/۷۲ درصد برای تعداد درختان در هکتار به دست آمد. نتایج به‌طور کلی نشان داد که داده‌های طیفی این سنجنده برای مشخصه‌های کمی مورد بررسی دارای قابلیت متوسطی هستند.

واژه‌های کلیدی: مشخصه‌های کمی جنگل، ASTER، الگوریتم CART، جنگل شصت کلاته.

مقدمه

برای بشر هستند و نقشی کلیدی در چرخه مواد غذایی، هیدرولوژی و دیگر عملکردهای اکوسیستم ایفا می‌کنند. شناسایی منابع موجود، نظارت بر روند تغییرات و دسترسی به آمار و اطلاعات به‌هنگام از عوامل اصلی و کلیدی در

جنگل‌ها اکوسیستمی حیاتی و یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه کربن جهانی و از نظر اکولوژیکی زیستگاه حیاتی بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهی و منبع اقتصادی مهم

مکانی زیاد، نتایج بهتری را در برآورد مشخصه‌های کمی دارند (Darvishsefat, 2004; Daghestani, 2008; Kalbi, 1991; Ripple *et al.*, 2011) و برخی دیگر خلاف این موضوع را نشان دادند (Chiao, 1996; May *et al.*, 1997). با این وجود نتیجه‌گیری درباره رابطه بین مشخصه‌های توده جنگلی و انعکاس‌های طیفی، بسته به خصوصیات مناطق مورد بررسی متفاوت است. علاوه بر این، ایجاد یک رابطه قابل اعتماد و اجرایی بین مشخصه‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای و مشخصه‌های کمی جنگل ضروری است (Lu *et al.*, 2004).

سنجنده ASTER در سال ۱۹۹۹ با همکاری کشورهای آمریکا و ژاپن بر روی ماهواره TERRA نصب شده است. این سنجنده دارای ۱۴ باند طیفی است که به سه زیرسیستم VNIR، SWIR و TIR تقسیم می‌شود و عرض برداشت آن ۶۰ × ۶۰ کیلومتر است (Shataee, 2005). به کارگیری این تصویر برای مقاصد مختلف از جمله برآورد مشخصه‌های کمی و کیفی، نیازمند بررسی قابلیت‌های آن در زمینه‌های مختلف است. علاوه بر این، اکثر تحقیقات نشان دادند که به کارگیری الگوریتم‌های ناپارامتریک بهتر از پارامتریک می‌تواند روابط بین مشخصه‌های کمی جنگل و طیفی ماهواره‌ای را مدل‌سازی کنند (Mohammadi, 2007; Yazdani, 2011; Shataee *et al.*, 2012). الگوریتم‌های ناپارامتریک از تنوع زیادی برخوردارند. از جمله این الگوریتم‌ها، الگوریتم‌های درختی یا درختان تصمیم‌گیر (Decision tree) هستند و الگوریتم CART (Classification And Regression Trees) یکی از معروفترین الگوریتم‌های درختی می‌باشد. در بیشتر مطالعات، نتایج به دست آمده از اجرای مدل‌سازی با الگوریتم CART برآورد مناسب‌تری را نسبت به دو روش رگرسیون چندمتغیره خطی و غیرخطی مختلف داشته است (Mohammadi, 2007; Yazdani, 2011; Kalbi, 2011). علاوه بر این، با توجه به اینکه رگرسیون‌های خطی جزء آمار پارامتری است و دارای تعدادی پیش‌فرض و محدودیت مانند در نظر گرفتن توزیع نرمال برای متغیرهای پاسخ،

برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و مدیریت پایدار جنگل‌ها می‌باشد (Khorrami, 2004).

اصولاً هرگونه برنامه‌ریزی به منظور مدیریت صحیح بر منابع جنگلی، به ویژه جنگل‌هایی که از نظر تأمین و تولید چوب حائز اهمیت هستند، نیازمند داشتن اطلاعات صحیح و به هنگام از مشخصه‌های کمی مانند حجم سریا، سطح مقطع، تعداد درختان در هکتار و غیره است. معمولاً تهیه اطلاعات مرتبط با این مشخصه‌ها از طریق عملیات میدانی و با دقتی زیاد انجام می‌شود. اما این روش‌های جمع‌آوری اطلاعات در سطح وسیع کاری بسیار مشکل بوده و مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد است (Lu *et al.*, 2004). از طرفی استفاده از داده‌های سنجنده از دور در صورت کسب نتایج قابل قبول نسبت به روش‌های رایج و مرسوم، مفید و به صرفه تر بوده و در مطالعات زیادی به نحو خوبی از این داده‌ها بهره‌برداری شده است. داده‌های ماهواره‌ای به دلایل برخورداری از مزایایی چون سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار و به هنگام شدن مداوم، سهولت پردازش توأم با داده‌های میدانی می‌توانند در این زمینه نقش مؤثری ایفا کنند و به عنوان یک گزینه در جمع‌آوری اطلاعات مطرح شوند (Khorrami, 2004).

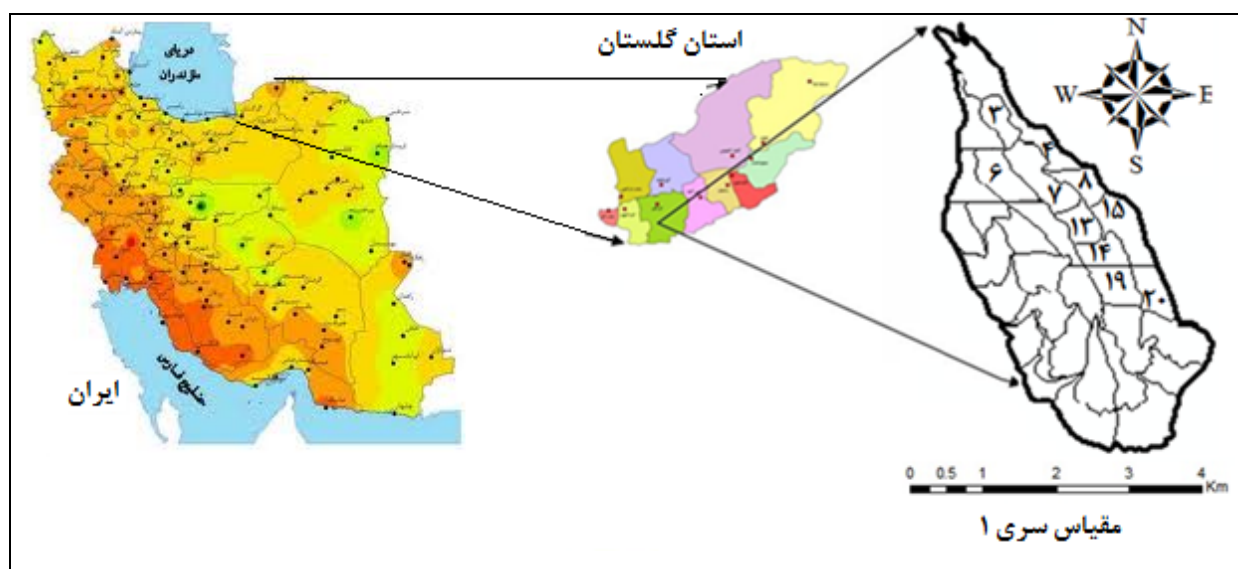
امروزه تصاویر ماهواره‌ای زیادی با اندازه تفکیک طیفی، مکانی، رادیومتری و زمانی متفاوتی توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای مختلف دریافت می‌شوند. تاکنون تحقیقات زیادی در برآورد مشخصه‌های کمی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مانند Landsat TM/ETM+ (Pax *et al.*, 2001; Naseri, 2003; Darvishsefat, 2004; Khorrami, 2004; Mohammadi, 2007; Makela & Pekkarine, Gebreslasie *et al.*, 2010; Kalbi, 2011) ASTER، SPOT- (2011; Muukkonen & Heiskanen, 2005) و HRV (Wolter *et al.*, 2009; Kalbi, 2011) انجام شده است و همچنان تحقیقات در این زمینه ادامه دارد (Woodcock *et al.*, 1997; Franco-Lopez *et al.*, 2001; Heikki, 2003; Hall & Skakun, 2007). در برخی از این تحقیقات ذکر شده است که ماهواره‌های با اندازه تفکیک

مواد و روش‌ها

جنگل سری یک طرح جنگلداری دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته) در تقسیم‌بندی جامع مقدماتی جنگل‌های شمال در حوضه آبخیز شماره ۸۵ قرار دارد. این جنگل در ۱۲ کیلومتری جنوب‌غربی گرگان و بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و در محدوده ارتفاعی ۲۲۰ تا ۱۰۱۰ متر از سطح دریا قرار دارد. سری یک جنگل آموزشی شصت‌کلاته دارای اقلیم خزری است که با درجات حرارت معتدل و با تغییرات سالانه کم و رطوبت زیاد، دارای میزان بارندگی متوسط سالانه ۶۴۹ میلی‌متر است. مساحت این سری ۱۷۱۴ هکتار است (Anonymous, 2007). این تحقیق در سری یک جنگل شصت‌کلاته انجام شده است. گونه‌های درختی منطقه شامل راش، ممرز، انجیلی، بلوط، پلت، شیردار، توسکاییلاقی و خرمندی است. انتخاب قطعات نمونه در پارسل‌های چهار، هفت، هشت، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۹ و ۲۰ توده‌های طبیعی و پارسل‌های سه و شش در توده‌های دست‌کاشت انجام شد (شکل ۱).

خطی بودن رابطه پیشنهادی، یکسان بودن واریانس خطاها، حساس بودن بیشتر این مدل‌ها به مشاهده‌های گم‌شده و داده‌های پرت و نیاز به اطمینان از عدم وجود همبستگی زیاد بین متغیرهای مستقل می‌باشد (Huang & Jensen, 1997).

در پژوهش پیش‌رو توانایی داده‌های زیرسیستم‌های VNIR و SWIR سنجنده ASTER با اندازه تفکیک مکانی ۱۵ و ۳۰ متر در برآورد برخی مشخصه‌های کمی (تعداد در هکتار، رویه زمینی و حجم سرپا) توده‌های جنگلی شصت‌کلاته مورد بررسی قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های آمار ناپارامتری مانند الگوریتم CART (رگرسیون درختی) که نیازی به فرض روش‌های مذکور ندارد، استفاده شد. در صورت کسب مدل مناسب با دقت زیاد و قابل قبول، مدل می‌تواند تا حدودی بدون نیاز به نمونه‌برداری گسترده که مستلزم صرف زمان و هزینه‌های فراوان است، برای مدیریت و استفاده عملی در این توده‌ها مفید باشد و برآورد خوبی از مشخصه‌های کمی موردنظر را ارائه دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پارسل‌های مورد بررسی در سری یک

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های رقومی سنجنده ASTER مربوط به تاریخ ۳ جولای ۲۰۰۶ برابر با ۱۳ تیر سال ۱۳۸۵ استفاده شد. داده‌های ASTER شامل سه باند در محدوده طیفی مرئی مادون قرمز نزدیک (زیرسیستم VNIR) با اندازه تفکیک مکانی ۱۵ متر، شش باند در محدوده مادون قرمز با طول موج کوتاه (زیرسیستم SWIR) با اندازه تفکیک مکانی ۳۰ متر و پنج باند آن نیز در محدوده مادون قرمز حرارتی (زیرسیستم TIR) با اندازه تفکیک مکانی ۹۰ متر قرار دارند (Shataee, 2005)، (در این تحقیق از زیرسیستم TIR استفاده نشد). همچنین از داده‌های پایگاه اطلاعات منطقه شامل لایه‌برداری جاده‌ها، رودخانه‌ها و مدل رقومی زمین منطقه با اندازه تفکیک مکانی ۱۰ متر برای تصحیحات هندسی استفاده شد.

پیش‌پردازش تصویر

تصحیح هندسی تصویر همراه با حذف اثر توپوگرافی بر هندسه تصویر از طریق تطابق هندسی تصویر با تصویر و به روش ارتو با استفاده از مدل رقومی زمین (DEM) منطقه (که از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ با دقت ارتفاعی ۱۰ متر استخراج شد) و تعداد ۲۵ نقطه کنترل زمینی (GCP) انجام شد. تصویر مرجع، تصویر ماهواره Quickbird از منطقه مورد مطالعه است که در تحقیق دیگری تصحیح هندسی آن از نوع ارتو انجام شد (Yazdani, 2011). برای زمین‌مرجع‌سازی تصویر ASTER از تصویر زمین‌مرجع‌شده Quickbird استفاده شد. تصویر ASTER با تعداد ۲۵ نقطه کنترل زمینی و با بکارگیری معادله تطابق درجه دوم با

RMSE برابر ۰/۳۵ در جهت محور X و ۰/۳۵ در جهت Y زمین‌مرجع شد. برای بررسی میزان دقت تصحیح هندسی انجام‌شده از لایه‌های وکتوری جاده و رودخانه‌ها (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰) استفاده شد. تصحیح اتمسفری تصویر ASTER به دلیل عدم دسترسی به داده‌های سرباره به روش Dark object انجام شد.

پردازش تصویر

در این تحقیق از پردازش‌های مختلفی به منظور بررسی قابلیت این نوع پردازش‌ها در بارزسازی مشخصه‌های کمی بر روی تصویر طیفی استفاده شد. پردازش‌هایی شامل تجزیه مؤلفه‌های اصلی، نسبت‌گیری‌های مختلف برای ایجاد شاخص‌های مهم گیاهی، تحلیل بافت (۱۳ نوع تحلیل بافت با اندازه‌های مختلف ابعاد پنجره بر روی باندهای VNIR) و تبدیل تسلدکپ شامل مؤلفه‌های روشنایی و سبزی‌نگی اعمال شد. محور روشنایی در ارتباط با انعکاس از خاک زمینه و محور سبزی با تغییرات پوشش گیاهی همبستگی دارد. این دو ترکیب در بسیاری از تحقیقات مربوط به بررسی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند (Cohen & Spies, 1992). هر سنجنده‌ای به‌طور جداگانه و تجربی دارای معادله تبدیل (رابطه ۱) می‌باشد (جدول ۱). هر یک از مؤلفه‌های تسلدکپ حاصل جمع تمامی باندهای سنجنده است که به نسبت‌های متفاوتی وزن داده شدند. در مجموع ۶۱ باند مصنوعی به مجموعه باندهای اصلی آن (نه باند اصلی) اضافه شد.

رابطه ۱ معادله تبدیل تسلدکپ برای داده‌های ASTER:

$$T.C. = B1(VNIR1) + B2(VNIR2) + A3(VNIR3) + B4(SWIR1) + B5(SWIR2) + B6(SWIR3) + B7(SWIR4) + B8(SWIR5) + B9(SWIR6)$$

رابطه ۱

جدول ۱. ضرایب تبدیل تسلدکپ برای داده‌های سنجنده ASTER (Yarbrough et al., 2005)

مؤلفه	ضریب	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
درخشندگی	-۰/۲۷۴	۰/۶۷۶	۰/۳۰۳	-۰/۲۵۶	-۰/۰۲	۰/۴۱۵	-۰/۲۵۵	۰/۰۷	-۰/۲۶	
سبزی‌نگی	-۰/۰۰۶	-۰/۶۴۸	۰/۵۶۴	۰/۰۶۱	-۰/۰۵	۰/۳۹۴	-۰/۱۹۳	۰/۰۲	-۰/۲۵	
نمناکی	۰/۱۶۶	-۰/۰۸۷	-۰/۷۰۳	۰/۱۸۷	۰/۰۴	۰/۵۰۰	-۰/۲۸۷	۰/۰۳	-۰/۳۲	

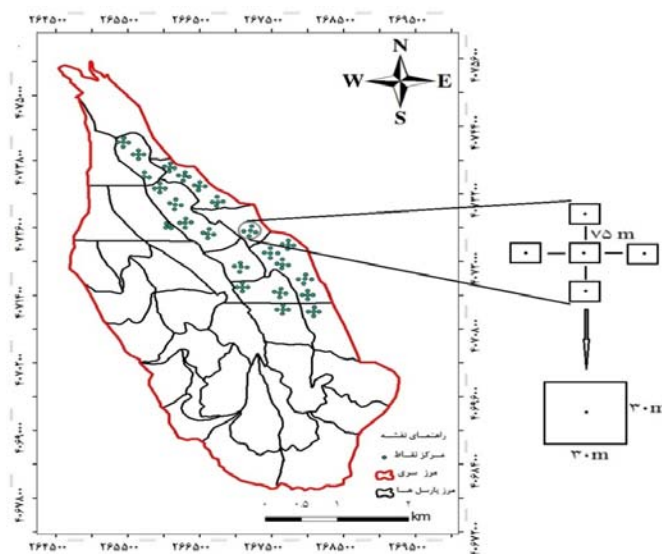
استخراج ارزش‌های طیفی

به‌منظور تحلیل همبستگی و بررسی روابط رگرسیونی بین داده‌های ماهواره‌ای در برآورد مشخصه‌های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد در هکتار درختان، استخراج ارزش‌های طیفی متناظر در قطعه‌نمونه 30×30 متری در باندهای اصلی و مصنوعی انجام شد. این عمل از طریق میانگین‌گیری ارزش‌های رقومی (DN) پیکسل‌های واقع در محدوده قطعات نمونه زمینی از باندهای اصلی و مصنوعی در محیط GIS و با استفاده از توابع آمار ناحیه‌ای (Zonal Statistics) انجام شد. قابل ذکر است که هر قطعه‌نمونه 0.09 هکتاری دربرگیرنده حداکثر یک پیکسل از باندهای SWIR (30 متر) و حدود چهار پیکسل از باندهای VNIR (15 متر) است.

برداشت اطلاعات زمینی

در این تحقیق به‌منظور کاهش اثر بازتاب ترکیب گونه‌ها بر مشخصات بیوفیزیکی ساختاری، نمونه‌برداری زمینی در توده‌هایی که دارای تیپ و ترکیب نسبتاً یکسان بود، انجام شد. برای کاهش اثر توپوگرافی بر رادیومتری تصویر (نوردهی) نیز کلیه قطعات نمونه به‌روش خوشه‌ای در دامنه غربی منطقه مورد بررسی انتخاب شدند. برای نمونه‌برداری ابتدا از روی نقشه‌های توپوگرافی $1:25000$ سازمان نقشه‌برداری کشوری، نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

استخراج شد. سپس لایه‌های طبقات جهت در محیط GIS تهیه شد. با روی هم‌اندازی لایه‌های جهت دامنه و تیپ‌های درختی، واحدهای همگن ایجاد شد. تعدادی مرکز خوشه به‌طور تصادفی در هر واحد با جهت غربی و تیپ یکسان انجیلی- ممرز و ممرز- انجیلی و توده‌های دست‌کاشت در منطقه بدون جهت دامنه و کم‌شیب (افرا- توسکا)، انتخاب شد. هر خوشه دارای پنج قطعه‌نمونه به‌شکل مربع بود که با فاصله 75 متر از هم پیاده شدند (شکل ۲). مختصات این نقاط قرائت و در دستگاه GPS وارد شد. پس از پیدا کردن موقعیت مرکز خوشه در طبیعت چنانچه شرایط برای نمونه‌گیری فراهم بود، عملیات اندازه‌گیری در سطح قطعه‌نمونه به ابعاد 30×30 متر انجام شد. در هر قطعه‌نمونه، گونه، قطر برابرسینه تمام درختان با قطر بیشتر از $7/5$ سانتی‌متر و ارتفاع پنج درخت به‌عنوان شاهد (نزدیک‌ترین، قطورترین و سه درخت به‌عنوان شاهد) اندازه‌گیری شد. در مجموع تعداد 112 قطعه‌نمونه در توده‌های طبیعی (95 قطعه‌نمونه) و دست‌کاشت (17 قطعه‌نمونه) در منطقه پیاده شد. به‌منظور ثبت دقیق موقعیت مکانی قطعات نمونه از روش پردازش بعد از برداشت کینماتیک (Post processing kinematic) و یک دستگاه ثابت GPS تفاضلی استفاده شد. جمع‌آوری اطلاعات قطعات نمونه در سال 1388 انجام شد.



شکل ۲- موقعیت مکانی مراکز قطعات نمونه برداشت شده در منطقه مورد مطالعه

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری در مورد داده‌های مشخصه‌های کمی در قطعات نمونه زمینی و داده‌های طیفی باندهای مختلف انجام شد. با توجه به این‌که در این تحقیق از الگوریتم CART استفاده شد و چون این الگوریتم جزء الگوریتم‌های ناپارامتری است، نیازی به آزمون فرض نرمال بودن داده‌ها نمی‌باشد. از مجموع ۱۱۲ قطعه نمونه برداشت شده تعداد ۹۵ قطعه نمونه (۸۵ درصد) در فرآیند تجزیه و تحلیل آماری به کار گرفته شدند و ۱۷ قطعه نمونه (۱۵ درصد) باقیمانده برای ارزیابی مدل‌های برآوردی مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از الگوریتم CART، چگونگی ارتباط بین متغیرهای برآوردکننده (ارزش‌های طیفی) و متغیر پاسخ (حجم سرپا،

رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار) مورد بررسی قرار گرفت (در الگوریتم CART برای توقف شاخه‌بندی از روش خالص‌سازی مواد به مقداری که دیگر تغییری در مقدار خطای نسبی نسبت به افزایش ضریب cp رخ ندهد، برای برآورد متغیرهای مختلف استفاده شد). بدین ترتیب با استفاده از مدل CART مشخصه مورد نظر تخمین زده شد. با در اختیار داشتن مقادیر پیش‌بینی شده (Predicted) و مقادیر مشاهده (Observed) با استفاده از معیارهای آماری میانگین مجذور مربعات خطا (رابطه ۲)، درصد میانگین مجذور مربعات خطا (رابطه ۳)، اریبی (رابطه ۴) و درصد اریبی (رابطه ۵) اعتبار مدل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت (McRobert *et al.*, 2007).

$$RMSE_r = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}}{\bar{y}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$Bias_r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{\bar{y}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۵})$$

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

منطقه نشان داد که میانگین حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار توده‌ها به ترتیب ۲۹۴/۶۴ مترمکعب در هکتار، ۲۵/۴۰ مترمربع و ۳۶۶/۹۸ پایه در هکتار توده است. اطلاعات به دست آمده در قطعات نمونه مدل و قطعات نمونه شاهد در جدول ۲ ارائه شده است.

در رابطه‌های فوق، \hat{Y} مقدار برآورد شده، \bar{Y} میانگین برآورد شده، y_i مقدار مشاهده شده و n تعداد مشاهدات است.

نتایج

نتایج اولیه بررسی وضعیت مشخصه‌های کمی جنگل در

جدول ۲- آمار توصیفی مشخصه‌های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد در هکتار در قطعات نمونه مدل و ارزیابی

تعداد درختان در هکتار		رویه زمینی (مترمربع در هکتار)		حجم (مترمکعب در هکتار)		
مدل	ارزیابی	مدل	ارزیابی	مدل	ارزیابی	
۱۷	۹۵	۱۷	۹۵	۱۷	۹۵	تعداد قطعه نمونه
۳۷۳/۸۱	۳۶۶/۹۸	۲۵/۹۶	۲۵/۴۰	۳۰۰/۶۱	۲۹۴/۶۴	میانگین
۲۰۸/۶۶	۱۹۴/۵۵	۹/۴۹	۱۰/۰۹	۱۱۹/۶۲	۱۴۱/۲۱	انحراف معیار
۶۴۴/۳۸	۸۵۵/۴۷	۳۴/۴۶	۴۹/۲۸	۴۶۷/۹۳	۶۲۴/۹۸	دامنه تغییرات
۸۲۲/۱۴	۹۶۶/۵۷	۴۲/۴۹	۵۲/۵۷	۵۳۳/۸۱	۶۴۷/۸۲	حداکثر
۱۷۷/۷۶	۱۱۱/۱۰	۸/۰۳	۳/۲۹	۶۵/۹۳	۲۲/۸۴	حداقل

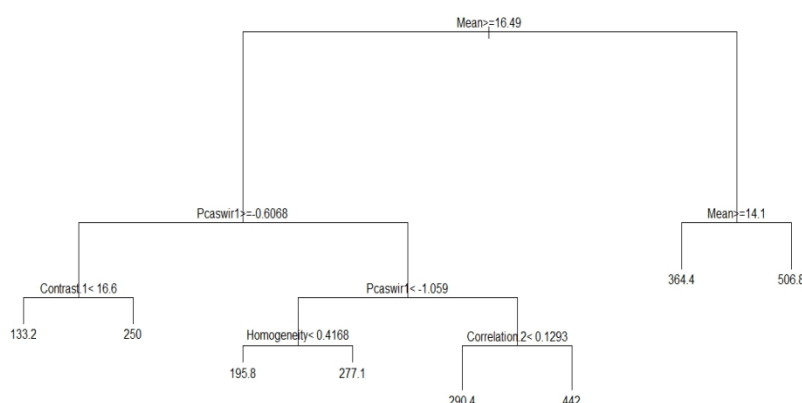
برآورد حجم سرپا

الگوریتم CART نشان داد که مجموعه باندی شامل PCA (مؤلفه دوم باندهای SWIR) و متغیرهای Mean، Homogeneity (VNIR1)، Contrast (باند VNIR2)، Correlation (باند VNIR3) حاصل از آنالیز بافت به‌عنوان

بهترین متغیرهای مستقل نسبت به سایر باندهای به‌دست‌آمده از پردازش‌های مختلف در این مطالعه، مناسب‌ترین نتیجه را در پیش‌بینی مشخصه حجم سرپا داشته است (شکل ۳). مدل فوق دارای ضریب تبیین تعدیل‌یافته ۰/۷۶ و درصد میانگین مجذور مربعات خطای ۴۰/۲۲ درصد بود (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج ارزیابی مناسب‌ترین مدل در برآورد حجم سرپا

Bias (%)	Bias (m ³ /ha)	RMSE _r (%)	RMSE (m ³ /ha)	R ² _{adj}	حجم توده (m ³ /ha)
۱۷/۵	۵۲/۷۱	۴۰/۲۲	۱۲۰/۹۲	۰/۷۶	



شکل ۳- درخت به‌دست‌آمده از الگوریتم CART برای مدل‌سازی مشخصه حجم سرپا در هکتار

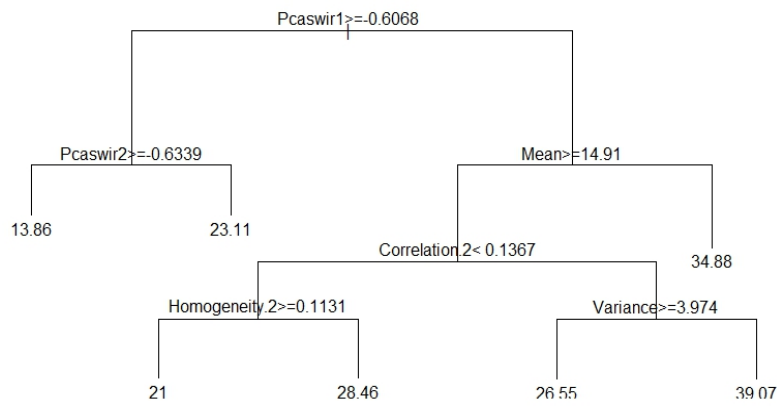
برآورد رویه زمینی در هکتار

الگوریتم CART نشان داد که مجموعه‌های باندی شامل مؤلفه اول PCA و PCA های دوم باندهای SWIR و متغیرهای Mean، Variance (باند VNIR1)، Correlation، Homogeneity (باند VNIR3) به‌دست‌آمده از آنالیز بافت به‌عنوان بهترین متغیرهای مستقل نسبت به سایر ترکیبات

باندی به‌دست‌آمده از پردازش‌های مختلف در این مطالعه مناسب‌ترین نتیجه را در پیش‌بینی مشخصه رویه زمینی در هکتار داشته است (شکل ۴). مدل فوق دارای ضریب تبیین تعدیل‌یافته ۰/۷۳ و درصد میانگین مجذور مربعات خطای ۳۸/۶۷ درصد می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج ارزیابی مناسب‌ترین مدل در برآورد رویه زمینی در هکتار

Bias (%)	Bias (m ² /ha)	RMSE _r (%)	RMSE (m ² /ha)	R ² _{adj}	رویه زمینی (m ² /ha)
۸	۲/۰۷	۳۸/۶۷	۱۰/۰۳	۰/۷۳	



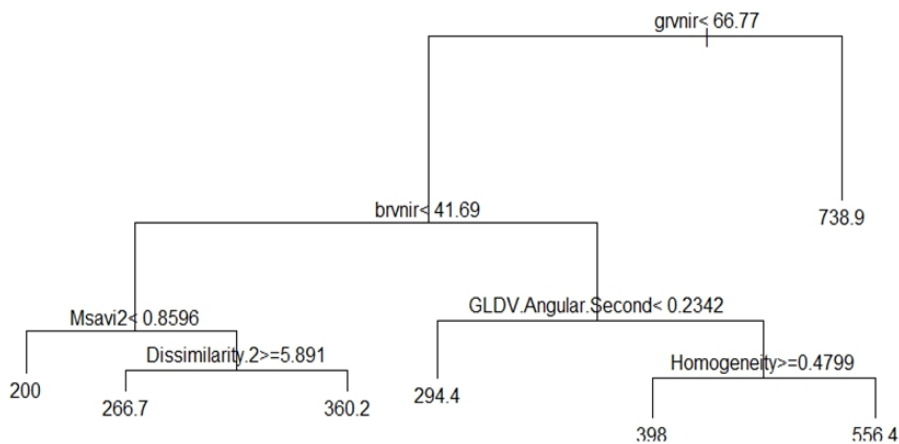
شکل ۴- درخت به دست آمده از اجرای الگوریتم CART برای مدل سازی مشخصه رویه زمینی

ترکیبات باندی به دست آمده از پردازش های مختلف در این مطالعه مناسب ترین نتیجه را در پیش بینی مشخصه تعداد در هکتار داشته است (شکل ۵). مدل فوق دارای ضریب تبیین تعدیل یافته ۰/۸۰ و درصد میانگین مجذور مربعات خطای ۵۸/۶۸ درصد می باشد (جدول ۵).

برآورد تعداد درختان در هکتار الگوریتم CART نشان داد که شاخص های Brightness, Greenness, (VNIR) Msavi2 و متغیرهای GLDV Angular second و Homogeneity (VNIR1) و Dissimilarity (باند VNIR3) به دست آمده از آنالیز بافت به عنوان بهترین متغیرهای مستقل نسبت به سایر

جدول ۵- نتایج ارزیابی مناسب ترین مدل در برآورد تعداد در هکتار

Bias (%)	Bias	RMSE _r (%)	RMSE	R ² _{adj}	تعداد در هکتار
۲/۷۲	۱۰/۱۸	۵۸/۶۸	۲۱۹/۴	۰/۸۰	



شکل ۵- درخت به دست آمده از اجرای الگوریتم CART برای مدل سازی مشخصه تعداد در هکتار

بحث

با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل توصیفی داده‌های زمینی (حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار) مشخص شد که این داده‌ها دارای واریانس و دامنه تغییرات زیاد در منطقه هستند که نشان‌دهنده شرایط ناهمگن منطقه مورد مطالعه از نظر توزیع مکانی و کمی متغیرهای مورد بررسی است، به طوری که نمونه‌های زمینی از نظر حجم سرپا دارای دامنه ۲۲/۸۴ تا ۶۴۷/۸۲ مترمکعب در هکتار، رویه زمینی بین ۳/۲۹ تا ۵۲/۵۷ مترمربع در هکتار و تعداد درختان در هکتار دارای دامنه بین ۱۱۱/۱۰ تا ۹۶۶/۵۷ پایه در هکتار بود. این وضعیت می‌تواند به دلیل انتخاب قطعه‌نمونه‌های مورد بررسی در توده طبیعی و دست‌کاشت باشد که باعث ایجاد این ناهمگنی با این مقدار شده است.

نتایج مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم CART در برآورد مشخصه‌های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار نشان داد که متغیرهای به‌دست‌آمده از آنالیز بافت به‌عنوان متغیرهای مستقلی که توانسته‌اند متغیر وابسته در مدل را بهتر توصیف کنند، وجود دارند. در تصاویر سنجنده ASTER برای هر سه مشخصه، علاوه بر متغیرهای به‌دست‌آمده از آنالیز بافت، متغیرهای به‌دست‌آمده از پردازش‌های مختلف مانند شاخص‌های گیاهی، باندهای به‌دست‌آمده از تبدیل تسلدکپ و باندهای اصلی، در مدل‌سازی و برآورد مشخصه‌های کمی به‌کار رفتند. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نشان داد که تصاویر به‌دست‌آمده از آنالیز بافت تأثیر چندانی در بهبود نتایج مدل‌سازی آماری در برآورد مشخصه‌های کمی (با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با اندازه تفکیک مکانی متوسط) ندارد.

نتایج مدل‌سازی با الگوریتم CART و داده‌های سنجنده ASTER برای مشخصه حجم سرپا نشان داد که میزان ضریب تبیین تعدیل‌یافته مدل‌ها زیاد و درصد میانگین مجذور مربعات خطای برآوردها متوسط است. مدل به‌دست‌آمده دارای ضریب تبیین تعدیل‌یافته ۰/۷۶ و درصد میانگین مجذور مربعات خطای ۴۰/۲۲ درصد می‌باشد. مقدار ضریب تبیین تعدیل‌یافته به‌دست‌آمده در این تحقیق در

برآورد حجم سرپا با استفاده از الگوریتم CART، نسبت به نتایج Mohammadi (۲۰۰۷)، Hall و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از روش BIOSTRUCT و بدون استفاده از این روش، Gebreslasie و همکاران (۲۰۱۰)، Wolter و همکاران (۲۰۰۹) و Kalbi (۲۰۱۱) با استفاده از تصاویر ماهواره ASTER و SOPT که به ترتیب دارای ضریب تبیین تعدیل‌یافته ۰/۴۳، ۰/۷۱، ۰/۳۰، ۰/۵۱، ۰/۵۳، ۰/۵۹ و ۰/۷۴ بوده است، وضعیت بهتری دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج تحقیقات بسته به مناطق مورد بررسی، متفاوت بوده است. ضریب تبیین زیاد به‌دست‌آمده در این تحقیق، ممکن است به دلیل انتخاب قطعات نمونه در شرایط همگن توپوگرافی و ترکیب گونه‌ها بوده است. مقدار درصد میانگین مجذور مربعات خطا به‌دست‌آمده در این تحقیق در برآورد حجم سرپا با استفاده از الگوریتم CART نسبت به نتایج Tokola و Heikkilä (۱۹۹۷)، Kilpelainen و Tokola (۱۹۹۹)، Hyypä و همکاران (۲۰۰۰)، Makela و Pekkarine (۲۰۰۴) و Muukkonen و Heiskanen (۲۰۰۵) که به ترتیب ۸۲، ۵۶، ۵۰، ۴۲/۱، ۴۷/۶ و ۴۴/۶ درصد بوده است، دارای وضعیت بهتری می‌باشد، ولی نسبت به نتایج Azizi و همکاران (۲۰۰۹) که دارای درصد میانگین مجذور مربعات خطای ۳۲/۵ درصد است، ضعیف‌تر می‌باشد. این تفاوت‌ها می‌تواند به دلیل اندازه تفکیک سنجنده در این تحقیق، ابعاد قطعه‌نمونه انتخاب‌شده، مدل‌های بکاربرده شده و وضعیت منطقه و یا حتی زمان تصویربرداری سنجنده باشد. با توجه به این که میزان درصد میانگین مجذور مربعات خطای محاسبه‌شده برای برآورد حجم سرپا با این داده‌ها ۴۰/۲ درصد می‌باشد، بنابراین برآوردهای به‌دست‌آمده نمی‌تواند به‌خوبی در مدیریت و برنامه‌ریزی این سری مورد استفاده قرار گیرد، اما می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های کلی و برآوردهای کلی مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج مدل‌سازی با الگوریتم CART و داده‌های سنجنده ASTER برای برآورد مشخصه رویه زمینی نشان داد که بهترین مدل به‌دست‌آمده دارای ضریب تبیین تعدیل‌یافته

SOPT که به ترتیب دارای ضریب تبیین تعدیل یافته ۰/۸۷ و ۰/۹۰ بودند، کمتر است و این می تواند به علت استفاده از قطعات نمونه بزرگتر (۶۰×۶۰ متر) و استفاده از داده های با اندازه تفکیک مکانی بهتر SPOT در تحقیق Kalbi (۲۰۱۱) باشد. درصد میانگین مجذور مربعات خطای به دست آمده در این تحقیق در مناسب ترین برآورد انجام شده نسبت به نتایج Shataee و همکاران (۲۰۱۲) و Kalbi (۲۰۱۱) با استفاده از تصاویر ماهواره ASTER و SOPT که ۲۱، ۱۴ و ۱۴ درصد بودند، بیشتر بود. این اختلاف می تواند ناشی از تفاوت شرایط منطقه از نظر همگنی و وضعیت ساختار توده ها، مدل مورد استفاده در تحقیق Shataee و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از الگوریتم K-NN و بزرگتر بودن ابعاد قطعه نمونه در تحقیق Kalbi (۲۰۱۱) باشد. با توجه به این که درصد میانگین مجذور مربعات خطای محاسبه شده برای برآورد تعداد درختان در هکتار با این داده ها ۵۸/۶۸ درصد است، بنابراین برآوردهای به دست آمده نمی تواند در مدیریت و برنامه ریزی این سری مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع نتایج به دست آمده از این تحقیق بیان می دارد که داده های سنجنده ASTER با توجه به مقدار ضریب تبیین تعدیل شده، ریشه میانگین مربعات خطا و مقدار اریبی، دارای قابلیت نسبتاً متوسط برای برآورد مشخصه های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار است. بدیهی است با استفاده از قطعه نمونه های متناسب با اندازه تفکیک تصاویر، انجام تصحیح اثر نوردهی و همچنین استفاده از تصاویر با اندازه تفکیک مکانی و رادیومتری بهتر، انتظار نتایج بهتری را می توان داشت.

References

- Anonymous, 2007. Forest management plan. Faculty of Natural Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, 478p (In Persian).
- Azizi, Z., Najafi, A., Fatehi, P. and Pirbavaghar, M. 2009. Forest stand volume estimation using satellite IRS-P6 (LISS-IV) data (Case study:

۰/۷۳ و دارای میانگین مجذور مربعات خطای ۱۰/۰۳ مترمربع در هکتار است. ضریب تبیین تعدیل یافته به دست آمده در این تحقیق برای برآورد رویه زمینی نسبت به نتایج Gebreslasie و همکاران (۲۰۱۰)، Wolter و همکاران (۲۰۰۹) و Kalbi (۲۰۱۱) با استفاده از تصاویر ماهواره ASTER که به ترتیب دارای ضریب تبیین تعدیل یافته ۰/۶۷، ۰/۷۱ و ۰/۷۲ بودند، کمی زیادتر است. میزان میانگین مجذور مربعات خطای به دست آمده رویه زمینی نیز نسبت به نتایج Gebreslasie و همکاران (۲۰۱۰)، Wolter و همکاران (۲۰۰۹) و Kalbi (۲۰۱۱) با استفاده از تصاویر ماهواره SOPT که به ترتیب ۷/۳۹، ۲/۴۷ و ۴/۰۹ مترمربع در هکتار بودند، بیشتر است. دلیل این تفاوت می تواند کم بودن اندازه تفکیک مکانی سنجنده ASTER نسبت به سنجنده SOPT در تحقیق Wolter و همکاران (۲۰۰۹) و Kalbi (۲۰۱۱) و استفاده از داده های کمکی در تحقیق Gebreslasie و همکاران (۲۰۱۰) باشد. علاوه بر این می تواند به دلیل ابعاد قطعه نمونه انتخاب شده، مدل های بکاربرده شده، وضعیت منطقه و ساختار توده های جنگلی و یا حتی زمان تصویربرداری سنجنده باشد. با توجه به درصد میانگین مجذور مربعات خطای محاسبه شده برای برآورد رویه زمینی با این داده ها (۳۸/۶۷ درصد)، برآوردهای به دست آمده نمی تواند به خوبی در مدیریت و برنامه ریزی این سری مورد استفاده قرار گیرد، ولی می تواند در برنامه ریزی های کلی و برآوردهای کلی مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج مدل سازی با الگوریتم CART و داده های سنجنده ASTER برای مشخصه تعداد درختان در هکتار نشان داد که مدل به دست آمده دارای ضریب تبیین تعدیل یافته ۰/۸۰، درصد میانگین مجذور مربعات خطای ۵۸/۶۸ درصد و مقدار اریبی ۱۰/۱۸ است. ضریب تبیین تعدیل یافته برای تعداد درختان در هکتار در این تحقیق نسبت به نتایج Mohammadi و همکاران (۲۰۱۰) که دارای ضریب تبیین تعدیل یافته ۰/۸۰ بود، مطابقت داشت، اما نسبت به نتایج Kalbi (۲۰۱۱) با استفاده از تصاویر ماهواره ASTER و

- System, 8p.
- Huang, X. and Jensen, J. 1997. A machine-learning approach to automated knowledge-base building for remote sensing image analysis with GIS data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(10): 1185-1194.
 - Hyyppa, J., Hyyppa, H., Inkinen, M., Engdahi, M., Linko, S. and Zhu, Y.H. 2000. Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of stand attributes. *Forest Ecology and Management*, 128: 109-120.
 - 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 (In Persian).
 - Kalbi, S. 2011. Estimation of forest structural attributes using ASTER and SPOT-HRG data (Case study: Darabkola forest). M. Sc- thesis, Department of Forestry, Sari University of Agricultural Sciences & Natural Resources, 107p (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.
 - Lu, D., Mausel, P., Brondizio E. and Moran, E. 2004. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral in the Brazilian Amazon basin. *Forest Ecology and Management*, 198: 149-167.
 - 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.
 - May, A.M.B., Pinder, J.E. and Kroh, G.C. 1997. A comparison of Landsat Thematic Mapper and Spot multi-spectral imagery for the classification of shrub and meadow vegetation in northern California-U.S.A. *International Journal of Remote Sensing*, 18: 3719-3728.
 - McRobert, R., Tomppo, E., Finley, A. and Heikkinen, J. 2007. Estimating aerial means and variances of forest attributes using the k-Nearest Neighbors technique and satellite imagery. *Remote sensing of environment*, 111: 466-480.
 - Mohammadi, J. 2007. Modeling of forest structural attributes using satellite data in the Lirehsar, Tonekabon). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(1): 143-151 (In Persian).
 - Chiao, K.M. 1996. Comparisons of three remotely sensed data on forest crown closure and volume estimations, *International Archives of photogrammetric and remote sensing*, 31(B7): 123-130.
 - Cohen, W.B. and Spies, T.A. 1992. Estimation structural attributes of Douglas fir/western hemlock Forests stand from Landsat and SPOT imagery. *Remote Sensing of Environment*, 41: 1-17.
 - Daghestani, M. 2008. Surveying the relationship of beech stand structural attributes and its spectral signature on satellite data. Ph. D. thesis, Department of Forestry, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, 92p (In Persian).
 - Darvishsefat, A.A., Fatehi, P., Khalilpour, A. and Farzaneh, A. 2004. Comparison of Spot 5 and Landsat 7 for Forest Area Mapping, XX th ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, 4p.
 - 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 neighbors method. *Remote Sensing of Environment*, 77(3): 251-274.
 - Gebreslasie, M.T., Ahmed, F.B., Jan, A.N. and Adrdt, V. 2010. Predicting forest structural attributes using ancillary data and ASTER satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo Information*, 125: 523-526.
 - Hall, R.J. and Skakun, R.S. 2007. Mapping inventory attributes across coniferous, deciduous and mixed wood stand types in the northwest territories from high spatial resolution Quickbird satellite imagery. *Natural Resources Canada, Environment Through Remote Sensing*, 6p.
 - 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.
 - Heikki, A. 2003. High forest-forest estimation from high resolution remote sensing data. Technical Research Center of Finland Information Technology Inform motion

- Shataee, Sh., Kalbi, S., Fallah, A. and Pelz, D.R. 2012. Forest attribute imputation using machine-learning methods and ASTER data: comparison of k-NN, SVR and random forest regression algorithms. *International Journal of Remote Sensing*, 33: 6254-6280.
- Tokola, T. and Heikkilä, J. 1997. Improving satellite image based forest inventory by using a priori site quality information. *Siva Fennica*, 31:67-78.
- 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.
- Woodcock, C.E., Collins, J.B., Jakabhazy, V.D., Li, X., Macomber, S.A. and Wu, Y. 1997. Inversion of the Li-Strahler canopy reflectance model for mapping forest structure. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35:405-414.
- Yarbrough, L.D., Eason, G. and Kuzmaul, J.S. 2005. Using at-sensor radiance and reflectance Tasseled Cap transforms applied to change detection for the ASTER sensor. *IEEE Third International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images*, Beau Rivage, Biloxi, Mississippi, USA, 5p.
- Yazdani, S. 2011. Estimation of forest structural attributes using Quickbird data. M. Sc. thesis, Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, 156p (In Persian).
- Loveh Forests in Golestan. M. Sc. thesis, Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, 68p (In Persian).
- Mohammadi, J., Shataee, Sh., Yaghmaee, F. and Mahiny, A.S. 2010. Modeling forest stand volume and tree density using Landsat ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 31: 2959-2975.
- Muukkonen, P. and Heiskanen, J. 2005. Estimation biomass for boreal forests using ASTER satellite data combined with stand wise forest inventory data. *Remote Sensing of Environment*, 99: 434-447.
- Naseri, F. 2003. Forest classification and estimation of forest structural attributes using satellite data in the dry land forests. Ph. D. thesis, University of Tehran, 155p (In Persian).
- Pax-Lenney, 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*, 77:241-250.
- Ripple, W.J., Wang, S., Isaacson, D.L. and Paine, D.P. 1991. A preliminary comparison of Landsat Thematic Mapper and SPOT-1 HRV multispectral data for estimating coniferous forest volume. *International Journal of Remote Sensing*, 12(9):1971-1977.
- Shataee, Sh. 2005. Remote sensing. Educational Pamphlet, Department of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, 78p (In Persian).

Estimating forest structural attributes by means of ASTER imagery and CART algorithm (Case study: Shastkolateh forest, Gorgan)

N. Noorian^{1*}, Sh. Shataee², J. Mohammadi³ and S. Yazdani⁴

1* - Corresponding author, Ph. D. Student of Forestry, Department of Forestry, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, I.R. Iran. E-mail: noorian.86@gmail.com.

2- Associate Prof., Department of Forestry, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

3- Ph. D. Forestry, Department of Forestry, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

4- M. Sc. Forestry, Department of Forestry, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran.

Received: 02.03.2014

Accepted: 04.07.2014

Abstract

Large-area estimation of forest structural attributes by remotely-sensed data is crucial for cost effective inventory of the stands, and in turn for sustainable forest management. The objective of this research was to investigate the capability of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) imagery for predicting forest structural attributes over Shastkolateh experimental forest in Gorgan. By means of random cluster sampling method, 112 DGPS-established square plots with an area of 0.09 ha were inventoried which were also homogenous by type and aspect. In those plots, the stand volume, basal area and tree stem density were measured. The image data was geometrically and atmospherically corrected. Moreover, information within the data was used to create additional band ratios, principal components, texture indices, and tasseled cap components, which were then added to the original datasets. Classification and Regression Trees (CART) algorithm was applied for modeling the ground inventory data. The models were assessed for their performance by means of root mean square error (RMSE) and Bias using hold-out samples. The results showed the best values of adjusted R-squared to be 76, 73 and 80% for stand volume, basal area and tree stem density, respectively. Whereas the models of standing volume, basal area and stem density returned RMSE values of 40.22, 38.67, and 58.68, the models were associated with bias values of 17.5 %, 8% and 2.72%, respectively. Results therefore indicate the moderate potential of ASTER imagery for sample plot-based estimation of forest structural attributes.

Key words: Forest structural attributes, ASTER imagery, CART algorithm, Shastkolateh forest.