

برآورد مشخصه‌های ساختاری جنگل با استفاده از داده‌های سنجندهٔ ASTER

سیاوش کلبی^{۱*}، اصغر فلاح^۲، شعبان شتابی جویباری^۳ و جعفر اولادی قادیکلایی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی - جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

^۲ دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

^۳ دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

^۴ استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران

(تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۲، تاریخ تصویب: ۹۰/۴/۱۴)

چکیده

برآورد مشخصه‌های ساختاری جنگل، از اساسی‌ترین اطلاعات در مدیریت پایدار و برنامه‌ریزی جنگل می‌باشد. در این مطالعه ارتباط بین داده‌های سنجندهٔ ASTER و سه مشخصه مهم ساختار جنگل شامل حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار، در بخشی از جنگل‌های شمال ایران مورد بررسی قرار گرفت. پیش‌پردازش و پردازش‌های مناسب بر روی داده‌های طیفی انجام گرفت. پس از برداشت اطلاعات زمینی محاسبات مقادیر حجم، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار در سطح قطعات نمونه صورت گرفت. ارزیابی اعتبار بهترین مدل بدست آمده با تعدادی قطعه نمونه و با معیارهای ارزیابی مناسب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ترکیب خطی شاخص‌های MS-AVI2، NDVI و باند سبز نسبت به دیگر شاخص‌ها و ترکیبات باندی به کار رفته، توانست مشخصهٔ حجم را بهتر پیش‌بینی نماید. برای مشخصه سطح مقطع برابر سینه در هکتار نیز ترکیب خطی شاخص‌های MS-AVI2، NDVI و نسبت ساده SWIR12 بهترین نتایج را نشان دادند. همچنین ترکیب خطی شاخص MS-AVI2 و باندهای SWIR1 و SWIR2 با ضریب تبیین اصلاح شده ۸۵ درصد و ریشه میانگین مربعات خطای ۵۰/۹۵ پایه در هکتار نسبت به سایر ترکیبات بکار رفته توانست مشخصه تعداد درختان در هکتار را بهتر پیش‌بینی نماید. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بکارگیری داده‌های سنجندهٔ ASTER و روش رگرسیون خطی می‌تواند تا حدودی وضعیت کلی از برخی مشخصه‌های ساختار جنگل مورد مطالعه را ارائه دهند.

واژه‌های کلیدی: سنجندهٔ ASTER، مشخصه‌های ساختاری جنگل، رگرسیون چندگانه خطی، دارابکلا

مقدمه

یکی از مهمترین راه‌ها برای مدیریت صحیح بر جنگل‌های شمال ایران داشتن اطلاعات به هنگام از وضعیت کمی و کیفی آنها می‌باشد. داشتن اطلاعات در مورد پارامترهای کمی چون حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه، تعداد در هکتار از مهمترین عوامل ارزیابی منابع جنگلی می‌باشد (Lu *et al.*, 2004) که معمولاً با استفاده از عملیات میدانی گردآوری می‌شوند. روش‌های سنتی به دلیل هزینه بالا، وقت‌گیر بودن و عدم دسترسی به تمام قسمت‌های جنگل، در سطح وسیع چندان مقرون به صرفه نیست (Lu *et al.*, 2004). این محدودیت‌ها به کارگیری روش‌های جایگزین را به طور جدی مطرح می‌نماید. یکی از بهترین راهکارها برای کسب این اطلاعات استفاده از داده‌های سنجنش از دور می‌باشد. تا به حال پژوهش‌های زیادی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور در برآورد تراکم درختان (Prather *et al.*, 2006)، حجم سرپا (Gebreslaise, 2009)، سطح مقطع برابر سینه (Franklin, 1986; Prather *et al.*, 2006; McRoberts, 2008;) (Gebreslaise, 2009)، ارتفاع درختان (Maltamo *et al.*, 2006;) (Walker *et al.*, 2007; Wolter *et al.*, 2009) و دیگر (Cohen & Spies, 1992; Franklin *et al.*, 2001) مشخصه‌های مهم ساختاری انجام شده است. (Zeng *et al.*, 2004) در طی مطالعه‌ای در شمال ایالت ویسکانسین امریکا دریافته‌اند که قطر برابر سینه و سن توده در جنگل‌های پهن‌برگ رابطه معنی‌داری با انعکاس طیفی باند مادون قرمز نزدیک دارد ($R^2_{adj}=0.77$) و توده‌های سوزنی‌برگ رابطه معنی‌دار بیشتری با شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) با ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۷۹ داشتند. (Hall *et al.*, 2006) با استفاده از دو روش BioSTRUCT و مستقیم، به وسیله داده‌های سنجنده Landsat ETM+، مشخصه‌های ساختاری جنگل را مدل‌سازی کردند. آنها نشان دادند که باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک ارتباط معنی‌داری با زی‌توده و حجم دارند. مدل بدست آمده برای برآورد حجم با استفاده از روش BioSTRUCT دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۷۱ درصد و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ۷۴/۷ متر مکعب در هکتار و با استفاده از روش مستقیم دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۳۰ درصد و ریشه میانگین مربعات خطای ۱۱۰/۸ مترمکعب در هکتار بوده است. مطالعه دیگری در جنگل‌های توس در شمال فنلاند توسط (Heiskanen, 2006) انجام شد. نتایج نشان داد که ارتباط شاخص‌های NDVI، MSAVI2 و نسبت‌گیری ساده (SR) با زی‌توده و شاخص سطح برگ معنی‌دار بوده است. (Gebreslaise *et al.*, 2009) با استفاده از داده‌های ASTER

مطالعه‌ای را در شمال آفریقا انجام دادند. نتایج نشان داد که مشخصه‌های حجم، سطح مقطع برابر سینه، تعداد درختان در هکتار و ارتفاع توده با باند مادون قرمز نزدیک و شاخص MSAVI2 دارای ارتباط معنی‌داری به ترتیب با ضرایب تبیین اصلاح شده ۰/۵۱، ۰/۶۷، ۰/۶۵ و ۰/۵۳ می‌باشد. در این پژوهش با تلفیق مشخصه‌های ساختاری با داده‌های کمکی شاخص رویشگاه و سن، مقدار ضرایب مدل بدست آمده برای مشخصه‌های حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار به ترتیب به ۰/۸۸، ۰/۸۴ و ۰/۸۱، بهبود یافت. (Muukkonen & Heiskanen, 2005) با استفاده از داده‌های ASTER در فنلاند و از آنالیز رگرسیونی غیرخطی و شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی زی‌توده استفاده و مشاهده کردند که باند سبز بیشترین همبستگی را با زی‌توده داشته است. در این مطالعه ریشه میانگین مربعات خطای بدست آمده برای رگرسیون غیرخطی و شبکه عصب مصنوعی به ترتیب برابر با ۴۴/۷ و ۴۱ درصد بود. در جنگل لوه مینودشت (Mohammadi, 2007) مطالعه‌ای را با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ برای برآورد حجم سرپا و تراکم انجام داد. نتایج نشان داد که ترکیب خطی شاخص‌های DVI و Greenness بهتر توانستند مشخصه حجم سرپا را با ضریب تبیین اصلاح شده ۴۳ درصد و میانگین مربعات خطای ۹۷/۴ مترمکعب در هکتار برآورد نمایند. برای مشخصه تعداد در هکتار، باندهای ETM4 و ETM5 نسبت به دیگر شاخص‌ها و باندها، نتایج بهتری را ارائه دادند ($R^2=0.73/4$; $RMSE=170/133n/ha^{-1}$). (Khorrani, 2004) با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ حجم سرپا را در توده‌های راش در جنگل‌های فریم واقع در استان مازندران برآورد کرد. نتایج نشان داد که باند مادون قرمز نزدیک و باند ۴ ادغام یافته با باند PAN، بیشترین میزان همبستگی را با حجم سرپا به ترتیب با $r=0.76-$ و $r=0.80-$ داشته است. نتایج آنالیز رگرسیونی با استفاده از روش Backward مشخصه حجم را با ضریب تبیین ۰/۵۸ برآورد کرد. با توجه به موارد فوق، هدف از این مطالعه تعیین قابلیت سنجنده ASTER با قدرت تفکیک ۱۵ و ۳۰ متر در برآورد مشخصه‌های ساختاری جنگل شامل حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار می‌باشد. این اطلاعات در صورت دقت خوب می‌تواند برای مدیریت این توده و انجام عملیات وابسته، با هزینه و زمان کمتر بسیار مفید باشد.

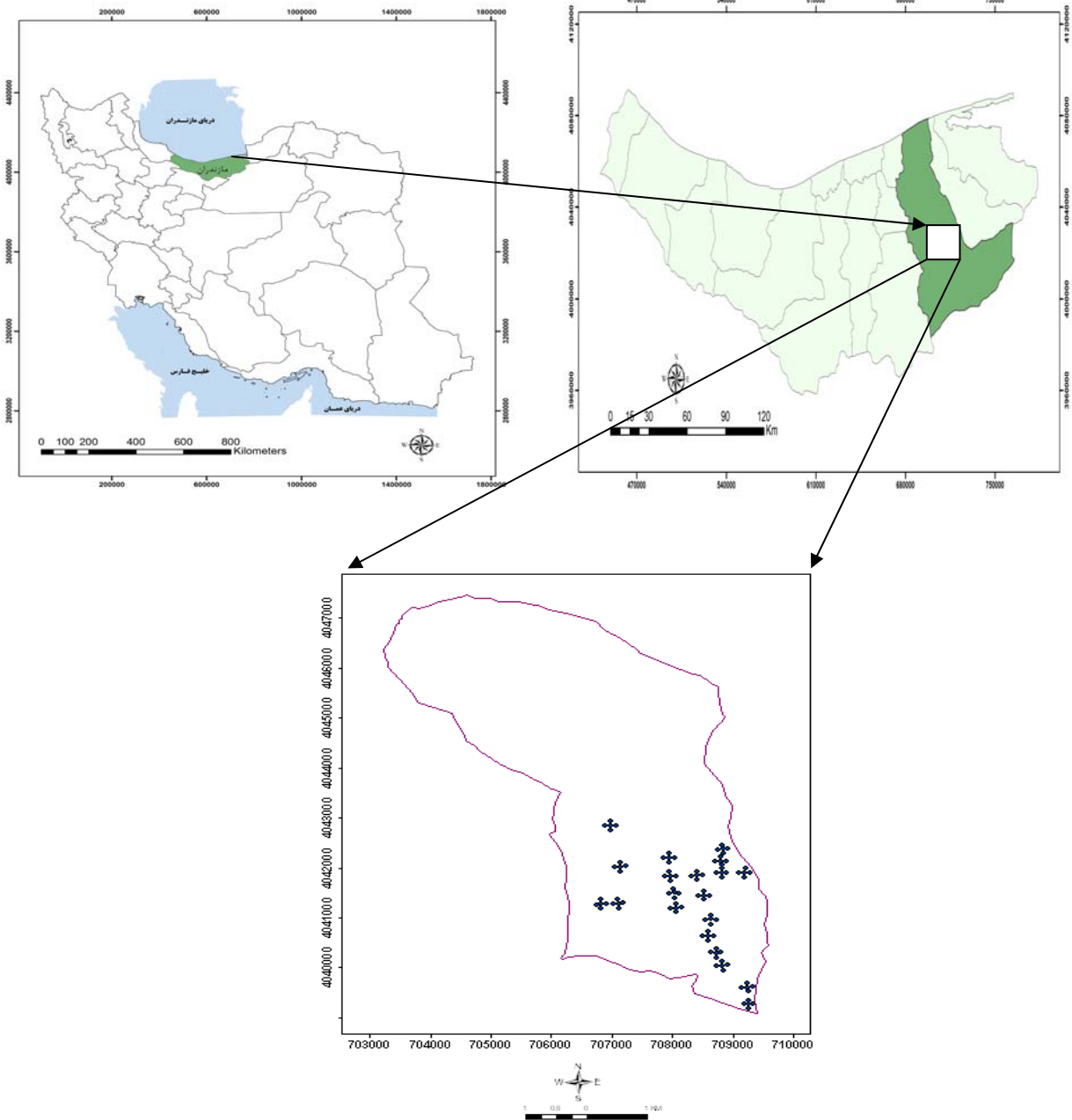
مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در بخشی از جنگل آموزشی و پژوهشی

منطقه مورد مطالعه از ۱۴۰ متر تا ۸۸۰ متر از سطح دریا متغیر بوده و جهت عمومی منطقه شمالی می‌باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

دارابکلای ساری و با مساحتی حدود ۲۶۱۲ هکتار انجام گرفت. این جنگل‌ها به شیوه جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت اداره شده و برداشت در آنها به روش تک‌گزینی می‌باشد. ساختار جنگل منطقه، پهن‌برگ ناهمسال نامنظم است. دامنه ارتفاعی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی و قطعات نمونه در روی نقشه سری یک دارابکلا

- برداشت اطلاعات زمینی

استخراج گردیده است) و تعداد ۲۱ نقطه کنترل زمینی (GCP^۶) صورت گرفت. تصاویر VNIR با میزان خطای RMSE^۷ برابر با ۰/۶۳ پیکسل و تصاویر SWIR با میزان ۰/۶۱ پیکسل مورد تصحیح هندسی قرار گرفتند. با عمل نمونه‌گیری مجدد و برای هماهنگ‌سازی ابعاد پیکسل‌های تمامی تصاویر، مقدار ابعاد پیکسل‌های تصاویر SWIR به ۱۵ متر تبدیل گردید. برای بررسی میزان دقت تصحیحات هندسی صورت گرفته از لایه‌های وکتوری جاده‌ها استفاده شد و از صحت این تصحیحات اطمینان حاصل شد. در این تحقیق از پردازش‌های مختلفی برای بررسی قابلیت این نوع پردازش‌ها و بارزسازی مشخصه‌های کمی استفاده گردید. یکی از مهمترین این پردازش‌ها، نسبت‌گیری باندها به منظور ایجاد شاخص‌های گیاهی می‌باشد. شاخص‌های گیاهی تبدیلات ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف شده و برای ارزیابی و بررسی مشخصات بیوفیزیکی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چند طیفی مورد استفاده محققین قرار گرفته‌اند. پس از تصحیحات هندسی، شاخص‌های گیاهی که در پژوهش‌های مشابه مورد استفاده قرار گرفته بود برای استفاده در این مطالعه ایجاد گردید (جدول ۱).

- استخراج ارزش‌های رقومی و بررسی همبستگی

میانگین ارزش‌های رقومی پیکسل‌های متناظر با ابعاد قطعات نمونه (۴×۴ پیکسل) از تمام باندها و شاخص‌های گیاهی استخراج گردید. آنالیز همبستگی بین تمام متغیرهای مستقل انجام و با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، باندها و شاخص‌هایی که دارای کمترین همبستگی با هم بودند برای مدل‌سازی استفاده شد (Turner & Mahiny, 2003) با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۸ از نرمال بودن داده‌ها اطلاع حاصل شد. تمام متغیرهای مستقل و وابسته دارای توزیع نرمال بودند (P value > 0.05). سپس باندها و شاخص‌هایی برای برآورد حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تراکم استفاده شد که بیشترین همبستگی با مشخصه‌های ساختاری مورد نظر را داشتند.

به‌منظور بررسی دقیق‌تر قابلیت داده‌های سنجنده ASTER در برآورد مشخصه‌های کمی، و کاهش اثر نوردهی حاصل از شرایط متفاوت توپوگرافی و اثر ترکیب گونه‌ها، نمونه‌برداری در جهت شمالی و در یک تیپ جنگلی (راش غالب) انجام گردید. نمونه‌برداری به روش خوشه‌ای تصادفی و با تعداد ۲۰ خوشه ۵ تایی (شکل ۱) در نمونه‌هایی به شکل مربع و با ابعاد ۶۰×۶۰ متر (۳۶۰۰ m²) مطابق با شانزده پیکسل باندهای VNIR و یا چهار پیکسل باندهای SWIR صورت گرفت. موقعیت مرکز قطعات نمونه با استفاده از یک دستگاه GPS^۱ (با توجه به اینکه این دستگاه دارای خطا ۳ تا ۵ متر می‌باشد)، از طریق میانگین‌گیری زمانی، با دقت حدود ۳ متر ثبت گردید. در هر قطعه نمونه اطلاعات قطر برابر سینه تمامی درختان با قطر بیش از ۷/۵ سانتی‌متر، نوع گونه و ارتفاع ۱۰ درخت به عنوان درختان ناظر (نزدیک‌ترین و قطورترین درختان در چهار گوشه قطعه نمونه) برداشت شد. مقادیر حجم سرپای درختان در هکتار در هر قطعه نمونه با استفاده از جدول حجم محلی، مقادیر سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار برای تمامی قطعات نمونه محاسبه گردید.

- داده‌های ماهواره‌ای

از داده‌های سنجنده ASTER مربوط به تاریخ ۲۰۰۷/۱۰/۱۰ برابر با ۱۸ مهرماه ۱۳۸۶ با سطوح تصحیحات (Abrams, 2000) LA^۱ در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. این سنجنده دارای سه نوع زیرسیستم VNIR^۲، SWIR^۳ و TIR^۴ می‌باشد. قدرت تفکیک مکانی این سه نوع داده به ترتیب برابر ۱۵، ۳۰ و ۹۰ متر می‌باشد. در این مطالعه از داده‌های حرارتی به علت قدرت تفکیک مکانی و طیفی نامناسب در مطالعات برآورد مشخصه‌های کمی جنگل استفاده نگردید.

- پیش‌پردازش و پردازش تصاویر

تصحیح هندسی تصاویر همراه با حذف اثر توپوگرافی بر هندسه تصویر با استفاده از مدل رقومی زمین منطقه (DEM^۵) (که از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ با دقت ارتفاعی ۱۰ متر

^۱ Global positioning system

^۲ Visible and Near Infrared

^۳ Short Wave Infrared

^۴ Thermal Infrared

^۵ Digital Elevation Model

^۶ Ground control points

^۷ Root Mean Square error

^۸ Kolmogorov-Smirnov

جدول ۱- مهم‌ترین شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در این مطالعه

منبع	فرمول	کد	شاخص گیاهی
Jiang et al, 2003	Red/ NIR	SI	Stress Index
Tucker, 1979	NIR- Red	DVI	Differential Vegetation Index
Rouse et al., 1973	NIR-Red/ NIR+Red	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
Rock et al., 1986	SWIR/NIR	MSI	Moisture Stress Index
Wolter et al., 2009	SWIR/[Red+Green/2]	SVR	Shortwave infrared to Visible Ratio
Qi et al., 1994	$(0.5) * (2 * (NIR + 1) - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - R)})$	MSAVI2	Modified Soil Adjusted Vegetation Index
Roujean and breon, 1995	Sqrt(NDVI * DVI)	RDVI	Renormalized Difference Vegetation Index
Birth and Mcvey, 1968	NIR/Red	SR	Simple Ratio
Brown et al., 2000	$SR * [1 - (SWIR - SWIR_{min}) / (SWIR_{max} - SWIR_{min})]$	RSR	Reduced Simple Ratio
Gao, 1996	NIR-SWIR/NIR+SWIR	NDWI	Normalized Difference Water index
	Swir1/swir2	Swir12	Simple Ratio

- مدل‌سازی آماری

پیشنهاد می‌شود (Mohammadi, 2007). همچنین، با توجه به اینکه مقادیر پیش‌بینی حاصل از یک معادله رگرسیونی بر مبنای زیرمجموعه‌ای از متغیرها آریبی دارد لذا از معیارهای CP مالو (Mohammadi, 2007)، و با توجه به اینکه بعضی از تکنیک‌های مدل‌سازی پارامترهای زیادی به کار می‌برند و این عامل باعث عدم قطعیت در برآورد پارامترها می‌شود و پیش‌بینی مدل را دچار مشکل می‌کند از معیار اطلاعاتی اکائیک، معیار اطلاعاتی اکائیک تصحیح شده استفاده شد (Aertsen et al., 2010).

- انتخاب و ارزیابی اعتبار بهترین مدل

در این پژوهش ۱۵ قطعه نمونه که در فرآیند مدل‌سازی شرکت داده نشدند، برای ارزیابی اعتبار خروجی بهترین مدل‌های بدست‌آمده مورد استفاده قرار گرفت. مدل‌هایی را که دارای بیشترین R^2_{adj} و کمترین مقدار از معیارهای CP، Schwarz BIC، AIC (corrected)، AIC، MSE، Mallow بودند، به عنوان بهترین مدل برای ارزیابی متغیرهای مورد بررسی انتخاب گردیدند. برای ارزیابی اعتبار مدل رگرسیونی از معیارهای RMSE، RMSE نسبی، Bias و Bias نسبی استفاده شد (Pekkarin & Makela, 2004). در زیر روابط مربوط به آنها آورده شده است.

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 به روش انتخاب بهترین زیرمجموعه^۱ صورت گرفت. با استفاده از آنالیز رگرسیون بهترین زیرمجموعه، بهترین مدل‌ها پیش‌بینی کننده ممکن انتخاب و سپس با استفاده از آماره‌های R^2_{adj} ، R^2 ، CP Mallow، MSE، AIC^2 ، AIC (corrected) و Schwarz BIC^۳ مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این مقاله برای انتخاب بهترین مدل از مدل‌های موجود برای هر مشخصه از پارامترهای ضریب تبیین، ضریب تبیین اصلاح شده، CP مالو، معادله میانگین مربعات خطا، معیار اطلاعاتی اکائیک، معیار اطلاعاتی اکائیک تصحیح شده و معیار اطلاعاتی بیزین استفاده شد. دلیل استفاده از این روش‌ها این است که با توجه اینکه ضریب تبیین معمولاً نسبتی از تغییرات کل مشاهدات را با متغیر وابسته به صورت خطی بیان می‌کند. برخی از پژوهشگران ضریب تبیین اصلاح شده را ترجیح می‌دهند زیرا ضریب تبیین اصلاح شده الزاماً با اضافه شدن متغیر افزایش نمی‌یابد. به دلیل اینکه ضریب تبیین تعداد پارامترهای مدل را به حساب نمی‌آورد و حداکثر ضریب تبیین با افزایش تعداد پارامترهای مدل هرگز کاهش نمی‌یابد. لذا استفاده از میانگین مربعات خطا

^۱ Best subset

^۲ Akaike information criterion

^۳ Schwarz's Bayesian information criterion

$$RMSe = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (est_i - obs_i)^2}{m}} \quad RMSe\% = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m (est_i - obs_i)^2}}{\sum_{i=1}^m (obs_i) / m} * 100 \quad Bias = \frac{\sum_{i=1}^m (est_i - obs_i)}{m} \quad Bias\% = \frac{\sum_{i=1}^m (est_i - obs_i)}{\sum_{i=1}^m (obs_i) / m} * 100$$

منطقه نشان می‌دهد که میانگین حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تراکم درختان به ترتیب ۳۸۲/۹ متر مکعب در هکتار، ۳۴/۲ متر مربع در هکتار و ۳۰۱/۴ پایه در هکتار می‌باشد (جدول ۲).

- برآورد حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تراکم درختان با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER

روش انتخاب بهترین زیر مجموعه نشان داد که ترکیب باند سبز و شاخص‌های NDVI و MSAVI2 به‌عنوان بهترین مدل برای برآورد حجم بوده و 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) بوده است (جدول ۳).

که est_i مقدار برآورد شده، obs_i مقدار مشاهده شده و m تعداد مشاهدات می‌باشد.

همچنین نتایج مدل‌های به‌دست آمده از نظر گرافیکی و بررسی تفاوت میانگین‌ها و بررسی اعتبار حقیقی مدل رگرسیونی از طریق مقایسه وضعیت میانگین خطاها، ثبات واریانس و توزیع نرمال باقیمانده‌ها از نظر گرافیکی مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعه از نرم‌افزار SPSS و SYSTAT 13 برای تجزیه و تحلیل آماری و نرم افزار PCI Geomatica و IDRSI Andes برای پیش پردازش و پردازش تصاویر استفاده شد.

نتایج

نتایج اولیه از بررسی وضعیت متغیرهای مورد بررسی در

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

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

جدول ۳- R^2 ، R^2_{adj} ، cp مالو، میانگین مربعات خطا، AIC، تصحیح شده و Schwartz BIC در مدل‌های برآورد حجم توده

متغیر مستقل	ضریب تبیین	ضریب تبیین اصلاح شده	CP مالو	میانگین مربعات خطا	معیار اطلاعاتی اکائیک	اکائیک اصلاح شده	بایسین شوارتز
MSAVI2	۵۱/۱	۵۰	۴۱	۵۰/۵	۹۸۹/۹	۹۹۵/۲	۹۹۷/۲
NDVI	۳۰/۲	۲۹/۴	۳۵/۷	۲۹/۴	۱۰۱۹/۴	۱۰۱۹/۷	۱۰۲۶/۶
NDVI MSAVI2	۵۱/۱	۴۹/۹	۴۳	۹۲/۴	۹۹۱/۹	۹۹۲/۱	۱۰۰۱/۶
Green NDVI MSAVI2	۶۰/۷	۵۹/۲	۱۳/۵	۵۸/۳	۹۷۵/۸	۹۷۶/۶	۹۸۷/۹
MSAVI2 SWIR2 Green NDVI	۶۲/۶	۶۰/۷	۱۱/۸	۸۴/۰۷	۹۷۳/۵	۹۷۴/۶	۹۸۸/۰۷

شده بود را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) رگرسیون در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد ($P < 0/001$). همچنین نتایج آنالیز واریانس برای مشخصه حجم در هکتار مدل در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۴ نتایج ارزیابی اعتبار مدل به دست آمده از ترکیب خطی باند سبز و شاخص‌های MSAVI2 و NDVI که با ضریب تبیین اصلاح شده ۵۹/۲ درصد و CP مالو ۱۳/۵ و میانگین مربعات خطای ۱۱۶/۵ در مقایسه با دیگر ترکیبات مورد بررسی به‌عنوان بهترین مدل برای برآورد حجم انتخاب

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

متغیر وابسته	متغیرهای مستقل	ضرایب	عدد ثابت	R^2_{adj} (%)	RMSE (m^3/ha)	RMSE _r (%)	Bais (m^3/ha^{-1})	Baisr (%)
حجم توده (m^3/ha^{-1})	MSAVI2	-۵۷۹۹	۴۱/۸	۵۹/۲	۱۱۶/۵	۳۰/۴	-۳۱/۳۸	-۸/۱۵
	NDVI	۷۳۴۴						
	Green	-۱۷۳۷						

می‌باشد (جدول ۶). نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) نشان داد که آنالیز رگرسیون در سطح ۹۹ درصد برای سطح مقطع برابر سینه به عنوان متغیر وابسته و شاخص‌های NDVI، SWIR12 و MSAVI2 به عنوان متغیرهای مستقل معنی‌دار می‌باشد (جدول ۶). همچنین نتایج آنالیز واریانس برای مشخصه سطح مقطع در هکتار مدل در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود.

در برآورد سطح مقطع برابر سینه در هکتار بهترین مدل با ترکیب خطی شاخص‌های NDVI و MSAVI2 و SWIR12 و با مقادیر مناسب R^2_{adj} ، میانگین مربعات خطا، cp مالو، AIC، AIC تصحیح شده و BIC به دست آمد (جدول ۵). این مدل دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۷۲/۵ درصد و ریشه میانگین مربعات خطای ۵/۱۴ متر مربع در هکتار

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

متغیر مستقل	ضریب تبیین	ضریب تبیین اصلاح شده	CP مالو	میانگین مربعات خطا	معیار اطلاعاتی اکائیک	اکائیک اصلاح شده	بایسین شوارتز
MSAVI2	۶۴/۶	۶۴/۱	۲۶/۷	۴/۴۲	۴۸۶/۴	۴۸۶/۷	۴۹۳
NDVI	۱۹/۱	۱۸/۱	۱۶۲/۵	۶/۶	۵۵۵/۰۱	۵۵۵/۳	۵۶۲/۲
MSAVI2 NDVI	۷۱/۵	۷۰/۸	۸/۱	۳/۹	۴۷۰/۴	۴۷۰/۹	۴۸۰/۱
SWIR12 MSAVI2 NDVI	۷۳/۵	۷۲/۵	۴	۳/۸	۴۶۶/۲	۴۶۶/۰۴	۴۷۸/۳
SVR SWIR12 MSAVI2 NDVI	۷۳/۸	۷۲/۴	۵	۳/۸	۴۶۷/۵	۴۶۸/۶	۴۸۲/۰۸

جدول ۶- نتایج آنالیز چند متغیره برای برآورد سطح مقطع در هکتار

متغیر وابسته	متغیرهای مستقل	ضرایب	عدد ثابت	R^2_{adj} (%)	RMSE (m^2/ha)	RMSE _r (%)	Bais (m^2/ha)	Baisr (%)
سطح مقطع در هکتار (m^2/ha^{-1})	MSAVI2	-۲۷۹	۷۹/۹	۷۲/۵	۵/۱۴	۱۵	۰/۹	۲/۷
	NDVI	۲۳۷						
	SWIR12	-۵۰/۶						

نظر مقادیر ضرایب R^2 ، R^2_{adj} ، میانگین مربعات خطا، CP مالو، AIC، تصحیح شده و BIC شوارتز بوده است (جدول ۷).

برای برآورد متغیر تعداد درختان در هکتار، ترکیب باندهای SWIR1، SWIR3 و MSAVI2 دارای بهترین نتایج از

جدول ۷- مقادیر ضرایب مورد بررسی حاصل از مدلسازی با ترکیبات مختلف در برآورد متغیر تعداد در هکتار

متغیر مستقل	ضریب تبیین	ضریب تبیین اصلاح شده	CP مالو	میانگین مربعات خطا	معیار اطلاعاتی اکائیک	اکائیک اصلاح شده	بایسین شوارتز
MSAVI2	۸۲/۷	۸۲/۵	۱۸/۳	۳۰/۱	۷۸۵/۶	۸۷۵/۹	۷۹۲/۸
NDVI	۵۳/۷	۵۳/۲	۱۹۰	۵۰/۴	۸۶۹/۱	۸۶۹/۴	۸۷۶/۳
MSAVI2 NDVI	۸۳	۸۲/۶	۱۳/۲	۲۸/۶	۷۸۶/۴	۷۸۶/۶	۷۹۶/۰۱
SWIR1 MSAVI2 SWIR3	۸۵/۶	۸۵	۶/۴	۲۷/۹	۷۵۵/۱	۷۵۵/۹	۷۸۷/۰۳
SWIR2 SWIR1MSAVI2 NDVI	۸۵/۷	۸۵	۷/۹	۲۷/۹	۷۶۶/۳	۷۷۷/۵	۷۹۰/۷۴

هکتار مدل در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. نتایج بررسی میانگین تفاوت‌ها نشان داد که حجم سرپا بین ۲۵۰-۵۰۰ مترمکعب در هکتار، سطح مقطع برابر سینه بین ۳۵-۳۰ مترمربع در هکتار و تعداد درختان بین ۲۸۰-۳۵۰ در هکتار دارای کمترین میانگین تفاوت‌ها است (شکل ۲ الف، ب و ج).

این مدل دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۸۵ درصد و ریشه میانگین مربعات خطای ۵۰/۹۵ پایه در هکتار می‌باشد (جدول ۸). نتایج مربوط به آنالیز تجزیه واریانس معنی‌دار بودن رگرسیون را در سطح ۹۹ درصد بین متغیر تعداد درختان در هکتار و متغیرهای مستقل باندهای SWIR1، SWIR3 و شاخص MSAVI2 تأیید می‌نماید ($P < 0/001$). همچنین نتایج آنالیز واریانس برای مشخصه تعداد درختان در

جدول ۸- نتایج رگرسیون چند متغیره و ارزیابی بهترین مدل در برآورد متغیر تعداد درختان در هکتار

متغیر وابسته	متغیرهای مستقل	ضرایب	عدد ثابت	R^2_{adj} (%)	RMSE (n/ha)	RMSE _r (%)	Bais (n/ha)	Baisr (%)
تعداد درختان (n/ha ⁻¹)	MSAVI2	۲۳۶۲	۱۳۳۶	۸۵	۵۰/۹۵	۱۶/۹	۱۷/۳۶	۵/۷
	SWIR1	۱۸/۵						
	SWIR3	۲۰/۱						

بحث و نتیجه‌گیری

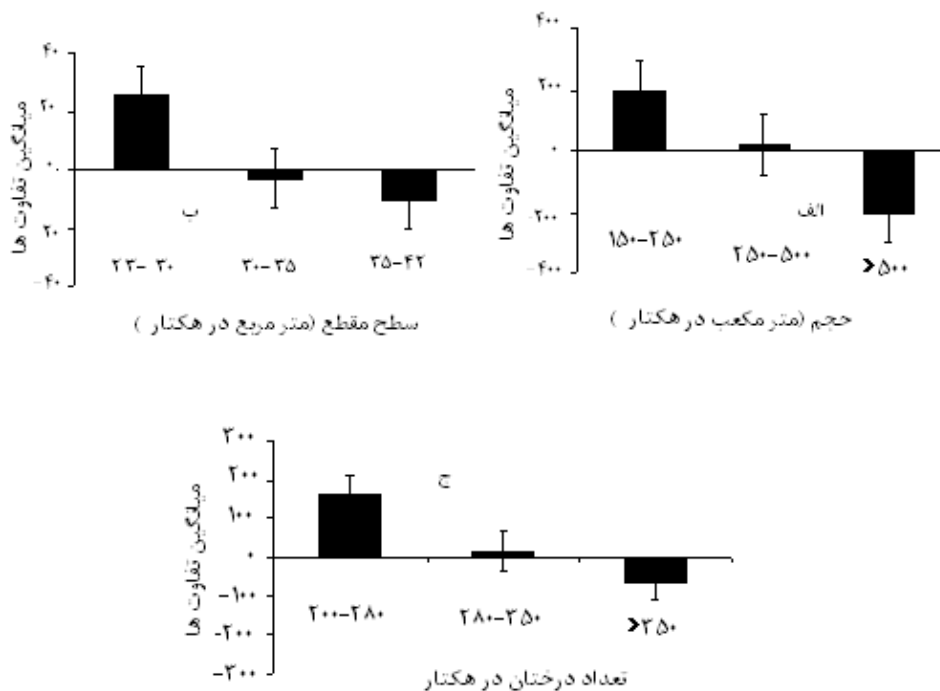
هدف از این مطالعه بررسی قابلیت سنجنده ASTER در برآورد مشخصه‌های ساختار جنگل (حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار) بود. نتایج مدل‌سازی نشان داد که ترکیب خطی متغیرهای مستقل باند سبز و شاخص‌های NDVI، MSAVI2 در مقایسه با سایر ترکیب‌های به‌کار رفته دارای بیشترین مقدار ضریب تبیین و کمترین مقدار CP مالو، معادله میانگین مربعات خطا، معیار اطلاعاتی اکائیک، معیار اطلاعاتی اکائیک تصحیح شده و معیار اطلاعاتی بیزین می‌باشد. برای برآورد حجم، ضریب تبیین اصلاح شده ۵۹/۲ درصد و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی ۳۱/۳۲ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. وجود رابطه معنی‌دار خوب شاخص‌های NDVI و MSAVI2 با مشخصه حجم با نتایج تحقیقات قبلی (Ingram et al., 2000; Freitas et al., 2005)

(Gebreslasie et al., 2009; Heiskanen et al., 2006; مطابقت دارد. همچنین، رابطه معنی‌دار بین باند سبز با مشخصه حجم در نتایج (Ardö, 1992; Hyvonen, 2002) تأیید شده است. مقدار CP مالو و معادله میانگین مربعات خطا به دست آمده در این مطالعه نسبت به نتایج Mohammadi (2007) دارای وضعیت بهتری می‌باشد. همچنین مقدار AIC بدست آمده در این نسبت به نتایج Kajisa et al. (2009) دارای نتایج ضعیف‌تری بود.

از جمله دلایل آن می‌توان به استفاده از روش شیء پایه در این مطالعه اشاره کرد. در این مطالعه همبستگی بین حجم سرپا و متغیرهای مستقل منفی بود. وجود رابطه منفی بین مشخصه حجم سرپا با اعداد رقومی، در نتایج مطالعات قبلی نیز تأیید شده است (Lu et al., 2004; Steininger, 2000; Gemmell, 1995).

به‌ویژه در محدودهٔ مادون قرمز میانی می‌باشد. مطابق با نتایج Hyypa *et al.* (2000) میزان خطا برای برآورد مشخصه‌های ساختاری برای سنجندهٔ با قدرت تفکیک مکانی بهتر نسبت به سنجنده‌های دیگر با قدرت تفکیک مکانی کمتر کاهش می‌یابد. اما نسبت به نتایج Gebreslasie *et al.* (2009) در موقعی که از داده‌های کمکی سن و شاخص رویشگاه استفاده کردند و نتایج Hall *et al.* (2006) که از روش BioSTRUCT استفاده نمودند، دارای ضریب تبیین اصلاح شده کمتری می‌باشد. این نتایج نسبت به نتایج Khorrami (2004) دارای ضریب تبیین بیشتری بود که از دلایل آن می‌توان به بهتر بودن قدرت تفکیک سنجنده مورد استفاده در این مطالعه اشاره کرد. میزان RMSEr در این مطالعه نسبت به نتایج Tokola & Heikkilä (1997)، Kipelainen & Tokola (1999)، Hyypa *et al.* (2000)، Hyvonen *et al.* (2000)، Muukkonen & Heiskanen (2004) و Pekkarinen & (2005) که به ترتیب برابر با ۸۲، ۵۶، ۵۰، ۴۲/۱، ۴۷/۶ و ۴۴/۶ بوده دارای وضعیت بهتری می‌باشد.

مطابق با نتایج Butera (1986) دلیل اصلی وجود رابطهٔ منفی این است که با افزایش حجم سرپا میزان بازتابش در طول موج‌های مختلف کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش سن و رشد حجمی درختان، میزان حفرات و فضای خالی در تاج پوشش بیشتر می‌شود و تعداد اشکوب نیز افزایش می‌یابد و باعث نفوذ انرژی تابشی به داخل جنگل و پخش و جذب آن و در نهایت کاهش بازتاب طیفی می‌شود. مقدار R2 بدست آمده در این مطالعه نسبت به نتایج Trotter *et al.*, 1997; (Mohammadi *et al.*, 2007; Hall *et al.*, 2006 Gebreslasie *et al.* (2009) و نتایج BioSTRUCT بدون استفاده از داده‌های کمکی، که به ترتیب دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۳۰٪، ۴۳٪، ۳۰٪ و ۵۱٪ بوده است، وضعیت بهتری دارد. دلیل این امر می‌تواند به علت انتخاب منطقه همگن از نظر تیپ و توپوگرافی برای کاهش اثر بازتاب گونه‌ها و اثر نوردهی بر بازتاب توده در شرایط مختلف متغیرهای مورد بررسی و همچنین بهتر بودن قدرت تفکیک طیفی سنجندهٔ ASTER نسبت به سنجنده‌های TM و ETM+



شکل ۲- میانگین تفاوت‌های بین حجم سرپا (الف) و سطح مقطع برابر سینه (ب) و تعداد درختان در هکتار (ج) برآورده شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی

ضریب همبستگی پیرسون برای تمام متغیرهای مستقل برآورد کننده تعداد در هکتار مثبت بود. این نتایج مطابق با نتایج Lu *et al.*, (2004)؛ Sivanpilai *et al.*, (2006)؛ Naseri *et al.*, (2003) و Mohammadi (2007) نشان داد که باند مادون قرمز میانی اهمیت زیادی در برآورد تعداد در هکتار درختان دارد. با افزایش طول موج در باند مادون قرمز، بازتاب طیفی توده‌های با تعداد درختان بیشتر (عمدتاً توده‌های جوان که دارای تعداد پایه بیشتری در مقایسه با توده‌های مسن دارند) نیز افزایش پیدا می‌کند. در این مطالعه مدل بدست آمده دارای ضریب تبیین اصلاح شده بیشتر و همچنین میانگین مربعات خطای کمتری نسبت به مدل بدست آمده در مقایسه با پژوهش Mohammadi (2007) با استفاده از داده‌های ETM+ و Gebreslasie *et al.* (2009) (در هر دو وضعیت با و بدون داده‌های کمکی) با استفاده از داده‌های ASTER و همچنین Sivanpilai *et al.* (2006) می‌باشد. از دلایل بهتر بودن نتایج نسبت به Mohammadi (2007) و Sivanpilai *et al.* (2006) می‌توان به بهتر بودن قدرت تفکیک سنجنده و نسبت به نتایج Gebreslasie *et al.*, (2009) می‌توان به انتخاب منطقه همگن از نظر نوردهی و بازتاب طیفی گونه‌ها اشاره کرد. مقدار $AIC(corr)$ بدست آمده در این پژوهش نسبت به نتایج Prather *et al.* (2006) دارای نتایج ضعیف‌تری می‌باشد. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد داده‌های سنجنده ASTER می‌تواند گزینه مناسبی برای برآورد مشخصه‌های ساختاری همانند حجم، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار باشد و می‌توان از داده‌های بدست آمده در مدیریت جنگل استفاده کرد. با توجه به اینکه این مطالعه در توده‌های راش در جنگل دارابکلا انجام شده است می‌توان پیشنهاد کرد در سایر گونه‌های جنگلی و با وضعیت مدیریتی متفاوت انجام شود و وضعیت نتایج مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرد.

در برآورد سطح مقطع برابر سینه در هکتار، بهترین ترکیب خطی مربوط به $MSAVI2$ ، $NDVI$ و نسبت ساده $SWIR12$ می‌باشد که دارای ضریب تبیین اصلاح شده $72/5$ درصد و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی $1/07$ مترمربع در هکتار می‌باشد. همچنین دارای کمترین مقدار AIC ، AIC ، (Cor) ، BIC ، MSE و CP مالو می‌باشد. ضریب تبیین اصلاح شده برای برآورد سطح مقطع برابر سینه در این مطالعه نسبت به نتایج Gebreslasie *et al.*, (2009) بدون استفاده از داده‌های کمکی سن و شاخص رویشگاه Walter *et al.*, (2009) و برای توده‌های پهن برگ که به ترتیب دارای ضریب تبیین اصلاح شده $0/67$ و $0/71$ بودند دارای وضعیت بهتری بود. میزان $RMSE$ به دست آمده در این مطالعه نسبت به نتایج Gebreslasie *et al.*, (2009) در هر وضعیت (با داده‌های کمکی و بدون داده‌های کمکی) دارای وضعیت بهتری بود (با استفاده از داده‌های کمکی، $RMSE = 7/39 m^2$ و بدون استفاده از داده‌های کمکی، $RMSE = 9/2 m^2$). مقدار AIC بدست آمده در این مطالعه برای مشخصه سطح مقطع برابر سینه در هکتار نسبت به نتایج Ferscino *et al.*, (2001) دارای وضعیت بهتری بود و شاید از جمله دلایل آن بتوان به بهتر بودن قدرت تفکیک مکانی سنجنده مورد استفاده در این مطالعه نسبت به مطالعات بالا اشاره کرد. همچنین مقدار $AIC(corr)$ بدست آمده در این مطالعه نسبت به نتایج Prather *et al.* (2006) کمتر می‌باشد.

در برآورد متغیر تعداد در هکتار، ترکیب خطی شاخص $MSAVI2$ و باندهای $SWIR1$ و $SWIR3$ دارای بیشترین مقدار ضریب تبیین اصلاح شده و کمترین مقدار میانگین مربعات خطا، CP مالو، AIC ، AIC ، تصحیح شده و BIC شوارتز نسبت به سایر ترکیبات به کار رفته می‌باشد (جدول ۸). این ترکیب دارای ضریب تبیین اصلاح شده 85 درصد و میانگین مربعات خطای $50/95$ پایه در هکتار می‌باشد (جدول ۸).

References

- Abrams, M. 2000. The Advanced space borne thermal emission and reflection radiometer (ASTER): data products for high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *International Journal of Remote Sensing*. 21:847-859.
- Aertsens, W. Kint, V. van Orshoven, J. Özkan, K. and Muys, B. 2010. Comparison and ranking of different modeling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests. *Ecological Modeling*. 221: 1119–1130.
- Ardö, J. 1992. Volume quantification of coniferous forest compartments using spectral radiance recorded by Landsat Thematic Mapper. *International Journal of Remote Sensing*. 13:1779-1786.
- Birth, G.S. and McVey, G.R. 1968. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agronomy Journal*. 60: 640-643.
- Brown, L. J. Chen, J. M. Leblanc, S. G. and Cihlar, J. 2000. Short wave infrared modification to the simple ratio for LAI retrieval in boreal forests: an image and model analysis. *Remote Sensing of Environment*. 71:16-25.
- Butera, M.K. 1986. A correlation and regression analysis of percent canopy closure versus TMS spectral response for selected forest sites in the San Juan National Forest, Colorado. *IEEE Trans Geosciences Remote Sensing*, 24(1):122–129.
- Cohen, W. B. and Spies, T.A. 1992. Estimating structural attributes of Douglas-fir/ western hemlock forest stand from Landsat and SPOT imagery. *Remote Sensing of Environment*. 41: 1-17.
- Franklin, J. 1986. Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition. *International Journal of Remote sensing*. 7(10): 1287-1301.
- Franklin, S. E. Wulder, M.A. and Gerylo, G.R. 2001. Texture analysis of IKONOS panchromatic data for Douglas- fir age separability in British Colombia. *International Journal of Remote Sensing*. 22(13): 2627-2632.
- 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.
- Gebreslasie, M.T. Ahmed, F.B. Jan, A.N and Adrdt, V. 2009. Predicting forest structural using ancillary data and ASTER satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 12(1); S23-S26.
- 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.
- Heiskanen, J. 2006. Estimating aboveground tree biomass and leaf area index in a mountain birch forest using ASTER satellite data. *International Journal of Remote Sensing*. 27(6):1135-1158.
- 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.
- Hyypä, J. Hyypä, 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.
- 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.
- Jiang, Y. Carrow, R.N. and Duncan, R. R. 2003. Correlation analysis procedures for canopy spectral reflectance data of seashore paspalum under Traffic stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 13:187-208.

- Kajisa, T. Murakami, T. Mizoue, N. Top, N. and Yoshida, S. 2009. Object-based forest biomass estimation using Landsat ETM+ in Kampong Thom province, Cambodia. *Journal of Forest Research*. 14: 203-211.
- Kilpelainen, P. and Tokola, T. 1996. Gain to be achieved from stand delineation in Landsat TM image-based estimates of stand volume. *Forest Ecology and Management*. 124: 105-111.
- 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, 80 pp.
- 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.
- 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.
- 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.
- Maltamo, M. Hyypya J. and Malinen, J. 2006. A comparative study of the use of laser scanner data and field measurements in prediction of crown height in boreal forests. *Scandinavian Journal of forest Research*, 21:231-238.
- McRoberts, R. E. 2008. Using satellite imagery and K-nearest neighbors technique as a bridge between strategic and management forest inventories. *Remote Sensing of Environment*. 112: 2212-2221.
- Mohammadi, J. 2007. Investigating estimation some quantitative characteristics for presentation location models using Landsat ETM+ satellite data. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agriculture and Natural Sciences, 78 pp.
- Muukkonen, P. and J. Heiskanen, 2005. Estimating 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. 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, 202 pp.
- Prather .J.W. Dodo, N.L. Dickson, B.G. Hampton, H.M. Xu, Y. Aumack, E.N. and Sisk, T.D. 2006. Landscape models to predict the influence of forest structure on Tassel-Eared squirrel Populations. *Journal of wildlife management*. 70(3): 723- 731.
- 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.
- 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.
- Roujean, J.L. and Breon, F. M. 1995, Estimating RAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote sensing of Environment*. 51: 375-384.
- 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 Tehnology Satellite-1 Symposium*. 309-317.
- Sivanpillai, R. Smith, C.T. Srinivasan, R. Messina M.G. and Ben WU, X. 2006. Estimation of managed loblolly pine stands age and density with Landsat ETM+ data. *Forest Ecology and Management*. 223: 247-254.
- Steininger, M.K. 2000. Satellite estimation of tropical secondary forest above-ground biomass: data from Brazil and Bolivia. *International Journal Remote Sensing*. 21:1139–1157.
- Tokola, T. and Heikkilä, J. 1997. Improving Satellite image based forest inventory by using a priori site quality information. *Siva Fennica*. 31: 67-78.

- Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 8:127-150.
- Walker, W. S. Kellndorfer, J.M. Lapoint, E. Hoppus M. and Westfal, J. 2007. An empirical InSAR-optical fusion approach to mapping vegetation canopy height. *Remote Sensing of Environment*. 109: 482-499.
- 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. *International Journal of Remote Sensing*. 113:2019-2036.
- Zeng, D. Rademacher, J. Crow, T. Bresee, M. Le moine J. and Ryu, S. 2004. Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. *Remote Sensing of Environment*. 93:402-411.

Estimation of Forest Structural Attributes Using ASTER Data

S.Kalbi^{1*}, A.Fallah², SH. Shataee³ and DJ.Oladi⁴

¹ M.Sc. Student, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I.R. Iran

² Associate Professor, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

³ Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

⁴ Assistant Professor, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I. R. Iran

(Received: 13 November 2009, Accepted: 5 July 2011)

Abstract

Estimation of forest structural parameters is one of major basic information in sustainable management and planning in forest stands. In this study, relationship between ASTER satellite data and three forest structure factors including stand volume, basal area and number of trees per hectare were investigated in *Darabkola* forest, northern Iran. A multivariate linear regression approach was used to analyze and evaluate relationship between mentioned characteristics and ASTER satellite data. Relevant preprocessing and methods were conducted on spectral data. After gathering terrestrial information, stand volume, basal area and number per hectare were calculated for sample plots. Using some plots, performance of the best models examined by relevant evaluation criterions. The results showed that a combination of MSAVI2, NDVI and Green bands could predict stand volume characteristics better with $R^2_{adj}=59.2$; and $RMSE=116.5 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$ in comparison with other indices and band combinations. For basal area, the best results were obtained using combination of MSAVI2, NDVI and simple ratio of SWIR12 with $R^2_{adj}=73.5$ and $RMSE=5.14 \text{ m}^2/\text{h}^{-1}$. In addition, combination of MSAVI2, SWIR1 and SWIR2, was a better predictor for number per hectare rather than the other combinations by R^2_{adj} equal to 0.85 and RMSE about 50.95 number per hectare. Generally, this research showed that using linear regression approach by the ASTER data presents only general status of forest structure attributes in the study area and having more precise estimation of these attribute needs investigating other approaches such as nonlinear or nonparametric and learning machines approaches.

Keywords: ASTER satellite data, Forest structure attributes, Multivariate linear regression, Darabkola's forest