

مقایسه سنجش از دور و زمین آمار در برآورد تعداد درختان در هکتار (مطالعه موردی جنگل‌های بلوط لوه گرگان)

جهانگیر محمدی^۱، *شعبان شنایی^۲، هاشم حبشی^۳ و فرهاد یغمایی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه جنگلداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲دانشیار گروه جنگلداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۳استادیار گروه جنگلداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۴استادیار گروه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آمار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۸۶/۶/۵؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۱/۲۸

چکیده

آگاهی از وضعیت تعداد درختان در هکتار، یکی از اولویت‌هایی است که مدیران جهت ارزیابی منابع جنگلی، زمان‌بندی تیمارهای جنگل‌شناسی و برنامه‌ریزی، بایستی به آن دست یابند. برآورد تعداد درختان در هکتار از طریق عملیات میدانی مستلزم صرف زمان و هزینه‌های زیادی است. بنابراین تکنیک‌های سنجش از دور و زمین آمار به‌عنوان راه‌حلی مناسب، در برآورد تعداد درختان در هکتار مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه ۹۹ قطعه نمونه ۰/۳۶ هکتاری به ابعاد ۶۰×۶۰ متر به روش خوشه‌ای به‌طوری‌که هر خوشه دارای ۹ قطعه نمونه پیاده و اطلاعات تعداد درختان در هکتار و موقعیت مراکز قطعات نمونه برداشت شد. در این تحقیق نقشه تعداد درختان در هکتار به روش‌های رگرسیون و کریجینگ معمولی تهیه و سپس این دو روش با هم مقایسه شدند. در روش سنجش از دور ترکیب خطی باندهای ETM4 و ETM5 به‌عنوان متغیرهای مستقل، بهتر از دیگر متغیرها (باندهای اصلی و ساخته شده) تعداد درختان در هکتار را با میانگین مجذور خطای مربعات ۱۷۰/۳ بهتر توانست تعداد درختان در هکتار را برآورد نماید و در روش زمین‌آمار برآورد با استفاده از مدل کروی برازش شده بر واریوگرام به روش کریجینگ معمولی انجام شد. نتایج نشان داد که کریجینگ توانسته برآورد مناسبی از تعداد درختان در هکتار با میانگین مجذور خطای مربعات ۲۰۱/۷۶۸ ارائه دهد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سنجش از دور نسبت به زمین‌آمار دارای میانگین مجذور خطای مربعات کمتری می‌باشد. نتایج سنجش از دور و زمین‌آمار در برآورد تعداد درختان در هکتار در مقیاس محلی دارای تفاوت خیلی زیادی نمی‌باشند ولی در مقیاس وسیع استفاده از سنجش از دور دارای نتایج بهتری می‌باشد. به‌طورکلی روش سنجش از دور در برآورد تعداد درختان در هکتار به‌دلیل استفاده در سطوح وسیع، دقت قابل قبول، نمونه‌برداری کمتر و به‌صرفه‌تر بودن نسبت به زمین‌آمار برتری دارد.

واژه‌های کلیدی: تعداد درختان در هکتار، سنجش از دور، زمین‌آمار، کریجینگ، جنگل‌های بلوط لوه گرگان

مقدمه

روش‌های جمع‌آوری اطلاعات، مستلزم صرف زمان و هزینه‌های زیادی است (سیوانپیلای و همکاران، ۲۰۰۶). علاوه‌بر این گستردگی سطح جنگل‌ها، کوهستانی‌بودن عرصه‌ها و همچنین تغییرات شدید با فواصل زمانی کوتاه، به‌کارگیری این روش‌ها را با مشکلات اجرایی روبرو

به‌طورکلی تهیه اطلاعات مرتبط با تعداد درختان در هکتار از طریق عملیات میدانی صورت می‌گیرد. اما این

* - مسئول مکاتبه: shataee@yahoo.com

قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بازتاب‌های طیفی در محدوده‌ی مادون قرمز نزدیک در توده‌های تنک شده به دلیل افزایش فضای خالی در تاج پوشش و نفوذ انرژی تأیید شده به داخل جنگل و در نهایت جذب و پخش آن، کاهش می‌یابد.

یکی دیگر از روش‌های دقیق، به‌کارگیری تجزیه و تحلیل‌های مکانی است. شاخه‌ای از علم آمار کاربردی به نام زمین‌آمار قادر به ارائه وسیعی از تخمین‌گرها به منظور برآورد خصوصیت موردنظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات نقاط نمونه‌برداری شده است (حسینی پاک، ۱۹۹۸؛ برگس و وبستر، ۱۹۸۰). در زمینه برآورد تعداد درختان در هکتار با استفاده از روش کریگینگ مطالعات زیادی صورت نگرفته اما در زمینه مشخصه‌های موجودی سرپا، ارتفاع، قطر، بیومس و شاخص سطح برگ، مطالعاتی در خارج و داخل کشور صورت گرفته است. در زمینه آماربرداری جنگل، اخوان و همکاران (۲۰۰۶)، ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی جنگل‌های خزری را با استفاده از روش زمین‌آمار مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که کلیه درونیایی‌ها اریب بوده و کریگینگ توانسته با توجه به وجود اثر قطعه‌ای زیاد در تغییرنا، برآورد مناسبی از موجودی ارائه دهد. والرمن (۲۰۰۳) پیش‌بینی مکانی حجم درختان جنگلی را به کمک داده‌های ماهواره‌ای مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که میانگین مجذور خطای مربعات^۱ حاصله از سنجش از دور نسبت به کریگینگ معمولی کمتر بود و تلفیق داده‌های ماهواره‌ای با اطلاعات مکانی باعث افزایش دقت می‌شود. نانوس و مونتر و (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای، مدل‌های پراکنش قطری در استان سگویا در مرکز اسپانیا را با استفاده از زمین‌آمار مورد بررسی قرار داد همچنین نانوس و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای به بررسی مدل ضریب قدکشدگی درختان و تعداد درختان در هکتار، در استان سگویا در مرکز اسپانیا با استفاده از زمین‌آمار پرداختند.

ساخته است (خرمی، ۲۰۰۴). بنابراین، همواره سعی می‌شود تا با استفاده از دست‌آوردهای حاصل شده در زمینه‌های مختلف علمی از روش‌های جایگزین، با هزینه کمتر و با سطح دقت قابل قبول، استفاده شود (ناصری، ۲۰۰۳؛ سیوانپیلای و همکاران، ۲۰۰۶). داده‌های ماهواره‌ای، به دلایل برخورداری از مزایایی چون سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار، سهولت پردازش توأم با داده‌های میدانی می‌تواند به‌عنوان یک گزینه در جمع‌آوری اطلاعات مطرح شوند (خرمی، ۲۰۰۴؛ ناصری، ۲۰۰۳). در زمینه ارتباط بین داده‌های ماهواره‌ای و مشخصه‌های توده نظیر تراکم، حجم، تاج‌پوشش، شاخص سطح‌برگ و سن درختان جنگلی مطالعات زیادی انجام شده است (فایورالا و ریپل، ۱۹۹۳؛ سیوانپیلای و همکاران، ۲۰۰۶؛ هال و همکاران، ۲۰۰۶). بعضی از این مطالعات، اهمیت طول موج مادون قرمز را در برآورد تعداد درختان در هکتار نشان داده‌اند (ناصری، ۲۰۰۳؛ تاکر و همکاران، ۱۹۸۵؛ سیوانپیلای و همکاران، ۲۰۰۶). ناصری (۲۰۰۳) توانایی داده‌های سنجنده ETM^+ را در برآورد مشخصه‌های تیپ‌های جنگلی در پارک ملی خبر کرمان مورد ارزیابی قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که تبدیل داده‌ها و استفاده از رگرسیون چند متغیره با استفاده از باندهای مصنوعی و شاخص‌های مختلف، موجب افزایش ضرایب همبستگی و تبیین شده است. سیوانپیلای و همکاران (۲۰۰۶)، امکان برآورد تعداد درختان در هکتار و سن توده‌های مدیریت شده کاج را در تگزاس آمریکا با استفاده از داده‌های سنجنده ETM^+ مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که با استفاده از باندهای اصلی، ضریب تبیین تعدیل شده و میانگین مجذور خطای مربعات برای تعداد درختان در هکتار به ترتیب $60/4$ درصد و $312/5$ (تعداد درختان در هکتار) به دست آمد و با استفاده از باندهای پردازش شده به ترتیب $60/1$ درصد و $313/4$ (تعداد درختان در هکتار) حاصل گردید. نیلسون و همکاران (۲۰۰۱)، تغییرات در تعداد درختان در هکتار به‌وسیله تنک کردن را در جنگل‌های بورآل مورد بررسی

بهبود بخشید. هدف از این تحقیق برآورد تعداد درختان در هکتار به منظور ایجاد مدل پیش‌بینی مکانی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM^+ و روش زمین آمار و همچنین مقایسه این دو روش در جنگل‌های بلوط لوه گرگان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: جنگل‌های بلوط طرح جنگلداری لوه در حوزه اداره کل منابع طبیعی استان گلستان و در ۲۴ کیلومتری شرق شهرستان گالیکش در طول جغرافیایی 33° تا 55° و 47° تا 55° عرض جغرافیایی $37^\circ 14'$ تا $37^\circ 24'$ در ارتفاع ۱۹۰۰-۷۰۰ متر از سطح دریا قرار دارند (شکل ۱). جهت کلی این جنگل‌ها شمالی و شمال‌غربی است و مساحت آن ۱۰۶۸۳ هکتار می‌باشد.

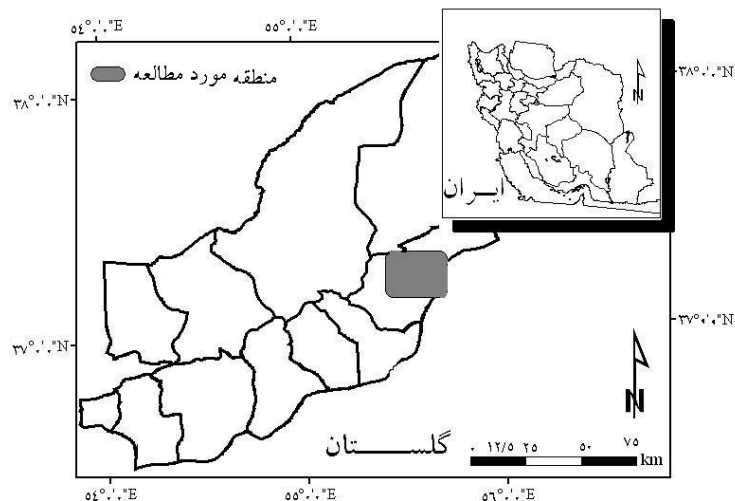
داده‌های زمینی: با توجه به این که منطقه مورد مطالعه به سه توده پرورشی (۳۳ قطعه نمونه)، اصلاحی (۳۲ قطعه نمونه) و بهره‌برداری نشده (۳۴ قطعه نمونه) تقسیم شده است، سعی شد تا برداشت داده‌های زمینی نیز در سه توده مورد نظر به‌طور مساوی صورت گیرد. در این تحقیق به دلیل وسعت زیاد منطقه و همگنی و همسانی ساختار جنگل‌های منطقه از نظر ترکیب و گونه، نمونه‌برداری به روش خوشه‌ای با تعداد اعضای مساوی صورت گرفت (زبیری، ۲۰۰۲). به‌طوری‌که هر خوشه دارای ۹ قطعه نمونه به فواصل ۲۰۰ متر و فاصله مرکز هر خوشه تا مرکز خوشه بعدی یک کیلومتر در نظر گرفته شد (شکل ۲). در این تحقیق با توجه به خصوصیات هندسی و قدرت تفکیک مکانی و توان تفکیک زمینی داده‌های سنجنده ETM^+ و همچنین ابعاد عناصر مورد اندازه‌گیری در قطعات نمونه، قطعات نمونه به شکل مربع و مساحت 3600 مترمربع (2×2 پیکسل) در نظر گرفته شدند.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کریگینگ معمولی قابلیت پیش‌بینی مکانی فاکتورهای تعداد درختان در هکتار و ضریب قدکشیدگی درختان را دارد. برتیریش و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای تهیه نقشه شاخص سطح برگ جنگل‌های بورآل کانادا را با استفاده از داده‌های سنجنده ETM^+ و زمین‌آمار مورد مقایسه قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل رگرسیونی OLS^1 و کریگینگ نسبت به مدل $SGCS^2$ دارای میانگین مجذور خطای مربعات کمتری بودند و مدل کریگینگ بیشتر در مقیاس محلی کاربرد دارد ولی مدل $SGCS$ و سنجش از دور برای نشان دادن الگوی جهانی کاربرد دارند. مارشیو و همکاران (۲۰۰۷)، در مطالعه‌ای کاربرد زمین آمار را به‌منظور بهبود دقت برآورد زی‌توده جنگل‌های برزیل بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که روش زمین آمار توانایی برآورد نقشه زی‌توده را در منطقه مورد مطالعه دارد.

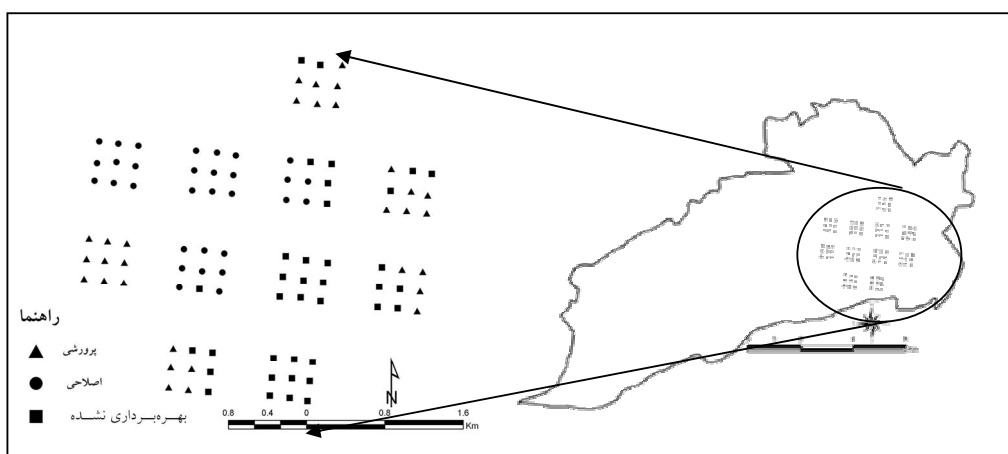
با بررسی‌های اولیه مشخص گردید که این گونه تحقیقات در جنگل‌های متفاوت با جنگل‌های شمال کشور و با شرایط مختلف گونه‌ای، ترکیب گونه‌ای و توپوگرافی مختلفی صورت گرفته است که نتایج متفاوتی نیز حاصل شده است. صرف‌نظر از این نتایج، به‌کارگیری و بررسی امکان استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و زمین آمار در برآورد مشخصه‌های مهم کمی جنگل در جنگل‌های شمال کشور می‌تواند امکان سوق دادن استفاده از این نوع داده‌ها و روش‌ها را برای جایگزین نمودن با سایر روش‌های متداول در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل فراهم نماید. امروزه تقاضای زیادی برای استفاده از نتایج آماربرداری‌های منطقه‌ای و یا ملی در سطوح محلی وجود دارد که این موضوع در آماربرداری جنگل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (ماندالاز، ۱۹۹۳) تا با تولید نقشه‌های دقیق و به‌هنگام از تعداد درختان در هکتار، بتوان کیفیت برنامه‌ریزی در جنگل را در سطوح مختلف

1- Ordinary least square

2- Sequential Gaussian Conditional Simulation



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران.



شکل ۲- نقشه مراکز قطعات نمونه برداشت شده.

۱۳۸۱ استفاده شده و اندازه تفکیک مکانی در باندهای رنگی این سنجنده معادل ۳۰ متر و در باند سیاه و سفید معادل ۱۵ متر می‌باشد.

پیش‌پردازش و پردازش تصاویر: تصاویر سنجنده ETM^+ مورد استفاده در این تحقیق قبلاً توسط سازمان نقشه‌برداری کشور خطای ناشی از پستی و بلندی زمین^۱ آن تصحیح شده بود. ولی به‌منظور اطمینان از میزان تطابق تصاویر، از لایه‌برداری جاده‌های جنگلی و همچنین نقاط برداشت شده به‌وسیله GPS استفاده شد و مشخص شد که داده‌ها دارای صحت هندسی قابل قبولی می‌باشند. همچنین برای کاهش اثر اتمسفری از مدل $COST$

پس از تعیین نقطه شروع براساس نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه شبکه مورد نظر بر روی زمین پیاده شد. سپس با تعیین محل تقاطع شبکه، قطعات نمونه به‌صورت 60×60 متر بر روی زمین به‌طور دقیق پیاده شدند. پس از ثبت موقعیت مرکز قطعه نمونه در حافظه GPS و اطلاعات تعداد درختان در قطعه نمونه در فرم‌های آماربرداری یادداشت و ثبت شد. در نهایت در کل منطقه ۱۱ خوشه (۹۹ قطعه نمونه) مورد آماربرداری قرار گرفتند.

داده‌های ماهواره‌ای: در این تحقیق از داده‌های سنجنده ETM^+ ماهواره لندست ۷ به شماره گذر ۱۶۲ و ردیف ۳۴ مربوط به تاریخ ۷ ژوئای ۲۰۰۲ برابر با ۱۶ تیر ماه

1- Orthorectification

نیز ثبت شد. از طریق رگرسیون بهترین زیر مجموعه^۶ ارتباط بین تعداد درختان در هکتار و ارزش‌های طیفی، مورد بررسی و اقدام به شناسایی بهترین مدل رگرسیونی شد. در رگرسیون بهترین زیر مجموعه تمامی مدل‌های رگرسیونی ممکنه مربوط به متغیرهای مستقل بررسی و طبق معیارهای ضریب تبیین، ضریب تبیین اصلاح شده، آماره C_p^v و میانگین مجذور خطا بهترین مدل رگرسیونی انتخاب می‌شود. در نهایت مدلی انتخاب می‌شود که بیشترین ضریب تبیین (ضریب تبیین اصلاح شده) و کمترین C_p و میانگین مجذور خطا را دارا باشد (مصدافی، ۲۰۰۴).

به منظور برازش مدل‌های رگرسیونی، تعداد درختان در هکتار به عنوان متغیر وابسته و ارزش رقومی پیکسلی باندها، به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. سپس از طریق رگرسیون بهترین زیر مجموعه ارتباط بین تعداد درختان در هکتار و ارزش‌های طیفی، مورد بررسی و بهترین مدل خطی چند گانه رگرسیونی شناسایی شد و با اعمال ضرایب رگرسیونی در نرم‌افزار Idrisi Kilimanjaro نقشه تعداد درختان در هکتار به دست آمد.

برآورد تعداد درختان در هکتار با استفاده از کریگینگ: زمین آمار شامل فرآیند اریوگرافی و درون‌یابی کریگینگ می‌باشد. در فرآیند اریوگرافی از اریوگرام یا واریانس وابسته به فاصله که ساختار ارتباط فضایی (مکانی) را در بین نمونه‌ها نشان می‌دهد، برای مدل‌سازی واریانس فضایی (مکانی) داده‌ها استفاده می‌شود تابع اریوگرام به صورت زیر تعریف می‌شود (معادله ۱) (نانوس و همکاران، ۲۰۰۴).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

به طوری که $\hat{\gamma}(h)$ مقدار نیمه تغییرنا^۸ برای تعداد N جفت نمونه است که با فاصله (h) (گام یا lag) از

استفاده گردید (ماهینی و تارنر، ۲۰۰۷). این روش سعی در تصحیح نسبی و کاهش اثر اتمسفری دارد. پارامترهای مورد نیاز در روش COST شامل سال، ماه، روز و ساعت تصویربرداری، زاویه دید ماهواره، زاویه ارتفاع خورشید^۱، مرکز یا وسط طول موج هر باند، تیرگی هوا، L_{max} ، L_{min} و DN_{max} می‌باشد. تصحیح اتمسفری با استفاده از داده‌های سرباره^۲ تصاویر در محیط نرم‌افزار Idrisi Kilimanjaro انجام گرفت. در این تحقیق علاوه بر داده‌های اصلی سنجنده پردازش‌های مناسب نظیر نسبت‌گیری^۳، شاخص‌های گیاهی^۴، تجزیه مؤلفه‌های اصلی^۵ نیز بر روی داده‌های اصلی جهت ایجاد تصاویر مختلف انجام شد. جهت انتخاب بهترین تصاویر برای شرکت در مدل‌سازی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد به طوری که از بین کل باندهای اصلی و مصنوعی باندهایی انتخاب شدند که ضریب همبستگی بین آنها کمتر بود (ماهینی و تارنر، ۲۰۰۳).

استخراج ارزش‌های رقومی تصاویر در محل قطعات نمونه: در این تحقیق از ۹۹ قطعه نمونه برداشت شده زمینی، تعداد ۸۴ قطعه نمونه (۸۵ درصد) در فرآیند مدل‌سازی به کار گرفته شد و تعداد ۱۵ قطعه نمونه (۱۵ درصد) برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. میانگین ارزش‌های رقومی (DN) چهار پیکسل دربرگیرنده هر ۸۴ قطعه نمونه در تصاویر مختلف اعم از باندهای اصلی و باندهای حاصل از پردازش‌های مختلف استخراج شد.

آنالیزهای آماری: پس از برداشت مشخصه تعداد درختان در هکتار در سطح قطعه نمونه، کلیه داده‌های مورد نیاز نیز از قبیل تراکم، موقعیت مرکز قطعه نمونه در نرم‌افزار آماری 13 Minitab ثبت شد و سپس میانگین ارزش‌های طیفی متناظر با قطعات نمونه پس از استخراج

- 1- Sun elevation
- 2- Header file
- 3- Ratioing
- 4- Vegetation index
- 5- Principal component analysis

- 6- Best sub setting
- 7- Mallows Cp statistic
- 8- Semivariance

$$E[\hat{Z}(X) - Z(X)]^2 = \min_{Z(X)} \quad (5)$$

ویژگی دیگر کریگینگ، علاوه بر دقت در برآورد، این است که به همراه هر برآوردی (نقشه کریگینگ) میزان اشتباه آن (نقشه انحراف معیار کریگینگ) را نیز محاسبه می کند. بنابراین با استفاده از این روش می توان کیفیت برآوردها را کمی کرد. عمومی ترین شکل کریگینگ که بیشترین کاربرد را در مطالعات زیست محیطی دارد، کریگینگ معمولی^۷ است که اغلب به صورت بلوکی استفاده می شود.

ارزیابی برآوردها: به منظور ارزیابی و برآزش مدل های رگرسیونی و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل های آماری، حدود پانزده درصد از داده ها (N=15) به صورت تصادفی انتخاب و به عنوان مجموعه داده های معیار از کلیه تجزیه و تحلیل ها کنار گذاشته شدند. بدین ترتیب با استفاده از دو روش آماری رگرسیون و کریگینگ معمولی تعداد درختان در هکتار در محل هایی که دارای داده های معیار بود، تخمین زده شد. سپس با در اختیار داشتن مقادیر تخمینی، (\hat{y}_i) از هر دو روش و مقادیر حقیقی، (y_i) ، و با استفاده از معیارهای آماری زیر اقدام به مقایسه نتایج حاصل از تخمینگرهای مختلف شد (معادله های ۶ و ۷) (محمدی و چیت ساز، ۲۰۰۲؛ مکلا و پکارینین، ۲۰۰۴):

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}{N}} \quad (7)$$

که در این معادلات N تعداد نمونه های معیار، \hat{y}_i مقدار برآورد شده و y_i مقدار واقعی می باشد. بهترین برآورد در نقاط مشاهده نشده برآوردی است که دارای حداقل میانگین مجذور خطا^۸ و حداقل میانگین مجذور خطای مربعات باشد. مقایسه روش های سنجش از دور و زمین آمار به وسیله محاسبه معیارهای مذکور روی

یکدیگر جدا شدند. $Z(x)$ نیز ارزش متغیر X در نقطه i است.

بعد از محاسبه نیمه تغییرنما در گام های مختلف تغییرنمای تجربی^۱ ترسیم می گردد. سپس مدل مناسب با حداقل مجذور خطا به نقاط نیمه تغییرنما برآزش داده شد و پارامترهای دامنه تأثیر^۲، سقف^۳ و اثر قطعه ای^۴ جهت آنالیزهای کریگینگ و میان یابی محاسبه شدند. یکی از متداول ترین مدل های رایج که در این تحقیق نیز به پارامتر مورد بررسی برآزش داده شد، مدل کروی^۵ است که معده آن به شرح زیر می باشد (معادله ۲) (وبستر و اولیور، ۲۰۰۰):

$$E[\hat{Z}(X) - Z(X)] = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2)$$

C_0 : اثر قطعه ای، C: واریانس فضایی، a: دامنه تأثیر برای ارزیابی اعتبار مدل و برآوردها، از روش اعتبار دهی مقطعی^۶ استفاده شد. این روش شامل حذف به نوبت نمونه ها و برآورد مجدد آنها به روش کریگینگ با استفاده از سایر نمونه ها و مدل برآزش شده بر واریوگرام تجربی است. سپس از تفاضل مقادیر واقعی و برآورد شده برای ارزیابی برآوردها استفاده می شود (ون میروین، ۱۹۹۱).

کریگینگ که شیوه برآورد یا تخمین در روش زمین آمار است، بهترین تخمین گر نارایب خطی است که می تواند بدون اربیی و با حداقل واریانس، ارزش متغیرها را در نقاط نمونه برداری نشده، برآورد کند. تابع کریگینگ به صورت زیر تعریف می شود (معادله های ۳، ۴ و ۵) (وبستر و اولیور، ۲۰۰۰):

$$\hat{z}(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (3)$$

n: تعداد نمونه ها، λ_i : وزن داده شده به هر نمونه به طوری که:

$$E[\hat{Z}(X) - Z(X)] = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (4)$$

- 1-Experimental variogram
- 2-Range
- 3-Sill
- 4-Nugget effect
- 5-Spherical
- 6-cross-validation

- 7-Ordinary kriging
- 8- Mean square error

برخوردار نیست ($P\text{-value} < 0/05$) بدین ترتیب تبدیل لگاریتمی صورت گرفت ($P\text{-value} > 0/05$) منحنی هیستوگرام این متغیر بعد از تبدیل نیز حاکی از نرمال بودن آنها می‌باشد.

برآورد و تهیه نقشه تعداد درختان در هکتار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای: نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون نشان داد که ترکیب خطی $ETM4$ و $ETM5$ (جدول ۲) به‌عنوان متغیر مستقل در مقایسه با دیگر باندها و ترکیبات به‌کار گرفته شده با ضریب تبیین $0/734$ و میانگین مجذور خطای مربعات $170/3$ (تعداد درختان در هکتار) بهتر توانست تعداد درختان در هکتار را برآورد نماید (جدول ۲).

داده‌های معیار ۱۵ نمونه) که در محاسبات وارد نشده‌اند، صورت گرفت.

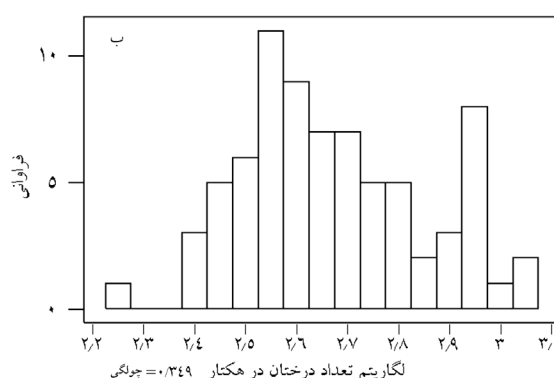
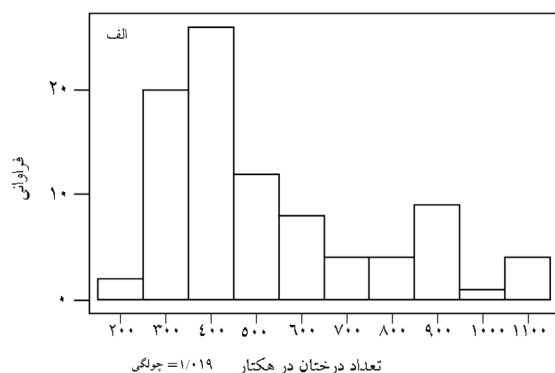
نتایج

با اجرای نمونه‌برداری، به روش خوشه‌ای، ۹۹ قطعه نمونه در محدوده منطقه مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. بررسی آماره‌های توصیفی مشخصه تعداد درختان در هکتار نشان داد که دامنه تغییرات این مشخصه زیاد بوده و نشان‌دهنده کل دامنه ساختار توده جنگلی می‌باشد (جدول ۱).

شکل ۳ (الف و ب) پراکنش تعداد درختان در هکتار قبل از تبدیل و بعد از تبدیل را نشان می‌دهد. نرمال بودن داده‌ها به‌وسیله آزمون کولموگروف اسمیرونوف نشان داد که مشخصه تعداد درختان در هکتار از توزیع نرمال

جدول ۱- توصیف آماری متغیر مورد استفاده.

تعداد	میانگین	انحراف معیار	دامنه	حداقل	حداکثر
۸۴	۵۲۸/۸۴	۲۵۰/۱	۱۰۸۰/۵۶	۱۶۹/۴۴	۱۲۵۰
۱۵	۵۷۱/۱	۲۶۸/۸۵	۸۱۶/۶۷	۲۸۶/۱۱	۱۱۰۲/۷۸



شکل ۳- الف) پراکنش داده‌های زمینی متغیر مورد استفاده قبل از تبدیل. ب) بعد از تبدیل.

جدول ۲- نتایج آنالیز رگرسیون چندگانه جهت برآورد تعداد درختان در هکتار با استفاده از داده‌های سنجنده ETM^+ .

	B_0	B_1X_1	B_2X_2	سطح معنی‌داری	cv	R^2	R^2 (adj)	MSE	RMSE
تعداد درختان در هکتار	۱/۶۶	۰/۰۱۸۲(ETM4)	-۰/۰۱۵۴(ETM5)	۰/۰۰۰۱	۰/۴۷	۰/۷۴	۰/۷۳۴	۲۸۹۴۴	۱۷۰/۱۳

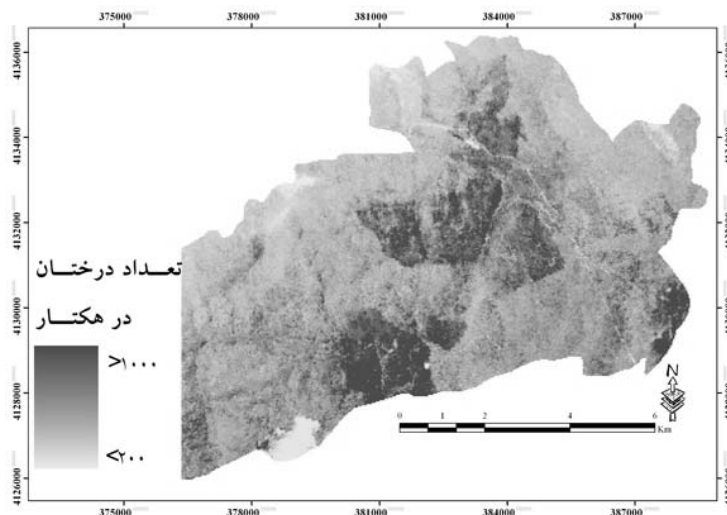
و تعداد درختان در هکتار بین ۸۰۰-۳۰۰ دارای کمترین میانگین تفاوت می‌باشد.

برآورد و تهیه نقشه تعداد درختان در هکتار با استفاده از زمین‌آمار: داده‌های مورد استفاده در مطالعات زمین‌آمار باید دارای توزیع نرمال باشند. بررسی پراکنش نمونه‌ها نشان داد که داده‌های مورد استفاده دارای توزیع نرمال نبوده و بنابراین قبل از مدل‌سازی بر روی متغیر تعداد درختان در هکتار تبدیل لگاریتمی صورت گرفت. شکل ۶ واریوگرام تجربی محاسبه شده برای داده‌های مربوط به تعداد درختان در هکتار ۹۹ قطعه نمونه برداشت شده و مدل کروی برازش شده بر آن را که با استفاده از نرم‌افزار GS^+ محاسبه شده است نشان می‌دهد.

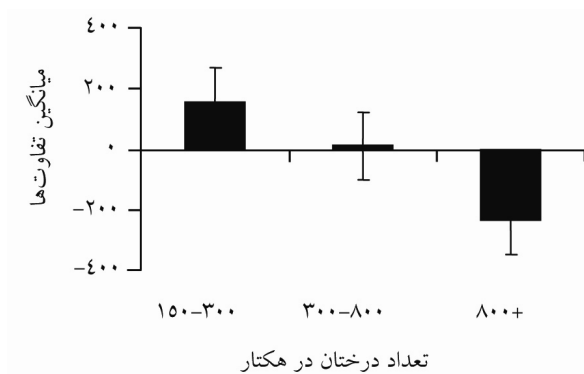
با اعمال بهترین مدل به‌دست آمده و ضرایب رگرسیونی آن در پارامترهای مستقل نشان داده شده در جدول ۲ و سپس تبدیل آن نقشه تعداد درختان در هکتار تهیه شد (شکل ۴).

در این نقشه نواحی با تن رنگ سبز تاریک‌تر نشان‌دهنده توده‌های اصلاحی، که بیانگر تعداد در هکتار بالا می‌باشد و نواحی با تن رنگ سبز روشن‌تر نشان‌دهنده توده‌های طبیعی با تعداد در هکتار پایین می‌باشند (شکل ۴).

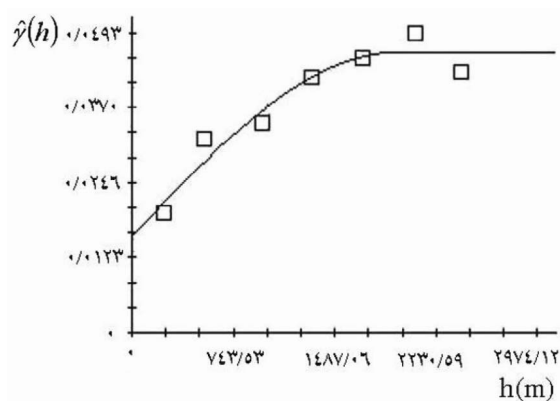
با توجه به شکل ۳ بیشتر تعداد درختان در هکتار در دامنه ۸۰۰-۳۰۰ است و با توجه به شکل ۵، این مدل تعداد درختان در هکتار کمتر از ۳۰۰ را بیشتر از مقدار واقعی خود برآورد می‌کند و تعداد درختان در هکتار بیشتر از ۸۰۰ را کمتر از مقدار واقعی خود برآورد می‌کند.



شکل ۴- نقشه تعداد درختان در هکتار تهیه شده به روش سنجش از دور و مدل رگرسیون چند متغیره.



شکل ۵- میانگین تفاوت‌ها بین تعداد درختان در هکتار برآورد شده با استفاده از سنجش از دور و تعداد درختان در هکتار مشاهده شده.



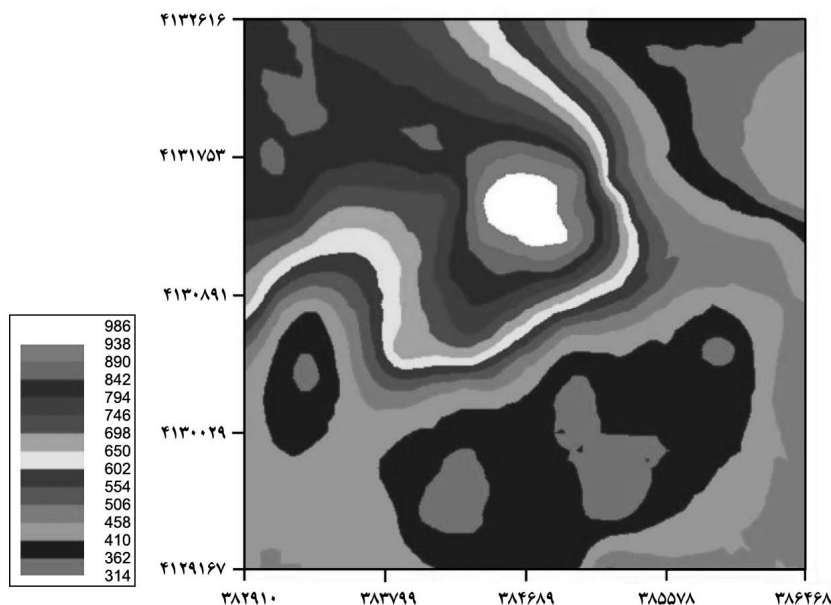
شکل ۶- واریوگرام تجربی و مدل برازش شده برای متغیر تعداد درختان در هکتار در منطقه مورد مطالعه.

جدول ۳ مشخصات مدل برازش شده بر روی واریوگرام تجربی و نتایج ارزیابی برآوردها را برای متغیر تراکم نشان می‌دهد. شکل ۷ نقشه کریگینگ را که با نرم افزار GS^+ محاسبه شده، برای مشخصه تعداد درختان در هکتار نشان می‌دهد.

محاسبه واریوگرام در جهت‌های مختلف هیچ‌گونه ناهمسانگردی هندسی را نشان نداد. در نتیجه واریوگرام به‌کار رفته همه جهته^۱ جهت آنالیزهای بعدی مورد استفاده قرار گرفت. درون‌یابی کریگینگ به روش معمولی با استفاده از مدل کروی برازش شده انجام شد.

جدول ۳- مشخصات مدل برازش شده بر روی واریوگرام تجربی نتایج ارزیابی برآوردها.

مدل	اثر قطعه‌ای	سقف	دامنه تاثیر (متر)	MSE (تعداد درختان در هکتار)	RMSE (تعداد درختان در هکتار)
کروی	۰/۰۱۶	۰/۰۴۶	۲۳۰۷	۴۰۷۱۰/۳۲	۲۰۱/۷۶۸



شکل ۷- نقشه متغیر تعداد درختان در هکتار در منطقه مورد مطالعه با استفاده از کریگینگ.

گرفته شده شده با ضریب تبیین 0.734 و میانگین مجذور خطای مربعات $170/3$ (تعداد درختان در هکتار) بهتر توانست تغییرات تعداد درختان در هکتار را توجیه نماید. وجود رابطه معنی‌دار در سطح احتمال 99 درصد با استفاده از داده‌های سنجنده ETM^+ ، کسب ضریب تبیین اصلاح شده 0.734 و میانگین مجذور خطای مربعات $170/13$ (تعداد درختان در هکتار) شواهدی هستند که امکان برآورد تعداد درختان در هکتار را با استفاده از این داده‌ها تأیید می‌کند. نتایج حاصل شده در این تحقیق نسبت به نتایج تحقیقات ناصری (۲۰۰۳) و سیوانپیلای و همکاران (۲۰۰۶) دارای ضریب تبیین اصلاح شده بیشتر و میانگین مجذور خطای مربعات کمتر می‌باشد. بالا بودن ضریب تبیین اصلاح شده در این مطالعه در مقایسه با تحقیقات ناصری (۲۰۰۳) به انبوه بودن توده‌های جنگلی و عدم تداخل طیفی پوشش گیاهی و خاک در منطقه مورد مطالعه و همچنین انجام پیش‌پردازش‌های مناسب و دقیق نظیر تصحیح اتمسفری و هندسی برمی‌گردد.

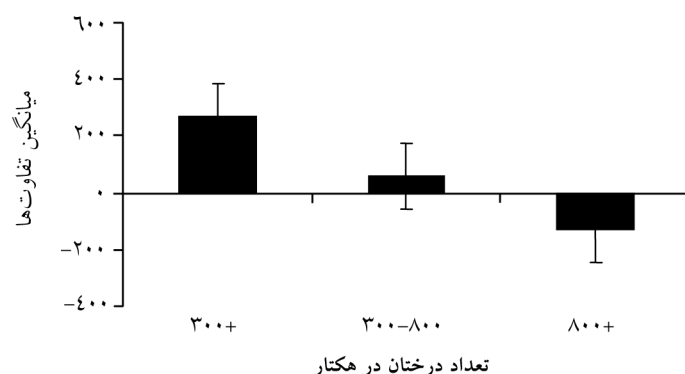
مطابق نتایج سیوانپیلای و همکاران (۲۰۰۶)، با افزایش ارزش‌های طیفی در باندهای $ETM4$ و $ETM5$ تعداد درختان در هکتار نیز افزایش می‌یابد که توده‌های جوان و متراکم دارای ارزش طیفی بالاتر نسبت به توده‌های مسن و با تعداد درختان در هکتار کمتر می‌باشند.

با توجه به شکل ۸ کریگینگ نیز تعداد درختان در هکتار کمتر از 300 را بیشتر از مقدار واقعی خود برآورد می‌کند و تعداد درختان در هکتار بیشتر از 800 را کمتر از مقدار واقعی خود برآورد می‌کند و تعداد درختان در هکتار بین $300-800$ دارای کمترین میانگین تفاوت می‌باشد.

به منظور مقایسه نتایج حاصل از دو روش مختلف از آماره‌های میانگین خطا میانگین مجذور خطای مربعات و میانگین مجذور خطای استفاده شده است و نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. مقایسه نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که با توجه به حداقل بودن مقادیر میانگین خطا میانگین مجذور خطای مربعات و میانگین مجذور خطای روش سنجنش از دور برتری نسبی را نسبت به زمین آمار نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

آگاهی از وضعیت تعداد درختان در هکتار جنگل، یکی از اولویت‌هایی است که مدیران، جهت ارزیابی منابع جنگلی، زمان‌بندی تیمارهای جنگل‌شناسی و برنامه‌ریزی به آن نیاز دارند. نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون نشان داد که ترکیب خطی باندهای $ETM4$ و $ETM5$ به‌عنوان متغیر مستقل در مقایسه با دیگر باندها و ترکیبات به‌کار



شکل ۸- میانگین تفاوت‌ها بین تعداد درختان در هکتار برآورد شده با استفاده از زمین آمار و تعداد درختان در هکتار مشاهده شده.

جدول ۴- معیارهای لازم برای مقایسه سنجنش از دور و زمین آمار برای برآورد تعداد درختان در هکتار.

معیار آماری	سنجنش از دور	زمین آمار
RMSE	170/13	201/768
MSE	28944	40710/32

و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت ندارد. مطابق یک اصل کلی، وقتی سطح برآورد افزایش یابد، دقت برآورد نیز بیشتر می‌شود (تیومینین و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین تفاوت نتایج این تحقیق با اخوان و همکاران (۲۰۰۶) در کاربرد زمین آمار در جنگل به تفاوت سطح قطعه نمونه و همچنین اجرای عملیات جنگل‌شناسی برمی‌گردد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که میزان تعداد درختان در هکتار برآوردی از طریق سنجش از دور نسبت به زمین آمار دارای میانگین مجذور خطای مربعات کمتری می‌باشد و بیشتر در مقیاس منطقه‌ای کاربرد دارد. ولی مدل کریگینگ بیشتر در مقیاس محلی کاربرد دارد که با نتایج والرمن (۲۰۰۳) و برتیریش و همکاران (۲۰۰۵) در مقایسه سنجش از دور و زمین آمار در تهیه نقشه حجم و شاخص سطح برگ به ترتیب، مطابقت دارد. نتایج سنجش از دور و زمین آمار در برآورد تعداد درختان در هکتار به‌طور معمول در مقیاس محلی دارای تفاوت خیلی زیادی نمی‌باشند ولی در مقیاس وسیع استفاده از سنجش از دور دارای نتایج بهتری می‌باشد. در نهایت در برآورد تعداد درختان در هکتار سنجش از دور به دلیل استفاده در سطوح وسیع، دقت قابل قبول، هزینه کمتر و حجم نمونه‌برداری کمتر نسبت به زمین آمار برتری دارد و پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی برای افزایش دقت برآوردی از تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و زمین آمار استفاده شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مهندس مجتبی امیری، نیکنام سلیمانی، علیرضا محامد شبانلو و مهندس تکتم تاج‌گردان که در انجام این تحقیق و جمع‌آوری داده‌های زمینی همکاری همه جانبه مبذول داشته‌اند و همچنین مهندسین ناظر و مجریان طرح جنگلداری لوه به لحاظ در اختیار قرار دادن عرصه تحقیق و امکانات لازم تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در توده‌های مسن تر به دلیل وجود گپ‌های بیشتر در تاج پوشش، تنک کردن و مرگ و میر جذب و پخش صورت می‌گیرد (سیوانپیلای و همکاران، ۲۰۰۶؛ دانسون و کاران، ۱۹۹۳). مطابق با نتایج ناصری (۲۰۰۳)، تاکر و همکاران (۱۹۸۵) و سیوانپیلای و همکاران (۲۰۰۶)، طول موج مادون قرمز اهمیت زیادی در برآورد تعداد درختان در هکتار توده‌های جنگلی دارند. در توده‌های جوان و انبوه، به دلیل کم بودن فضای خالی در تاج پوشش بازتاب طیفی در محدوده مادون قرمز زیاد می‌باشد در حالی که در توده‌های مسن با تعداد درختان در هکتار پایین، به دلیل فضای خالی زیاد در تاج پوشش طول موج مادون قرمز به داخل جنگل نفوذ و باعث پخش و جذب آن و در نهایت کاهش بازتاب طیفی در این طول موج می‌گردد (دانسون و کاران، ۱۹۹۳).

زمین آمار روشی وابسته به مدل است. در نتیجه کلیه خروجی‌های زمین آمار در مرحله کریگینگ وابسته به ساختار واریوگرام و اجزاء آن است که در این میان اثر قطعه‌ای نقش مهمی دارد. متغیر مورد مطالعه دارای تغییرات فاصله‌ای بوده است علت این امر می‌تواند فاصله مناسب نمونه‌برداری باشد. انتخاب بهترین الگوی واریوگرام جهت استفاده از آن در کریگینگ به روش صحت تخمین و آنالیز خطا صورت گرفت. به منظور بررسی الگوی برازش یافته از دو معیار آماری میانگین مجذور خطا و میانگین مجذور خطای مربعات استفاده گردید (جدول ۳). در مقایسه با سایر محققان، نتیجه این تحقیق با نتیجه تحقیق نانوس و همکاران (۲۰۰۴)، در تهیه مدل تعداد درختان در هکتار و ضریب قدکشیدگی درختاندر استان سگویا در مرکز اسپانیا با استفاده از زمین آمار مطابقت دارد. همچنین با نتایج نانوس و مونتر و (۲۰۰۲) و مارشیو و همکاران (۲۰۰۷)، که از روش زمین آمار در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با موفقیت استفاده کرده‌اند مطابقت دارد. در عین حال با نتایج اخوان

منابع

1. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, GH., Namiranian, M., and Mandalaz, D. 2006. Spatial structure and estimation of forest growing stock using geostatistical approach in the Caspian region of Iran. Iranian J. Natural Res., Vol. 59, No. 1. 89-102.

2. Berterretchea, M., Hudakb, A.T., Cohen, W.B., Maierasperger, Th.K., Gower, S.T., and Dungan, J. 2005. Comparison of regression and geostatistical methods for mapping Leaf Area Index (LAI) with Landsat ETM+ data over a boreal forest. *Remote Sensing of Environment* 96, 49–61
3. Burgess, T.M., and Webster, R. 1980. Optimal interpolation and Isarithmic mapping of soil properties I-The Semi-Variogram and Punctual Kriging. *Soil Science Journal*. pp 315-331.
4. Danson, F.M., and Curran, P.J. 1993. Factors affecting the remotely sensed response of coniferous forest plantations. *Remote Sensing of Environment*. 43: 55–65.
5. Fiorella, M., and Ripple, W.J. 1993. Analysis of conifer forest regeneration using Landsat Thematic Mapper data. *Photogrammetric Engineering of Remote Sensing*. 59, 1383–1388.
6. 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 above ground biomass and stand volume. *Forest Ecology and Management*. 225: 378–390.
7. Hasani, P.E.A. 1998. *Geoststistic*. Tehran University Press, 306p.
8. Khorrami, K.R. 2004. Investigation of the potential of landsat7 ETM+ data in volume estimating of beech forest stands (case study: Sangedeh area in north of Iran). MSc. thesis, University of Tehran, Faculty of Natural Resources. 80p.
9. Mahiny, A.S., and Turner, B.J. 2003. Modeling Past Change in Vegetation Through Remote Sensing and GIS: A Comparison of Neural Networks and Logistic Regression Methods, *Geocomputation2003*, Southampton, UK.
10. Mahiny, A.S., and Turner, B.J. 2007. A comparison of four common atmospheric correction methods. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, vol. 73, no. 4, pp: 361-368
11. Makela, H., and Pekkarinen, A. 2004. Estimation of forest stands volumes by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data. *Forest Ecology and Management*. 196, 245–255.
12. Mandalaz, D., 1993. Geostatistical methods for double sampling schemes: application to combined forest inventory. Technical report, ETH Zurich, chair of forest inventory and planning, 133p.
13. Marcio, H.S., Carlos, M.S.J., Phaeton, C.K., Dar, A.R., and Edson, V. 2007. Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: A case study for Rondonia, Brazil. *Ecological modeling*. 205, 221–230.
14. Mesdaghi, M. 2004. Regression methods for research in agricultural and natural resources. University emam reza, mashhad, 290p.
15. Minitab Co. 2000. *Data analysis and quality tools user's guide 2*. Release 13.0 Minitab Inc.
16. Mohammadi, J., and Chitsaz, V. 2002. Comparison of geostatistical predictors and linear regression for estimating some surface soil properties using thematic mapper data. *Soil Science and Water Science Journal*. Vol. 16, No. 2. 196-205.
17. Nanos, N., and Montero, G. 2002. Spatial prediction of diameter distribution models. *Forest Ecology and Management*. 161, 147–158.
18. Nanos, N., Calama, R., and Montero, G.L. 2004. Geostatistical prediction of height/diameter models. *Forest Ecology and Management*. 195: 221–235.
19. Naseri, F. 2003. Classification of forest types and estimation of their quantitative parameters in arid and semi-arid regions using satellite data (case study: National Park of khobr-Kerman Province. Ph.D. thesis, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, 202p.
20. Nilson, T., Olsson, H., Anniste, J., Lukk, T., and Praks, J. 2001. Thinning-caused changes in reflectances of ground vegetation in boreal forest. *International Journal of Remote Sensing*. 22: 2763–2776.
21. Sivanpillai, R., Smith, C.T., Srinivasan., R., Messina, M.G., and Ben Wu, X. 2006. Estimation of managed loblolly pine stand age and density with Landsat ETM+ data. *Forest Ecology and Management*. 223, 247–254.
22. Tucker, C., Townsend, J.R.G., and Goff, T.E. 1985. African land covers classification using satellite data. *Science* 227, 366–375.
23. Tuominen, S., Fish, S., and Poso, S. 2003. Combining remote sensing, data from earlier inventories, and geostatistical interpolation in multi-source forest inventory. *Canadian Journal Forest Resources*. 33:624-634.
24. Van Meirvenne, M. 1991. Characterization of soil spatial variation using geostatistics. Ph.D. thesis, University of Gent, Belgium, Academic Press, 168 p.
25. Wallerman, J. 2003. Remote sensing aided spatial prediction of forest stem volume, doctoral thesis Swedish University of agricultural sciences umeå, p42.
26. Webster, R., and Oliver, M.A. 2000. *Geostatistics for environmental scientists*, Wiley press, 271p.
27. Zobeiri, M. 2002. *Forest Biometry*. Tehran University Press, 411p.

Comparison of Remote Sensing and Geostatistics Techniques in forest tree density estimation, Case Study Loveh Forests, Gorgan

J. Mohammadi^{1,1*}, Sh. Shataee², H. Habashi³ and F. Yaghmaee⁴

¹Former M.Sc. Student, Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, ²Assistant Prof., Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Iran,

³Assistant Prof., Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource, Iran,

⁴Assistant Prof., Dept of Statistics, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Abstract

Awareness of forest tree density is one of priorities that managers for assessment forest resources, timing treatment silviculture and planning must access to it. This information generally are produced through fieldwork, which in large areas takes much more time and cost. Also, remote sensing and interpolation methods can be suitable ways to estimate forest tree density. In this study, 99 plots with 60m × 60 m were set down with systematic cluster sampling method at the study area. In each plot, information of tree density and geographic coordinates of each plot center were recorded. The regression model with ETM4 and ETM5 as independent variables were better predictor of tree density (RMSE=170.13) than other combinations of ETM⁺ bands and vegetation indices. In geostatistics methods estimation was preformed by ordinary kriging using spherical model cross validation results indicated that kriging could make a precise estimation (RMSE=201.768). The results of this research showed that in tree density estimation, the regression model was lower RMSE than ordinary kriging. The difference RMSE between regression model and ordinary kriging in local scale not significant but in large area regression model has good results. Generally, estimation of tree density using satellite data offers advantages such as using in large area, a reasonable cost and decreasing sampling.

Keywords: Tree density; Remote sensing; Geostatistics; Kriging; Loveh Forests

*- Corresponding Author; Email: shataee@yahoo.com