DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijfpr.2014.10665

فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران

جلد ۲۲ شماره ۲، صفحه ۲۰۳-۱۸۸، (۱۳۹۳)

برآورد و پهنه‌بندی موجودی یک جنگل مدیریت‌نشده خزری به‌روش زمین‌آمار (پژوهش موردی: بخش چلیر جنگل خیرود نوشهر)

رضا اخوان [۱*]، هادی کیادلیری [۲]، وحید اعتماد [۳]، مجید حسنی [۴] و خسرو میرآخورلو [۵]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ایران.

پست الکترونیک: akhavan@rifr-ac.ir

۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

۳- استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴- کارشناس‌ارشد پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ایران.

۵- مربی پژوهش، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۹

چکیده

برآورد و پهنه‌بندی موجودی در مدیریت و برنامه‌ریزی جنگل امری اجتناب‌ناپذیر است. در این تحقیق از شیوه درون‌یابی کریجینگ روش زمین‌آمار به‌منظور برآورد و پهنه‌بندی متغیرهای موجودی در یک جنگل طبیعی و ناهمسال مدیریت‌نشده (فاقد طرح جنگلداری) استفاده شد. منطقه موردبررسی در بخش چلیر جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود نوشهر و در ارتفاع ۱۱۰۰ تا ۱۴۵۰ متر بالاتر از سطح دریا واقع شده است و مساحتی برابر ۵۱۶ هکتار دارد. آماربرداری زمینی با استفاده از قطعات‌نمونه ۱۰ آری دایره‌ای شکل و براساس شبکه‌ای به ابعاد ۲۰۰×۷۵ متر به‌روش منظم- تصادفی انجام و درمجموع ۳۰۹ قطعه‌نمونه اندازه‌گیری شد. سپس واریوگرام‌های تجربی با استفاده از داده‌های زمین‌مرجع برداشت شده برای متغیرهای موجودی جنگل شامل تراکم (تعداد در هکتار)، رویه‌زمینی (سطح‌مقطع برابرسینه) و موجودی حجمی جنگل محاسبه شدند. نتایج واریوگرافی نشان داد که دو متغیر رویه‌زمینی و موجودی حجمی جنگل از هیچ‌گونه ساختار مکانی مناسب به‌منظور استفاده در درون‌یابی کریجینگ برخوردار نیستند، به‌جز زمانی‌که براساس طبقه‌های قطری یا گونه‌های غالب درختی طبقه‌بندی شوند، اما متغیر تراکم جنگل از خود ساختار مکانی متوسط نشان داد که در نتیجه با استفاده از مدل کروی برازش شد. در مرحله بعد برآورد و پهنه‌بندی تراکم جنگل به‌روش کریجینگ معمولی- بلوکی انجام شد که نتایج ارزیابی متقابل نشان داد که برآوردها از صحت لازم برخوردارند. نتیجه این پژوهش نشان داد که زمین‌آمار قادر به تبیین تغییرات مکانی تراکم در این جنگل مدیریت‌نشده بود و می‌تواند نقشه پهنه‌بندی آن را با صحت مناسب تولید نماید که براساس آن می‌توان متغیرهای رویه‌زمینی و موجودی حجمی جنگل را که مستقیماً به این روش قابل‌برآورد نیستند، به‌صورت غیرمستقیم برآورد نمود.

واژه‌های کلیدی: زمین‌آمار، ساختار مکانی، موجودی جنگل، پهنه‌بندی، جنگل مدیریت‌نشده.

مقدمه

امروزه انتخاب یک روش درون‌یابی نااریب به‌منظور پهنه‌بندی متغیرهای موجودی پس از آماربرداری جنگل، از شروط لازم برای مدیریت، برنامه‌ریزی و تحقیق در جنگل است. پس از انجام دو تحقیق با کاربرد روش زمین‌آمار در برآورد و پهنه‌بندی موجودی در یک جنگل مدیریت‌شده (Akhavan, 2004; Akhavan *et al.*, 2006) و در یک جنگلکاری (Akhavan & Kleinn, 2009) در جنگل‌های خزری در شمال کشور، این تحقیق به‌منظور تکمیل زنجیره مطالعات زمین‌آماری در سایر جنگل‌ها با هدف بررسی تغییرات مکانی و امکان پهنه‌بندی متغیرهای موجودی جنگل با استفاده از روش زمین‌آمار در بخش مدیریت‌نشده چلیر از جنگل آموزشی پژوهشی دانشکده منابع طبیعی واقع در خیرودکنار نوشهر از جنگل‌های خزری شمال کشور به اجرا درآمد.

درحالی‌که شناخت درست ساختار جنگل‌های طبیعی پیش‌رُسته (Old growth) برای اجرای جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت به‌منظور حفاظت و نگهداری این جنگل‌های باارزش لازم و ضروریست، هنوز هم بخش‌های زیادی از این جنگل‌ها در شمال کشور فاقد طرح جنگلداری هستند که باید هرچه سریعتر تحت پوشش مدیریت قرار گیرند. در این میان انتظار می‌رود که استفاده از روش زمین‌آمار که در برآورد موجودی جنگل از ارتباط مکانی تغییرات براساس نمونه‌های برداشت‌شده استفاده می‌کند، نتایج بهتری را نسبت به روش‌های معمول کلاسیک در برآورد و پهنه‌بندی موجودی جنگل دربر داشته باشد. زمین‌آمار که شاخه‌ای از آمار مکانی است، با کشف، مدل‌سازی و برآورد همبستگی مکانی متغیرهایی با توزیع پیوسته به‌نام متغیر ناحیه‌ای (Regionalized variable) سروکار دارد (Isaak & Srivastava, 1989; Goovaerts, 1997). اگرچه توزیع مکانی درختان در یک توده جنگلی یک الگوی نقطه‌ای از درختان مجزاست (Dale, 2000)، اما متغیرهای جنگل از قبیل تراکم، رویه‌زمینی و موجودی حجمی به‌طور مستقیم تحت‌تأثیر متغیرهایی با توزیع مکانی پیوسته مانند تشعشع خورشیدی، خصوصیات خاک و وجود آب و مواد غذایی قرار دارند که سبب می‌شوند تا متغیرهای جنگل را بتوان متغیر ناحیه‌ای درنظر گرفت (Kint *et al.*, 2003). در این میان زمین‌آمار یک چارچوب طبیعی را برای روش‌های برآورد در آماربرداری جنگل فراهم می‌نماید (Mandallaz, 1991) که به مدیران جنگل اجازه می‌دهد تا ساختارهای مکانی درختان را در عمل بهتر هماهنگ کنند و به محققان اجازه می‌دهد تا ساختار توده و پویایی آنها را به‌صورت واقعی‌تری مدل‌سازی نمایند.

تاکنون از روش زمین‌آمار به‌منظور برآورد و پهنه‌بندی منابع جنگلی بسیار استفاده شده است (Samra *et al.*, 1989; Biondi *et al.*, 1994; Gunnarsson *et al.*, 1998; Tuominen *et al.*, 2003; Montes *et al.*, 2005; Freeman & Moisen, 2007) که منجر به تولید نقشه‌های زمین‌مرجع تراکم، رویه‌زمینی و موجودی حجمی جنگل در مقیاس‌های مختلف شده است. جدیدترین کاربرد کریجینگ به‌منظور پهنه‌بندی در جنگل مربوط به Brus و همکاران (۲۰۱۲) است که این روش را برای تهیه نقشه پهنه‌بندی‌شده ۲۰ گروه از گونه‌های درختی در محدوده ۱۸ کشور اروپا با استفاده از داده‌های آماربرداری ملی این کشورها (National Forest Inventory) بکار بردند. البته قبل از آنها Tröltzsch و همکاران (۲۰۰۹) پژوهش مشابهی را با استفاده از روش کریجینگ برای شش گروه عمده درختی در محدوده اروپا انجام داده بودند. در داخل کشور Mohammadi و همکاران (۲۰۰۸) به مقایسه استفاده از سنجش از دور و زمین‌آمار در برآورد تراکم جنگل‌های مدیریت‌شده بلوط در لوه گرگان پرداختند و نتیجه گرفتند که در مقیاس محلی تفاوت زیادی بین این دو روش وجود ندارد، اما در سطوح وسیع استفاده از سنجش از دور نسبت به زمین‌آمار برتری دارد. Ghanbari (۲۰۰۸) نیز به بررسی خصوصیات آلومتریک جنگل مدیریت‌شده شصت‌کلاته گرگان مانند حجم، رویه‌زمینی و تراکم درختان با استفاده از روش زمین‌آمار و GIS پرداخت و نتیجه گرفت که این خصوصیات از ساختار مکانی متوسطی برخوردارند و قابلیت استفاده در روش

زمین‌آمار را دارند، اما برای مناطق وسیع روش GIS و برای مناطق محدود روش زمین‌آمار از دقت بیشتری برخوردار است.

به‌طور کلی اهداف مشخص این تحقیق عبارتند از: ۱- بررسی تغییرات و ساختار مکانی متغیرهای تراکم، رویه‌زمینی و موجودی حجمی جنگل با استفاده از روش واریوگرافی در زمین‌آمار؛ ۲- برآورد و پهنه‌بندی متغیرهای مذکور با استفاده از تکنیک درون‌یابی کریجینگ در زمین‌آمار و ۳- بررسی این که آیا استفاده از شیوه درون‌یابی کریجینگ صحت برآورد این متغیرها را در مقایسه با روش کلاسیک افزایش خواهد داد.

مواد و روش‌ها

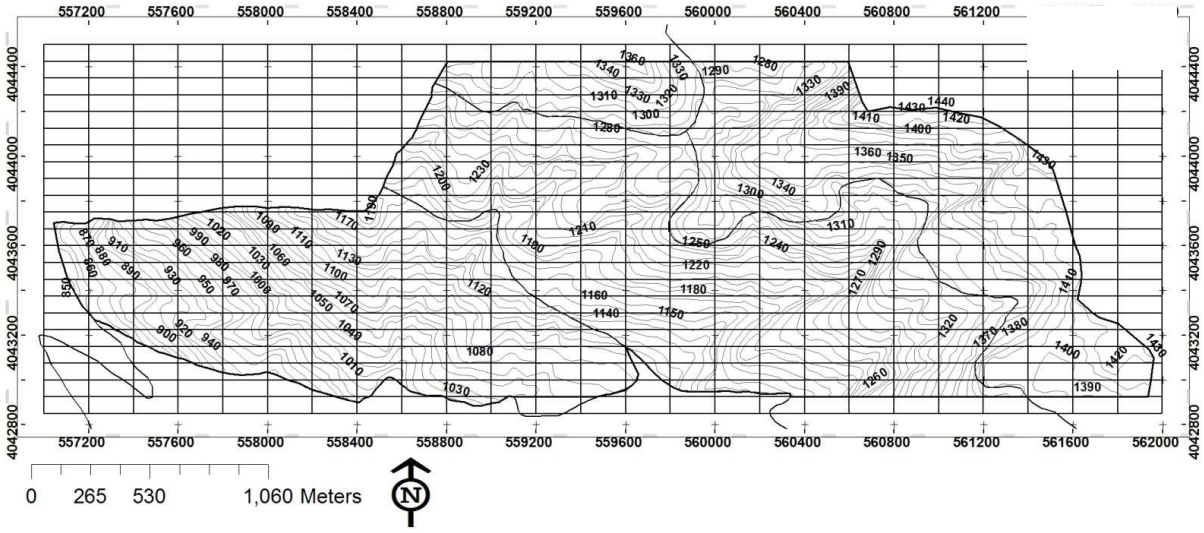
منطقه موردبررسی

منطقه موردبررسی قسمتی از بخش چهارم (چلیر) جنگل آموزشی- پژوهشی دانشگاه تهران (خیرود) واقع در هفت کیلومتری شرق شهرستان نوشهر به‌وسعت ۱۷۳۰ هکتار است (شکل ۱). برای انجام این تحقیق قسمت شمالی بخش چلیر به‌مساحت ۵۱۶ هکتار با استفاده از مرز بخش و جاده‌های موجود و طراحی‌شده انتخاب شد، به‌طوری‌که موقعیت جغرافیایی مرکز محدوده انتخاب‌شده ´۴۰ °۵۱ طول شرقی و ´۳۲ °۳۶ عرض شمالی و دامنه ارتفاعی آن بین ۱۱۰۰ تا ۱۴۵۰ متر بالاتر از سطح دریا و شیب آن بین پنج تا ۸۵ درصد متغیر است. منطقه موردبررسی شاخصی از جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته و ناهمسال طبیعی خزری شمال ایران است که تاکنون هیچ‌گونه عملیات جنگلداری و دخالت‌های پرورشی در آن اعمال نشده است؛ فاقد طرح جنگلداری (مدیریت) بوده و در جامعه جنگلی راشستان واقع شده است. جنگل موردبررسی شامل گونه‌های درختی پهن‌برگ خزان‌کننده ازجمله راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، پلت (*Acer velutinum* Boiss.)، شیردار (*A. cappadocicum* Gled.)، توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.) و بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) است. میانگین دما و بارندگی سالانه آن به‌ترتیب ۱۵/۳ درجه سانتی‌گراد و ۱۴۵۸ میلی‌متر و رطوبت نسبی آن ۸۳ درصد می‌باشد. براساس فرمول آمبرژه، اقلیم منطقه مرطوب سرد و در سیستم اقلیمی دومارتون دارای اقلیم مرطوب نوع ب سرد است (Sarmadian & Jafari, 2001).

جمع‌آوری داده‌ها

نمونه‌برداری به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها براساس شبکه‌ای به ابعاد ۲۰۰× ۷۵ متر در تابستان سال ۱۳۹۰ انجام شد (شکل ۱). علت انتخاب شبکه ۲۰۰×۷۵ متر (۷۵ متر در جهت شیب) این بود که با داشتن این شبکه هم قطعه‌نمونه در فاصله ۷۵ متری موجود خواهد بود، هم در ۱۵۰ متری و هم در ۲۰۰ و ۲۲۵ متری که در قسمت واریوگرافی زمین‌آمار که بر همبستگی مکانی بین نمونه‌ها به‌ویژه در فواصل کوتاه استوار است، بسیار مهم و قابل‌توجه است.

سطح قطعات‌نمونه براساس روش معمول نمونه‌برداری در جنگل‌های شمال کشور ۱۰ آر و به‌شکل دایره (Zobeiri, 1994) درنظر گرفته شد. در داخل قطعات‌نمونه کلیه درختان با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر در ارتفاع برابرسینه اندازه‌گیری شدند و سایر مشخصات قطعه‌نمونه نیز ثبت شد. همچنین در هر قطعه‌نمونه، ارتفاع قطورترین و نزدیکترین درخت به مرکز قطعه‌نمونه نیز اندازه‌گیری شدند تا در حجم‌یابی مورد استفاده قرار گیرند. محل و مختصات مرکز قطعات‌نمونه نیز با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) در سیستم مختصات UTM برای یک قطعه‌نمونه ثبت و برای تعیین مختصات سایر قطعات‌نمونه از روش فاصله- آزیموت استفاده شد (Moeur, 1993).



شکل ۱- منطقه موردبررسی (۵۱۶ هکتار) به‌همراه شبکه آماربرداری ۲۰۰×۷۵ متر

تجزیه‌وتحلیل زمین‌آماری

زمین‌آمار برای بررسی متغیرهایی بوجود آمد که دارای توزیع پیوسته مکانی هستند و اصطلاحاً متغیر ناحیه‌ای نامیده می‌شوند. به‌طور کلی زمین‌آمار شامل دو بخش اصلی واریوگرام (Variogram) و کریجینگ (Kriging) است (Cressie, 1993).

واریوگرافی

در این تحقیق به‌منظور بررسی و تشریح همبستگی مکانی بین مقادیر نمونه‌های برداشت‌شده ازنظر تراکم، رویه‌زمینی و موجودی حجمی از تحلیل واریوگرام استفاده شد. واریوگرافی اولین قدم برای مدل‌سازی ساختار مکانی به‌منظور استفاده در کریجینگ است. از واریوگرام به‌منظور تعیین و تشریح ساختار مکانی داده‌ها استفاده می‌شود. مقدار واریوگرام به فاصله بین مقادیر یک متغیر ناحیه‌ای در دو نقطه وابسته است. اگر این مقدار وابسته به جهت نیز باشد، واریوگرام ناهمسانگرد (Anisotropic) و در غیراین‌صورت همسانگرد (Isotropic) نامیده می‌شود. معمولاً در واریوگرافی برای تشریح و مدل‌سازی رفتار واریوگرام از سه مؤلفه استفاده می‌شود: دامنه تأثیر (Range)، حد آستانه یا سقف (Sill) و اثر قطعه‌ای (Nugget effect). دامنه تأثیر حداکثر فاصله‌ای است که پس از آن ساختار مکانی دیگر وجود نداشته و واریوگرام به مقدار ثابتی می‌رسد. اغلب در عمل، واریوگرام دارای عرض از مبدأیی است که اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود که بیانگر واریانس تصادفی و بدون ساختار است. اثر قطعه‌ای به‌علت وجود تغییرات در فواصل کمتر از حداقل فاصله نمونه‌برداری یا به‌دلیل وجود خطا به‌هنگام نمونه‌برداری و اندازه‌گیری بروز می‌کند. وقتی واریوگرام به مقدار ثابت خود می‌رسد، ارتفاع واریوگرام برابر حد آستانه یا سقف واریوگرام، یعنی برابر مجموع واریانس تصادفی و ساختاردار است. نسبت واریانس ساختاردار به حد آستانه، ساختار مکانی واریوگرام است. ساختار ۷۵ درصد و بیشتر، نشان‌دهنده ساختار مکانی قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد بیانگر ساختار مکانی متوسط و کمتر از ۲۵ درصد نشان‌دهنده ساختار مکانی ضعیف متغیر موردبررسی است (Cambardella *et al*., 1994).

کریجینگ

اولین قدم در درون‌یابی به‌روش کریجینگ برازش مدلی بر واریوگرام تجربی است. هنگام مدل‌سازی واریوگرام باید مدلی را انتخاب کرد که کمترین مقدار مجموع باقی‌مانده‌ها (Residuals) را داشته باشد. در پژوهش پیش‌رو، مدل با

استفاده از روش هیبرید، برمبنای تفسیر چشمی و خودکار (حداقل مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها) به واریوگرام‌های تجربی برازش شد. براین‌اساس و با توجه به مشخصه نیکویی برازش (Goodness of fit) برای برازش واریوگرام‌های محاسبه‌شده، مدل‌های کروی و اثر قطعه‌ای تام (Pure nugget effect) انتخاب شدند.

عمومی‌ترین روش کریجینگ که در علوم زیستی نیز کاربرد فراوانی دارد، کریجینگ معمولی (Ordinary kriging) است. کریجینگ را می‌توان هم به‌صورت نقطه‌ای و هم بلوکی انجام داد. ویژگی دیگر کریجینگ علاوه بر دقت زیاد آن در برآورد این است که به‌همراه هر برآوردی (نقشه کریجینگ)، مقدار خطای آن (نقشه انحراف‌معیار کریجینگ) را نیز محاسبه می‌کند. در این بررسی از کریجینگ معمولی و با توجه به استفاده از قطعات‌نمونه، از شکل بلوکی آن استفاده شد. ابعاد بلوک‌ها ۳۲×۳۲ متر تعیین شد تا با مساحت قطعه نمونه (۱۰۰۰ مترمربع) هماهنگی داشته باشد.

ارزیابی صحت برآوردها

در این بررسی برآوردهای کریجینگ با استفاده از دو آماره میانگین خطا (Mean Error; ME) و جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error; RMSE) ارزیابی شد. در حالتی‌که برآوردها صحیح و بدون اشتباه باشند، مقدار این دو آماره باید برابر صفر شود که به‌صورت رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند (Webster & Oliver, 2000). رابطه‌های ۳ و ۴ نیز مقادیر نسبی میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا را نشان می‌دهند.

رابطه ۱
$$ME = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[z(x_i) - \hat{z}(x_i)\right]$$

رابطه ۲
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[z(x_i) - \hat{z}(x_i)\right]^2}$$

رابطه ۳
$$MEr = \frac{ME}{\bar{z}(x_i)} \times 100$$

رابطه ۴
$$RMSEr = \frac{RMSE}{\bar{z}(x_i)} \times 100$$

به‌طوری‌که $\hat{z}(x_i)$ برآورد مقدار متغیر ناحیه‌ای x در نقطهٔ i، N تعداد نمونه‌ها و $\bar{z}(x_i)$ میانگین نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده متغیر موردبررسی است.

به‌منظور بررسی بهتر نتایج برآوردها، ارزیابی متقابل (Cross- validation) متغیرهای موردبررسی نیز انجام شد. این روش شامل حذف به‌نوبت نمونه‌ها و برآورد مجدد آنها به‌روش کریجینگ با استفاده از سایر نمونه‌ها و مدل برازش‌شده بر روی واریوگرام است. سپس از تفاضل مقادیر واقعی و برآوردشده در هر نقطه به‌منظور ارزیابی صحت کریجینگ استفاده می‌شود.

در این بررسی برای تجزیه‌وتحلیل‌های زمین‌آماری از نرم‌افزار GS^+ نسخه ۹ (Gamma Design Software, LLC, Plain well, MI) استفاده شد.

نتایج

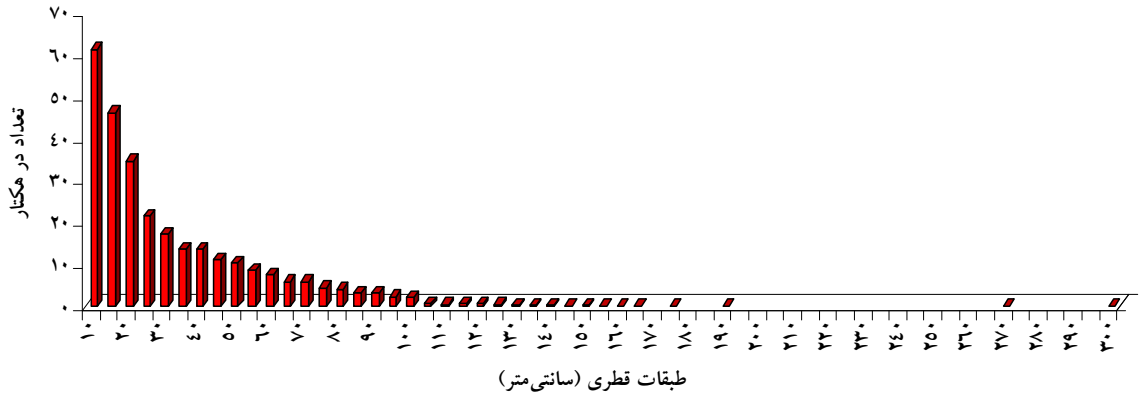
پس از انجام نمونه‌برداری در عرصه موردبررسی، درمجموع ۳۰۹ قطعه‌نمونه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. اطلاعات کمی مربوط به متغیرهای موردبررسی در جدول ۱ ارائه شده است. حجم قطعات‌نمونه با استفاده از تاریف محاسبه‌شده بر پایه ارتفاع درختان اندازه‌گیری‌شده در قطعات‌نمونه و براساس روابط "جدول‌های حجم گونه‌های جنگلی شمال کشور" (Anonymous, 1995; Anonymous, 2002) به‌دست آمد.

جدول ۱- خلاصه مشخصه‌های آماری متغیرهای موردبررسی

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف‌معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی	دقت برآورد ($E\%$)
رویه‌زمینی (مترمربع در هکتار)	۳۵/۸	۸/۶	۹۹/۶	۱۱/۵	٪۳۲/۲	۱/۳۴	۵/۱۳	٪۳/۶
موجودی حجمی (مترمکعب در هکتار)	۴۵۹/۷	۹۵/۱	۱۴۵۲/۴	۱۹۱/۷	٪۴۱/۷	۱/۳۷	۴/۱۵	٪۴/۷
تراکم (تعداد در هکتار)	۲۷۹	۲۰	۱۱۴۰	۱۶۶/۲	٪۵۹/۶	۱/۶۱	۳/۸۶	٪۶/۸

$E\% = \frac{S_{\bar{x}} \times t}{\bar{x}} \times 100$ ؛ $S_{\bar{x}}$: خطای معیار، $\bar{x}$: میانگین، t: مقدار جدول تی استیودنت

شکل ۲ نمودار پراکنش تعداد در هکتار در طبقات قطری پنج سانتی‌متری را در منطقه موردبررسی نشان می‌دهد که شاخص یک جنگل ناهمسال است و دارای درختانی تا قطر برابرسینه ۳۰۰ سانتی‌متر می‌باشد.



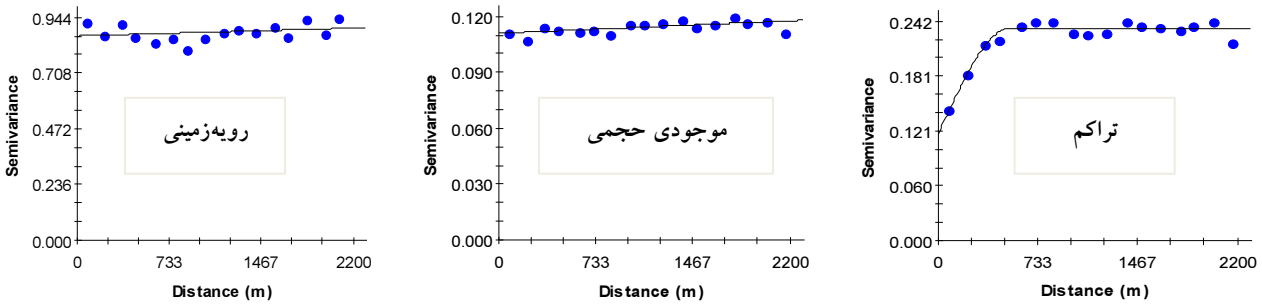
شکل ۲- نمودار پراکنش تعداد درختان در طبقات قطری در منطقه موردبررسی

بررسی اولیه نشان داد که از داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند (جدول ۱)، بنابراین داده‌های رویه‌زمینی با استفاده از تبدیل ریشه دوم و داده‌های موجودی حجمی و تراکم با استفاده از تبدیل لگاریتمی نرمال شدند و سپس در تجزیه‌وتحلیل‌ها بکار گرفته شدند.

واریوگرافی

بررسی واریوگرام‌های تجربی متغیرهای موردبررسی شامل رویه‌زمینی، موجودی حجمی و تراکم جنگل نشان داد که دو متغیر اول دارای ساختار مکانی نبوده و به‌اصطلاح ناحیه‌ای (Regional) نمی‌باشند که واریوگرام آنها به‌شکل اثر قطعه‌ای تام ظاهر شد، در حالی‌که متغیر تراکم جنگل دارای واریوگرامی با ساختار مکانی متوسط بود (جدول ۲).

در محاسبه واریوگرام متغیر تراکم جنگل، هیچ‌گونه علائمی از ناهمسانگردی (هندسی یا منطقه‌ای) مشاهده نشد. درنتیجه این واریوگرام به‌صورت چندجهته (Omni-directional) درنظر گرفته شده که با استفاده از مدل کروی برازش شد (شکل ۳).



شکل ۳- واریوگرام‌های تجربی و مدل‌های برازش شده به آنها برای متغیرهای موردبررسی (حداقل تعداد جفت‌نمونه‌ها در هر گام ۲۷۴ است)

در جدول ۲ مشخصات واریوگرام‌ها و مدل‌های برازش‌شده به آنها ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات واریوگرام‌ها و مدل‌های برازش‌شده به آنها

متغیر	مدل واریوگرام	طول گام (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تأثیر (متر)	ساختار مکانی
رویه‌زمینی (مترمربع در هکتار)	اثر قطعه‌ای تام	۱۳۰	۰/۸۶	۰/۸۹	۲۰۷۶	٪۳/۵ (ضعیف)
موجودی حجمی (مترمکعب در هکتار)	اثر قطعه‌ای تام	۱۳۰	۰/۱۱	۰/۱۲	۲۱۵۸	٪۵/۵ (ضعیف)
تراکم (تعداد در هکتار)	کروی	۱۳۰	۰/۱۱	۰/۲۲	۵۳۳	٪۵۰/۰ (متوسط)

۱۰۰× [حد آستانه/ (اثر قطعه‌ای- حد آستانه)] = درصد ساختار مکان

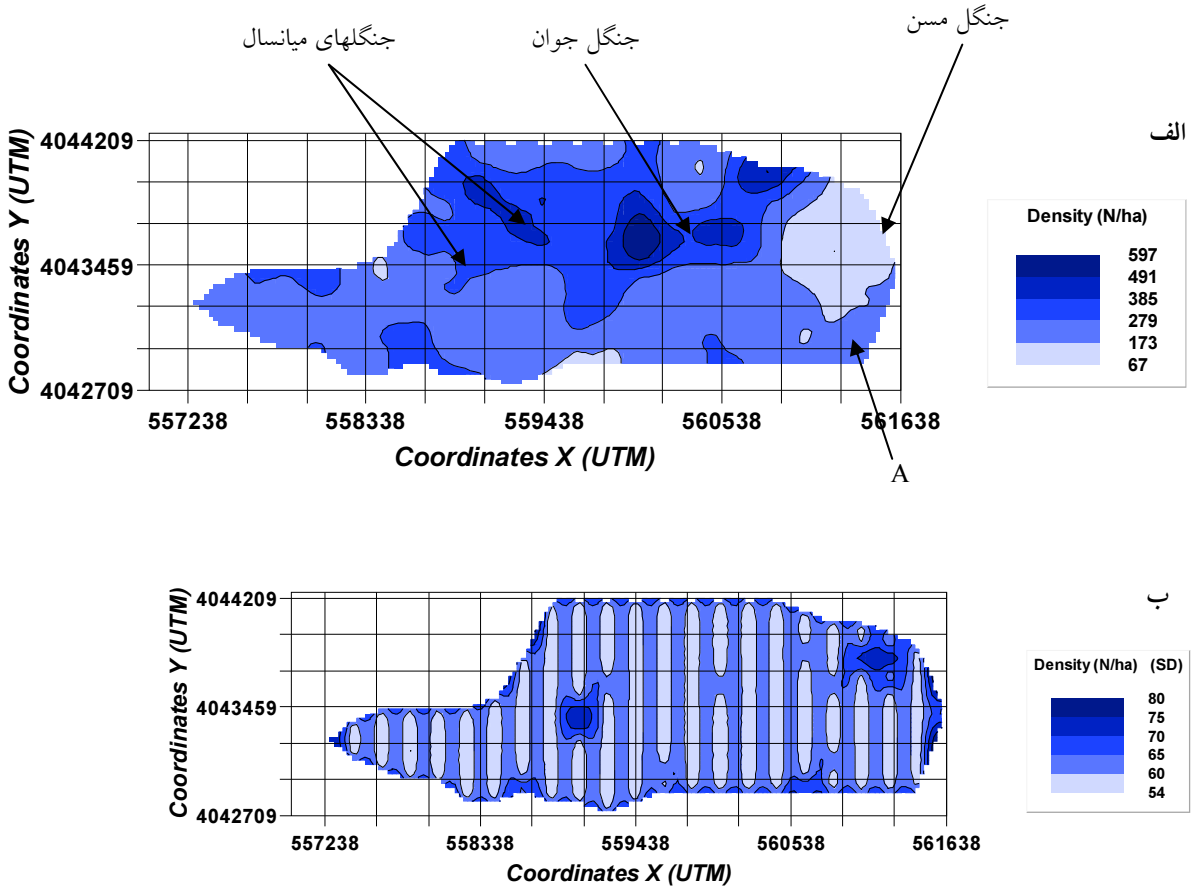
کریجینگ

از آنجاکه متغیرهای رویه‌زمینی و موجودی حجمی از ساختار مکانی مناسبی برخوردار نبودند (ضعیف) و همانند یک متغیر ناحیه‌ای رفتار نکردند، فقط از متغیر تراکم جنگل که دارای ساختار مکانی متوسط بود (جدول ۲)، در درون‌یابی کریجینگ استفاده شد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج کمی درون‌یابی به‌روش کریجینگ

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف‌معیار	ضریب تغییرات	دقت برآورد ($E\%$)
تراکم (تعداد در هکتار)	۲۶۰	۶۷	۵۹۷	۸۲/۵	٪۳۱/۷	٪۳/۶

شکل ۴ نقشه برآورد کریجینگ را به‌همراه نقشه خطا (انحراف‌معیار) مربوط به آن برای متغیر تراکم جنگل نشان می‌دهد. در این شکل مناطقی که به‌عنوان جنگل‌های جوان، میانسال و مسن مشخص شده‌اند با مشاهدات زمینی مطابقت دارند.



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی تراکم جنگل به‌روش کریجینگ (الف) به‌همراه نقشه انحراف‌معیار برآورد آن (ب)

ارزیابی صحت

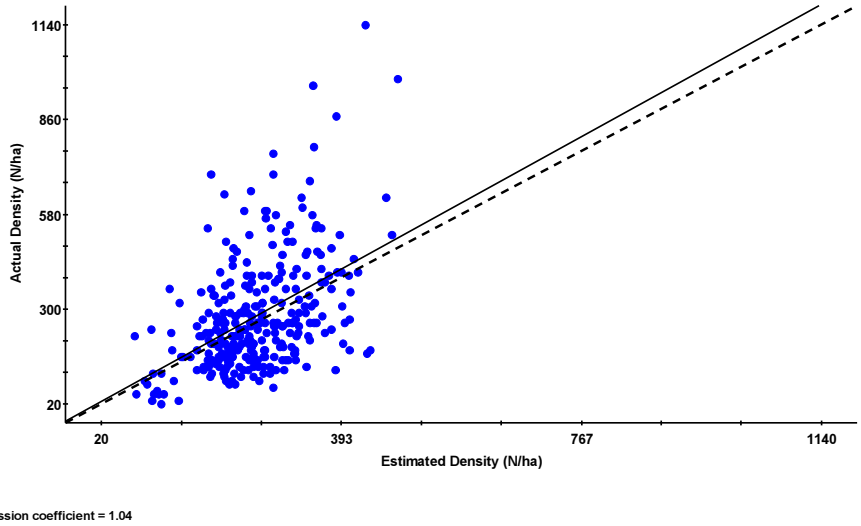
به‌منظور ارزیابی صحت برآوردهای کریجینگ برای متغیر تراکم جنگل، مقادیر مطلق و نسبی میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا براساس رابطه‌های ۱ تا ۴ محاسبه شد. جدول ۴ نشان می‌دهد که این درون‌یابی با صحت مناسب و قابل‌قبولی (۱۰٪ > *MEr*) انجام شده است.

جدول ۴- نتایج ارزیابی صحت کریجینگ

متغیر	*ME*	*RMSE*	*MEr*	*RMSEr*
تراکم (تعداد در هکتار)	۱۹/۴	۱۴۷/۷	٪۶/۹	٪۵۲/۹

ME= میانگین خطا؛ *RMSE*= جذر میانگین مربعات خطا؛ *MEr*= میانگین خطای نسبی؛ *RMSEr*= جذر میانگین مربعات خطای نسبی

شکل ۵ که نمودار ارزیابی متقابل را برای متغیر تراکم جنگل نشان می‌دهد، صحت نتایج کریجینگ را تأیید می‌کند. در این شکل مقادیر واقعی (محور عمودی) در برابر مقادیر برآوردشده (محور افقی) تقابل داده شده‌اند. شایان ذکر است که هرچه انطباق خط ممتد بر خط‌چین (با زاویه ۴۵ درجه) بیشتر باشد، برآوردها نااریب‌تر و صحت آنها بیشتر است.



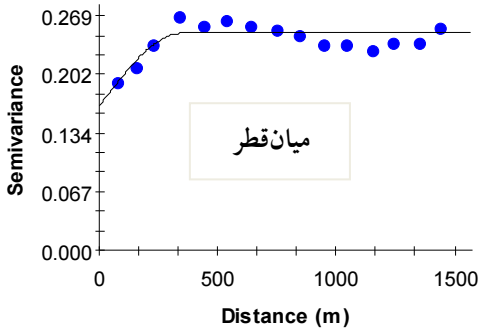
شکل ۵- نمودار ارزیابی متقابل برای متغیر تراکم جنگل (محور افقی مقادیر برآوردشده و محور عمودی مقادیر واقعی را نشان می‌دهند)

واریوگرافی پس از طبقه‌بندی داده‌ها براساس طبقه‌های قطری

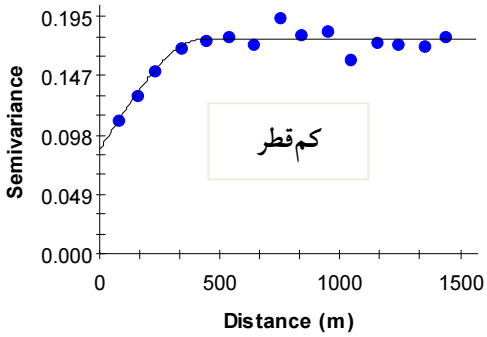
با توجه به عدم وجود ساختار مکانی برای متغیر رویه‌زمینی جنگل، داده‌های مربوط به قطعات‌نمونه اندازه‌گیری‌شده براساس اندازه قطر برابرسینه به چهار طبقه قطری کم‌قطر (۷/۵ تا ۳۲/۵ سانتی‌متر)، میان‌قطر (۳۲/۶ تا ۵۲/۵ سانتی‌متر)، قطور (۵۲/۶ تا ۷۲/۵ سانتی‌متر) و خیلی قطور (بیشتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر) (Sagheb-Talebi & Schütz, 2002; Eslami *et al*., 2007) تقسیم شدند (جدول ۵). سپس واریوگرافی به‌تفکیک طبقه‌های قطری برای متغیر رویه‌زمینی انجام شد (شکل ۶).

جدول ۵- فراوانی درختان در طبقه‌های مختلف قطری

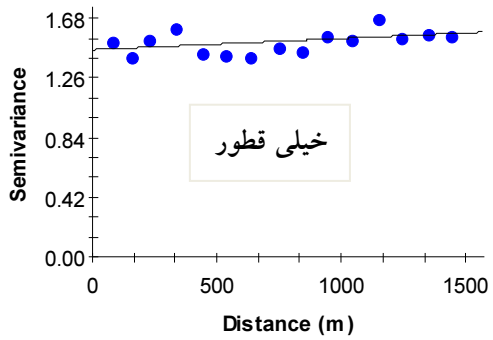
طبقه قطری	فراوانی مطلق (اصله)	فراوانی نسبی
کم‌قطر	۵۵۶۱	٪۶۴/۶
میان‌قطر	۱۴۹۳	٪۱۷/۴
قطور	۸۵۰	٪۹/۸
خیلی قطور	۷۰۸	٪۸/۲
کل	۸۶۱۲	٪۱۰۰



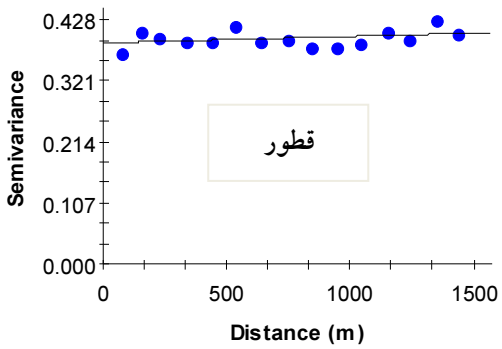
Spherical model (Co = 0.16508; Co + C = 0.24902; Ao = 350.30; r2 = 0.691; RSS = 1.712E-03)



Spherical model (Co = 0.08580; Co + C = 0.17720; Ao = 433.95; r2 = 0.893; RSS = 7.133E-04)



Linear model (Co = 1.45631; Co + C = 1.56900; Ao = 1433.85; r2 = 0.205; RSS = 0.0665)

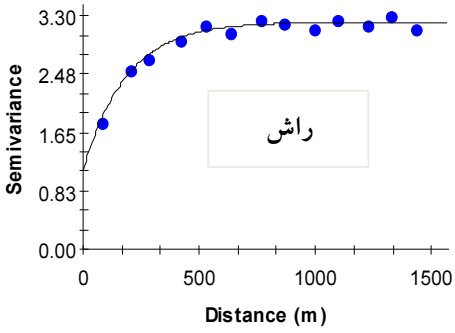


Linear model (Co = 0.38725; Co + C = 0.40400; Ao = 1433.85; r2 = 0.118; RSS = 2.824E-03)

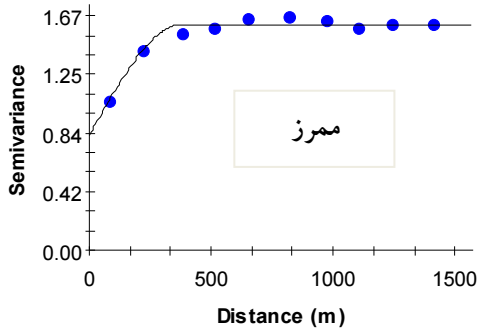
شکل ۶- واریوگرام‌های تجربی و مدل‌های برازش شده به آنها برای متغیر رویه‌زمینی به‌تفکیک طبقه‌های قطری چهارگانه

واریوگرافی پس از طبقه‌بندی داده‌ها براساس گونه درخت

در این مرحله، موجودی رویه‌زمینی قطعات‌نمونه اندازه‌گیری‌شده براساس دو گونه اصلی راش و ممرز که در مجموع ۷۵ درصد فراوانی گونه‌های درختی موجود در عرصه موردبررسی را تشکیل می‌دادند، تفکیک شد. سپس واریوگرام تجربی رویه‌زمینی برای دو گونه پرتراکم راش و ممرز به‌صورت جداگانه محاسبه شد (شکل ۷).



Exponential model (Co = 1.115; Co + C = 3.214; Ao = 186.00; r2 = 0.974; RSS = 0.0546)



Spherical model (Co = 0.822; Co + C = 1.614; Ao = 382.97; r2 = 0.964; RSS = 0.0120)

شکل ۷- واریوگرام‌های تجربی و مدل‌های برازش شده به آنها برای متغیر رویه‌زمینی به‌تفکیک گونه درخت

بحث

نتایج بررسی زمین‌آماری متغیرهای تراکم جنگل (تعداد در هکتار)، رویه‌زمینی و موجودی حجمی در جنگل مدیریت‌نشده چلیر خیرود نشان داد که از بین سه متغیر یادشده فقط تغییرات تراکم جنگل وابسته به فاصله بوده که می‌توان آن را به‌عنوان یک متغیر ناحیه‌ای درنظر گرفت، به‌طوری‌که دو متغیر رویه‌زمینی و موجودی حجمی جنگل دارای رفتار ناحیه‌ای نبوده و واریوگرام‌های آنها به‌صورت اثر قطعه‌ای تام نمایان شدند (شکل ۳ و جدول ۲). از سوی دیگر، دقت برآورد متغیر تراکم جنگل به‌روش کریجینگ زمین‌آمار نسبت به روش کلاسیک دوبرابر شده (مقایسه جدول‌های ۱ و ۳) و این در حالی است که این برآورد از صحت مناسبی ($MEr \approx$ ٪۷؛ جدول ۴) نیز برخوردار است.

پس از تفکیک درختان به طبقه‌های قطری ملاحظه شد که دو طبقه کم‌قطر و میان‌قطر برای متغیر رویه‌زمینی دارای واریوگرام با ساختار مکانی متوسط هستند، اما دو طبقه قطور و خیلی قطور ساختار مکانی مناسبی از خود نشان نمی‌دهند. به‌عبارت‌دیگر هرچه از طبقه کم‌قطر به‌سمت طبقه خیلی قطور حرکت کنیم، از مقدار ساختار مکانی واریوگرام رویه‌زمینی کاسته می‌شود (شکل ۶). این موضوع نشان‌دهنده نقش مهم درختان قطور و خیلی قطور در روند واریوگرام و ساختار مکانی آن است. به‌همین جهت است که شکل واریوگرام طبقه‌های قطور و خیلی قطور مشابه شکل واریوگرام کل جنگل برای متغیر رویه‌زمینی شد، درحالی‌که شکل واریوگرام طبقه‌های کم‌قطر و میان‌قطر با آن متفاوت است (مقایسه شکل‌های ۳ و ۶). علت این اتفاق این است که درختان قطور و خیلی قطور با وجود تعداد کم در عرصه جنگل (شکل ۲)، واریوگرام کل جنگل را به‌دلیل داشتن موجودی زیاد تحت‌تأثیر قرار می‌دهند، اما روند تغییرات مکانی متغیر تراکم جنگل متأثر از درختان قطور نیست. چون درختان کم‌قطر و قطور هر دو در محاسبه تعداد در هکتار جنگل یک واحد به‌حساب می‌آیند، بنابراین ماهیت متغیر تراکم با متغیرهای موجودی حجمی و رویه‌زمینی جنگل متفاوت است که همین مسئله سبب ایجاد تفاوت در واریوگرام‌های تولیدشده می‌شود.

نتیجه‌ای که در بررسی زمین‌آماری متغیرهای سه‌گانه یادشده در جنگل مدیریت‌نشده بخش چلیر خیرود نوشهر به‌دست آمده است با نتایج Akhavan (۲۰۰۴) در جنگل مدیریت‌شده بخش نم‌خانه خیرود (شکل ۱) برای متغیرهای موجودی حجمی و رویه‌زمینی جنگل یکسان، اما برای متغیر تراکم جنگل متفاوت است. درمورد متغیرهای موجودی جنگل شایان ذکر است که هرچه در یک جنگل مدیریت‌شده، درختان از طبقات قطری بالاتر نشانه‌گذاری و قطع شوند که معمولاً در طرح‌های جنگلداری به این صورت

عمل می‌شود، نمودار تعداد در طبقات قطری کوتاه‌تر شده و واریوگرام بهتری برای متغیرهای موجودی جنگل ایجاد خواهد شد. چون در این حالت تأثیر درختان قطور که در موجودی توده جنگلی سهم زیادی دارند، حذف می‌شود. اما چون در بخش نم‌خانه برش‌ها به‌صورت علمی انجام شده و هدف پرورش جنگل بوده و فقط درختان قطور نبوده‌اند که قطع و برداشت شده‌اند، نمودار تعداد در طبقات قطری این جنگل در اثر دخالت‌های مدیریتی کوتاه نشده و به‌همین دلیل واریوگرام متغیرهای موجودی حجمی و رویه‌زمینی در این جنگل همانند بخش مدیریت‌نشده چلیر به‌صورت اثر قطعه‌ای تام ظاهر شدند. اما با این‌حال در اثر دخالت‌های انجام‌شده در این جنگل شامل جاده‌سازی، بهره‌برداری، جنگلکاری و غیره، نظم مکانی طبیعی موجود در جنگل بهم خورده و همین امر سبب شده که متغیر تراکم جنگل رفتار ناحیه‌ای از خود نشان ندهد که در این مورد با نتیجه به‌دست‌آمده در تحقیق پیش‌رو تفاوت دارد.

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با نتایج Akhavan و Kleinn (۲۰۰۹) در جنگلکاری افرا (پلت) ۱۸ ساله در منطقه بنشکی رامسر برای متغیرهای رویه‌زمینی و تراکم جنگل کاملاً متفاوت و برعکس است؛ به‌طوری که در جنگلکاری اشاره‌شده، متغیر تراکم جنگلکاری فاقد ساختار مکانی و متغیر رویه‌زمینی جنگل واجد آن بود. علت این تفاوت‌ها به تفاوت ماهیت جنگل‌های طبیعی با جنگل‌های دست‌کاشت برمی‌گردد، به‌طوری‌که در چنین جنگلکاری جوانی، اثر گذشت زمان و سن هنوز به‌طور آشکار و معنی‌داری سبب ایجاد تفاوت‌های قطری در بین پایه‌ها نشده است؛ به گونه‌ای که میانگین قطر پایه‌ها در جنگلکاری بنشکی ۱۳/۳ سانتی‌متر با ضریب تغییرات ۳۵ درصد بوده است، اما در جنگل چلیر میانگین قطر پایه‌ها ۳۱/۷ سانتی‌متر با ضریب تغییرات ۷۹ درصد می‌باشد. بنابراین مشخص است که اثر گذشت زمان و تغییر در ابعاد و اندازه پایه‌ها چگونه بر روند ساختار مکانی متغیرهای مرتبط با موجودی جنگل تأثیرگذار است. اما در توجیه عدم وجود ساختار مکانی مناسب برای متغیر تراکم درختان در این جنگلکاری باید گفت که این درختان در فواصل منظم کاشته شده و با این که پس از گذشت ۱۸ سال، رقابت بین آنها برای کسب نور و مواد غذایی بوجود آمده، ولی شدت این رقابت به اندازه‌ای نبوده که سبب حذف برخی از پایه‌ها شود تا نظم کاشت اولیه تغییر کند. از آن‌جایی‌که در طول مدت کاشت، خشکی و یا طوفان شدید که سبب حذف برخی از پایه‌ها شود نیز در منطقه اتفاق نیفتاده است، بنابراین با حفظ نظم کاشت اولیه، تغییرات تراکم این جنگلکاری تابعی از فاصله نبوده تا به‌صورت یک متغیر ناحیه‌ای رفتار کند، ولی با افزایش سن توده و حذف برخی از پایه‌ها تا زمان برداشت که معمولاً برای گونه پلت ۸۰ سال است، انتظار می‌رود که متغیر تراکم جنگلکاری نیز به یک متغیر ناحیه‌ای تبدیل شود.

براساس نقشه پهنه‌بندی کریجینگ تراکم جنگل، در جنگل مدیریت‌نشده چلیر می‌توان وضعیت پراکنش و توزیع تراکمی درختان در عرصه موردبررسی را مشاهده کرد (شکل ۴) که چه مناطقی از این جنگل پرتراکم و به‌احتمال زیاد جوان و چه مناطقی کم‌تراکم و به‌احتمال زیاد قطور و مسن هستند. براساس این نقشه رقومی تراکم جنگل با صحت مناسب (جدول ۴)، مشخص است که هر نقطه از جنگل دارای چه تعداد در هکتاری می‌باشد. به‌عنوان مثال نقطه A در شکل ۴ دارای تراکمی برابر ۱۷۰ اصله در هکتار است که براساس طبقه‌بندی قطری این جنگل (جدول ۵)، در نقطه A، ۶۴/۶ درصد از درختان یعنی ۱۱۰ اصله درخت متعلق به طبقه کم‌قطر، ۱۷/۴ درصد از درختان یعنی ۳۰ اصله درخت متعلق به طبقه میان‌قطر، ۹/۸ درصد از درختان یعنی ۱۶ اصله درخت متعلق به طبقه قطور و ۸/۲ درصد از درختان یعنی ۱۴ اصله درخت متعلق به طبقه خیلی قطور می‌باشند. سپس با درنظرگرفتن میانه هر طبقه قطری (که برای طبقه‌های کم‌قطر، میان‌قطر و قطور به‌ترتیب برابر ۲۰، ۴۲/۵ و ۶۲/۵ سانتی‌متر و برای طبقه خیلی قطور بستگی به حداکثر قطر موجود در عرصه دارد) می‌توان موجودی حجمی یا رویه‌زمینی را در نقطه A برآورد کرد که البته این کار به‌طور مستقیم و با استفاده از واریوگرام‌ها و نقشه‌های

کریجینگ موجودی حجمی و رویه‌زمینی در این جنگل امکان‌پذیر نبوده، ولی از طریق متغیر تراکم جنگل به‌طور غیرمستقیم می‌توان موجودی جنگل را برآورد کرد. البته به‌منظور افزایش دقت این برآورد می‌توان دامنه طبقه‌های قطری به‌ویژه طبقه‌های قطور و خیلی قطور را به‌دلیل این که تأثیر زیادی در موجودی توده جنگلی دارند، کوتاه‌تر در نظر گرفت، اما برای طبقه‌های کم‌قطر که حجم کمی دارند، این کار الزامی نیست.

از سوی دیگر هر گونه درختی در جنگل دارای سن فیزیولوژیک و دیرزیستی مخصوص به‌خود است که در واقع اثر زمان خاص خود را دارد، در نتیجه هر گونه درختی دارای واریوگرام مخصوص به‌خود می‌باشد. همچنان که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، هنگامی که موجودی قطعات‌نمونه به‌تفکیک دو گونه اصلی راش و ممرز محاسبه شد، متغیر رویه‌زمینی جنگل واریوگرامی با ساختار مکانی متوسط از خود نشان داد، درحالی‌که در حالت آمیختگی گونه‌ای موجودی قطعات‌نمونه، واریوگرام‌ها بدون ساختار مکانی و به‌صورت اثر قطعه‌ای تام ظاهر شدند (شکل ۳). بنابراین وقتی جنگل آمیخته باشد (که معمولاً با ناهمسالی همراه است)، واریوگرام ضعیف‌تری برای متغیرهای موجودی حجمی یا رویه‌زمینی جنگل نسبت به جنگل خالص (که معمولاً با همسالی همراه بوده و دارای منحنی تعداد در هکتار زنگدیس است) خواهیم داشت. به‌همین دلیل در جنگلکاری خالص پلت در تحقیق Akhavan و Kleinn (۲۰۰۹)، متغیر رویه‌زمینی دارای ساختار مکانی مناسب و قابل‌استفاده برای درون‌یابی کریجینگ بوده است.

به‌طور کلی هرچه نمودار تعداد در طبقات قطری یک جنگل ناهمسال پیوسته‌تر (یعنی انقطاعی در آن دیده نشود) و محور افقی آن کوتاه‌تر باشد (یعنی عدم وجود درختان در طبقات قطری بالا)، واریوگرامی با ساختار مکانی قوی‌تر برای موجودی جنگل وجود خواهد داشت.

نتایج این تحقیق در راستای نتایج بررسی Gunnarson و همکاران (۱۹۹۸) در سوئد است که نشان دادند موجودی حجمی درختان پهن‌برگ دارای ساختار مکانی ضعیفی است. همچنین Tuominen و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقی نشان دادند که استفاده از کریجینگ، صحت برآورد موجودی را در سطح توده‌های جنگلی بورآل فنلاند افزایش نخواهد داد. Freeman و Moisen (۲۰۰۷) در آمریکا برای تهیه نقشه زی‌توده (Biomass) جنگل از روش زمین‌آمار استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که به‌دلیل وجود اثر قطعه‌ای زیاد و الگوی تناوبی واریوگرام، استفاده از کریجینگ به بهبود دقت این نقشه‌ها کمک نمی‌کند.

از سوی دیگر بررسی‌های برخی از محققان در تقابل با نتایج تحقیق پیش‌رو می‌باشد. مثلاً Mandallaz (۱۹۹۳) روش زمین‌آمار را در نمونه‌برداری مضاعف (با استفاده از عکس‌های هوایی) در جنگل‌های آمیخته (سوزنی‌برگ و پهن‌برگ) و ناهمسال Zürichberg شهر زوریخ سوئیس بکار برد و کریجینگ مضاعف (Double kriging) را روشی مناسب در برآورد موجودی جنگل معرفی کرد. البته در تحقیق اشاره‌شده آخرین طبقه قطری بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر بود که در قیاس با درختان اندازه‌گیری‌شده در تحقیق پیش‌رو نمی‌توان آنرا طبقه خیلی قطور نامید. در نتیجه تأثیر درختان قطور و خیلی قطور در محاسبه واریوگرام در تحقیق اشاره‌شده کمتر بوده و واریوگرامی با ساختار مکانی مناسبتر برای موجودی جنگل تولید شده است. همچنین Biondi و همکاران (۱۹۹۴) از رویه‌زمینی در جنگل‌های پیش‌رسته آمریکا به‌عنوان یک متغیر ناحیه‌ای نام برده‌اند و Montes و همکاران (۲۰۰۵) از کریجینگ به‌منظور برآورد مقدار تولید چوب‌پنبه درختان بلوط در اسپانیا استفاده کرده‌اند.

به‌طورکلی براساس نتایج تحقیق پیش‌رو، متغیر تراکم در جنگل‌های مدیریت‌نشده دارای ساختار مکانی قابل‌استفاده در زمین‌آمار است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که براساس نگرش اکوسیستمی و جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت (Close to nature silviculture) که هم‌اکنون در کشور دنبال می‌شود، در تعیین مراحل تحولی جنگل (Development stage) شامل مراحل اولیه (Initial)، بلوغ یا اوج (Optimal) و پوسیدگی یا تخریب (Decay) (Akhavan *et al.*, 2012) به‌جای نقشه‌های قطر و طبقه‌های

قطری از نقشه‌های تراکم جنگل استفاده شود، چون تعیین این مراحل بیشتر در جنگل‌های خالص و همسال امکان‌پذیر است، ولی در جنگل‌های آمیخته به‌دلیل سرشت‌های متفاوت گونه‌ها، این مراحل به‌راحتی و با دقت قابل‌تفکیک نیستند. بنابراین بهتر است که از نقشه‌های تراکم جنگل به‌منظور برنامه‌ریزی و تفکیک مراحل تحولی در جنگل استفاده شود. کمک زمین‌آمار در این حالت تولید نقشه‌های رقومی تراکم جنگل است که براساس آن و درصد طبقه‌های قطری مختلف می‌توان مقدار موجودی جنگل را در هر نقطه با دقت کافی برآورد نمود.

در حال حاضر به‌دلیل این‌که برداشت‌ها و نشانه‌گذاری‌ها در جنگل‌های شمال کشور براساس حجم انجام می‌شود، محور افقی نمودارهای تعداد در طبقات قطری در این جنگل‌ها اکثراً کوتاه شده و عملاً فاقد نقاط پایانی است، در نتیجه نمودار تعداد در طبقات قطری کوتاه و وضعیت طبیعی جنگل دچار تغییر مصنوعی شده است (Kia- Daliri *et al*., 2011). درحالی‌که بهره‌برداری از جنگل باید به‌گونه‌ای باشد تا ساختار طبیعی توده جنگل دچار تغییر نشود، درنتیجه وضعیت تعداد در طبقات قطری جنگل به‌هنگام نشانه‌گذاری مهمتر از وضعیت حجمی توده جنگلی خواهد بود، چون توجه به حجم در طبقات قطری بیشتر مربوط به بهره‌برداری و برداشت چوب و یا محاسبات امکان برداشت است که از وضعیت بازار تبعیت می‌نماید. درواقع در شیوه تک‌گزینی که در روش جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت بکار می‌رود، باید به روند کاهش طبیعی تعداد درختان از طبقات قطری پایین به بالا که درحقیقت نشان‌دهنده پایداری توده است، کاملاً توجه شود. در این حالت نقشه‌های رقومی کریجینگ برای تراکم (تعداد در هکتار) جنگل می‌توانند بسیار مفید و مؤثر باشند. امروزه در ایران استفاده از این نوع اطلاعات مکانی در آماربرداری و مدیریت جنگل خیلی مرسوم نیست، درحالی‌که استفاده از این روش هیچ هزینه اضافی را در مقایسه با اجرای نمونه‌برداری کلاسیک در جنگل تحمیل نخواهد کرد، به‌طوری‌که تنها کافیست هنگام عملیات نمونه‌برداری در جنگل، مختصات قطعات‌نمونه نیز در فرم آماربرداری ثبت شود که این کار را هم می‌توان با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و هم به‌روش فاصله- آزیموت براساس یک نقطه مبنا (که در این بررسی استفاده شده است) انجام داد. باقی‌مانده کار، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای زمین‌آماری و انجام محاسبات دفتری است که با اندکی آموزش و بهره‌گیری از نرم‌افزارهای رایگان قابل انجام است. بنابراین ملاحظه می‌شود که گنجاندن این روش در طرح‌های جنگلداری کاری سخت و پیچیده و هزینه‌ساز نیست و به‌راحتی می‌توان استفاده از این روش را در طرح‌های جنگلداری به‌منظور برآورد دقیق‌تر موجودی و تولید نقشه پهنه‌بندی (البته در صورت بروز ساختار مکانی مناسب) گنجاند.

گرچه در حال حاضر استفاده از روش زمین‌آمار در طرح‌های جنگل‌داری متداول نیست، اما براساس نتایج تحقیق پیش‌رو می‌توان استفاده از روش زمین‌آمار را در مدیریت جنگل‌های طبیعی شمال کشور پیشنهاد داد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران ریاست جمهوری طی طرح شماره ۸۸۰۰۱۱۸۶ و با پشتیبانی موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور اجرا شده است که بدین‌وسیله از حمایت‌ها و پشتیبانی‌های این دو ارگان تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Akhavan, R. 2004. Application of Geostatistics for forest stock estimation in comparison to classical statistics in the Caspian region of Iran. Ph.D. thesis, University of Tehran, 64p (In Persian).
- Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh., Namiranian, M. and Mandallaz., D. 2006. Spatial structure and estimation of forest growing stock using geostatistics in the Caspian region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, 59(1): 89-102 (In Persian).
- Akhavan, R. and Kleinn, C. 2009. On the potential of kriging for estimation and mapping of forest plantation stock. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17(2): 303-318 (In Persian).
- Akhavan, R., Sagheb Talebi, Kh., Zenner, E.K. and Safavimanesh, F. 2012. Spatial patterns in different forest development stages of an intact old-growth

- Kint, V., Meirvenne, M.V., Nachtergale, L., Geudens, G. and Lust, N. 2003. Spatial methods for quantifying forest stand structure development: a comparison between nearest neighbour indices and variogram analysis. Forest Science, 49(1): 36-49.
- Mandallaz, D. 1991. A unified approach to sampling theory for forest inventory based on infinite population model. Ph.D. thesis, Academic Press, ETH Zürich, Switzerland, Chair of Forest Inventory and Planning, 257p.
- Mandallaz, D. 1993. Geostatistical methods for double sampling schemes: Application to combined forest inventory. Technical Report, ETH Zürich, Chair of Forest Inventory and Planning, 33p.
- Moeur, M. 1993. Characterizing spatial patterns of trees using stem- mapped data. Forest Science, 39(4): 756-775.
- Mohammadi, J., Shataee, Sh., Habashi, H. and Yaghmaee, F. 2008. Comparison of remote sensing and geostatistics techniques in forest tree density estimation. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15(1): 10-21 (In Persian).
- Montes, F., Hernandez, M.J. and Canellas, I. 2005. A geostatistical approach to cork production sampling in *Quercus suber* forests. Canadian Journal of Forest Research, 35: 2787-2796.
- Sagheb-Talebi, Kh. and Schütz, J-Ph. 2002. The structure of natural Oriental beech (*Fagus orientalis*) in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. Forestry, 75(4): 465-472.
- Sagheb-Talebi, Kh., Sajedi, T. and Yazdian, F. 2004. Forests of Iran. Published by Research Institute of Forests and Rangelands, No. 339, 28p.
- Sarmadian, F. and Jafari, M. 2001. Study of educational- experimental Kheyroud forest soils. Iranian Journal of Natural Resources, Special Issue (54), 111p (In Persian).
- Samra, J.S., Gill, H.S. and Bhatia, V.K. 1989. Spatial stochastic modeling of growth and forest resource evaluation. Forest Science, 35: 663-676.
- Tröltzsch, K., van Brusselen, J. and Schuch, A. 2009. Spatial occurrence of major tree species groups in Europe derived from multiple data sources. Forest Ecology and Management, 257: 294-302.
- 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 of Forest Research, 33: 624- 634.
- Webster, R. and Oliver, M.A. 2000. Geostatistics for Environmental Scientists. Wiley Press, 271p.
- Zobeiri, M. 1994. Forest Inventory. Tehran University Press, 401p (In Persian).

Oriental beech forest in the Caspian region of Iran. European Journal of Forest Research, 131(5): 1355-1366.
- Anonymous, 1995. Volume table of Beech for Mazandaran forests. Forests, Ranges and Watersehed Management Organization of Iran, 366p (In Persian).
- Anonymous, 2002. Volume table of tree species of northern forests of Iran. Forests, Ranges and Watersehed Management Organization of Iran, 255p (In Persian).
- Biondi, F., Myers, D.E. and Avery, C.C. 1994. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. Canadian Journal of Forest Research, 24: 1354-1368.
- Brus, D.J., Hengeveld, G.M., Walvoort, D.J.J., Goedhart, P.W., Heidema, A.H., Nabuurs, G.J. and Gunia, K. 2012. Statistical mapping of tree species over Europe. European Journal of Forest Research, 131: 145-157.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F. and Konopka, A.E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soil. Soil Science Society of America Journal, 58: 1501-1511.
- Cressie, N.A.C. 1993. Statistics for Spatial Data. John Willy and Sons, Inc., New York, 900p.
- Dale, M.R.T. 2000. Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 326p.
- Eslami, A., Sagheb-Talebi, Kh. and Namiranian, M. 2007. Determining of equilibrium state in uneven-aged Oriental beech forests of northern Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(2): 92-104 (In Persian).
- Freeman, E.A. and Moisen, G.G. 2007. Evaluating kriging as a tool to improve moderate resolution maps of forest biomass. Environmental Monitoring and Assessment, 128: 395-410.
- Ghanbari, F. 2008. Prediction of spatial distribution of forest alometric characteristics using geostatistics and GIS in Dr. Bahramnia's forest. M.Sc. thesis, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan, 155p (In Persian).
- Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York. 483p.
- Gunnarsson, F., Holm, S., Holmgren, P. and Thuresson, T. 1998. On the potential of kriging for forest management planning. Scandinavian Journal of Forest Research, 13: 237- 245.
- Isaak, E.H. and Srivastava, R.M. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York, 561p.
- Kia-Daliri, H., Akhavan, R. and Anissi, I. 2011. Timber marking and its impact on forest stand. Iranian Journal of Forest, 3(1): 49-59 (In Persian).

Geostatistically estimation and mapping of forest stock in a natural unmanaged forest in the Caspian region of Iran (Case study: Keyroud forest, Nowshahr)

R. Akhavan[1*], H. Kia-Daliri[2], V. Etemad[3], M. Hassani[4] and Kh. Mirakhorlou[5]

1*- Corresponding author, Assistant Prof., Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I.R. Iran. E- mail: akhavan@rifr-ac.ir
2- Assistant Prof., Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I.R. Iran.
3- Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karadj, I.R. Iran.
4- Research Expert, Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I.R. Iran.
5- Senior Research Expert, Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I.R. Iran.

Received: 06.15.2013 Accepted: 11.30.2013

Abstract

Estimation and mapping of forest resources is a prerequisite for research, management, and planning. In this study, we applied kriging geostatistical interpolation for estimation and mapping of forest stock attributes in a natural, uneven-aged and unmanaged forest in the Caspian region of northern Iran. The elevation across the 516-ha study area ranged from 1100 to 1450 m a.s.l. Field sampling was performed using 1000 m^2 circular sample plots in a 75 m × 200 m systematic grid. Total numbers of 309 plots were sampled. Experimental variograms were fitted for stem basal area (BA), volume stock (V) and stem density (N) using geo-referenced plots. The variograms of BA and V exhibited no spatial autocorrelation, except for the stratified data based on diameter classes and tree species. The N showed yet a medium spatial structure which was fitted by a spherical model. The stem density was estimated by ordinary block kriging. The cross-validated results showed high estimation accuracy. The applied geostatistical methods were concluded to be advantageous for accurately capture the spatial variability of stem density which was reflected in the stem density maps. The methods can be applied to similar unmanaged, uneven-aged stands in the north of Iran, and thereby support the estimation of forest growing stock.

Key words: Geostatistics, mapping, forest stock, unmanaged forest, spatial structure.