جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۳
ص ۳۵۹-۳۷۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۰۶

کارایی کریجینگ در پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های بلوط ناحیهٔ زاگرس

(مطالعهٔ موردی: منطقهٔ دادآباد خرم‌آباد لرستان)

❖ **عفت رضایی؛** دانشجوی کارشناسی‌ارشد جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
❖ **رضا اخوان*؛** استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران
❖ **جواد سوسنی؛** استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
❖ **مهدی پورهاشمی؛** استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران

چکیده

این تحقیق برای بررسی ساختار مکانی متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های بلوطِ منطقهٔ دادآبادِ خرم‌آبادِ لرستان و امکان استفاده از روش کریجینگ زمین‌آمار برای برآورد و پهنه‌بندی آن‌ها در عرصه‌ای به مساحت ۸۰ هکتار انجام شد. نمونه‌برداری با استفاده از شبکه‌ای منظم به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر و با اندازه‌گیری قطعات نمونهٔ دایره‌ای‌شکل ۲۰ آری انجام گرفت. در مجموع، ۸۰ قطعه‌نمونه در این عرصه اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های زمین‌مرجع برداشت‌شده، واریوگرام‌های تجربی همسانگرد برای متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل محاسبه شد. نتایج واریوگرافی نشان داد که متغیرهای مورد بررسی ساختار مکانی قوی دارند. پس از برازش مدل گوسی به واریوگرام‌های تجربی، برآوردها به روش کریجینگ معمولی و با بلوک‌های ٤٥×٤٥ متر انجام شد. نتایج ارزیابی صحت نشان داد که برآوردها نااریب بوده است و در نتیجه می‌توان نقشهٔ توزیع مکانی متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل را با دقتی مناسب تولید کرد. بنابراین، بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده از روش کریجینگ برای کمک به برنامه‌ریزی در جنگل‌های بلوط ناحیهٔ زاگرس ـ که وضعیتی مشابه عرصهٔ این تحقیق دارند توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، تاج‌پوشش، تراکم، جنگل بلوط زاگرس، کریجینگ

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۰۲۱ ۴۴۷۸۷۲۷۸
Email: akhavan@rifr-ac.ir

مقدمه

جنگل‌های بلوط ناحیهٔ زاگرس بخشی از عرصه‌های جنگلی کشورند که از نظر تولید چوب صنعتی اهمیت ندارند، اما از نظر حفظ آب و جلوگیری از فرسایش خاک اهمیت بسیار دارند. از این رو، هنگامی که هدف برآورد مشخصه‌ای از این جنگل‌ها باشد، بیشتر بر تراکم (تعداد در هکتار) و تاج‌پوشش آن‌ها تکیه می‌شود، زیرا درختان این ناحیه از یک‌سو به‌سبب دخالت‌های انسانی و برداشت‌های بی‌رویه از سوی جنگل‌نشینان زاگرس اغلب دارای قطر برابر سینهٔ مشخص و قابل اندازه‌گیری نیستند و به‌صورت شاخه‌زاد و جست‌گروه ظاهر می‌شوند و از سوی دیگر عاملی که در ایفای نقش حفاظتی این جنگل‌ها مؤثر است، سطح تاج آن‌هاست. بنابراین، برآورد رویهٔ زمینی و موجودی حجمی آن‌ها به‌ندرت از اهداف آماربرداری از این جنگل‌هاست. از این رو، اگر بتوان با استفاده از روشی مناسب، پهنه‌بندی دقیقی از تراکم و تاج‌پوشش این جنگل‌ها انجام داد، بی‌شک در برنامه‌ریزی و مدیریت این جنگل‌ها نقش بسزایی خواهد داشت. از روش‌های دقیق پهنه‌بندی و تولید نقشه می‌توان به روش‌های زمین‌آماری[1] مانند کریجینگ[2] اشاره کرد که علاوه بر استفاده از مقدار مشخصهٔ نمونه‌برداری‌شده، از محل و موقعیت نمونه‌ها نیز در درون‌یابی‌ها[3] و برآوردها استفاده می‌کند.

پیشینهٔ پژوهش‌های داخلی در زمینهٔ کاربردهای روش کریجینگ در جنگل بیشتر به جنگل‌های شمال کشور مربوط است [۱-۴]. در جنگل‌های زاگرس در مورد کاربرد روش‌های برآورد مکانی در پهنه‌بندی مشخصه‌های کمی جنگل فقط یک تحقیق انجام شده که در آن از روش‌های کریجینگ و IDW[4] برای برآورد و پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های بلوط منطقهٔ کاکارضای خرم‌آباد استفاده شده است [۵].

با این حال، تحقیقات خارجی انجام‌شده در این زمینه بسیار است که مثلاً در آن‌ها به برآورد و تولید نقشه‌های زمین‌مرجع[5] پراکنش مشخصه‌های کمی جنگل مانند تراکم، رویهٔ زمینی، و موجودی حجمی جنگل بر اساس آماربرداری‌های زمینی پرداخته شده که در برخی موارد موفق بوده و در برخی موارد موفق نبوده‌اند [۶-۱۱]. جدیدترین کاربرد کریجینگ برای پهنه‌بندی در جنگل مربوط به تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی برای ۲۰ گروه از گونه‌های درختی در محدودهٔ ۱۸ کشور اروپایی با استفاده از داده‌های آماربرداری ملی این کشورها[6] است [۱۲]. البته، قبل از این تحقیق، پژوهش مشابهی با استفاده از روش کریجینگ برای ۶ گروه درختی اصلی در محدودهٔ اروپا انجام شده بود [۱۳].

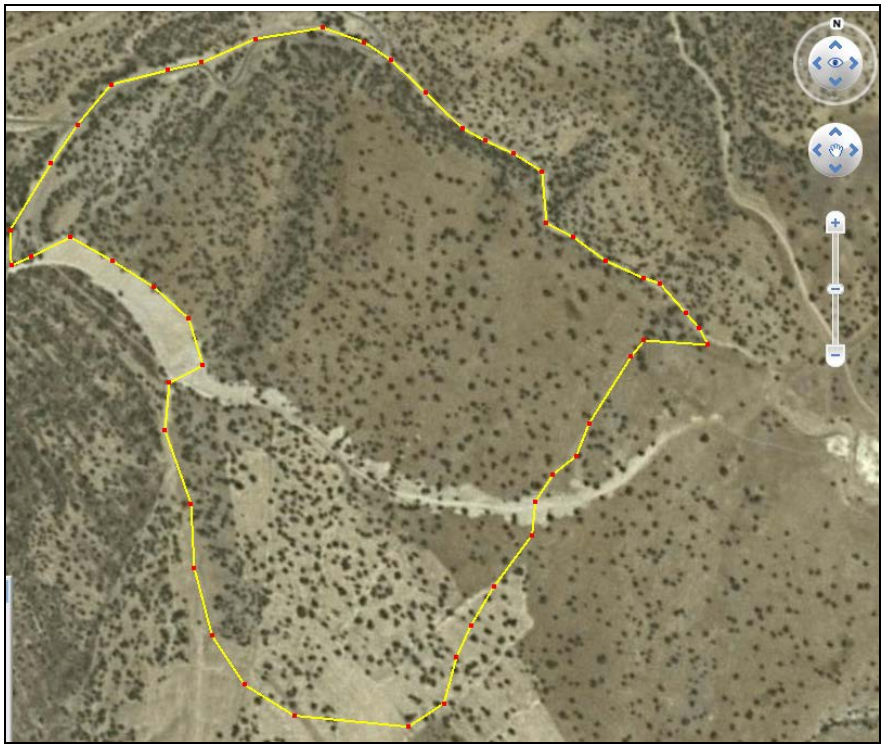
هدف از این پژوهش، بررسی امکان استفاده از روش کریجینگ زمین‌آمار در پهنه‌بندی و تولید نقشه‌ای دقیق از وضعیت پراکنش متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش در این گونه از مناطق جنگلی زاگرس است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد بررسی

برای این پژوهش ۸۰ هکتار از جنگل‌های سامان عرفی روستای دادآباد، واقع در شمال غرب شهرستان خرم‌آباد در استان لرستان، انتخاب شد (شکل ۱).

1. Geostatistics
2. Kriging
3. Interpolation
4. Inverse Distance Weighting
5. Geo reference
6. NFI; National Forest Inventory



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای محدودهٔ مورد بررسی (تصویر از Google earth)

بلـوط ایرانـی (*Quercus brantii* Lindl.) گونـهٔ غالب این جنگل است که بیشتر شامل درختان شـاخه و دانه‌زاد بوده که اغلب به‌صورت قطور و تک‌تنه ولی با تاج‌پوشش تنک ظاهر می‌شوند. موقعیت جغرافیایی قطعهٔ انتخاب‌شـده ″۲۵ ′۱۳ °۴۸ تـا ″۰۷ ′۱۴ °۴۸ طـول شـرقی و ″۲۷ ′۱۸ °۳۳ تـا ″۰۵ ′۱۹ °۳۳ عـرض شـمالی است. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا حدود ۱۷۸۰ متر و میزان متوسط بارندگی سالانهٔ آن ۷۱۳ میلی‌متـر است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن و آمبـرژهٔ مرطوب معتدل ارزیابی شده است [۱۴]. شیب عرصهٔ تحقیق بین صفر تا ۴۵ درصـد متغیـر بـوده و جهـت غالب آن نیز شمالی است.

روش تحقیق

نمونه‌برداری

با توجه به وسعت ۸۰ هکتاری منطقهٔ مورد بررسـی و نیاز به تعداد مناسبی از قطعات نمونه بـرای تجزیـه و تحلیل‌های زمین‌آماری (حداقل ۵۰ نمونـه)، شـبکه‌ای به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر برای نمونه‌برداری انتخاب شد. همچنین، با توجه به تنک‌بودن جنگل مورد مطالعـه و بررسی‌های اولیه، قطعات نمونهٔ دایـره‌شـکل ۲۰ آری برای این پژوهش در نظر گرفته شد [۱۵].

کلیهٔ درختان و درختچه‌هـای بلنـدتر از ۱/۵ متـر موجود در قطعـات نمونـه شـمارش شـد و دو قطـر بزرگ و کوچک تاج (دو قطر عمود بر هـم تـا دقـت دسی‌متر) آن‌ها انـدازه‌گیـری و بـه همـراه مختصـات مراکز قطعات نمونه در فرم‌هـای نمونـه‌بـرداری ثبـت شدند.

واریوگرافی و کریجینگ

بـه‌طـور کلـی، زمـین‌آمـار شـامل دو بخـش اصـلی واریـوگرافی و کریجینـگ اسـت [۱۶]. واریـوگرافی اولین قـدم بـرای مـدل‌سـازی سـاختار مکـانی بـرای استفاده در کریجینگ است. از واریوگرام برای تعیـین

و تشریح ساختار مکانی داده‌ها استفاده می‌شود که از طریق رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود [۱۷]:

$$\hat{\gamma}(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left[z(x_i)-z(x_i+h)\right]^2 \qquad (۱)$$

$\hat{\gamma}(h)$ مقدار واریوگرام برای تعداد N جفت نمونه است که با فاصلهٔ h (گام یا Lag) از یکدیگر جدا شده‌اند. $z(x_i)$ و $z(x_i+h)$ نیز مقادیر متغیر ناحیه‌ای x در نقاط i و $i+h$ هستند.

مقدار واریوگرام به فاصلهٔ بین مقادیر یک متغیر ناحیه‌ای در دو نقطه وابسته است. اگر این مقدار به جهت نیز وابسته باشد، واریوگرام ناهمسانگرد[1] و در غیر این صورت همسانگرد[2] نامیده می‌شود. در واریوگرافی برای تشریح و مدل‌سازی رفتار واریوگرام از سه مؤلفه استفاده می‌شود: دامنهٔ تأثیر[3]، حد آستانه یا سقف[4]، و اثر قطعه‌ای[5]. دامنهٔ 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 [۱۸]. اثر قطعه‌ای به‌علت وجود تغییرات در فواصل کمتر از حداقل فاصلهٔ نمونه‌برداری یا به‌دلیل وجود خطا به هنگام 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، نشان‌دهندهٔ ساختار قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد بیان‌گر ساختار متوسط و کمتر از ۲۵ درصد نشان‌دهندهٔ ساختار مکانی ضعیف متغیر مورد بررسی است [۱۹]. اولین قدم در درون‌یابی به روش کریجینگ برازش مدلی بر واریوگرام تجربی است. هنگام مدل‌سازی واریوگرام باید مدلی را انتخاب کرد که کمترین مقدار مجموع باقی‌مانده‌ها[6] را داشته باشد.

در این پژوهش، مدل با استفاده از روش هیبرید، بر مبنای تفسیر چشمی و خودکار (حداقل مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها) به واریوگرام‌های تجربی برازش شد. بر این اساس و با توجه به مشخصهٔ نیکویی برازش[7]، برای برازش واریوگرام‌های محاسبه‌شده، مدل گوسی[8] انتخاب شد که در آن مقدار اثر قطعه‌ای نیز در نظر گرفته شد. مدل گوسی به‌صورت رابطهٔ ۲ تعریف می‌شود [۱۷]:

$$\gamma(h)=C\left\{1-\exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right)\right\} \qquad h\geq 0 \quad (۲)$$

h، C، و a به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ گام، حد آستانه، و دامنهٔ تأثیر واریوگرام هستند.

کریجینگ روش درون‌یابی و برآورد زمین‌آماری است که قادر است بر اساس مدل برازش‌شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری‌نشده را بدون اریبی و با حداقل واریانس برآورد کند. عمومی‌ترین روش کریجینگ که در علوم محیط زیستی نیز کاربرد فراوانی دارد کریجینگ معمولی[9] است. تابع کریجینگ به‌صورت رابطهٔ ۳ تعریف می‌شود [۱۷]:

$$\hat{z}(x)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i z(x_i) \qquad (۳)$$

که λ_i وزن مرتبط با ارزش متغیر ناحیه‌ای x در نقطهٔ i است؛ در شرایطی که $\sum_{i=1}^{n}\lambda_i=1$ است.

کریجینگ را می‌توان به‌صورت نقطه‌ای یا بلوکی انجام داد. ویژگی دیگر کریجینگ علاوه بر دقت زیاد

1. Anisotropic
2. Isotropic
3. Range
4. Sill
5. Nugget effect
6. Residuals
7. Goodness of fit
8. Gaussian
9. Ordinary kriging

آن در برآورد، این است که به همراه هر برآوردی (نقشهٔ کریجینگ) مقدار خطای آن (نقشهٔ انحراف معیار کریجینگ) را نیز محاسبه می‌کند.

در این بررسی، از کریجینگ معمولی و با توجه به استفاده از قطعات نمونه، از شکل بلوکی آن استفاده شد. ابعاد بلوک‌ها ۴۵×۴۵ متر تعیین شد تا با مساحت قطعهٔ نمونه (۲۰۰۰ مترمربع) هماهنگی داشته باشد.

روش ارزیابی

در این بررسی، برآوردهای کریجینگ با استفاده از دو آمارهٔ میانگین خطا[1] و جذر میانگین مربعات خطا[2] ارزیابی شد. در حالتی که برآوردها صحیح و بدون اشتباه باشند، مقدار این دو آماره باید برابر صفر شود که به‌صورت رابطه‌های ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند [۱۷]. روابط ۶ و ۷ نیز مقادیر نسبی میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا را نشان می‌دهند.

$$ME = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[z(x_i) - \hat{z}(x_i)\right] \qquad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[z(x_i) - \hat{z}(x_i)\right]^2} \qquad (۵)$$

$$MEr = \frac{ME}{\bar{z}(x_i)} \times 100 \qquad (۶)$$

$$RMSEr = \frac{RMSE}{\bar{z}(x_i)} \times 100 \qquad (۷)$$

که $\hat{z}(x_i)$ برآورد مقدار متغیر ناحیه‌ای x در نقطهٔ i، N تعداد نمونه‌ها، و $\bar{z}(x_i)$ میانگین نمونه‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ متغیر مورد بررسی است.

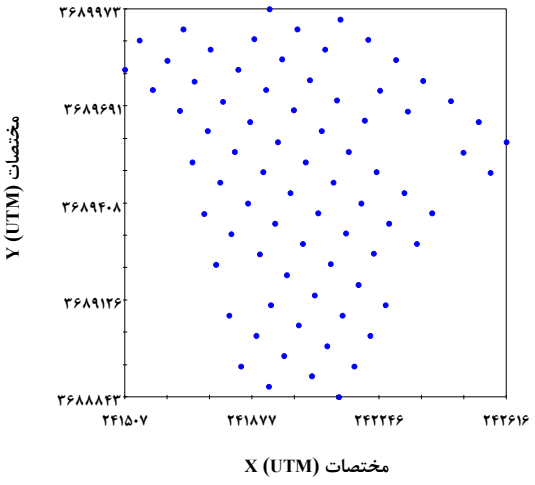
برای بررسی بهتر نتایج برآوردها، ارزیابی متقابل[3] متغیرهای مورد بررسی نیز انجام شد. این روش شامل حذف به‌نوبت نمونه‌ها و برآورد مجدد آن‌ها به روش کریجینگ با استفاده از سایر نمونه‌ها و مدل برازش‌شده بر روی واریوگرام است. سپس، از تفاضل مقادیر واقعی و برآوردشده در هر نقطه برای ارزیابی صحت کریجینگ استفاده می‌شود.

در این بررسی، برای تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری از نرم‌افزار GS+ نسخهٔ ۹ (Gamma Design Software, LLC, Plain well, MI) استفاده شد.

نتایج و بحث

نمونه‌برداری

در مجموع، ۸۰ قطعه‌نمونهٔ ۲۰ آری در عرصهٔ مورد بررسی برداشت شد (شکل ۲). اطلاعات کمّی مربوط به دو متغیر تراکم و تاج‌پوشش جنگل در جدول ۱ ارائه شده است.



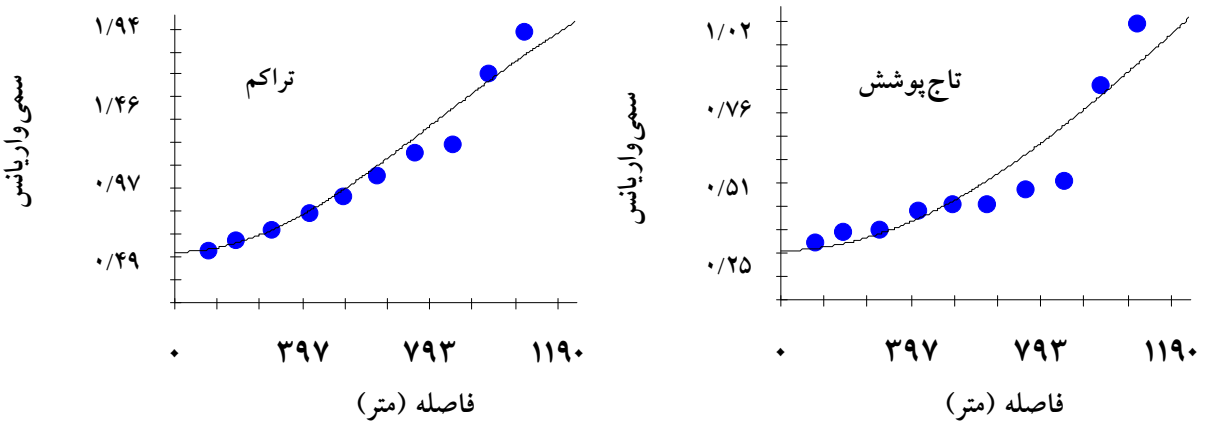
شکل ۲. موقعیت قطعات نمونه در منطقهٔ مورد بررسی

1. Mean Error; ME
2. Root Mean Square Error; RMSE
3. Cross-validation

جدول ۱. نتایج کمّی برآورد تراکم و تاج‌پوشش جنگل به روش نمونه‌برداری

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی	دقت نمونه‌برداری* (%E)
تاج‌پوشش (متر مربع در هکتار)	۱۸۴۴/۱۰	۳۵۰/۵	۶۱۰۷/۳	۱۲۵۸/۶	٪۶۸/۲	۱/۶۴	۲/۸۷	٪۱۵/۳
تراکم (تعداد در هکتار)	۴۸/۹	۵۰	۲۹۵	۵۳/۹	٪۱۱۰/۳	۲/۶۵	۸/۰۴	٪۲۴/۷

* $E\% = \frac{S_{\bar{x}} \times t}{\bar{x}} \times 100$؛ $S_{\bar{x}}$: اشتباه معیار، $\bar{x}$: میانگین، و t: مقدار جدول تی استیودنت است.



شکل ۳. واریوگرام‌های تجربی و مدل‌های برازش‌شده بر آن‌ها برای متغیرهای مورد بررسی (حداقل تعداد جفت نمونه‌ها در هر گام ۳۸ است.)

بررسی داده‌های تراکم و تاج‌پوشش جنگل نشان داد که از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند (جدول ۱)؛ بنابراین، این داده‌ها با استفاده از تبدیل لگاریتمی نرمال شدند و سپس در تجزیه و تحلیل‌ها به‌کار گرفته شدند.

واریوگرافی و کریجینگ

در محاسبهٔ واریوگرام‌های متغیرهای مورد بررسی، هیچ گونه علایمی از ناهمسانگردی (هندسی یا منطقه‌ای) مشاهده نشد. در نتیجه، کلیهٔ واریوگرام‌ها به‌صورت چندجهته[1] در نظر گرفته و با استفاده از مدل گوسی برازش داده شدند (شکل ۳).

در جدول ۲ مشخصات واریوگرام‌ها و مدل‌های برازش‌شده بر آن‌ها و در جدول ۳ نتایج درون‌یابی‌های کریجینگ ارائه شده است.

شکل‌های ۴ و ۵ نقشه‌های پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل را که به روش کریجینگ تولید شده‌اند، به همراه نقشه‌های خطای (انحراف معیار) آن‌ها نشان می‌دهند.

1. Omni-directional

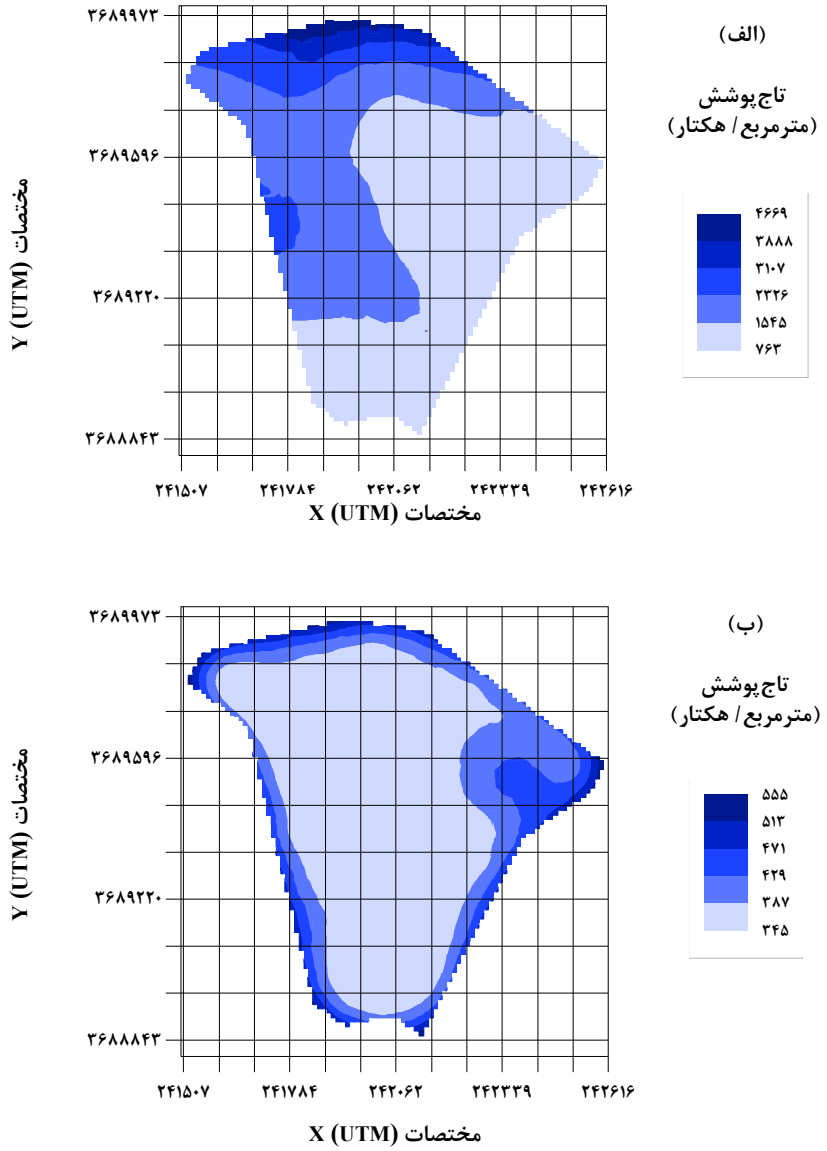
جدول ۲. مشخصات واریوگرام‌ها و مدل‌های گوسی برازش‌شده بر آن‌ها

متغیر	طول گام (متر)	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنهٔ تأثیر (متر)	ساختار مکانی*
تاج‌پوشش (متر مربع در هکتار)	۱۱۵	۰/۱۷۹	۲/۴۶	۳۱۷۶	٪۹۳
تراکم (تعداد در هکتار)	۱۱۵	۰/۳۶	۲/۷۲	۱۹۹۳	٪۸۷

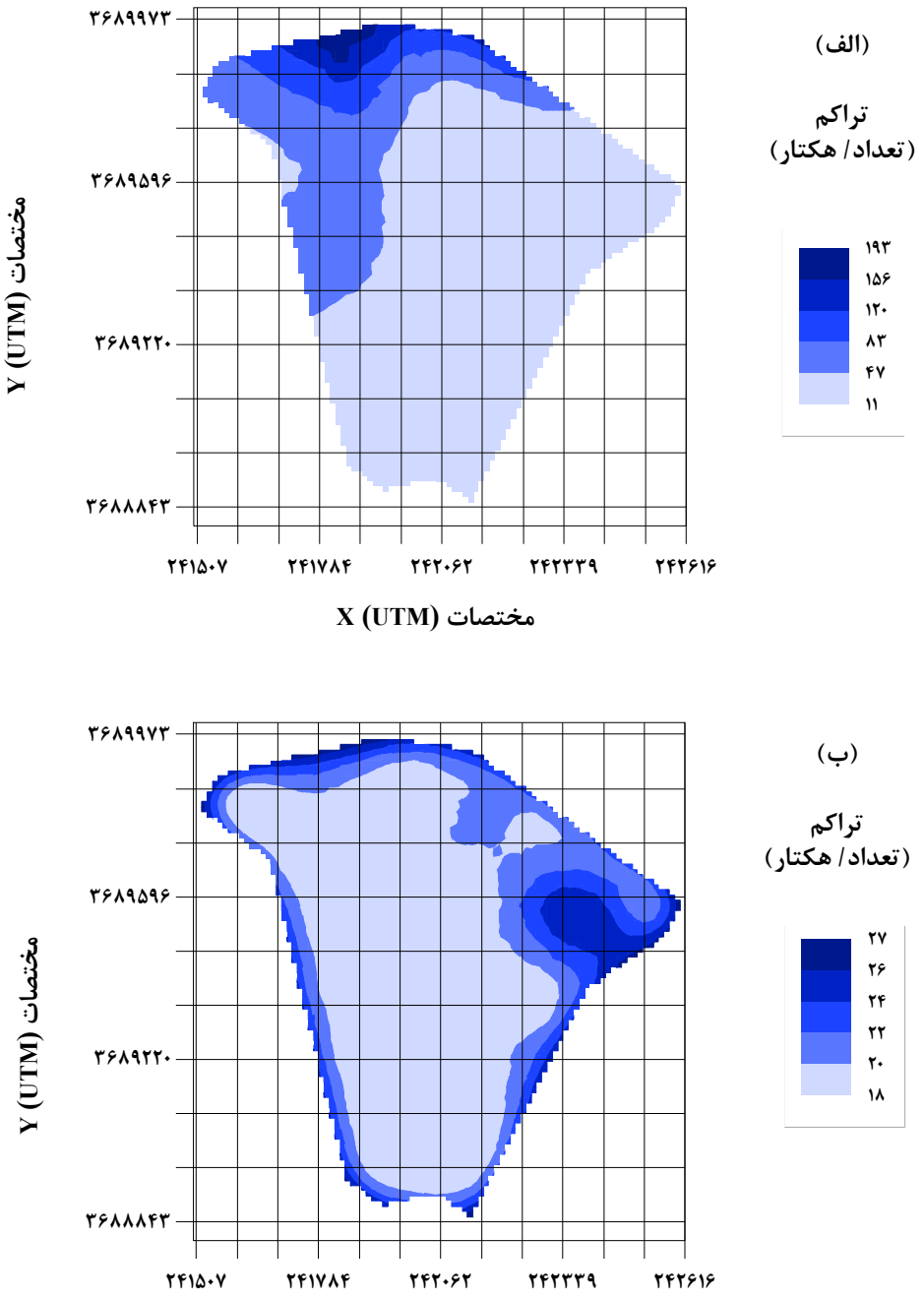
*۱۰۰× (حد آستانه/ اثر قطعه‌ای ـ حد آستانه)= درصد ساختار مکانی

جدول ۳. نتایج کمّی درون‌یابی به روش کریجینگ

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات
تاج‌پوشش (متر مربع در هکتار)	۱۷۰۹/۴	۷۶۳/۵	۴۶۶۹/۵	۶۵۹/۸	٪۳۸/۶
تراکم (تعداد در هکتار)	۴۱/۲	۱۰/۶	۱۹۰/۹	۳۰/۲	٪۷۳/۳



شکل ۴. نقشهٔ پهنه‌بندی تاج‌پوشش جنگل به روش کریجینگ (الف) به همراه نقشهٔ انحراف معیار برآورد آن (ب)



شکل ۵. نقشهٔ پهنه‌بندی تراکم جنگل به روش کریجینگ (الف) به همراه نقشهٔ انحراف معیار برآورد آن (ب)

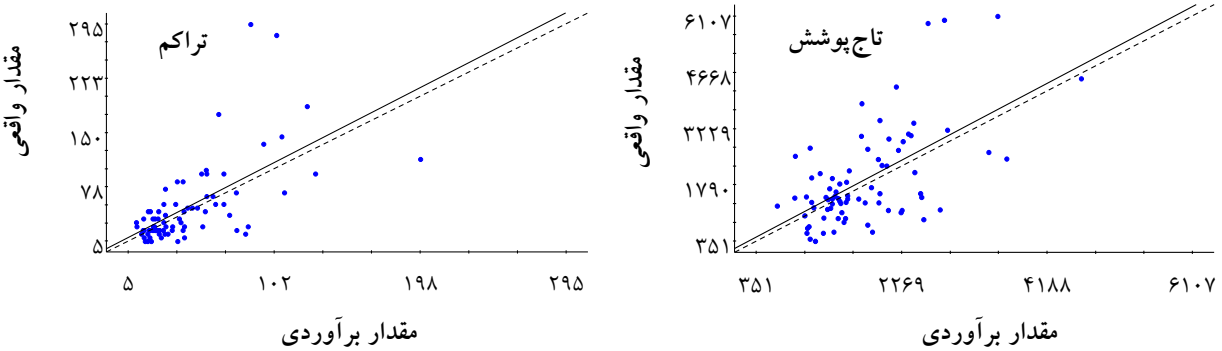
ارزیابی

برای ارزیابی برآوردهای کریجینگ، مقادیر مطلق و نسبی میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا برای متغیرهای مورد بررسی محاسبه شدند که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج ارزیابی صحت کریجینگ برای متغیرهای مورد بررسی

متغیر	ME	RMSE	MEr	RMSEr
تاج‌پوشش (متر مربع در هکتار)	۱۳۹/۴	۹۸۷/۳	٪۷/۵	٪۵۳/۵
تراکم (تعداد در هکتار)	۶/۰	۴۲/۲	٪۱۲/۲	٪۸۶/۳

ME= میانگین خطا، RMSE= جذر میانگین مربعات خطا، MEr= میانگین خطای نسبی، و RMSEr= جذر میانگین مربعات خطای نسبی است.



شکل ۶. نمودار ارزیابی متقابل برای متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل

شکل ۶ نمودارهای ارزیابی متقابل را برای متغیرهای مورد بررسی نشان می‌دهد. در این شکل‌ها، مقادیر واقعی (محور عمودی) در برابر مقادیر برآوردشده (محور افقی) تقابل داده شده‌اند. شایان ذکر است که هرچه انطباق خط ممتد بر خط‌چین (با زاویهٔ ۴۵ درجه) بیشتر باشد، برآوردها نااریب‌تر و صحت آن‌ها بیشتر است [۱۷].

بحث

در این پژوهش، کاربرد روش کریجینگ در پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های بلوط منطقهٔ دادآباد خرم‌آباد لرستان بررسی شد. نتایج واریوگرافی نشان داد که دو متغیر مورد بررسی ساختار مکانی قوی دارند (جدول ۲) و تغییراتشان به‌نوعی وابسته به فاصله است؛ به‌عبارت دیگر، متغیر ناحیه‌ای[1] هستند. بنابراین، امکان تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی این متغیرها به روش کریجینگ وجود دارد (شکل‌های ۴ تا ۵).

جدول ۴ نشان می‌دهد که میانگین خطای نسبی هر دو متغیر در حد مقبول و حدود ۱۰ درصد است، اما صحت کریجینگ برای برآورد تاج‌پوشش جنگل بیشتر از متغیر تراکم جنگل بوده که با نتایج تحقیق اخوان و همکاران در این زمینه همخوانی دارد [۵].

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۱، ملاحظه می‌شود که دقت روش نمونه‌برداری به‌کاررفته با قطعات نمونهٔ ۲۰ آری برای متغیر تاج‌پوشش جنگل مناسب (۱۵/۳ درصد) است، ولی برای متغیر تراکم جنگل کافی نیست (۲۴/۷ درصد). از طرفی، با توجه به جدول ۴، درصد میانگین خطای نسبی برای متغیر تراکم جنگل در حد مقبول (۱۲/۲ درصد) است. بنابراین، می‌توان با تغییر روش برآورد از کلاسیک به زمین‌آمار با همان ۸۰ نمونهٔ به‌کاررفته، دقت نمونه‌برداری را تا حد مقبول افزایش داد.

مقایسهٔ شکل‌های ۴ الف و ۵ الف با شکل ۱ نشان می‌دهد که نقشه‌های تولیدشده با تصویر

1. Regionalized variable

ماهواره‌ای منطقه از نظر مناطق پرتراکم و کم‌تراکم مطابقت دارند؛ به‌طوری که مناطق پرتراکم بیشتر در شمال و شمال غرب منطقهٔ مورد بررسی دیده می‌شوند.

یکی از مزایای کریجینگ علاوه بر کاهش واریانس برآورد (مقایسهٔ جدول‌های ۱ و ۳) این است که به همراه هر برآوردی، نقشهٔ خطای آن را نیز به‌صورت کمّی و دقیق ارائه می‌کند (شکل‌های ۴ ب و ۵ ب)؛ به‌طوری که با استفاده از این دو نقشه (کریجینگ و خطای آن) در هر نقطه از جنگل، هم میزان برآورد مشخص است و هم میزان خطای آن. با استفاده از نقشهٔ خطای برآورد کریجینگ می‌توان مناطقی را که در آن‌ها میزان خطا زیاد است، با اندازه‌گیری نمونه‌های اضافی پوشش داد تا میزان خطای برآورد در آن مناطق نیز کاهش بیابد. نتایج این بررسی نشان داد که امکان تولید نقشهٔ پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل به روش کریجینگ در مناطقی از جنگل‌های بلوط ناحیهٔ زاگرس با وضعیت مشابه عرصهٔ این تحقیق وجود دارد. این نقشه‌های زمین‌مرجع برای مدیران جنگل در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بسیار مفیدند؛ به‌طوری که مدیران جنگل می‌توانند از چنین نقشه‌هایی به‌عنوان یک نقشهٔ راهنما استفاده کنند که نحوهٔ توزیع مکانی موجودی جنگل را در سطح عرصهٔ تحت مدیریتشان نشان می‌دهند. مدیران جنگل به کمک این نقشه‌ها و با توجه به وضعیت موجودی جنگل می‌توانند برنامه‌ریزی و مکان‌یابی کنند.

نتایج این تحقیق، با نتایج پژوهشی در سوئد که نشان داد موجودی حجمی درختان پهن‌برگ ساختار مکانی ضعیفی دارد [۸] مغایر است. نتایج تحقیقی در فنلاند نیز نشان داد که استفاده از کریجینگ، صحت برآورد موجودی را در سطح توده‌های جنگلی بورآل افزایش نخواهد داد [۹]. همچنین، در جنگل‌های طبیعی و مدیریت‌شدهٔ خزری ایران نیز نمی‌توان از کریجینگ برای برآورد موجودی جنگل استفاده کرد [۱]. از سوی دیگر، نتایج تحقیق برخی محققان در راستای نتایج این تحقیق است که در آن‌ها از رویهٔ زمینی در جنگل‌های پیش‌رسته[1] امریکا به‌عنوان متغیر ناحیه‌ای نام برده شده [۷] یا از روش کریجینگ برای برآورد مقدار تولید چوب‌پنبهٔ درختان بلوط (*Quercus suber*) در اسپانیا استفاده شده است [۱۰]. همچنین، در بررسی‌ای که در یک جنگل‌کاری هجده‌سالهٔ افرا (*Acer velutinum*) در ناحیهٔ خزری ایران انجام شد، به این نتیجه رسیدند که از کریجینگ فقط می‌توان برای برآورد رویهٔ زمینی در این نوع جنگل‌کاری‌ها استفاده کرد، اما برآورد تراکم جنگل به این روش حداقل تا سنین میان‌سالی آن‌ها ممکن نیست [۴]. نتایج تحقیقی دیگر در ناحیهٔ زاگرس نیز نشان داد که از روش‌های کریجینگ و IDW می‌توان برای برآورد متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش در جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط منطقهٔ زاگرس استفاده کرد [۵]، اما در آن تحقیق ساختار مکانی متغیرهای مورد بررسی در حد متوسط (حدود ۵۷ درصد) بود و از مدل کروی برای برازش واریوگرام‌های تجربی استفاده شده بود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، بر اساس نتایج این دو تحقیق (این تحقیق و تحقیق [۵]) در جنگل‌های بلوط ناحیهٔ زاگرس می‌توان اذعان کرد که روش‌های آمار مکانی، مانند زمین‌آمار و شیوهٔ برآورد آن (کریجینگ)، کارایی لازم را برای برآورد و پهنه‌بندی متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل دارند. در نهایت، باید گفت که تولید و استفاده از چنین نقشه‌های زمین‌مرجعی امکان تجزیه و تحلیل‌های مکانی را به‌سرعت فراهم می‌آورد که در

1. Old growth

ترکیب با سامانه‌های اطلاعـات جغرافیـایی، کـاربر را قادر می‌کند تأثیر عوامل گوناگون بر موجودی جنگـل را بررسـی کنـد. بنـابراین، تهیـه و اسـتفاده از چنـین نقشه‌هایی در مدیریت جنگل‌های بلوط منطقهٔ زاگرس توصیه می‌شود.

References

[1] 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.

[2] Ghanbari, F. (2008). Prediction of spatial distribution of forest alometric characteristics using geostatistics and GIS in Dr. Bahramnia's forest. M.Sc. thesis, University of Gorgan, 155 pp.

[3] Mohammadi, J., Shataee, Sh., Habashi, H., and Yaghmaee, F. (2008). Com parison of rem ote sensing and geostatistics technique s in forest tree density estimation. Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 15 (1): 10-21.

[4] Akhavan, R., and Kleinn, C. (2009). On the potential of kriging for estim ation and m apping of forest plantation stock. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17 (2): 303-318.

[5] Akhavan, R., Karam i Khoramabadi, M., and Soosani, J. (2011). Application of Kriging and IDW methods in m apping of crown c over and density of coppice oak forests (case study: Kakareza region, Khorramabad). Iranian Journal of Forest, 3 (4): 305-316.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] Freeman, E.A., and Moisen, G.G. (2007). Eval uating kriging as a tool to im prove moderate resolution maps of forest biomass. Environmental Monitoring and Assessment, 128: 395- 410.

[12] Brus, D.J., Hengeveld, G.M., Walvoort, D.J.J., Goedhart, P.W., Heidema, A.H., Nabuurs, G.J., and Gunia, K. (2012). Statistical m apping of tree species over Europe. European Journal of Forest Research, 131: 145-157.

[13] Tröltzsch, K., van Brusselen, J., and Schuch, A. (2009). Spatial occurrence of m ajor tree species groups in Europe derived from multiple data sources. Forest Ecology and Management, 257: 294-302.

[14] Anonymous (2006). Forest multipurpose management plan of Dadabad region, 141 pp.

[15] Zobeiri, M. (1994). Forest Inventory. University of Tehran Press, Tehran.

[16] Cressie, N.A.C. (1993). Statistics for spatial data. John Willy and Sons, Inc., New York.

[17] Webster, R., and Oliver, M.A. (2000). Geosta tistics for environmental scientists. John Willy and Sons, Inc., New York.

[18] Hassani Pak, A.A. (1998). Geostatistics. University of Tehran Press, Tehran.

[19] 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.