

## کاربرد دو روش کریجینگ و IDW در پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط (مطالعه موردی: منطقه کاکارضای خرم‌آباد لرستان)

رضا اخوان<sup>۱\*</sup>، مونا کرمی خرم‌آبادی<sup>۲</sup> و جواد سوسنی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

<sup>۳</sup>استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

(تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۲، تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۶)

### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی ساختار مکانی متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط کاکارضای خرم‌آباد و امکان استفاده از دو روش درون‌یابی کریجینگ و IDW برای برآورد و نقشه‌سازی آنها در عرصه‌ای به مساحت ۵۴ هکتار انجام گرفت. نمونه‌برداری با استفاده از شبکه‌ای منظم به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر و با اندازه‌گیری قطعات نمونه دایره‌ای شکل ۱۵ آری انجام گرفت. در مجموع ۵۴ قطعه نمونه در این عرصه اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های زمین مرجع برداشت‌شده، واریوگرام‌های تجربی همسانگرد برای متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل محاسبه شد. نتایج واریوگرافی نشان داد که متغیرهای مورد بررسی از ساختار مکانی متوسطی برخوردارند. ابتدا مدلی کروی بر واریوگرام‌ها برازش شد. سپس برآوردها به روش کریجینگ معمولی با بلوک‌های ۳۸×۳۸ متر و نیز به روش IDW انجام گرفت. نتایج ارزیابی روش‌ها نشان داد که برآوردها ناریب هستند، در نتیجه می‌توان نقشه توزیع مکانی متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش را با دقتی مناسب تولید کرد. براساس نتایج تحقیق حاضر می‌توان استفاده از دو روش کریجینگ و IDW را برای کمک به برنامه‌ریزی در دیگر جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط در منطقه زاگرس که وضعیتی مشابه با عرصه این تحقیق دارند، توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: تراکم، تاج‌پوشش، کریجینگ، IDW، جنگل بلوط شاخه‌زاد.

## مقدمه و هدف

کریجینگ در برآورد این مشخصه‌ها استفاده نکرده است. بنابراین این بررسی از جنبه به‌کارگیری روش‌های برآورد مکانی در جنگل‌های غرب کشور کاملاً جدید است. از تحقیقات خارجی انجام گرفته در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های (Samra et al. (1989); Biondi et al. (1994); Gunnarsson et al. (1998); Tuominen et al. (2003); Montes et al. (2005); Freeman & Moisen (2007) و Pierce Jr et al. (2009) اشاره کرد که به برآورد و تولید نقشه‌های زمین‌مرجع پراکنش مشخصه‌های جنگل مانند تراکم، رویه زمینی و موجودی حجمی جنگل براساس آماربرداری‌های زمینی پرداخته‌اند که در پاره‌ای از موارد موفقیت‌آمیز و در مواردی نیز موفق نبوده‌اند. هدف از این پژوهش، بررسی امکان استفاده از روش‌های آمار مکانی در پهنه‌بندی و تولید نقشه‌ای دقیق از وضعیت پراکنش این متغیرها در این گونه از عرصه‌های جنگلی است.

## مواد و روش‌ها

- منطقه مورد بررسی

برای این پژوهش، یک قطعه ۵۴ هکتاری (۶۰۰×۹۰۰ متر) از جنگل‌های سامان عرفی کاکارضا واقع در شمال‌شرق شهرستان خرم‌آباد استان لرستان انتخاب شد. گونه غالب در این جنگل بلوط ایرانی<sup>۳</sup> است که بیشتر شامل درختان شاخه‌زاد و با تاج‌پوشش تنک است (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی مرکز قطعه انتخاب‌شده ۲۱°۱۳' ۴۸° طول شرقی و ۳۹°۳۹' عرض شمالی است. دامنه ارتفاعی آن بین ۱۷۲۰ تا ۱۸۶۰ متر از سطح دریا و شیب آن بین ۴ تا ۳۷ درصد متغیر بوده و جهت غالب آن نیز جنوب- جنوب‌غربی است. مقدار متوسط بارندگی سالانه آن ۴۸۲ میلی‌متر بوده و اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه، نیمه‌خشک است (بی‌نام، ۱۳۸۵).

جنگل‌های بلوط منطقه زاگرس بخشی از عرصه‌های جنگلی کشورند که از نظر تولید چوب صنعتی مد نظر نیستند، اما از نظر حفظ آب و جلوگیری از فرسایش خاک بسیار حائز اهمیت‌اند. از این‌رو هنگامی که هدف برآورد مشخصه‌ای از این جنگل‌ها باشد، بیشتر بر تراکم (تعداد در هکتار) و تاج‌پوشش آنها تکیه می‌شود، زیرا از یک سو درختان این ناحیه به‌دلیل دخالت‌های انسانی و برداشت‌های بی‌رویه از سوی جنگل‌نشینان زاگرس اغلب دارای قطر برابر سینه مشخص و قابل اندازه‌گیری نیستند و به‌صورت شاخه‌زاد و جست‌گروه ظاهر می‌شوند، از سوی دیگر عاملی که در ایفای نقش حفاظتی این جنگل‌ها مؤثر است، سطح تاج آنهاست. بنابراین برآورد رویه زمینی و موجودی حجمی آنها به‌ندرت در اهداف آماربرداری از این جنگل‌ها قرار می‌گیرد. از این‌رو 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 جمله روش‌های دقیق پهنه‌بندی و تولید نقشه، می‌توان به روش‌های زمین‌آماری مانند کریجینگ و آمار مکانی مانند IDW<sup>۱</sup> (وزن‌دهی بر اساس عکس فاصله) اشاره کرد که علاوه بر استفاده از مقدار مشخصه نمونه‌برداری‌شده مورد نظر، از محل و موقعیت نمونه‌ها نیز در درون‌یابی‌ها<sup>۲</sup> و برآورد استفاده می‌کنند.

سوابق تحقیق داخلی موجود در زمینه کاربرد روش‌های برآورد مکانی، همگی به جنگل‌های شمال کشور بر می‌گردد که از آن جمله می‌توان به تحقیقات اخوان و همکاران (۱۳۸۵)، قنبری (۱۳۸۷)، محمدی و همکاران (۱۳۸۷) و اخوان و کلاین (۱۳۸۸) در زمینه کاربرد زمین‌آمار در جنگل اشاره کرد. معدنی‌پور کرمانشاهی (۱۳۸۹) نیز از روش‌های زمین‌آمار و IDW در برآورد پوشش علفی کف جنگل استفاده کرد. تنها بررسی انجام گرفته در جنگل‌های غرب کشور مربوط به حسین‌زاده (۱۳۸۱) است که فقط به واریوگرافی مشخصه‌های رویه زمینی، حجم سرپا و تاج‌پوشش جنگل‌ها در منطقه ایلام پرداخته، اما از درون‌یابی

1- Inverse Distance Weighting (IDW)

2- Interpolation

3- *Quercus brantii* Lindl



شکل ۱- نمایی از عرصه مورد بررسی

نمونه دایره‌ای شکل ۱۵ آری برای این پژوهش در نظر گرفته شدند.

کلیه درختان و درختچه‌های بلندتر از ۱/۵ متر موجود در قطعات نمونه شمارش شده و دو قطر بزرگ و کوچک تاج (دو قطر عمود بر هم تا دقت دسی متر) آنها اندازه‌گیری شد و به‌همراه مختصات مراکز قطعات نمونه در فرم‌های مخصوص نمونه‌برداری ثبت شد.

- روش تحقیق

- نمونه‌برداری

با توجه به وسعت ۵۴ هکتاری منطقه مورد بررسی و نیاز به تعداد مناسبی از قطعات نمونه به‌منظور تجزیه و تحلیل‌های مکانی (حداقل ۵۰ نمونه)، شبکه‌ای به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر (شکل ۲) برای نمونه‌برداری انتخاب شد. همچنین با توجه به مناسب بودن سطح ۱۰ تا ۱۵ آری برای نمونه‌برداری در جنگل‌های شاخه‌زاد غرب کشور (زبیری، ۱۳۷۳)، قطعات



۳۰۰ متر

شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای Quick bird منطقه به‌همراه شبکه آماربرداری مورد استفاده در تحقیق

هنگام مدلسازی واریوگرام، باید مدلی را انتخاب کرد که کمترین مقدار مجموع باقی‌مانده‌ها<sup>۶</sup> را داشته باشد. نرم‌افزارهای امروزی این امکان را به کاربر می‌دهند. مدل کروی به صورت رابطه<sup>۲</sup> تعریف می‌شود (Webster & Oliver, 2000):

$$\gamma(h) = c_0 + c \left\{ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right\} \quad 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = c_0 + c \quad h > a \quad ۲$$

$c_0$ ،  $c$  و  $a$  به ترتیب اثر قطعه‌ای، واریانس ساختاردار و دامنه تأثیر را نشان می‌دهند.

در پژوهش حاضر، 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 مشخصه نیکویی برازش<sup>۷</sup> برای برازش تمامی واریوگرام‌های محاسبه‌شده، مدل کروی انتخاب و در همه آنها مقدار اثر قطعه‌ای در نظر گرفته شد.

کریجینگ، روش درون‌یابی و برآورد زمین‌آماری است که قادر است براساس مدل برازش‌شده بر واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده در جامعه، نقاط نمونه‌برداری‌نشده را بدون اریب و با حداقل واریانس برآورد کند. عمومی‌ترین روش آن که در علوم محیط زیستی نیز کاربرد فراوانی دارد، کریجینگ معمولی<sup>۸</sup> است. تابع کریجینگ به صورت رابطه<sup>۳</sup> تعریف می‌شود (Webster & Oliver, 2000):

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

$\lambda_i$  وزن مرتبط با ارزش متغیر ناحیه‌ای  $x$  در نقطه<sup>۹</sup>  $i$  است؛ در شرایطی که  $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$  است.

روش کریجینگ معمولی اغلب سبب هموارسازی<sup>۹</sup> نقشه‌ها می‌شود، یعنی مقادیر بسیار بزرگ، کوچک‌تر و مقادیر بسیار کوچک، بزرگ‌تر برآورد می‌شوند. بنابراین استفاده از این روش در مواردی که حفظ حداقل و حداکثر داده‌های اولیه در نقشه‌های تولیدشده اهمیت زیادی داشته باشد، توصیه نمی‌شود.

- واریوگرام و کریجینگ

از واریوگرام به منظور تعیین و تشریح ساختار مکانی داده‌ها استفاده شد. واریوگرافی اولین قدم برای مدلسازی ساختار مکانی به منظور استفاده در کریجینگ است. واریوگرام از طریق رابطه<sup>۱</sup> محاسبه می‌شود (Webster & Oliver, 2000):

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

$\hat{\gamma}(h)$  مقدار واریوگرام برای تعداد  $N$  جفت نمونه است که با فاصله<sup>۱</sup>  $h$  (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 فاصله<sup>۱</sup> بین مقادیر یک متغیر ناحیه‌ای در دو نقطه وابسته است. اگر این مقدار به جهت نیز وابسته باشد، واریوگرام ناهمسانگرد<sup>۱</sup> و در غیر این صورت همسانگرد<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. در واریوگرافی برای تشریح و مدلسازی رفتار واریوگرام از سه مؤلفه استفاده می‌شود: دامنه تأثیر<sup>۳</sup>، حد آستانه یا سقف<sup>۴</sup> و اثر قطعه‌ای<sup>۵</sup>. دامنه تأثیر حداکثر فاصله‌ای است که پس از آن ساختار مکانی دیگر وجود ندارد و واریوگرام به مقدار ثابتی می‌رسد. اغلب در عمل، عرض واریوگرام از مبدأ به گونه‌ای است که اثر قطعه‌ای نامیده می‌شود که بیانگر واریانس تصادفی و بدون ساختار است. اثر قطعه‌ای به علت وجود تغییرات در فواصل کمتر از حداقل فاصله<sup>۱</sup> نمونه‌برداری یا به دلیل 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، نشان‌دهنده ساختار قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد بیانگر ساختار متوسط و کمتر از ۲۵ درصد نشان‌دهنده ساختار ضعیف متغیر مورد بررسی است (Cambardella et al., 1994). اولین قدم در درون‌یابی به روش کریجینگ برازش مدلی بر واریوگرام تجربی است. از بین مدل‌های موجود (خطی، کروی، نمایی و گوسی)، متداول‌ترین مدل که بیشترین کاربرد را در مطالعات محیط زیستی دارد، مدل کروی است. البته

- 1- Anisotropic
- 2- Isotropic
- 3- Range
- 4- Sill
- 5- Nugget Effect

- 6- Residuals
- 7- Goodness of Fit
- 8- Ordinary Kriging
- 9- Smoothing

به نقطه برآورد قرار گرفته است. درحالی‌که این مشکل در روش کریجینگ به علت خاصیت خوشه‌زدایی<sup>۴</sup> آن اتفاق نمی‌افتد. از آنجا که در این حالت کریجینگ وزن را براساس عکس تعداد نمونه‌ها ( $1/n$ ) محاسبه می‌کند، در نقشه‌های برآوردشده به این روش برخلاف روش کریجینگ، حداقل و حداکثر متغیر برآوردشده در محل نمونه‌های اولیه قابل مشاهده است.

رابطه کلی درون‌یابی دوبعدی به روش IDW به صورت رابطه ۴ است (Webster & Oliver, 2000):

$$W(x, y) = \sum_{i=1}^N \lambda_i w_i \quad 4$$

$$\lambda_i = \frac{\left(\frac{1}{d_i}\right)^p}{\sum_{k=1}^N \left(\frac{1}{d_k}\right)^p}$$

که  $W(x, y)$  مقادیر برآوردشده در موقعیت  $(x, y)$ ،  $N$  تعداد نقاط معلوم مجاور  $(x, y)$ ،  $\lambda_i$  وزن اختصاص داده شده به هر یک از مقادیر معلوم  $w_i$  در موقعیت  $(x_i, y_i)$ ،  $d_i$  فاصله اقلیدسی بین هر یک از نقاط واقع در موقعیت‌های  $(x, y)$  و  $(x_i, y_i)$  و  $p$  مقدار توان است که متأثر از وزن  $w_i$  بر  $w$  است.

- روش ارزیابی

در این بررسی دو روش کریجینگ و IDW با استفاده از دو آماره میانگین خطا<sup>۵</sup> و جذر میانگین مربعات خطا<sup>۶</sup> ارزیابی شدند. در حالتی که برآوردها صحیح و بدون اشتباه باشند، مقدار این دو آماره باید برابر صفر شود که به صورت رابطه‌های ۵ و ۶ محاسبه می‌شوند (Webster & Oliver, 2000). روابط ۷ و ۸ نیز مقادیر نسبی میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا را نشان می‌دهند.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z(x_i) - \hat{z}(x_i)] \quad 5$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [z(x_i) - \hat{z}(x_i)]^2} \quad 6$$

کریجینگ را هم می‌توان به صورت نقطه‌ای و هم بلوکی انجام داد. ویژگی دیگر کریجینگ علاوه بر دقت زیاد در برآورد این است که به همراه هر برآوردی (نقشه کریجینگ)، مقدار خطای آن (نقشه انحراف معیار کریجینگ) را نیز محاسبه می‌کند.

در این بررسی از کریجینگ معمولی به شکل بلوکی استفاده شد. ابعاد بلوک به کاررفته  $38 \times 38$  متر است که با مساحت قطعه نمونه (۱۵۰۰ مترمربع) هماهنگی دارد.

- روش IDW

روش IDW، از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن برآورد براساس مقادیر نقاط نزدیک به نقطه برآورد که بنابر عکس فاصله وزن‌دهی می‌شوند، انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، به نقاط نزدیک به نقطه برآورد وزن بیشتری داده می‌شود تا به نقاط دورتر. این روش برخلاف روش کریجینگ از فرضیات مربوط به ارتباط مکانی بین داده‌ها پیروی نمی‌کند (واریوگرام ندارد) و تنها بر این فرض متکی است که نقاط نزدیک‌تر به نقطه برآورد، شباهت بیشتری به آن دارند تا نقاط دورتر.

در این روش اغلب توانی<sup>۱</sup> برای عکس فاصله در نظر گرفته می‌شود که به طور معمول بین ۱ تا ۵ است، ولی اغلب از توان ۲ استفاده می‌شود، یعنی عکس مجذور فاصله. مشخصه جالب این روش این است که وزن به کاررفته با افزایش فاصله به سرعت کاهش می‌یابد، در نتیجه درون‌یابی در این روش کاملاً محلی<sup>۲</sup> است و چون وزن‌های به کاررفته هیچ‌گاه صفر نمی‌شوند، بنابراین هیچ‌گونه انقطاع و عدم پیوستگی<sup>۳</sup> در برآوردها رخ نمی‌دهد. اما نقص این روش این است که برخلاف روش کریجینگ، نقشه خطای برآورد تولید نمی‌کند. از عیوب دیگر این روش این است که شکل قرارگیری نمونه‌ها را در نظر نمی‌گیرد، در نتیجه وزنی که به دو یا چند نمونه که به صورت خوشه در کنار هم و با جهت و فاصله تقریباً برابر از نقطه برآورد قرار گرفته‌اند، داده می‌شود، برابر با وزنی خواهد بود که به یک نمونه تنها داده می‌شود که با همان فاصله ولی در جهتی دیگر نسبت

4- Declustering

5- Mean Error; ME

6- Root Mean Square Error; RMSE

1- Power

2- Local

3- Discontinuity

در این بررسی برای تجزیه و تحلیل‌های مکانی از نرم‌افزار Gamma Design Software, LLC, Plain ) نسخه ۹ (well, MI استفاده شد.

$$MEr = \frac{ME}{\bar{z}(x_i)} \times 100 \quad 7$$

$$RMSEr = \frac{RMSE}{\bar{z}(x_i)} \times 100 \quad 8$$

### نتایج

- نمونه‌برداری

در مجموع ۵۴ قطعه نمونه ۱۵ آری در عرصه مورد بررسی برداشت شد که اطلاعات کمی مربوط به دو متغیر تراکم و تاج‌پوشش جنگل در جدول ۱ آورده شده است.

$\hat{z}(x_i)$  برآورد مقدار متغیر ناحیه‌ای  $x$  در نقطه  $i$ ،  $N$  تعداد نمونه‌ها و  $\bar{z}(x_i)$  میانگین نمونه‌های اندازه‌گیری شده متغیر مورد بررسی است. به منظور ارزیابی بهتر نتایج برآوردها، نمودار ارزیابی متقابل متغیرهای مورد بررسی در بخش نتایج برای هر دو روش به کاررفته، ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج کمی برآورد تراکم و تاج‌پوشش جنگل به روش نمونه‌برداری

| متغیر                           | میانگین | حداقل | حداکثر | انحراف معیار | ضریب تغییرات | چولگی | کشیدگی | دقت نمونه‌برداری* (E%) |
|---------------------------------|---------|-------|--------|--------------|--------------|-------|--------|------------------------|
| تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)     | ۲۶۵۱/۵  | ۶۰۵/۰ | ۵۳۷۴/۰ | ۱۱۱۴/۴       | ٪۴۲          | ۰/۷   | ۰/۲    | ٪۱۱/۴                  |
| تراکم (تعداد جست گروه در هکتار) | ۲۹۷/۵   | ۲۶    | ۷۶۶    | ۱۸۴/۸        | ٪۶۲          | ۰/۹   | ۰/۲    | ٪۱۶/۹                  |

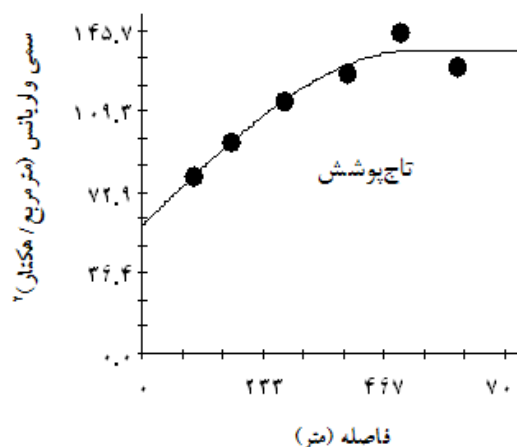
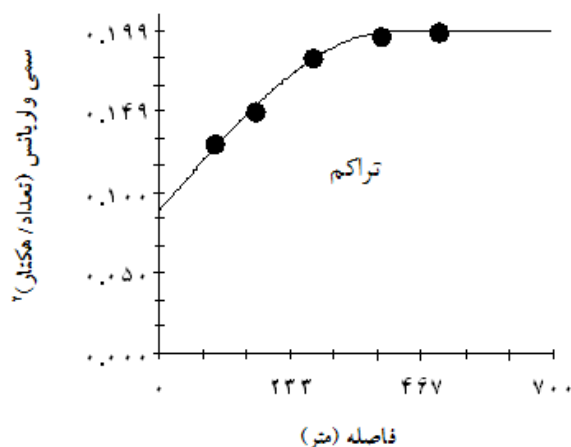
$$* E\% = \frac{S_x \times t}{\bar{x}} \times 100$$

ت: مقدار جدول تی استیودنت

بررسی داده‌های تراکم و تاج‌پوشش جنگل نشان داد که از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند، بنابراین داده‌های این دو متغیر به ترتیب با استفاده از روش‌های لگاریتم و ریشه دوم، نرمال شده و سپس در تجزیه و تحلیل‌ها به کار گرفته شدند.

- واریوگرافی و کریجینگ

در محاسبه واریوگرام‌های متغیرهای مورد بررسی، هیچ‌گونه علائمی از ناهمسانگردی (هندسی یا منطقه‌ای) مشاهده نشد. در نتیجه کلیه واریوگرام‌ها به صورت چندجهته در نظر گرفته شده و با استفاده از مدل کروی برازش شدند (شکل ۳).



شکل ۳- واریوگرام‌های تجربی و مدل‌های برازش شده به آنها برای متغیرهای مورد بررسی (حداقل تعداد جفت نمونه‌ها در هر گام ۹۳ است)

در جدول ۲ مشخصات واریوگرام‌ها و مدل‌های برازش‌شده به آنها و در جدول ۳ نتایج درون‌یابی‌های کریجینگ آورده شده است. شکل‌های ۴ و ۵ نقشه‌های پهنه‌بندی تاج‌پوشش و تراکم می‌دهند (نقشه‌های خطای کریجینگ ارائه نشده‌اند). جنگل را که به‌روش کریجینگ تولید شده‌اند، نشان می‌دهند.

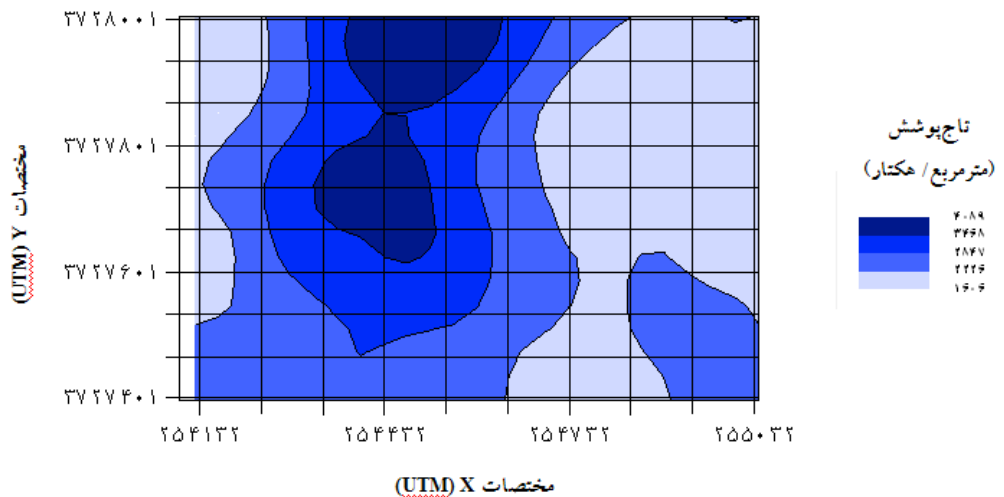
جدول ۲- مشخصات واریوگرام‌ها و مدل‌های کروی برازش‌شده به آنها

| متغیر                           | طول گام (متر) | اثر قطعه‌ای حد آستانه | دامنه تأثیر (متر) | ساختار مکانی* |
|---------------------------------|---------------|-----------------------|-------------------|---------------|
| تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)     | ۱۱۰           | ۵۷/۷                  | ۱۳۶/۶             | ۵۲۱           |
| تراکم (تعداد جست‌گروه در هکتار) | ۱۱۰           | ۰/۰۸                  | ۰/۱۹              | ۴۱۳           |

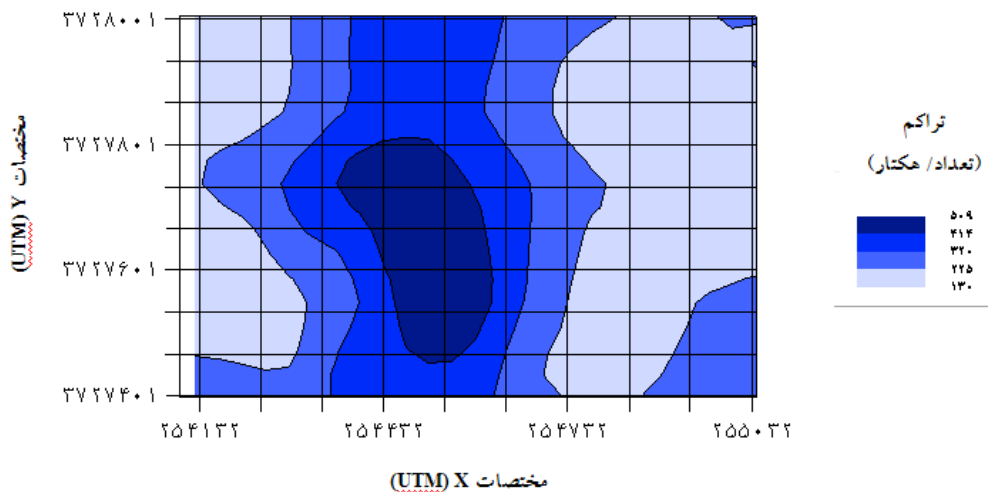
\* ۱۰۰ × (حد آستانه/ اثر قطعه‌ای - حد آستانه) = درصد ساختار مکانی

جدول ۳- نتایج کمی درون‌یابی به‌روش کریجینگ

| متغیر                           | میانگین | حداقل | حداکثر | انحراف معیار | ضریب تغییرات |
|---------------------------------|---------|-------|--------|--------------|--------------|
| تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)     | ۲۵۴۷/۰  | ۱۶۰۶  | ۴۰۸۹   | ۲۴/۲         | ۰/۰۹         |
| تراکم (تعداد جست‌گروه در هکتار) | ۲۷۶     | ۱۳۰   | ۵۰۹    | ۹/۵          | ۰/۳/۴        |



شکل ۴ - نقشه پهنه‌بندی تاج‌پوشش به‌روش کریجینگ



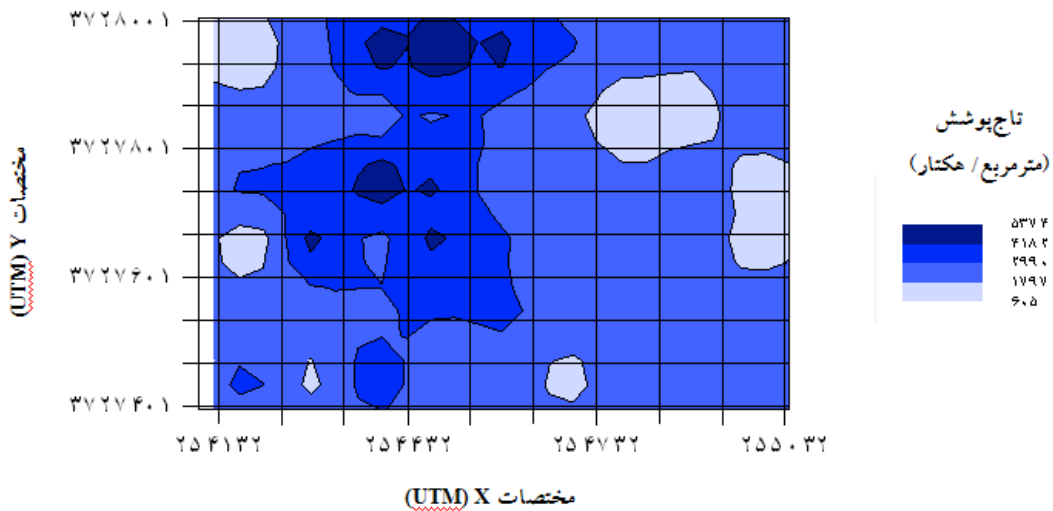
شکل ۵ - نقشه پهنه‌بندی تراکم جنگل به‌روش کریجینگ

شکل‌های ۶ و ۷ نقشه‌های پهنه‌بندی تاج‌پوشش و تراکم جنگل تولیدشده به روش IDW را نشان می‌دهند.

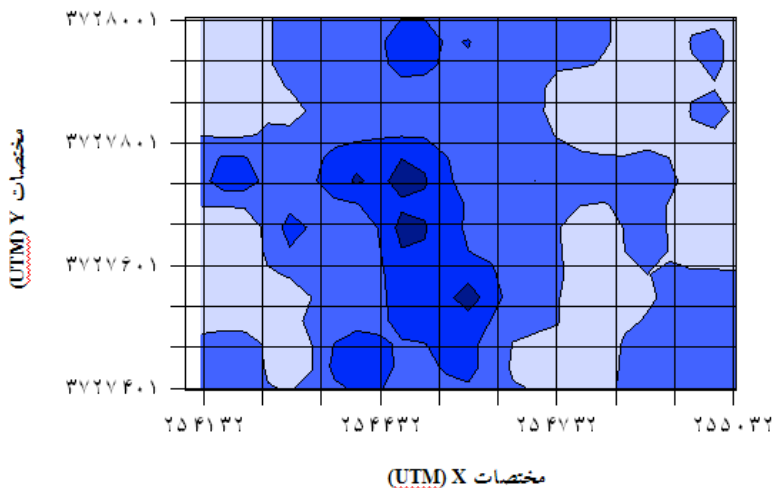
روش IDW - در این بررسی روش IDW با توان ۲ یعنی عکس مجذور فاصله به کار رفت که نتایج برآورد به این روش در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- نتایج کمی درون‌یابی به روش IDW

| متغیر                           | میانگین | حداقل | حداکثر | انحراف معیار | ضریب تغییرات |
|---------------------------------|---------|-------|--------|--------------|--------------|
| تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)     | ۲۵۷۹/۰  | ۶۰۵/۰ | ۵۳۷۴/۰ | ۲۷/۲         | ٪۱/۰         |
| تراکم (تعداد جست‌گروه در هکتار) | ۲۷۴/۷   | ۲۶    | ۷۶۶    | ۱۰/۶         | ٪۳/۸         |



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی تاج‌پوشش به روش IDW



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی تراکم جنگل به روش IDW

ارزیابی - به‌منظور مقایسه دو روش کریجینگ و IDW، مقادیر مطلق و نسبی میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا برای هر دو روش محاسبه شدند که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است.

با مقایسه شکل‌های ۶ و ۷ با جدول ۱ ملاحظه می‌شود که در آنها برخلاف شکل‌های ۴ و ۵ حاصل از روش کریجینگ، مقادیر حداقل و حداکثر داده‌های اولیه وجود دارند.



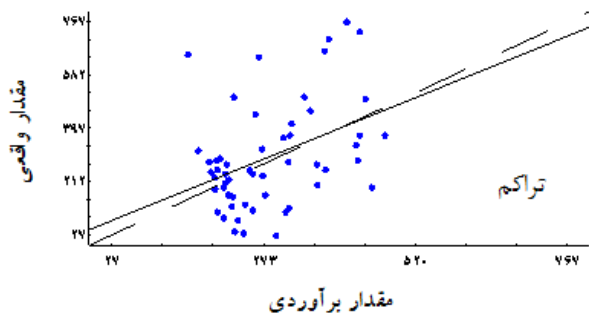
جدول ۵- نتایج ارزیابی صحت درون‌یابی‌ها برای متغیرهای مورد بررسی

| روش     | متغیر                           | ME   | RMSE  | MEr  | RMSEr |
|---------|---------------------------------|------|-------|------|-------|
| کریجینگ | تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)     | ۸۰/۲ | ۹۸۳/۲ | ٪۳/۰ | ٪۳۷/۰ |
|         | تراکم (تعداد جست‌گروه در هکتار) | ۱۶/۰ | ۱۶۸/۹ | ٪۵/۴ | ٪۵۶/۷ |
| IDW     | تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)     | ۴۶/۰ | ۹۸۵/۹ | ٪۱/۷ | ٪۳۷/۲ |
|         | تراکم (تعداد جست‌گروه در هکتار) | ۲۲/۲ | ۱۶۸/۰ | ٪۷/۴ | ٪۵۶/۴ |

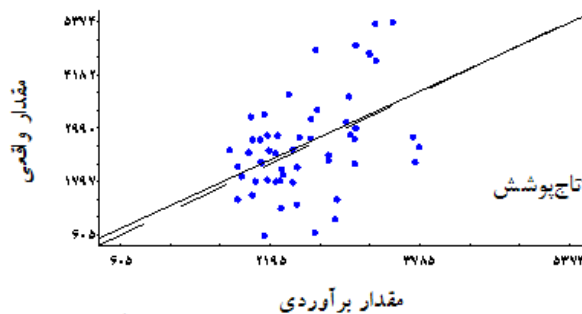
ME= میانگین خطا؛ RMSE= جذر میانگین مربعات خطا؛ MEr= میانگین خطای نسبی؛ RMSEr= جذر میانگین مربعات خطای نسبی

شده‌اند. شایان ذکر است که هرچه انطباق خط ممتد بر خط‌چین (با زاویه ۴۵ درجه) بیشتر باشد، برآوردها ناریب‌تر و صحت آنها بیشتر است.

شکل‌های ۸ و ۹ نمودارهای ارزیابی متقابل را برای متغیرهای مورد بررسی به روش‌های کریجینگ و IDW نشان می‌دهند. در این شکل‌ها مقادیر واقعی (محور عمودی) در برابر مقادیر برآوردشده (محور افقی) تقابل داده

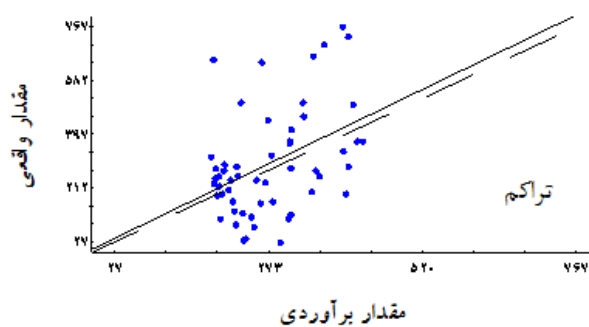


ضریب رگرسیون=۰.۸۶

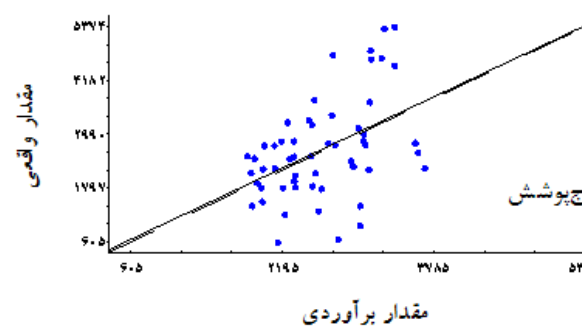


ضریب رگرسیون=۰.۹۶

شکل ۸- نمودار ارزیابی متقابل برای متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل به روش کریجینگ



ضریب رگرسیون=۱.۰۳



ضریب رگرسیون=۰.۹۹

شکل ۹- نمودار ارزیابی متقابل برای متغیرهای تراکم و تاج‌پوشش جنگل به روش IDW

به فاصله وابسته است، به عبارت دیگر، متغیر ناحیه‌ای<sup>۱</sup> هستند (شکل ۳). بنابراین امکان تهیه نقشه پهنه‌بندی از آنها به روش‌های آمار مکانی وجود دارد (شکل‌های ۴ تا ۷). جدول ۵ نشان می‌دهد که هر چند میانگین خطای نسبی<sup>۲</sup>

بحث

در این پژوهش، کاربرد دو روش کریجینگ و IDW در پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های بلوط شاخه‌زاد منطقه کاکارضای خرم‌آباد لرستان بررسی شد. نتایج واریوگرافی نشان داد که دو متغیر مورد بررسی از ساختار مکانی متوسطی برخوردارند (جدول ۲) و تغییراتشان به نوعی

1- Regionalized Variable

2- MEr

مقایسه شکل‌های ۴ و ۶ با شکل ۲ نشان می‌دهد که نقشه‌های تولیدشده با تصویر ماهواره‌ای منطقه از نظر مناطق پرتراکم و کم‌تراکم مطابقت دارند، به طوری که مناطق پرتراکم بیشتر در شمال و غرب منطقه مورد بررسی دیده می‌شوند.

نتایج این بررسی نشان داد که امکان تهیه نقشه پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش در بخش‌هایی از جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط منطقه زاگرس با وضعیت مشابه عرصه این تحقیق وجود دارد. چنین نقشه‌های زمین‌مرجعی برای مدیران جنگل در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بسیار مفید است، به طوری که مدیران جنگل می‌توانند از چنین نقشه‌هایی که نحوه توزیع مکانی موجودی جنگل را در سطح عرصه تحت مدیریتشان نشان می‌دهند، به عنوان نقشه راهنما استفاده کنند تا براساس آن برنامه‌ریزی‌های لازم را با توجه به وضعیت موجودی جنگل انجام دهند و مکان‌یابی کنند.

نتایج پژوهش حاضر، با نتایج بررسی *Gunnarson et al. (1998)* در سوئد که نشان دادند موجودی حجمی درختان پهن‌برگ ساختار مکانی ضعیفی دارد، مغایر است. *Tuominen et al. (2003)* نیز در تحقیقی نشان دادند که استفاده از کریجینگ، صحت برآورد موجودی را در سطح توده‌های جنگلی بورآل فنلاند افزایش نخواهد داد. اخوان و همکاران (۱۳۸۵) نیز به این نتیجه رسیدند که در جنگل‌های طبیعی و مدیریت‌شده خزری ایران، استفاده از کریجینگ به‌منظور برآورد موجودی جنگل نمی‌تواند مطرح باشد. از سوی دیگر نتایج تحقیقات برخی محققان در راستای نتایج تحقیق حاضر است که از آن جمله می‌توان به بررسی *Biondi et al. (1994)* که از رویه زمینی در جنگل‌های پیش‌رسته<sup>۱</sup> آمریکا به‌عنوان متغیر ناحیه‌ای نام بردند و *Montes et al. (2005)* که از روش کریجینگ به‌منظور برآورد مقدار تولید چوب‌پنبه درختان بلوط در اسپانیا استفاده کردند، اشاره کرد. اخوان و کلاین (۱۳۸۸) نیز در بررسی خود در یک جنگلکاری هجده ساله افرا به این نتیجه رسیدند که از کریجینگ تنها می‌توان به‌منظور برآورد رویه زمینی در این نوع جنگلکاری‌ها استفاده کرد، اما برآورد تراکم جنگل به این روش حداقل تا سنین میانسالی آنها امکان‌پذیر نیست. نتایج تحقیق معدنی‌پور کرمانشاهی (۱۳۸۹) نیز نشان داد که می‌توان از روش کریجینگ

هر دو متغیر در حد قابل قبول و کمتر از ۱۰ درصد است، اما برای برآورد تاج‌پوشش جنگل، دقت روش IDW بهتر از روش کریجینگ است و به‌عکس برای برآورد تراکم جنگل دقت روش کریجینگ بیشتر است، ولی در مجموع دقت برآورد متغیر تاج‌پوشش در هر دو روش بیشتر از متغیر تراکم جنگل بوده است (جدول ۵).

در مقایسه دو روش کریجینگ و IDW، می‌توان گفت که اصولاً روش کریجینگ با توجه به مزایای متعددی که دارد، مانند تولید نقشه خطای برآورد، خوشه‌زدایی و کاهش واریانس برآورد، نسبت به روش IDW ارجح است. اما در این تحقیق با توجه به اینکه ساختار مکانی متغیرهای مورد بررسی در حد متوسط (حدود ۵۷ درصد) بود، سبب شد که کارایی و دقت برآورد کریجینگ در حد روش IDW قرار گیرد. البته روش IDW هم در جای خود روش مناسبی است، به‌ویژه زمانی که وجود حداقل و حداکثر داده‌های اولیه در نقشه‌های تولیدشده حائز اهمیت است (مانند نقشه‌های توپوگرافی)، استفاده از این روش توصیه می‌شود، زیرا در چنین مواردی روش کریجینگ به‌سبب داشتن خاصیت هموارسازی، دامنه تغییرات بین حداقل و حداکثر داده‌ها را کاهش می‌دهد، بنابراین این روش را در همه موارد نمی‌توان توصیه کرد. اما با توجه به نبود چنین محدودیتی در بررسی حاضر، می‌توان به‌کارگیری هر دو روش یادشده را به‌منظور برآورد موجودی جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط منطقه زاگرس، با دقتی مناسب و پذیرفتنی توصیه کرد.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱، ملاحظه می‌شود که دقت روش نمونه‌برداری به‌کاررفته با قطعات نمونه ۱۵ آری برای متغیر تاج‌پوشش جنگل مناسب (۱۱/۴ درصد)، ولی برای متغیر تراکم جنگل کافی نیست (۱۶/۹ درصد). از طرفی با توجه به جدول ۵، درصد میانگین خطای نسبی برای متغیر تراکم جنگل در روش‌های کریجینگ و IDW در حد قابل قبول است. بنابراین می‌توان با تغییر روش برآورد از کلاسیک به مکانی با همان تعداد ۵۴ نمونه به‌کاررفته دقت نمونه‌برداری را تا حد قابل قبول افزایش داد.

محمدی، جهانگیر، شعبان شتایی جویباری، هاشم حبشی و فرهاد یغمایی، ۱۳۸۷. مقایسه سنجش از دور و زمین‌آمار در برآورد تعداد درختان در هکتار در جنگل‌های بلوط لوه گرگان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ویژه‌نامه منابع طبیعی، ۱۵ (۱): ۲۱-۱۰.

معدنی پور کرمانشاهی، مرتضی، ۱۳۸۹. تعیین ساختار مکانی عناصر رویشی و پارامترهای ادافیک اکوسیستم جنگل با استفاده از آمار چندمتغیره و زمین‌آمار. رساله دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران. ۱۲۸ ص.

Biondi, F., D.E. Myers & C.C. Avery, 1994. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 24: 1354-1368.

Cambardella, C.A., T.B. Moorman, T.B. Parkin, D.L. Karlen, R.F. Turco & A.E. Konopka, 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soil. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1501-1511.

Freeman, E.A. & G.G. Moisen, 2007. Evaluating kriging as a tool to improve moderate resolution maps of forest biomass. *Environmental Monitoring and Assessment*, 128: 395-410.

Gunnarsson, F., S. Holm, P. Holmgren & T. Thuresson, 1998. On the potential of kriging for forest management planning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13: 237-245.

Montes, F., M.J. Hernandez & I. Canellas, 2005. A geostatistical approach to cork production sampling in *Quercus suber* forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: 2787-2796.

Pierce Jr., K.B., J.L. Ohmann, M.C. Wimberly, M.J. Gregory & J.S. Fried, 2009. Mapping wildland fuels and forest structure for land management: a comparison of nearest neighbor imputation and other methods. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(10): 1901-1916.

Samra, J.S., H.S. Gill & V.K. Bhatia, 1989. Spatial stochastic modeling of growth and forest resource evaluation. *Forest Science*, 35: 663-676.

Tuominen, S., S. Fish & S. Poso, 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. & M.A. Oliver, 2000. *Geostatistics for environmental scientists*, Wiley press, 271 pp.

IDW در برآورد برخی از متغیرهای مرتبط با پوشش کف جنگل استفاده کرد.

در نهایت باید بیان کرد که تولید و استفاده از چنین نقشه‌های زمین‌مرجعی امکان تجزیه و تحلیل‌های مکانی را به سرعت فراهم می‌آورد، چرا که می‌تواند در ترکیب با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، کاربر را قادر سازد تا تأثیر عوامل مختلف بر موجودی جنگل را بررسی کند. بنابراین تهیه و استفاده از چنین نقشه‌هایی در مدیریت جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط منطقه زاگرس توصیه می‌شود.

### منابع

اخوان، رضا، محمود زبیری، قوام‌الدین زاهدی امیری، منوچهر نمیرانیان و دانیل ماندالاز، ۱۳۸۵. بررسی ساختار مکانی و برآورد موجودی حجمی جنگل‌های خزری با استفاده از روش زمین‌آمار. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۹ (۱): ۱۰۲-۸۹.

اخوان، رضا و کریستوف کلاین، ۱۳۸۸. کارایی کریجینگ در برآورد و نقشه‌سازی موجودی جنگل‌کاریها (مطالعه موردی: جنگل کاری بنشکی رامسر). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۷(۲): ۳۱۸-۳۰۳.

بی‌نام، ۱۳۸۵. طرح جنگلداری چندمنظوره حوزه کاکارضا، سامان‌های شماره ۹ و ۱۰. مهندسين مشاور جهاد سبز، ۱۴۱ ص.

حسین‌زاده، جعفر، ۱۳۸۱. تعیین حداقل سطح مناسب برای بررسی ساختار جنگل‌های دانه‌زاد بلوط و بنه در زاگرس (مطالعه موردی: استان ایلام). رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۱۵۷ ص.

زبیری، محمود، ۱۳۷۳. آماربرداری در جنگل، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۱ ص.

قنبری، فریبا، ۱۳۸۷. بررسی پیش‌بینی توزیع مکانی برخی خصوصیات آلومتریک جنگل با استفاده از زمین‌آمار و GIS در جنگل آموزشی و پژوهشی دکتر بهرام‌نیا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۵۵ ص.

## Application of Kriging and IDW methods in mapping of crown cover and density of coppice oak forests (case study: Kakareza region, Khorramabad)

R. Akhavan<sup>\*1</sup>, M. Karami Khorramabadi<sup>2</sup> and J. Soosani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, I. R. Iran

<sup>2</sup>M.Sc. Student, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, I. R. Iran

<sup>3</sup>Assistant Prof., Faculty of Agriculture, University of Loristan, I. R. Iran

(Received: 13 November 2010, Accepted: 17 September 2011)

### Abstract

This research was conducted to investigate the spatial structure to estimate the crown cover and density of a coppice oak forest in west of Iran (Loristan province) using Kriging and IDW (Inverse Distance Weighting) interpolation methods. Field sampling was performed based on a 100m×100m systematic grid using 1500 m<sup>2</sup> circular samples of. Totally, 54 sample plots were measured at 54 ha. Experimental variograms for forest stem density and crown cover were calculated and plotted using the geo-referenced inventory plots. The calculated variograms of stem density and crown cover showed medium spatial autocorrelation fitted by spherical models. Estimations were made by ordinary block (38m×38m) kriging and IDW (power=2). Cross-validation results showed that all estimations are unbiased. Therefore, Kriging and IDW are able to accurately estimate and map the crown cover and density of this kind of coppice forests.

**Key words:** Density, Crown cover, Kriging, IDW, Coppice oak forests.