

## تهیه نقشه توزیع مکانی مشخصه‌های رویشی جنگل با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آمار (مطالعه موردی: سری سه سنگده، ساری)

سیاوش کلبی<sup>۱</sup>، اصغر فلاح<sup>۲\*</sup>، شعبان شتایی<sup>۳</sup>، رسول یوسف‌پور<sup>۴</sup> و پت بتینگر<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

پست الکترونیک: fallaha2007@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴- استادیار، گروه اقتصاد و برنامه‌ریزی جنگل، دانشکده اقتصاد و برنامه‌ریزی جنگل‌داری، دانشگاه فرایبورگ، فرایبورگ، آلمان

۵- استاد، گروه جنگل‌داری و منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه جورجیا، آتنز، آمریکا

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۳۰

### چکیده

بررسی توزیع مکانی مشخصه‌های رویشی درختان در توده‌های جنگلی، اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی امکان برداشت در مکان‌های مختلف بر اساس توان آن مناطق دارد. هدف از این مطالعه، تهیه نقشه توزیع مکانی مشخصه‌های رویشی توده‌های درختی جنگل شامل رویش حجمی، قطری، رشد به داخل و تعیین میزان مرگ و میر درختان در سری سه سنگده برای یک دوره پنج‌ساله بود. دو روش کریجینگ معمولی و معکوس فاصله برای تهیه نقشه و درون‌یابی استفاده شد. با استفاده از ۱۳۰ قطعه‌نمونه دایمی و اندازه‌گیری مستقیم، مقدار رویش محاسبه شد. نتایج نشان داد که متوسط رویش حجمی، رویش قطری، رشد به داخل و مرگ و میر سالانه به ترتیب ۵/۶۵ متر مکعب در هکتار، ۰/۴۸ سانتی‌متر، ۳/۵ و ۲/۴ پایه در هکتار در سال بود. همچنین برای رویش حجمی، روش عکس فاصله با توان یک با ریشه میانگین مجذور خطا ۰/۲۹ متر مکعب در هکتار در سال، برای رویش قطری روش کریجینگ معمولی با ریشه میانگین مجذور خطای ۰/۲۱۹ سانتی‌متر در سال و برای مشخصه‌های رشد به داخل و مرگ و میر سالانه به ترتیب روش کریجینگ معمولی با ۲/۸ و ۱/۴ پایه در هکتار در سال نتایج بهتری را نشان دادند. پژوهش پیش‌رو نشان داد که روش‌های زمین‌آمار کارایی لازم را برای تهیه نقشه مشخصه‌های رویشی جنگل دارند.

واژه‌های کلیدی: اریبی، درون‌یابی، رویش، عکس فاصله، کریجینگ معمولی.

### مقدمه

به دلیل تولید چوب که مهم‌ترین محصول جنگلی محسوب می‌شود و همچنین منبع اصلی درآمدی برای طرح‌های جنگل‌داری حایز اهمیت فراوانی هستند (Jokar et al., 2013). بنابراین تعیین امکان دقیق برداشت در این جنگل‌ها ضروری بوده و در راستای تحقق اهداف مدیریت پایدار

اطلاع از مشخصه‌های رویشی جنگل نقش بسیار مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار جنگل دارد (Burkhardt, 1990). در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از جنگل، آگاهی از میزان رویش امری ضروری است. جنگل‌های هیرکانی

(Laslett *et al.*, 1987; Kravchenko & Bullock, 1999; Robinson & Metternicht, 2006). به دلیل تنوع روش‌های درون‌یابی لازم است تا کم‌خطاترین روش در ارزیابی تغییرات مکانی مشخصه‌های رویشی مشخص شود. بنابراین، هدف از این پژوهش برآورد رویش قطری و حجمی، تعیین زادآوری و مرگ و میر درختان در سری سه جنگل سنگه و همچنین مقایسه قابلیت روش‌های درون‌یابی عکس فاصله و کریجینگ معمولی در تهیه نقشه مشخصه‌های رویشی جنگل بود.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

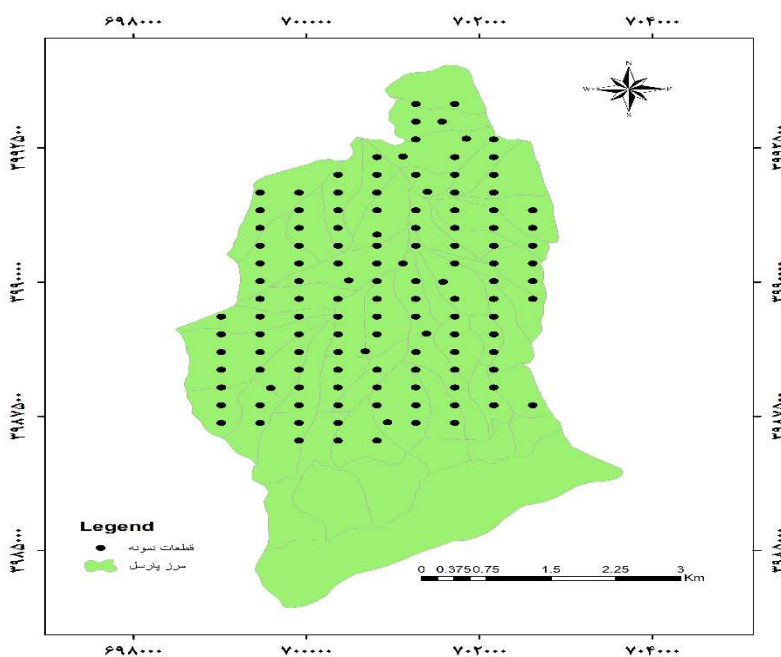
پژوهش پیش‌رو در سری سه سنگه انجام شد (شکل ۱). این سری با مساحت ۲۷۰۹ هکتار در ۲۷ کیلومتری شهر پل‌سفید در استان مازندران و بین طول شرقی  $۱۰^{\circ} ۱۲' ۵۳''$  تا  $۴۰^{\circ} ۱۵' ۵۳''$  و عرض شمالی  $۴۰^{\circ} ۵۸' ۳۵''$  تا  $۴۱^{\circ} ۱۰' ۳۶''$  قرار دارد. این سری دارای ۵۳ پارسل است و حدود ۸۰ درصد آن توسط تیپ راش پوشیده شده است (Anonymous, 2000).

#### روش پژوهش

آماربرداری پیشین در این سری در مرداد و شهریور سال ۱۳۸۸ و با استفاده از شبکه منظم- تصادفی با ابعاد  $۲۰۰ \times ۱۵۰$  متر و قطعات نمونه دایره‌ای با مساحت ۱۰ آر انجام شده بود. آماربرداری دوباره این سری در شهریور ۱۳۹۳ با استفاده از ۱۳۰ قطعه‌نمونه (۲۰ درصد از قطعات نمونه آماربرداری اولیه) انجام شد (شکل ۱). برای انتخاب قطعات نمونه، از هر پنج قطعه‌نمونه یک قطعه‌نمونه انتخاب شد. بدین‌صورت که پس از آماربرداری از اولین قطعه‌نمونه، قطعه‌نمونه ششم در شبکه برداشت شد. در صورتی‌که عملیات بهره‌برداری در قطعه‌نمونه انجام شده بود، از این قطعه‌نمونه صرف‌نظر و آماربرداری در قطعه‌نمونه مجاور انجام شد. عملیات بازیابی قطعات نمونه با استفاده از مختصات مراکز قطعات نمونه و دستگاه GPS مدل map76csx، با خطای حدود سه تا پنج متر انجام شد.

جنگل باید مقدار آنرا طوری تنظیم کرد که از میزان رویش جنگل بیشتر نشود. تا کنون پژوهش‌های مختلفی در مورد تعیین رویش قطری و حجمی گونه‌های درختی در داخل و خارج از کشور انجام شده است (Pastur *et al.*, 2008; Amini *et al.*, 2009; Khorankeh *et al.*, 2011; Khosh Akhlagh *et al.*, 2012; Fahlvik *et al.*, 2014; Cao, Montes, 2014; Gonzalez-Benecke *et al.*, 2014). همکاران (۲۰۰۵) از روش کریجینگ معمولی برای تهیه نقشه محصول بلوط چوب‌پنبه (*Quercus suber*) در اسپانیا استفاده کردند. Akhavan و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه‌ای را به‌منظور تعیین قابلیت روش کریجینگ در تهیه نقشه توزیع مکانی مشخصه‌های رویشی جنگل مانند موجودی، رویه زمینی و تعداد در هکتار در جنگل خیرودکنار نوشهر انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که این روش دارای قابلیت مناسبی برای تهیه نقشه توزیع مشخصه‌های رویشی جنگل می‌باشد. O'Rourke و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه‌ای را با هدف مدل‌سازی توزیع مکانی رویش قطری با استفاده از رگرسیون کریجینگ در دو بخش از جنگل (در یک بخش تنک کردن انجام شده بود و بخش تنک نشده بود)، انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که قطعات نمونه‌ای که شدت تنک‌کردن در آن‌ها بیشتر از ۵۰ درصد بود، دارای خطای برآورد بیشتری بودند.

مدیران و بوم‌شناسان جنگل به‌طور معمول بیشتر متغیرهای رویشی جنگل را بدون توجه به مکان آنها (به‌صورت غیرمکانی) پیش‌بینی می‌کنند (Aertsen *et al.*, 2012). این پیش‌بینی‌ها به‌طور تلویحی بر این اصل استوار است که توزیع حاصلخیزی رویشگاه تصادفی است و هر یک از مشاهدات مستقل هستند (Guisan & Zimmermann, 2000)، اما این موضوع با اصول بوم‌شناسی مبنی بر این‌که رویشگاه‌های نزدیک به یکدیگر دارای شانس بیشتری برای متأثر شدن از فرایندهای مشابه هستند، در تضاد است (Legendre & Fortin, 1989; Miller *et al.*, 2007). در مطالعات فراوانی به مقایسه صحت روش‌های مختلف درون‌یابی پرداخته شده است



شکل ۱- شبکه آماربرداری مورد استفاده

دارند (Zobeiri, 2005). برای محاسبه مقدار رشد به داخل، تمام درختانی که به حد آماربرداری (قطر برابر سینه ۱۲/۵ سانتی‌متر یا بیشتر) رسیده بودند، اندازه‌گیری شدند.

#### روش‌های توزیع مکانی

به‌طور کلی فرایند برآورد زمین‌آماري شامل دو مرحله تحلیل واریوگرام و استفاده از کریجینگ برای برآورد متغیر مورد نظر در نقاط فاقد اندازه‌گیری است. در واریوگرام سه مؤلفه برای مدل‌سازی و تشریح رفتار واریوگرام استفاده می‌شود: دامنه تأثیر، حد آستانه و اثر قطعه‌ای. قبل از درونیابی به روش کریجینگ باید یک مدل نظری برای واریوگرام تجربی برازش شود (Akhavan & Klein, 2010)، زیرا زمین‌آمار روشی وابسته به مدل است. بررسی همسان‌گردی داده‌ها با استفاده از ترسیم سمی واریوگرام‌های تجربی جهت‌دار (برای چهار جهت صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه با انحراف زاویه ۲۲/۵ درجه) انجام شد. همچنین وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها با استفاده از ترسیم سمی واریوگرام بررسی شد. برای انتخاب مناسب‌ترین مدل برازش داده‌شده به نیم‌تغییرنمای تجربی از اعتبارسنجی

در مرحله بعد، اقدام به اندازه‌گیری دوباره تمام درختان موجود در قطعات نمونه شد و گونه و قطر برابر سینه تمام درختان با قطر بیشتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر ثبت شد. همچنین درختانی که خشک شده یا بادافتاده بودند یا به هر دلیلی از بین رفته بودند، یادداشت شدند. برای تعیین موجودی از رابطه‌های یکسان در هر دو دوره استفاده شد. برای تعیین رویش حجمی نیز رابطه (۱) مورد استفاده قرار گرفت.

$$VI = VE + VH - VB \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: VI رویش حجمی توده جنگلی در دوره، VE حجم توده در آخر دوره، VH حجم درختان قطع شده در طول دوره و VB حجم توده در اول دوره بود.

به‌طور کلی، این روش محاسبه رویش حجمی مناسب توده‌های ناهمسال است، چون در توده‌های ناهمسال منظم، تاریخ با گذشت زمان تغییر نمی‌کند و در هر زمان، درختان در سنین و قطرهای مختلف در آشکوب‌های متعدد قرار

نمی‌کند (Akhavan *et al.*, 2012). در پژوهش پیش‌رو از توان یک تا پنج استفاده شد. شرط استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آمار، نرمال بودن داده‌ها است. در این مطالعه برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-سمیرنوف و ترسیم نمودار q-q استفاده شد. همچنین قرار گرفتن مقدار چولگی و کشیدگی در بازه  $\pm 2$  دلیل دیگری بر نرمال بودن داده‌ها بود. برای تشخیص روند از واریوگرام منطقه مورد مطالعه می‌توان استفاده کرد. به‌طور کلی، واریوگرام‌هایی که در محدوده مورد نظر به سقف ثابت نمی‌رسند، می‌توانند دلالت بر وجود روند داشته باشند. با توجه به وجود سقف مشخص برای داده‌ها، مشخص شد که داده‌ها فاقد روند هستند.

معیارهای ارزیابی و مقایسه روش‌های درون‌یابی برای ارزیابی میزان برآوردها و نقشه‌ها از ۳۰ درصد قطعات نمونه (۳۹ قطعه نمونه) که در مدل‌سازی وارد نشده بودند، استفاده شد. از معیارهای میانگین خطا (ME) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مقایسه تمام روش‌ها و از میانگین خطای استاندارد کریجینگ (AKSE)، مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد شده پیش‌بینی (RMSP) و میانگین خطای استاندارد شده پیش‌بینی (MSPE) برای مقایسه روش‌های کریجینگ معمولی استفاده شد (رابطه‌های ۲ تا ۶).

$$RMSP = \sqrt{1/N \left\{ \sum_{i=1}^N \left( \frac{MSE}{\delta^2(x_i)} \right)^2 \right\}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$MSPE = 1/N \sum_{i=1}^N \frac{MSE}{\delta^2(x_i)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

مقاطع استفاده شد. برای این منظور، مدل‌های مختلف با پارامترهای متفاوت در نظر گرفته شدند و هر یک از مدل‌ها که پس از اجرای روش کریجینگ دارای خطای برآورد کمتری بود، به‌عنوان مدل بهینه نیم‌تغییرنا انتخاب شد. در این پژوهش از مدل خطی، نمایی، گوسی، کروی و کلاس Matern استفاده شد.

### روش کریجینگ

کریجینگ روش درون‌یابی و برآورد در زمین آمار است که قادر است بر اساس مدل برازش‌شده با واریوگرام تجربی و نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده در جامعه، نقاط نمونه برداری نشده را بدون اریبی و با حداقل واریانس برآورد کند (Akhavan & Klein, 2010). کریجینگ بر حسب ویژگی‌های ساختار مکانی به انواع کریجینگ ساده (با فرض معلوم بودن میانگین)، کریجینگ معمولی (میانگین مجهول)، کریجینگ عام (در شرایط وجود روند)، لوگ کریجینگ (نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از روش لگاریتم‌گیری) و کوکریجینگ تقسیم‌بندی می‌شود (Saghafiyani *et al.*, 2012). در این پژوهش از روش‌های کریجینگ استفاده شد. روش معکوس فاصله

در این روش اغلب توانی برعکس فاصله در نظر گرفته می‌شود که به‌طور معمول بین یک تا پنج است، اما اغلب از توان دو یعنی عکس مجذور فاصله استفاده می‌شود. از جمله معایب این روش اینست که نقشه خطای برآورد تولید

$$ME = 1/N \left( \sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - \hat{z}(x_i)\} \right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$RMSE = \sqrt{1/N \left( \sum_{i=1}^N \{Z(x_i) - \hat{z}(x_i)\}^2 \right)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$AKSE = \sqrt{1/N \left\{ \sum_{i=1}^N \delta^2(x_i) \right\}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

مکان  $x_i$  است (Kravchenko & Bullock, 1999; Johnston *et al.*, 2001). اگر روش درون‌یابی فاقد اریبی

که در آن‌ها:  $\hat{z}(x_i)$  مقدار پیش‌بینی شده و  $z(x_i)$  مقدار مشاهده‌شده،  $N$  تعداد داده‌ها و  $\delta^2$  واریانس کریجینگ برای

### نتایج

مشخصه‌های توصیفی پارامترهای رویشی اندازه‌گیری شده در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که سری مورد مطالعه به‌طور میانگین دارای رویش قطری سالانه ۰/۴۹ سانتی‌متر و رویش حجمی ۵/۶۶ متر مکعب در هکتار در سال بود. رشد به داخل و مرگ و میر نیز به ترتیب ۳/۵ و ۲/۴۵ پایه در هکتار در سال بود.

باشد، مقدار اریبی باید به‌طور ایده‌آل صفر باشد. یکی از نقاط ضعف اریبی برای روش کریجینگ اینست که فاقد حساسیت به عدم صحت واریوگرام است. یک مدل صحیح دارای  $MSPE$  نزدیک به صفر است. اگر مدل برای واریوگرام صحیح باشد،  $RMSP$  باید مساوی واریانس کریجینگ (مساوی یک) باشد. اگر  $RMSP$  بزرگتر از یک باشد، تغییرپذیری در پیش‌بینی‌ها کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود و برعکس. محاسبات این پژوهش در نرم‌افزار R و با استفاده از بسته  $gstat$  انجام شد.

جدول ۱- مشخصه‌های توصیفی پارامترهای اندازه‌گیری شده

مشخصه	رویش قطری ( $Cmy^{-1}$ )		رویش حجمی ( $m^3ha^{-1}y^{-1}$ )		رشد به داخل ( $nha^{-1}y^{-1}$ )		مرگ و میر ( $nha^{-1}y^{-1}$ )	
	مدل	ارزیابی	مدل	ارزیابی	مدل	ارزیابی	مدل	ارزیابی
میانگین	۰/۴۸	۰/۴۷	۵/۶۵	۵/۶۶	۳/۵۷	۲/۷۱	۲/۴	۲/۵
حداقل	۰/۲۳۸	۰/۲۸	۰/۸۸	۱/۲۶	۰	۰	۰	۰
حداکثر	۰/۷۶	۰/۸	۱۰/۲۴	۸/۸	۱۲	۱۲	۲۰	۲۰
انحراف معیار	۰/۱۱	۰/۱۲	۲/۶۸	۲/۷۴	۲/۶	۲/۸	۳/۲۸	۲/۱۴
چولگی	۰/۴	۰/۵	۰/۰۰۷	-۰/۰۹	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۲۷
کشیدگی	۰/۹۸	۱/۰۴	۰/۷۶	-۰/۸۱	۱/۲۳	۱/۲۶	۱/۰۸	۰/۸۸

### پردازش واریوگرام‌ها

ترسیم تغییرنمای همه‌جهته برای مشخصه‌های رویشی مورد مطالعه نشان داد که توزیع این مشخصه‌ها در کل منطقه دارای همسانگردی بود و هیچ‌گونه علایمی از ناهمسانگردی (هندسی یا منطقه‌ای) و وجود هر گونه روند در داده‌ها

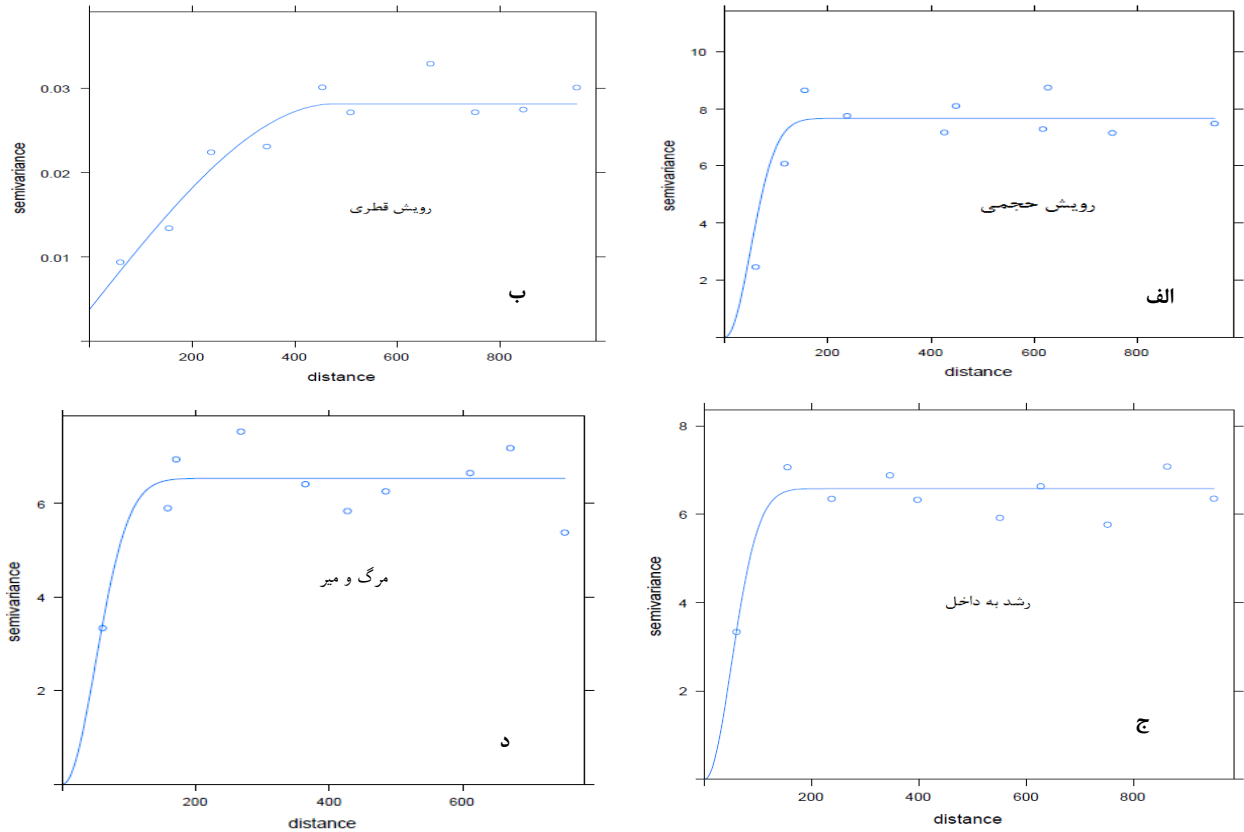
مشاهده نشد. نتایج نشان داد که برای رویش حجمی، رویش قطری، رشد به داخل و مرگ و میر به ترتیب مدل گوسی، کروی، گوسی و گوسی دارای کمترین مجموع مربعات باقیمانده بود (جدول ۲).

جدول ۲- مجموع مربعات باقیمانده برای هر مدل و مشخصه رویشی

مدل	رویش حجمی ( $m^3ha^{-1}y^{-1}$ )	رویش قطری ( $cm y^{-1}$ )	رشد به داخل ( $nha^{-1}y^{-1}$ )	مرگ و میر ( $nha^{-1}y^{-1}$ )
خطی	۰/۰۲۴۱۵	$۲/۷ \times 10^{-8}$	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۷۳
نمایی	۰/۰۱۴۲۴۹	$۳/۸ \times 10^{-8}$	۰/۰۰۳۰	۰/۰۱۷۶۲۳
کروی	۰/۰۱۰۹۰۵	$۲/۵ \times 10^{-8}$	۰/۰۰۱۶۹	۰/۰۰۷۱
گوسی	۰/۰۰۹۶۹۲۹	$۲/۷ \times 10^{-8}$	۰/۰۰۱۶۳	۰/۰۰۶۳
Matern	۰/۰۲۶۴۷۵۳	$۳/۴ \times 10^{-8}$	۰/۰۰۳۰	۰/۱۷۶

واریوگرام‌های برزاش شده را نشان می‌دهد.

شکل ۲ واریوگرام مربوط به هر یک از مشخصه‌های رویشی را نشان می‌دهد. جدول ۳ نیز مشخصه‌های



شکل ۲- واریوگرام مربوط به هر یک از مشخصه‌های رویشی حجم (الف)، رویش قطر (ب)، رشد به داخل (ج) و مرگ و میر (د)

جدول ۳- مشخصه‌های واریوگرام‌های برزاش شده

مشخصه	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تأثیر (متر)	ساختار مکانی
رویش حجمی	۰/۰۰۶	۷/۶۵	۱۰۱/۲۴	۹۹ درصد، ساختار مکانی قوی
رویش قطری	۰/۰۰۳۸	۰/۰۲۴	۴۷۸/۱۲	۸۵ درصد، ساختار مکانی قوی
رشد به داخل	۰/۰۰۱	۶/۱۵	۱۶۰/۵	۹۹ درصد، ساختار مکانی قوی
مرگ و میر	۰/۰۰۲	۶/۳	۱۱۵/۴	۹۹ درصد، ساختار مکانی قوی

قطری، رشد به داخل و مرگ و میر به ترتیب  $m^3ha^{-1}y^{-1}$ ،  $2/72$ ،  $Cmy^{-1}$ ،  $0/219$ ،  $2/84$   $nha^{-1}y^{-1}$  و  $1/4$   $nha^{-1}y^{-1}$  محاسبه شد.

نتایج مربوط به مدل‌های کریجینگ معمولی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که برای بهترین مدل تهیه شده برای تمام مشخصه‌های رویشی فاقد آریبی بود و همچنین ریشه میانگین مجذور خطا برای رویش حجمی، رویش

جدول ۴- نتایج مربوط به بهترین مدل به دست آمده از روش کریجینگ معمولی برای مشخصه‌های رویشی

مشخصه	ME	RMSE	AKSE	RMSPE	MSPE
رویش حجمی ( $m^3ha^{-1}y^{-1}$ )	۰/۰۴	۲/۷۲	۲/۷۸	۱/۰۳	۰/۰۰۶
رویش قطری ( $Cmy^{-1}$ )	-۰/۰۶۷	۰/۲۱۹	۰/۱۴۷	۱/۰۱	۰/۰۰۲۴
رشد به داخل ( $nha^{-1}y^{-1}$ )	-۰/۰۸۶	۲/۸۴	۲/۶۵	۱	۰/۰۱۳
مرگ و میر ( $nha^{-1}y^{-1}$ )	-۰/۰۰۳	۱/۴	۱/۲	۱/۰۴۵	۰/۰۰۲۳

روش عکس فاصله  
نتایج مربوط به درون‌یابی با استفاده از روش عکس فاصله نشان داد که بهترین مدل رویش حجمی، رویش قطری، رشد به داخل و مرگ و میر به ترتیب دارای توان ۱، ۲، ۱ و ۱ بودند (جدول ۵).

جدول ۵- نتایج مربوط به درون‌یابی با استفاده از روش عکس فاصله

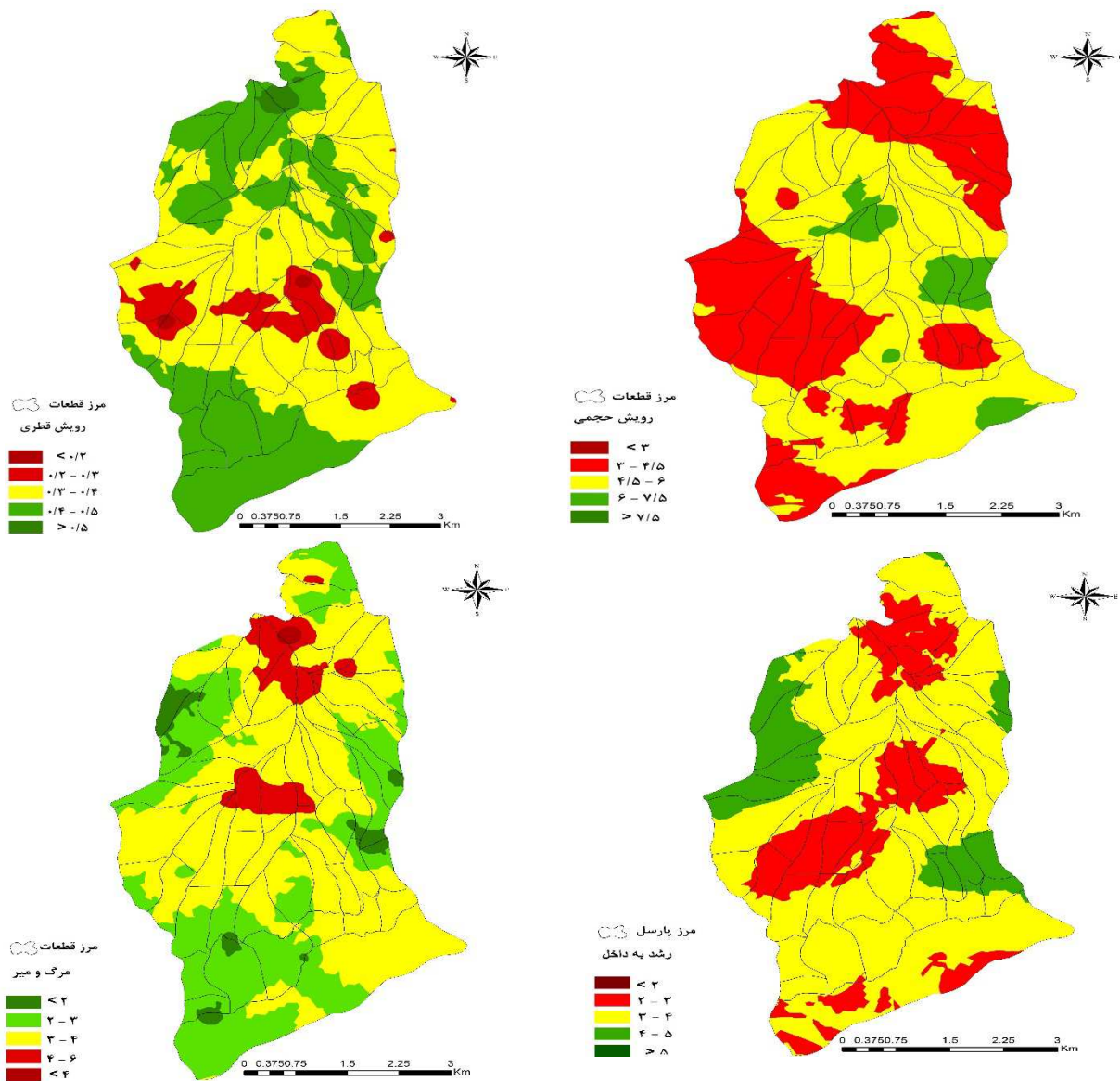
مشخصه	power	ME	RMSE
رویش حجمی ( $m^3ha^{-1}y^{-1}$ )	۱	۰/۰۴	۰/۲۹
رویش قطری ( $Cmy^{-1}$ )	۲	-۰/۰۷۴	۰/۴۶
رشد به داخل ( $nha^{-1}y^{-1}$ )	۱	-۰/۰۸	۵/۰۱
مرگ و میر ( $nha^{-1}y^{-1}$ )	۱	-۰/۲۸	۱/۷۶

مقایسه مدل‌ها  
در مجموع، نتایج نشان داد که برای مشخصه رویش حجمی روش درون‌یابی عکس فاصله با توان یک و برای مشخصه‌های رویش قطری، مرگ و میر و رشد به داخل روش کریجینگ معمولی دارای بهترین نتیجه بودند (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج مربوط به بهترین مدل به دست آمده برای هر یک از مشخصه‌های رویشی

مشخصه	روش	ME	RMSE
رویش حجمی ( $m^3ha^{-1}y^{-1}$ )	عکس فاصله با توان یک	۰/۰۴۲	۰/۲۹۰
رویش قطری ( $Cmy^{-1}$ )	کریجینگ معمولی	-۰/۰۶۷	۰/۲۱۹
رشد به داخل ( $nha^{-1}y^{-1}$ )	کریجینگ معمولی	-۰/۰۸۶	۲/۸۴
مرگ و میر ( $nha^{-1}y^{-1}$ )	کریجینگ معمولی	-۰/۰۰۳	۱/۴۵

تهیه نقشه  
با استفاده از بهترین مدل به دست آمده برای هر روش، نقشه مشخصه رویشی تهیه شد که در شکل ۳ قابل مشاهده است.

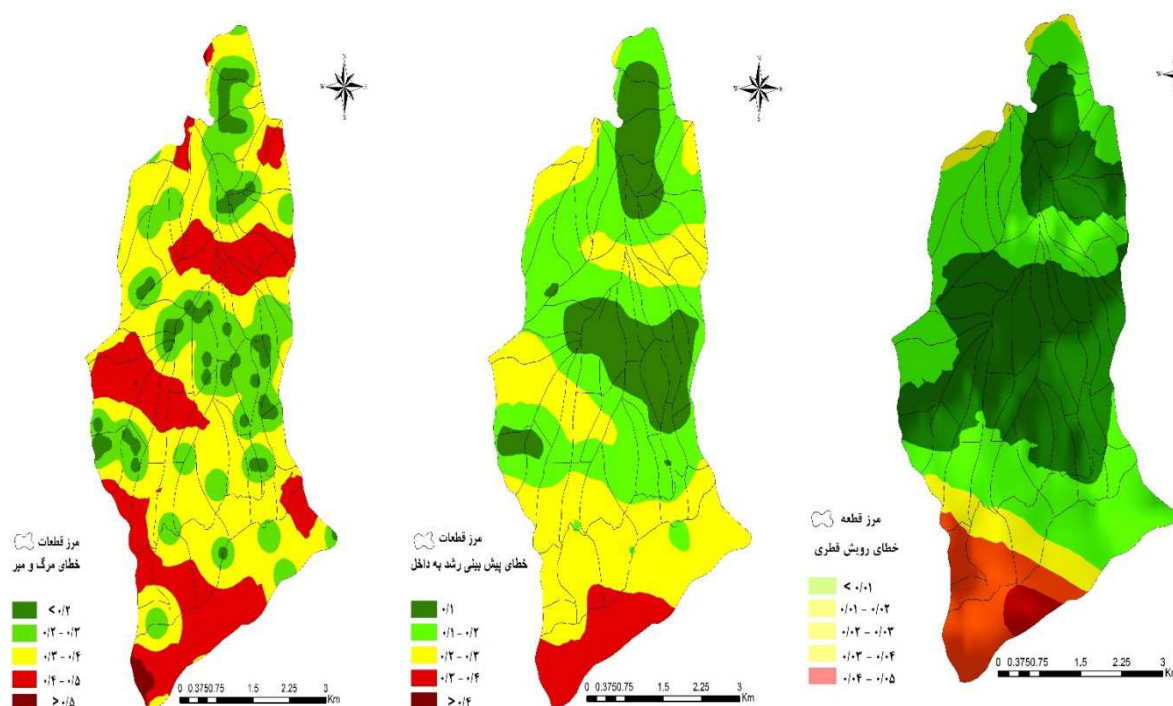


شکل ۳- نقشه به دست آمده از بهترین مدل‌های انتخاب شده برای مشخصه‌های رویشی

نقشه خطا نیست، نقشه تهیه نشد. رنگ سبز کمترین خطا و رنگ قرمز بیشترین خطای تخمین را برای هر سه مشخصه نشان می‌دهد.

در شکل ۴ نقشه‌های خطای تخمین برای سه مشخصه رویش قطری، رشد به داخل و مرگ و میر ارایه شده است. برای مشخصه رویش حجمی با توجه به اینکه روش عکس فاصله دارای بهترین نتیجه بود و این روش قادر به تولید





شکل ۴- نقشه خطای برآورد رویش قطری، رشد به داخل و مرگ و میر

## بحث

رویش حجمی سالانه محاسبه‌شده در این پژوهش از ۰/۸۸ تا ۱۰/۲۴ متر مکعب در هکتار در نوسان بود. از جمله دلایل این دامنه تغییرات می‌توان به تغییر در ارتفاع از سطح دریا، شرایط اقلیمی، بارندگی، موجودی حجمی و غیره اشاره کرد.

در این مطالعه از مدل‌های برازش داده شده برای تجزیه و تحلیل استفاده شد. همچنین، تغییرپذیری مکانی مشخصه‌های رویشی جنگل با استفاده از تکنیک زمین‌آمار مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به تقارن تغییرنمای سطحی، تمام متغیرهای مورد بررسی دارای همسانگردی بودند. برای پردازش سمی‌واریوگرام برای سه مشخصه رویش حجمی، رشد به داخل و مرگ و میر، مدل گوسی و برای رویش قطری مدل کروی دارای کمترین مجموع مربعات باقیمانده بودند. نتایج واریوگرامی نشان داد که متغیرهای مورد بررسی دارای ساختار مکانی قوی بوده و تغییراتشان به‌نوعی وابسته به فاصله است. به عبارت دیگر، متغیرها ناحیه‌ای هستند. اگر سمی‌واریوگرام دارای مقدار ثابت و در نتیجه دامنه تأثیر مشخصی باشد، ساختار مکانی

رویش درختان جنگلی تحت تأثیر عامل‌های درونی درخت، مؤلفه‌های محیطی و زمان قرار دارد. در سال‌های مختلف حیات درخت، مقدار رویش برحسب شدت نوسانات، دوام و نحوه تأثیر هر یک از عامل‌های یادشده تفاوت دارد (Amini *et al.*, 2009). در پژوهش پیش‌رو، میانگین رویش حجمی سالانه ۵/۶۶ متر مکعب در هکتار محاسبه شد. رویش حجمی محاسبه‌شده در این سری کمتر از متوسط رویش حجمی در سری دو جنگل شصت‌کلاته گرگان (۶/۸۵ متر مکعب در هکتار؛ Gholami, 2006) و در سری ۱۶ حوزه جنگلی سفارود گیلان (۹/۹ متر مکعب در هکتار؛ Khorankeh *et al.*, 2011) بود، اما نسبت به مطالعه Bayat و همکاران (۲۰۱۴) که میانگین رویش را در سری گرازبن جنگل خیرودکنار نوشهر چهار متر مکعب در سال محاسبه کردند، بیشتر بود. از دلایل مهم این اختلافات می‌توان به روش نمونه‌گیری و نحوه اندازه‌گیری رویش اشاره کرد. در پژوهش پیش‌رو، میانگین رویش قطری سالانه گونه‌ها ۰/۴۸ سانتی‌متر محاسبه شد.

فاصله از دقت و صحت درون‌یابی کاهش یافته و مقدار کاهش به صورت نقطه‌ای اعمال می‌شود نه به صورت شعاعی. در پژوهش پیش‌رو فقط برای مشخصه رویش حجمی روش معکوس فاصله نسبت به روش کریجینگ معمولی دارای نتایج بهتری بود. این نتیجه را می‌توان در مطالعه Akhavan و Klein (۲۰۱۰) نیز مشاهده کرد. از جمله دلایل بهتر بودن روش معکوس فاصله، چولگی کمتر مشخصه رویش حجمی در سرتاسر منطقه بود که Robinson و Metternicht (۲۰۰۶) نیز به آن اشاره کرده‌اند. برای برآورد سه مشخصه رویشی دیگر، روش کریجینگ دارای نتایج بهتری بود. یکی از مزایای روش کریجینگ علاوه بر کاهش واریانس برآورد این است که همراه با هر برآوردی، نقشه خطای آن نیز به صورت کمی و دقیق قابل ارایه است. با استفاده از نقشه خطای برآورد کریجینگ می‌توان در مناطقی که دارای خطای زیاد هستند، اندازه‌گیری‌های بیشتری انجام داد تا مقدار خطای برآورد کاهش یابد. نقشه‌های خطای برآورد نشان دادند که بیشترین خطای پیش‌بینی (به‌طور تقریب برای هر سه مشخصه) مربوط به قسمت جنوب سری است که منطقه دارای بیشترین شیب است. از جمله دلایل خطای زیاد پیش‌بینی، تعداد کمتر قطعات نمونه در مناطق جنوبی سری به علت شیب زیاد منطقه بود.

در مجموع، نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که مدیران جنگل می‌توانند از نقشه‌های زمین‌مرجع به دست آمده از روش‌های درون‌یابی که نحوه توزیع مکانی مشخصه‌های رویشی جنگل را در عرصه مورد مدیریت نشان می‌دهند، به‌عنوان یک نقشه راهنما در طرح‌های جنگلداری استفاده کنند و عملیات قطع و بهره‌برداری با استفاده از آن‌ها مکان‌یابی شود.

## References

- Aertsen, W., Kint, V., Wilpert, K.V., Zirlwagen, D., Muys, B. and Orshoven, J.V., 2012. Testing novel cytokinins for improved in vitro adventitious shoots formation and subsequent ex vitro performance in *Pinus radiata*. *Forestry*, 85(4): 539-550.

می‌تواند وجود داشته باشد. سمی‌واریوگرام‌هایی که تمایل به نزدیک شدن به مقدار ثابتی نداشته باشند و با افزایش فاصله در محدوده نمونه‌برداری همواره افزایش یابند، برای تخمین مناسب نیستند (Hassani Pak, 1992). با توجه به اینکه متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش دارای ساختار مکانی قوی بودند، بنابراین امکان تهیه نقشه پهنه‌بندی این متغیرها با استفاده از روش‌های زمین‌آمار وجود داشت. این نتایج با نتایج مطالعه Akhavan و همکاران (۲۰۱۲) متضاد می‌باشد.

نتایج مربوط به میانگین خطا و میانگین خطای استاندارد شده پیش‌بینی نشان داد که تمام مدل‌ها فاقد اریبی بودند. برای مشخصه رویش حجمی، مقدار میانگین خطای استاندارد کریجینگ بیشتر از ریشه میانگین مجذور خطا (اما نه به‌طور معنی‌دار) به دست آمد. زمانی که مقدار میانگین خطای استاندارد کریجینگ بیشتر از ریشه میانگین مجذور خطا باشد، واریانس کریجینگ بزرگتر از واریانس برآورد صحیح است و نشان‌دهنده اینست که مدل واریوگرام میزان تغییرپذیری پیش‌بینی‌ها را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. برای سایر مشخصه‌ها (رویش قطری، رشد به داخل و میزان مرگ و میر) مقدار میانگین خطای استاندارد کریجینگ کمتر از ریشه میانگین مجذور خطا به دست آمد که نشان‌دهنده تغییرپذیری کمتر از مقدار واقعی برآورد شده بود. البته، میزان تفاوت بین این دو متغیر بسیار کم بود. موقعی که میزان  $RMSP$  بیشتر از یک باشد، نشان‌دهنده اینست که واریانس کریجینگ کمتر از واریانس صحیح برآورد بوده و میزان متغیر کمتر برآورد شده است. برای بعضی از مشخصه‌ها و روش‌ها مقدار  $RMSP$  کمتر از یک شد و نشان‌دهنده این بود که تغییرپذیری کمتر از میزان واقعی برآورد شده است.

در پژوهش پیش‌رو برای روش عکس فاصله از توان یک تا پنج استفاده شد که در بیشتر حالت‌ها توان یک دارای بهترین نتیجه بود. این نتایج با پژوهش Robinson و Metternicht (۲۰۰۶) به‌طور کامل مطابقت دارد. در واقع، نشان‌دهنده اینست که با افزایش توان در روش معکوس

- Gonzalez-Benecke, C.A., Gezan, S.A., Samuelson, L.J., Cropper Jr.W.P., Leduc, D.J. and Martin, T.A., 2014. Estimating *Pinus palustris* tree diameter and stem volume from tree height, crown area and stand-level parameters. *Journal of Forestry Research*, 25(1): 43-52.
- Guisan, A. and Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147-186.
- Hassani Pak, A.A., 1992. *Geostatistic*. Tehran University Press, Tehran, 314p (In Persian).
- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. and Lucas, N., 2003. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. *Environmental Systems Research, Analyst*; Environmental Systems Research Institute: Redlands, CA, USA, pp. 81-112.
- Jokar, M., Fegghi, J., Heshmat Alvaezin, S.M., Namiranian, M. and Etemad, V., 2013. Determination of the volume increment of beech Caspian Switzerland control method. *Forest and Range Quarterly Journal*, 97: 40-45 (In Persian).
- Khorankeh, S., Fallah, A., Jalilvand, H. and Espahbodi, K., 2011. Determination of *Acer volutinum* growth diameter in eastern Mazandaran forest. *Proceedings of Conference on the Roadmap and Supply of Raw Materials Wood and Paper Industry Development. Mazandaran*, 22-23 Nov. 2011: 12-17 (In Persian).
- Khosh Akhlagh, R., Nafar, M., Sharifi, A., Matinkhah, H. and Farahmand, K., 2012. Economic analysis and optimization of northern forests (Shafarood, district no. 16). *Development and Agricultural Economics*, 17: 115-138.
- Kravchenko, A.N. and Bullock, D.G., 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Journal of Agronomy*, 91: 393-400.
- Laslett, G.M., McBratney, A.B., Pahl, P.J. and Hutchinson, M.F., 1987. Comparison of several spatial prediction methods for soil pH. *Journal of Soil Science*, 38: 325-341.
- Legendre, P. and Fortin, M.J., 1989. Spatial pattern and ecological analysis. *Plant Ecology*, 80: 107-138.
- Miller, J., Franklin, J. and Aspinall, R., 2007. Incorporating spatial dependence in predictive
- Akhavan, R., Karami Khorramabadi, M. and Soosani, J., 2012. Application of Kriging and IDW methods in mapping of crown cover and density of coppice oak forests (Case study: Kakareza region, Khorramabad). *Iranian Journal of Forest*, 3(4): 305-316 (In Persian).
- Akhavan, R., Kia Daliri, H. and Etemad, V., 2015. Geostatistically estimation and mapping of forest stock in a natural unmanaged forest in the Caspian region of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 13(1): 61-76.
- Akhavan, R. and Klein, K., 2010. Performance Kriging estimated and mapping volume forest plantation (Case study: Ramsar Beneshky plantation). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 2(17): 303-318 (In Persian).
- Amini, M., Namiranian, M., Sagheb Talebi, Kh. and Amini, R., 2009. Investigation on the homogeneity of diameter increment models in *Fagus orientalis* L. trees. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 16(4): 1-23 (In Persian).
- Anonymous, 2000. *Forest Management Plan of Sangdeh, district No. 3*. Published by Forests, Range and Watershed Managemnt Organization, 115p.
- Bayat, M., Namiranian, M., Zobeiri, M. and Fathi, J., 2014. Determining growth increment and density of trees in forest using permanent sample plots (Case study: Gorazbon district of Kheyroud Forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(3): 424-438 (In Persian).
- Burkhart, H.E., 1990. Status and future of growth and yield models: 409-414. In: LaBau, V.J. and Cunia, T. (Eds.). *State-of-the-art Methodology of Forest Inventory: A Symposium Proceedings*. USDA Forest Service, Pacific Northwest Forest Experiment Station, Portland, 414p.
- Cao, Q.V., 2014. Linking individual-tree and whole-stand models for forest growth and yield prediction. *Cao Forest Ecosystems*, 1(18): 1-8.
- Fahlvik, N., Elfving, B. and Wikström, P., 2014. Evaluation of growth models used in the Swedish forest planning system Heureka. *Silva Fennica*, 48(2): 1-17.
- Gholami, Gh. 2004. Comparing method for estimating allowable cut rates in uneven-aged forestry method, M.Sc. thesis, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 106p (In Persian).

- Forest Science, 54: 102-108.
- Robinson, T.P. and Metternicht, G., 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. Computers and Electronics in Agriculture, 50: 97-108.
  - Saghafiyan, B., Razmjo, H. and Ghermez Cheshmeh, B., 2012. Investigated regional variations in annual rainfall using geostatistical method (case study: Fars provianc). Journal of Water Resources Engineering, 4: 29-38 (In Persian).
  - Zobeiri, M., 2005. Inventory and Measurement of Forest. University of Tehran Press, Tehran, 320p (In Persian).
  - Montes, F., Hernandez, M.J. and Canellas, I., 2005. A geostatistical approach to cork production sampling in *Quercus suber* forests. Canadian Journal Forest Research, 35: 2787-2796.
  - O'Rourke, S., Gabrielle, E. and Kelly, G.E., 2015. Spatio-temporal modelling of forest growth spanning 50 years- the effects of different thinning strategies. Procedia Environmental Sciences, 26: 101-104.
  - Pastur, G.J., Cellini, J.M., Lencinas, M.V. and Peri, P.L., 2008. Stand growth model using volume increment/basal area ratios. Journal of vegetation models. Ecological Modelling, 202: 225-242.

## Mapping the spatial distribution of forest growth characteristics using different geostatistical methods (Case study: District no. 3, Sangdeh- Sari)

S. Kalbi<sup>1</sup>, A. Fallah<sup>2\*</sup>, Sh. Shataee<sup>3</sup>, R. Yousefpour<sup>4</sup> and P. Bettinger<sup>5</sup>

1- Ph.D. Student Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Sari, Iran

2\*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: fallaha2007@yahoo.com

3- Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Gorgan, Iran

4- Assistant Prof., Department of Forest Economics and Planning, Faculty of Forestry Economics and Forest Planning, University of Freiburg, Freiburg, Germany

5- Prof., Department of Forestry and Natural Resources, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Georgia, Athens, USA

Received: 18.04.2016

Accepted: 10.08.2016

### Abstract

Investigation on spatial distribution of tree growth characteristics in different forest stands, has a fundamental role in assessing possible harvest planning considering potential of the stands. The aim of this study is mapping the spatial distribution of forest characteristics such as stand volume growth, diameter, growth, ingrowth) and determining the amount of tree mortality in the district three of Sangdeh region within a period of 5 years. Two methods of Ordinary Kriging (OK) and weighted Inverse Distance (IDW) interpolation were applied for mapping. For this purpose, we calculated the increment using direct measurement in 130 permanent sample plots. The results of this study showed that the mean volume increment, diameter increment, ingrowth and annual mortality were 5.65 cubic meters per hectare per year, 0.48 cm, 3.5 and 4.2 stems per hectare per year, respectively. For volume increment, the IDW method by power one and with a root mean square error 0.29 cubic meters per hectare per year, for diameter increment, ingrowth and annual mortality the ordinary Kriging method with a root mean square error 0.219 cm per year, 1.4 and 2.8  $\text{nha}^{-1}\text{y}^{-1}$  showed better results, respectively. Overall the results showed that geostatistical methods are efficient methods for mapping forest growth characteristics.

**Keywords:** Bias, growth, interpolation, inverse distance, ordinary Kriging.